



UNIVERSIDAD DE GRANMA
Facultad de Ingeniería
Dpto. de Ciencias Técnicas



UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Sede Latacunga

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN PROTOTIPO DE
MÁQUINA CORTADORA DE FIBRA DE HENEQUEN PARA
FABRICAR MATERIALES BIO-COMPUESTOS

DIPLOMANTE: Daniel Carrión Espín

TUTORES: MS.c Ing. Roberto Beltrán Reyna
Ing. Joao Lázaro Barzaga Quesada

BAYAMO. M.N.
2011-2012

“Año de 53 de la Revolución”

LATAACUNGA-ECUADOR
2011-2012

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE	5
1.1. Aspectos generales de los materiales compuestos.	5
1.2. Clasificación de los materiales compuestos.....	5
1.3. Requerimientos funcionales.	9
1.4. Requerimientos no funcionales.....	10
1.5. Materiales empleados en la fabricación de máquinas, mecanismos y elementos de máquinas.....	11
1.6. Fibras textiles.....	11
1.7. Breve historia del método de los elementos finitos.	12
1.7.1. Conceptos generales del método.....	13
1.8. Introducción a los softwares CAD.	14
1.8.1. Solid Works.	15
1.9. Análisis del Cosmos Works.	17
1.9.1. Conceptos básicos de análisis.....	17
1.10. Propiedades de los materiales.	18
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1. Procedimiento para diseñar el prototipo de módulo de corte de la máquina enfieltradora	20
2.2. Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD	20
2.3. Ensamble del modelo de la máquina de corte de fibras de henequén	21
2.4. Estudio del modelo de prototipo de máquina de corte de fibras de henequén por el Método de los Elementos Finitos	21
2.5. Asignación de los materiales y sus propiedades a cada modelo de piezas	22
2.6. Asignación de los tipos de contactos, cargas y restricciones presentes en los modelos	22
2.7. Mallado de los modelos	23
CAPÍTULO III. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	24
3.1. Variantes del diseño.....	24
3.2. Modelación de las piezas con sus dimensiones en el software de diseño CAD.....	26
3.3. Análisis del ensamble del modelo de prototipo de máquina de corte de fibras de Henequén.	30
3.4. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.	31
3.5. Análisis de los tipos de contactos entre componentes.	34
3.6. Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.	34
3.7. Mallado de los modelos.	35
3.8. Análisis de los resultados obtenidos.....	36
3.9. Selección del motor impulsor del mecanismo de corte.	34

CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES.....	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

Capítulo I: Estado del arte

1.1 Aspectos generales de los materiales compuestos.

El grupo de los materiales conocidos como “compuestos” es numeroso, aunque sus límites aún no están completamente definidos. Básicamente, se puede considerar un compuesto como cualquier material que sea una combinación de dos o más componentes distintos. Esta definición abarcaría ladrillos, concreto, madera, huesos, así como compuestos sintéticos modernos. [1]

Por supuesto, los compuestos también pueden estar hechos por la combinación de fibras con una matriz de metal o cerámica, pero por el momento estas tienen una baja participación en el mercado.

Un compuesto es una mezcla de dos o más fases o compuestos distintos. Además de otros tres criterios que deben cumplirse antes que se le llame a un material “compuesto”. Primeramente, ambos componentes deben estar presentes en proporciones razonables. En segundo lugar, los materiales deben tener propiedades claramente diferentes. Finalmente, un compuesto sintético es producido por la mezcla y combinación de los componentes de varias formas. [1]

1.2 Clasificación de los materiales compuestos.

La figura 1.1 representa el esquema de clasificación para materiales compuestos. La dimensión de los refuerzos de partículas es aproximadamente igual en todas las direcciones. La forma de las partículas de refuerzo puede ser esférica, cúbica, plana o de cualquier geometría regular o irregular. La disposición de estas partículas puede ser al azar o con una orientación preferente.

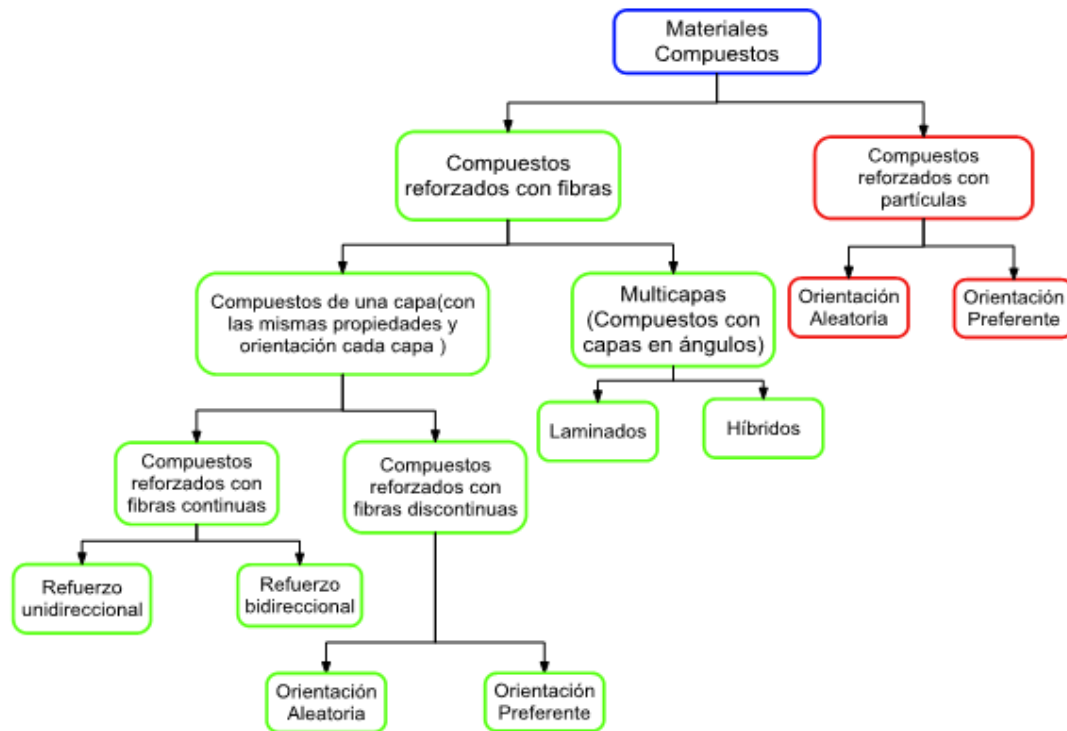


Fig. 1.1 Clasificación de los materiales compuestos

No solo se puede clasificar los materiales compuestos como está representado en la figura 1.1 también atendiendo al tipo de matriz, según al tipo de refuerzo, atendiendo al ángulo de orientación de la fibra.

Según Tipo de matriz: [2]

1. PMC: Los Compuestos de Matriz de polímero
2. MMC: Los Compuestos de Matriz de metal
3. CMC: Los Compuestos de la Matriz cerámicos

Según el tipo de refuerzo: en la figura 1.2 se representa estas clasificaciones. [2]

1. Partícula
2. Fibras discontinuas
3. Fibra continúa

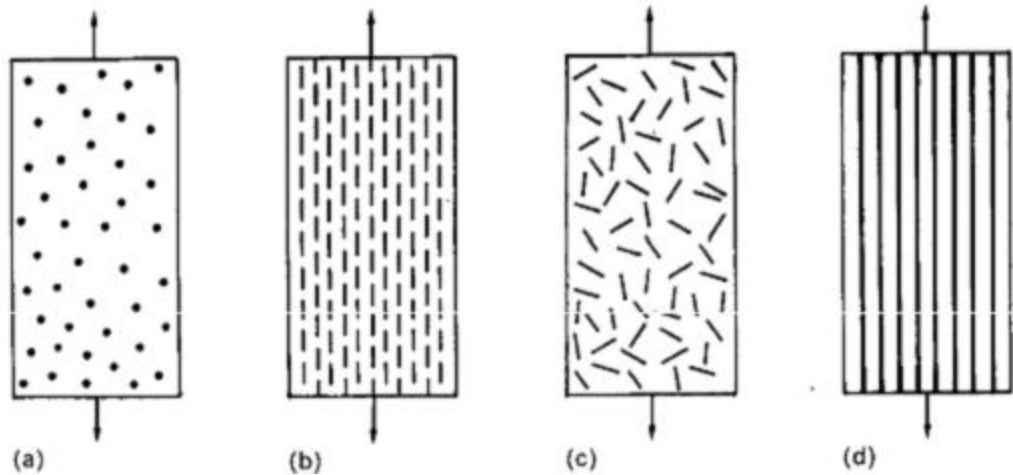


Fig. 1.2 Ejemplo de compuestos: (a) partícula al azar, (b) fibras unidireccionales discontinuas, (c) fibras discontinuas al azar, (d) fibras continuas unidireccional.

Atendiendo al ángulo de orientación de las fibras se halla las categorizaciones siguientes: en la figura 1.3 se reflejan estas orientaciones de las fibras. [2]

1. Ángulo de 0°
2. Ángulo de $\pm 45^\circ$
3. Ángulo de 90°

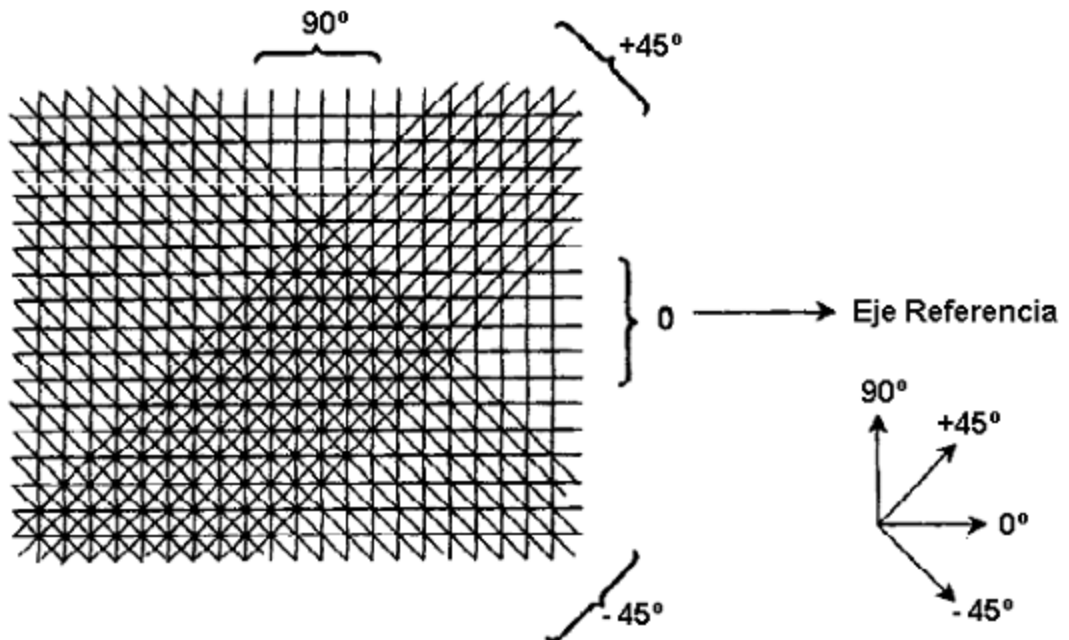


Fig. 1.3 Ángulos de orientación de las fibras en composites

Otra de las clasificaciones que se pueden encontrar es según la secuencia de apilado: en la figura 1.4 (a) y (b) se representa gráficamente esta tipificación. [2]

