



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y CRUCETA PARA VÁLVULA DE GUARDA TIPO LENTEJA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HIDRÁULICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA CNC”

**ANDRADE TAFUR HECTOR ANTONIO
PICO ALCÍVAR BRYAN ANTONIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-11-13

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ANDRADE TAFUR HECTOR ANTONIO
PICO ALCÍVAR BRYAN ANTONIO

Titulada:

**“MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y CRUCETA PARA VÁLVULA DE
GUARDA TIPO LENTEJA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO
HIDRÁULICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA CNC”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Ángel Guamán Mendoza
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Carlos Santillán Mariño
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANDRADE TAFUR HECTOR ANTONIO

TÍTULO DE LA TESIS: “MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y CRUCETA PARA VÁLVULA DE GUARDA TIPO LENTEJA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HIDRÁULICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA CNC”

Fecha de Examinación: 2016-02-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome Valdez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Guamán Mendoza DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome Valdez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PICO ALCÍVAR BRYAN ANTONIO

TÍTULO DE LA TESIS: “MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y CRUCETA PARA VÁLVULA DE GUARDA TIPO LENTEJA, UTILIZADA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO HIDRÁULICO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA CNC”

Fecha de Examinación: 2016-02-03

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marcelo Jácome Valdez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Ángel Guamán Mendoza DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Carlos Santillán Mariño ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marcelo Jácome Valdez
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Andrade Tafur Hector Antonio

Pico Alcívar Bryan Antonio

DECLARACION DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Andrade Tafur Hector Antonio y Pico Alcívar Bryan Antonio, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Andrade Tafur Hector Antonio
Cedula de Identidad: 080285724-3

Pico Alcívar Bryan Antonio
Cedula de Identidad: 131256823-9

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a Dios quien me cuido y guio en todo este proceso de estudio en la carrera de Ingeniería Industrial, a mis padres: Héctor Andrade y Tania Tafur por su apoyo, consejos, amor, comprensión en los momentos difíciles y la ayuda incondicional brindada desde el inicio de mis estudios, a mis hermanas que fueron por quien me esforcé en todo el proceso universitario, mis abuelos que siempre me motivaron a seguir adelante y junto a ellos a todos mis familiares que me han dado lo que soy como persona y me ayudaron a conseguir mis objetivos.

Hector Andrade Tafur

Este trabajo y toda la carrera de Ingeniería Industrial se los dedico a mis padres: Francisco Antonio Pico Macías y Mirtha Esmeralda Alcívar Macías; por haberme brindado la oportunidad de cumplir uno de mis sueños. Junto con ellos, mis hermanos, por ser la fuerza y motivación necesaria para seguir adelante durante etapas duras del proceso sin perder de vista el objetivo que quería alcanzar.

Bryan Pico Alcívar

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Hector Andrade Tafur

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

A los docentes que de alguna manera se convirtieron en amigos que compartían sus conocimientos con sus alumnos. Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Bryan Pico Alcívar

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Bombas hidráulicas.....	4
2.1.1 <i>Caracterización de las bombas.</i>	4
2.1.1.1 <i>Bombas por el tipo de material de sus partes</i>	4
2.1.1.2 <i>Bombas por el tipo de succión</i>	5
2.1.1.3 <i>Bombas por su dirección de flujo.</i>	5
2.1.2 <i>Partes de las bombas</i>	5
2.1.2.1 <i>Carcasa</i>	5
2.1.2.2 <i>Impulsores</i>	6
2.1.2.3 <i>Anillos de desgaste.</i>	6
2.1.2.4 <i>Flechas</i>	6
2.1.2.5 <i>Estoperos, empaques y sellos</i>	7
2.1.2.6 <i>Cojinetes.</i>	7
2.1.3 <i>Aplicación en el campo industrial</i>	7
2.2 Válvulas de control.....	8
2.2.1 <i>Tipos de válvulas.</i>	9
2.2.2 <i>Válvula tipo lenteja o de mariposa</i>	11
2.2.3 <i>Estructura y funcionamiento</i>	11
2.2.3.1 <i>Cuerpo de la válvula</i>	11
2.2.3.2 <i>Tapa de la válvula</i>	12
2.2.3.3 <i>Partes internas de la válvula</i>	13
2.2.3.4 <i>Materiales</i>	13
2.3 Válvula de guarda.....	14
2.3.1 <i>Caracterización de la válvula de guarda tipo lenteja.</i>	15
2.3.2 <i>Elementos constitutivos</i>	15
2.3.2.1 <i>Cuerpo.</i>	15
2.3.2.2 <i>Obturador</i>	16
2.3.2.3 <i>Eje.</i>	16
2.3.3 <i>Características técnicas</i>	17
2.3.3.1 <i>Características de diseño</i>	17
2.3.3.2 <i>Hidráulica</i>	17
2.4 Software CAD-CAM.....	18
2.4.1 <i>Sistemas de manufactura.</i>	19
2.4.2 <i>Diseño Asistido por Computadora “CAD”</i>	19
2.4.3 <i>Control Numérico “CN”</i>	20
2.4.4 <i>Control Numérico Computarizado “CNC”</i>	20
2.4.5 <i>Máquinas herramientas CNC</i>	21
2.4.5.1 <i>Funciones de las máquinas herramientas CNC</i>	21
2.4.5.2 <i>Ventajas de las máquinas CNC sobre las máquinas NC</i>	21

2.4.5.3	<i>Desventajas de las máquinas CNC</i>	22
2.4.6	<i>Sistemas CAD-CAM</i>	22
2.4.6.1	<i>Beneficios del CAD-CAM</i>	22
2.4.7	<i>Estructura de un programa CNC</i>	23
2.4.7.1	<i>El sistema de dimensionamiento</i>	23
2.4.7.2	<i>Designación de los ejes</i>	23
2.4.7.3	<i>Palabras NC</i>	23
2.4.7.4	<i>Códigos estándar G y M</i>	24
2.4.7.5	<i>Formato del programa de las partes</i>	24
2.4.8	<i>Parámetros de diseño</i>	24

3. MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y LA CRUCETA DE LA VÁLVULA DE GUARDA

3.1	<i>Especificaciones técnicas</i>	26
3.1.1	<i>Características principales de las bombas</i>	26
3.1.2	<i>Características del servomotor</i>	27
3.1.3	<i>Características del tornillo sinfin</i>	27
3.2	<i>Comprobaciones cinemáticas</i>	28
3.2.1	<i>Par de giro</i>	28
3.2.2	<i>Eficiencia mecánica</i>	30
3.2.3	<i>Esfuerzo debido a la carga axial</i>	32
3.2.4	<i>Esfuerzo cortante</i>	32
3.2.5	<i>Cortante en los filetes</i>	33
3.2.6	<i>Flexión en los filetes</i>	35
3.2.7	<i>Aplastamiento</i>	36
3.2.8	<i>Selección del material</i>	38
3.3	<i>Dimensionamiento del modelo</i>	39
3.4	<i>Elaboración de hojas de proceso</i>	40
3.5	<i>Aplicación del software CAD-CAM</i>	40
3.5.1	<i>Dibujo Asistido por Computadora (CAD)</i>	41
3.5.2	<i>Manufactura Asistida por Computadora (CAM)</i>	47
3.6	<i>Simulación</i>	64
3.7	<i>Generación de códigos CNC</i>	66
3.7.1	<i>Códigos CNC para la fabricación del tornillo sinfin</i>	66
3.7.2	<i>Códigos CNC para la fabricación de la cruceta</i>	67
3.8	<i>Prueba de códigos CNC</i>	68

4. ANÁLISIS DE COSTOS

4.1	<i>Costos directos</i>	71
4.2	<i>Costos indirectos</i>	72
4.3	<i>Costos totales</i>	73

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	<i>Conclusiones</i>	74
5.2	<i>Recomendaciones</i>	75

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Tipos de válvulas 9
2	Valores mínimos de Kv para válvulas tipo lenteja de eje céntrico..... 17
3	Valores mínimos de Kv para válvulas tipo lenteja de eje excéntrico 18
4	Coefficientes de W_i y W_o para roscas estándar..... 34
5	Altura de trabajo del filete de roscas estándar 36
6	Propiedades físicas aproximadas de algunos materiales de ingeniería..... 39
7	Tabla de velocidades de corte..... 52
8	Velocidades de corte recomendadas para fresas..... 59
9	Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad) 59
10	Costos directos..... 71
11	Costos indirectos..... 72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Válvula de control típica..... 8
2	Válvulas con obturador de movimiento lineal..... 10
3	Válvulas con obturador de movimiento circular 10
4	Tipos de conexiones del cuerpo a la tubería..... 11
5	Normas DIN y ANSI de cuerpos de válvulas de control..... 12
6	Válvula tipo lenteja..... 14
7	Tornillo de potencia con rosca cuadrada 28
8	Fuerzas que actúan en el filete de la tuerca 29
9	Esfuerzos en los tornillos de potencia 31
10	Ejemplo de una tuerca con $N_f = 2,7$ filetes 34
11	Área de un filete de tornillo sometido a aplastamiento 37
12	Ingreso al Software NX10 para la modelación..... 41
13	Tornillo sinfín 42
14	Irregularidad de la salida de rosca 42
15	Extrucción para salida de rosca 43
16	Cilindro de contención del tornillo 43
17	Primera parte del modelado de la cruceta..... 44
18	Cruceta con su respectiva rosca y sus respectivos chaflanes..... 45
19	Modelado de Cruceta en una perspectiva isométrica 45
20	Ubicación de la cruceta para la programación CAM 46
21	Material de contención para la cruceta 46
22	Creación de un nuevo archivo para programación CAM en torno..... 47
23	Creación de un archivo para programación CAM, en centros de mecanizado. 48
24	Especificación del plano de trabajo en el torno 49
25	Especificación del tipo de material, pieza de trabajo y material en bruto 49
26	Especificación de los límites de trabajo y plano de trabajo..... 50
27	Movimientos de la herramienta en vacío..... 50
28	Creación de una contención de seguridad 51
29	Selección de la herramienta para refrentado y desbaste 53
30	Generación de una operación de refrentado 54
31	Generación de la trayectoria para una operación de refrentado 54
32	Generación de una operación de desbaste 55
33	Selección de la herramienta para acabado 55
34	Generación de una operación de acabado..... 56
35	Selección de la herramienta para generar la rosca..... 56
36	Generación de una operación para diámetro exterior de rosca..... 57
37	Posicionamiento de la pieza para la segunda parte de la fabricación 57
38	Especificación de la pieza de trabajo..... 58
39	Configuración para la generación automática de los parámetros de corte 60

40	Selección de la herramienta en el catalogo Vertex para Desbaste	61
41	Elección de la herramienta	61
42	Planeado de la demasía.....	62
43	Selección de la herramienta para desbaste	62
44	Movimiento de la herramienta en operación de desbaste de material	63
45	Selección de la herramienta para acabado	63
46	Movimiento de la herramienta en operación de acabado	64
47	Simulación de la programación para la fabricación del tornillo sinfín.....	65
48	Simulación de la programación para la fabricación de la cruceta	65
49	Máquina Bridgeport VCM 800-22	68
50	Primer montaje de la pieza en bruto	69
51	Resultado de primera parte de los códigos	69
52	Segundo montaje de la pieza	70
53	Resultados de fabricación de la cruceta.....	70

SIMBOLOGÍA

T_S	Par de giro	Nm
F	Fuerza para mover girar la cruceta	N
e	Eficiencia mecánica	%
St	Esfuerzo debido a la carga axial	MPa
At	Área de esfuerzo a tracción	mm ²
S_{ST}	Esfuerzo cortante	MPa
S_{sba}	Cortante en los filetes	MPa
S_{flex}	Flexión en los filetes	MPa
S_{ap}	Aplastamiento	MPa

LISTA DE ABREVIACIONES

API	Instituto Americano del Petróleo
CN	Control Numérico
CNC	Control Numérico Computarizado
ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Estándar Institute)
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
CAD	Dibujo Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistido por Computadora
DIN	Instituto Alemán de Normalización
AISI	Instituto Americano del Hierro y Acero
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)

LISTA DE ANEXOS

- A** Representación de las funciones G y M.
- B** Hojas de proceso
- C** Códigos CNC generados en el programa NX10 de Siemens

RESUMEN

En el presente trabajo se efectúa una agrupación de definiciones y conceptos básicos sobre la tecnología CNC, se expresan las ventajas frente a tecnologías antiguas o convencionales, el alcance y aplicación.

Se desarrolla el proceso de modelado (CAD) del tornillo sinfín y cruceta de una válvula tipo lenteja en el Software NX10 de Siemens, que fue seleccionado bajo criterios técnicos-investigativos con fines académicos. Se diseña en el ordenador (CAM), bajo la consideración de todos los parámetros que intervienen en el mecanizado para obtener producto eficiente. Se realiza el proceso de mecanizado (CNC) a partir de un sólido de aluminio escogido como material didáctico en donde se aplican todas las estrategias de la programación en la máquina Bridgeport VCM 800-22.

El tornillo sinfín y la cruceta son modelos para demostrar las ventajas de mecanizado de las máquinas de control numérico computarizado para la fabricación de elementos o piezas mecánicas. Mediante el uso de estas tecnologías se logra mejorar los procesos productivos en las diferentes industrias, reduciendo tiempos de producción y costos de fabricación, mejorando la calidad del producto.

Los procesos de control automático se basan en el diseño, simulación, programación y mecanizado del producto. Los centros de educación superior tienen la necesidad de acoger estas tecnologías en sus instituciones para la modernización de las enseñanzas que se imparten en el país. La Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, complementa las enseñanzas teóricas con desarrollos prácticos mediante la adquisición de maquinaria CNC.

ABSTRACT

In the present work of basic definitions and concepts of CNC technology is made, the advantages over conventional older technologies, the scope and application are expressed.

It develops a process modeling (CAD) of the screw and a valve crosshead lentil kind in the NX10 software of Siemens, which was selected under-technical criteria for academic research develops. It is designed on the computer (CAM) under consideration of all the parameters involved in machining to obtain an efficient product. Machining (CNC) is made from solid aluminum, wherein the sequence of steps and the proper use of the machine VCM detailed 800-22.

The worm and the crosshead are models to demonstrate the workability of software and computer numerical control machines for the manufacture of components or mechanical parts. By using these technologies it is possible to improve production processes in different industries, reducing producing production times and manufacturing costs and improving product quality.

Handling processes automatic control technology based on the design, simulation, scheduling, and machining of a product. Institutions of higher education are the need to embrace these technologies within their institutions for the modernization of the lessons taught in the country. Industrial Engineering school, Mechanics Faculty of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, has complemented the theoretical lessons with practical development through the acquisition of a CNC machining center.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

En el Ecuador se está convirtiendo en tendencia que grandes empresas manufactureras como SERTECPEC, ECUAMATRIZ o PLASTICAUCHO entre otras adquieran maquinaria con tecnología de Control Numérico Computarizado para la elaboración de sus productos.

Gracias a la utilización de maquinaria CNC las industrias adquieren ventajas competitivas debido al incremento de la productividad, ya que se producen un mayor número de productos con un reducido número de elementos que intervienen en la producción; reducen el tiempo de producción y los costos de fabricación, proporcionando así una mayor rentabilidad y mejora continua de éstas industrias.

Una válvula de guarda es aquella cuyo principal objetivo es el de cortar el flujo de agua en carga de la turbina en aquellos casos en los que se produzca un fallo de cierre de la distribución. Esta válvula normalmente se coloca aguas arriba de la cámara distribuidora (cámara espiral) e inmediatamente a su lado. Esta válvula se cerrará en carga solamente en casos de emergencia ya que pese a que puede soportar tales esfuerzos no ha sido diseñada para este fin, por lo que su vida útil quedaría reducida a escasas maniobras. En funcionamiento normal solamente opera con las presiones igualadas a ambos lados del obturador.

En la actualidad existen diferentes tipos de sistemas de bombeo hidráulico que cumplen varias funciones para satisfacer las necesidades de las personas. Se utilizan en industrias que requieran la transportación de grandes cantidades de fluidos, tales como en la distribución de agua potable para todas las ciudades, en las empresas petroleras, entre otras.

Los sistemas de bombeo hidráulico se han convertido en un elemento fundamental de las industrias, pues tienen una vital importancia para el desarrollo de sus operaciones.

1.2 Justificación

Existen varias empresas Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), Empresa Pública del Agua (EPA) entre otras, que utilizan los sistemas de bombeo, las cuales requieren dar mantenimiento, reparar o cambiar los elementos de la válvula de guarda que forma parte fundamental de estos sistemas. Los elementos de la válvula tales como el tornillo sinfín y la cruceta son difíciles de encontrar en el mercado, por lo que estas empresas subcontratan el servicio de mecanización y se las realiza mediante el uso de máquinas de manufactura no automatizadas, lo que incrementa su costo de fabricación y el tiempo requerido para su producción.

Debido a la importancia de la función que cumple la válvula de guarda, es necesario que ésta cumpla con todos los requerimientos de calidad bajo normas tales como DIN, ASME, AUWA, etc.; es por ello que se justifica el modelado de sus elementos mediante la aplicación de tecnología CNC, la cual ofrece operaciones con una mejor precisión, mayor confiabilidad y una elevada calidad que cumplirían con los requisitos mencionados.

Además de que se reducirían los tiempos de fabricación de estos elementos, con lo que se aumenta la producción y se reducen los costos con lo que podrían ser emplazadas en el mercado a un precio menor del que ya existe y con un menor tiempo de entrega de lo habitual.

