



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADOS DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

**“DISEÑO Y MANUFACTURA DE UNA FRESA
MADRE PARA LA CONSTRUCCIÓN DE RUEDAS
DENTADAS ASIMÉTRICAS MODULARES”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA MECÁNICA**

PRESENTA:

ING. GUILLERMO NICOLÁS SIERRA

ASESOR:

Dr. JUAN FELIPE SORIANO PEÑA

Morelia Michoacán, Junio 2011



RESUMEN

La asimetría en los engranajes es una técnica que actualmente se encuentra en estudios de simulación de sus parámetros de resistencia, diseño y construcción, sin embargo algo ha quedado pendiente, es la construcción de los dientes con exactitud. Es por eso la necesidad del diseño y construcción de una fresa madre de dientes asimétricos, para la generación de ruedas dentadas con dientes asimétricos, siendo capaz de permitir parámetros aceptables de velocidad, paso y avance de corte, de tal forma que se garanticen las dimensiones geométricas adecuadas para emplearse en la construcción experimental de dichas ruedas. En este trabajo se diseñó una fresa madre para el tallado de engranes de aluminio con dientes asimétricos de módulo 5 mm, ya que en los últimos años se han ido proliferando los engranes corregidos o no estándar. Los dientes de engranajes convencionales de involuta son diseñados con superficies laterales del diente simétricas. Es conocido que las condiciones de carga y engranamiento son diferentes para la cara que recibe la carga y para la cara opuesta. La aplicación de los dientes asimétricos habilita el incremento de la capacidad de carga y durabilidad de la cara del diente que transmite la fuerza. Por consiguiente, la geometría y diseño de ruedas dentadas asimétricas representa un problema importante. Hay varios artículos sobre engranajes asimétricos de involuta, o llamados dientes contrafuertes, sin embargo pocos tratan lo referente a la construcción por generación con el uso de fresas madre.

Un aspecto importante es la vida útil de la herramienta de corte, en este trabajo se usó el método de elementos finitos (FEM) y ANSYS Workbench, para la simulación de contacto entre la herramienta de corte y el material a tallar para generar el engrane: debido a que las tensiones que se desarrollan en el área de contacto rebasan el límite elástico del material provocan en la superficie grietas, picaduras, hendiduras que pueden incidir en la rotura de la pieza o elemento de máquina.



ABSTRACT

The asymmetry in the gears is a technique that is currently in simulation studies of its strength parameters, design and construction, but something has been withheld, is the construction of the teeth exactly. That's why the need for design and construction of a hob tooth asymmetric for the generation of gears with asymmetric teeth, being able to afford acceptable parameters of speed, cutting feed step, so as to ensure the dimensions suitable for use in geometric construction of such experimental wheels. This paper designed a hob for cutting a gear wheel with teeth asymmetrical aluminum module 5 mm, since in recent years have been corrected proliferating or non-standard gear. The teeth of conventional involute gears are designed with symmetrical side surfaces of the tooth. It is known that the loading conditions and gear are different for the side that receives the charge and the opposite face. The application of asymmetrical teeth enables increased payload and durability of the tooth surface which transmits the force. Therefore, the geometry and design of asymmetric gears is a major problem. There are several articles on asymmetric involute gears or teeth called buttresses, but few try to regard the construction of generation with the use of hobs.

Importantly, the life of the cutting tool in this work we used the finite element method (FEM) and ANSYS Workbench for simulation of contact between the cutting tool to carve and the material to generate the gear: because the tensions that develop in the area of contact beyond the elastic limit of the material on the surface causing cracks, pits, crevices that can affect the breaking of the part or machine element.



ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
LISTA DE FIGURAS.	VII
LISTA DE TABLAS	IX
NOMENCLATURA.....	X
OBJETO DE ESTUDIO.....	XII
OBJETIVO GENERAL	XII
OBJETIVOS ESPECIFICOS:	XII
HIPÓTESIS	XIII
CAPÍTULO I.	1
ESTADO DEL ARTE SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE RUEDAS DENTADAS Y LAS HERRAMIENTAS DE CORTES EMPLEADAS EN LA MISMA.	1
1.1 INTRODUCCIÓN A LOS ENGRANES	1
1.2. TIPOS DE ENGRANES.	2
1.2.1. ENGRANES DE EJES PARALELOS	3
1.2.1.1 ENGRANES RECTOS	3
1.2.1.2 ENGRANES OBLICUOS.....	3
1.2.2 ENGRANES CON EJES QUE SE INTERCEPTAN	4
1.2.2.1. ENGRANES CÓNICOS DE DIENTES RECTOS	4
1.2.2.2 ENGRANE CÓNICOS ZEROL	4
1.2.2.3 ENGRANE CÓNICO EN ESPIRAL	4
1.2.2.4 ENGRANES BEVELOID.....	4
1.2.2.5 ENGRANES DE CARA	5
1.2.3. ENGRANAJES CON EJES QUE SE CRUZAN.....	5
1.2.3.1 ENGRANES HELICOIDALES CRUZADOS	5
1.2.3.2 ENGRANES SINFÍN.....	5
1.2.3.3 ENGRANES HIPOIDALES	6
1.2.3.4 ENGRANES PLANOIDES	6
1.2.3.5 ENGRANES ESPIROIDES	6
1.2.4 ENGRANES RECTOS ASIMETRICOS	6
1.3. PRODUCCIÓN DE ENGRANAJES	8
1.3.1. FABRICACIÓN DE ENGRANES SIN ARRANQUE DE VIRUTA	10
1.3.1.1 INYECCIÓN EN MOLDES	10



1.3.1.2 FUNDICIÓN A PRESIÓN	10
1.3.1.3 TROQUELADO.....	11
1.3.1.4 PULVIMETALURGÍA.....	11
1.3.1.5 EXTRUSIÓN	12
1.3.2 PRODUCCIÓN DE ENGRANAJES POR TALLADO	12
1.3.2.1 CEPILLADO.....	13
1.3.2.2 FRESADO.....	13
1.3.3 PROCEDIMIENTO DE TALLA POR GENERACIÓN.....	14
1.3.3.1 GENERACIÓN CON PIÑÓN GENERADOR.....	15
1.3.3.2 GENERACIÓN CON CREMALLERA	15
1.3.3.3 GENERACIÓN CON FRESA MADRE.....	16
CAPÍTULO II.....	19
DISEÑO DE LA FRESA MADRE MÓDULO 5mm.....	19
2.1. INTRODUCCIÓN.....	19
2.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE FRENCH PARA EL PROCESO DE DISEÑO. 20	20
2.2.1 NECESIDAD	20
2.2.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA	21
2.2.2.1 PARÁMETROS Y ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA FRESA MADRE DE 5 mm.....	23
2.2.2.2 MÓDULOS NORMALIZADOS	24
2.2.3 DISEÑO CONCEPTUAL.....	24
2.2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA TRAZAR LA GEOMETRÍA DE LA FRESA MADRE.....	28
2.2.4 ESQUEMAS SELECCIONADOS	31
CAPÍTULO III.....	35
CONSTRUCCIÓN DE LA FRESA MADRE DE MÓDULO 4.0425 mm	35
3.1 INTRODUCCIÓN.....	35
3.2 TORNO PARALELO	36
3.2.1 PARTES PRINCIPALES DEL TORNO MECÁNICO.....	37
3.2.2 CARRO PORTAHERRAMIENTAS CONSTA DE LAS SIGUIENTES PARTES:.....	38
3.3 TALLADO DE LA HELICOIDAL DE LA FRESA MADRE.....	39
3.4 PARÁMETROS PARA EL MAQUINADO DE LA ESPIRAL DEL TORNILLO SINFIN.	42
3.5 GENERALIDADES DE LA MÁQUINA FRESADORA HORIZONTAL	46



3.5.1 PARTES DE LA FRESADORA	47
3.6 DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE PIEZAS	49
3.7 INDICACIÓN DE DIVISIONES SIMPLE Y DIRECTA	50
3.8 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FIJACIÓN DE LA PIEZA A MAQUINAR	51
3.9 MÁQUINADO DE LAS RANURAS LONGITUDINALES DE LA FRESA MADRE.....	52
3.10 CONDICIONES QUE DETERMINAN LA MAGNITUD DEL AVANCE	54
3.11 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DEL AVANCE	54
3.12 TALLADO DE LAS RANURAS LONGITUDINALES	56
CAPÍTULO IV	59
SIMULACIÓN DE LA FRESA MADRE.....	59
4.1 TECNOLOGÍA CAD/CAE.....	59
4.1.1 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD).....	59
4.1.2 INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE).....	60
4.2 PROCESO TRADICIONAL DE DISEÑO	61
4.3 NUEVO CICLO DE DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE MODELOS CAD/CAE	61
4.4 UNA PEQUEÑA HISTORIA DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	62
4.5 TEORÍA GENERAL DEL ELEMENTO FINITO	62
4.5.1 PASOS BÁSICOS EN EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	63
4.5.2 VENTAJAS USANDO UN ANÁLISIS CON ELEMENTO FINITO.....	64
4.6 MODELADO COMPUTACIONAL USANDO EL FEM.....	64
4.7 CONTACTO HERTZIANO	65
4.8 ANSYS WORKBENCH	65
4.8.1 ANALYSIS SYSTEMS.....	68
4.8.2 ENGINEERING DATA APPLICATION (MATERIAL PROPERTIES).....	69
4.8.3 DESIGNMODELER (DM).....	70
4.9 MALLADO DEL MODELO GEOMÉTRICO	72
4.10 MALLADO ESTRUCTURADO	73
4.11 RESULTADOS	75
CONCLUSIONES.....	78
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	80



LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. 1. Reductor de velocidad.....	2
Figura 1. 2. Parámetros del diente asimétrico	7
Figura 1. 3. Fresado con una fresa de forma.	14
Figura 1. 4. Tallado de un engrane con un piñón generador.	15
Figura 1. 5. Generación con cremallera.....	16
Figura 1. 6. Tallado de los dientes con la fresa madre.	17
Figura 2. 1. Modelo de French del proceso del diseño.....	20
Figura 2. 2. Cilindro primitivo.	28
Figura 2.3. Trazado del plano inclinado.....	29
Figura 2.4. Trazado del perfil del diente asimétrico.....	29
Figura 2.5. Barrido de la espiral sobre el diámetro primitivo.	30
Figura 2.6. Trazado del arreglo de las ranuras longitudinales.....	30
Figura 2.7. Fresa madre dibujada.	31
Figura 2.8. Cremallera básica estándar simétrica.....	32
Figura 2.9. Cremallera básica para generar la fresa madre.	32
Figura 2.10. Diseño 1 de la fresa madre módulo 5 mm.	33
Figura 2.11. Diseño 2 de la fresa madre de módulo 5 mm.....	33
Figura 2.12. Diseño 3 de fresa madre de módulo 4.0425 mm.	34
Figura 3. 1. Partes que conforman a un torno paralelo.....	36
Figura 3. 2. Carro portaherramientas.....	38
Figura 3. 3. Mandril portafresa.....	39
Figura 3. 4. Cilindrado de la pieza.	40
Figura 3. 5. Arreglo de la transmisión del torno para un paso circular de 12.7 mm.	40
Figura 3. 6. Pruebas para verificar el paso circular.	41
Figura 3. 7. Prueba en aluminio.....	41
Figura 3. 8. Montaje de el material para el tallado de la espira del tornillo sinfín.....	42
Figura 3. 9. Tallado de la espira del tornillo sinfín.	45
Figura 3. 10. Tallado de la helicoidal.....	46
Figura 3. 11. Mesa longitudinal.....	47
Figura 3. 12. Partes de una fresadora.	49



Figura 3. 13. Contracabezal.....	50
Figura 3. 14. Mecanismo de división simple.....	51
Figura 3. 15. Sistema de fijación.	52
Figura 3.16. Fresado de las ranuras longitudinales.	56
Figura 3. 17. Ranuras perpendiculares a la helicoidal.....	57
Figura 3. 18. Ranuras paralelas al eje de simetría de la fresa madre.....	57
Figura 3. 19. Fresa madre de módulo 5 mm.....	58
Figura 4. 1. Ventana del proyecto de Workbench.....	67
Figura 4. 2. Ventana mostrando las secciones de Workbench	68
Figura 4. 3. Ventana que muestra las celdas para trabajar.	68
Figura 4. 4. Engineering Data Application (Material Properties)	69
Figura 4. 5. Selección de la celda para importar la geometría.	70
Figura 4. 6. Geometría generada en DesignModeler.....	71
Figura 4. 7. Vista frontal del modelo geométrico mallado.....	74
Figura 4. 8. Detalle del contacto entre la pieza y la herramienta.	74
Figura 4. 9. Mallado hexaédrico del modelo.....	75
Figura 4. 10. Deformación en la zona de contacto.....	75
Figura 4. 11. Vista lateral de la zona de contacto.....	76
Figura 4. 12. Vista frontal de la zona de contacto.....	77
Figura 4. 13. Esfuerzos de Von- Mises en la zona de contacto.....	77



LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1.- Propiedades del acero 4140T	22
Tabla 2. 2.- Módulos normalizados de engranajes.	24
Tabla 2. 3.- Se indican las medidas nominales de la fresas madre de un filete con arrastre por chavetas para el tallado de engranes.	25
Tabla 2. 4.- Parámetros calculados con módulo 5 mm.....	26
Tabla 2. 5.- Parámetros calculados con módulo 4.0425 mm.....	27
Tabla 3. 1.- Se indican las velocidades para el torno para el uso de herramientas de alta velocidad.....	44
Tabla 4. 1.- Propiedades mecánicas de la aleación del aluminio.....	72
Tabla 4. 2.- Resultados de la simulación de contacto.....	77



NOMENCLATURA

m: Módulo

p: Paso circular

α : Ángulo de presión

h_a : Altura de la cabeza del diente

h_f : Altura del pie del diente

h_k : Altura de trabajo

h: Altura del diente

s: espesor del diente

c: holgura radial entre los dientes en contacto

r_a : radio de redondeo de la cabeza del diente

r_f : radio de redondeo de la raíz del diente

V_c = Velocidad de corte

π = Constante Pi

D = diámetro de la pieza

β = Ángulo de inclinación del filete o de la hélice

ND = Número de dientes de la fresa madre

d = Diámetro del agujero

L = Longitud de la fresa

h_e = Profundidad de la estría

r_e = Radio de redondeo de la estría

V_a = Velocidad de avance

t = Profundidad de corte



z = número de dientes



OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio en este trabajo está referido al diseño y construcción de una fresa madre para el tallado de engranajes asimétricos, elaborados de un material de mediana resistencia que pueda adquirirse en el mercado mexicano y que una vez construida la herramienta sea capaz de cortar materiales de baja resistencia como por ejemplo, latón, aluminio, madera, nylamed, etc.

El diseño y construcción de una fresa madre que pueda utilizarse en la elaboración de ruedas asimétricas utilizando materiales suaves, es el objeto de estudio de la presente tesis de maestría.

OBJETIVO GENERAL

Construir una fresa madre modular para elaborar, por el método de generación, de ruedas dentadas con dientes asimétricos metálicos de forma que se garanticen los parámetros geométricos para emplearse en la construcción experimental de dichas ruedas.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- 1.- Realizar una búsqueda bibliográfica del estado actual del conocimiento en elaboración de herramientas de corte para el tallado de engranajes de herramienta con fresas madre, enfatizando en los valores esperados de velocidad, paso y avance de corte.
- 2.- Diseñar una fresa madre modular para la elaboración experimental de ruedas dentadas de dientes asimétricos metálicas capaz de brindar parámetros de velocidad, paso y avance de corte aceptables.
- 3.- Construir una fresa madre modular para la elaboración de ruedas dentadas de dientes asimétricos metálicas capaz de brindar parámetros de velocidad, paso y avance del corte aceptables.
- 4.- Valorar de forma económica el diseño propuesto de forma tal que se tengan criterios de factibilidad al emplearlo como material de experimentación.
- 5.- Redactar un informe que reúna los requisitos para ser presentado en opción al título de Maestro en Ciencias de Ingeniería Mecánica con la mayor información posible.



HIPÓTESIS

Es posible construir una fresa madre modular capaz de tallar de forma experimental ruedas metálicas de dientes asimétricos partiendo de estudios geométricos de las mismas utilizando para ello un acero de medio carbono.



CAPÍTULO I.

ESTADO DEL ARTE SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE RUEDAS DENTADAS Y LAS HERRAMIENTAS DE CORTES EMPLEADAS EN LA MISMA.

1.1 INTRODUCCIÓN A LOS ENGRANES

Engranaje es una rueda o cilindro dentado empleado para transmitir un movimiento giratorio o alternativo desde una parte de una máquina a otra. Un conjunto de dos o más engranajes que transmite el movimiento de un eje a otro se denomina tren de engranajes. Los engranajes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero usando engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa.

Los engranes se usan para transmitir potencia y movimiento de una flecha en rotación a otra. Los engranes proporcionan transmisión positiva de la potencia, la cual no admite deslizamiento, y se emplean para aumentar o disminuir el esfuerzo o la velocidad de giro en algunos ensambles de maquinas. Cuando dos engranes giran juntos, al que tiene mayor número de dientes se le llama engrane y al de menor número de dientes se le llama piñón.

Por lo general, los engranes se usan cuando son cortas las distancias entre los ejes o flechas, para proporcionar una relación constante de velocidad entre las flechas, o para transmitir elevados pares de torsión [4].

Un factor que influye para escoger el engrane adecuado es el arreglo geométrico del aparato que necesita la transmisión. Los engranes pueden transmitir movimiento desde las flechas orientadas prácticamente en cualquier dirección. Cuando las flechas son paralelas, las superficies de paso de los engranes son cilíndricas. Si las flechas se interceptan, los engranes tienen superficies de paso cónicas. Las flechas que se cruzan son engranadas por ruedas desde el engrane hiperboloide (hipoide) hasta las transmisión de sinfín en la forma sencilla (cilíndrica) o de doble envolvente (globoide)[5].

El acoplamiento que se cruzan implica mayor deslizamiento en los flancos del diente y, por lo tanto mayor pérdida por fricción que en transmisiones de ejes paralelos o que se interceptan. Es por esta razón que las instalaciones de gran potencia que requieren una alta eficiencia, son generalmente diseñadas con engranes cilíndricos o cónicos.



Otros factores adicionales que afectan la elección del engrane adecuado son: equipo existente para la fabricación, experiencia de ingeniería disponible para el diseño, y las limitaciones de espacio y peso. También están comprendidos los requerimientos específicos tales como resistencia a las vibraciones y grado de ruido[5].

Los engranajes se utilizan, fundamentalmente, como mecanismos reductores de velocidad, ya que los diferentes tipos de motores (térmicos, eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc.), para una potencia determinada, desarrollan un par motor reducido a una velocidad angular relativamente elevada. Sin embargo, con la aplicación de un mecanismo reductor de velocidad se consigue desarrollar en el árbol motriz un par motor elevado con una velocidad de salida más reducida (ver la Figura 1.1).



Figura 1. 1. Reductor de velocidad

1.2. TIPOS DE ENGRANES.

De las numerosas formas de clasificar los engranajes, quizás la más empleada sea la que corresponda a la disposición espacial que presentan los ejes geométricos de rotación de las ruedas, pues es muy fácil apreciar el arreglo para el montaje que presentan los árboles que soportan las ruedas dentadas y de esta forma realizar la agrupación de los engranajes para su estudio [6].



1.2.1. ENGRANES DE EJES PARALELOS

1.2.1.1 ENGRANES RECTOS

Este tipo de engranes más empleado. Sus dientes son rectos y paralelos al eje de giro.

Ventajas:

- Simplicidad
- Bajo costo.
- Fácil de mantener y fabricar.

Desventajas:

- Tienen menor capacidad de transmisión.
- Operan con más ruido que otros tipos de engranes.

1.2.1.2 ENGRANES OBLICUOS

Los engranes helicoidales se emplean para transmitir fuerza o movimiento entre flechas paralelas. Un engrane helicoidal puede ser considerado como compuesto por un número infinito de engranes rectos de pequeño espesor escalonados, el resultado será que cada diente está inclinado a lo largo de la cara como una hélice cilíndrica.

Ventajas:

- Transmiten más cargas que los engranes rectos de dimensiones similares.
- Pueden operar más silenciosamente y con mas suavidad que ellos.

Desventajas:

- Son más costosos que los engranes rectos.
- Los engranes helicoidales sencillos, inducen una componente axial (esta carga aumenta con el ángulo de la hélice) por lo que requieren cojinetes de apoyo axial en la flecha.
- El de doble helicoidal elimina la componente axial en la fleca pero es más caro.



El engrane de esqueleto de pescado o herringbone, es similar al doble helicoidal, solo que no existe hueco entre ambas hileras de dientes. Es más difícil de fabricar con alta precisión. Ambos, el engrane de doble helicoidal y el de esqueleto de pescado, funcionan bien a altas cargas por los largos periodos de tiempo[6].

1.2.2 ENGRANES CON EJES QUE SE INTERCEPTAN

1.2.2.1. ENGRANES CÓNICOS DE DIENTES RECTOS

Es el tipo de engranes más sencillos para conectar flechas que se cortan. Aun cuando su uso más común esta en flechas que se cortan en ángulo recto, pueden usarse con cualquier ángulo. Se diseñan en parejas, pues no son intercambiables. Las flechas y soportes deben ser suficiente rígidos para mantener un adecuado contacto entre sus dientes [6].