1. Apilado simétrico
2. Apilado asimétrico

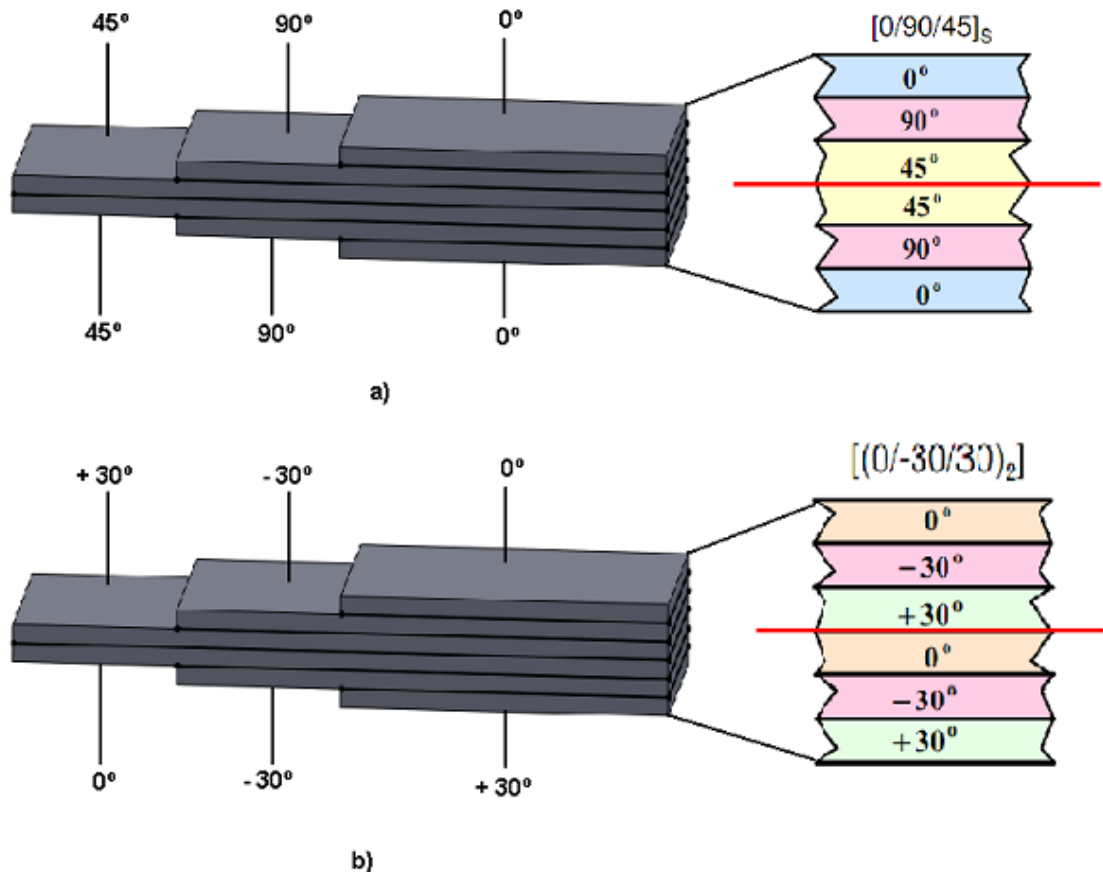


Fig. 1.4 Secuencias de apilado: a) apilado simétrico, b) apilado asimétrico

Para la fabricación y uso de los materiales compuestos a base de fibras naturales, en este caso los reforzados con fibras de henequén se hace necesario el procesamiento previo de la fibra, con el objetivo de obtener fieltros los que se caracterizan por ser un paño que para fabricarlo no se teje, es decir, que no surge del cruce entre trama y urdimbre, compuestos de los que surgen las telas, el tratamiento de la fibra se basa en cortar esta en dimensiones determinadas mediante un mecanismo de corte que posteriormente serán compactadas por un mecanismo garantizando una homogenización en los espesores de los fieltros. Otro tratamiento es el de punzonado donde se entre cruzan las fibras en disímiles direcciones, de manera que al volver a ser compactado el conjunto de fibras ya

entre tejido queda listo para ser unido con la resina de poliéster insaturado o epoxi y así obtener un bio-composite. Como se muestra en la figura 1.5.

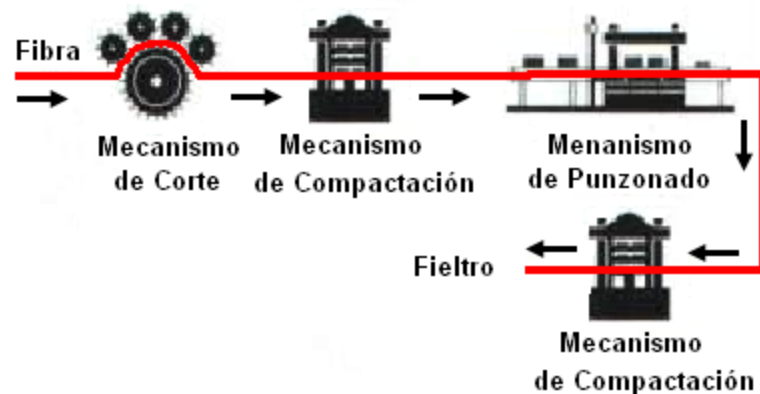


Fig. 1.5 Representación de la máquina de enfiltramiento de fibras

1.3 Requerimientos funcionales.

Un requisito funcional define el comportamiento de sistemas, máquinas, mecanismos, elementos, etc. pudiéndose evaluar detalles técnicos, manipulación de datos y otras funcionalidades específicas. Son complementados por los requisitos no funcionales, que se enfocan en cambio en el diseño o la implementación. [3, 21]

La formulación de los requerimientos funcionales constituye el primer paso en el diseño de un sistema. En esta fase, se ha de poner de manifiesto las características esenciales del problema, de manera que sirva de guía para la generación de soluciones.

Se definen a los «requerimientos funcionales de diseño» como aquellas especificaciones que define el diseñador para garantizar la funcionalidad y el destino de servicio del producto. Pueden clasificarse en dimensionales y geométricos. Los «requerimientos funcionales dimensionales» DML, son las especificaciones que define el diseñador para garantizar que se cumplan las exigencias dimensionales del producto. Los «requerimientos funcionales geométricos» son las especificaciones que define el diseñador para cumplir con las exigencias de las tolerancias geométricas del producto. [4]

Se definen los «requerimientos funcionales de fabricación» FBC como las especificaciones que deben de cumplir las piezas de un determinado ensamble para garantizar la fabricación de las mismas. Son los requerimientos que desde el punto de vista de la Ingeniería Concurrente, representan el dominio del diseño para la fabricación DFM. Se sugiere clasificar a los requerimientos funcionales de fabricación en requerimientos de colocación, operacionales, materiales, procesos y equipamientos. [4]

Típicamente, un analista, tecnólogo o diseñador genera requisitos funcionales luego de diagramar los casos de uso. Sin embargo, esto puede tener excepciones debido a que algunos requisitos son previos al diseño de los casos de uso. Ambos elementos (casos de uso y requisitos) se complementan en un proceso bidireccional. [3]

El núcleo del requisito es la descripción del comportamiento requerido, que debe ser clara y concisa. Este comportamiento puede provenir de reglas organizacionales o del negocio, o ser descubiertas por interacción con usuarios, inversores y otros expertos en la organización. [3]

1.4 Requerimientos no funcionales.

Requisito no funcional: característica requerida del sistema, del proceso de desarrollo, del servicio prestado o de cualquier otro aspecto del desarrollo, que señala una restricción del mismo. [3]

Los requerimientos no funcionales hacen relación a las características del sistema que aplican de manera general como un todo, más que a rasgos particulares del mismo. Estos requerimientos son adicionales a los requerimientos funcionales que debe cumplir el sistema, y corresponden a aspectos tales como la disponibilidad, mantenibilidad, flexibilidad, seguridad, facilidad de uso, etc

1.5 Materiales empleados en la fabricación de máquinas, mecanismos y elementos de máquinas.

Los materiales se clasifican generalmente en cinco grupos: metales, cerámicos, polímeros, semiconductores y materiales compuestos. Los materiales de cada uno de estos grupos poseen estructuras y propiedades distintas. Son los metales los que mayormente se emplean en la fabricación de mecanismos y elementos de máquinas.

Los metales de forma general tienen como característica una buena conductividad eléctrica y térmica, alta resistencia, rigidez, ductilidad. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o de carga. Las aleaciones permiten algunas propiedades deseables en mayor proporción o permiten una mejor combinación de propiedades.

1.6 Fibras textiles.

Se denomina fibra textil a los materiales compuestos de filamentos y susceptibles de ser usados para formar hilos o telas, bien sea mediante tejido o mediante otros procesos físicos o químicos. En general las fibras están compuestas por polímeros de alto peso molecular. [5, 25]

Se dividen de acuerdo a su origen y técnicas de producción en: Naturales, Artificiales y Sintéticas. [23]

La lana es una fibra formada en los folículos de la piel del ovino que integra el vellón del animal y funciona como cobertura protectora de las condiciones ambientales. Está compuesta por escamas (placas córneas) que cubren la médula o parte central, quedando superpuestas en el mismo sentido de crecimiento de la fibra. Sus propiedades están relacionadas con su estructura y composición química. [5]

Las características diferenciales entre las lanas como la longitud, finura, carácter, resistencia, densidad, color, suavidad y brillo varían de acuerdo:-Influencia genética - Influencia ambiental y de manejo. [23]

1.7 Breve historia del método de los elementos finitos.

Aunque el nombre del MEF se ha establecido recientemente, el concepto se ha usado desde hace varios siglos. El empleo de métodos de discretizado espacial y temporal y la aproximación numérica para encontrar soluciones a problemas ingenieriles o físicos es conocido desde la antigüedad. El concepto de “elementos finitos” parte de esa idea.

Para encontrar vestigios de este tipo de cálculos podríamos remontarnos a la época de la construcción las pirámides egipcias. Los egipcios empleaban métodos de discretizado para determinar el volumen de las pirámides. Arquímedes (287-212 a.C.) empleaba el mismo método para calcular el volumen de todo tipo de sólidos o la superficie de áreas. En oriente también aparecen métodos de aproximación para realizar cálculos. Así el matemático chino Lui Hui (300 d.C.) empleaba un polígono regular de 3072 lados para calcular longitudes de circunferencias con lo que conseguía una aproximación al número Pi de 3.1416.

El desarrollo de los elementos finitos tal y como se conocen hoy en día ha estado ligado al cálculo estructural fundamentalmente en el campo aeroespacial. En los años 40 **[Courant⁶]** propone la utilización de funciones polinómicas para la formulación de problemas elásticos en subregiones triangulares, como un método especial del método variacional de Rayleigh Ritz para aproximar soluciones.

Fueron Turner, Clough, Martin y **[Topp⁷]** quienes presentaron el MEF en la forma aceptada hoy en día. En su trabajo introdujeron la aplicación de elementos finitos simples (barras y placas triangulares con cargas en su plano) al análisis de estructuras aeronáuticas, utilizando los conceptos de discretizado y funciones de forma.

El trabajo de revisión de **[Oden⁸]** presenta algunas de las contribuciones matemáticas importantes al MEF. Los libros de **[Przemieniecki⁹]** y de Zienkiewicz y **[Holister¹⁰]** presentan el MEF en su aplicación al análisis estructural. El libro de Zienkiewicz y **[Cheung¹¹]** o Zienkiewicz y **[Taylor¹²]** presenta una interpretación amplia del MEF y su aplicación a cualquier problema de campos. En él se demuestra que las ecuaciones de los EF pueden obtenerse utilizando un método de aproximación de pesos residuales, tal como el método de Galerkin o el de

mínimos cuadrados. Esta visión del problema difundió un gran interés entre los matemáticos para la solución de ecuaciones diferenciales lineales y no lineales mediante el MEF, que ha producido una gran cantidad de publicaciones hasta tal punto que hoy en día el MEF está considerado como una de las herramientas más potentes y probadas para la solución de problemas de ingeniería y ciencia aplicada.

Actualmente el método se encuentra en una fase de gran expansión: es ampliamente utilizado en la industria y continúan apareciendo cientos de trabajos de investigación en este campo. Los ordenadores han aportado el medio eficaz de resolver la multitud de ecuaciones que se plantean en el MEF, cuyo desarrollo práctico ha ido caminando parejo de las innovaciones obtenidas en el campo de la arquitectura de los ordenadores. Entre éstas, además de permitir la descentralización de los programas de EF, ha contribuido a favorecer su uso a través de sofisticados paquetes gráficos que facilitan el modelado y la síntesis de resultados. Hoy en día ya se concibe la conexión inteligente entre las técnicas de análisis estructural, las técnicas de diseño (CAD), y las técnicas de fabricación.

1.7.1 Conceptos generales del método.

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento de un continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- **Dominio:** Espacio geométrico donde se va analizar el sistema.
- **Condiciones de contorno:** Variables conocidas y que coincidan el cambio de sistema: cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, fuentes de calor, etc.
- **Incógnitas:** Variables del sistema que deseamos conocer después que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema.