Como futuros Ingenieros Industriales este proyecto se justifica plenamente debido al campo ocupacional en el que está relacionado los cuales son los de producción y servicios, a más de que nuestro proyecto proveerá y ayudara con el equipamiento de un laboratorio de CAD-CAM para la Escuela de Ingeniería Industrial que garantice la formación de alto nivel de los futuros profesionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Modelar el tornillo sinfín y cruceta para válvula de guarda tipo lenteja, utilizado en los sistemas de bombeo hidráulico mediante la aplicación de tecnología CNC.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

- Estudiar las características técnicas y el funcionamiento de las válvulas de guarda tipo lenteja que se utilizan en los sistemas de bombeo
- Realizar el modelado de los elementos de la válvula de guarda mediante el software CAD-CAM y de los procesos para la construcción.
- Estudiar el comportamiento del modelo bajo condiciones cinemáticas, de materiales y de respuestas térmicas de acuerdo a situaciones de funcionamiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Bombas hidráulicas

Estos equipos generadores hidráulicos se utilizan para transformar energía mecánica que es proporcionada por un motor eléctrico, térmico, etcétera, para convertirla en energía debido al movimiento de los fluidos cambiando su presión, posición o velocidad.

Existen muchas aplicaciones y ejemplos en los cuales se utilizan las bombas para obtener cambios en los fluidos, una de estas es una bomba de pozo profundo la cual ayuda que el agua del subsuelo salga a la superficie para almacenarla en grandes tanques de almacenamiento y de esa forma el fluido cambia de posición. (VIEJO, y otros, 2009)

2.1.1 *Caracterización de las bombas.* Si se habla de clasificación de las bombas existe una gran diversidad de tipos de bombas con características y funciones diferentes, se clasificara las bombas viendo sus características de diseño, construcción, tamaño, etc., que se pueden observar a simple vista, y permiten orientarnos sobre cuál será su aplicación.

2.1.1.1 *Bombas por el tipo de material de sus partes.* Las bombas se las puede caracterizar por el material de construcción, ya que es muy importante analizar esto al momento de elegir la bomba que se utilizará relacionando el tipo de líquido y las condiciones de servicio que prestará esta. Los materiales frecuentemente usados para la construcción de las bombas son:

- Bomba estándar (hierro y bronce).
- Bomba toda de hierro.
- Bomba toda de bronce.
- Bombas de acero con partes internas de fierro o acero inoxidable.
- Bombas de acero inoxidable.

2.1.1.2 Bombas por el tipo de succión. Existen diferentes tipos de succiones que poseen las bombas por lo cual se las pueden caracterizar por su sistema de succión, entre estos sistemas están:

- Simple succión.
- Doble succión (ambos lados del impulsor).
- Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba).
- Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba).
- Succión a presión (la bomba succiona el líquido de una cámara hermética donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión).

2.1.1.3 Bombas por su dirección de flujo. Por otro lado se puede caracterizar las bombas por la dirección de flujo que generalmente se las divide en dirección radial que tienen impulsores angostos de baja velocidad específica pero desarrollan cargas altas, la presión desarrollada por este tipo de bombas se le atribuye principalmente a la fuerza centrífuga; en las bombas de dirección axial el flujo es totalmente axial y los impulsores tienen altas velocidades; también existen bombas de flujo mixto que cambian la dirección del flujo de axial a radial, son bombas utilizadas para gastos y cargas intermedias y velocidades específicas de los impulsores, estas velocidades son mayores que las bombas de dirección radial.

2.1.2 Partes de las bombas. Las partes que constituyen una bomba dependen plenamente de su construcción y tipo de bomba, si se nombran todas las partes que puede tener una bomba se puede llegar a cientos de partes, es por esto que se tomarán en cuenta las partes más importantes, las mismas que son imprescindibles para el funcionamiento de la bomba.

2.1.2.1 Carcasa. La función principal de la carcasa es proteger las partes internas de la bomba, estas partes son más delicadas y no soportan grandes impactos ni ambientes corrosivos. Además de esto la carcasa brinda el área para que el fluido entre y salga de la

bomba, en esta área se producen los cambios en los fluidos ya sea de posición, velocidad o presión gracias al movimiento de las partes internas de la bomba brindado por un motor eléctrico.

2.1.2.2 *Impulsores.* Se podría decir que el impulsor es el corazón de la bomba, es el que recibe el líquido y proporciona una velocidad, la carga producida depende de esta. Los impulsores pueden ser de succión simple cuando el líquido entra por un solo extremo, o de succión doble que se podría decir que está formado por dos impulsores de succión simple por ambos extremos con una salida común, los impulsores están formados por aspas de diferentes tipos, la selección de estos dependerá del trabajo y condiciones de funcionamiento de la bomba.

Una de las maneras para ver la utilidad que se puede dar a una bomba es observando la construcción mecánica de los impulsores los cuales se los puede construir abiertos, semi-abiertos o cerrados, cada uno de estos tipos de construcción tienen sus ventajas y desventajas a la hora del funcionamiento pero observando esto se podrá ver qué tipo de impulsor se deberá utilizar en el proceso.

2.1.2.3 *Anillos de desgaste.* Estos elementos constitutivos de la bomba son de gran importancia, son los encargados de soportar las fuerzas de fricción y desgastes que se producen producir por las pequeñas holguras entre la carcasa de la bomba que es un elemento fijo y el impulsor que gira, para evitar que pueda haber la fricción entre estos elementos y su posterior desgaste y reposición, se colocan anillos de desgaste que son elementos de bajo costo y fáciles de remover.

Existen varios tipos de anillos de desgaste para diferentes condiciones de funcionamiento de la bomba, entre ellos se deberá escoger el más adecuado para posteriormente ser colocados a presión en la carcasa, en el impulsor, o si se quiere en los dos elementos.

2.1.2.4 *Flechas.* La flecha es el eje de la bomba, que da el movimiento circular transmitido del motor a todos los elementos acoplados a este eje. Existen bombas que poseen una sola flecha la cual pasa a lo largo de toda la bomba, así como existen bombas que poseen varias flechas en todo su mecanismo que se acoplan por sistemas de

transmisión y completan la longitud de la bomba estando en posiciones diferentes. Estas flechas por lo general son de acero, su diámetro dependerá de la potencia y velocidad a la que vaya a trabajar la bomba.

2.1.2.5 *Estoperos, empaques y sellos.* El objetivo de estos elementos es impedir que flujos del líquido bombeado pasen a través de orificios que están destinados para otros elementos de la bomba, entre los orificios y dichos elementos como la flecha existen tolerancias pequeñas pero por las que se puede filtrar el fluido y ocasionar pérdidas en la descarga de la bomba.

El estopero es una cavidad concéntrica con la flecha en donde se colocan los empaques que deben ajustarse debidamente, soportan presiones durante todo el funcionamiento de la bomba, todos estos empaques están ubicados como anillos en la caja de empaque, quedando entre estos la jaula de sello.

2.1.2.6 *Cojinetes.* La función de estos es resistir la flecha de todo el rotor en un alineamiento perfecto con relación a las partes estacionarias, los cojinetes pueden soportar las cargas axiales y radiales según su diseño.

2.1.2.7 *Bases.* Las bases permiten que la bomba reduzca las vibraciones y permanezca estable y fija en su operación, para las cimentaciones de las bases son necesarios los planos certificados de las dimensiones de la bomba que son entregados por el fabricante, en estos planos deberán estar especificadas las dimensiones de la base y colocación de agujeros para los pernos de anclaje. (VIEJO, y otros, 2009)

2.1.3 *Aplicación en el campo industrial.* En el campo industrial por lo general se utilizan diversos tipos de bombas hidráulicas, como por ejemplo en la extracción de agua de pozos profundos, para la utilización en la industria de bebidas gaseosas en estas ayudan como insumo para el sistema de producción; en la industria de petróleo para bombear fluidos dispersos cuya finalidad es remover los productos de la perforación de los pozos petroleros; en la movilización de minerales bajo la forma de pulpa, para la flotación selectiva de minerales; en la industria cervecera para transferir el mosto del filtro-prensa al caldero de sacarificación; en las refinerías de petróleo para mover los diversos fluidos de las columnas de fraccionamiento, craqueo, etc.; en las plantas de

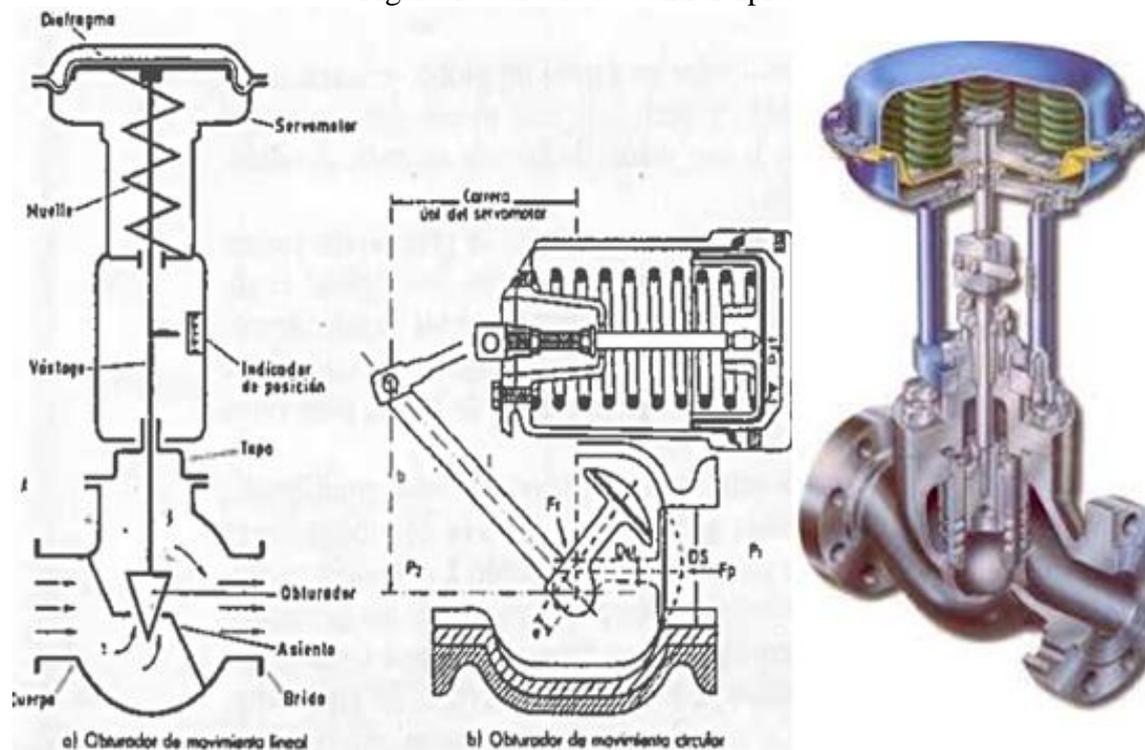
producción de vapor para mover el agua debidamente ablandada a la alimentación del caldero; podríamos mencionar muchos más pues las aplicaciones de las bombas hidráulicas son múltiples.

De la amplia gama de bombas hidráulicas utilizadas para transferir fluidos y en especial líquidos, las que más se utilizan son las bombas centrífugas, por su facilidad de adecuarse a la naturaleza de cualquier fluido, es decir, su composición, corrosividad, viscosidad; adecuando las partes expuestas para contrarrestar estos inconvenientes, a través de utilización de materiales como: vidrio, acero inoxidable, hule, grafito, cloruro de polivinilo (PVC), porcelana, fibra de vidrio y otros.

2.2 Válvulas de control

Para el control automático de los procesos industriales la válvula de control cumple un rol de gran importancia en el bucle de regulación. Su función es de variar parámetros como el caudal del fluido de control, lo que a su vez modifica la variable medida, manteniendo un comportamiento como si fuera un orificio cuya área de paso varía de manera continua.

Figura 1. Válvula de control típica



Fuente: (CREUS, 2005)

Las válvulas de control neumáticas están compuestas de un servomotor, el cual es accionado por una señal neumática de 3-15 psi ó 0,2-1 kg/cm^2 . El servomotor va conectado de manera directa a un vástago que ubica al obturador con relación al asiento. El posicionamiento del obturador en relación al asiento permite el flujo del elemento, desde un caudal nulo (o casi nulo) hasta el caudal máximo.

2.2.1 Tipos de válvulas. Existen válvulas de diferentes tipos según el diseño del cuerpo y el movimiento del obturador. Principalmente se clasifican en dos grupos: válvulas con obturador de movimiento lineal y válvulas con obturador de movimiento circular.

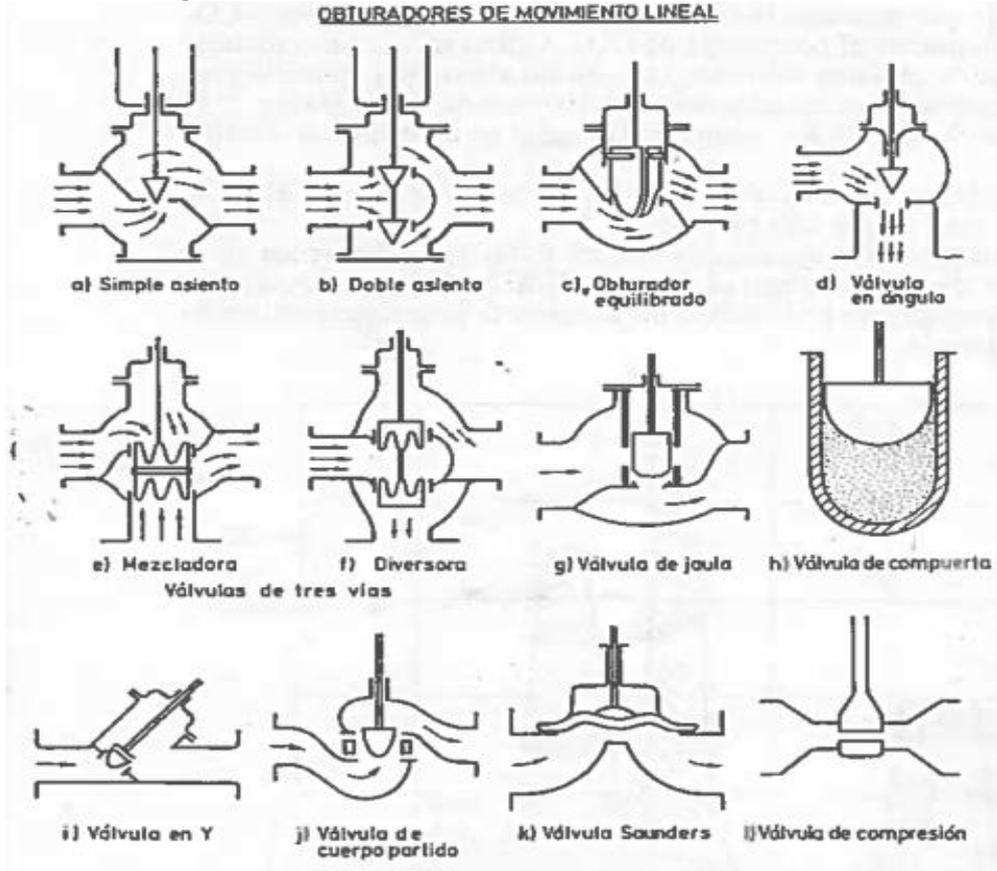
Tabla 1. Tipos de válvulas

Según movimiento obturador	Tipo
Válvulas con obturador de movimiento lineal	Válvula de globo
	Válvula en ángulo
	Válvula de tres vías
	Válvula de jaula
	Válvula de compuerta
	Válvula en Y
	Válvula de cuerpo partido
	Válvula Saunders
	Válvula de compresión
Válvulas con obturador de movimiento circular	Válvula de movimiento excéntrico rotativo (Camflex)
	Válvula de obturador cilíndrico excéntrico
	Válvula de mariposa o tipo lenteja
	Válvula de bola
	Válvula de macho
	Válvula de orificio ajustable
	Válvula de flujo axial

Fuente: (CREUS, 2005)

En las válvulas con obturador de movimiento lineal el obturador se desplaza siguiendo un movimiento lineal el cual es proporcionado por el empuje del eje (tornillo) al girar sobre una rosca (cruceta), esta operación es lenta pero ayuda a posicionar de forma estable al obturador que es lo que se necesita en toda válvula cuya función sea de controlar a un sistema. Este tipo de válvulas pueden ser accionadas manualmente o por medio de un actuador tal como un servomotor.

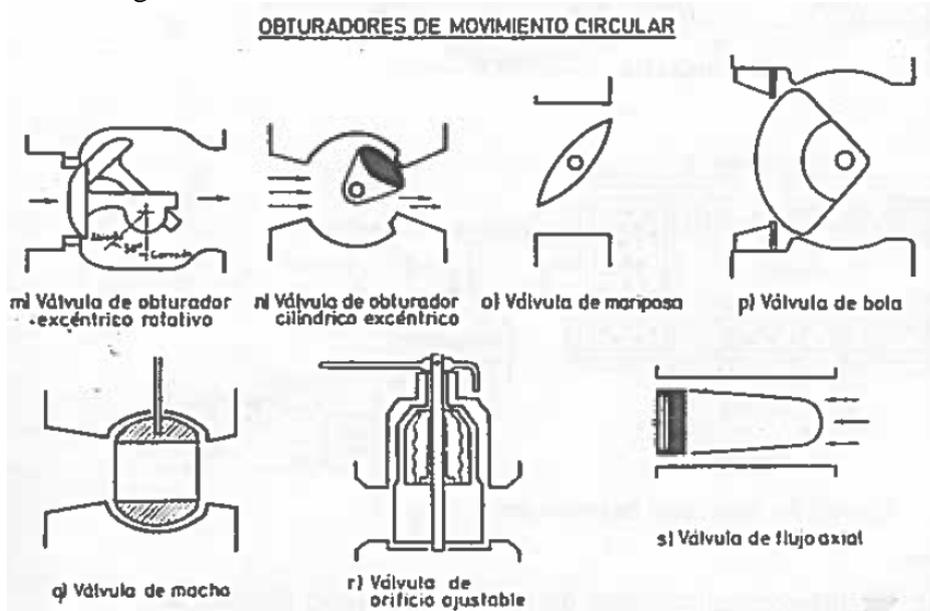
Figura 2. Válvulas con obturador de movimiento lineal



Fuente: (CREUS, 2005)

En las válvulas con obturador de movimiento circular el eje tienen un giro de 0° a 90° desde una posición totalmente cerrada hasta la posición totalmente abierta.