1.2.2.2 ENGRANE CÓNICOS ZEROL

Son similares a los engranes con dientes helicoidales, sin embargo los dientes están dispuestos en forma que la carga axial sea equivalente a los engranes cónicos de dientes rectos. Fueron desarrollados por la compañía Gleason Works [6].

1.2.2.3 ENGRANE CÓNICO EN ESPIRAL

Los dientes de un engrane cónico en espiral son curvos y oblicuos y como resultado tienen una considerable cantidad de traslape. Esto asegura más de un diente en contacto en todo tiempo, y da lugar a un acoplamiento gradual y a un contacto continuo en la línea de paso.

Los engranes en espiral por su contacto continuo, tienen una mayor capacidad para llevar carga y giran más silenciosa y suavemente que los engranes cónicos del mismo tamaño [6].

1.2.2.4 ENGRANES BEVELOID

Desarrollados por Invincible Gear Co. ofrecen una transmisión que prácticamente no se ve afectada por la inexactitud de montaje. Tienen poca capacidad de carga. Pueden usarse para lograr transmisiones de juego nulo. Se usan frecuentemente para fabricación de

instrumentos. Se pueden usar entre ejes paralelos, que se corten o que no sean paralelos ni se corten. Su principal costo es su mayor desventaja [6].

1.2.2.5 ENGRANES DE CARA

Los engranes de cara, como su nombre lo implica, tienen los dientes cortados en una de las caras del engrane. El piñón correspondiente es o un engrane recto o un helicoidal. Cuando el eje del piñón y el eje del engrane se interceptan, el engrane de cara es comúnmente llamado “centrado”. Si el piñón está desplazado, el engrane de cara montados generalmente a un ángulo entre flechas de 90 grados. Por su funcionamiento, esta clase de engranes es semejante a los engranes cónicos.

La inclinación de los flancos de los dientes del engrane de cara varía viniendo a menos en el extremo interno y yendo a más en extremo externo [5].

1.2.3. ENGRANAJES CON EJES QUE SE CRUZAN

1.2.3.1 ENGRANES HELICOIDALES CRUZADOS

También llamados engranes espirales, son similares en apariencia a los engranes helicoidales convencionales. Tienen poca capacidad de carga debido a que el área de contacto es muy reducida. Usados principalmente para construir mandos de velocidad variable en los que la distancia entre centros y el tamaño de los engranes es fijo [6].

1.2.3.2 ENGRANES SINFIN

Los engranes sinfín son usados para transmitir fuerza entre flechas con ejes que se cruzan. Estos se caracterizan porque uno de sus miembros tiene rosca como un tornillo.

La cuerda del tornillo puede tener diversas formas, pero el engranaje debe ser producido para obtener una acción conjugada. Los engranajes sinfín y principalmente los de doble envolvente, requieren de un montaje muy preciso.



La capacidad estática de los engranajes sin fin es alta. Su capacidad en movimiento se ve limitada por la alta generación de calor producida por el deslizamiento a través de la cara de los dientes [5].

1.2.3.3 ENGRANES HIPOIDALES

Con cierta similitud a los engranes cónicos de dientes helicoidales, salvo que en este caso las flechas de los engranes no se cortan, además de ser más resistentes y operar más silenciosa y suavemente. Dado que sus ejes no se cortan, se pueden montar en flechas con soportes en ambos extremos, aumentando rigidez y precisión al montaje. Los ejes se colocan normalmente a 90 grados, pero pueden emplearse con cualquier ángulo [6].

1.2.3.4 ENGRANES PLANOIDES

Los engranes planoides se emplean para conectar flecha que no se interceptan ni son paralelas. Se utilizan en forma similar a los engranajes hipoides. El descentramiento del piñón está limitado a aproximadamente entre una sexta parte y una tercera parte del diámetro del engrane.

Los planoides son usados generalmente para relaciones desde 1,5:1 hasta 10:1.

El aspecto más valioso de este tipo de engranes es que para fabricación de grandes cantidades, el costo de producción puede ser bajo [5].

1.2.3.5 ENGRANES ESPIROIDES

Desarrollado por la compañía Spiroid D. N., este tipo de engrane usa un piñón cónico que se acopla a una corona. Ofrece una gran área de contacto entre los dientes por lo que pueden transmitir cargas muy grandes [6].

1.2.4 ENGRANES RECTOS ASIMÉTRICOS

Los dos perfiles (lados) de un diente de engranaje son funcionalmente diferentes para las unidades de la mayoría de los equipos. La carga de trabajo en un perfil es significativamente mayor y / o se aplica por períodos más largos de tiempo que en el opuesto. El diseño de la forma de los dientes asimétricos refleja esta diferencia funcional.



Beneficios:

La intención del diseño de los dientes de los engranajes para mejorar el rendimiento del perfil principal contacto de la degradación del rendimiento del perfil opuesto. El perfil opuesto se descargan o con poca carga de trabajo durante el período relativamente corto. El "mejor rendimiento" del perfil primario establece lo siguiente:

- Incrementa la capacidad de carga (15-30 %)
- Reduce peso y tamaño (10-20 %)
- Reduce ruido
- Reduce vibraciones
- tiempo de vida más grande
- Aumenta la eficiencia mecánica
- Reducción de costos de mantenimiento

El grado de asimetría y la selección del perfil impulsor de estos engranes depende de la aplicación. Los perfiles asimétricos hacen que esto sea posible para que la rigidez y carga compartida guardando la relación del ángulo de presión y la relación de contacto del perfil móvil ver figura 1.2.

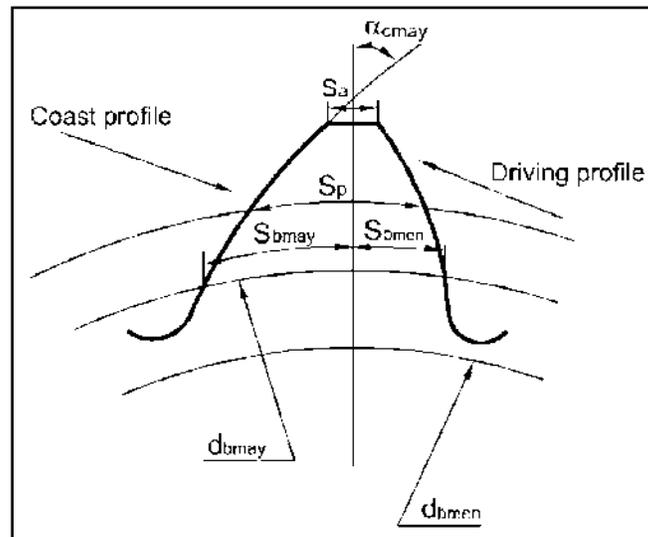


Figura 1.2. Parámetros del diente asimétrico



Aplicaciones:

Los engranes con dientes asimétricos pueden ser considerados sistemas de engranajes que requieren un rendimiento extremo, como las aplicaciones aeroespaciales. También son aplicables para las transmisiones de la producción en masa, donde la proporción de los costos de herramientas por un equipo es insignificante, al igual que en los engranajes de automoción. El uso más prometedor de los perfiles es asimétrica con engranajes moldeados y los engranajes de metal en polvo. Engranajes moldeados requieren herramientas personalizadas de todos modos y perfiles de los dientes asimétricos no aumentan las herramientas o los costos de producción.

1.3. PRODUCCIÓN DE ENGRANAJES

La elaboración de engranes de servicio ligero, como los mecanismos de relojería data de varios centenares de años, pero la historia de las que pueden producir engranes capaces de transmitir potencias de magnitud apreciable apenas data de alrededor del año 1800. Desde entonces se han obtenido miles de patentes de dispositivos para corte de engranes y de herramientas para el mismo fin.

La capacidad para fabricar engranes en forma económica no apareció sino hasta alrededor de 1850 y fue la base del desarrollo de las impresoras de alta velocidad, de la máquina de coser y de muchos otros productos útiles que se comenzaron a producir a gran escala después de la Guerra Civil de los Estados Unidos. Estas primeras para cortar engranes utilizaron de manera característica un cortador de forma, fabricado para fresar el espacio comprendido entre dientes para dejar en resalto los dientes de la forma correcta. En las grandes de este periodo a menudo se usaron plantillas para guiar una herramienta en una corredera para ir verificando la forma de los dientes.

A medida que aumento la demanda de producción más rápida de engranes en la década de los sesentas en el siglo XVIII, comenzó el desarrollo de la maquinaria altamente especializada para la producción de engranes. Se observo que un tornillo sin fin preparado como cortador, y con sus lados rectos de la misma forma de diente que una cremallera, podía generar un engrane de involuta si les hacia girar juntos de manera que el engrane se moviera un espacio mientras el tornillo sin fin giraba una revolución. Esta es la base para una especializada de fresadoras que se conocen como cortadoras o fresadoras de engranes.

Hacia 1900, este era un método bien desarrollado y altamente productivo para la fabricación de engranes de precisión. Estas vienen tanto de husillo horizontal como en



tipos verticales. Las más grandes tienen por lo general husillo vertical para sostener la pieza por maquinar. Algunas de estas se usan para fabricar engranes de 16 pies de diámetro y mayores.

Alrededor de 1900 apareció otra importante máquina para la fabricación de engranes. En esta se utilizó con cortador conformado como un engrane compañero que se le daba el movimiento recíprocante transversalmente al engrane por cortar y se le hacía girar junto con la pieza por cortar a medida que progresaba el corte. A esta máquina se le llama perfiladora de engrane. Se puede usar para generar engranes de dientes rectos o helicoidales externos o internos, y tiene la ventaja de poder maquinar la forma del diente en seguida a un hombro, como se requiere a menudo en los grupos de engranajes de las transmisiones. Este tipo de también se pueden usar para generar forma poco comunes de engranes.

Al popularizarse el automóvil, cobró importancia la capacidad de producir engranajes silenciosos y precisos para los extremos traseros de los autos. Se desarrollaron generadoras de engranes hipoidales para cubrir dicha necesidad.

Al necesitarse medios más rápidos para producir engranes de forma precisa para aplicaciones de alta producción, se desarrollaron métodos como el brochado. Este método es adecuado en especial para producir engranes individuales o no agrupados de dientes rectos o con ángulos de hélice de menos de 21 grados.

Para uso comercial, por lo general se dan acabado a los dientes de los engranes después de cortarlos. El tipo de método de acabado depende en gran parte de la condición de servicio del engrane, de sus requisitos de exactitud, de su limitación de ruido, y de sus requisitos de dureza [4].

Las técnicas de fabricación de engranes ha ido evolucionando en los últimos años, por eso es importante conocer los distintos métodos existentes de fabricación.

Los procedimientos de producción de ruedas dentadas se pueden dividir en dos grandes familias [7]:



1.3.1. FABRICACIÓN DE ENGRANES SIN ARRANQUE DE VIRUTA

En primer lugar es necesario determinar las condiciones geométricas bajo las cuales es sometidos el modelo y, a continuación, los métodos de moldeo apropiados a los engranajes de fundición [8].

1.3.1.1 INYECCIÓN EN MOLDES

El procedimiento de inyectar el material fundido en moldes impone la necesidad de emplear un material termoplástico, es decir, un material que pueda convertirse al estado líquido por calentamiento, forzándolo a entrar en una cámara cerrada, cuya forma corresponde a la del engrane o rueda dentada que se ha de producir [5].

1.3.1.2 FUNDICIÓN A PRESIÓN

Se trabaja en forma análoga a la inyección en molde, con la diferencia de que aquí se emplea metal fundido, en vez de material plástico. El material es forzado bajo presión a penetrar en la cavidad de una matriz metálica, manteniéndolo en las mismas de condiciones de presión hasta que se solidifica dentro de la citada cavidad.



Los engranes fabricados por este método de fundición a presión se pueden emplear en mecanismos voluminosos de rendimientos bajos en los que se buscan engranes de bajo costo y que tienen piezas de formas complicadas. Los engranes rectos, helicoidales, tornillos sin fin, engranes de tipos múltiples, cónicos, de corona y otros tipos de formas especiales pueden ser vaciados con facilidad por este procedimiento[5].

1.3.1.3 TROQUELADO

Este tipo de procedimiento para obtención de ruedas dentadas tienen aplicación bastante limitada en el entorno industrial. Normalmente se fabrican así, grandes series de ruedas dentadas de características mecánicas bajas y de limitada precisión; especialmente demandadas por los sectores jugueteros, fotográficos, artículos para oficina.

Las principales características de este tipo de proceso son:

- Para grandes series de piezas es un proceso extraordinariamente económico, ya que se pueden realizar en troqueles progresivos con una velocidad de ejecución muy alta.
- El espesor de la rueda dentada es limitado, así como su tamaño.
- Se pueden aplicar gran cantidad de materiales para su obtención, especialmente aleaciones de aluminio, aleaciones de cobre y aceros de bajo contenido en carbono[7].

1.3.1.4 PULVIMETALURGÍA

El nombre de este procedimiento se debe a que los engranes se fabrican de compuestos de metales en polvo, en cuyo proceso de manufactura se utilizan hornos (o fogones) para la obtención de una estructuración final homogénea. La operación de horneado o caldeo recibe el nombre sinterización. El material en bruto está formado por partículas finas de metal molido que puede ser hierro, latón, o una combinación de los dos. Este material es forzado, por medio de alta presión, hacia los huecos de los moldes o matrices que tienen la forma de engrane que se desea producir. Las piezas fabricadas por este procedimiento son bastante precisas; sin embargo de necesitarse una exactitud, se aplicara un tratamiento adicional mayor, se aplicara de "acuñación", que consiste en pasar a la pieza de trabajo a través de otra matriz, en donde se le somete nuevamente a presión para amoldarlo a esta



matriz más precisa, con lo que se corrige cualquier posible deformación causada por el tratamiento térmico [5].

1.3.1.5 EXTRUSIÓN

En este procedimiento se requieren las herramientas de menor costo para la producción en masa de engranes y ofrece una versatilidad extraordinaria, ya que por este método puede producirse casi cualquier forma deseada. Como lo indica el nombre mismo este procedimiento, el material tiene que pasar a través de varias matrices en donde la última de estas tiene la forma exacta del acabado final del engrane correspondiente y una vez que el material va pasando por esta serie de dados, puede decirse que se le va exprimiendo, para darle la forma de la herramienta. Como el material es desplazado por presión, sus superficies exteriores quedan duras y tersas[5]

Cualquier material con buenas características de maleabilidad puede ser empleado para la fabricación de piñones a base de barras estiradas, por ejemplo, aceros al alto carbono, latón, bronce, metal monel, aluminio y aceros inoxidable[5].

Los piñones de bajo costo que se deben producir en grandes volúmenes, destinados a servicios ligeros o medianos, pueden diseñarse para su manufactura partiendo de barras estiradas en frío, con la forma del piñón. Al diseñarse piñones que se han de fabricar a base de barras estiradas, la holgura y el socavado deben proveerse en el diseño de los dientes, ya que una vez terminadas las diferentes herramientas de estiramiento, no es posible modificar el perfil de los dientes, como sucede en el método de corte[5].

1.3.2 PRODUCCIÓN DE ENGRANAJES POR TALLADO

Los procedimientos de tallado de ruedas dentadas consisten en la utilización de una herramienta de corte para efectuar el tallado de los dientes de los engranajes a partir de un cilindro base. Los dientes de los engranajes se mecanizan por fresado, cepillado o formado con sinfín y pueden ser acabados por cepillado, bruñido, esmerilado o pulido con rueda [9].

Los procedimientos de producción de engranajes por talla se dividen, a su vez, en dos grandes grupos:

- Procedimientos de talla por reproducción o copia.
- Procedimientos de talla por generación.



Los procedimientos de producción de engranajes por talla se dividen, a su vez, en dos grandes grupos:

- Procedimientos de talla por reproducción o copia.
- Procedimientos de talla por generación.

En los procedimientos de tallado de ruedas dentadas por reproducción, el borde cortante de la herramienta es una copia exacta de cierta parte de ella (por ejemplo, del hueco entre dientes contiguos). Como consecuencia de ello, los métodos de talla por reproducción precisan de un número elevado de herramientas ya que, incluso para fabricar ruedas dentadas con el mismo hace falta una herramienta para cada número de dientes, puesto que el hueco interdental varía [9].

A estas herramientas de corte se les denomina “cortadores conformadores” y, generalmente, el cortador tiene la forma exacta del hueco interdental. Cabe distinguir dos procedimientos, según la máquina herramienta utilizada [9]:

1.3.2.1 CEPILLADO

La herramienta, en la sección perpendicular a la dirección de su movimiento tiene perfiles cortantes, que se corresponden perfectamente con el contorno del hueco interdental del engranaje a tallar.

La herramienta desarrolla un movimiento de vaivén sobre el cilindro base, cortando el material correspondiente a un hueco interdental. Después de cada operación, el cilindro base gira un ángulo igual a $1/2$ de vuelta para poder cepillar el siguiente hueco.

1.3.2.2 FRESADO

Es un método muy difundido, similar a la talla por cepillado, pero en lugar de una cuchilla con una forma determinada se utiliza como herramienta una fresa especial estandarizada –la “fresa de módulo” cuyos dientes tienen perfiles idénticos a la forma del hueco interdental que se persigue. Al final de cada operación de fresado la fresa vuelve a su posición inicial y la pieza bruta gira un ángulo igual a $1/2$ de vuelta para poder fresar el siguiente hueco [9].

La principal desventaja de este procedimiento es que se necesitan una fresa distinta para cada combinación de ϕ y número de dientes. Como es imposible tener un juego de fresas para cada caso, además del elevado precio de una “fresa de módulo” y la rapidez con la



que se desgastan, obliga a recurrir a una cierta inexactitud en el tallado, pues se emplea una misma fresa para ruedas con un número de dientes cercano a aquel para el que está diseñada la fresa [9].

Lo habitual es utilizar juegos de 8 fresas por : por ejemplo, para tallar las ruedas de 35 a 54 dientes se suele utilizar la misma fresa, debido a la escasa variación de los perfiles. Así, cada fresa se corresponde con el número menor de dientes de su serie, ya que al aumentar "z" disminuye el hueco interdental, evitando de esta manera el peligro de "acuñamiento". En ocasiones se emplean juegos de 15 a 26 fresas, para dar una mayor exactitud [9].

Este procedimiento conlleva una inexactitud en los perfiles conjugados que no importa para velocidades pequeñas pero que es inadmisibile cuando estas son elevadas (ver Figura 1.2) [9].

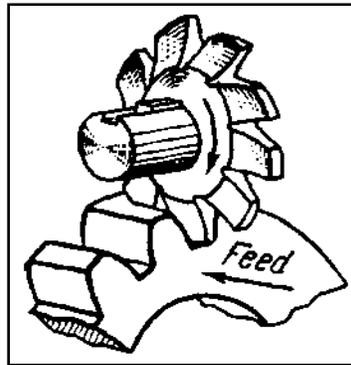


Figura 1. 3. Fresado con una fresa de forma.

1.3.3 PROCEDIMIENTO DE TALLA POR GENERACIÓN

El procedimiento de talla de ruedas dentadas por generación o rodamiento permite, aprovechando las propiedades de la evolvente, la "generación del perfil del diente" de un engranaje. Los dientes de perfil de evolvente se pueden tallar de forma sencilla y muy exacta empleando herramientas de perfil rectilíneo. La herramienta de corte va avanzando a medida que la rueda gira sobre su centro.

Esta es la principal ventaja de este tipo de perfiles, cuya talla puede realizarse con una precisión elevadísima, cualquiera que sea el número de dientes, asegurando así un funcionamiento perfecto y silencioso, aun a grandes velocidades.

Existen diversas formas de lograr el perfil del diente: por mortajado con un piñón generador, por tallado con cremallera, por tallado con fresa madre, etc. [9].



1.3.3.1 GENERACIÓN CON PIÑÓN GENERADOR

Como los perfiles de evolvente son conjugados entre sí, se pueden generar ruedas dentadas haciéndolas engranar con un piñón generador, es decir, se emplea como herramienta de corte una rueda dentada con bordes cortantes a la que se hace rodar sobre la rueda base que se pretende tallar [9].

Las ventajas de este procedimiento radican en que la talla es continua (no da lugar a imprecisiones por reposicionamiento de la herramienta), permite generar engranajes de dentado interior y con una sola rueda-herramienta se pueden fabricar ruedas dentadas de un mismo "módulo" pero con diferentes números de dientes. Presenta las desventajas de que el piñón generador es mucho más difícil de elaborar y de conservar y que el más mínimo defecto de la herramienta se reproduce en la rueda (ver Figura 1.3) [9].

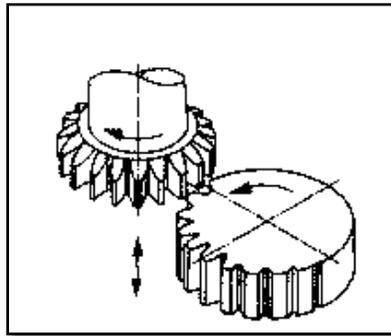


Figura 1. 4. Tallado de un engrane con un piñón generador.

1.3.3.2 GENERACIÓN CON CREMALLERA

El principio de trabajo con cuchilla -cremallera se realiza con las máquinas tipo Maag o Sunderland [8].