El método de los elementos finitos supone, para solucionar el problema, el dominio discretizado en subdominios denominados elementos. El dominio se divide mediante puntos en el caso lineal, mediante líneas en el caso bidimensional o superficies en el caso tridimensional todas ellas imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de elementos en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos, llamados nodos, que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializa las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de éstos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc., a estas incógnitas se las denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo. **[Introducción al Método de los Elementos Finitos, A. Carnicero p3-6]¹³**

1.8 Introducción a los softwares CAD.

El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD. Para ello se han creado softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.

- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.
- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS Artisan Package e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics **(Lastre, A. [2010])¹⁵**

1.8.1 Solid Works.

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40% **(Calzadilla D. [2005])¹⁶**. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.6).

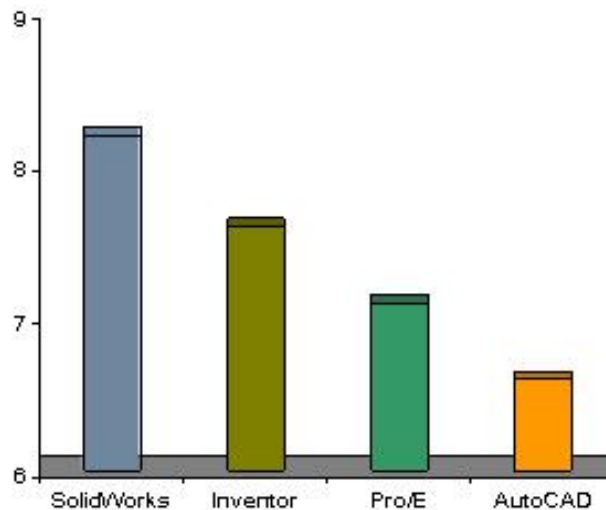


Fig. 1.6 Clasificación de aceptación de los usuarios CAD

Fuente: (Simon Management Group [2009]).

El diseño de la máquina de corte de fibras de henequén se realizó por medio del software Solid Works. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado.

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones se refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa

calcula la deformación y el esfuerzo final.
[\[http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.pdf\]](http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.pdf)¹⁴

1.9 Análisis del Cosmos Works.

Si a las cualidades antes señaladas del Solid Works se le suma el hecho de que se le puede incorporar un paquete de análisis por elementos finitos que tiene por nombre COSMOSWorks (muy similar al COSMOSDesignSTAR, pero mucho más completo), con ello no es necesario exportar el modelo, con lo que se gana en tiempo y se mantiene la integridad del mismo. El modelo puede ser modificado y reanalizado en un momento dentro del mismo software. En lugar de crear manualmente estudios, mallar, ejecutar los diferentes tipos de análisis verificar los resultados. El Solid Works junto con el COSMOSWorks no necesita de gran equipamiento técnico (Calzadilla D. [2005])¹⁶.

Este paquete tiene la capacidad de incluir propiedades de materiales personalizadas a la base de datos de materiales del software, establecer cargas y restricciones en superficies complejas, define contactos como uniones rígidas, sin penetración, zunchado, libre y pared virtual y el análisis de estudios estáticos, de fatiga, vibraciones, no lineal, frecuencia, pandeo, choque y optimización. Además es capaz de realizar los cálculos a los modelos a analizar con una elevada precisión en un corto período de tiempo.

1.9.1 Conceptos básicos de Análisis.

El sistema de análisis por elementos finitos Cosmos Works es un sistema de análisis interactivo con interface en línea al Sistema CAD Solid Works, y a su vez permite la importación de modelos geométricos de otros Sistemas CAD, así como la importación y exportación de modelos FEA (Finit Element Analisis) desde y hacia otros paquetes de análisis por elementos finitos, un generador de malla y un pre y post procesador de elementos finitos, forma parte de una familia amplia de paquetes de análisis a partir del paquete matriz de Cosmos M, derivados a partir de la complementación de este con paquetes CAD para aprovechar las ventajas de estos paquetes gráficos en el diseño de elementos y conjuntos mecánicos. Los elementos se unen a través de puntos llamados nodos. El proceso de dividir el modelo en partes pequeñas se llama mallado (ver figura 1.7). El comportamiento de cada elemento es conocido bajo diferentes condiciones de borde. El método de los elementos finitos usa diferentes tipos de elementos. La respuesta en

cualquier punto en un elemento se interpola a partir de la respuesta en los nodos del elemento. Cada nodo se describe totalmente por varios parámetros que dependen del tipo del análisis y el elemento que se usó (Estrada C. [2006])¹⁷.

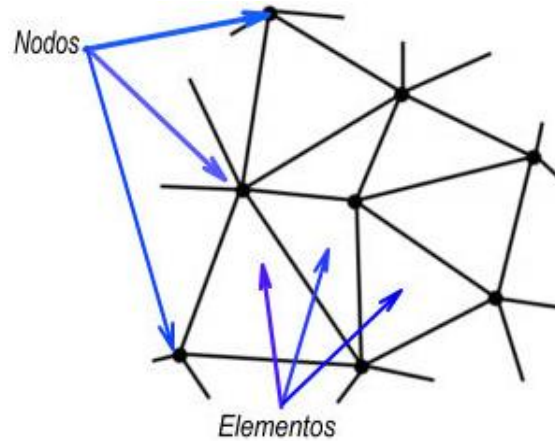


Fig. 1.7 Malla formada por elementos y nodos

1.10 Propiedades de los materiales.

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se consideran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Propiedades mecánicas: Son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma como son:

Resistencia: Capacidad de soportar una carga externa si el metal debe soportarla sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura (kg/mm^2) para cada uno de estos esfuerzos.

Dureza: Propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Los ensayos más importantes para designar la dureza de los metales, son los de penetración, en que se aplica un penetrador (de bola, cono o diamante) sobre la superficie del metal, con una presión y un tiempo determinados, a fin de dejar una huella que depende de la dureza del metal, los métodos más utilizados son los de Brinell, Rockwell y Vickers.

Elasticidad: Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Su determinación tiene gran importancia en el diseño de toda clase de elementos mecánicos, ya que se

debe tener en cuenta que las piezas deben trabajar siempre por debajo del límite elástico, se expresa en kg/mm^2 .

Tenacidad: Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

Plasticidad: Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

Fatiga: Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

Fluencia: Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

A continuación debe tenerse en cuenta las propiedades físicas de los materiales como son:

Calor específico: Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de determinada sustancia. El calor específico varía con la temperatura. En la práctica se considera el calor específico medio en un intervalo de temperaturas.

Dilatación: aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura.

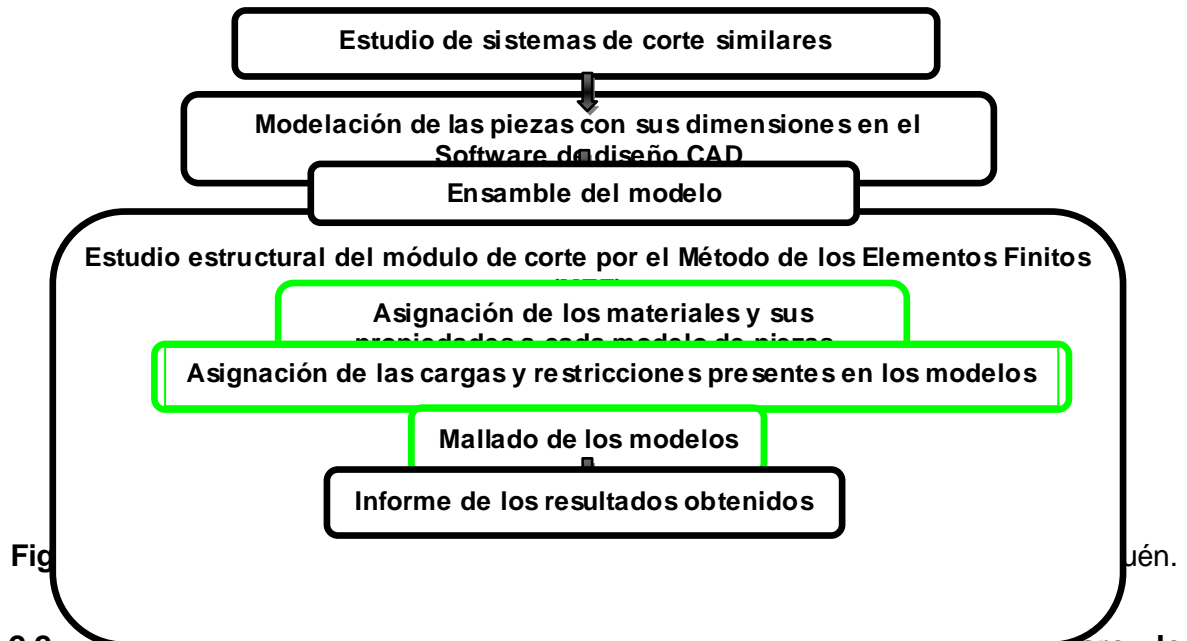
Punto de fusión: Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

Peso específico: El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C .

<http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm#inicio> ¹⁸

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Procedimiento para diseñar el prototipo de módulo de corte de la máquina enfieltradora



2.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el software de diseño CAD.

Para modelar el prototipo se utilizó el software de diseño asistido por computadora Solid Works Premium en su versión 2010, siendo este una potente herramienta de diseño utilizado en el mundo. En dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada una de las piezas con que cuenta el prototipo. Las piezas que conformaron definitivamente el prototipo son las siguientes:

- Estructura o armadura (1)
- Cuchillas de corte (10)
- Porta cuchillas (10)
- Rodamientos (4)
- Chumaceras (4)
- Trasmisión dentada (2)
- Conducto de alimentación de la fibra (1)
- Motor eléctrico (1)

2.3 Ensamble del modelo de la máquina de corte de fibras de henequén.

Para el ensamble de cada uno de los modelos de piezas que conforman el módulo de corte de la máquina enfieltradora se utilizó el módulo de ensamble del software Solid Works Premium 2010 aplicando relaciones de posición entre cada una de las superficies que tienen relación entre sí, de manera tal que quedase el ensamble general del mecanismo de corte.

2.4 Estudio del modelo de prototipo de máquina de corte de fibras de henequén por el Método de los Elementos Finitos.

Una vez modelado el prototipo del módulo de corte se procedió a realizar dos estudios estructurales del modelo por el método de elementos finitos (MEF), siendo este uno de los métodos numéricos de mayor utilización en la actualidad con fines ingenieriles teniendo su implementación en ordenadores mediante softwares especializados. Para esta investigación se utilizó el módulo de cálculo por elementos finitos con que consta el Solid Works Premium 2010, que tiene por nombre *Simulation*, una potente herramienta de cálculo utilizada en los momentos actuales de la ingeniería. Para el análisis se realizaron dos variantes de elementos de corte a las que se le ejecutaron estudios estáticos desde el punto de vista estructural para determinar tensiones, desplazamientos y factores de seguridad de las piezas más importantes. Para un mejor aprovechamiento de los recursos computacionales se simplificaron los modelos estudiados ya que esto es uno de los principios fundamentales en el empleo del método de los elementos finitos (MEF) para efectuar estudios estructurales.

2.5 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada modelo de piezas.

Para la realización de los estudios estáticos se le asignaron los materiales con sus respectivas propiedades mecánicas a cada una de las piezas que conforman el ensamble después de un estudio previo de cada material. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*) como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Materiales empleados en cada componente. [19]

Componentes	Material empleado
Estructura o armadura	AISI 1020
Cuchillas de corte	AISI 1340
Porta cuchillas	AISI 1020
Trasmisión dentada	AISI 1020
Conducto de alimentación de la fibra	AISI 1023

2.6 Asignación de los tipos de contactos, cargas y restricciones presentes en los modelos.

Para una simulación del modelo lo más cercano a la realidad se tuvo en cuenta los diferentes tipos de contactos entre componentes creando contactos sin penetración entre las superficies en el estudio del módulo de corte de la máquina enfieltradora. Para el resto de las partes de los modelos se simularon los contactos como una unión rígida global.

Luego de realizar un estudio para determinar la fuerza que actúa sobre el modelo y su valor numérico. Para ello se tuvo en cuenta el momento torsor que es producido por el motor eléctrico y transmitido al porta cuchillas, así como la fuerza circunferencial que aparece debido al propio momento torsor que proviene del motor eléctrico, como se muestra en la figura 2.2. (ver figura 2.2).