Figura 3. Válvulas con obturador de movimiento circular



Fuente: (CREUS, 2005)

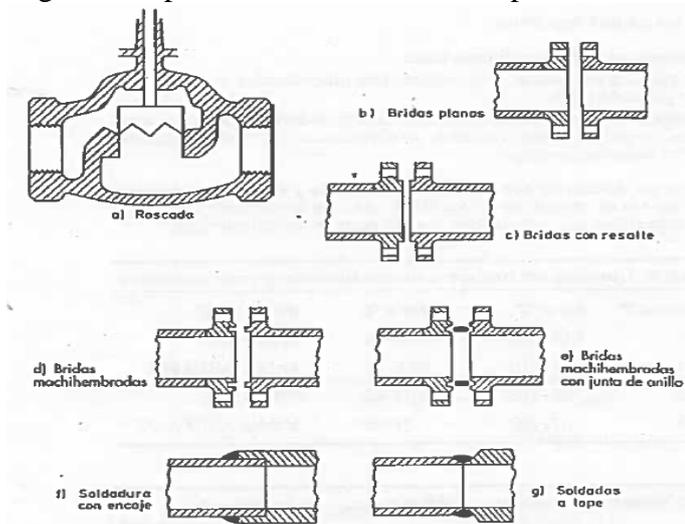
2.2.2 *Válvula tipo lenteja o de mariposa.* Está formada por un anillo de forma cilíndrica, al interior del cual gira un disco circular transversalmente. Se consigue el cierre hermético mediante un anillo de goma encastrado en el cuerpo.

En el exterior se ubica un servomotor que acciona el eje de giro del disco y siempre que la presión diferencial sea constante, éste ejerce su par máximo cuando la válvula está casi cerrada. De manera importante deben ser consideradas las presiones diferenciales que actúan en las posiciones de completa apertura y de cierre. Las válvulas de mariposa son utilizadas en el control de grandes caudales de fluidos a presiones bajas.

2.2.3 *Estructura y funcionamiento.* En el interior del cuerpo de la válvula se encuentran el obturador y los asientos y está provista de rosca o de bridas para conectarse a la tubería. El obturador es quien controla el paso del fluido y actúa en dirección de su propio eje o en un movimiento rotativo. El servomotor acciona a un vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y que está unido al obturador.

2.2.3.1 *Cuerpo de la válvula.* El cuerpo de la válvula está diseñado de manera tal, que soporta las altas temperaturas y presiones que se generan en el interior del mismo, es resistente a la erosión o corrosión producidas por el fluido y tiene el dimensionamiento adecuado para controlar el caudal requerido. El cuerpo y sus conexiones, las cuales pueden ser bridas o roscadas, están normalizados de acuerdo con las presiones y temperaturas de trabajo en las normas DIN y ANSI.

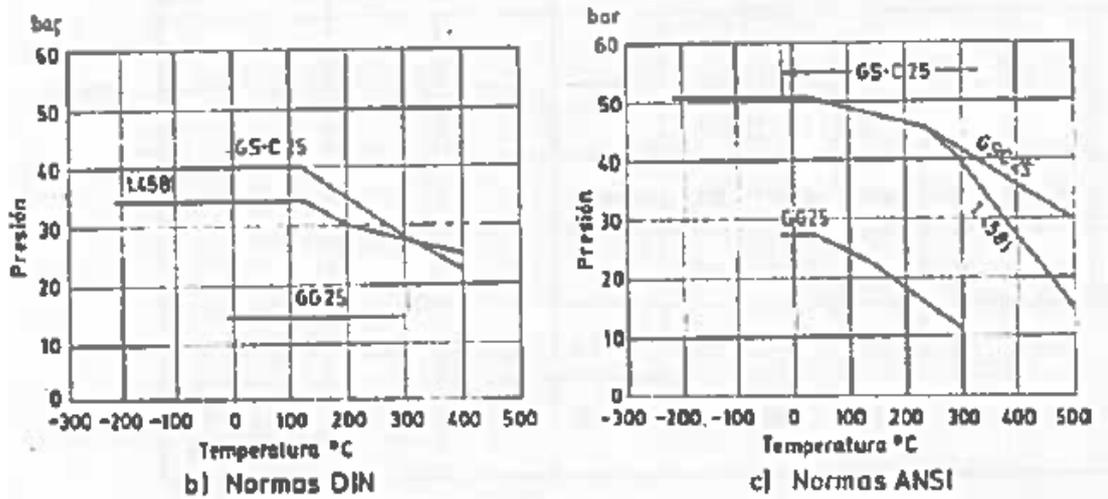
Figura 4. Tipos de conexiones del cuerpo a la tubería



Fuente: (CREUS, 2005)

La figura 5 muestra el tipo de conexión que se deberá aplicar de acuerdo a las presiones y temperaturas de trabajo por normas DIN y ANSI.

Figura 5. Normas DIN y ANSI de cuerpos de válvulas de control



Fuente: (CREUS, 2005)

El cuerpo suele ser de hierro, acero y acero inoxidable y en casos especiales los materiales pueden ser de monel, hastelloy B o C, etc.

2.2.3.2 Tapa de la válvula. Cumple la función de unir el cuerpo al servomotor y desliza el vástago del obturador accionado por el motor. El vástago dispone de un índice en donde se señala en una escala la posición de apertura o cierre de la válvula.

Entre la tapa y el vástago es necesaria la presencia de una caja de empaquetadura para evitar que el fluido se escape. Una empaquetadura ideal debe ser elástica con bajo coeficiente de rozamiento, inerte químicamente y de aislante eléctrico para no hacer el papel de puente galvánico con el vástago y causar la aparición de corrosión sobre las partes de las válvulas.

Normalmente las empaquetaduras no proporcionan un sello total para el fluido, por lo que para fluidos corrosivos, tóxicos, radioactivos o muy valiosos se debe asegurar que existe un sello perfecto. Para esto son utilizados los fuelles de estanqueidad al unirse por un lado al vástago y por el otro a la tapa.

Dependiendo de las temperaturas de operación de los fluidos y del grado de estanqueidad deseada existen los siguientes tipos de tapas:

- Tapa normal adecuada para trabajar a temperaturas de operación del fluido entre 0 y 220°C.
- Tapa con aletas de radiación circular o vertical cuyo rango de temperatura fluctúa entre -20 y 450 ° C, se recomienda que a temperaturas superiores a 350°C la válvula sea montada de manera invertida de manera que se evite el calentamiento por convección de la empaquetadura.
- Tapa con columnas de extensión. Son adecuadas cuando el fluido está a bajas temperaturas.
- Tapa con fuelle de estanqueidad, temperaturas de operación entre -20 y 450°C.

2.2.3.3 Partes internas de la válvula. Las partes internas son consideradas aquellas piezas desmontables que se encuentran en el interior y que están en contacto directo con el fluido. Las partes internas son el vástago, la empaquetadura y su collarín de lubricación si es que se emplea, los anillos de guía del vástago, el obturador y el o los asientos. Los encargados de controlar el caudal son el obturador y el asiento al cambiar la posición relativa entre ellos, además deben cerrar el paso del fluido. (CREUS, 2005)

Para seleccionar el obturador y el asiento hay que considerar lo siguiente:

- Materiales estándar y materiales especiales capaces de contrarrestar la corrosión, erosión y el desgaste producidos por el fluido.
- Características del caudal en función de la carrera.
- Tamaño normal o reducido que permite obtener varias capacidades de caudal de la válvula con el mismo tamaño del cuerpo.

2.2.3.4 Materiales. Generalmente el obturador y el asiento son fabricados en acero inoxidable por su alta resistencia a la corrosión y erosión del fluido. Para diseños en donde la velocidad del fluido es baja se pueden utilizar obturadores y asientos fabricados de PVC, fluorocarbonos y otros materiales blandos, o reforzados con fibras de vidrio o el grafito.

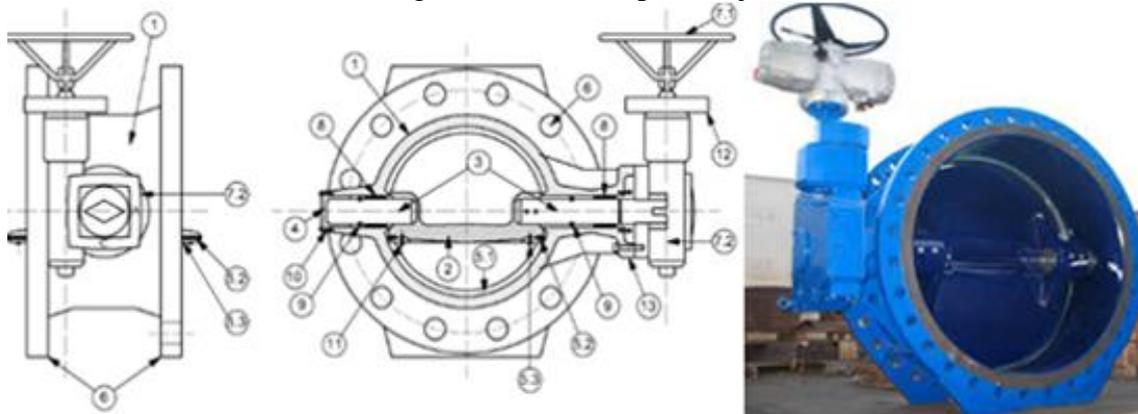
2.3 Válvula de guarda

Las válvulas de guarda, tal como lo indica su nombre, son el último recurso que dispone el sistema en caso de que todo llegue a fallar, que en sistemas en donde la operación es de tiempos cortos es muy poco probable pero en sistemas en donde las operaciones son continuas o permanentes puede suceder con gran frecuencia y pueden llegar a provocar grandes pérdidas para la empresa.

Como válvula de guarda puede actuar cualquier tipo de válvula de los anteriormente mencionados, pero en este texto se estudia particularmente a la válvula tipo lenteja o de mariposa. Dentro de la válvula de mariposa se encuentran el tornillo sinfín y la cruceta, los mismos que serán estudiados para su modelación.

La válvula tipo lenteja a describir es la de accionamiento por giro del obturador o mariposa alrededor de un eje ortogonal a la dirección de la circulación del fluido, a través del dispositivo externo de maniobra.

Figura 6. Válvula tipo lenteja



1	Cuerpo	7	Dispositivo de maniobra
2	Obturador	7.1	Actuador
3	Eje	7.2	Reductor con indicador de posición
4	Tapa	8	Cojinetes o casquillos
5	Sistema de estanqueidad	9	Juntas de estanqueidad del eje
5.1	Aportación en el cuerpo	10	Tornillería cuerpo - tapa
5.2	Junta del obturador	11	Tornillería anillo - obturador
5.3	Anillo de sujeción de la junta	12	Brida de conexión del motor
6	Enlaces a la conducción	13	Brida de conexión del reductor

Fuente: (Canal de Isabel II Gestión, 2013)

En la figura 6 se observa una válvula de guarda tipo lenteja utilizada en los sistemas de bombeo hidráulico para succión de agua de pozos profundos.

2.3.1 *Caracterización de la válvula de guarda tipo lenteja.* La mayor ventaja es que estos elementos no producen pérdida de saltos netos, además de la “seguridad positiva” al actuar al cierre sin necesidad de corriente eléctrica. La válvula tipo lenteja consigue una estanqueidad total incluso con presiones fuertes y limita las pérdidas de carga mediante el disco mariposa perfilado. La junta de estanqueidad puede ser reemplazada sin desmontar la válvula.

Para la construcción de estas válvulas se deben de regir a los criterios de normas (DIN, ASME, AUWA, etc.), de manera tal que estas requieran poco mantenimiento debido a que para su inspección y/o reparación implicaría el cierre de la producción y por ende grandes pérdidas.

Como punto en contra se conoce que estas válvulas logran el cierre del caudal con el último 20% del caudal. Con la finalidad de evitar los continuos golpes de ariete en cada ejecución de cierre, las válvulas cierran con un retardo de 10 o 20 veces superior al cierre del distribuidor.

2.3.2 *Elementos constitutivos.* Las válvulas tipo lenteja definidas en esta especificación son “productos de construcción en contacto con agua de consumo humano”, según se define en el Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, y como tal, deberán cumplir con el Artículo 14 de dicho Real Decreto.

Por consiguiente, el fabricante deberá garantizar que todos los componentes de las válvulas de mariposa que estén en contacto con el agua de consumo humano cumplen lo establecido en el mencionado Real Decreto. (*Canal de Isabel II Gestión, 2013 pág. 15*)

2.3.2.1 *Cuerpo.* Es la parte de la válvula que garantiza la continuidad de la conducción del fluido. Mantiene la sección tubular con finales bridados en ambos extremos, quienes funcionan como enlaces a la conducción.

El cuerpo podrá ser de uno de los siguientes materiales:

- Fundición nodular de calidades GJS-400-15, GJS-400-18 ó GJS-500-7 según UNE-EN 1563:2012.

- Acero al carbono S275JR según UNE-EN 10025-2:2006.
- Acero inoxidable de calidades 1.4301, 1.4306, 1.4401, 1.4404 ó 1.4435 según UNE-EN 10088-1:2006.

2.3.2.2 *Obturador.* Es aquel elemento denominado disco o mariposa, que en su giro alrededor del eje permite o impide el flujo del agua. Tiene un perímetro circular y una superficie hidrodinámica la que permite un giro sin turbulencias y reducida pérdida de carga en posición completamente abierta. El cierre es producido por el contacto entre las superficies del cuerpo y del obturador, y la hermeticidad se obtiene por la interposición de un elemento, en general elastómero, que normalmente recubre la superficie del obturador.

Los materiales del obturador podrán ser de:

- Fundición nodular de calidades GJS-400-15, GJS-400-18 ó GJS-500-7 según UNE-EN 1563:2012.
- Acero al carbono S275JR según EN 10025-2:2006.
- Acero inoxidable de calidades 1.4301, 1.4306, 1.4401, 1.4404 ó 1.4435 según UNE-EN 10088-1:2006.

2.3.2.3 *Eje.* Es el elemento aquel que unido al obturador lo hace girar para completar la maniobra de cierre o de apertura. La unión entre el eje y el obturador podrá ser mediante chaveta, pasadores cónicos o cilíndricos en el número y dimensiones adecuadas para soportar los esfuerzos, estos esfuerzos deberán ser calculados en la parte más frágil del mecanismo ya sea en dientes de rosca si el eje lo posee y en partes donde el eje sufra por rozamiento y haya un esfuerzo por aplastamiento.

Según UNE-EN 593:2009+A1:2011 la junta del eje debe permanecer estanca con relación a la atmósfera cuando se retire el órgano de maniobra.

El eje debe quedar retenido en la válvula para que no pueda salir disparado del cuerpo cuando se retiren las piezas exteriores. (Canal de Isabel II Gestión, 2013 pág. 28)

2.3.3 Características técnicas

2.3.3.1 Características de diseño. Las válvulas de mariposa se deben diseñar para rangos de temperatura entre 0°C y 40°C. Si se utilizan soldaduras entre acero inoxidable y otros materiales se utilizarán procedimientos de soldadura que eviten pares galvánicos y si son soldaduras entre aceros inoxidables se utilizarán los de bajo contenido de carbono.

2.3.3.2 Hidráulica. En las válvulas se debe de evitar el fenómeno de cavitación producido cuando el fluido pasa a través de una restricción de la sección transversal.

Para ello la pérdida de carga en la válvula debe de ser lo menor posible.

Se deberá considerar como dato característico de la válvula al coeficiente de caudal en la posición de apertura total y la curva característica de la válvula que debe definir la variación del coeficiente del caudal en función de la apertura de la válvula y del diámetro nominal de la tubería.

De acuerdo con el ensayo definido en la Norma UNE-EN 1267:2012, el coeficiente de caudal Kv debe ser superior a 0,9 veces el valor indicado por el fabricante.

Tabla 2. Valores mínimos de Kv para válvulas tipo lenteja de eje céntrico

DN [mm]	Kv [$m^3/H*bar^{1/2}$]
	PN 10/16
80	300
100	600
125	900
150	1 300
200	2 300
250	3 900
300	5 800
350	7 300
400	9 500
450	13 100
500	16 100
600	22 000

Fuente: (Canal de Isabel II Gestión, 2013)

Tabla 3. Valores mínimos de Kv para válvulas tipo lenteja de eje excéntrico

DN [mm]	Kv [$\text{m}^3/\text{H} \cdot \text{bar}^{1/2}$]		
	PN 10/16	PN 25	PN 40
80	180	170	140
100	290	270	220
125	450	430	350
150	800	700	500
200	1 500	1 400	1 100
250	2 400	2 300	1 900
300	3 700	3 400	2 800
350	5 200	4 900	4 000
400	7 000	6 700	5 200
450	9 100	8 500	6 600
500	11 500	11 100	8 100
600	19 200	16 200	11 900
700	27 300	24 500	17 500
800	37 200	32 000	22 900
900	49 000	41 400	28 900
1 000	63 000	54 800	39 200
1 200	97 900	79 000	56 400
1 300	119 300	84 400	78 300
1 400	126 000	106 400	92 200
1 500	150 300	122 200	105 900
1 600	171 900	139 000	120 500
1 800	187 700	175 900	152 500
2 000	231 700	217 200	188 200
2 200	280 400	362 800	227 800
2 500	362 100	339 400	294 200
3 000	521 400	488 800	423 600

Fuente: (Canal de Isabel II Gestión, 2013)

2.4 Software CAD-CAM

Es conocido de forma general, que para obtener una alta calidad a un bajo costo es necesario que el diseño y la manufactura se integren de la manera más idónea, en lugar de realizarse como actividades independientes.

El gran avance tecnológico que estamos viviendo en la actualidad ha permitido que se desarrollen computadoras con capacidades de efectuar una gran variedad de tareas en el

diseño y la manufactura, que van desde la elaboración de partes individuales hasta el modelado de procesos y sistemas complejos.