La generación del dentado con estas máquinas no se realiza con movimiento continuo (como una cuchilla circular), dada la pequeña longitud de la cremallera de primitivo rectilíneo. Se desprende que el carro portapieza debe de estar animado periódicamente de un movimiento de regresión durante el cual el engranaje, mientras se opera el tallado, presenta las distintas partes a dentar según un desplazamiento circular, que es función del número de dientes a fresar y que se pone igual a un paso o dos pasos circunferenciales.

Este método de fabricación permite el tamaño de engranajes helicoidales mediante inclinación del cabezal portaherramientas, que puede ser arbitraria; los respectivos

movimientos de rotación entre la pieza y la herramienta se determinan por una combinación de ruedas dentadas en relación a la hélice a generar.

Añadimos que por exigencias de precisión requeridas en la ejecución del perfil del dentado, las cuchillas de corte (circulares o de cremallera) están completamente rectificadas; el perfil de la arista de corte se determina automáticamente sobre máquinas especiales.

Las máquinas Maag poseen la ventaja de tallar coronas de grandes dimensiones cuyo diámetro primitivo máximo puede llegar a 2.4 metros (ver Figura 1.4) [8].

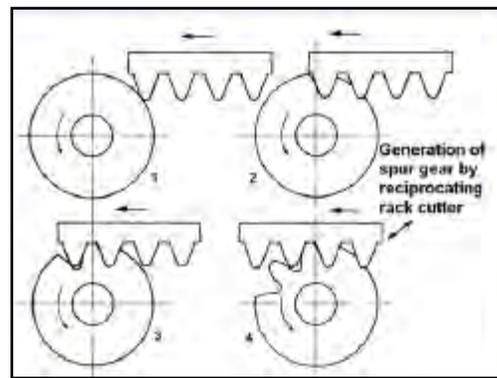


Figura 1. 5. Generación con cremallera.

1.3.3.3 GENERACIÓN CON FRESA MADRE

Se puede tallar casi todas las formas de dientes externos, si su espaciamiento está repartido de manera uniforme con relación a un punto central. No es necesario que la forma en sí guarde simetría con su eje individual, pero cada diente o grupo de dientes tiene que ser idéntico a cualquier otro diente o grupo de dientes. Los tipos de piezas de trabajo que pueden ser talladas comprenden engranes rectos, engranes helicoidales, piezas estriadas, dentados rectos (cremalleras), gusanos, coronas para tonillos sinfin, y formas especiales. Muchos engranes se tallan con acabado en una sola operación, otros reciben un corte previo de desbaste para someterlos al acabado final por acepillado o rectificado a esmeril, otros son tallados primero en bruto y luego para el acabado final. El tallado puede aplicarse tanto a la producción en masa como a la fabricación individual. Se puede diseñar máquinas automáticas para la producción de gran escala de una pieza determinada. La facilidad para centrar las piezas de trabajo hace que las talladoras sean especialmente adaptables a la producción de partidas pequeñas [5].



No obstante que el proceso de tallado se relaciona con mucha frecuencia solo con la manufactura de engranes y piezas estriadas, se pueden cortar muchas otras formas por este método y se le conoce como un medio económico para la manufactura de trinquetes, catarinas (coronas dentadas para cadena) y otras formas especiales de dientes. Para la fabricación de algunas de estas formas se han creado talladoras estándar [5].

La diversidad de las aplicaciones del tallado hace a este procedimiento un método económico para el corte de engranajes. Un cortador sinfín de determinado paso puede cortar los dientes de cualquier engrane recto envolvente o helicoidal que tengan el mismo paso normal y ángulo de presión, incluyendo cualquier número de dientes y de ángulo de hélice. El tamaño de los dientes y el de la pieza de trabajo quedan limitados solo por la capacidad de la máquina talladora en la que se ha de ejecutar el trabajo. Las talladoras se fabrican para el maquinado de cualquier diámetro hasta 200 plg. El ancho de la cara queda limitado a la carrera de cortador [5].

La exactitud de las piezas fabricadas por tallado es determinada por la precisión de la máquina, la rigidez de la herramienta, la exactitud de los discos, el cuidado que se tiene en el montaje del cortador y la pieza de trabajo y la precisión de la fresa sinfín (ver Figura 1.5)[5].

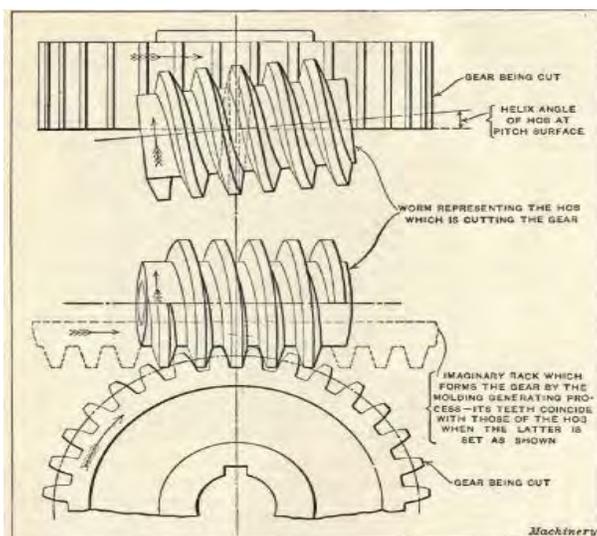


Figura 1. 6. Tallado de los dientes con la fresa madre.

El tallado de los dientes de engranes es un proceso continuo de división en el que, tanto la herramienta de corte como la pieza de trabajo, giran dentro de una relación constante, mientras avanza el trabajo de corte de la fresa sinfín. Una vez que el avance de la fresa cortadora ha recorrido la totalidad de la cara del engrane, todos los dientes del mismo han sido totalmente formados [5].



En la mayoría de las veces puede considerarse que la característica principal del proceso de tallado consiste en que la forma de la fresa sinfín no es reproducida en la pieza de trabajo. El tallado encuentra su mayor campo de aplicación en el corte de engranes envolventes, con un ángulo de presión determinado, con una fresa sinfín que en lo esencial tiene los lados de los dientes rectos para lograr la forma deseada de la pieza de trabajo [5].



CAPÍTULO II.

DISEÑO DE LA FRESA MADRE MÓDULO 5mm

2.1. INTRODUCCIÓN

Los métodos de fabricación de engranes que anteriormente fueron explicados utilizan los parámetros de diseño estándar para la generación de engranes simétricos. Dichos parámetros de diseño no aplican para la generación de la geometría utilizada por los engranes con dientes asimétricos ya que la complejidad de su trazado es alta. Debido a que la aplicación de dichos componentes mejora de manera notable el rendimiento de las transmisiones, los parámetros de diseño de éste tipo de engranes se encuentra en proceso de estudio.

En la actualidad un requisito indispensable para cualquier proyecto, es realizarlo utilizando un método estandarizado. De manera general, un método es un modo de decir o hacer en un orden una cosa, es un modo de proceder. El método debe de estar en función de principios o preceptos lógicos y coherentes y debe poderse aplicar con la mayor generalidad posible.

En el proceso de diseño de un producto requiere la aplicación de varios métodos en sus diferentes etapas, de allí que sea común referirse a la "Metodología del diseño" como al conjunto de tales métodos. En el diseño mecánico la metodología debe plantear los pasos a seguir, para que con la aplicación de los conocimientos provenientes de diferentes fuentes, entre ellas la ingeniería mecánica, se pueda llevar a cabo el desarrollo de productos, desde su etapa de comprensión del problema hasta la generación de toda la información necesaria y minuciosamente detallada que haga factible su fabricación, uso, conservación y retiro.



2.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE FRENCH PARA EL PROCESO DE DISEÑO.

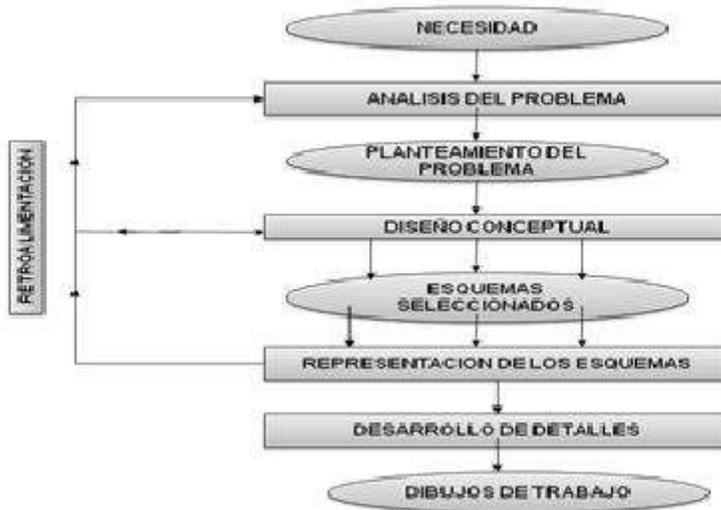


Figura 2. 1 Modelo de French del proceso del diseño.

2.2.1 NECESIDAD

Para poder diseñar y construir una pieza, una máquina, un mecanismo y dispositivos e instrumentos diversos, se parte de una necesidad.

Identificar la necesidad y expresarla en determinado número de palabras es una actividad sumamente creativa, pues la necesidad puede manifestarse simplemente como un vago descontento, o bien por la intuición de una dificultad o en la sensación de que algo no está bien. Por lo general, las necesidades se identifican de repente, a partir de una circunstancia adversa, o bien de una serie de circunstancias fortuitas que surgen casi al mismo tiempo[11].

En la actualidad el proceso de fabricación de engranes asimétricos se realiza por inyección en plástico, la elaboración de los moldes se hace por medio electroerosión, lo cual, garantiza que la pieza sea moldeada con las características geométricas que requieren los



cálculos, este método es posible aplicarlo tanto a las cavidades como a los insertos porque precisamente éstas son las partes que están en contacto con el material plástico a moldear.

Es por eso la necesidad de diseñar y construir una fresa madre de 5mm para el tallado de este tipo de engranes por el método de generación.

El diseño como tarea consiste en pensar (idear), y describir una estructura o secuencia de funciones, el diseño como proceso consiste en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos a la descripción que las satisfaga [11].

2.2.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El análisis del problema es una parte pequeña pero importante del proceso global. El resultado es un planteamiento del problema, y este puede tener tres elementos [10]:

1. Un planteamiento del propio problema de diseño
2. Las limitaciones que se imponen a la solución
3. El criterio de excelencia hacia el que se va a trabajar

En la definición del problema debe abarcar todas las condiciones para el objeto que se ha de diseñar. Tales condiciones o especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que deberá ocupar el objeto, y todas las limitaciones a estas cantidades[10].

Las especificaciones definen el costo, la cantidad de piezas a fabricar, la duración esperada, el intervalo o variedad de capacidades [10].

En el presente proyecto el objetivo principal es el diseño y construcción de una fresa madre de 5 mm, esta herramienta de corte se utilizará para el tallado de engranes de dientes rectos asimétricos, ya que la finalidad es ver el funcionamiento de dicha herramienta y comprobar, si los parámetros geométricos con los que está generando a las ruedas dentadas son los adecuados.

Esta herramienta de corte se va a construir de un acero aleado de la serie 4, es un acero 4140T que tiene como elementos de aleación cromo y molibdeno.

El acero 4140T es uno de los aceros de baja aleación más populares por el espectro amplio de propiedades útiles en piezas que se someten a esfuerzo, con relación a su bajo costo. Al templearlo se logra muy buena dureza con una gran penetración de la misma, teniendo además un comportamiento muy homogéneo. Tiene también una buena resistencia al desgaste..

Las aplicaciones del acero 4140T son: construcción de ejes, flechas, engranes, válvulas, pernos, acoplamientos, pernos de alta temperatura, rodillos, cuerpos de herramientas de corte, árbol de levas, ejes de tráiler, eslabones de cadena, resortes, cigüeñales, espárragos, flechas de mecanismos hidráulicos.

Tabla 2. 1.- Propiedades del acero 4140T

ACERO AISI 4140T	
Propiedades Mecánicas	Dureza 275 -320 HB (29 - 34 HRc)
	Esfuerzo a la fluencia: 690 Mpa
	Esfuerzo máximo 900 -1050 Mpa
	Elongación mínima 12 %
	Reducción de área mínima 50%
Propiedades Físicas	Densidad 7,85 g/ cm ³
Propiedades Químicas	0,38 - 0,43 % C
	0,75 - 1,00 % Mn
	0,80 - 1,10 % Cr
	0,15 - 0,25 % Mo
	0,15 - 0,35 % Si
	0,04 % P máx.
	0,05 % S máx.



2.2.2.1 PARÁMETROS Y ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE LA FRESA MADRE DE 5 mm

Paso diametral (P): Es la relación del número de dientes al diámetro de paso. En consecuencia, es el recíproco del módulo. El paso diametral se emplea cuando se consideran unidades inglesas y, por tanto se expresa en dientes por pulgada.

$$P = \frac{N}{d} \quad (2.1)$$

Paso circular (p): es la distancia, medida sobre la circunferencia de paso entre determinado punto de un diente y el correspondiente de uno inmediato. De manera que el paso circular es igual a la suma del grueso del diente y del ancho del espacio entre dos consecutivos.

$$p = \pi * m \quad (2.2)$$

Adendum o altura de la cabeza del diente (h_a). La distancia desde el círculo primitivo hasta el extremo exterior del diente, medido radialmente.

$$h^*_a = \frac{h_a}{m} = 1 \quad (2.3)$$

Dedendum o altura del pie del diente (h_f). La altura del pie del diente es la distancia desde el círculo primitivo hasta la circunferencia del fondo del pie del diente.

$$h^*_f = \frac{h_f}{m} = 1 \quad (2.4)$$

La altura total (h_o). Es la suma de la altura de la cabeza del diente más la altura del pie del diente.

Holgura o juego circunferencial (c):

$$c^* = \frac{c}{m} = 0.25 \quad (2.5)$$

Espesor circular (s): Es la longitud del arco entre los dos lados del diente del engrane sobre la circunferencia primitiva.

Las dimensiones de los engranajes son determinadas por medio del módulo.

El es el cociente de dividir el paso circular, expresado en mm, por el número π :

$$m = \frac{p}{\pi} \tag{2.6}$$

Se determinó que el módulo 5 mm se utilizara para realizar los cálculos para el diseño de la fresa madre porque está dentro de los módulos estandarizados y además nos permite obtener ruedas dentadas relativamente no tan pequeñas.

2.2.2.2 MÓDULOS NORMALIZADOS

El valor a tomar para el módulo del engranaje. Están definidas tres series de valores representados en la tabla 1, de los que conviene evitar los valores comprendidos en las series II y III, dando preferencia a los módulos en la serie I.

Tabla 2. 2.- Módulos normalizados de engranajes.

I	1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20
II	1,12 5	1,375	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7	9	11	14	18	
III					3,25		3,75	6,5						

2.2.3 DISEÑO CONCEPTUAL

Esta fase del diseño forma el planteamiento del problema y generar soluciones amplias, en forma de esquemas. Es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde existe el mayor campo para mejoras espectaculares. Es la fase donde necesitan conjuntarse la ciencia de la ingeniería, el conocimiento práctico, los métodos de producción y los aspectos comerciales y donde se toman las decisiones más importantes[10].

Una de las primeras opciones fue buscar estandarizar el dimensionamiento de la fresa madre en su longitud, diámetro del agujero y diámetro exterior, estos parámetros anteriormente mencionados fueron obtenidos de la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 2. 3.- Se indican las medidas nominales de la fresas madre de un filete con arrastre por chavetas para el tallado de engranes.

Engranajes cilíndricos	TALLADO DE DIENTES				TABLA 12 . 12
FRESA MADRE DE UN FILETE PARA MÓDULOS DE 1 A 20					
<p>Observaciones</p> <p>Las ranuras paralelas al eje están admitidas hasta un ángulo de inclinación de 6°.</p> <p>Las fresas madre pueden ser tanto cilíndricas como cónicas. En el caso de fresas madres cónicas el diámetro exterior que se indica en la Tabla se corresponde al diámetro mayor de la fresa madre.</p> <p>El diámetro D, del collar de centrado no está normalizado. Debe resultar lo más grande posible y en todos los casos más grande que los anillos separadores.</p> <p>En la Tabla se indican las medidas nominales de las fresas madre de un filete con arrastre por chaveta para el tallado de engranes.</p>					
Módulos		Diámetro exterior D, mm.	Diámetro del agujero d, mm.	Longitud L mm.	Altura del collar de centrado c, mm.
Desde	Hasta				
0,998	1,125	50	22	32	4
1,125	1,375			40	
1,375	2,00	63	27	50	
2,00	2,25			56	
2,25	2,75	71	32	63	
2,75	3,50			71	
3,50	4,0	90	40	80	
4,0	4,7			90	
4,7	5,4	100	50	100	
5,4	6,0			112	
6,0	6,5	118	60	112	
6,5	7,5			118	
7,5	8,5	125	70	125	
8,5	9,5			132	
9,5	10,5	140	80	150	
10,5	11,5			170	
11,5	13,0	150	90	180	
13,0	15,0			200	
15,0	17,0	160	100	224	
17,0	19,0			250	
19,0	20,0	190	120	250	
				300	
Concuerdia con la Norma 18.029-78					



Tabla 2. 4.- Parámetros calculados con módulo 5 mm

Parámetro de diseño de la fresa madre	Ecuación	Resultados
Paso circular	$p = \pi * m$	15.7079 mm
Altura del diente	$h_a = 1 * m$	5 mm
Altura del pie del diente	$h_f = 1 * m$	5 mm
Angulo de inclinación del filete o de la hélice	$\beta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{p}{dp * \pi} \right)$	3.813°
Holgura radial	$c = 0.25 * m$	1.25 mm
Radios de redondeo	$r = 0.3 * m$	1.5 mm
Número de dientes de la fresa madre	$ND = \frac{D * 3}{2 * p}$	10
Diámetro exterior	D	100 mm
Diámetro del agujero	d	32 mm
Longitud de la fresa	L	100
Altura de collar de centrado		4 mm
Profundidad de la estría	$he = 3 * m$	15 mm
Radio de redondeo de la estría	$re = 0.6 * m$	3 mm



Tabla 2. 5.- Parámetros calculados con módulo 4.0425 mm

Parámetro de diseño de la fresa madre	Ecuación	Resultados
Paso circular	$p=\pi*m$	12.7 mm
Altura del diente	$h_a=1*m$	4.0425 mm
Altura del pie del diente	$h_f=1*m$	4.0425 mm
Angulo de inclinación del filete o de la hélice	$\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{p}{dp * \pi}\right)$	3.3152°
Holgura radial	$c=0.25*m$	1.010 mm
Radios de redondeo	$r=0.3*m$	1.2127 mm
Número de dientes de la fresa madre	$ND = \frac{D * 3}{2 * p}$	11
Diámetro exterior	D	90 mm
Diámetro del agujero	d	32 mm
Longitud de la fresa	L	90 mm
Altura de collar de centrado		4 mm
Profundidad de la estría	$he=3*m$	12.1275 mm
Radio de redondeo de la estría	$re=0.6*m$	2.4255 mm

En el epígrafe o apartado 2.2.4 se explicará la razón por la que fue necesario calcular los parámetros para una rueda de módulo $m=4.0425$ mm.

Con los parámetros que se calcularon se propusieron tres modelos de diseño para la fresa madre, con los datos obtenidos de los cálculos se dibujo cada modelo, a continuación se describe de manera general los pasos para el trazado de la geometría de la herramienta de corte.

2.2.3.1 PROCEDIMIENTO PARA TRAZAR LA GEOMETRÍA DE LA FRESA MADRE.

En la figura 2.2 que se muestra se trazó un círculo con la magnitud del diámetro primitivo de la fresa madre, se selecciona la operación extrudir y se selecciona el perfil que es la circunferencia primitiva y como consecuencia queda la longitud de la herramienta de corte, se traza una línea paralela al plano en el que se está dibujando para poder trazar una línea con un cierto ángulo de inclinación, este ángulo de inclinación es el de la espira del tornillo sinfín en el cilindro primitivo.

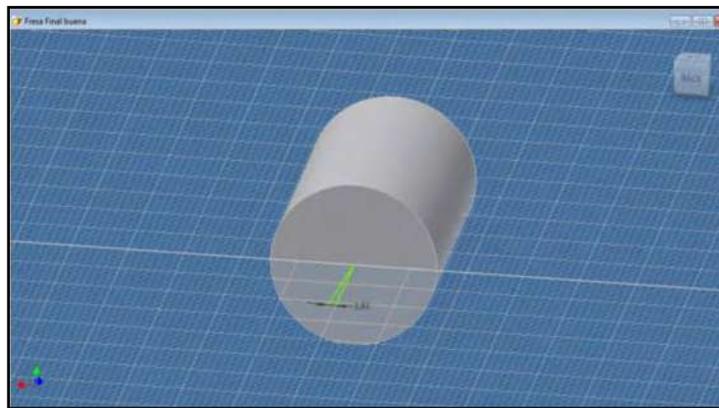


Figura 2. 2. Cilindro primitivo.