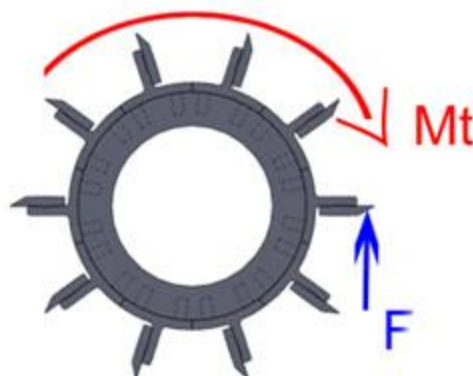


Fig. 2.2 Cargas que actúan sobre el modelo.

2.7 Mallado de los modelos.

En este paso se realiza una de las operaciones de mayor importancia en un análisis por elementos finitos y de mucho cuidado, de ella dependen mucho los resultados finales de la simulación y su posterior interpretación. En el estudio se realizó un control de mallado a las piezas que no tenían una función significativa en el estudio estático y que diferían en grandes proporciones por la diferencia de tamaño de unas respecto otras. En el mallado se tiene en cuenta el tamaño del elemento y la tolerancia entre elementos para el estudio se realizó un mallado con elementos sólidos tetraédricos.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA CORTADORA DE FIBRA DE HENEQUÉN.

Después de haber realizado un estudio de las funciones que debe realizar la máquina de corte de fibra, su clasificación, ambiente de trabajo y diferentes aspectos desde el punto de vista de diseño. Teniendo en cuenta para ello la resistencia a la tracción de la fibras de henequén siendo esta resistencia inferior a la resistencia a la compresión del material empleado para los cálculos mediante el método de los elementos finitos (MEF).

3.1 Variantes de diseño.

Durante el proceso de concepción del prototipo a desarrollar durante la investigación se tuvieron en cuenta tres variantes posibles como se muestra en las figuras 3.1 a la 3.3.

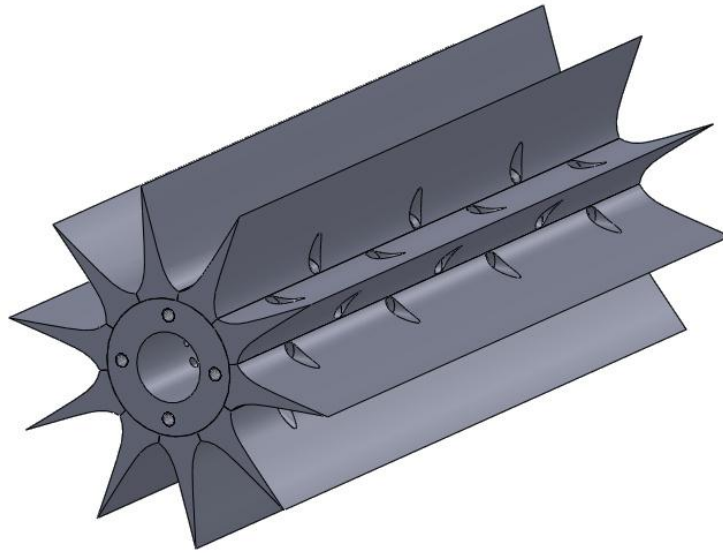


Fig. 3.1 Representación de la primera variante de diseño del prototipo [26, 27]

En el caso de esta variante como se muestra en la figura 3.1 el órgano de corte cuenta con un centro donde se acoplan los elementos de cortes en este caso 10, estos elementos son fijados mediante tornillos al núcleo, sin embargo esta variante tiene la desventaja de no poderse aprovechar el material de la cuchilla al máximo pues no cuenta con un mecanismo de regulación que permita el mayor aprovechamiento del material. Esto esta condicionado porque al producirse un desgaste en los elementos de corte aumenta la dimensión entre cuchillas hasta llegar al máximo permisible y no poder cumplir con el destino de servicio.

Por otro lado en la figura 3.2 se muestra la representación gráfica de la segunda variante la cual a diferencia de la primera cuenta con porta cuchillas que van acoplados al núcleo con tornillos de fijación, la cuchilla se fija al porta cuchilla mediante uniones atornilladas, para lograr un mejor aprovechamiento del material de la cuchilla si tanto en un elemento como el otro se crearon estrías con el fin de regular la distancia de corte, sin embargo esta variante esta limitada ya que la distancia que a regular se prefija por las dimensiones de las estrías, es decir que la distancia existente de valle a valle o de cresta a cresta es la regulación que se puede lograr.

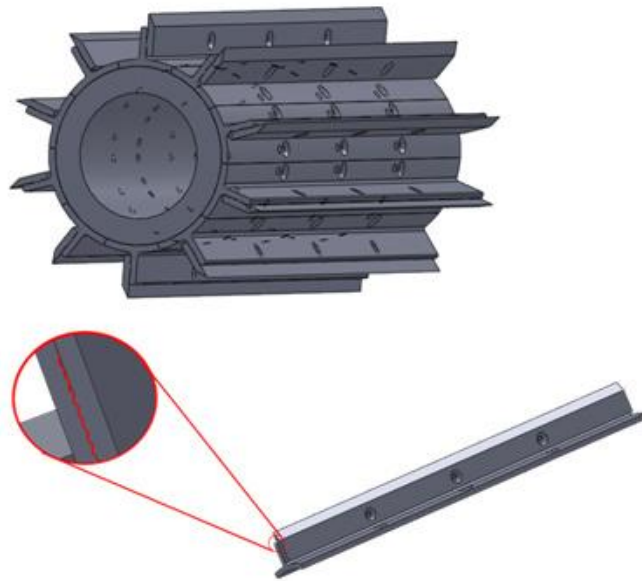


Fig. 3.2 Representación de la segunda variante de diseño del prototipo [26, 27]
En el caso de la tercera variante (ver figura 3.3) la cual da respuesta a las deficiencias señaladas en las dos variantes anteriores cuenta con un mecanismo de regulación de un tornillo hexagonal el cual regula con mayor exactitud la distancia de la cuchilla por lo que esta variante es la que se modeló y simula mediante el Método de los Elementos Finitos (MEF).

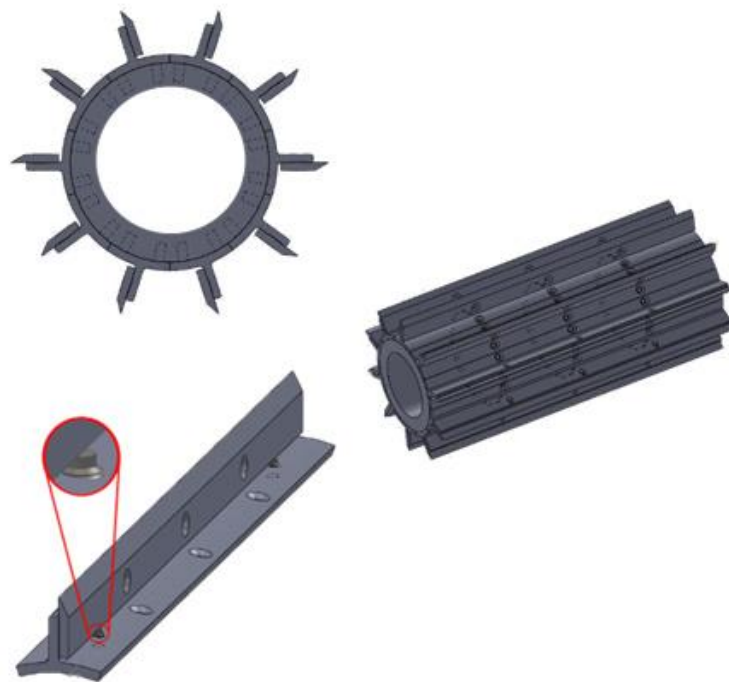


Fig. 3.3 Representación de la tercera variante de diseño del prototipo [26, 27]

3.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Las piezas pertenecientes al prototipo de cortadora de fibra de henequén se modelaron en software de diseño SolidWorks Premium 2010. Dicha máquina cuenta con un modelo de pieza que representa los elementos de corte o cuchillas (ver figura 3.4).



Fig. 3.4 Representación del modelo 3D del elemento de corte de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

La cuchilla cuenta con dimensiones de 350x24 mm de largo y ancho respectivamente y el espesor es de 4 mm, posee 3 ranuras por las cuales será fijada al porta cuchilla, el ángulo de corte de este elemento es de 27°. El modelo de piezas que representa el porta cuchillas tiene la geometría que se muestra en la figura 3.5, cuyo espesor es de 4.00 mm. (ver figura 3.5)

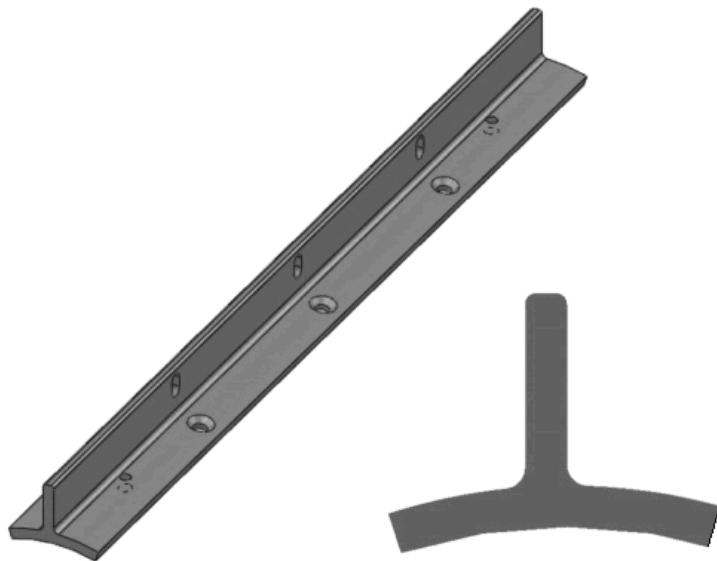


Fig. 3.5 Representación del modelo 3D del porta cuchilla de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

Los rodamientos empleados para el diseño del prototipo de la máquina de corte de fibra de Henequén fueron seleccionados de la biblioteca de elementos normalizados con que cuenta el SolidWork Premium 2010 ®, la selección está basada en las normas DIM, en la figura 3.6 se muestra dicho rodamiento.



Fig. 3.6 Representación del modelo 3D del rodamiento de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

Los rodamientos mencionados anteriormente se acoplan en la chumacera que se muestra en la figura 3.7, la cual posee 3 orificios donde se fija el sello para impedir la entrada de fibras y cuerpos extraños que dañen los rodamientos o impidan el correcto funcionamiento de estos.

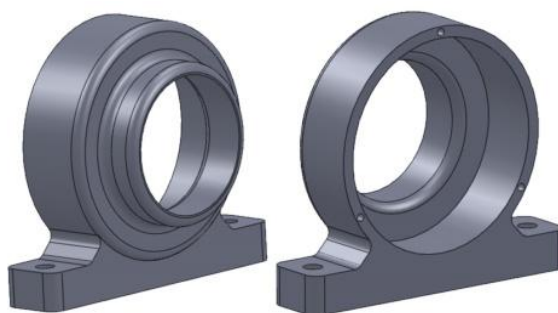


Fig. 3.7 Representación del modelo 3D de la chumacera de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

La transmisión del momento torsor desde motor y hasta el órgano de trabajo es de vital importancia en el cumplimiento del destino de servicio de la máquina de corte, para que esto sea posible se ha empleado dos ruedas dentadas de dientes rectos y un chavetero para asegurar la trasmisión como se muestra en la figura 3.8.

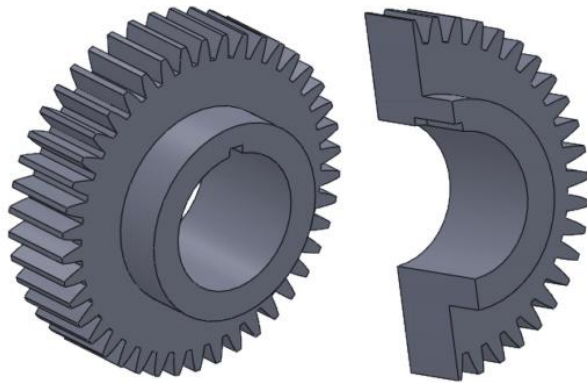


Fig. 3.8 Representación del modelo 3D de las ruedas dentadas de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

Los porta cuchillas son fijados mediante tornillos a un núcleo el cual se representa en la figura 3.9, este eje está formado por un núcleo hueco en el cual se fijan todos los elementos implicados en el corte de la fibra, mientras que en los extremo se acoplan los ejes que a su vez se ensamblan con los rodamientos.