La integración se puede realizar con éxito y de manera efectiva mediante el uso de la computadora en el diseño, la ingeniería, manufactura, planeación de procesos y simulación de procesos y sistemas. Recuérdese las premisas de que la calidad debe integrarse en el producto, que la alta calidad no necesariamente significa costo más elevado y que de hecho, la comercialización de productos de calidad deficiente puede tener un costo muy elevado para el fabricante. (KALPAKJIAN, y otros, 2008 pág. 1191)

2.4.1 *Sistemas de manufactura.* Un sistema es un conjunto de elementos identificables y cuantificables interrelacionados entre sí, con el fin de llegar a cumplir con un objetivo previamente establecido. La manufactura requiere la interacción entre un gran número de actividades, variables, operaciones, procesos independientes que están correlacionados. Es por este motivo que a la manufactura la hemos considerado un sistema.

Por lo tanto, basados en autores como KALPAKJIAN¹ y GROOVER², consideraremos a un sistema de manufactura como un grupo integrado por máquinas, materiales, herramientas, tecnología y personas, que realizan una serie de actividades siguiendo un orden lógico y secuencial, bajo la coordinación y planeación previa a la ejecución del proceso para la realización de los diversos productos que se pueden obtener, agregándoles un valor una vez concluido el proceso.

2.4.2 *Diseño Asistido por Computadora “CAD”.* El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés) se basa en el manejo de computadoras para la elaboración y creación de modelos de productos y generación de planos de diseño para la ayuda de fabricación de los mismos.

El sistema CAD es comúnmente asociado con gráficos interactivos por computadora, y se ha convertido en una herramienta de gran ayuda en lo que corresponde al diseño y modelado de productos; debido a que se puede modificar con gran velocidad cualquier característica necesaria en los productos antes de su construcción.

De acuerdo con el autor BAWA³, el CAD se puede considerar como el manejo de un software a través de una computadora para obtener una interacción instantánea con el usuario, en donde se podrán definir los parámetros del diseño a mayor velocidad y menor costo.

2.4.3 *Control Numérico “CN”*. El control numérico (CN) es una forma de automatización programable en la cual un programa que contiene datos alfanuméricos codificados controla las acciones de una parte del equipo. Los datos representan posiciones relativas entre una cabeza de trabajo y una pieza de trabajo. La cabeza de trabajo representa una herramienta u otro elemento de procesamiento y la pieza de trabajo es el objeto que se procesa. El principio creativo del CN es controlar el movimiento de la cabeza de trabajo en relación con la pieza de trabajo y la secuencia en la cual se realizan los movimientos. La primera aplicación del control numérico fue en el maquinado, y esta es todavía un área de aplicación importante.

Fundamentados en lo expuesto en los libros de KALPAKJIAN¹ y AMSTEAD⁴ definiremos al control numérico como una serie de códigos combinados entre números y letras, los cuales son utilizados para controlar la posición relativa entre la herramienta de corte y la pieza que se va a mecanizar. Con estos mismos códigos se controla el procedimiento del mecanizado, como cambios entre las diferentes herramientas de corte, sus trayectorias y movimientos, la aplicación de líquidos de enfriamiento para el corte y el movimiento rotacional de husillos.

2.4.4 *Control Numérico Computarizado “CNC”*. El avance tecnológico del CN fue el desarrollo que tuvo el equipo de control de la máquina, el cual ahora se convirtió en un control computarizado mediante el uso de un software.

Se llegó a obtener dos tipos:

- Control numérico directo: es aquel en el cual una sola computadora central controla el sistema de varias máquinas herramienta.
- Control numérico computarizado: es aquel en el cual se utiliza una computadora más pequeña para controlar a una sola máquina herramienta.

2.4.5 *Máquinas herramientas CNC.* La necesidad de fabricar piezas con diseños más complejos para las diferentes industrias de la época, los cuales las máquinas convencionales o manuales no eran capaces de lograr, conllevó a una competencia mundial por desarrollar máquinas más avanzadas. Así fue como se llegó a la fabricación de máquinas que podían ser de CND o CNC, capaces de conseguir estos diseños.

2.4.5.1 *Funciones de las máquinas herramientas CNC.* Según el autor BAWA³, se pueden identificar las funciones de las máquinas herramientas CNC, como:

- Control de la máquina herramienta. Consiste en la transformación de la codificación del programa en el movimiento de la máquina herramienta, mediante una interfaz y un sistema de transmisión.
- Compensación durante el proceso. Permite realizar ajustes en los parámetros del mecanizado, ya que durante el proceso pueden aparecer errores intrínsecos del sistema los cuales son autocorregidos mediante esta función. Entre las correcciones destacan la calibración durante el proceso, ajuste de velocidad y avance y reposicionamiento de los ejes.
- Programación mejorada y características de operación. Esta función permite modificar el programa en la máquina, obtener una visualización gráfica de la trayectoria a seguir, ayuda a la comprensión de una variedad de unidades métricas y permite guardar diversos programas.
- Diagnósticos. Esta función es de gran ayuda, ya que la máquina auto diagnostica el fallo de algún elemento de la misma, lo que reduce notablemente el tiempo de reparación del mismo.

2.4.5.2 *Ventajas de las máquinas CNC sobre las máquinas NC.* El desarrollo de las máquinas CNC dio como resultado que estas tuvieran ventajas fundamentales sobre las máquinas NC, entre las cuales:

- Las máquinas CNC permiten realizar modificaciones en el programa, mientras que las NC requerían realizar nuevamente la codificación.

- Se han reducido de manera notoria los errores ocurridos durante la lectura de los datos.
- Se pueden realizar modificaciones en línea de manera fácil, como por ejemplo algún cambio en las dimensiones y/o condiciones del proceso.
- La máquina puede detectar una falla en el sistema antes de que se produzca gracias a su característica de diagnóstico.
- Puede integrarse al DNC para fabricar elementos de mayor grado de complejidad.
- Puede transformar las unidades de varios sistemas de medidas en el mismo programa.

2.4.5.3 *Desventajas de las máquinas CNC*

- Tienen un mayor costo de adquisición y de instalación que el de las máquinas a Control Numérico.
- Necesitan operarios más capacitados para ponerlas a funcionar en relación con las máquinas NC.
- Tienen un elevado costo de mantenimiento.
- Requieren de espacios con buena circulación de aire para ser instaladas.

2.4.6 *Sistemas CAD-CAM.* El CAD-CAM es una integración del CAD con el CAM, en el cual se utiliza una computadora donde el diseñador ejecuta un software en el que puede crear, editar o eliminar la información sobre el diseño de la pieza a construir, antes de empezar las operaciones de manufactura. Una vez que se llegue al diseño final y el diseñador se encuentre satisfecho con el mismo, se realiza la interfaz con la máquina CNC para comenzar con la construcción de la pieza.

2.4.6.1 *Beneficios del CAD-CAM.* Argumentando de acuerdo con el autor BAWA³, el CAD-CAM ofrece beneficios en el diseño y la manufactura tales como: una mayor

productividad, reducción de los tiempos de proceso y plazos de entrega, menor costo de mano de obra, diseños más exactos e ideales en menor tiempo, ofrece la realización de una cotización más rápida, proporciona estados de la situación del proceso y mayor calidad de los elementos producidos.

2.4.7 *Estructura de un programa CNC.* Fundamentados en el autor BAWA³, quien dice que es muy importante tomar en cuenta algunos elementos necesarios cuando se desea conocer la estructura de un programa CNC, los cuales describiremos a continuación.

2.4.7.1 *El sistema de dimensionamiento.* Para realizar la programación se necesita conocer los dos sistemas de dimensionamiento existentes; el sistema de dimensionamiento absoluto es en el cual todas las mediciones son realizadas desde un origen absoluto, es decir que no varía ($X=0$; $Y=0$; $Z=0$); y el sistema de dimensionamiento incremental es en el cual las coordenadas pasan a la siguiente posición tomando como referencia la posición anterior y desde ahí se realizan las mediciones.

2.4.7.2 *Designación de los ejes.* Se deben designar los movimientos de la herramienta de corte sobre cada uno de los ejes de la máquina.

2.4.7.3 *Palabras NC.* Comprende varias palabras que sirven para identificar cada una de las partes de la programación.

- Un bit es la unidad básica de información, es la forma de abreviar las unidades binarias “0” y “1”.
- Un código o carácter es una serie de combinaciones de “0” y “1”.
- EOB significa el final de un bloque, son usados para separar los bloques entre sí.
- Una palabra NC es una unidad de información como una dimensión o una velocidad u otras.
- Un bloque es un conjunto de palabras NC que representan una instrucción simple.

- Número de secuencia es el que se utiliza para identificar la secuencia de un bloque dentro de él.

2.4.7.4 *Códigos estándar G y M.* Los códigos G son utilizados como comandos de control, se representan con la letra “G” seguido de dos dígitos del “00” al “99”. Existen códigos G modales, los cuales permanecen activados hasta que otro código de su misma clase los desactive; y los códigos G no modales, los cuales solo permanecen activos en el bloque donde fueron utilizados. En el anexo A hay algunos ejemplos de los códigos G y M utilizados por las computadoras.

2.4.7.5 *Formato del programa de las partes.* Para la programación de una máquina herramienta se necesita conocer el formato del programa, que es la forma en cómo estarán estructurados cada uno de los bloques. Existen tres tipos de formatos pero el más utilizado es el formato de dirección de palabra que emplea códigos alfanuméricos.

2.4.8 *Parámetros de diseño.* Basados en lo expuesto por el autor BAWA³, para llegar a obtener un buen diseño se necesita de un alto grado de análisis y síntesis para conocer el comportamiento futuro que tendrán nuestras variables mediante el uso de un modelo. Es requerida una secuencia de etapas para lograrlo.

Primero hay que hacer el reconocimiento de una necesidad, en otras palabras hay que buscar un problema que existe en la actualidad el cual causa inconformidad en las personas o pérdidas para las industrias; luego de haber encontrado el problema, la segunda etapa es definirlo, lo que consiste en identificar de manera precisa las dificultades que se generan y los objetivos y metas que pretendemos alcanzar con el diseño.

Posteriormente hay que recopilar información sobre dicho problema, las causas que lo originan, los efectos que tiene. Es necesario conocer a fondo el problema para poder llegar a dar soluciones mediante el diseño que creemos. El siguiente paso a seguir es la conceptualización, la cual consiste en arreglar los elementos del diseño en la manera más adecuada. Gordon L. Glegg recomienda ciertos lineamientos para una buena conceptualización, como por ejemplo, el no seguir procedimientos tradicionales de diseño a menos que los nuevos procedimientos se hayan confirmado que son

deficientes; cuando el diseño sea muy complejo hay que subdividir el problema en problemas menores; llevar un registro de las soluciones que se encuentren para una retroalimentación práctica del diseño; no seguir ocurrencias que no estén respaldadas científicamente; puede ser de gran ayuda diseños complejos de elementos que simplifican el diseño general, y elegir el material ideal para la construcción en base a las características del diseño.

Luego, el diseño debe de ser evaluado para comprobar que no existan errores dentro de sus parámetros y asegurarse de que éste cumplirá correctamente con las funciones bajo las cuales fue diseñado. La evaluación generalmente se hace a un modelo analítico donde se realizan verificaciones matemáticas y de ingeniería. Y por último, una vez que el diseño aprueba las evaluaciones realizadas, es de vital importancia dar a conocer el diseño terminado al cliente, pues el propósito del diseño es satisfacer las necesidades del mismo.

CAPÍTULO III

3. MODELADO DEL TORNILLO SINFIN Y LA CRUCETA DE LA VÁLVULA DE GUARDA

Como parte central de esta investigación y con la finalidad de aplicar las tecnologías CNC, se encuentra la ejecución del modelado del tornillo sinfín y la cruceta de las válvulas de guarda. Esto conlleva el desarrollo de un modelo que satisfaga las características y propiedades necesarias para la función a cumplir.

3.1 Especificaciones técnicas

Las especificaciones del modelo que se utilizará deberán ser tal que satisfagan las características del sistema en el cual será utilizado. En este estudio, el modelado del tornillo sinfín y de la cruceta de la válvula de guarda, será basado en el Sistema de Bombeo de Agua del Embalse de Severino en la Provincia de Manabí, Ecuador.

Este es uno de los embalses en la provincia que cumple con la función de abastecer de agua a todos los lugares de la misma. Entra en operación una vez al año durante el periodo de julio a diciembre, en el cual se experimenta sequía por la temporada de verano. Durante el resto del año, en temporada de invierno, el embalse está fuera de operación y en mantenimiento debido a que la provincia se abastece de agua por las lluvias y por la gravedad, dada la ubicación geográfica del embalse.

El embalse cuenta con seis bombas que se encargan de transportar el agua hacia un punto más elevado, desde donde se distribuye por gravedad a los diferentes sitios para su consumo.

3.1.1 *Características principales de las bombas*

- Bomba Vertical modelo Saturne 60 – 1 050.
- Bombeo nominal: 3 200 lt/s.
- Caudal mínimo admisible: 2 300 lt/s.
- Altura manométrica: 63 m.

- Rendimiento de la bomba: 87%.
- Submergencia requerida: 2,9 m.
- Rotación nominal: 716 rpm.
- Diámetro de salida del codo/reducción: 1 100 mm para 1 000 mm.
- Nivel máximo en el pozo de bombeo: 66 m.
- Nivel mínimo de agua en el pozo de bombeo: 47 m.
- Potencia: 2 400 KWA.
- Voltaje: 4 120 V.
- Presión de descarga: 4,5 bar.
- Tiempo de operación: 20 horas/día.

Dadas las características de diseño de la bomba que rige el sistema de bombeo, la válvula de guarda a ser empleada será de un diámetro nominal de 1000 mm. La válvula es accionada mediante un servomotor, el cual actúa durante 60 segundos para completar el cierre de la misma.

La válvula también cuenta con un volante para su accionamiento manual, o en caso de que por algún motivo falle el servomotor o el cierre demore más de lo esperado.

3.1.2 *Características del servomotor*

- Servomotor ST 30
- Potencia: 1,8 Kw
- Voltaje: 220 V
- Intensidad: 6,4 A
- Torque ejercido: 120 Nm
- RPM: 73

3.1.3 *Características del tornillo sinfín*

- Diámetro (d): 32 mm
- Diámetro de raíz (d_r): 26,6 mm
- Diámetro medio (d_m): 29,22 mm
- Paso: 5 mm

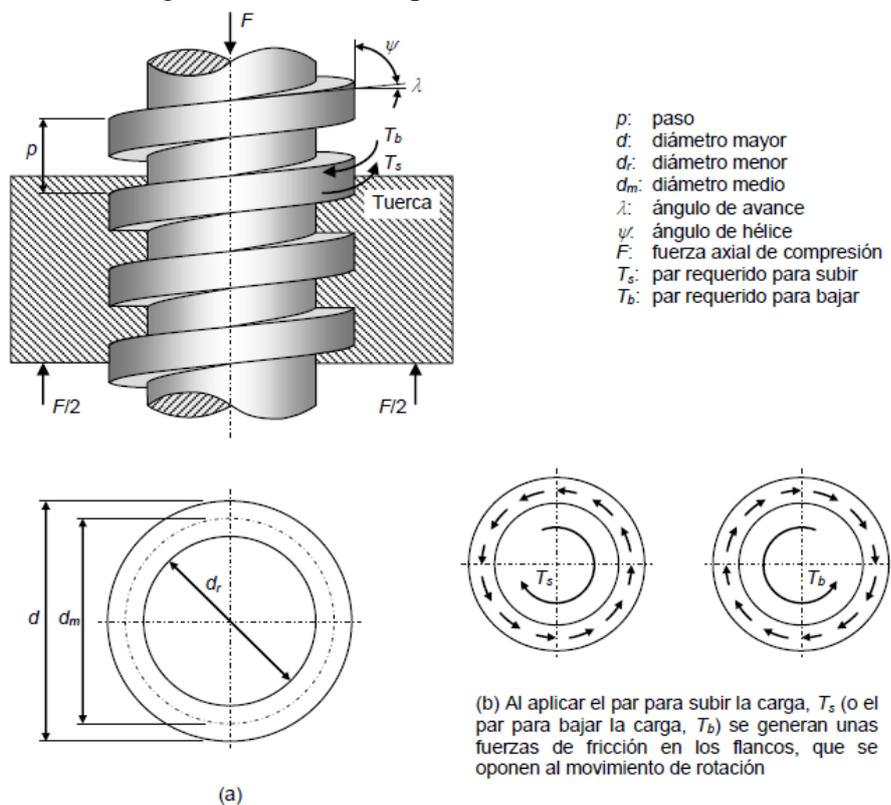
- Número de hilos por pulgada (N_f): 5
- Rosca cuadrada
- Material: Acero 715

3.2 Comprobaciones cinemáticas

El análisis de cargas y esfuerzos que actúan sobre el tornillo sinfín, en este texto se toma como guía el análisis, ecuaciones, tablas y recomendaciones expuestas en el libro: Conceptos Básicos sobre Diseño de Máquinas, en donde clasifica a los tornillos sinfín como Tornillos de Potencia y los define como: dispositivos mecánicos que convierten un giro o desplazamiento angular en un desplazamiento rectilíneo, transmitiendo fuerza y potencia mecánica.

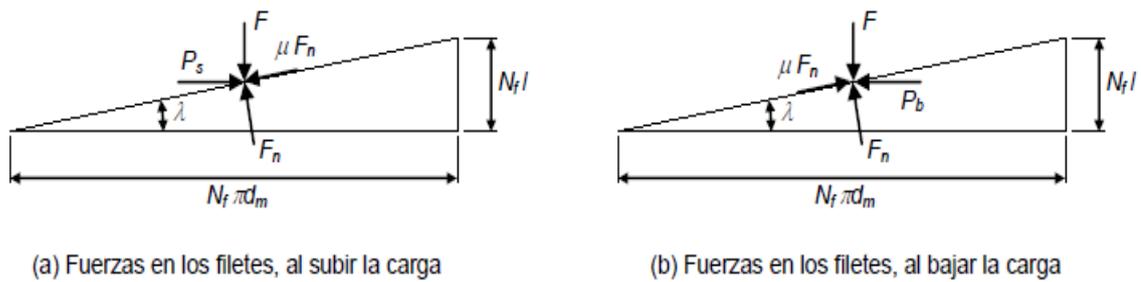
3.2.1 Par de giro. El giro del obturador en la válvula de mariposa para su cierre o apertura es accionado por el movimiento angular del tornillo sinfín, que a su vez necesita la acción de un par de giro. El servomotor es quien ejecuta el par de giro sobre el tornillo sinfín y se conoce que tiene un valor de 120 Nm.