Con las líneas de referencia que se trazaron en el paso anterior se generó el plano con la inclinación, de acuerdo a cada modelo que se contemplo, ya que algunas fresas madres se fabrican con ranuras rectas paralelas al eje de la fresa por lo tanto este ángulo de inclinación es igual a cero, lo que simplifica el afilado de los dientes (ver Figura 2.3).

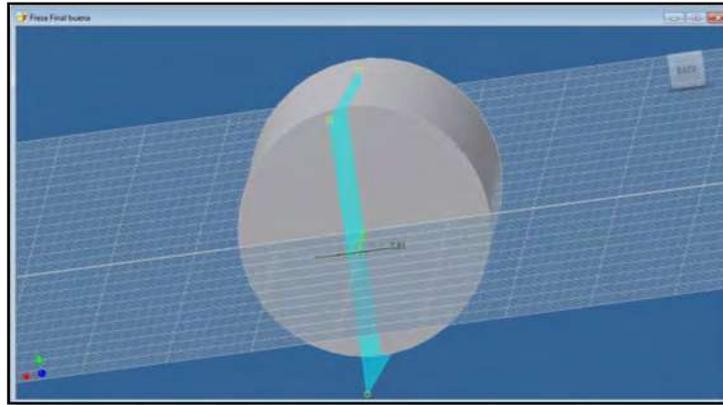


Figura 2.3. Trazado del plano inclinado.

Ya trazado el plano inclinado, se posicionó en el plano para poder dibujar el perfil del diente asimétrico, con las dimensiones correspondientes a cada modelo de la fresa madre, el perfil de estar posicionado sobre el círculo primitivo (ver Figura 2.4).

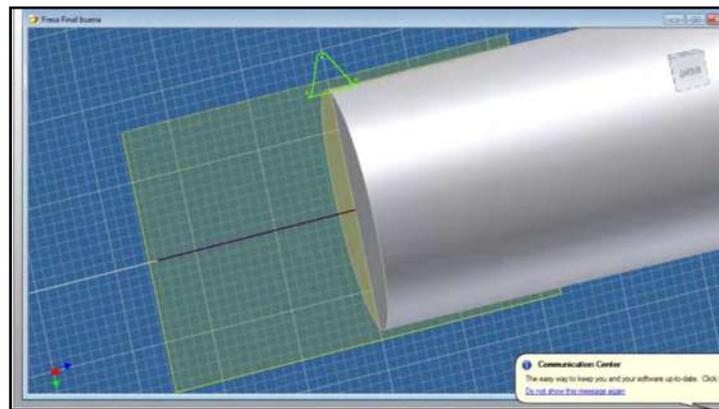


Figura 2.4. Trazado del perfil del diente asimétrico.



Se trazó el espiral tomando como referencia el perfil el del diente asimétrico, con un paso de acuerdo al módulo de cada fresa madre, con un cierto número de revoluciones para barrer la longitud de la fresa madre (ver Figura 2.5).

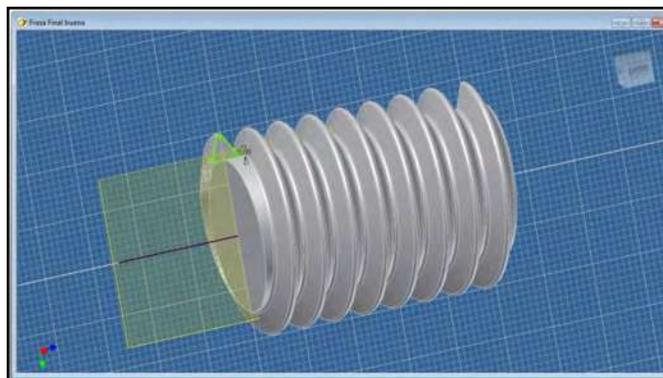


Figura 2.5. Barrido de la espiral sobre el diámetro primitivo.

Se dibujo el perfil de la ranura longitudinal de la fresa madre, estas ranuras llevan el mismo ángulo de inclinación que el de la espira del tornillo sinfín, las profundidad de la ranura va en función del módulo (ver Figura 2.6).

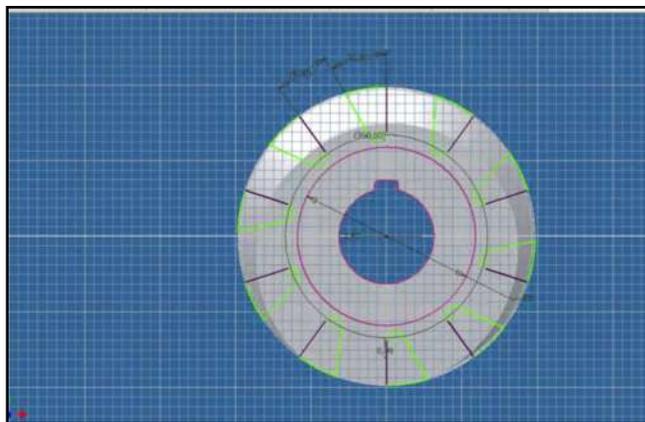


Figura 2.6. Trazado del arreglo de las ranuras longitudinales

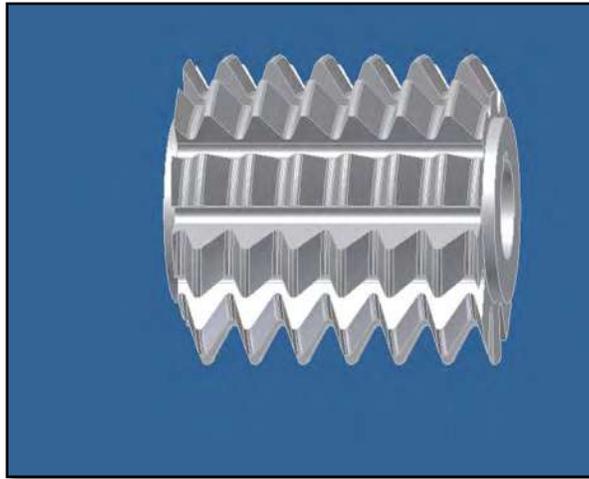


Figura 2.7. Fresa madre dibujada.

2.2.4 ESQUEMAS SELECCIONADOS

En esta fase los esquemas se trabajan con mayor detalle y, si existe más de uno, se hace una elección final de entre ellos. El producto final es generalmente un conjunto de dibujos del arreglo general. Hay una buena cantidad de retroalimentación desde esta fase a la fase del diseño conceptual[10].

Tallado de engranajes es un proceso de fabricación razonablemente preciso y altamente productiva. Con algunas excepciones, los engranajes que son cortados por la misma herramienta puede encajar juntos. Fresadoras requieren herramientas complicadas y costosas. Parámetros comunes de la herramienta de corte (la generación con cremallera), tales como el perfil (de presión) el ángulo, paso diametral, addendum y dedendum del diente (Fig. 2.8), se estandarizaron y se han convertido en la base del diseño de engranajes. Esto ha hecho que el diseño de engranajes indirecta, en función de la pre-seleccionados (por lo general estándar) conjunto de parámetros de corte de la herramienta.

Generalmente para la elaboración de engranajes metálicos se utilizan fresas madre normalizadas, por razones económicas, y en las industrias que se encargan de generar engranes lo hacen con herramientas de corte estandarizadas.

En este trabajo se presenta una nueva herramienta de corte (fresa madre asimétrica), con ángulos de presión de 20° por una cara y 30° por la otra cara.

Una de las características principales que debe cumplir la fresa madre para generar el perfil evolvente asimétrico, es que en su sección normal al perfil de su helicoidal, aparezca la



cremallera básica asimétrica (ver Figura. 2.9), la cual permite obtener un perfil simple en la construcción de la herramienta y a la vez generar el perfil evolvente en la rueda tallada; este complicado proceso se agrava con la asimetría del diente, y se aborda en este trabajo.

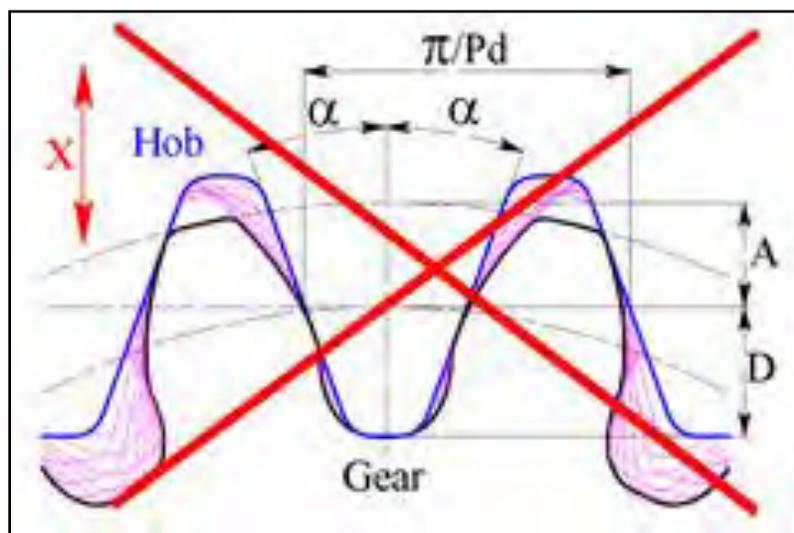


Figura 2.8. Cremallera básica estándar simétrica

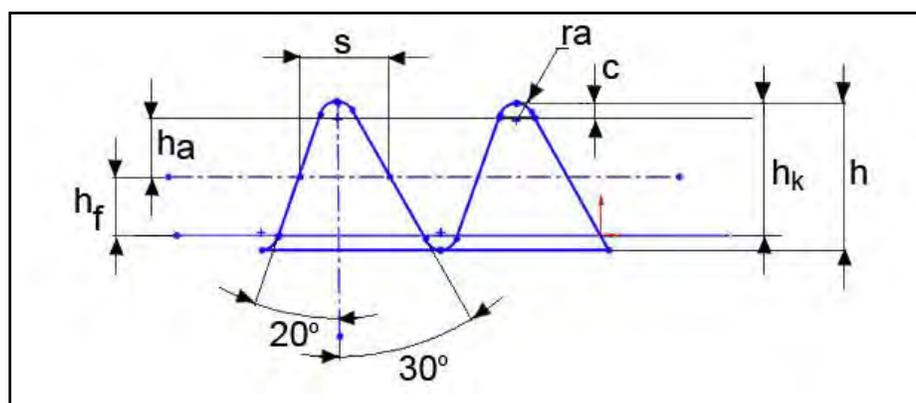


Figura 2.9. Cremallera básica para generar la fresa madre.

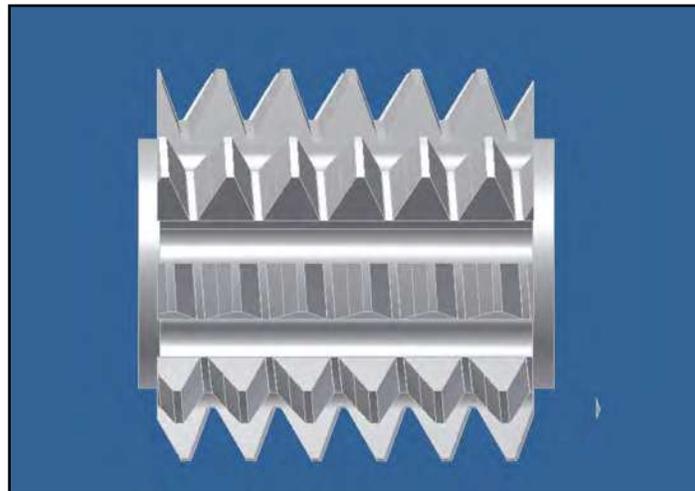


Figura 2. 10. Diseño 1 de la fresa madre módulo 5 mm.

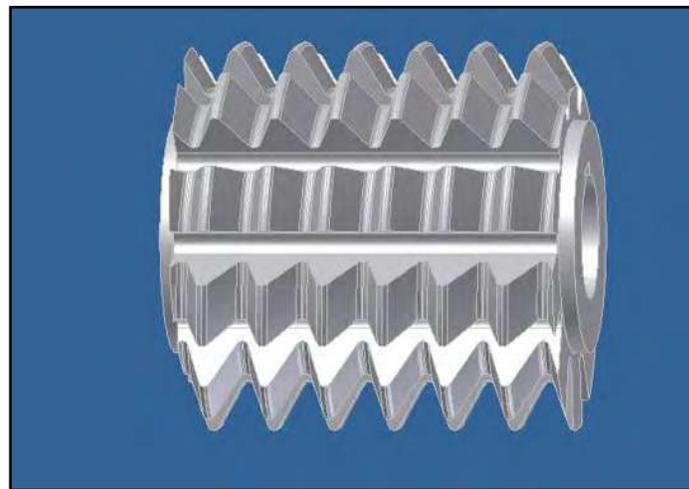


Figura 2. 11. Diseño 2 de la fresa madre de módulo 5 mm.

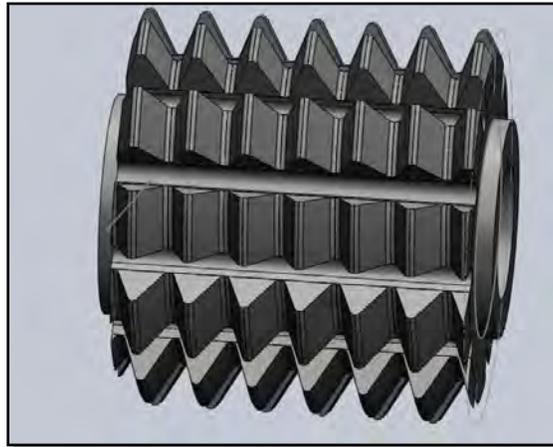


Figura 2. 12. Diseño 3 de fresa madre de módulo 4.0425 mm.

De los tres modelos anteriormente mostrados (ver Figura 2.10, 2.11, 2.12) se escogió el tercer diseño, ya que el paso circunferencial calculado con el módulo 5 mm para poder generar la helicoidal, no se podía tallar debido a la limitante de la relación de transmisión que se tenía al alcance y que proporcionaba la máquina herramienta a utilizar.

Por esta razón se optó por un paso de 12.7 mm que es el que proporciona el torno en existencia, con este parámetro de diseño se puede obtener el módulo ya que este parámetro es esencial para los cálculos del perfil asimétrico de la fresa madre.



CAPÍTULO III.

CONSTRUCCIÓN DE LA FRESA MADRE DE MÓDULO 4.0425 mm

3.1 INTRODUCCIÓN

El mecanizado es un proceso mecánico que consiste en la fabricación de piezas de gran precisión. El método se basa en el arranque de material de un bloque inicial de materia prima, mediante una herramienta, hasta la obtención de la geometría de la pieza final. Existen numerosas familias de arranque de material pero, en este trabajo, nos centraremos en particular en los procesos de mecanizado con herramientas de filo geoméricamente definido, básicamente de dos tipos: el torneado, el fresado. Estos dos tipos de mecanizados son los más frecuentemente utilizados hoy en día.

Controlar el proceso de mecanizado no es una tarea fácil de conseguir. Los mecanismos físicos que definen el arranque de material son complejos porque engloban todo un conjunto de procesos que son objetos de estudio por parte de las disciplinas de la mecánica y de las ciencias de los materiales. Parte de la complejidad de este proceso radica en que las condiciones de contacto mecánico y físico entre la herramienta y la pieza influyen notablemente en la formación de la viruta. De hecho, se observa que cambiando el tipo de material de la herramienta (o el de la pieza) así como cambiando alguna de las condiciones de corte (por ejemplo la velocidad de corte, la profundidad de corte, el ángulo de desprendimiento etc.), los mecanismos de generación de la viruta pueden cambiar pasando de ser continua a serrada o segmentada (rotura del material). Por otra parte, cerca del filo de la herramienta se producen zonas de carga extrema con elevados valores de deformación, de velocidad de deformación y de temperatura, y generación de nuevas superficies libres (superficie mecanizada)[15].

En el presente trabajo vamos a trabajar con dos máquinas herramientas muy usuales en el campo de la manufactura como son el torno horizontal marca toz y la fresadora horizontal. Una definición de una máquina herramienta es: "una máquina que funciona accionada por una fuerza que no sea la manual del hombre y que emplea una herramienta para trabajar un metal".

Las máquinas herramientas de mecanizado por arranque de viruta han experimentado en las últimas décadas la evolución más importante con respecto al resto del siglo anterior. La evolución de la tecnología en otros terrenos han facilitado el desarrollo de las máquinas constituyen una síntesis de la mecánica, hidráulica, neumática, eléctrica y electrónica y su

análisis, investigación y diseño, resultan tareas interdisciplinarias y complejas manufactura [11].

3.2 TORNO PARALELO

Se denomina torno a una máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica de revolución (cilindros, conos, hélices). Estas máquinas herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento de avance contra la superficie de la pieza, cortando las partes sobrantes en forma de viruta.

Desde el inicio de la Revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

Se entiende que el primer torno que se puede considerar máquina herramienta fue el inventado alrededor de 1751 por Jacques de Vaucanson, ya que fue el primero que incorporó el instrumento de corte en una cabeza ajustable mecánicamente, quitándolo de las manos del operario. La Figura 3.1 delinea las partes principales del torno mecánico.[16]



Figura 3. 1. Partes que conforman a un torno paralelo



3.2.1 PARTES PRINCIPALES DEL TORNO MECÁNICO

Bancada: Sirve de soporte y guía para las otras partes del torno. Está construida de fundición de hierro gris, hueca para permitir el desahogo de virutas y líquidos refrigerantes, pero con nervaduras interiores para mantener su rigidez. En su parte superior lleva unas guías de perfil especial, para evitar vibraciones, por las que se desplazan el cabezal móvil o contrapunta y el carro portaherramientas principal. Estas pueden ser postizas de acero templado y rectificado.

Cabezal fijo: Es una caja de fundición ubicada en el extremo izquierdo del torno, sobre la bancada. Contiene los engranajes o poleas que impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. Incluye el motor, el husillo, el selector de velocidad, el selector de unidad de avance (también llamado Caja Norton) y el selector de sentido de avance. Además sirve para soporte y rotación de la pieza de trabajo que se apoya en el husillo. El husillo, o eje del torno, es una pieza de acero templado cuya función es sostener en un extremo el dispositivo de amarre de la pieza (plato, pinza) y en su parte media tiene montadas las poleas que reciben el movimiento de rotación del motor. Es hueco, para permitir el torneado de piezas largas, y su extremo derecho es cónico (cono Morse) para recibir puntos.

Contrapunta o cabezal móvil: La contrapunta es el elemento que se utiliza para servir de apoyo y poder colocar las piezas que son torneadas entre puntos, así como para recibir otros elementos tales como mandriles portabrocas o brocas para hacer taladrados en el centro de las piezas. Esta contrapunta puede moverse y fijarse en diversas posiciones a lo largo de la bancada

La contrapunta es de fundición, con una perforación cuyo eje es coincidente con el eje del torno. En la misma, corre el manguito, pínula o cañón. Su extremo izquierdo posee una perforación cónica (cono Morse), para recibir mandriles portabrocas y puntos. El otro extremo tiene montada una tuerca de bronce, que un conjunto con un tornillo interior solidario con un volante, extrae u oculta el manguito dentro de la contrapunta.

Posee dos palancas-frenos: una para bloquear la contrapunta sobre la bancada, y otra para bloquear el manguito dentro de la contrapunta[16][17][18].

3.2.2 CARRO PORTAHERRAMIENTAS CONSTA DE LAS SIGUIENTES PARTES:

Carro Longitudinal, Que produce el movimiento de avance, desplazándose en forma manual o automática paralelamente al eje del torno. Se mueve a lo largo de la bancada, sobre la cual apoya.

Carro Transversal, Se mueve perpendicular al eje del torno de manera manual o automática, determinando la profundidad de pasada. Este está colocado sobre el carro anterior.

En los tornos paralelos hay además un Carro Superior orientable (llamado Charriot), formado a su vez por dos piezas: la base, y el porta herramientas. Su base está apoyada sobre una plataforma giratoria para orientarlo en cualquier dirección angular. El dispositivo donde se coloca la herramienta, denominado Torre Portaherramientas, puede ser de cuatro posiciones, o torreta regulable en altura.

Todo el conjunto, se apoya en una caja de fundición llamada Delantal, que tiene por finalidad contener en su interior los dispositivos que le transmiten los movimientos a los carros (ver Figura 3.1)[16][17][18].