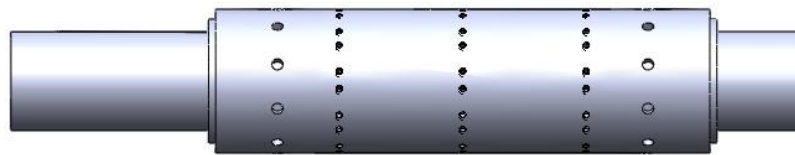


Fig. 3.9 Representación del modelo 3D del eje de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

El prototipo también tiene presente un conducto de alimentación por el cual ingresa la fibra larga para ser convertida en secciones de 5.00 ± 1 mm, se modeló con chapas metálicas de 1.5 mm de espesor debido a que las cargas a que estará sometido este canal son despreciables, lo antes dicho se muestra en la figura 3.10.

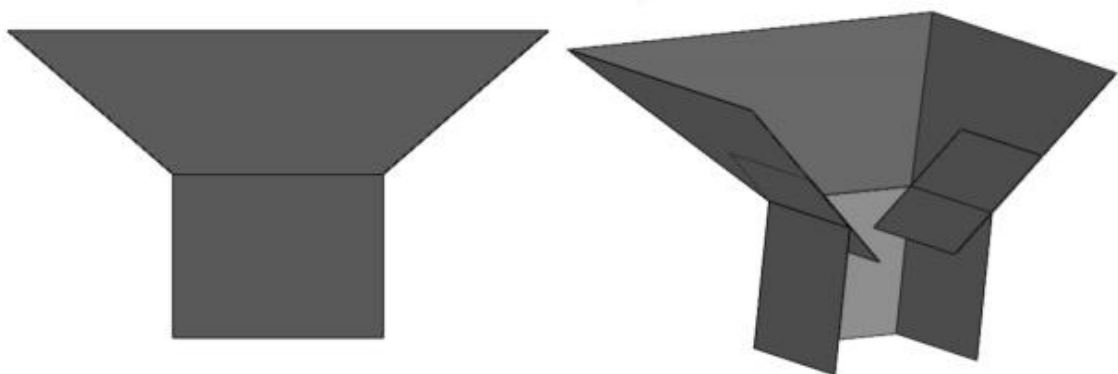


Fig. 3.10 Representación del modelo 3D del conducto de alimentación de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

Los elementos expuestos anteriormente en las figuras 3.4 a la 3.10 tendrán como soporte o armadura la que se expone en la figura 3.8, la cual está formada por perfil "L" los cuales fueron escogidos de la biblioteca de diseño con que cuenta el SolidWork Premium 2010 ®, la selección está basada en las normas DIM.

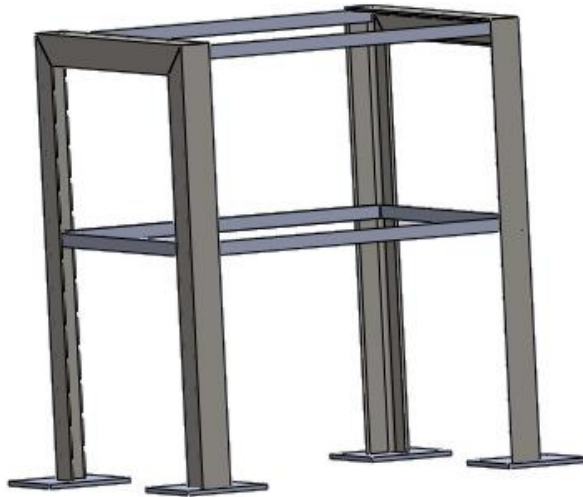


Fig. 3.11 Representación del modelo 3D de la armadura de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

3.3 Análisis del ensamble del modelo de prototipo de máquina de corte de fibras de Henequén.

Para el ensamble del prototipo se utilizaron todas las piezas modeladas y se establecieron las relaciones de posición de concentricidad, distancia, coincidencia entre cada una de las piezas que tienen relaciones entre sí, lo antes planteado se puede observar en el modelo en 3D del prototipo en la figura 3.12.

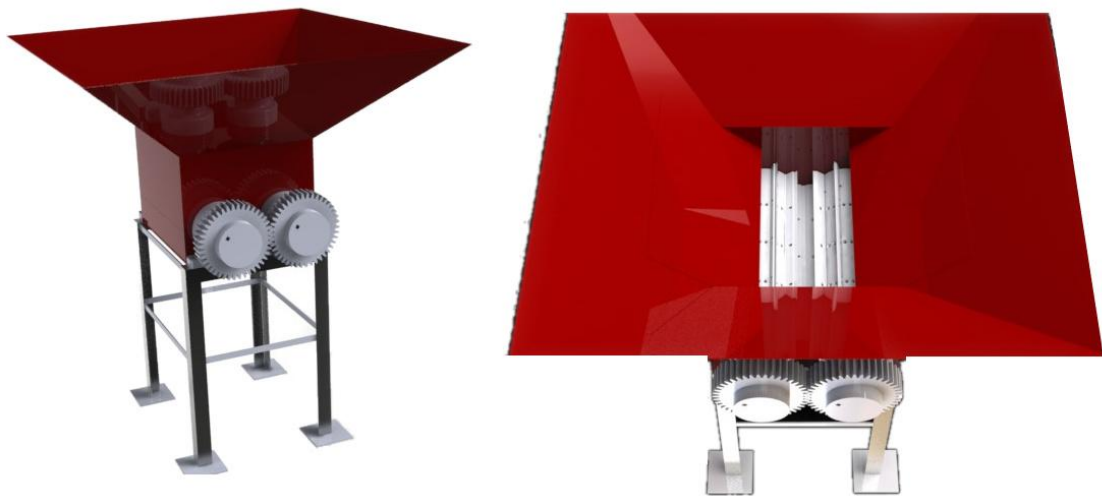


Fig. 3.12 Representación del modelo 3D del ensamble de la máquina de corte de fibras de Henequén [26, 27]

3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.

Se tuvo en cuenta las propiedades físico-mecánicas de los materiales utilizados en el prototipo de máquina de corte fibra de Henequén, valorando el valor del módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, densidad del material, el límite a la tracción, límite a la compresión y el límite elástico. También se obtiene el porcentaje de carbono y los elementos utilizados como aleantes. Las propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1020 (American Iron and Steel Institute) se pueden observar en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 [18, 19, 24]

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad en X	200000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.29	N/D
Módulo cortante en XY	77000	N/mm ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción en X	420.51	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	351.57	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.5e-005	/K
Conductividad térmica en X	47	W/(m·K)

Calor específico	420	J/(kg·K)
------------------	-----	----------

Los valores reflejados en la tabla 3.1 corresponden a los elementos componentes de la máquina de corte es decir estructura o armadura, chumaceras y transmisión dentada no siendo éste el caso del material empleado en las cuchillas de corte las cuales están sometidas a fricción constante durante el cumplimiento del destino de servicio, las propiedades del acero en este caso pertenecen a la aleación de acero con manganeso según AISI 1340 lo que aumenta la resistencia a la fricción de las cuchillas de corte, estos valores se reflejan en la tabla 3.2 y se tomaron de la AISI (American Iron and Steel Institute).

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del acero aleado al manganeso AISI 1340 [18, 19, 24]

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad en X	200000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.29	N/D
Módulo cortante en XY	77000	N/mm ²
Densidad de masa	7900	kg/m ³
Límite de tracción en X	420.51	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	351.57	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.5e-005	/K
Conductividad térmica en X	47	W/(m·K)
Calor específico	420	J/(kg·K)

En el caso de los porta cuchillas el material empleado corresponde a un acero AISI 4340 las propiedades de este material quedan evidenciadas en la tabla 3.3, mientras que en el caso del conducto de alimentación las propiedades del material empleado pertenecen al acero AISI 1023 las cuales se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del acero AISI 4340 [18, 19, 25]

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad en X	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.285	N/D
Módulo cortante en XY	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción en X	745	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	470	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.23e-005	/K
Conductividad térmica en X	44.5	W/(m·K)
Calor específico	475	J/(kg·K)

Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del acero AISI 1023 [18, 19, 24]

Propiedad mecánica	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad en X	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0.29	N/D
Módulo cortante en XY	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7858	kg/m ³
Límite de tracción en X	425	N/mm ²
Límite de compresión en X		N/mm ²
Límite elástico	282.69	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica en X	1.2e-005	/K
Conductividad térmica en X	52	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)
Módulo de elasticidad en X	205000	N/mm ²

3.5 Análisis de los tipos de contactos entre componentes.

Para el análisis por elementos finitos se tuvieron en cuenta diferentes contactos existentes entre los componentes modelados. Entre las superficies con una relación considerada de importancia como son la cuchilla y el porta cuchilla que entran en contacto entre sí se simularon como contactos sin penetración, mientras que el resto de los contactos se consideraron como unión rígida global.

3.6 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.

Las cargas que se encuentran presente en el estudio son equivalentes a N la cual se deriva de la fuerza producida durante el corte de la fibra de henequén y esta se proyecta sobre el filo de corte de la cuchilla como se muestra en la figura 3.13, está fuerza se considera que actúa perpendicular a la superficie con un valor de 2128 N, siendo este valor inferior al módulo de elasticidad del material. Mientras que las restricciones se simularon en el estudio de la máquina de corte de fibras de henequén como una geometría fija en la superficie que representa los tornillos de fijación al porta cuchillas.

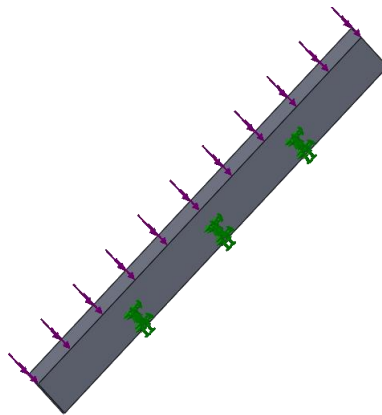


Fig. 3.13 Representación de las restricciones y fuerzas actuantes en el modelo [28, 29]

3.7 Mallado de los modelos.

Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo, primeramente se realizó un estudio estático para determinar el comportamiento de la máquina con las fuerzas que ejercen las fibras de henequén. Se excluyeron del estudio a algunas piezas consideradas no significativas para el estudio. Para el mallado se realizó un mallado sólido tetraédrico de alto orden con un tamaño de elementos 5.09 mm y una tolerancia 0,254 mm por elementos, con un total de 2813 elementos y 6128 nodos. Vea la representación del mallado de este estudio en la figura 3.14.



Fig. 3.14 Representación gráfica del mallado del modelo [28, 29]

3.8 Análisis de los resultados obtenidos.

En los informes de los estudios realizados se tomaron en cuenta según los resultados de un estudio estructural de este tipo las tensiones equivalentes de Von Mises, las tensiones normales en el eje de compresión (X), los desplazamientos resultantes, los desplazamientos (X) y el factor de seguridad de la cuchilla. En el estudio de los elementos de cortantes de la máquina de corte de fibras de henequén se obtuvieron unas tensiones máximas de Von Mises de 110,6 MPa en los orificios de fijación como se muestra e la figura 3.15 encontrándose estas tensiones por debajo del límite elástico del material de la cuchilla.