Figura 7. Tornillo de potencia con rosca cuadrada



Fuente: (NORTON, 1999)

Figura 8. Fuerzas que actúan en el filete de la tuerca



Fuente: (NORTON, 1999)

Dónde:

P_s = fuerza resultante debida al par de torsión

F = Fuerza vertical que actúa sobre el tornillo

F_n = Fuerza normal

l = Avance del tornillo o paso del tornillo

μ = Coeficiente de rozamiento estático sobre el flanco del tornillo (en este estudio se le da un valor de 0,15)

$$\tan \delta = \frac{l}{\pi d_m} \quad (1)$$

$$\tan \delta = \frac{5 \text{ mm}}{\pi * 29,22 \text{ mm}} = 0,054 \rightarrow \delta = 3,12^\circ$$

El par de giro se aplica para subir o bajar la carga en los tornillos de potencia, o en nuestro caso, para abrir o cerrar la válvula de mariposa. Dado a que el servomotor siempre aplicará el mismo par de giro se podrá determinar la fuerza que actúa sobre el tornillo cuando está girando.

$$T_s = F \frac{d_m}{2} \frac{\tan \delta + \mu}{1 - \mu \tan \delta} \quad (2)$$

Despejando la fuerza de la ecuación (2) planteada, tenemos que la fuerza que actuará sobre el tornillo debido al par de torsión será dado por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{2T_s(1 - \mu \tan \delta)}{d_m(\tan \delta + \mu)} \quad (3)$$

$$F = \frac{2 * 120 Nm (1 - 0,15 * \tan 3,12^\circ)}{0,02922 m (\tan 3,12^\circ + 0,15)}$$

$$F = \frac{240 Nm (1 - 0,0082)}{0,02922 m (0,2044)}$$

$$F = \frac{238,03 Nm}{0,00597 m}$$

$$F = 39 871,36 N$$

Ésta es la fuerza que actúa sobre el tornillo sinfín cuando éste se encuentra girando bajo el par de giro del servomotor. Este valor servirá para continuar con el análisis de los esfuerzos que deberá soportar el tornillo en sus partes más expuestas como son los dientes de la rosca.

3.2.2 Eficiencia mecánica. La eficiencia en un tornillo es igual que en cualquier sistema: el trabajo que entra al sistema, debido al par aplicado (servomotor), es igual al trabajo que sale (obturador de la válvula), más el trabajo de pérdidas por fricción en los flancos del tornillo.

Para calcular la eficiencia de un tornillo de potencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$e = \tan \delta \frac{1 - \frac{\mu \tan \delta}{\cos \alpha_F}}{\tan \delta + \frac{\mu}{\cos \alpha_F}} \quad (4)$$

Donde,

α_F = Ángulo entre flancos

Como nuestro tornillo sinfín es de rosca cuadrada el valor del ángulo entre flancos es de 0, entonces:

$$e = \tan 3,12^\circ \frac{1 - \frac{0,15 * \tan 3,12^\circ}{1}}{\tan 3,12^\circ + \frac{0,15}{1}}$$

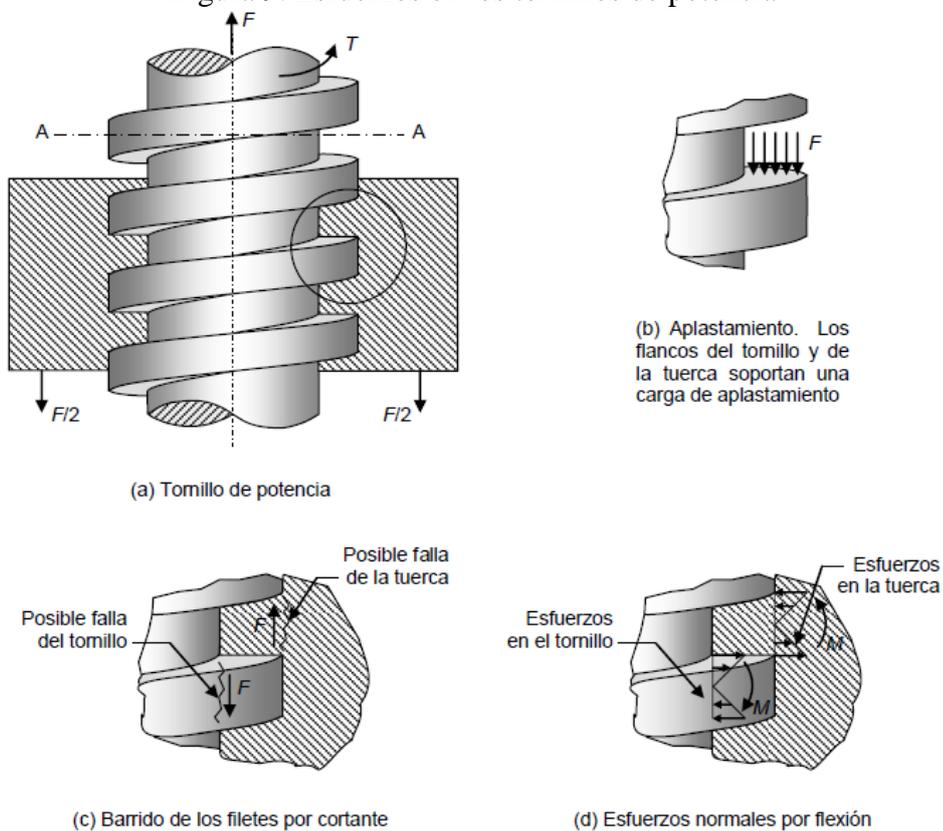
$$e = 0,1359 \frac{0,992}{0,2044}$$

$$e = 0,66 \rightarrow 66\%$$

El sistema del tornillo sinfín tiene una eficiencia mecánica de 66 %. Los tornillos con rosca cuadrada son de mayor eficiencia que los tornillos con rosca trapezoidal, los cuales alcanzan las más altas eficiencias con ángulos de avance, δ cercanos a 40° . (NORTON, 1999)

En la figura 9 se muestran los esfuerzos que sufre el tornillo. En el núcleo del tornillo en la sección A - A se representa una combinación de carga axial y torsión, debido a la fuerza F que debe soportar y al par de torsión requerido para su accionamiento. El área de contacto de los flancos b en la misma figura, tanto del tornillo como de la tuerca, está sometida a una fuerza de aplastamiento. En la misma figura c y d muestran las raíces de los filetes, que están sometidas a fuerzas cortantes y momentos flectores, tanto en el tornillo como en la tuerca.

Figura 9. Esfuerzos en los tornillos de potencia



Fuente: (SHIGLEY, 1991)

3.2.3 *Esfuerzo debido a la carga axial.* La carga axial puede ser de tracción o de compresión dependiendo de la forma en que opere el tornillo. En nuestro caso de estudio la carga axial es de tracción, en donde el esfuerzo debido a la carga axial está dado por:

$$S_t = \pm \frac{F}{A_t} \quad (5)$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_m + d_r}{2} \right)^2 \quad (6)$$

Donde,

A_t : es el área de esfuerzo a tracción

Reemplazando la ecuación (6) en la ecuación (5) tendremos:

$$S_t = \frac{F}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{d_m + d_r}{2} \right)^2}$$

$$S_t = \frac{39\,871,36\text{ N}}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{0,02922\text{ mm} + 0,0266\text{ mm}}{2} \right)^2}$$

$$S_t = \frac{39\,871,36\text{ N}}{0,00061\text{ m}^2}$$

$$S_t = 65\,203\,621,82 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$S_t = 65\text{ MPa}$$

3.2.4 *Esfuerzo cortante.* Este esfuerzo es el que soportará el mecanismo debido a las tensiones paralelas a la sección transversal, para calcular el esfuerzo cortante producido por el par de torsión, se asume que el área del núcleo es igual a la de un círculo con un diámetro igual al diámetro interior del tornillo, por lo que el esfuerzo cortante máximo ocurre en la periferia de la sección y está dado por la ecuación 7 cuyos valores estarán dados en [MPa].

$$S_{sT} = \frac{16T_s'}{\pi d_r^3} \quad (7)$$

$$S_{sT} = \frac{16 * 120 Nm}{\pi * (0,0266 m)^3}$$

$$S_{sT} = 32 488 276,36 \frac{N}{m^2}$$

$$S_{sT} = 32,5 MPa$$

3.2.5 Cortante en los filetes. Los filetes del tornillo y de la cruceta pueden fallar por cortante. Estos filetes pueden ser considerados como una viga en voladizo y, consecuentemente el esfuerzo cortante máximo sería 1,5 veces el esfuerzo promedio. (BUDYNAS, 2008)

La fórmula a utilizar para hallar el esfuerzo cortante en los filetes será la ecuación 8 que se muestra a continuación.

$$S_{sba} = \frac{3F}{2A_{ba}} \quad (8)$$

Y, las areas respectivavas para cada elemento se daran por las fórmulas 9 y 10, estos valores ayudaran a calcular los esfuerzos debido a las fuerzas ya calculadas en el mecanismo.

$$A_{ba} = \pi d_r (W_i p) n_f \quad \text{donde} \quad 1 \leq n_f \leq \frac{L_T}{p} \quad (9)$$

Para el tornillo, y

$$A_{ba} = \pi d (W_o p) n_f \quad \text{donde} \quad 1 \leq n_f \leq \frac{L_T}{p} \quad (10)$$

Para la tuerca o cruceta en nuestro caso.

Y donde W_i y W_o son constantes que dependen del tipo de rosca y sus valores se muestran en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4. Coeficientes de W_i y W_o para roscas estándar

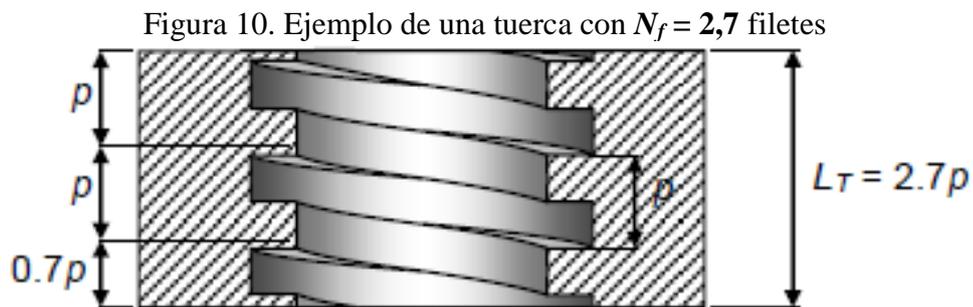
Tipo de filete	W_i	W_o
UNS/ISO	0,80	0,88
Cuadrada	0,50	0,50
Acme	0,77	0,63
Diente de sierra	0,9	0,83

Fuente: (NORTON, 1999)

Dado a los errores de manufactura que se generan sobre los filetes, el esfuerzo no se distribuye uniformemente en todos los filetes. Por lo tanto n_f es menor o igual que el número de filetes del tornillo en contacto con la cruceta, N_f :

$$1 \leq n_f \leq N_f = \frac{L_T}{p}$$

Donde L_T es la longitud de la cruceta.



Fuente: (NORTON, 1999)

En nuestro caso de estudio, al ser un tornillo con rosca cuadrada, los coeficientes W_i y W_o tomarán un valor de 0,50 según la tabla 4. Mientras que el número de filetes en contacto con la cruceta es de 12, pero para prever errores en la manufactura se utilizará un valor menor del 97 % equivalente a 11,64. Entonces,

Para el tornillo:

$$S_{sba} = \frac{3 * 39\,871,36\, N}{2 * 3,14 * 0,0266\, m (0,5 * 0,005\, m) * 11,64}$$

$$S_{sba} = \frac{119\,614,08\, N}{0,0048\, m^2}$$

$$S_{sba} = 24\,919\,600 \frac{N}{m^2}$$

$$S_{sba} = 25 \text{ MPa}$$

Para la cruceta:

$$S_{sba} = \frac{3 * 39\,871,36 \text{ N}}{2 * 3,14 * 0,032 \text{ m} (0,5 * 0,005 \text{ m}) * 11,64}$$

$$S_{sba} = \frac{119\,614,08 \text{ N}}{0,0058 \text{ m}^2}$$

$$S_{sba} = 20\,623\,117,24 \frac{N}{m^2}$$

$$S_{sba} = 20 \text{ MPa}$$

3.2.6 Flexión en los filetes. Como se observa en la figura 9, los filetes actúan como una viga en voladizo soportando una carga transversal distribuida, a consecuencia de esto, los filetes pueden fallar por flexión dejando obsoleto el mecanismo en cualquier momento de la operación.

Por esto que se deberá calcular el esfuerzo máximo por flexión que soportarán los elementos para una mejor elección del material de construcción.

El máximo esfuerzo normal por flexión que sufre el tornillo se puede calcular mediante:

$$S_{flex} = \frac{3Fh}{\pi d_r n_f (W_{ip})^2} \quad (11)$$

Y para la cruceta:

$$S_{flex} = \frac{3Fh}{\pi d_n n_f (W_{op})^2} \quad (12)$$

Donde h es la distancia que soporta la carga transversal y toma los valores mostrados en la tabla a continuación, según el tipo de filete:

Tabla 5. Altura de trabajo del filete de roscas estándar

Tipo de filete	H
Cuadrada	$p/2$
Acme	$p/2$
Diente de sierra	$0,663 p$

Fuente: (SHIGLEY, 1991)

Reemplazando valores se obtiene,

Para el tornillo:

$$S_{flex} = \frac{3 * 39\ 871,36\ Nm * 0,0025\ m}{3,14 * 0,0266\ m * 11,63 * (0,5 * 0,005\ m)^2}$$

$$S_{flex} = \frac{299\ Nm}{0,00000607\ m^3}$$

$$S_{flex} = 49\ 249\ 312,41\ \frac{N}{m^2}$$

$$S_{flex} = 49\ MPa$$

Y para la cruceta:

$$S_{flex} = \frac{3 * 39871,36\ Nm * 0,0025\ m}{3,14 * 0,032\ m * 11,63 * (0,5 * 0,005\ m)^2}$$

$$S_{flex} = \frac{299\ Nm}{0,000007\ m^3}$$

$$S_{flex} = 40\ 938\ 490,94\ \frac{N}{m^2}$$

$$S_{flex} = 41\ MPa$$

3.2.7 Aplastamiento. Los flancos de los filetes del tornillo sinfín y de la cruceta están sometidos a una carga de aplastamiento (compresión), la fuerza F es transmitida del tornillo a la cruceta a través de los flancos. Si el esfuerzo normal de compresión

excede la resistencia de fluencia en compresión, entonces se puede producir una deformación plástica en el material.

Suponiendo que el esfuerzo se distribuye uniformemente en toda la superficie tenemos:

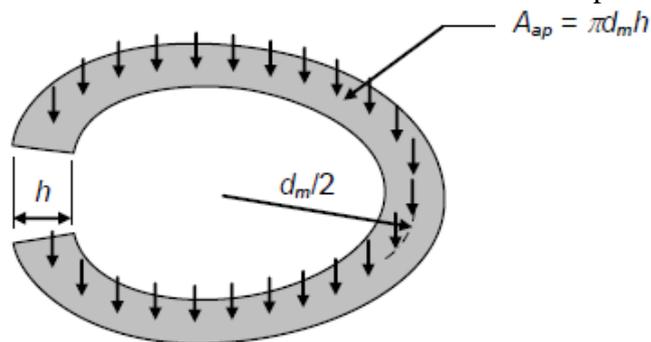
$$S_{ap} = \frac{F}{A_{ap}} \quad (13)$$

Donde A_{ap} es el área sometida al aplastamiento y se puede determinar mediante:

$$A_{ap} = \pi d_m h n_f \quad (14)$$

Y h es la altura del trabajo del filete, cuyo valor se muestra en la tabla 5.

Figura 11. Área de un filete de tornillo sometido a aplastamiento



Fuente: (NORTON, 1999)

El esfuerzo de aplastamiento es el mismo para el tornillo y para la cruceta ya que serán dadas por el área de contacto y estas áreas serán las mismas. Reemplazando en la ecuación (13) se obtiene:

$$S_{ap} = \frac{39\,871,36\text{ N}}{3,14 * 0,02922\text{ m} * 0,0025\text{ m} * 11,63}$$

$$S_{ap} = \frac{39\,871,36\text{ N}}{0,00267\text{ m}^2}$$

$$S_{ap} = 3\,700\,389,22 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$S_{ap} = 3,7\text{ MPa}$$

3.2.8 Selección del material. Según los resultados de los análisis anteriores, se expone que el mayor esfuerzo al que están sometidos los elementos del modelo es el esfuerzo por flexión en los filetes en los dientes de la rosca; el cual alcanza un valor máximo de 49 MPa para el tornillo sinfín y de 41 MPa para la cruceta en estado de operación.

Para asegurar que el material a escoger posea la resistencia necesaria para soportar los esfuerzos ya calculados, multiplicaremos los valores obtenidos por un coeficiente de seguridad de 1,5 que es el valor recomendado para sistemas bajo presiones, este valor hará que los cálculos se acerquen más a la realidad de los esfuerzos a los que serán sometidos estos dos elementos.

Entonces el esfuerzo por flexión en los filetes a soportar en el tornillo sinfín será:

$$S_{flexT} = 49 \text{ MPa} * 1,5$$

$$S_{flex} = 73,5 \text{ MPa}$$

Y en la cruceta:

$$S_{flexT} = 41 \text{ MPa} * 1,5$$

$$S_{flex} = 61,5 \text{ MPa}$$

Una vez que se conoce el esfuerzo máximo a soportar, se selecciona el tipo de material a utilizar. La selección se hace con base en tablas donde se ilustran los tipos de materiales y la resistencia a esfuerzos que soportan.