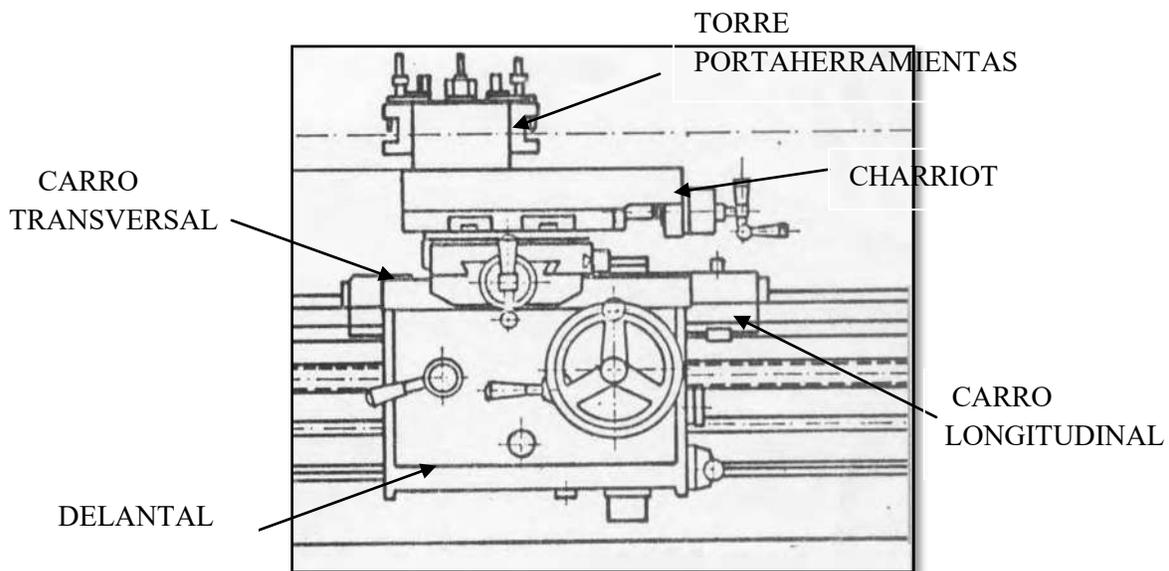


Figura 3. 2. Carro portaherramientas.

3.3 TALLADO DE LA HELICOIDAL DE LA FRESA MADRE

Para poder montar la pieza en el momento de cilindrarse se manufacturo un mandril, del mismo acero 4140T, el mandril consta de una rosca de 8 hilos por pulgada y 1 pulgada de diámetro de la rosca, con una tuerca hexagonal como se muestra en la Figura 3.3.

En nuestro caso para la fabricación de la herramienta de corte que se va a manufacturar, es de un acero de medio carbono 4140T, el material tiene una forma inicial cilíndrica con 4 pulgadas de diámetro exterior y 4 pulgadas de longitud (101.6 mm), la maquina que se va a utilizar es un torno manual marca toz y un buril de 1/2 pulgada con punta de carburo de tungsteno para cilindr la pieza y llevarla a la geometría que se desea en nuestro caso son 90 mm de diámetro exterior y 90 mm de longitud.

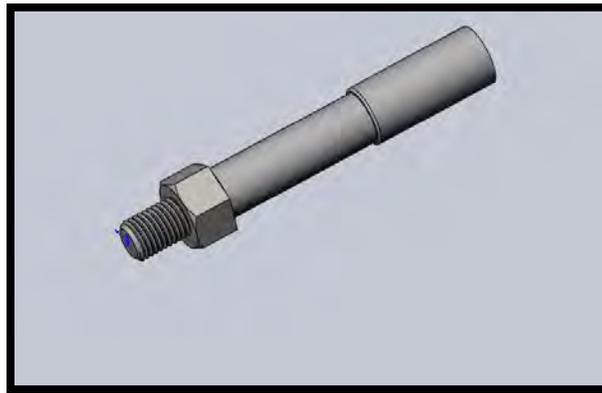


Figura 3. 3. Mandril portafresa.

En la Figura 3.4 se muestra la pieza montada en el mandril portafresa anteriormente mencionado, aquí la pieza ya tiene las dimensiones establecidas que se requieren para nuestra herramienta de corte, se hizo un cilindrado longitudinal y refrentado en el torno manual con un buril de punta de carburo de tungsteno de 1/2 pulgada.



Figura 3. 4. Cilindrado de la pieza.

Se hicieron dos pruebas en dos tipos de materiales para constatar que el torno manual nos proporcionara el paso circular que se requiere para poder tallar la helicoidal en nuestro material base.

En la Figura 3.5 se muestra el arreglo de engranes para brindar el paso circular de 12.7 mm, el engrane de 80 dientes está conectado al husillo patrón del torno con un paso circular de 6 mm, el engrane de 95 dientes tiene la función de conectar a los engranes, y el engrane de 40 dientes este conecta al husillo que hace girar a la pieza de trabajo.

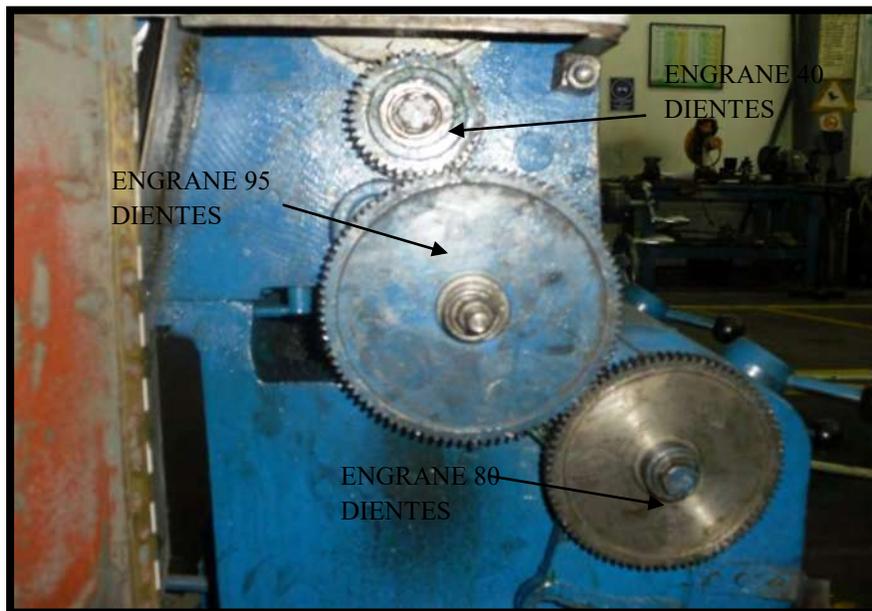


Figura 3. 5. Arreglo de la transmisión del torno para un paso circular de 12.7 mm.



En la Figura 3.6 se muestra una prueba que se hizo con madera para verificar si el torno en realidad nos daba el paso circular de la helicoidal del tornillo sinfín, pero en esta prueba no se cumplió el objetivo por que la madera se astillo demasiado al tiempo que el buril iba quitando material. aquí se utilizó un buril al cobalto de 1/2 pulgada, se afilo el buril trazando el contorno de una plantilla a escala 1:1 del perfil del diente con la geometría asimétrica.



Figura 3. 6. Pruebas para verificar el paso circular.

En la Figura 3.7 se muestra la helicoidal del tornillo sinfín tallada en aluminio, en este material fue posible verificar nuestro parámetro geométrico, se midió con un vernier el paso circular el cual dio la dimensión buscada para nuestro objetivo



Figura 3. 7. Prueba en aluminio



Figura 3. 8. Montaje de el material para el tallado de la espira del tornillo sinfin.

3.4 PARÁMETROS PARA EL MAQUINADO DE LA ESPIRAL DEL TORNILLO SINFIN.

Ya que estos parámetros de corte son muy importantes para el maquinado de materiales, porque si no se escogen bien se pueden llegar a obtener resultados no satisfactorios, en el caso de escoger una velocidad de corte muy baja ocasionara pérdida en cuestión del tiempo de mecanizado de la pieza, y al contrario si se elige una velocidad muy alta se afecta el afilado de la herramienta.

Velocidad de corte (V_c). La velocidad de corte para trabajo en un torno se puede definir como la velocidad con la cual un punto en la circunferencia de la pieza de trabajo pasa por la herramienta de corte en un minuto. La velocidad de corte se expresa en pies o metros por minuto.

Para poder calcular las revoluciones por minuto a las cuales debe ajustar el torno. hay que conocer el diámetro de la pieza y la velocidad de corte del material y se aplica la siguiente formula.

$$V_c = \frac{n * \pi * D}{1000} \quad (3.10)$$



Estas velocidades se indican en r/min y se pueden cambiar por medio de cajas de engranes, con un ajustador de velocidad variable y con poleas y correas (bandas) en los modelos antiguos. Al ajustar la velocidad del husillo, debe ser lo más cercana posible a la velocidad calculada, pero nunca mayor. Si la acción de corte es satisfactoria se puede aumentar la velocidad de corte; si no es satisfactoria, o hay variación o traqueteo de la pieza de trabajo, reduzca la velocidad y aumente el avance[19].

Velocidad de Avance (Va): Es el movimiento lineal relativo entre la pieza a maquinar y la herramienta de corte, se expresa en milímetros por minuto (mm/min).

En otras palabras, el avance en el torno se define como la distancia que recorre la herramienta de corte a lo largo de la pieza, por cada vuelta.

Profundidad de corte (t): Es la medida que penetra la herramienta en la pieza de trabajo arrancando una capa de material en forma de viruta. Se representa por la letra t y se expresa en pulgadas ó milímetros.

También se define como el espesor de material removido en una pasada de la herramienta de corte. La profundidad del corte está relacionada con el objetivo del mecanizado.

Generalmente la industria hace dos tipos de mecanizados: el desbaste primario, el cual se usa para remover grandes cantidades de material y producir una forma cercana a la deseada y el desbaste secundario ó de acabado, utilizado para obtener las dimensiones finales de la pieza. Tanto en los procesos de desbaste como de acabado hay que seleccionar la velocidad y profundidad de corte correcta para lograr combinar un avance elevado y un eficiente corte.

La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de herramienta que se utilice, de la profundidad de pasada, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada. Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el cabezal del torno, según la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{n * \pi * D}{1000}$$

Tabla 3. 1.- Se indican las velocidades para el torno para el uso de herramientas de alta velocidad.

VELOCIDADES DEL TORNO EN PIES POR MINUTO Y METROS POR MINUTO CON EL USO DE HERRAMIENTAS PARA ALTA VELOCIDAD						
MATERIAL	REFRENTADO, TORNEADO, RECTIFICACION				ROSCADO	
	DESBASTADO		ACABADO			
	pies/min	m/min	pies/min	m/min	pies/min	m/min
Acero de máquina	90	27	100	30	35	11
Acero de herramientas	70	21	90	27	30	9
Hierro fundido	60	18	80	24	25	8
Bronce	90	27	100	30	25	8
Aluminio	200	61	300	93	60	18

La velocidad de corte para el acero 4140T, que entra en la clasificación de acero grado maquinaria es de 11 m/ min.

$$r/\text{min} = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$

Donde:

V_c = Velocidad de corte

π = número Pi (3.1416)

D = diámetro de la pieza en (mm)

$$\frac{r}{\text{min}} = \frac{11 * 1000}{\pi * 90} = 38.9$$

Los tornos de taller están diseñados para trabajar con el husillo a diversas velocidades y para maquinar piezas de trabajo de diferentes diámetros y materiales.



El número de revoluciones que se calculo no es exacto se tiene que ajustar al más próximo que maneje el torno el cual es 42 r/min.

La velocidad de de avance (V_a) que se considero para el mecanizado de la helicoidal del tornillo sinfin fue de 2 mm/seg.

La profundidad de corte que se considero para el proceso de maquinado fue de 0.5 mm por pasada hasta llegar a la dimensión que se requirió.

En la imagen se muestra el montaje del buril de HSS aleado al cobalto de 1/2 pulgada, se afilo el buril de tal forma que se obtuviera los ángulos del perfil asimétrico, esto se hizo mediante una plantilla a escala 1:1, este tipo de buriles resisten temperaturas de 600 °C, pero se recomienda para trabajos en el torno que no se superen temperaturas de 540 °C, para aprovechar al máximo la vida útil de la herramienta corte.



Figura 3. 9. Tallado de la espira del tornillo sinfin.

En este caso particular la herramienta que se construye de forma experimental se hace sobre un acero aleado de la serie 4XX, es un acero 4140T con elementos de aleación cromo y molibdeno, clasificado como un acero de baja aleación de los más populares por el espectro amplio de propiedades útiles en piezas que se someten a esfuerzo, con relación a su bajo costo. Al templearlo se logra muy buena dureza, 320 HB, con una gran penetración de la misma, teniendo además un comportamiento muy homogéneo. Tiene también una buena resistencia al desgaste.

Una vez que se conoce la forma precisa de la fresa madre que se necesita para la generación de la pieza de trabajo, esta forma se transfiere a una “herramienta formadora”. La herramienta formadora es idéntica a una herramienta de torno y se le aplica de una manera prácticamente igual. Esta herramienta se rectifica a esmeril con la debida exactitud, dándole

un contorno idéntico al de la forma del espacio interdental de la fresa matriz que se ha sido generada. Para la construcción de la fresa madre se utilizó un torno horizontal marca TOZ y un buril de alta velocidad (HSS) aleado al cobalto, la helicoidal se talló a una velocidad de rotación del husillo de 42 r/min, con un avance de la herramienta de corte de 2 mm/s. y una profundidad de corte por cada pasada de 0.5mm (ver Figura. 3.9).

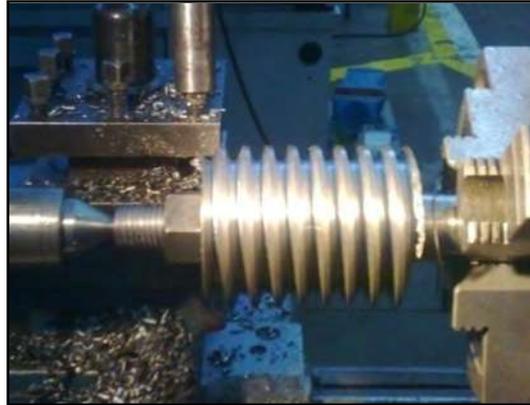


Figura 3. 10. Tallado de la helicoidal.

3.5 GENERALIDADES DE LA MÁQUINA FRESADORA HORIZONTAL

En la actualidad el campo de aplicación de la fresadora es el mecanizado casi ilimitado de piezas pequeñas; además como se pueden equipar con dispositivos especiales, se está extendiendo cada vez más la mecanización de piezas de cualquier tamaño.

Las fresadoras tienen, para la misma operación mucho más rendimiento que las demás máquinas herramienta, pues como cada diente o arista de la fresa no está en fase de trabajo y por tanto en contacto con la pieza, más que una fracción de tiempo que dura lo que dura una revolución de la fresa, esta experimenta menos fatiga, tiene menor desgaste y trabaja a temperaturas inferiores a la de las cuchillas de los tornos sin que pueda considerarse su trabajo intermitente, ya que siempre hay un diente de la fresa en fase de trabajo[20].

Los cortadores de fresado se hacen con diversos diámetros, longitudes, anchos y números de dientes. Los cortadores de fresado pueden ser de los tipos sólido de una pieza, o con puntas o dientes insertados con los mismos materiales que para las herramientas de un solo filo. Los cortadores grandes comúnmente tienen dientes insertados de material costoso y fijos en su lugar en un cuerpo de acero suave o de hierro fundido [23].

3.5.1 PARTES DE LA FRESADORA

Husillo principal: Es uno de los elementos esenciales de la máquina, puesto que es el que sirve de soporte a la herramienta y le da movimiento. El husillo recibe el movimiento a través de la caja de velocidades, que a su vez es movido por el motor.

Caja de velocidades del husillo: Tiene una serie de engranajes que pueden acoplarse según diferentes relaciones de transmisión. Esto permite una extensa gama de velocidades del husillo principal. El accionamiento de esta caja es independiente del que efectúa la caja de avances.

Mesa longitudinal: Es el punto de apoyo de las piezas que van a ser trabajadas. Estas piezas se pueden montar directamente o por medio de accesorios de fijación. La mesa tiene ranuras en forma de T para alojar los tornillos de fijación (ver Figura 3.10).



Figura 3. 11. Mesa longitudinal.

Carro transversal: Es una pieza de fundición de forma rectangular, en cuya parte superior se desliza y gira la mesa en un plano horizontal. En la base inferior está ensamblado a la consola, sobre la que se desliza manualmente por medio de tuerca y tornillo, o automáticamente, por medio de cajas de avance. Se puede inmovilizar.

Consola: Sirve de apoyo a la mesa y sus mecanismos de accionamiento. Se desliza verticalmente en el bastidor a través de una guía por medio de un tornillo telescópico y una tuerca fija.

Caja de avances: Es un mecanismo construido por una serie de engranajes ubicados en el interior del bastidor. Recibe el movimiento directamente del accionamiento principal de la máquina. Se pueden establecer diferentes velocidades de avance. El enlace del mecanismo con el husillo de la mesa se realiza a través de un eje extensible de articulaciones cardán.



En algunas fresadoras, la caja de velocidades de los avances está ubicada en la consola con un motor especial e independiente del accionamiento principal de la máquina [24][25][26][27].

Las fresadoras en plano poseen tres ejes de movimiento, los cuales se manejan manualmente o están motorizados. En las fresadoras universales, la mesa se puede hacer girar en un plano horizontal. De esta forma se pueden maquinar formas complicadas, por ejemplo ranuras helicoidales en distintos ángulos, para producir piezas como engranajes, brocas, machuelos y cortadores.

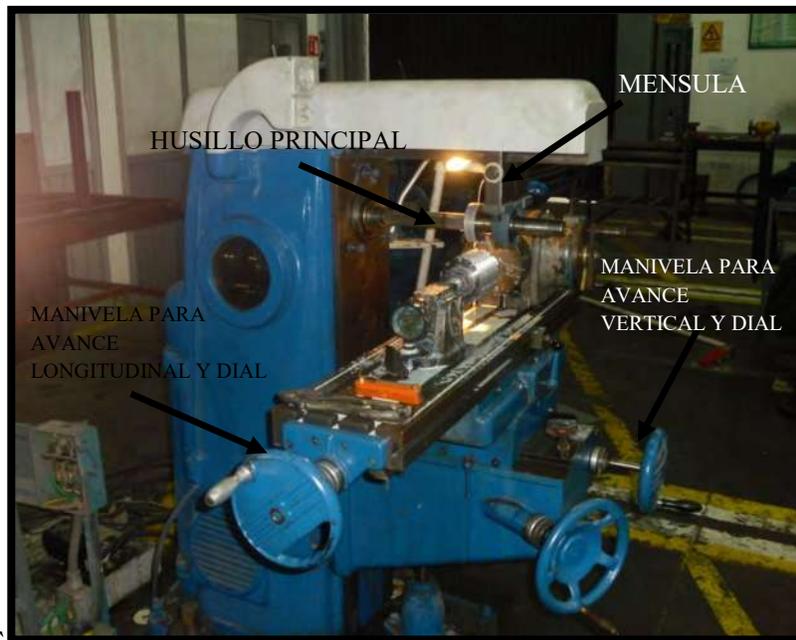




Figura 3. 12. Partes de una fresadora.

3.6 DISPOSITIVOS Y ACCESORIOS DE SUJECIÓN DE PIEZAS

La pieza que se va a fresar se debe sujetar con firmeza a la mesa para resistir las fuerzas de corte y evitar el deslizamiento durante el fresado. Para este fin se usan varios aditamentos y prensas. Se montan y sujetan a la mesa con las ranuras en T. Las prensas se usan en trabajos menores de producción y en pinzas pequeñas. Los soportes se usan para producciones más grandes y se pueden automatizar mediante dispositivos mecánicos e hidráulicos. Entre los accesorios de las fresadoras se incluyen diversos soportes y aditamentos para cabezales y mesas, diseñados para adaptarlas a diferentes operaciones de fresado. El accesorio que se usaba con más frecuencia en el pasado era el cabezal divisor universal. Este soporte funciona manualmente y gira la pieza en ángulos específicos, entre los pasos de maquinado. Se ha usado para fresar piezas con superficies poligonales y para maquinar dientes de engranajes. Hoy en día, los cabezales divisores sólo se usan para producción a escala de taller, de bajo volumen. Han sido sustituidos por controles numéricos y centros de maquinado[21].

Contracabezal, Figura 3.11. El contracabezal se usa para soportar el extremo exterior de las piezas que se están fresando. La aplicación primordial es para piezas sujetas entre puntos, pero también se usa para sujetar el extremo de la pieza sujeta en el plato del cabezal [22].

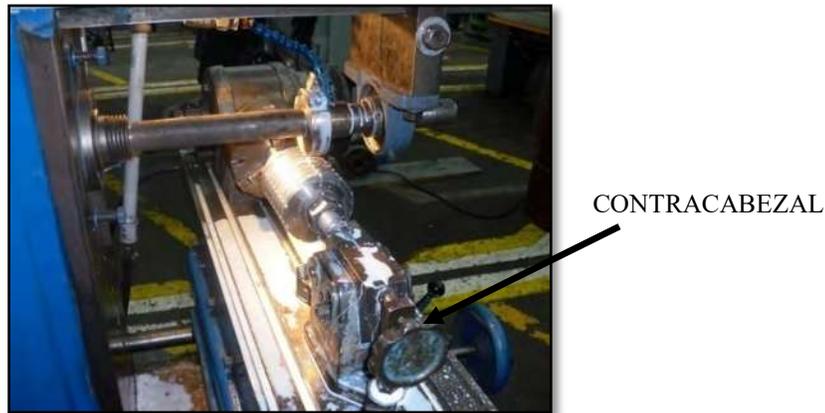


Figura 3. 13. Contracabezal.

3.7 INDICACIÓN DE DIVISIONES SIMPLE Y DIRECTA

La mayoría de las operaciones de indicación de división que se efectúan en los talleres de máquinas pertenecen a las categorías de indicación directa y simple. La exactitud de la operación de indicación determina el método de división a usar.