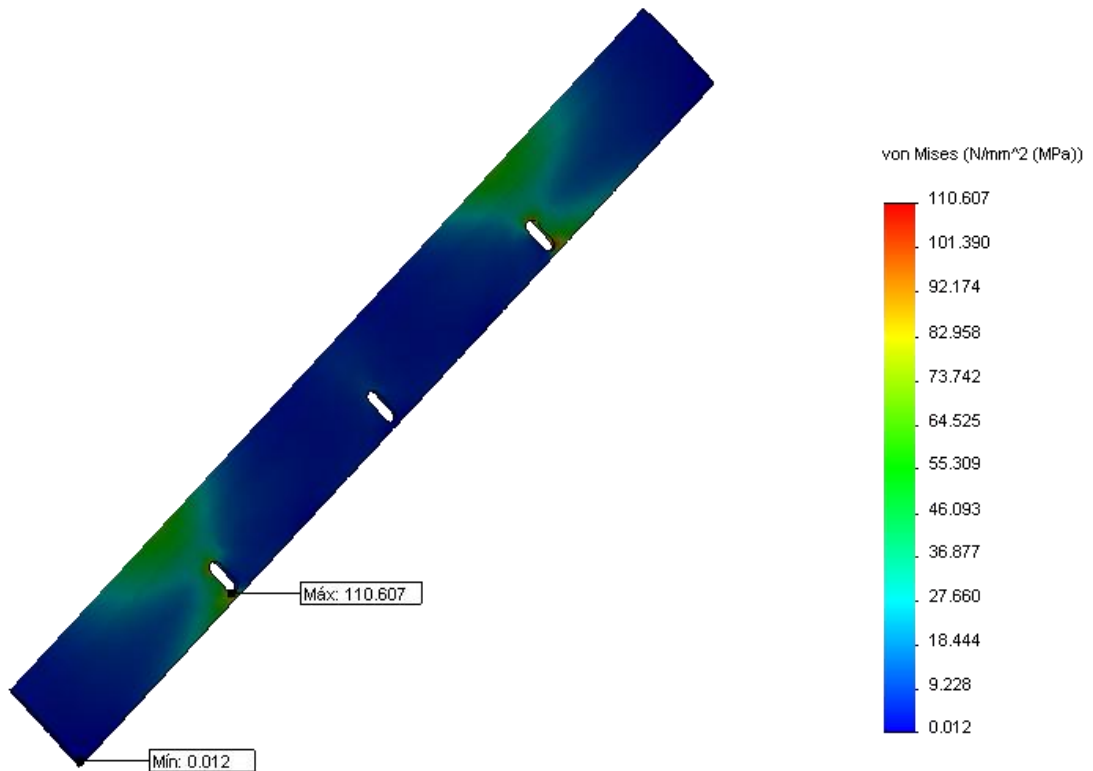


Fig. 3.15 Representación gráfica de Tensiones de von Mises en el estudio de la cuchilla [28, 29]

Las tensiones normales en el eje X obtenidas en este estudio estuvieron en un rango de -35.1 MPa a $18,2$ MPa interpretándose como las tensiones máximas las de $35,1$ MPa estando con signo negativo por encontrarse en dirección contraria al eje X. Estas tensiones se encuentran en uno de los orificios de fijación (ver figura 3.16), las tensiones están por debajo del límite elástico del material de la cuchilla.

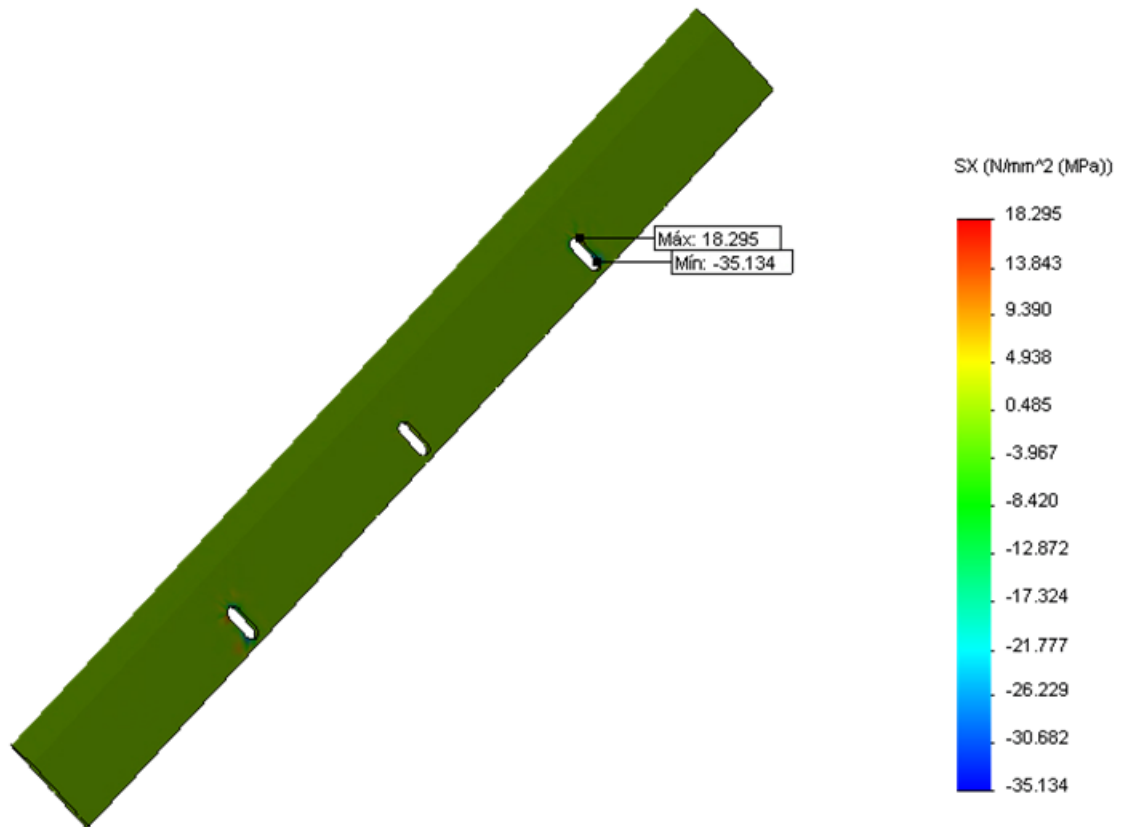


Fig. 3.16 Representación gráfica de Tensiones en el eje X en el estudio de la cuchilla [28, 29]

Los desplazamientos resultantes de este estudio tuvieron un máximo desplazamiento de 0,1087 mm como era de esperar en la superficie de corte de la cuchilla (ver figura 3.17), mientras que los desplazamientos máximos en el eje X fueron de -0.008 mm en dirección contraria al eje (ver figura 3.18).

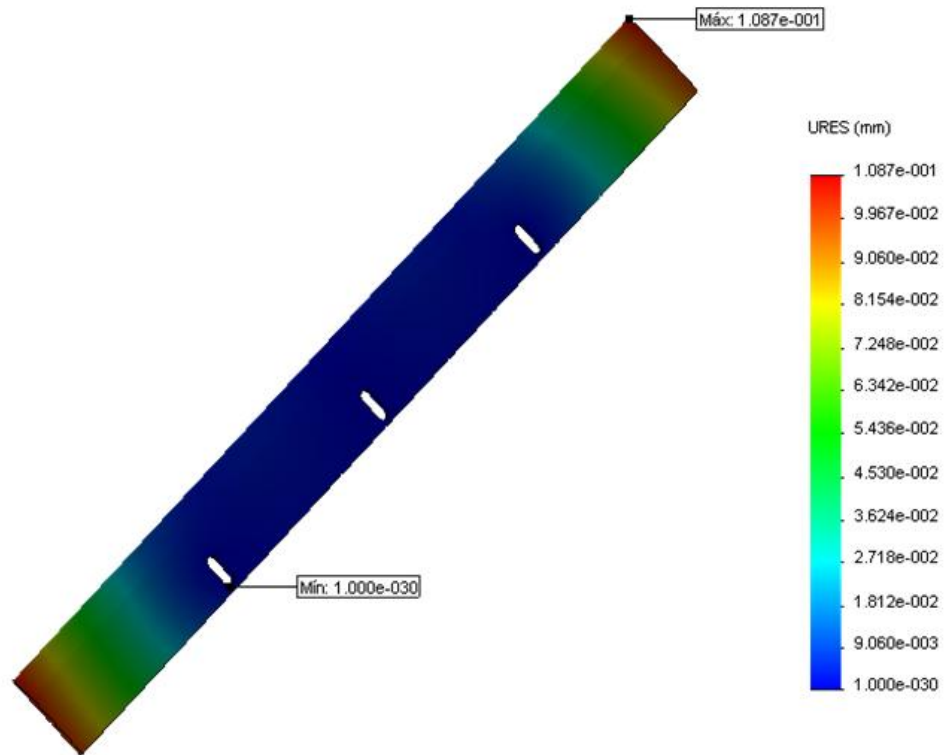


Fig. 3.17 Representación gráfica de los desplazamientos resultantes [28, 29]

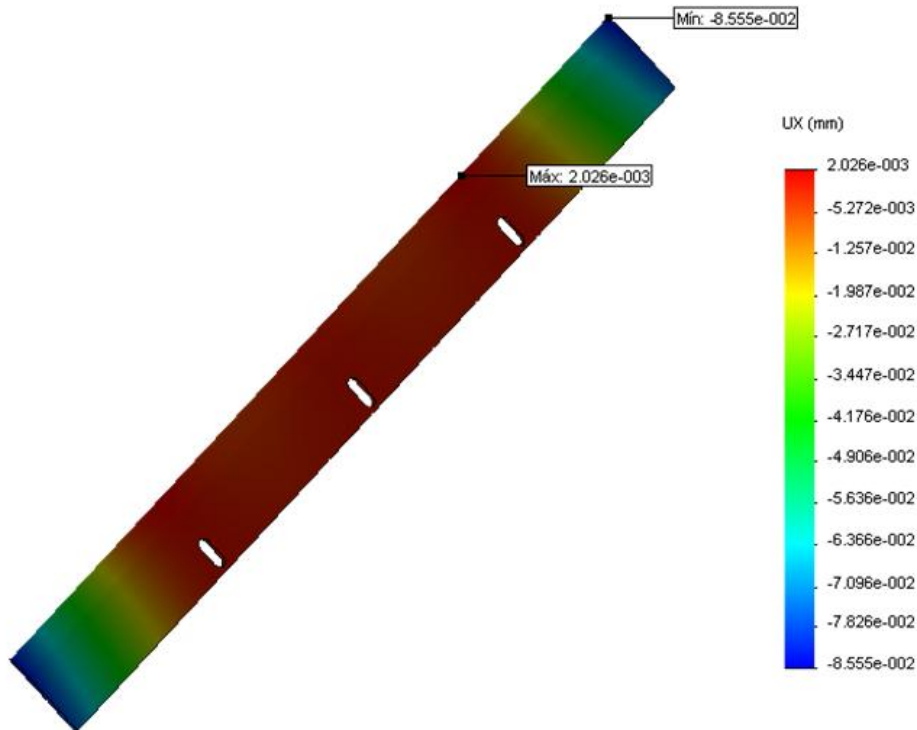


Fig. 3.18 Representación gráfica de los desplazamientos resultantes en el eje X [28, 29]

El análisis de los factores de seguridad es de vital importancia durante la fase de diseño de cualquier máquina, elemento o piezas. En este caso se analizó el factor

de seguridad de la cuchilla de corte de la máquina de corte de fibras de henequén, la representación gráfica de este factor de seguridad se muestra en la figura 3.19.