De acuerdo con la tabla 6, se considera como material idóneo para la construcción del tornillo sinfín al acero al carbono 715. Este tipo de material tiene un módulo de rigidez de 80,8 GPa, razón por la cual resistiría el esfuerzo a aplicar de apenas 73,5 MPa.

Estos materiales ayudaran a dar muchas más horas de utilidad y menos paras de operación por fallos de estos elementos con lo cual se reducirán costos por paras o mantenimientos en la válvula.

Tabla 6. Propiedades físicas aproximadas de algunos materiales de ingeniería

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso específico γ	Densidad de masa ρ
	10 ⁶ psi	[Gpa]	10 ⁶ psi	[Gpa]			
Aceros y al carbono y aleados	30,0	207	11,7	80,8	0,28	76	7,8
Aceros inoxidable	27,5	190	10,7	74,1	0,28	76	7,8
Fundición de hierro gris	**	**	5,9	40,4	0,27	71	7,2
Fundición de hierro ductil	24,5	169	9,4	65,0	0,30	68	6,9
Fundición de hierro maleable	25,0	172	9,6	66,3	0,30	71	7,3
Aleaciones de aluminio	10,4	72	3,9	16,8	0,34	27	2,8
aleaciones de magnesio	6,5	45	2,4	16,8	0,33	18	1,8
Aleaciones de titanio	16,5	114	6,2	42,4	0,34	43	4,4
Cobre	17,5	121	6,5	44,7	0,35	87	8,9
Cobre al berilio	18,5	128	7,2	49,4	0,29	81	8,3
Latón, bronce	16,0	110	6,0	41,5	0,33	84	8,6
Aleaciones de Zinc	12,0	83	4,5	31,1	0,33	65	6,6
Aleaciones de Niquel	30,0	207	11,5	79,6	0,30	81	8,3
Vidrio	6,7	46	2,7	18,6	0,24	25	2,6
Madera (abeto Douglas)	1,6	11	0,6	4,1	0,33	4,3	0,44

Fuente: (FAIRES, 1995)

En los sistemas de tornillo sinfín siempre debe de existir al menos un elemento de bronce. El módulo de rigidez de este tipo de material es de 41,5 GPa, lo que asegura que este material soportará sin problemas el esfuerzo a recibir de 61,5 MPa.

3.3 Dimensionamiento del modelo

Las dimensiones de estos modelos seran para una valvula de cierre que esta acoplada a una tuberia que tiene un diametro mayor o igual a un metro, estas tuberias por lo general son acopladas a grandes bombas de pozo profundo la cual ayuda que el agua del subsuelo salga a la superficie y de esa forma el fluido cambia de posición. En Manabí - Ecuador existe la empresa de agua potable que tiene este tipo de mecanismo de cierre pero han quedado obsoletos, por lo cual se realizaron los modelos del tornillo sinfín y cruceta con las dimensiones existentes en esa empresa pero cambiando el tipo de rosca a una cuadrada para aumentar la eficiencia mecánica de este mecanismo.

Las dimensiones del tornillo y la cruceta se mostraran en los planos al final del trabajo, estas fueron tomadas de acuerdo a la magnitud de la válvula de guarda de la empresa en

Manabí de agua potable, y para aumentar la eficiencia de esta mecanismo se cambiará la rosca trapezoidal que poseían el tornillo y la cruceta de la válvula por una rosca cuadrada que de acuerdo a los cálculos aumentará la eficiencia mecánica y por ende habrá menos pérdidas.

3.4 Elaboración de hojas de proceso

De acuerdo con las dimensiones del modelo y características de la Máquina CNC en donde se va a fabricar estos elementos se elaboraron hojas de proceso para que el operario pueda realizar su trabajo.

Para el tornillo sinfín se utilizara un torno CNC, la longitud de este tornillo obliga a realizarlo en dos partes ya que puede producir un pandeo a la hora de mecanizar, por lo cual el operario tendrá que desmontar la pieza para darle la vuelta y correr nuevamente el programa, de acuerdo a esta hoja de proceso el programador deberá realizar su trabajo en el software CAD-CAM.

Por lo contrario para la cruceta se elaborara en un centro de mecanizado de 3 ejes ya que esta posee partes cuadradas que no se podrán realizar en un torno CNC, pero por su forma no se elaborará en una sola montada de la pieza, esta fabricación constara de 3 fases de montaje que estarán indicados en las hojas de proceso para la cruceta. De igual manera el programador deberá realizar su trabajo de acuerdo a esta hoja de proceso.

Las hojas de proceso de elaboración y fabricación en maquinaria CNC del Tornillo Sinfín y de la Cruceta están en los Anexos respectivamente.

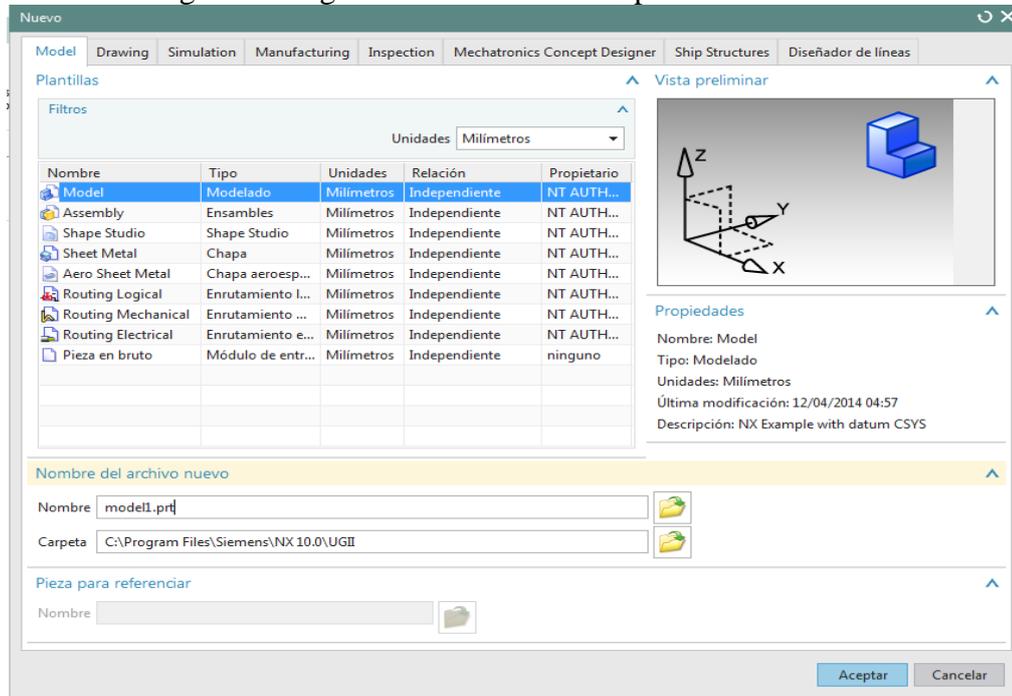
3.5 Aplicación del software CAD-CAM

El programa Siemens NX10, es un software CAD-CAM muy utilizado en manufactura el cual permite al programador, diseñador o inventor realizar variedades de diseños con mejores características y una precisión alta en cuanto a modelados de piezas.

Por la razón que la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo posee la Licencia de este software y por las características que brinda al momento de modelar se trabaja con el programa de Siemens NX10.

3.5.1 *Dibujo Asistido por Computadora (CAD).* Para comenzar con la elaboración de modelos se abrirá el programa, ya abierto seleccionaremos Nuevo, esto hará que se despliega una pestaña en donde colocaremos los parámetros que se muestran en la figura que se muestra a continuación:

Figura 12. Ingreso al software NX10 para la modelación



Fuente: Autor

El nombre se pondrá según la pieza que se vaya a elaborar, al igual que la carpeta en donde se desee colocar el archivo que se creará ya elegidos los parámetros iniciales se procederá a pulsar en aceptar.

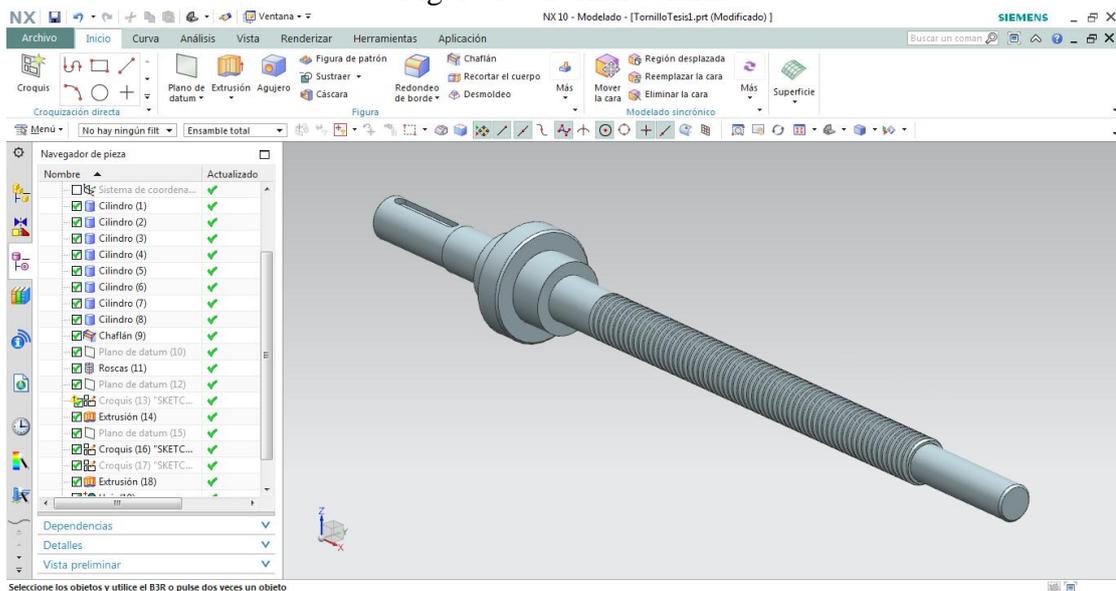
Con esto se abrirá la hoja de trabajo donde se podrá realizar el modelo de la pieza que se quiere fabricar.

3.5.1.1 *Modelado del tornillo sin fin en el programa de Siemens NX10.* De acuerdo con el dimensionamiento y planos de la pieza se elabora el modelado del tornillo tomando en cuenta los parámetros calculados de acuerdo al material y a la rosca respectiva.

Para realizar este modelado se crearan ocho cilindros de diferentes dimensiones de manera que queden unidos uno al lado del otro para de esta forma ver la geometría de la

pieza, luego se realizara la rosca respectiva seleccionando en que cilindro de los que se crearon se quiere la rosca el programa automáticamente arrojará valores de diámetro mayor de rosca y longitud de la misma, con esto el diseñador solo tendrá que completar los datos que el mismo programa le pedirá, luego se completara el modelado con los chaflanes que requiere el modelado y por último los chaveteros del tornillo.

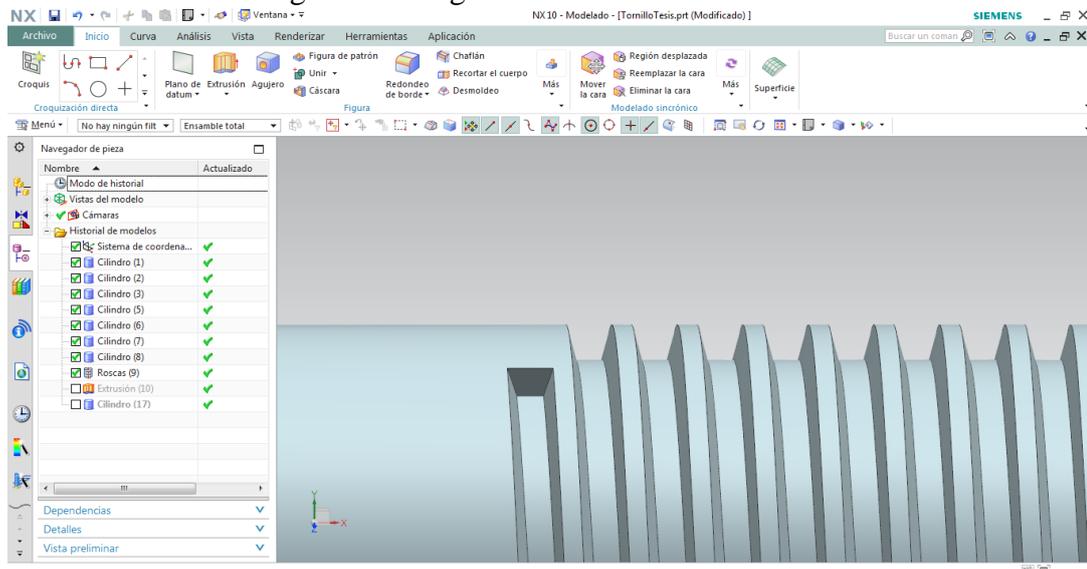
Figura 13. Tornillo sinfín



Fuente: Autor

Se pasará a verificar si todos los parámetros del tornillo están correctamente modelados para culminar esta fase del proceso.

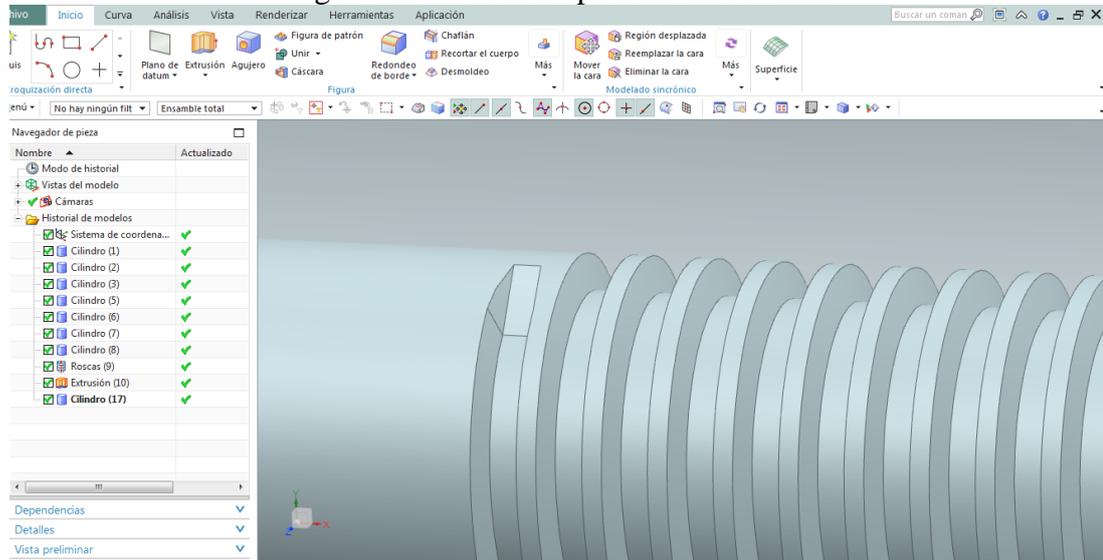
Figura 14. Irregularidad de la salida de rosca



Fuente: Autor

Como se podrá observar en la figura 14 la rosca que arroja el programa no posee una salida de rosca lo cual puede producir fallos a la hora de programar las operaciones de mecanizado, por lo cual se procede a realizar una extrucción que permitirá a la herramienta del diseño CAM poder salir con facilidad.

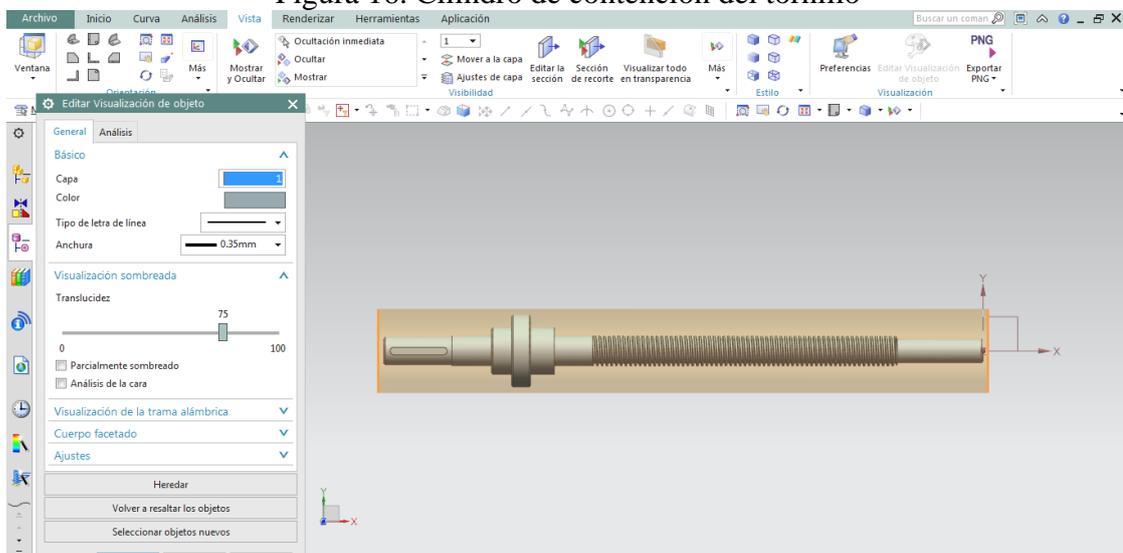
Figura 15. Extrucción para salida de rosca



Fuente: Autor

Al culminar con el modelado del tornillo se dibujara un cilindro que lo contenga, es decir que será para nuestro programa de maquinado la geometría de material de pieza en bruto que será mecanizada, para esto se aumentara la traslucidez de este cilindro para diferenciar al modelado del tornillo con la geometría de material de pieza en bruto.