La indicación de división directa es el método más fácil de dividir una pieza de trabajo en un número dado de divisiones iguales. El número de divisiones obtenido por indicación directa está limitado por el número de agujeros que tiene el círculo de indicación directa de la nariz del husillo. Los círculos de agujeros disponibles tienen 24, 30 o 36 agujeros. Para efectuar rápidamente la indicación directa, se debe desengranar el tornillo sin fin de la corona para dejar que el husillo pueda moverse con la mano. Cuando se usan un círculo de 24 agujeros se pueden hacer divisiones de 2, 3, 4, 6, 8, 12 y 24 espacios.

La indicación de división simple comprende también la operación de dar vueltas a manivela del indicador para hacer girar al husillo. En la mayoría de las cabezas divisoras, por cada 40 vueltas de la manivela del indicador de una revolución el husillo, por tanto la pieza de trabajo. Para obtener un número específico de espacios en la circunferencia de una pieza de trabajo, se divide 40 entre ese número para obtener el número de vueltas completas o parciales de la manivela del indicador que requiere cada división (ver Figura 3.13).

Cuando uno necesita dar una parte de vuelta con manivela del indicador, se emplea un plato indicador con varios círculos diferentes de agujeros. Se obtienen platos indicadores con los siguientes números de agujeros: 24, 25, 28, 30, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 46, 47, 49, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62, y 66. Para obtener $\frac{1}{2}$ de revolución de la manivela indicadora se

puede usar cualquier círculo de agujeros que sea divisible entre 2. Si se usa el círculo de 30 agujeros, el perno del indicador debe hacerse avanzar 15 agujeros cada vez. La exactitud máxima de indicación se logra cuando se emplea el círculo de agujeros del mayor número de agujeros en el que se pueda acomodar el denominador de la fracción. Sería muy laborioso contar el número de agujeros para cada operación de indicación. Es por esto que se tiene el compás de sector en el plato indicador. Este compas puede ajustarse para formar diferentes ángulos aflojando su tornillo de fijación. Uno de los lados del compas es biselado. El número de agujeros de la vuelta parcial que se necesitan se localiza dentro de estos lados biselados.

Para obtener otras separaciones diferentes de disponibles en los platos indicadores estándares se pueden usar platos indicadores de números altos. Otra alternativa sería usar un divisor de gama amplia. Cuando se dispone de engranes reemplazables para cabezas divisoras o diferencial para hacer divisiones que no sean obtenidas con los platos indicadores ordinarios. [4]

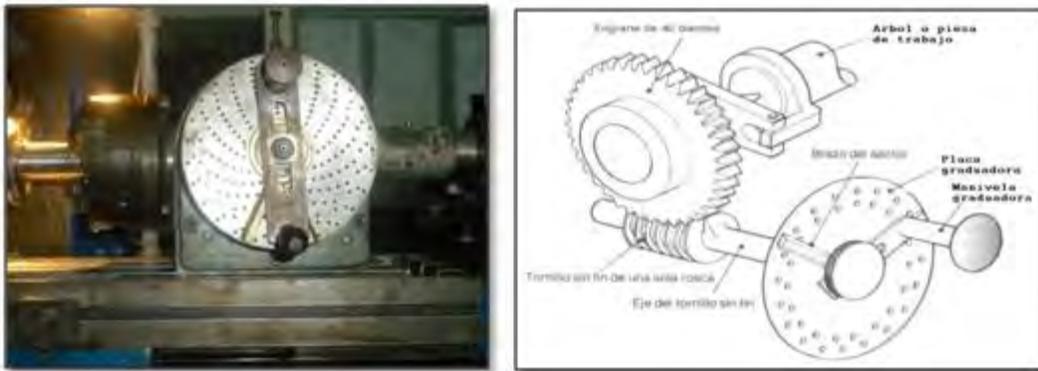


Figura 3. 14. Mecanismo de división simple.

3.8 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FIJACIÓN DE LA PIEZA A MAQUINAR

El sistema de fijación que se va a utilizar es el del aparato divisor simple, Figura 3.14 . Se emplea este sistema fundamentalmente cuando se trata de mecanizar superficies equidistantes sobre piezas de revolución tales como engranajes, hexágonos etc.

La pieza la sujetamos entre puntos de forma similar al torno y su posicionamiento se realiza girando la manivela que acciona un mecanismo sinfín-corona interior.



El cálculo del número de vueltas a dar a la manivela (X) está en función de una constante del aparato (K=40 normalmente) y del número de divisiones que queremos realizar (N).

$$X = \frac{K}{N} \quad (3.2)$$



Figura 3. 15. Sistema de fijación.

3.9 MÁQUINADO DE LAS RANURAS LONGITUDINALES DE LA FRESA MADRE

La capacidad de producción de una maquina depende, entre otras cosas de la eficacia de la herramienta de corte. Cuando se trata de separar una cierta cantidad de material, la herramienta de corte resulta eficaz solamente cuando trabaja con la profundidad de corte, el avance y la velocidad adecuada.

Velocidad de corte. Mientras la pieza avanza contra la pieza que gira, cada diente quita una viruta. La cantidad de metal separado en un tiempo depende de la anchura y profundidad de corte, el espesor de la viruta, (avance fino, basto), y la velocidad del filo a través de corte, el avance y la velocidad son todos variables. El avance y profundidad son más o menos dependientes del propio criterio, y las condiciones que los rigen se explicaran más adelante: la velocidad de corte, sin embargo, está determinada por condiciones prácticamente fijas.

Mientras se hace avanzar la pieza contra la fresa giratoria, la velocidad a que la viruta es cortada es la velocidad de corte. Dicho de otro modo, la velocidad de corte de una fresa es



la velocidad en pies o metros por minuto del filo de un diente, según va separando la viruta. La acción de corte produce fricción entre la fresa y la pieza, y la fricción genera calor. Cuando una fresa se sobre calienta se destruye el temple, y en muchos casos la fresa que inserta se vuelve inservible. El calor generado al cortar cualquier material depende de la dureza y tenacidad de este: cuanto más duro y tenaz sea el metal, más calor se genera, y por tanto, más lenta ha de ser la velocidad de corte.

A causa de sus propiedades peculiares, una fresa hecha de acero rápido puede girar a velocidad doble (o más) que una de acero al carbono, sin perder el temple; en consecuencia, la clase de material de que está hecha la fresa es factor importante en la determinación de la velocidad de corte.

Otros factores, además de los mencionados anteriormente, influyen en la velocidad de corte de las fresas. Algunos de estos son:

- Cantidad de material a quitar
- fluido de corte usado
- la relación de entre profundidad y avance
- el acabado deseado

El uso de fresas con plaquitas de carburo es muy común, aun en talleres pequeños, cuando las máquinas tienen la velocidad y potencia requeridas para trabajar con ellas. Aunque estas fresas son un poco más caras que las de acero rápido, las usan talleres para reducir los precios de costo unitarios, y al mismo tiempo, ahorrar tiempo de afilado de las fresas. Debe ponerse mucho cuidado el grado apropiado del carburo para un material determinado.

Además para el afilado se necesitan instalaciones especiales, así como técnica y mucha atención y cuidado. Pare el fresado en los talleres comunes, la fresa de acero rápido usada con los debidos avances, profundidad y velocidad de corte, es más eficaz.

Cálculo de la velocidad de corte

La velocidad de corte de una fresa es la velocidad en pies o metros de un punto de la circunferencia de la fresa. El número de revoluciones por minuto que es necesario para dar la velocidad de corte requerida depende del tamaño de la fresa. Normalmente, para una velocidad dada, cuanto más pequeña sea la fresa más rápida debe de girar. La velocidad de corte para los metales que se emplean más corrientemente en los talleres mecánicos es conocida, y usualmente se controla fijando la velocidad del árbol de la fresadora.



Avance en la fresadora.

Teóricamente, el avance de una fresa es el espesor de la viruta arrancada por diente de la fresa, esto es, la distancia que avanza la pieza contra cada diente sucesivo de la fresa. En las fresadoras conducidas a velocidad constante, el mecanismo de avance suele ser independiente del número de revoluciones de la fresa, y estas máquinas se disponen los avances para mover la mesa cierta distancia por minuto.

3.10 CONDICIONES QUE DETERMINAN LA MAGNITUD DEL AVANCE

El problema de los avances apropiados en la fresadora es una de las cuestiones más interesantes y peor entendidas en el trabajo de las máquinas herramientas.

Hay tantas condiciones que entran en la cuestión de los avances que resulta imposible dar reglas rápidas y definidas. La profundidad y la anchura de corte, y además, el que se trate de un corte en desbaste o en acabado en otras palabras, la cantidad de metal a quitar y el aspecto deseado de la pieza, son factores a tener en cuenta; también han de tomarse en consideración para conseguir un avance eficaz los siguientes factores: el diámetro de la fresa, el número de dientes de la misma; proporción del grueso del diámetro; velocidad a la que gira la fresa; modo de sujetar la fresa, potencia y rigidez de la máquina y rigidez de la pieza.

3.11 ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DEL AVANCE

En primer lugar, debe quedar entendido que en cualquier operación de corte de metal se ejerce una fuerza considerable contra la pieza que se está cortando, e igualmente contra la propia fresa; y que la cantidad de metal quitado (avance y profundidad de corte) está en proporción a esta fuerza. Por consiguiente, la profundidad de corte y magnitud del avance apropiados dependen uno de otro en cierta medida, y además, ambos dependen de la potencia y rigidez de la propia máquina.

En segundo lugar, la profundidad de corte y el avance correctos dependen de la resistencia de la pieza y de cómo está sujeta.

En tercer lugar, los dientes de fresas son más bastos son proporcionalmente más fuertes que los dientes finos, las virutas son arrastradas más fácilmente, y el fluido de corte conserva el



filo mas frio. Por estas razones, pueden cortarse con la fresa de dientes bastos virutas más grandes.

En cuarto lugar, aunque un avance fuerte separa al metal más rápidamente, el aspecto y la precisión de las superficies no son tan buenos como sería de desear para una pieza acabada; por tanto para el acabado de usan avances finos.

En la práctica ordinaria de fresado, cuando se emplea una fresa de perfil constante de acero a al carbono, de buen tamaño, sobre aceros de construcción, con abundante fluido de corte, no resulta excesivo un avance de 4 o 5 pulg. por minuto.

La tendencia general es dar demasiada velocidad y poco avance a la fresa. La razón por lo que se embotan rápidamente muchas fresas es que se ha dado demasiada velocidad, y raramente, o nunca, por exceso de avance. Sera conveniente para el principiante ir bastante despacio al principio, evitando estropear la fresa, la pieza o posiblemente ambas, pero siguiendo en su trabajo con la idea de aumentar la velocidad de avance todo cuando sea posible, teniendo en cuenta el tiempo que le ocupara el afilado de la fresa.

Profundidad de corte

En la mayoría de los trabajos no son necesarios más de dos cortes, uno de desbaste y otro de acabado. Cuando son necesarios dos o más cortes, la regla es dar para los cortes de desbaste un avance basto y casi toda la profundidad de corte que puedan aguantar la maquina, la fresa y la pieza.

Corte de acabado.

Deben de mantenerse siempre las cuchillas afiladas, pues uno de los principales factores del buen fresado; recuerde que una superficie que ha sido fresada con una fresa bien afilada es tan precisa como una superficie limada y pulimentada. También resulta más fácil y rápido, y por tanto más barato, fresar a dimensiones que hacer el acabado por limado y pulimentado.

Cuando es aconsejable hacer dos cortes, uno en desbaste y otro en acabado, déjese por lo menos 1/64 de pulgada (0.4 mm) para el ultimo. En cualquier maquina, una herramienta de corte hará mejor trabajo y durara mas, si el filo logra cortar debajo de la viruta, en donde tiene menos tendencia frotar.

En toda operación el fresado existe siempre flexión. Si el avance es detenido mientras la fresa gira sobre la fresa, la superficie quedara rebajada[22].

3.12 TALLADO DE LAS RANURAS LONGITUDINALES

Para lograr el perfil de la cremallera básica en la fresa madre, se construyó una herramienta de forma con las dimensiones del espacio o ranura, ya que el perfil a tallar no es estandarizado.

Para construir las ranuras longitudinales que establecen la cantidad de dientes de la fresa madre, se maquinaron en una fresadora horizontal marca JARBE y mediante un accesorio de la fresadora, que fue el cabezal divisor con una relación de transmisión de 40:1, se utilizó la indicación de división simple comprende también la operación de dar vueltas a la manivela del indicador para hacer girar al husillo. En la mayoría de la cabezas divisoras, por cada 40 vueltas de la manivela del indicador debe girar una revolución el husillo, por tanto la pieza de trabajo, el número de divisiones que se obtuvo fue igual 10, se construyó un portaburil al cual se le inserta la herramienta de corte en su extremo exterior de tal forma que hace la función de una fresa de disco, el proceso anteriormente descrito se observa en la (ver Figura 3.15).

El número de ranuras longitudinales depende mucho del diámetro de la fresa madre y también del número de entradas de la helicoidal.

La fresa madre que se diseño y construyo, se tallo una helicoidal con una sola entrada , cada vez que la fresa madre gira, un diente de engranaje es tallado. Todos los dientes de la fresa madre por lo tanto contribuyen a la formación del diente del engranaje y, por lo tanto lógico que si la fresa madre tiene un gran número de dientes, la calidad del tallado de engrane será mejor y la fuerza de corte que soporta cada diente se ve afectada.



Figura 3.16. Fresado de las ranuras longitudinales.

Para obtener en ambos lados de los dientes de la fresa madre ángulos de ataque iguales, las ranuras longitudinales de las fresas madres se hacen helicoidales, o sea en el cilindro de cálculo el ángulo de inclinación de las ranuras es igual al ángulo de la helicoidal del tornillo sin fin (ver figura 3.16). En algunas ocasiones, las fresas madres se fabrican con ranuras rectas paralelas al eje de la fresa, lo que simplifica el afilado de la herramienta (ver Figura. 3.17)

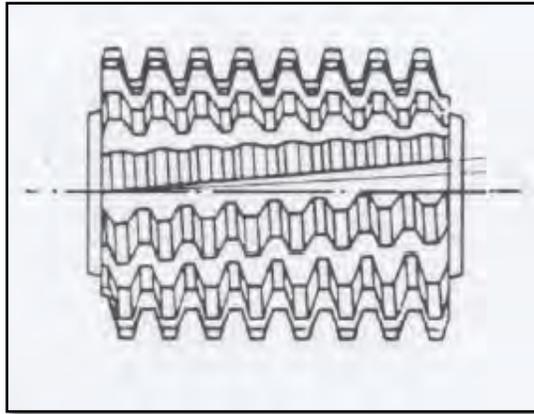


Figura 3. 17. Ranuras perpendiculares a la helicoidal.

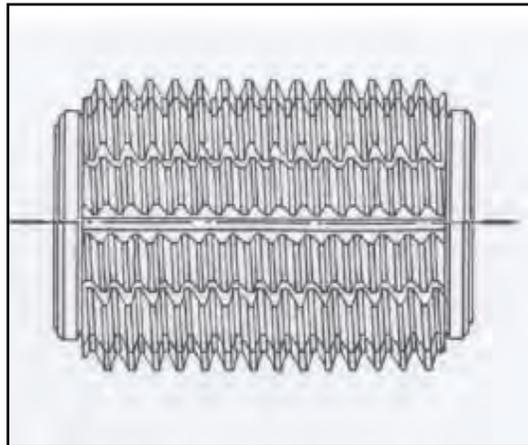


Figura 3. 18. Ranuras paralelas al eje de simetría de la fresa madre.

Desde el punto de vista teórico, sería mejor cortar las ranuras longitudinales perpendiculares la helicoidal del tornillo sin fin. En la práctica, sin embargo, es posible tolerar cortes en una dirección axial hasta un ángulo de hélice de aproximadamente $4^\circ - 5^\circ$. Esto facilita tanto la fabricación y afilado de la fresa madre. Si el ángulo de hélice es



mayor que cerca de 5° es mejor tallar las ranuras longitudinales perpendicular a la helicoidal del tornillo sin fin.

Como puede observarse en la Figura. 3.19, el destalonado en este caso se realizó recto, dejando un pequeño espacio para el afilado de la herramienta, este corte recto en el diente tiene como propósito disminuir la fricción durante el proceso de tallado del diente, todo esto teniendo en cuenta que es una herramienta experimental para una corta vida y así se evitó el complejo proceso de destalonado.



Figura 3. 19. Fresa madre de módulo 5 mm.



CAPÍTULO IV

SIMULACIÓN DE LA FRESA MADRE

4.1 TECNOLOGÍA CAD/CAE

El crear prototipos computacionales (modelos digitales) es una alternativa emergente a los prototipos físicos. En los prototipos computacionales, se construye un modelo digital que es cercano al modelo físico donde la forma, el tamaño y otros parámetros son exactos. Se ha demostrado que un modelo digital preciso puede trabajar de modo similar a un prototipo físico y puede ser utilizado por las tecnologías CAD y CAE [28].

En el contexto del desarrollo de la tecnología CAD, los objetivos son alcanzados a través de sofisticadas representaciones matemáticas de los objetos modelados y la exploración de las propiedades matemáticas de estas representaciones. El comportamiento de la forma está gobernado por ecuaciones matemáticas con ciertas interpretaciones físicas [29].

4.1.1 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAD)

La introducción del método de elementos finitos a los ordenadores y, por ende, también al CAD (Computer Aided Design), representa en la actualidad un gran avance y un provechoso aporte en la etapa de diseño. Gracias a este método es posible generar sólidos de aspecto casi real mediante la simulación numérica. Esto hace más fácil el trabajo del ingeniero, ya que nos permite un conocimiento más profundo del producto que se está diseñando, incluso antes de que este exista realmente. De esta forma es posible detectar fallos previos que, de otro modo, solo se hubieran detectado sobre su uso [30].

La tecnología CAD (Diseño Asistido por Computadora) permite la creación y visualización en la computadora de objetos de geometría compleja sin la necesidad de generar prototipos físicos.

Beneficios del CAD

- Evaluar la apariencia de las piezas finales sin haberlas construido.
- Reducir los tiempos de conceptualización de las piezas.



- Simular el estado de deformación y/o resistencia de la misma bajo ciertas condiciones de carga.
- Mejorar formas y dimensiones antes de su evaluación real.
- Identificar problemas de acople y espaciamento.
- Manejar íntegramente la información a lo largo de la investigación

4.1.2 INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA (CAE)

La tecnología CAE es una alternativa a los procedimientos de cálculo convencionales que comúnmente se pueden encontrar en los handbooks de Ingeniería. Un progreso sustancial se ha realizado en los sistemas CAE que permite a los ingenieros diseñar, analizar, simular y visualizar la representación de las estructuras y procesos más complicados [31].

Términos como CAE o ingeniería asistida por computador, como también el CAD o diseño asistido por computador se refieren al uso de los computadores para construir y evaluar modelos digitales de productos y procesos reduciendo el número de prototipos físicos y ensayos experimentales que pueden requerirse [29,31].

Es útil hacer notar que el CAD tiene los mismos objetivos que el CAE pero está típicamente limitado a realizar manipulaciones sólo a la geometría y no al proceso [31].

En el campo del análisis de ingeniería, los desarrolladores de software CAE que operan con el método de Elementos Finitos han progresado sustancialmente por medio de la simulación más realista del funcionamiento de eventos estructurales y procesos sobre un modelo digital capturado o diseñado. Más aún, los desarrolladores FEM (Finite Element Method, Método de Elementos Finitos) han incrementado dramáticamente el tamaño y complejidad de modelos digitales que pueden ser analizados numéricamente en un computador. Este desarrollo permite a los ingenieros evaluar análisis numéricos sobre modificaciones de los modelos originales de una forma más fácil y rápida [32].

- Estructurales
- Térmicos
- Flujo (CFD)
- Electromagnéticos

En que se basan los programas CAE:

- Aproximación a la realidad

- Análisis matemáticos
- Solución de ecuaciones diferenciales
- Modelos físicos del comportamiento del continuo
- Método de elemento finito

4.2 PROCESO TRADICIONAL DE DISEÑO



4.3 NUEVO CICLO DE DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE MODELOS CAD/CAE.





4.4 UNA PEQUEÑA HISTORIA DEL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El método del elemento finito es un método numérico que puede ser aplicado para obtener soluciones a una gran cantidad de problemas en ingeniería. Estados transitorios, lineal, o no lineal, pueden ser analizados con métodos de elemento finito. El origen del método moderno del elemento finito puede ser descrito cerca de 1900, cuando unos investigadores aproximaron y modelaron la elástica continua usando barras elásticas equivalentes discretas.

En 1900 Ritz desarrollo un método efectivo para la solución aproximada de problemas en mecánica de cuerpos deformables. Esto incluía una aproximación de de energía funcional por las funciones conocidas con los coeficientes desconocidos. Minimizando la función respecto a cada una de las condiciones de borde los coeficientes desconocidos pueden determinarse. Una de las restricciones principales en el método de Ritz es que las funciones usadas deben satisfacer a las condiciones límite del problema [34]. Courant (1943) recibió el crédito como la primera persona en desarrollar el método del elemento finito. En un artículo publicado a principios de 1940, Courant uso la interpolación polinomial sobre subregiones triangulares para investigar problemas de torsión. El siguiente paso significativo en la utilización del método del elemento finito fue hecho por la empresa Boeing en el año de 1950 cuando contrato un grupo de investigadores, que usaron elementos triangulares de esfuerzos para un modelo de las de un avión. De hecho, no fue hasta 1960 que Clough desarrollo el término hoy popular de “método del elemento finito”. Durante 1960 los investigadores comenzaron a aplicar el método del elemento finito en otras áreas de la ingeniería, como es la transferencia de calor, etc. Zienkiewicz y Cheung (1967) escribieron el primer libro enteramente dedicado al método del elemento finito en 1967 [33].