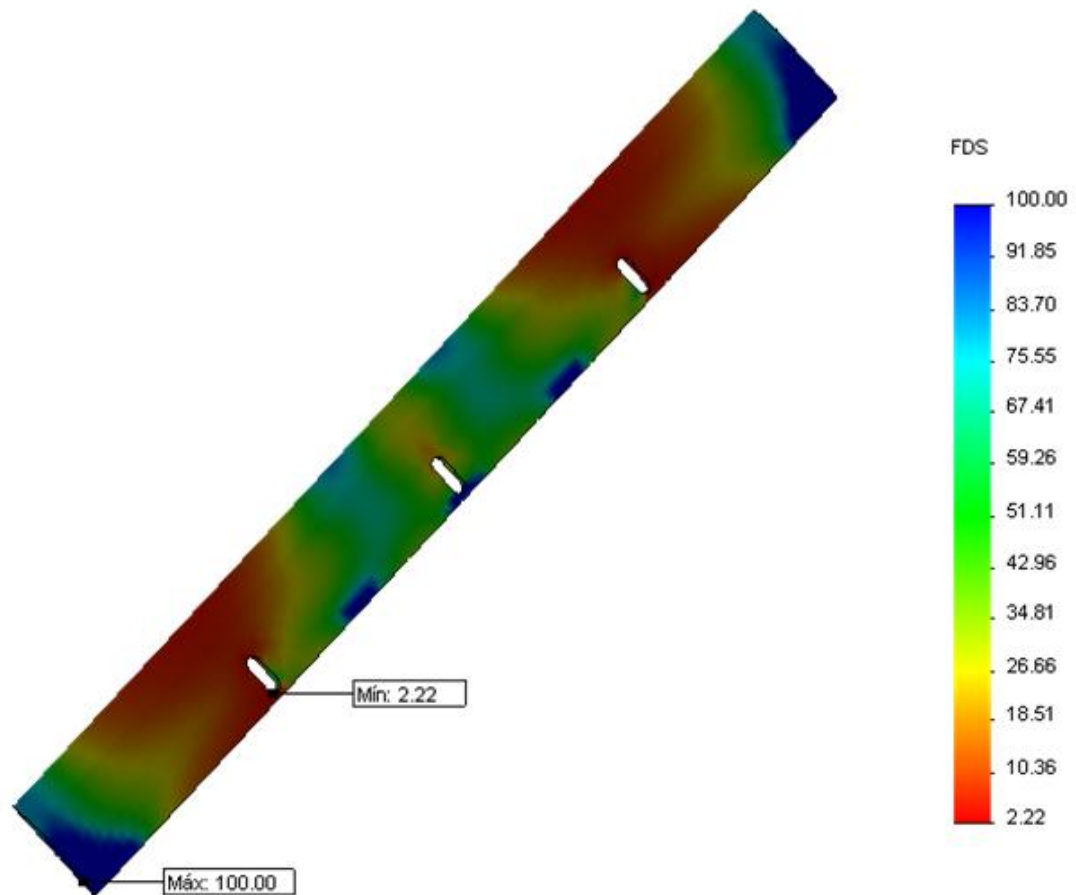


Fig. 3.19 Representación gráfica del factor de seguridad [28, 29]

Para la cuchilla se encontró un factor de seguridad mínimo de 2,22 siendo este mayor que lo establecido para el diseño de este tipo de elementos (ver figura 3.19). Este valor se encontró en una de las aristas de los orificios de fijación, donde se encuentran la mayor concentración de tensiones para esta pieza.

Los valores obtenidos en este estudio indican que los elementos de corte podrán soportar las cargas a las que estarán sometidos durante el cumplimiento de su destino de servicio, sin embargo se hizo necesario realizar otro análisis del tipo estático pero en esta ocasión aplicando las cargas como un momento torsor que actúa sobre la cuchilla y el porta cuchilla, como se muestra en la figura 3.20,

mientras que en la figura 3.21 se muestra las restricciones que se tuvieron en cuenta para modelar este análisis, la fuerza que se simuló equivale a 203,4 N-m.

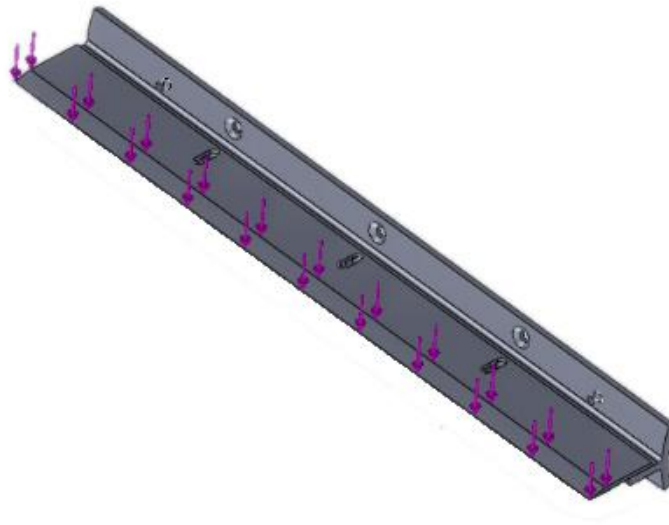


Fig. 3.20 Representación de las fuerzas actuantes en el modelo [28, 29]

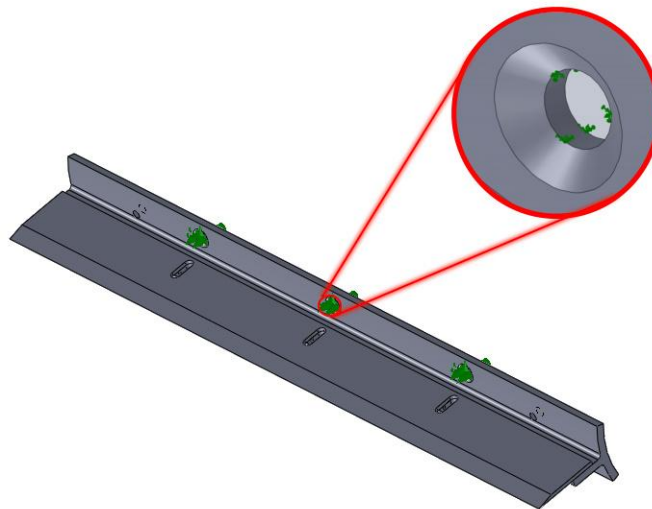


Fig. 3.21 Representación de las restricciones y fuerzas actuantes en el modelo [28, 29]

Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo, primeramente se realizó un estudio estático para determinar el comportamiento de la máquina con las fuerzas que ejercen las fibras de henequén. Se excluyeron del estudio a algunas piezas consideradas no significativas para el estudio. Para el mallado se realizó un mallado sólido tetraédrico de alto orden con un tamaño de elementos 5.055 mm y una tolerancia 0.252 mm por elementos, con un total de 10070 elementos y 19418 nodos. Vea la representación del mallado de este estudio en la figura 3.22.



Fig. 3.22 Representación gráfica del mallado del modelo [28, 29]

En los resultados del estudio estructural de este tipo las tensiones equivalentes de Von Mises, las tensiones normales en el eje de compresión (X), los desplazamientos resultantes, los desplazamientos (X) y el factor de seguridad de la cuchilla y el porta cuchilla. Se obtuvieron valores de tensiones máximas de Von Mises de 260 MPa como se muestra en la figura 3.23 encontrándose estas tensiones por debajo del límite elástico de los materiales empleados.

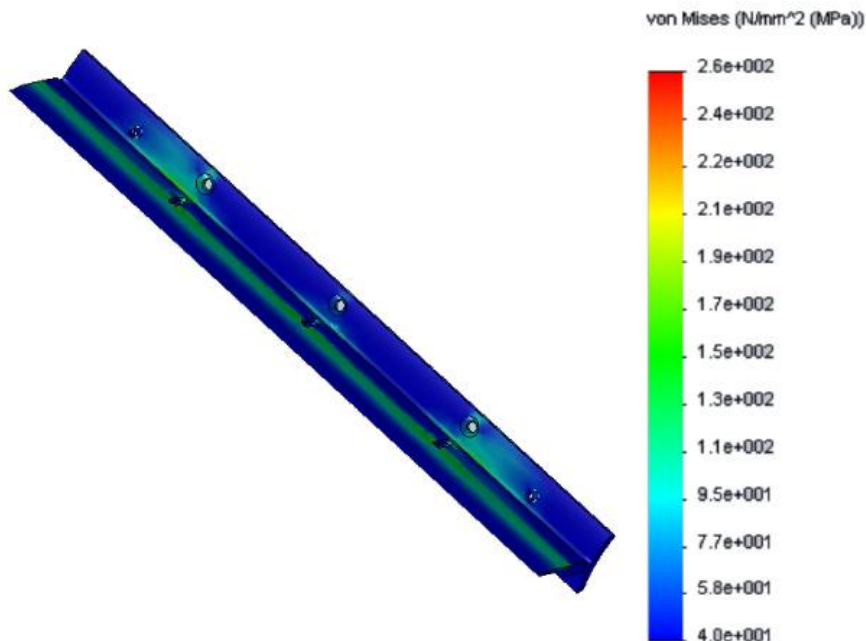


Fig. 3.23 Representación gráfica del factor de seguridad [28, 29]

Las tensiones normales en el eje X obtenidas en este estudio estuvieron en un rango de 40 MPa a 260 MPa interpretándose como las tensiones máximas las de 260 MPa. Estas tensiones se encuentran en uno de los orificios de fijación (ver figura 3.24), las tensiones están por debajo del límite elástico de los materiales.

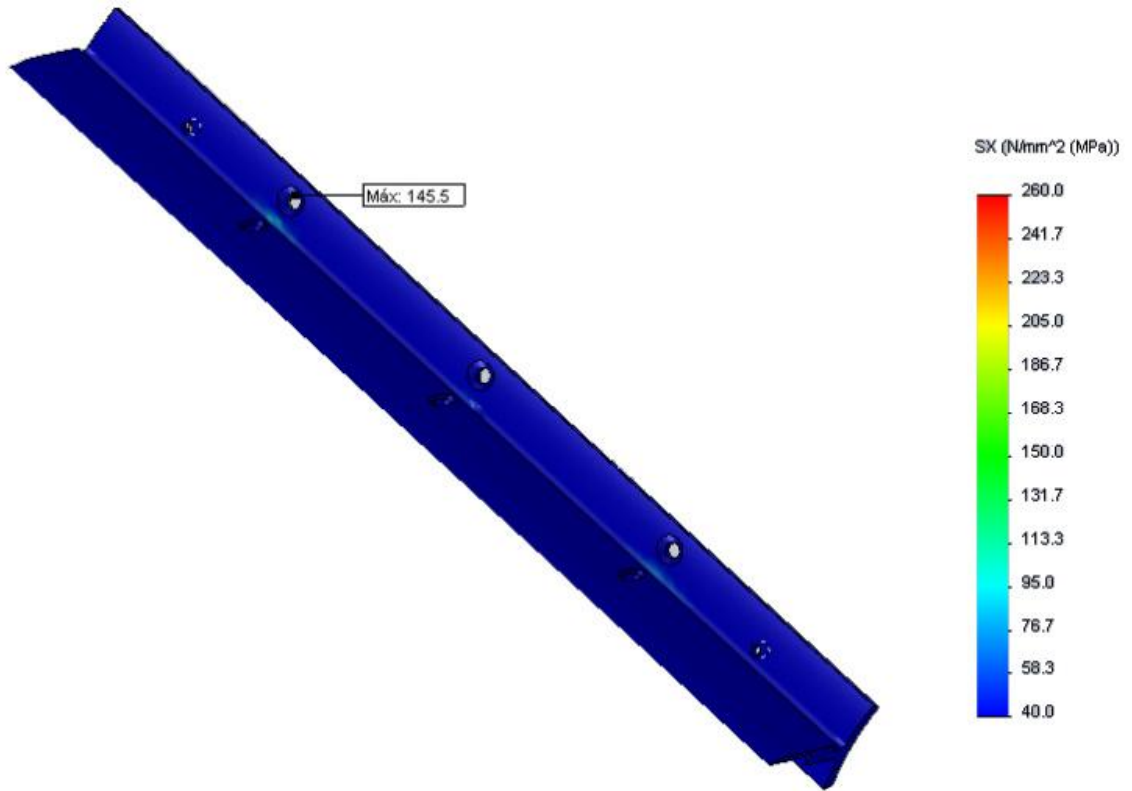


Fig. 3.24 Representación gráfica del factor de seguridad [28, 29]

Los desplazamientos resultantes de este estudio tuvieron un máximo desplazamiento de 0,482 mm como era de esperar en la superficie de corte de la cuchilla (ver figura 3.25), mientras que los desplazamientos máximos en el eje X fueron de 0.132 mm en dirección contraria al eje (ver figura 3.26).