Figura 16. Cilindro de contención del tornillo



Fuente: Autor

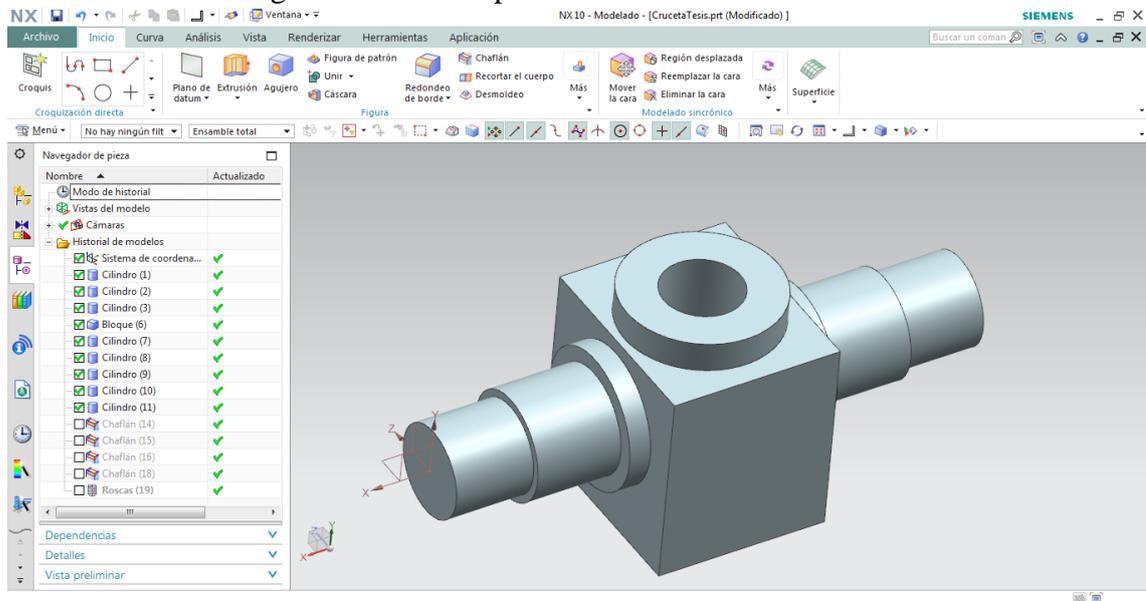
Para la mejor apreciación de la construcción del tornillo se elaborará un video donde se encuentren todos los pasos que se siguieron para el modelado. Con esto se culmina el proceso de diseño y modelado del tornillo sinfín para la válvula de guarda tipo lenteja.

3.5.1.2 Modelado de la cruceta en el programa de Siemens NX10. De acuerdo con el dimensionamiento y planos de la pieza se elabora el modelado de la cruceta bajo los parámetros técnicos y cinemáticos calculados de acuerdo al material.

Se procedió a elaborar el modelado de la cruceta en el plano superior de nuestro plano de trabajo X, Y, Z. Se tomará figuras de diseño ya establecidos en programa de Siemens NX10 para elaborar una geometría similar a nuestra pieza especificada en el plano del dimensionamiento.

Una vez terminado la primera parte del modelo como se muestra en la figura 17 se comenzará a colocar las características de diseño que se encuentran en los planos tales como los chaflanes en cada uno de los bordes de los cilindros y en las caras del bloque de la cruceta, y la rosca interna respectiva en donde se enroscara el tornillo sinfín del mecanismo de la válvula.

Figura 17. Primera parte del modelado de la cruceta

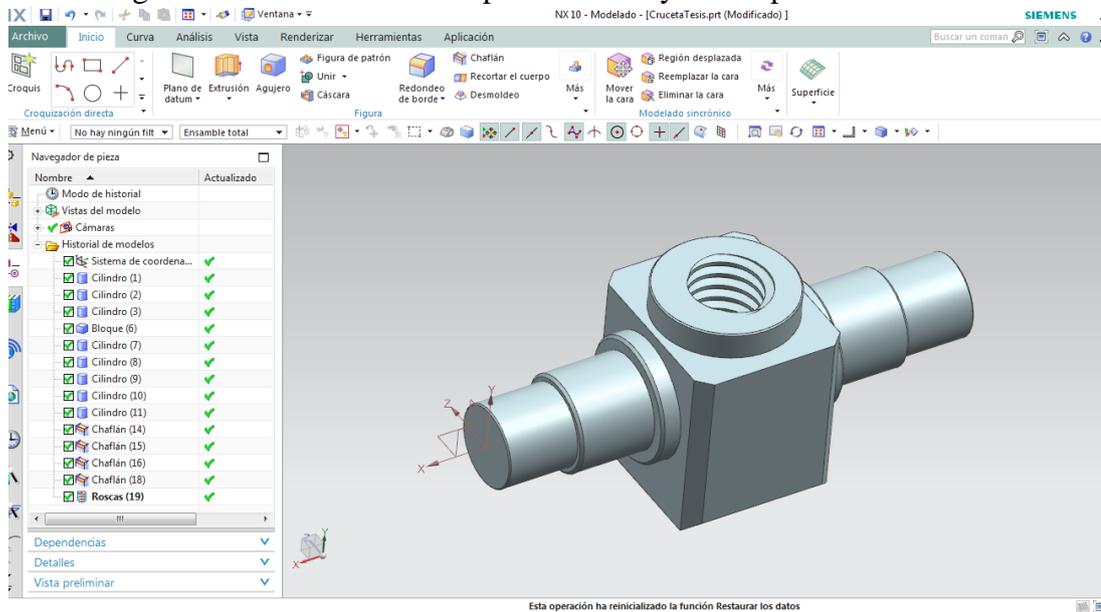


Fuente: Autor

Como se muestra en la ilustración de la figura 18 se darán los detalles y se construirá la rosca correctamente detallada según planos que acabarán con el modelado de la cruceta

para la válvula de guarda tipo lenteja. Los chaflanes ayudaran a que los cilindros de la cruceta faciliten la entrada de estos en un agujero donde serán colocados entre otras ventajas.

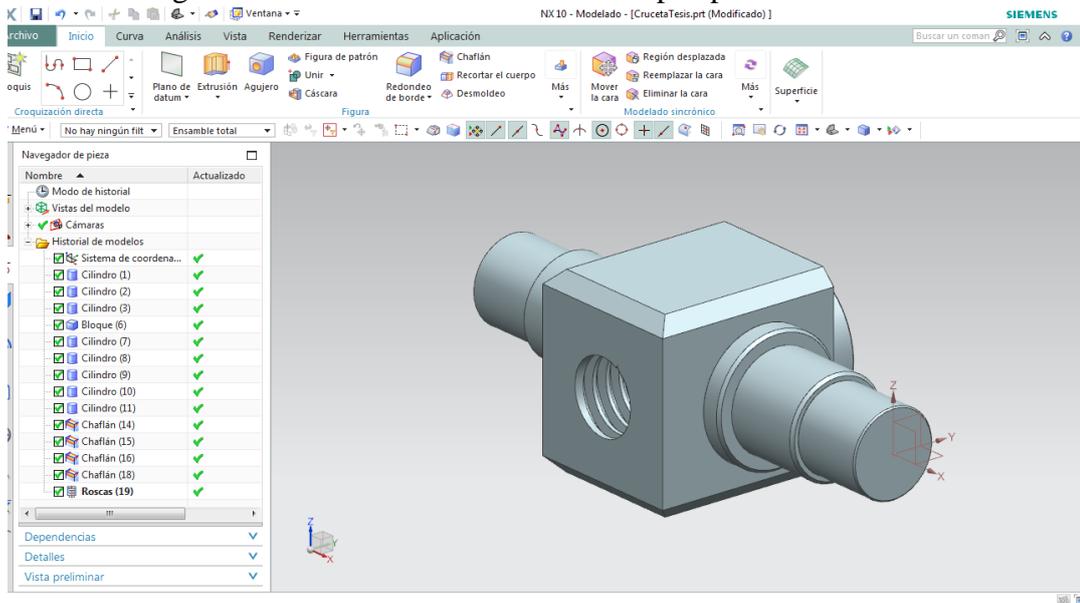
Figura 18. Cruceta con su respectiva rosca y sus respectivos chaflanes



Fuente: Autor

En las figuras se podrá observar el modelado de la cruceta ya culminado con todas sus características de diseño como se encuentra en los planos de dimensionamiento del modelo.

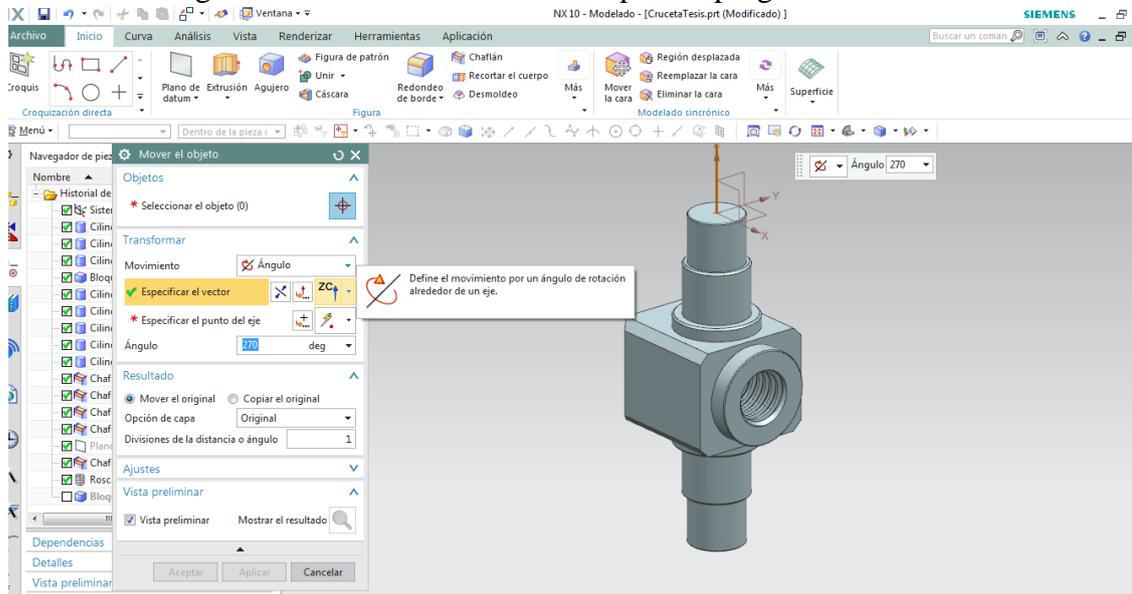
Figura 19. Modelado de cruceta en una perspectiva isométrica



Fuente: Autor

El siguiente paso será dejar la pieza listo para la programación del CAM, para esto se pondrá la cruceta en la posición que se encuentra en la hoja de proceso.

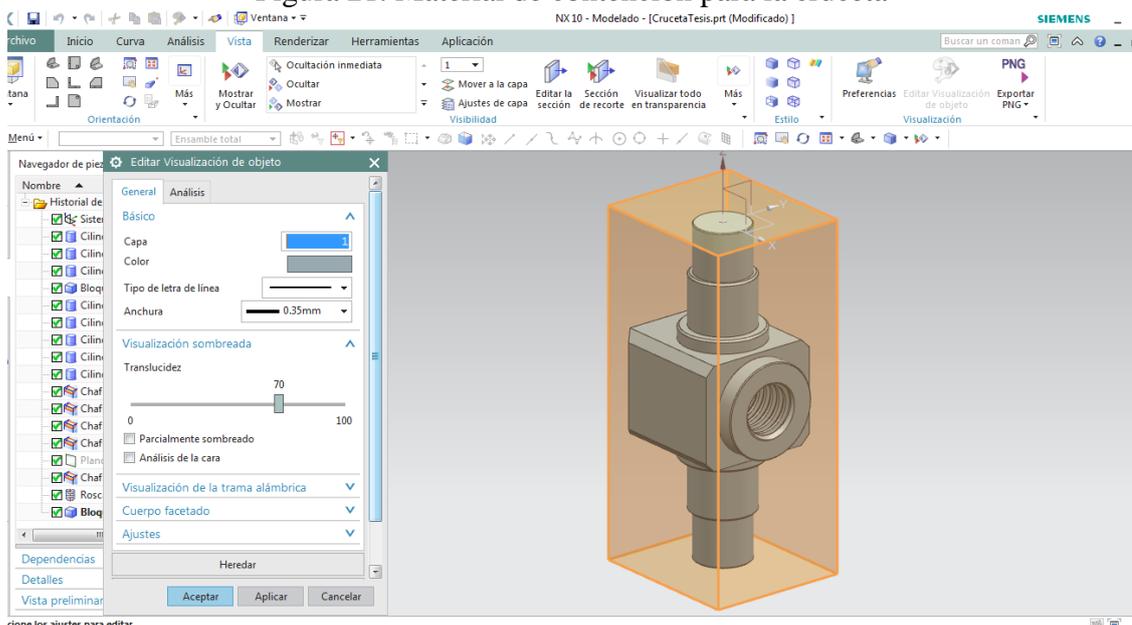
Figura 20. Ubicación de la cruceta para la programación CAM



Fuente: Autor

Cuando se obtenga la posición requerida se elaborara un cuerpo solido el cual contenga nuestro modelo de construcción, esto ayudara a diferenciar el material en bruto de nuestro modelado. Para que se note el modelo dentro del material en bruto se aumentara la traslucidez de este material como se muestra en la figura.

Figura 21. Material de contención para la cruceta



Fuente: Autor

Al igual que con el tornillo se realizará un video el cual muestre todos los procedimientos, pasos y problemas resueltos que surgieron al momento de la construcción del modelo.

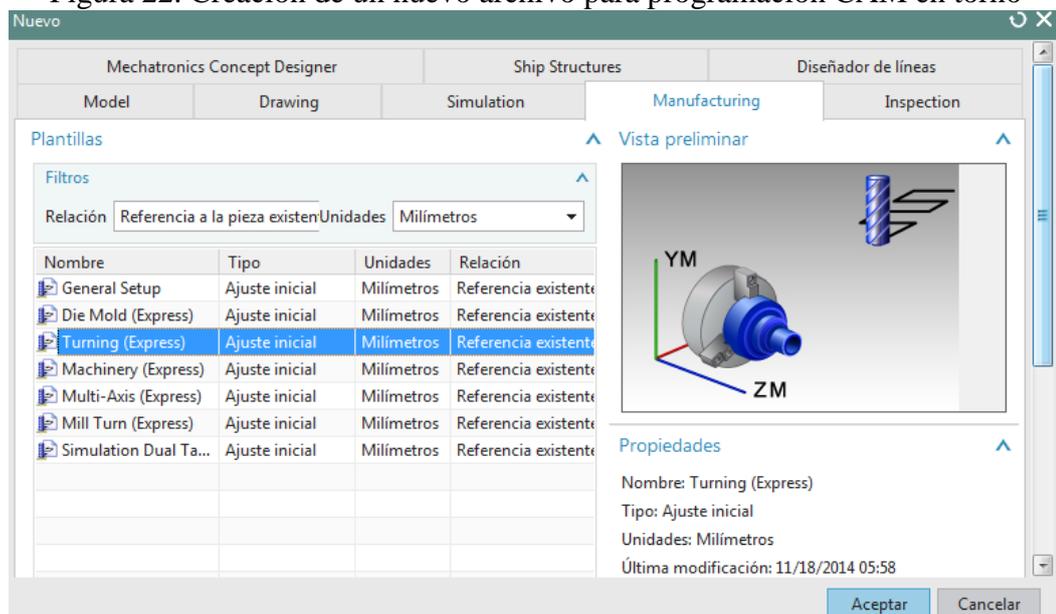
Con esto se culmina el proceso de diseño y modelado de la cruceta para la válvula de guarda que estará acoplada con el tornillo y dará un cierre inmediato a la al sistema de la bomba.

3.5.2 Manufactura Asistida por Computadora (CAM). En esta parte del software se realiza la programación en donde se asignan las diferentes estrategias de mecanizado como son las velocidades de corte, avances, tipos de herramientas, sobre dimensionamiento de material, tipo de material entre otros datos que ayudaran a que la programación realizada brinde una mayor confianza y seguridad al momento de correr el programa en cualquier maquinaria CNC.

Para esto en el programa ya creado del modelado se deberá seguir los siguientes pasos:

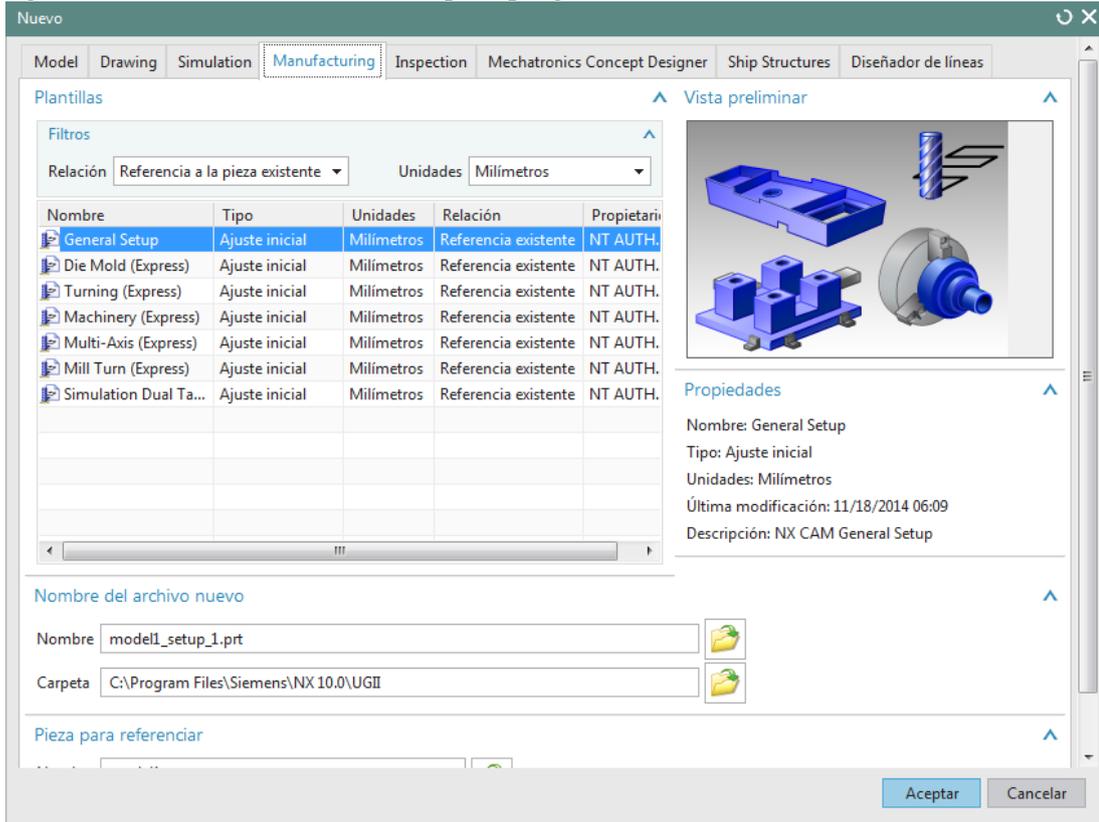
- Pulsar Archivo → Nuevo
- En la pestaña que se despliega colocaremos los parámetros de la figura si es para el tornillo o la figura si es para la cruceta.