4.5 TEORÍA GENERAL DEL ELEMENTO FINITO

El método del elemento finito es un procedimiento numérico [33] que ha llegado a ser una herramienta poderosa en la solución de numérica de un amplio rango de problemas de ingeniería. Las aplicaciones van desde el análisis por deformación y esfuerzo de piezas y partes de automóviles, aeronaves, edificios y estructuras de puentes de hasta el análisis de los campos del flujo de calor, de fluidos, magnético, filtraciones y otros problemas de flujo. Con los avances en la tecnología de las computadoras y de los sistemas CAD, pueden modelarse problemas complejos con relativa facilidad. En una computadora pueden probarse varias configuraciones alternas antes de construir el primer prototipo. Todo esto sugiere que debemos modernizarnos empleando estos desarrollos para entender la teoría



básica, de las técnicas de modelado y los aspectos computacionales del método del elemento finito. En este método de análisis, en una región compleja que define un continuo se discretiza en formas geométricas simples llamadas elementos finitos. Las propiedades del material y las relaciones gobernantes, son consideradas sobre esos elementos y expresadas en términos de valores desconocidos en los bordes del elemento. Un proceso de ensamblaje, cuando se consideran debidamente las cargas y restricciones, da lugar a un conjunto de ecuaciones. La solución de esas ecuaciones resultan el comportamiento aproximado del continuo [35].

4.5.1 PASOS BÁSICOS EN EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

Los pasos básicos involucrados en cualquier análisis por elemento finito son los siguientes:

Fase de pre procesado.

- 1.- Crear y discretizar el dominio de la solución en elementos finitos; esto es, subdividir el problema en nodos y elementos.
- 2.- Asumir una ecuación de forma para representar la conducta física de un elemento, esto es, una función aproximada continua asumiendo que representa la solución de un elemento.
- 3.- Desarrollar las ecuaciones para elemento.
- 4.- Ensamblar los elementos para representar la totalidad del problema. Construir la matriz global de rigidez.
- 5.- Aplicar las condiciones límites o de borde, condiciones iniciales y las cargas.

Fase de solución.

- 6.- Resolver una serie de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultáneamente para obtener los resultados nodales, tales como los valores de desplazamiento en los diferentes nodos.

Fase de post procesado.

- 7.- Obtener otra información importante. En este punto, se puede estar interesado en los valores de esfuerzos principales, flujo de calor, etc.



4.5.2 VENTAJAS USANDO UN ANÁLISIS CON ELEMENTO FINITO

- Permite analizar piezas con geometría irregular con facilidad
- Permite a las partes que están hechas de una combinación de varios tipos diferentes de materiales para ser analizados, ya que las ecuaciones de cada elemento se formulan por separado.
- Permite que las cargas irregulares para ser colocado en la parte que se analiza
- Proporciona resultados de las deflexiones y tensiones a lo largo de toda la parte, más que justo en el lugar donde se colocan las galgas de tensión, como en el caso de las evaluaciones experimentales
- Fácil permite que los cambios que deben introducirse en el modelo, por lo que los diseños alternativos pueden ser evaluados. Esto reduce el número de prototipos físicos que deben ser construidos.

4.6 MODELADO COMPUTACIONAL USANDO EL FEM

El comportamiento de un fenómeno en un sistema depende de la geometría o el dominio del sistema, la propiedad del material o medio, y el límite, inicial y de carga condiciones. Para un sistema de ingeniería, la geometría o de dominio puede ser muy complejo. Además, las condiciones de contorno e inicial también puede ser complicado. Por lo tanto, en general, muy difícil de resolver la ecuación diferencial que rige a través de medios analíticos. En la práctica, la mayoría de los problemas se resuelven mediante métodos numéricos. Entre estos, los métodos de discretización de dominio promovido por el FEM son los más populares, debido a su practicidad y versatilidad [36].

El procedimiento de modelado computacional utilizando el FEM en términos generales se compone de cuatro pasos:

- Modelado de la geometría
- Mallado (discretización)
- Especificaciones de la propiedades del material
- Condiciones de frontera, iniciales y de carga



4.7 CONTACTO HERTZIANO

La importancia de la simulación que se hizo en el presente trabajo es porque la herramienta está sometida a un ciclo de trabajo repetitivo, más conocido como esfuerzos hertzianos entre superficies en contacto.

El estudio de las tensiones causadas por el contacto de cuerpos elásticos es importante, debido a que las tensiones que se desarrollan en el área de contacto superan el límite elástico del material al cortarlo, en donde aparecen huellas que pueden provocar fallas fatales.

A raíz de la presencia de estos fenómenos en las superficies de los elementos de máquinas, Hertz en 1881 desarrolló, sobre la base de resultados experimentales, la teoría matemática sobre tensiones y deformaciones producidas por la presión entre cuerpos curvos. De acuerdo con esta teoría, la máxima tensión de compresión ocurre en el centro de las superficies de contacto y la máxima tensión cortante ocurre en el interior de los cuerpos a compresión.

La aplicación del modelo matemático de Hertz, para conocer los esfuerzos principales, esfuerzos cortantes y deflexión entre cuerpos en contacto, son de gran importancia para el diseño y análisis de fallas en elementos de máquinas, debido a la información que estos datos pueden suministrar al ingeniero o diseñador de maquinaria, a fin de definir o reconsiderar la geometría, tipo de material o carga aplicada a los cuerpos en contacto superficial [37]

4.8 ANSYS WORKBENCH

ANSYS - el sistema del programa universal para el método de elementos finitos (FEM), el análisis, la actual y la evolución en los últimos 30 años, es muy popular entre los especialistas en el campo de la ingeniería informática (CAE, Computer-Aided Engineering) y soluciones de la CE problemas espaciales lineales y no lineales, estacionarios y no estacionarios de mecánica de sólidos y la mecánica de estructuras, incluida la no-estacionario geométrica y física no lineal de los problemas de interacción de contacto de los elementos estructurales, las tareas, el gas y la mecánica de fluidos, transferencia de calor y transferencia de calor, la electrodinámica, la acústica, y los campos relacionados con la mecánica. Modelado y análisis en algunas áreas de la industria para evitar los ciclos de desarrollo largos y costosos, tales como "diseño - prueba - la fabricación". El sistema funciona sobre la base del núcleo Parasolid geométricas.



Workbench puede ser pensado como una plataforma de software o un marco en el que realizan actividades de análisis (Análisis de elemento finito) En otras palabras, Workbench te permite organizar todos los archivos relacionados con el análisis de bases de datos en el mismo marco. Entre otras cosas, esto significa que usted puede usar el mismo archivo modelo sólido para llevar a cabo una serie de análisis diferente o utilizar el mismo conjunto de bienes materiales para todos sus análisis. Si esta descripción todavía parecen abstractas, no se preocupe, se hará más claro a medida que aprende a utilizar [38].

Algunas de las aplicaciones que se ajustan dentro del marco de Workbench (v12.1) son:

DesignModeler: Utilice esta aplicación para crear la geometría CAD para crear o modificar o modificar la geometría creada en aplicaciones de terceros y la utilización de la geometría en las otras aplicaciones de Workbench.

Mechanical (formerly Simulation): Usar esta aplicación realizar análisis de elementos finitos incluyendo análisis estructural, térmico y modal.

DesignXplorer: Utilizar el diseño de la aplicación mediante el diseño de experimentos (DOE) de la metodología.

AUTODYN: utilizar esta aplicación para modelar los eventos de corta duración participación de grandes deformaciones o falla de material completo así como la interacción sólido fluido.

CFX Mesh: Se usa esta aplicación para generar el mallado que es usado por el programa CFX realiza Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).

FE Modeler Utilice esta aplicación para importar un modelo de elementos finitos que se generó utilizando el programa FEA Nastran en Workbench.



Después de que Workbench inicia se puede observar la ventana del proyecto de Workbench como se muestra en la Figura 4.1.

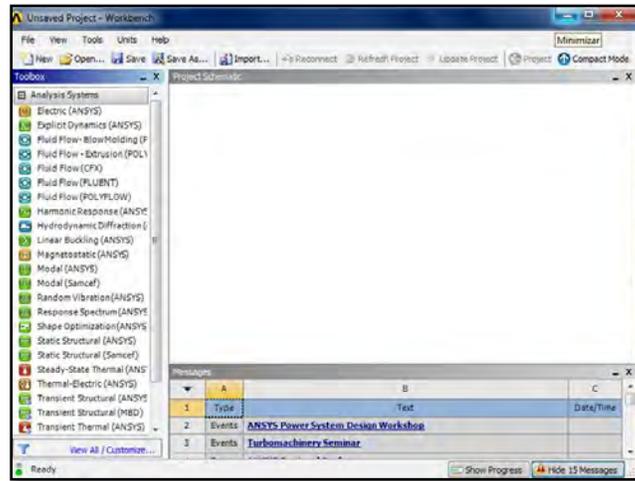


Figura 4. 1. Ventana del proyecto de Workbench.

La ventana del proyecto de Ansys Workbench consiste en 4 principales secciones: la barra de menú, la barra de herramientas, toolbox y Project Schematic.

Por default la barra de herramientas consiste en tres secciones expandibles llamadas Analysis Systems, Component Systems y Custom Systems. Cada sección cuenta con plantillas o los objetos que representan las actividades relacionadas con la simulación como se muestra en la Figura 4.2.

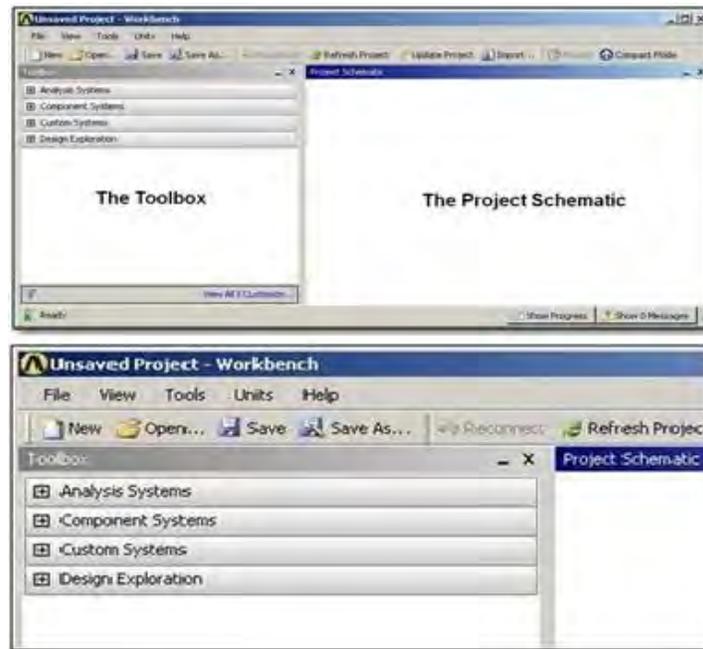


Figura 4. 2. Ventana mostrando las secciones de Workbench

4.8.1 ANALYSIS SYSTEMS

Esta sección consiste en un número de plantillas que representan un análisis común tal como estructural y térmico.

En el análisis estructural se despliega en el Project Schematic como un sistema hecho de 7 celdas que se muestra en la siguiente Figura 4.3.

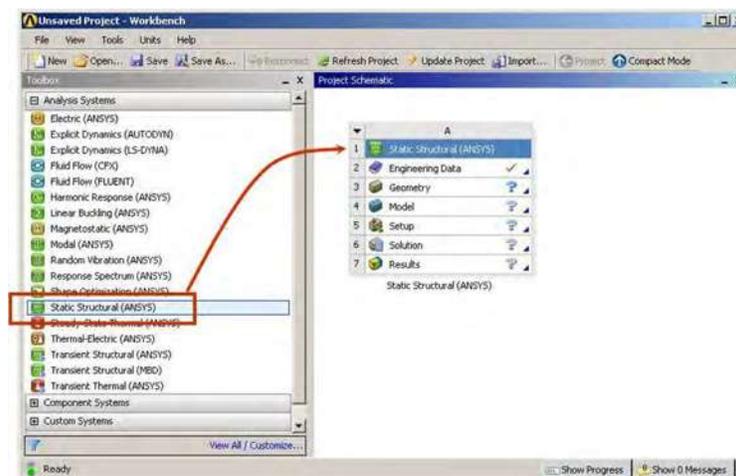


Figura 4. 3. Ventana que muestra las celdas para trabajar.



4.8.2 ENGINEERING DATA APPLICATION (MATERIAL PROPERTIES)

En Workbench las propiedades de los materiales son manejados por la aplicación de Engineering Data Application que es una aplicación nativa y utiliza la interfaz de Workbench que presentará sus datos e interactuar con el usuario. La aplicación puede ser invocada por un doble clic sobre la celda de Engineering Data y después seleccionar la opción Edit (ver la Figura 4.4). De esta manera podemos agregar el material para nuestro modelo en caso de que el material no exista en la librería debemos agregarlo con todas sus propiedades más importantes.

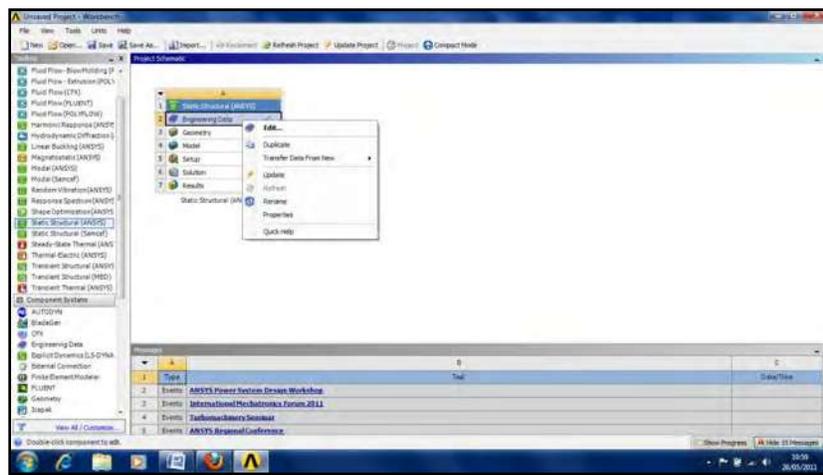


Figura 4. 4. Engineering Data Application (Material Properties).

Para empezar a generar la geometría, le dará inicio a partir del grupo Component Systems o el grupo Analysis Systems. En cualquier caso, para iniciar a construir la nueva geometría en DesignModeler, dar doble clic sobre la celda de geometría, se selecciona el tipo de unidades de longitud para trabajar en el modelo geométrico como se muestra en la siguiente Figura 4.5.

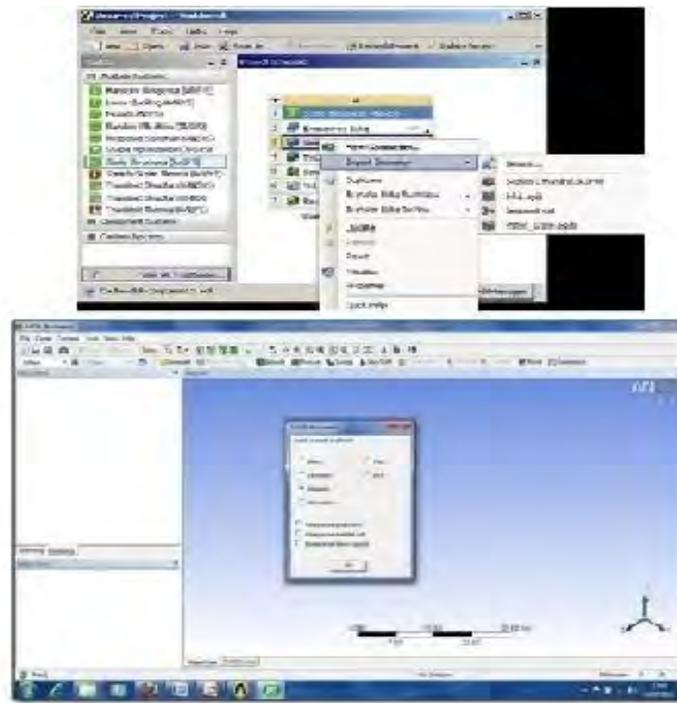


Figura 4. 5. Selección de la celda para importar la geometría.

4.8.3 DESIGNMODELER (DM)

Es una herramienta de Workbench utilizada para crear la geometría que se utiliza en el análisis de elementos finitos. Cada nuevo análisis en Workbench inicia al crear o importar la geometría que luego se utiliza para generar una malla de elementos finitos. Mayores herramientas FEA requiere el usuario para crear la malla manualmente mediante la definición de los nodos y los elementos que son los bloques de construcción de una malla de elementos finitos.

Desde mediados de 1990, sin embargo, la mayoría de herramientas FEA han sido capaces de utilizar modelos CAD como punto de partida para generar la malla. Este proceso puede ser totalmente automático o puede necesitar la intervención del usuario en función de la robustez de los algoritmos de mallado y de la complejidad del modelo CAD.

DesignModeler también permite que un modelo que ha sido generado en otro programa pueda ser importado y modificado hasta cierto punto para que quede listo para ser usado por Workbench.

En el presente trabajo se utilizará DesignModeler para crear la geometría del material del engrane y así mismo modificar la geometría que se genero en Solidworks 2009 de la fresa madre importándola con extensión (.iges), como se puede observar en la Figura 4.6.

El diente de la fresa madre que va hacer contacto con el engrane se ubica a una distancia de 49.5 mm del eje auxiliar que se ubica tomando como referencia el eje principal coordenadas de la herramienta de corte.

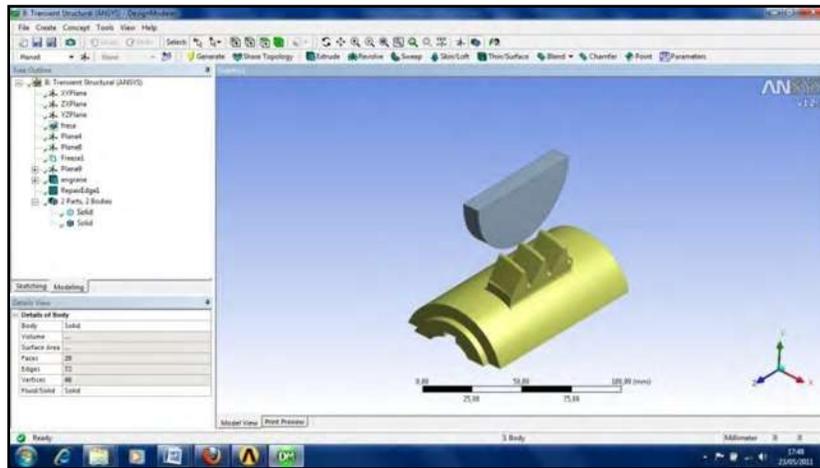


Figura 4. 6. Geometría generada en DesignModeler.

El material que se utilizó en la simulación como semiproducto fue una aleación de aluminio ya que es un metal posee propiedades mecánicas que lo hacen muy útil en ingeniería mecánica, se maquina con facilidad y es relativamente barato y es precisamente con que se realizarán las pruebas de corte de la herramienta.

El mecanizado del aluminio y sus aleaciones en máquinas herramientas de arranque de virutas en general, es fácil y rápido y está dando paso a una nueva concepción del mecanizado denominada genéricamente mecanizado rápido. Durante el arranque de viruta, las fuerzas de corte que tienen lugar son considerablemente, menores que en el caso de las generadas al cortar aceros (la fuerza necesaria para el mecanizado del aluminio es aproximadamente un 30% de la necesaria para mecanizar acero). Por consiguiente, los esfuerzos sobre los útiles y herramientas así como la energía consumida en el proceso es menor para el arranque de un volumen igual de viruta. El coeficiente de fricción entre el aluminio y los metales de corte es, comparativamente con otros metales, elevado. Este hecho puede causar el embotamiento de los filos de corte, deteriorando la calidad de la superficie mecanizada a bajas velocidades de corte e incluso a elevadas velocidades con

refrigeración insuficiente. Siempre que la refrigeración en el corte sea suficiente, hay una menor tendencia al embotamiento con aleaciones más duras, con velocidades de corte mayores y con ángulos de desprendimiento mayores [39][40][41].

Tabla 4. 1.- Propiedades mecánicas de la aleación del aluminio.

ALUMINIO	
Módulo de Young	71000 Mpa.
Módulo de Poisson	0,33
Esfuerzo de cedencia	280 MPa.
Esfuerzo ultimo a la tensión	310 MPa.
Densidad	2700 Kg / m ³
Punto de fusión	660 ° C
Material blando	Escala de Mohs (2 - 3)

4.9 MALLADO DEL MODELO GEOMÉTRICO

La discretización del dominio en que tiene lugar el fenómeno bajo estudio es la primera y, tal vez, más importante fase del proceso, pues de ella dependen los recursos de memoria necesarios, la velocidad de generación de la solución y la exactitud de los resultados numéricos obtenidos. En ella, el dominio se divide en pequeños subdominios llamados elementos. La geometría de éstos depende del número de dimensiones sobre las que estemos trabajando y de las características del problema:

- Problemas unidimensionales: segmentos de la línea que forma el dominio.
- Problemas bidimensionales: triángulos y cuadriláteros. Los cuadriláteros, lógicamente, se ajustan mejor a dominios cuadriláteros, mientras que los triángulos se suelen utilizar para dominios con una geometría más compleja. De hecho, cualquier dominio puede ser discretizado exclusivamente con triángulos, y no así con cuadriláteros.