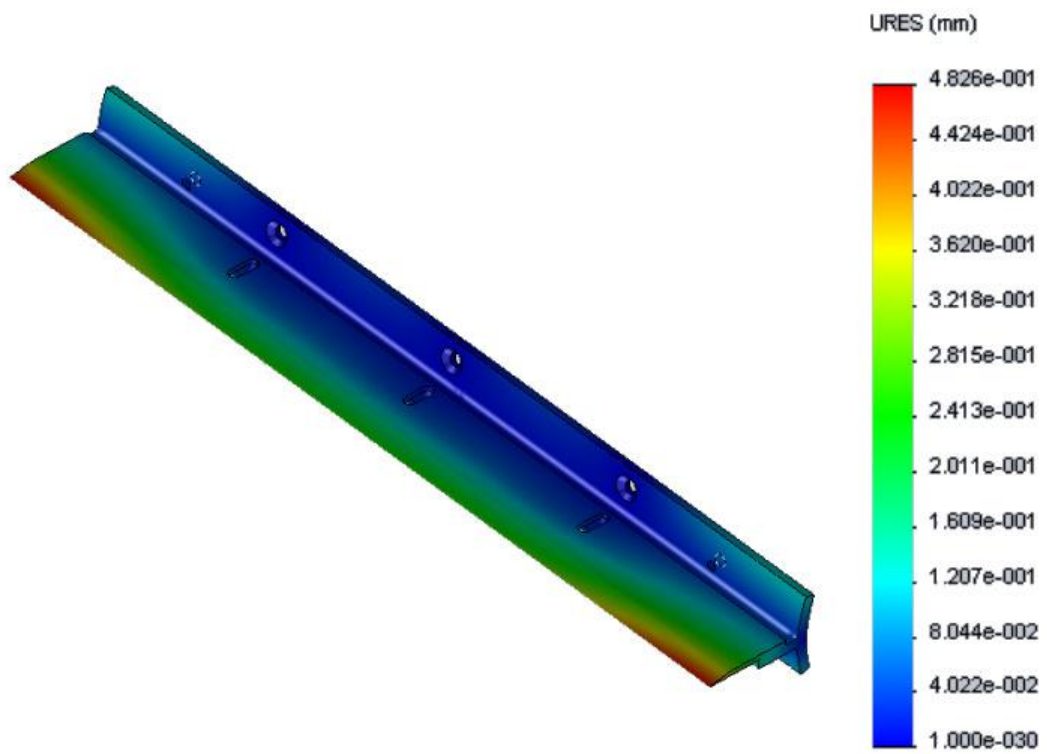


Fig. 3.25 Representación gráfica los desplazamientos resultantes [28, 29]

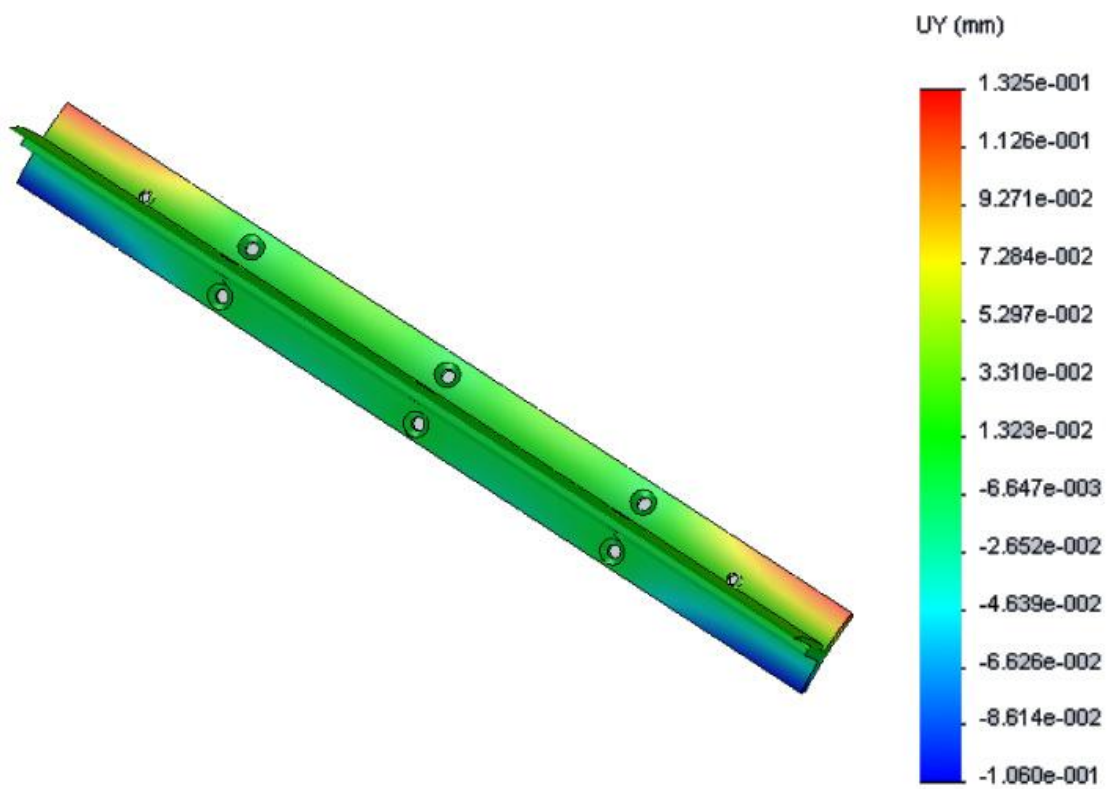


Fig. 3.26 Representación gráfica de los desplazamientos en el eje X [28, 29]

Para el modelo se encontró un factor de seguridad mínimo de 2 siendo este mayor que lo establecido para el diseño de estos tipos de elementos (ver figura 3.27). Este valor se encontró en los extremos del porta cuchillas.

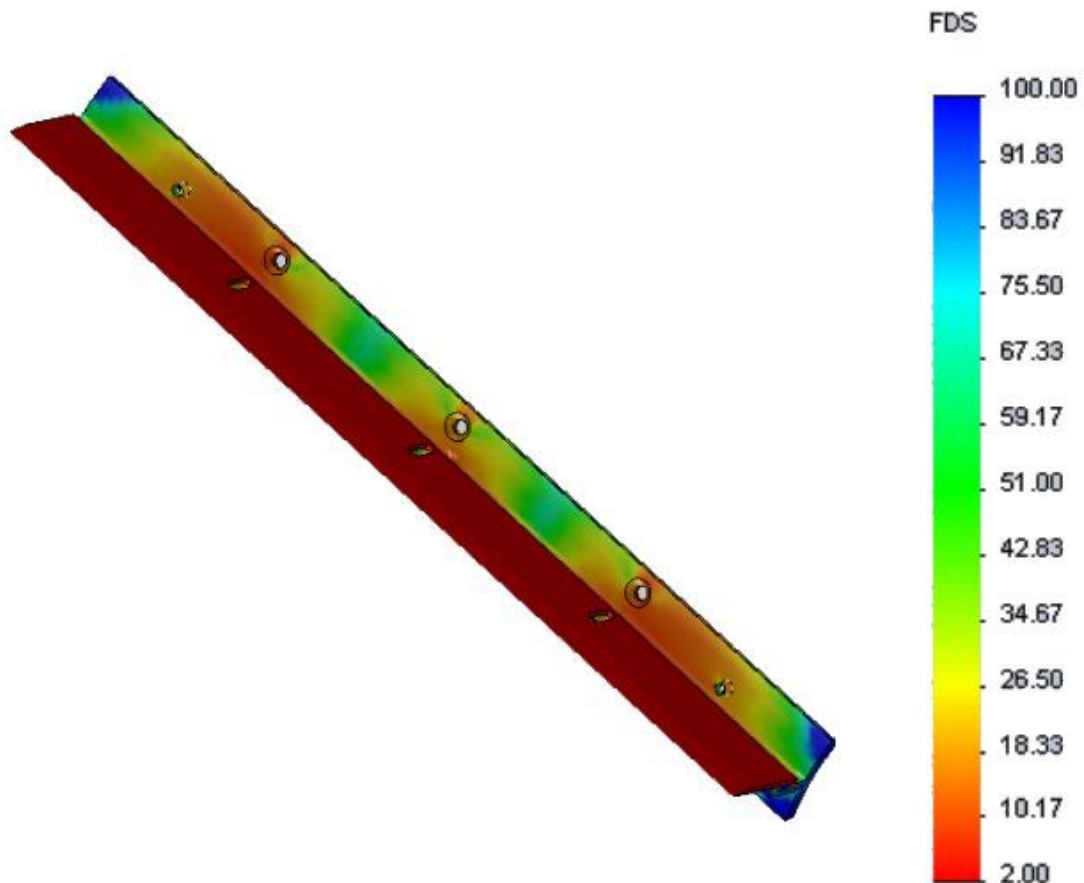


Fig. 3.26 Representación gráfica del factor de seguridad [28, 29]

3.9 Selección del motor impulsor del mecanismo de corte.

Se parte de las condiciones iniciales, a partir de las propiedades mecánicas del material de la cuchilla en este caso acero al manganeso. Se tiene así:

Las propiedades del material:

Designación del material (Número AISI): 1340 OQT 400

Resistencia a la tensión S_u : 1960 MPa

Resistencia de fluencia S_y : 1610 MPa

Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas): 8

Por ser el material dúctil (>5%) y estar sometido a una carga dinámica, se toma como factor de diseño, $N=2$, según Diseño de Elementos de Máquina (Robert L Mott, 4ta edición, pag: 185)

Se tiene entonces:

$$\tau_d = \frac{0,577S_y}{N}$$

Esfuerzo cortante de diseño-par torsional constante

Reemplazando valores de S_y y N :

$\tau_d = 464,485 \text{ MPa}$ Esfuerzo cortante de diseño

Ahora, se sabe que:

$$\tau_d = \frac{F}{A_s}$$

F: Fuerza cortante

As: Area cortante

$$F = \tau_d * A_s$$

Y que:

$$A_s = 0.1 \text{ mm} * 350 \text{ mm} = 35 \text{ mm}^2$$

Entonces:

$$F = \tau_d * A_s$$

$$F = 464,485 \text{ MPa} * 35 \text{ mm}^2$$

$$F = 16256,975 \text{ N}$$

Ahora bien, el par de torsión, T, está definido como:

$$T = F * R$$

F: Fuerza

R: Radio

$$T = 16256,975 \text{ N} * 0,0809 \text{ m}$$

$$T = 1315,1892 \text{ Nm}$$

Ahora con este valor se puede utilizar la ecuación que relaciona la velocidad del motor, n, establecida en 1150 RPM, y el Par de Torsion, se tiene entonces, que la potencia del motor es igual a:

$$P = T * n \quad n: \text{velocidad del motor en rad/s}$$

$$P = 1315,1892 \text{ Nm} * 120, 4277 \text{ rad/s}$$

$$P = 158,3852 \text{ KW}$$

Con la ayuda de tablas se puede elegir el motor para el mecanismo partiendo de la potencia requerida, velocidad, y considerando que las instalaciones industriales, y las de grandes comercios, usan corriente trifásica (115VAC, 60 HZ) para las cargas eléctricas mayores, entonces es factible la opción de un motor trifásico. Se hace notar que para obtener una velocidad de 1150 RPM hay que inclinarse por el número de polos, por lo que el motor que se ha elegido es el enmarcado en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Características eléctricas motor trifásico IP55

Potência		Carcaça	RPM	Corrente nominal em 220V (A)	Corrente com rotor bloqueado Ip / In	Conjugado nominal Cn (kgfm)	Conjugado com rotor bloqueado Cp / Cn	Conjugado máximo Cmax./Cn	Rendimento η%			Fator de potência Cos φ			Fator de serviço F S	Momento de inércia J (kgm²)	Tempo com rotor bloqueado (s) a quente	Nivel médio de pressão dB (A)	Peso aprox. (kg)
cv	kW								% da potência nominal										
									50	75	100	50	75	1a00					

6 Pólos - 60 Hz

150	110	315S/M	1185	374	6,5	90,4	2,2	2,2	91,0	92,3	93,0	0,69	0,79	0,83	1,00	3,67719	25	73	820
175	132	315S/M	1185	445	7,0	108,0	2,4	2,4	91,5	92,5	93,7	0,68	0,78	0,83	1,00	5,28597	23	73	987
200	150	315S/M	1185	506	7,0	123,0	2,4	2,4	90,4	92,5	93,7	0,68	0,78	0,83	1,00	5,28597	26	73	987
200	150	355M/L	1190	513	6,5	123,0	1,8	2,2	92,5	93,3	93,5	0,70	0,79	0,82	1,00	8,57816	96	77	1303
250	185	355M/L	1190	646	6,2	151,0	1,8	2,2	92,7	93,7	94,0	0,65	0,76	0,80	1,00	9,53129	74	77	1367
300	220	355M/L	1190	754	6,9	180,0	1,8	2,2	93,0	94,5	94,5	0,66	0,76	0,81	1,00	10,961	64	77	1572
350	260	355M/L	1190	910	6,5	213,0	2,0	2,1	93,0	94,7	94,9	0,62	0,73	0,79	1,00	13,8204	73	77	1702
400	300	355M/L	1190	1000	6,3	246,0	1,7	2,1	93,7	94,5	94,7	0,71	0,79	0,83	1,00	14,7735	63	77	1841
450	330	355M/L	1190	1110	6,2	270,0	1,6	1,9	93,9	94,7	95,0	0,70	0,78	0,82	1,00	14,7735	58	77	1841