La investigación de sistemas de generación de mallas aplicables al MEF es bastante reciente. Esto unido a la dificultad de encontrar un método que compagine un bajo coste



computacional (tiempo y recursos), una aceptable calidad de la malla, la posibilidad de controlar algunas características de ésta (como la distribución de los nodos) y la capacidad de discretizar dominios con geometría compleja, ha hecho que, aunque la bibliografía sobre el tema es extensa, en la actualidad no exista un método que destaque claramente sobre los demás [42]

4.10 MALLADO ESTRUCTURADO

Por malla estructurada se entiende toda discretización cuya conectividad sigue un patrón reticular. Por esta razón, en este tipo de mallas se utilizan fundamentalmente elementos cuadriláteros (2D), o hexaédricos (3D), aunque a partir de ellos, como se verá posteriormente, se pueden generar triángulos y tetraedros, respectivamente. La creación de esta retícula impone unas fuertes condiciones sobre el contorno del dominio, por lo que en muchos casos este tipo de discretización no es realizable o, siéndolo, presenta una baja calidad.

Dado que en la generación de mallas estructuradas la conectividad es conocida de antemano, los métodos tienen como objetivo primordial el cálculo de la posición de los nodos que forman la retícula, de modo que los elementos resultantes presenten unas determinadas características de tamaño y regularidad.

Generación de la malla es una tarea muy importante del pre-proceso. Puede ser una tarea que consume mucho tiempo con el analista, y por lo general un analista experimentado producirá una malla más creíble para un problema complejo. El dominio tiene que ser de malla correctamente en elementos de formas específicas, tales como triángulos y cuadriláteros. Información, como la conectividad de los elementos, se debe crear en la malla para su posterior uso en la formación de las ecuaciones de elementos finitos. Lo ideal es tener un generador de mallas totalmente automatizado, pero por desgracia esto no está disponible actualmente en el mercado. Un semi-automática de pre-procesador está disponible para los paquetes de software más comercial de la aplicación. También hay paquetes diseñados principalmente para el mallado. Estos paquetes pueden generar archivos de una malla, que pueden ser leídos por otros modelos y paquetes de simulación [42].

Se eligió el mallado de la geometría del modelo, el cual es un elemento hexaédrico de 8 nodos, el cual nos permite obtener mallas de buena calidad porque permiten conseguir la máxima precisión de los resultados con el menor tamaño de modelo posible.



Se utilizó el método hexaédrico dominante para mallar el modelo geométrico por que se requiere de un mallado uniforme, de igual tamaño de elemento y de mayor calidad para la zona de contacto, el modelo tuvo en total 461448 nodos y 117737 elementos, se hizo un refinamiento de malla, lo que no es recomendable para todo el modelo, con la finalidad de reducir los requerimientos de computo, el refinamiento de malla es en la zona de contacto con el propósito de observar las tensiones que se generan alrededor de la zona de contacto y de obtener mayor exactitud en los resultados como se puede (ver las Figuras 4.7, 4.8, 4.9) .

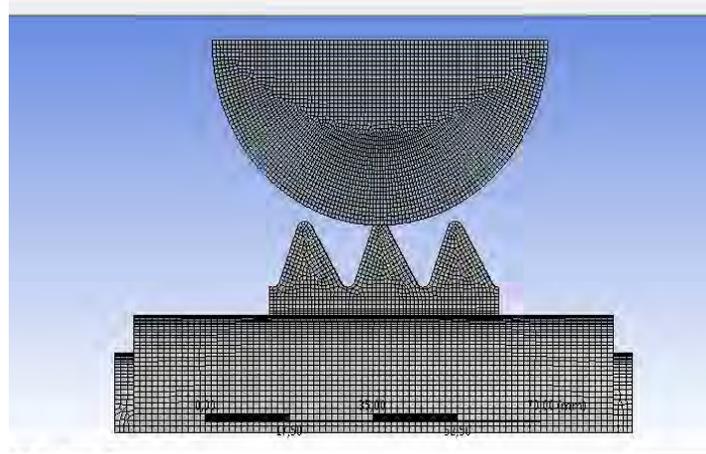


Figura 4. 7. Vista frontal del modelo geométrico mallado.

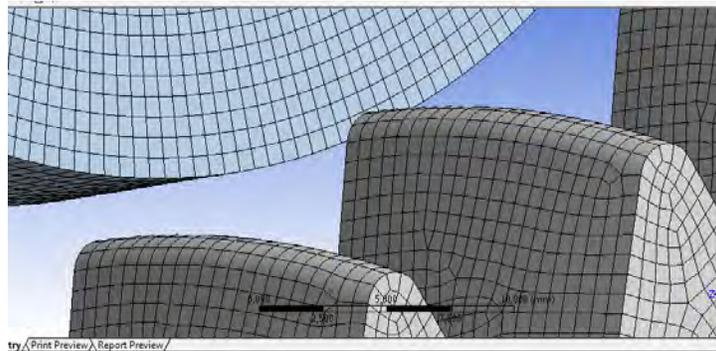


Figura 4. 8. Detalle del contacto entre la pieza y la herramienta.

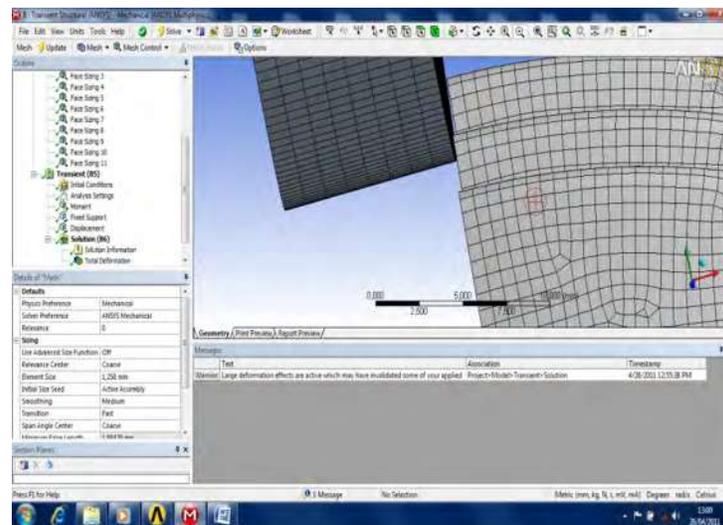


Figura 4. 9. Mallado hexaédrico del modelo.

4.11 RESULTADOS

El área de contacto entre el diente de la fresa madre y el semiproducto es de 0.8 mm^2 y la presión de corte del aluminio es de 50 kg/mm^2 , con los datos anteriores se obtiene el torque al que vas estar sometida la herramienta 19620 N.mm , el cual es aplicado en un extremo de la herramienta de corte en la simulación.

En la Figura 4.10 se observan las deformaciones que se presentan en la zona de contacto, en parte del semiproducto que es donde hay mayor deformaciones ya que el material es de dureza menor a la herramienta y en la zona de la herramienta son muy pequeñas por la diferencia de durezas.

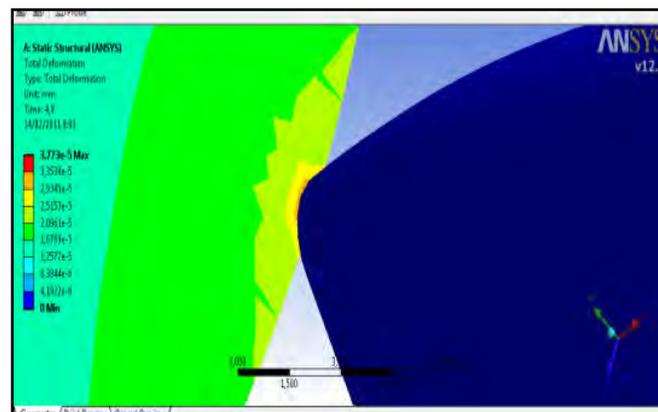


Figura 4. 10. Deformación en la zona de contacto.



En la zona de contacto es en donde hay un campo de concentración de esfuerzos de gran magnitud, En esta región de elevados esfuerzos, eventualmente el material fluye y se forma un núcleo plástico. El núcleo plástico está rodeado de material elástico, lo cual disminuye en la medida que el modelo es sometido a cargas mayores, ver Figura 4.11, se muestran los esfuerzos de Von- Mises los cuales rebasan el límite de fluencia del aluminio, ya que la finalidad es saber si la herramienta tiene la capacidad de resistir las condiciones que se generan en el corte al instante que entran en contacto, los esfuerzos que se generan en la parte del diente no son de consideración para que afecten a la herramienta.

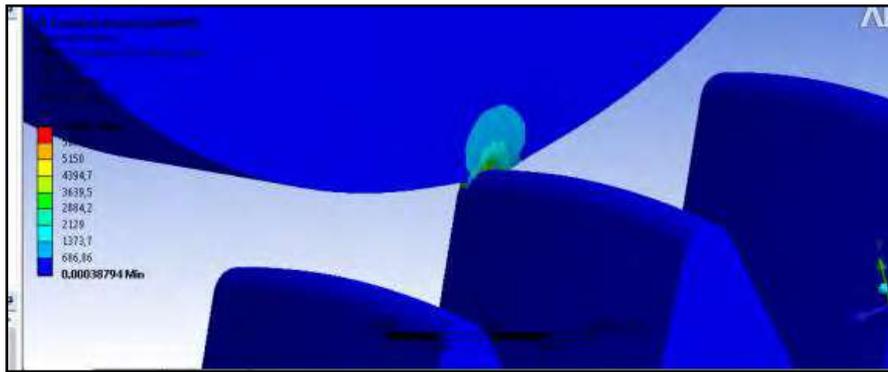


Figura 4. 11. Vista lateral de la zona de contacto.

En la Figura 4.12 se muestra la distribución de los esfuerzos de Von- Mises tridimensionalmente hacia el centro del modelo, se puede observar el núcleo plástico que se forma en el semiproducto conforme va avanzando el diente de la fresa madre lo que ocasiona un desprendimiento del material.

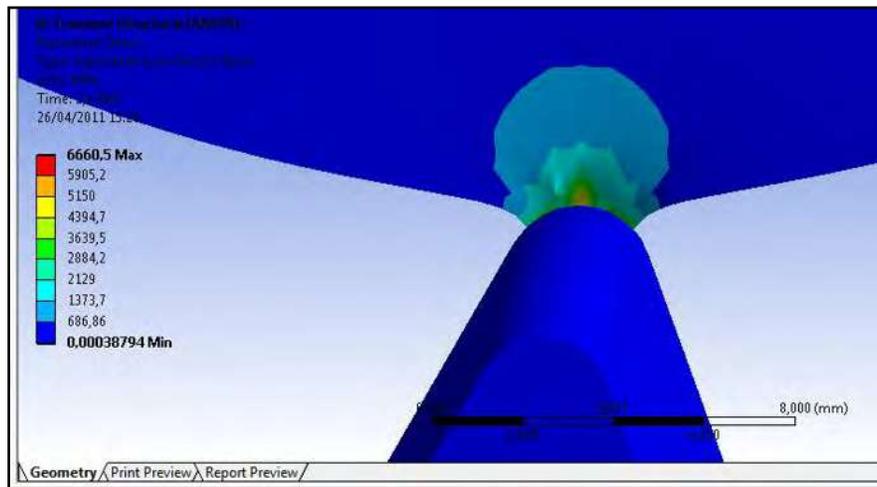


Figura 4. 12. Vista frontal de la zona de contacto.

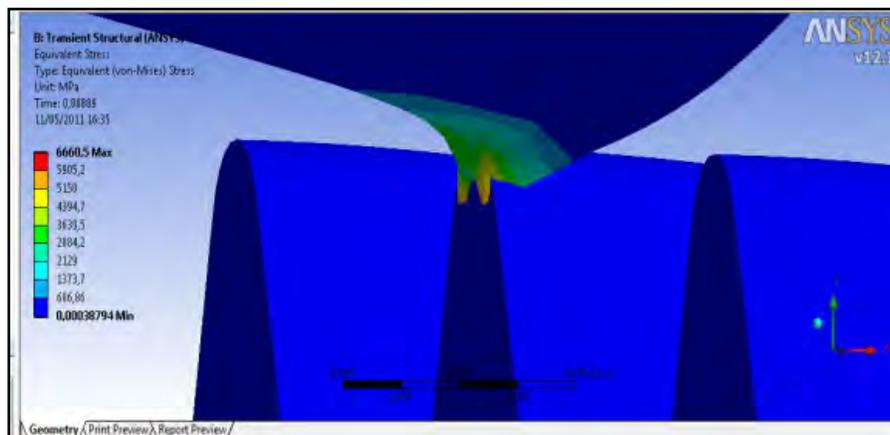


Figura 4. 13. Esfuerzos de Von- Mises en la zona de contacto.

Tabla 4. 2.- Resultados de la simulación de contacto.

Solución	Aluminio	Acero 4140T
Deformación máx.	0.5867 mm	0,0003773 mm
Esfuerzo de Von - Mises máx.	6660.5 MPa.	605.5 MPa.
Esfuerzo cortante máx.	3696 MPa.	410.67 MPa.



CONCLUSIONES

- La fresa madre es una herramienta que se puede construir con características de alta precisión y si se aplica en la forma correcta, fijándola en la forma debida, se obtendrá con ella una producción satisfactoria con un alto nivel de precisión en el acabado de los engranes que se fabriquen por medio de esta herramienta.
- En el diseño de la rosca sencilla se obtiene el máximo de precisión, en contraposición al diseño de roscas múltiples.
- El aumento del número de estrías en una fresa da por resultado: la reducción de la vida útil de la herramienta por la disminución de la cantidad de afiladas que es posible aplicarle, el aumento la exactitud en el proceso del tallado y se afecta la dureza de la herramienta en el tratamiento térmico.
- El proceso de tallado de engranes por el método de generación con fresa madre es eficiente, preciso y económico.
- Las deformaciones que se presentaron en la simulación en la zona de contacto, a pesar que superan las tensiones de corte del aluminio, son muy pequeñas para el material de la herramienta, lo que nos da como resultado mayor tiempo de vida en la herramienta.
- A pesar de construir la fresa madre modular con un valor no normalizado del módulo, esto nos introduce dificultades al realizar los análisis de resistencia puesto que se toman las dimensiones reales de los parámetros de las ruedas. Este hecho sólo influye en la estandarización de las ruedas obtenidas y en las sustituciones al reparar las transmisiones. Al construir la Herramienta de corte, la máquina herramienta no garantizaba el paso normalizado para módulo 5mm, y esta fue la razón que obligó al cambio en la construcción de dicha herramienta.
- Los esfuerzos de Von- Mises que se generaron en la zona de contacto rebasan el límite de fluencia del aluminio, ya que la finalidad es saber si la herramienta tiene la capacidad de resistir las condiciones que se generan en al instante que entran en contacto durante el



arranque de virutas, los esfuerzos que se generan en la parte del diente no son de consideración que puedan afectar a la herramienta.

- El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a las hipótesis básicas del método. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.



REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] A. L. Kapelevich, T. M. McNamara, Direct Gear Design® for Automotive Applications, 2005.
- [2] Velázquez Pérez, J. A. , Moya Rodríguez J. L., Machado Rodríguez, A. S., Goytisoló Espinosa, R, Geometría y Cinemática de los engranajes cilíndricos de dientes rectos exteriores con dientes asimétricos, 2008.
- [3] Soriano Peña J. F, Jordan y Carranza, “Elaboración de engranajes asimétricos por el método de generación”. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- [4] R. Kibbe, R. E. Neely. J, O. Meyer. R.,T. White, Warrent, Manual de Máquinas Herramientas Volumen II, Editorial Limusa, 1985.
- [5] W. Dudley D., “Manual de Engranajes, diseño, Manufactura y aplicación de engranajes”, C.E.C.S.A., Primera Edición, Febrero 1973.
- [6] Aguirre Esponda G., Diseño de Elementos de Máquinas , Editorial Trillas, 1990.
- [7] M, Marín, J., Apuntes de Diseño de Máquinas, Editorial Club Universitario, 2006.
- [8] Gazzaniga L. , El libro de los engranajes, Tratado Práctico para el Cálculo, Trazado, Ejecución y Control de los Engranajes., Editorial Científica Médica, 1966.
- [9] Teoría de Mecanismos, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad III de Madrid.
- [10] Crosss N. Métodos de Diseño, Estrategia para el Diseño de Productos, Editorial Limusa, 2008.
- [11] E. Shigley Joseph, D. Mitchel Larry, “Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw Hill, Tercera Edición, 1983.
- [12] Gallardo Prieto O, “Técnicas y prácticas de taller”, Volumen IV, Científica Medica, Barcelona España 1973.
- [13] A. L. Casillas . “, Cálculos de taller”
- [14] Larburu N. “Prontuario, Técnicas Máquinas Herramientas”, Paraninfo, Decimo Tercera Edición



-
- [15] Tesis Doctoral, Estudio Numérico de los Fenómenos del Mecanizado.
- [16] F. Berra. El manual de Tornería.
- [17] G. Castro. Cátedra de Taller. Torneado.
- [18] S. Coromant. Guía Práctica del Mecanizado.
- [19] S. F. Krar, J. W. Oswald, J. E. St. Amand, Operación de Maquinas Herramientas, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edicion, Abril 2000.
- [20] Mecánica de taller, Metrología II, Torno y Fresadora, Editorial Thema Berceles España, 1989.
- [21] S. Kalpakjian, S. R. Schmind , Manufactura Ingeniería y Tecnología, Editorial Prentice Hall, Cuarta Edición, 2002.
- [22] H. D. Burghardt, A. Axeland y J. Andesor, Cuarta Edición, Mc Graw Hill Book Comapany, Inc. 1965.
- [23] Carl. A. Keyser, Lawrence, E.Doyle. JamesL. Leach, George. F. Schrader, Morse. B. Singer, Procesos y Materiales de Manufactura para Ingenieros. Tercera Edición, Editorial Prentice Hall, 1988.
- [24] Askeland, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.
- [25] Anderson, J.C. y otros, “Ciencia de los Materiales”, Limusa Editores, México, 1998.
- [26] Flim, R.A, y otro, “Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”, Mc Graw -Hill, México, 1979.
- [27] Budinsky, K. y otro, “Engineering Materials”, Prentice – Hall, U.S.A., 1999.
- [28] Maciver, M. y Nelson, M. 2000. Body modeling and model-based tracking for neuroethology. Journal of Neuroscience Methods 95.
- [29] Kagan, P. y Fischer, A. 2000. Integrated mechanically based CAE system using B-Spline finite elements. Computer-Aided Design 32.
- [30] J. A. Vásquez Angulo, Análisis y Diseño de piezas de Máquinas con CATIA V5, Método de los Elementos Finitos, Primera Edición, Editorial Alfaomega, marcombo, ediciones técnicas, 2009.



- [31] Datta, A. 1998. Computer-Aided Engineering in Food Process and Product Design. Food Technology 52(10).
- [32] Dewulf, W., Jancsok, P., Nicolai, B., de Roeck, G. y Briassoulis, D. 1999. Determining the Firmness of a Pear using Finite Element Modal Analysis. Journal of Agricultural Engineering Research 74(3).
- [33] Saeed, Moaveni, Finite element analysis theory and application with ANSYS. Prentice Hall. United States of America, 1999.
- [34] Evgeny, Barkanov, Introduction to the finite element method. Institute of materials and structures. Faculty of civil engineering. Riga technical university. 2001.
- [35] Tirupathi, R. Chandrupatla, Ashok, D. Belegundu, Introducción al estudio del elemento finito en ingeniería. PEARSON Prentice Hall. México D.F., 1999. Segunda edición.
- [36] G. R. Liu, S. S. Quek. The Finite Element Method a Practical Course, Primera Edición, Butterworth-Heinemann, 2003.
- [37] Vera Cárdenas E. Desgaste por fatiga en deslizamiento y por contacto de rodadura en aceros AISI 4320, 8620, 4140 y O1 base y con recubrimiento duros TiN, CrN y WC/C. México D.F.
- [38] Dadkhah F. Zecher J. P.E. Ansys Workbench Tutorial Release 12.0, S.D.C. Publications, 2009.
- [39] Millán Gómez, Simón , Procedimientos de Mecanizado, Editorial Paraninfo. ISBN 84-9732-428-5, Madrid ,(2006).
- [40] William F. Smith, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Editorial Mc Graw Hill. ISBN 84-481-1429-9, Madrid, (1998).
- [41] Sandvik Coromant (2006), Guia de Mecanizado, AB, Sandvik Coromant 2005.10.
- [42] Diaz Morcillo A. Métodos de mallado y algoritmos adaptativos en dos y tres dimensiones para la resolución de problemas electromagnéticos cerrados mediante el método de los elementos finitos.