Figura 22. Creación de un nuevo archivo para programación CAM en torno



Fuente: Autor

Figura 23. Creación de un archivo para programación CAM, en centros de mecanizado



Fuente: Autor

- Pulsamos Aceptar.

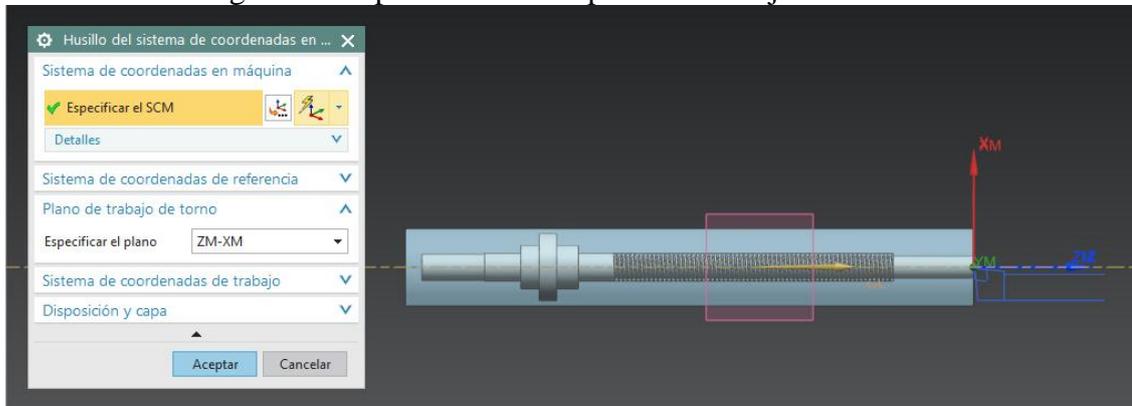
3.5.2.1 Programa de manufactura para el tornillo sinfín. El material de la pieza a realizar será de Acero 715. El material tendrá una geometría cilíndrica con un diámetro de 88.9 mm (3.5 pulgadas) y una longitud de 640 mm, se supondrá que el material vendrá con estas dimensiones pero realmente puede tener una sobre medida de 2 mm, para corregir esto el operario será el último que de la medida exacta del material en bruto para que el programador pueda contrarrestar estas sobre medidas.

El primer paso para la realización de este programa de fabricación será la selección del ajuste inicial el cual define el plano de trabajo, la geometría del modelo, el material de trabajo, los movimientos en vacío de la herramienta y la contención de la misma.

Para esto se abrirá vista de la geometría en donde aparecerán los grupos MCS_SPINDLE, WORKPIECE, TURNING_WORKPIECE y AVOIDANCE. Estos son los parámetros iniciales que el programa pide para la realización de la programación.

El MCS_SPINDLE servirá para que el programa reconozca el plano de trabajo en el cual se va a mecanizar.

Figura 24. Especificación del plano de trabajo en el torno

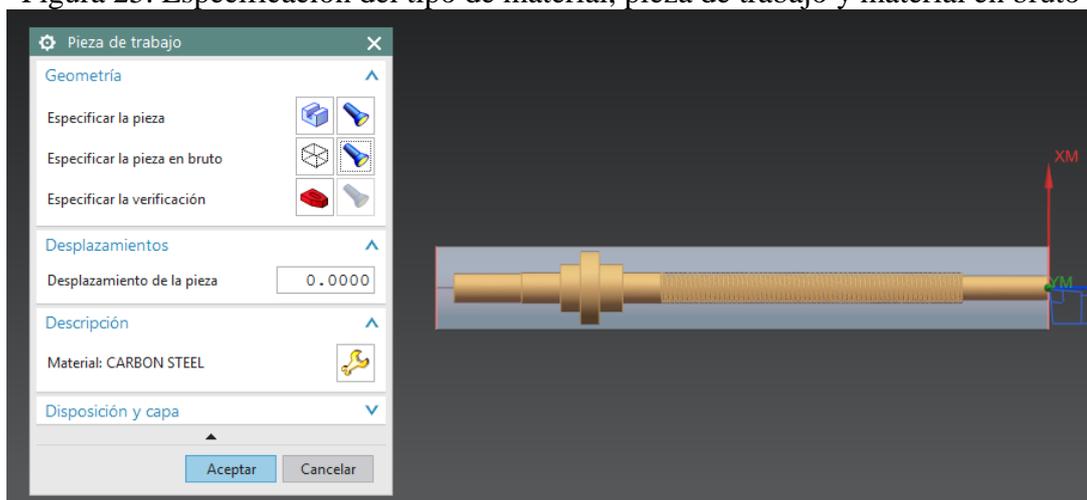


Fuente: Autor

En **Especificar el Plano** no debe colocar **ZM – XM** para que la trayectoria de la herramienta sea en el eje Z axial y en el eje X radial como lo es en cualquier torno CNC.

En **WORKPIECE** se especificara cual será nuestro modelo que queremos realizar, cuál será la pieza en bruto en la que vamos a trabajar, si existe algún desplazamiento de la pieza y cual será nuestro material de fabricación.

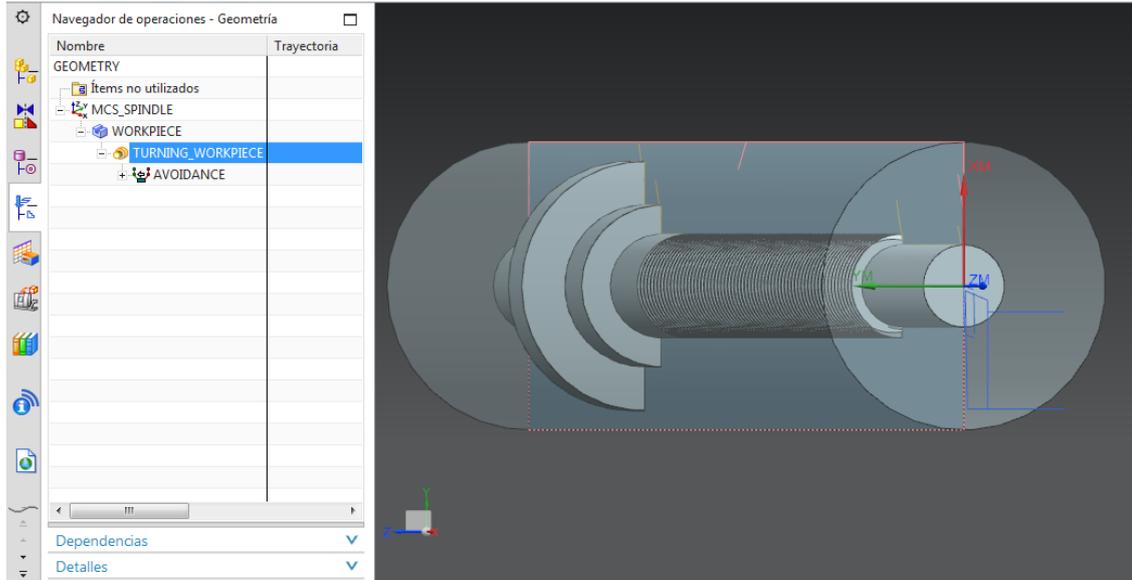
Figura 25. Especificación del tipo de material, pieza de trabajo y material en bruto



Fuente: Autor

En **TURNING_WORKPIECE** el programa arrojará automáticamente en el plano que se trabajara y los límites del modelo a fabricar.

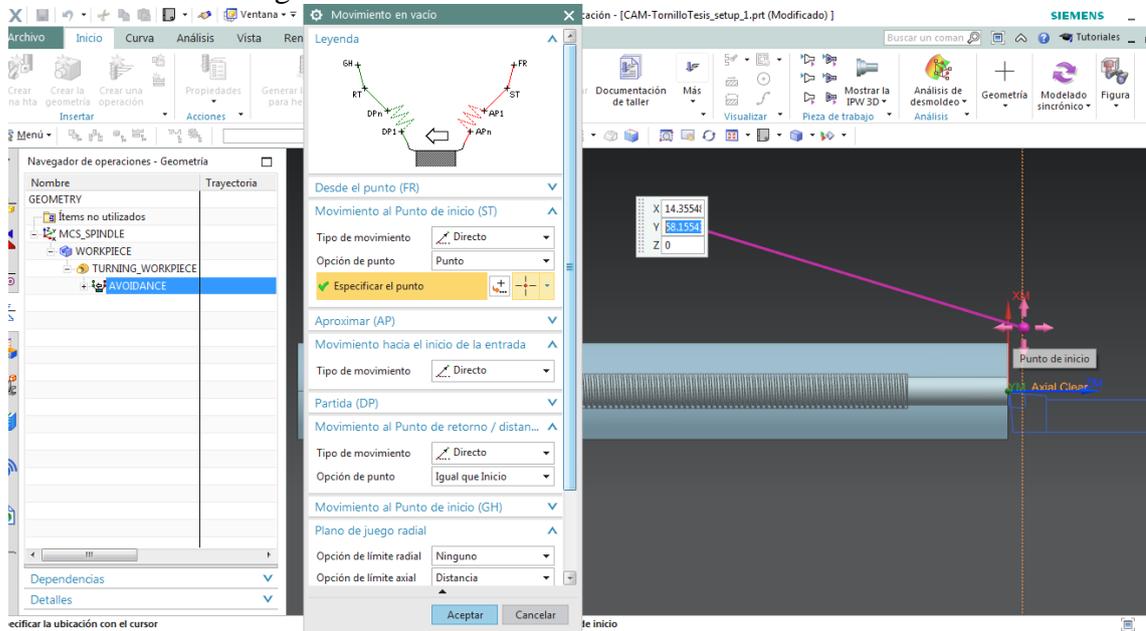
Figura 26. Especificación de los límites de trabajo y plano de trabajo



Fuente: Autor

En el AVOIDANCE se colocara las trayectorias en vacío de las herramientas es decir la posición inicial de la herramienta, el ingreso al corte, la salida del corte, el retroceso, entre otros datos que ayudaran a que la herramienta no corra riesgo de colisión.

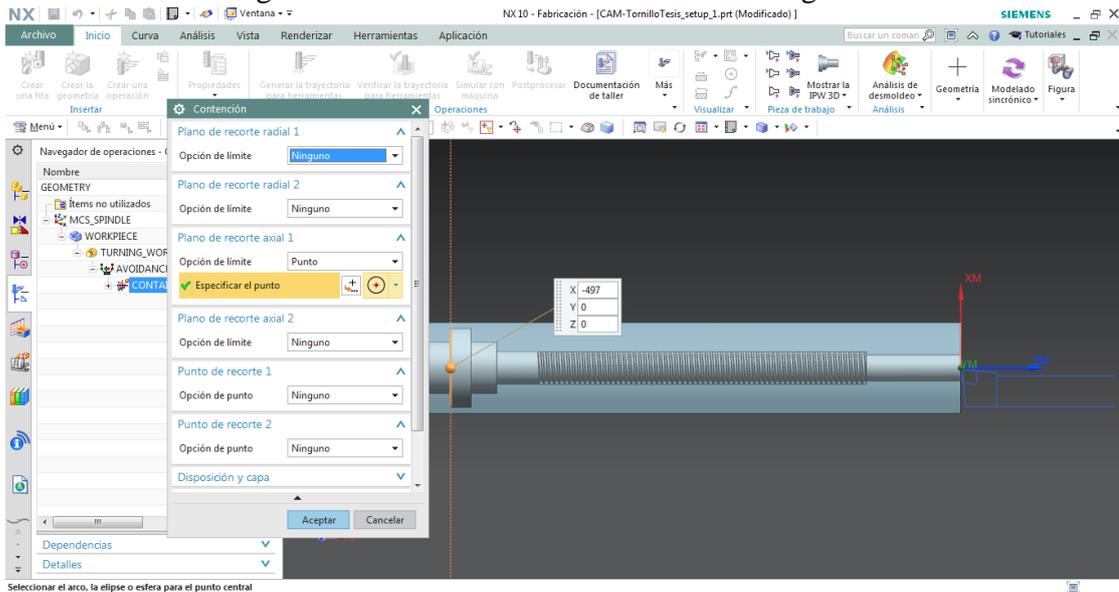
Figura 27. Movimientos de la herramienta en vacío



Fuente: Autor

A más de estos ajustes se colocara una contención que no le permitirá a la herramienta pasar más allá de un límite elegido por el programador en este caso la contención estará a 497 mm de nuestro punto de origen.

Figura 28. Creación de una contención de seguridad



Fuente: Autor

La contención será ubicada en ese lugar ya que este modelo será en dos partes.

Al ajustar los parámetros iniciales del modelo en el software se procederá a realizar cada una de las operaciones de manufactura las cuales el programador ya las tendrá previamente establecidas en su hoja de proceso, esto simplificará un poco la programación del modelo del tornillo sinfín el cual tendrá las siguientes operaciones de fabricación:

- Refrentado de la Parte Frontal del Tornillo Sinfín.
- Desbaste de la Primera Parte del Diámetro Exterior.
- Acabado de la Primera Parte del Diámetro Exterior.
- Roscado del Tornillo Sinfín.
- Refrentado Posterior del Tornillo Sinfín.
- Desbaste de la Segunda Parte del Diámetro Exterior.
- Acabado de la Segunda Parte del Diámetro Exterior.

Luego de acabar la fase de roscado del tornillo se deberá girar la pieza para comenzar el programa de la segunda parte del Tornillo Sinfín.

Los parámetros de maquinado como son velocidad de corte, avances, profundidades se los calculará de acuerdo al tipo de material de la herramienta y de la pieza a mecanizar.

Tabla 7. Tabla de velocidades de corte

Material de la pieza	Material de la herramienta	Ángulo de corte		Desbaste		Acabado	
		1	2	Velocidad de corte [m/min]	Avance [mm/rev]	Velocidad de corte [m/min]	Avance [mm/rev]
Acero, resistencia a la tensión 50 kg/mm ² (140 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	20°	14	0,5	20	0,2
	Acero aleado para herramientas	8°	20°	22	1	30	0,5
	Carburo de tungsteno	5°	18°	150	2,5	250	0,25
Acero, resistencia a la tensión 50 - 70 kg/mm ² (150 - 190 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	14°	10	0,5	15	0,2
	Acero aleado para herramientas	8°	14°	20	1	24	0,5
	Carburo de tungsteno	5°	14°	120	2,5	200	0,25
Acero, resistencia a la tensión 70 - 85 kg/mm ² (200 - 250 BHN)	Acero para herramientas al carbono	8°	8°	8	0,5	12	0,2
	Acero aleado para herramientas	8°	8°	15	1	20	0,5
	Carburo de tungsteno	5°	12°	80	2	140	0,2
Acero para herramientas (260 - 340 BHN)	Acero aleado para herramientas	6°	3°	12	1	16	0,5
	Carburo de tungsteno	5°	2°	30	0,6	50	0,15

Fuente: <http://nubr.co/PHhCQq>

Para calcular la velocidad del husillo en revoluciones por minuto tenemos la siguiente fórmula:

$$N = \frac{V_c * 1000}{D * \pi} \quad (15)$$

Donde,

V_c = Velocidad de corte [m/min]

a = avance [mm/rev]

D = Diámetro de la pieza [mm]

Los parámetros de corte para operaciones de acabado estarán dados por la tabla 7, y estos serán:

- Una velocidad de corte de $V_c = 30$ m/min.
- Un avance de $a = 0,5$ mm/rev.
- Revoluciones de la pieza por minuto de acuerdo a la ecuación 15:

$$N = \frac{30 \text{ m/min} * 1000}{33 * \pi}$$

$$N = 289,37 \text{ rev/min} \rightarrow 300 \text{ rev/min}$$

Los parámetros de corte para operaciones desbaste de acuerdo a la tabla 7 serán:

- Una velocidad de corte de $V_c = 22 \text{ m/min}$.
- Un avance de $a = 1 \text{ mm/rev}$.
- Revoluciones de la pieza por minuto de acuerdo a la ecuación 15:

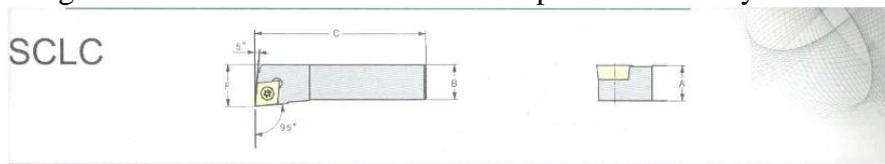
$$N = \frac{22 \text{ m/min} * 1000}{88,9 * \pi}$$

$$N = 78,771 \rightarrow 100 \text{ rev/min}$$

Las herramientas serán seleccionadas del catálogo Vertex que es un distribuidor de Máquinas y Herramientas.

Los refrentados consisten en dejar una superficie plana de la pieza y en este caso también servirán para dejar la pieza en la longitud especificado en los planos. Para esto utilizaremos la herramienta de la figura que podrá trabajar sin ningún problema en este material.

Figura 29. Selección de la herramienta para refrentado y desbaste

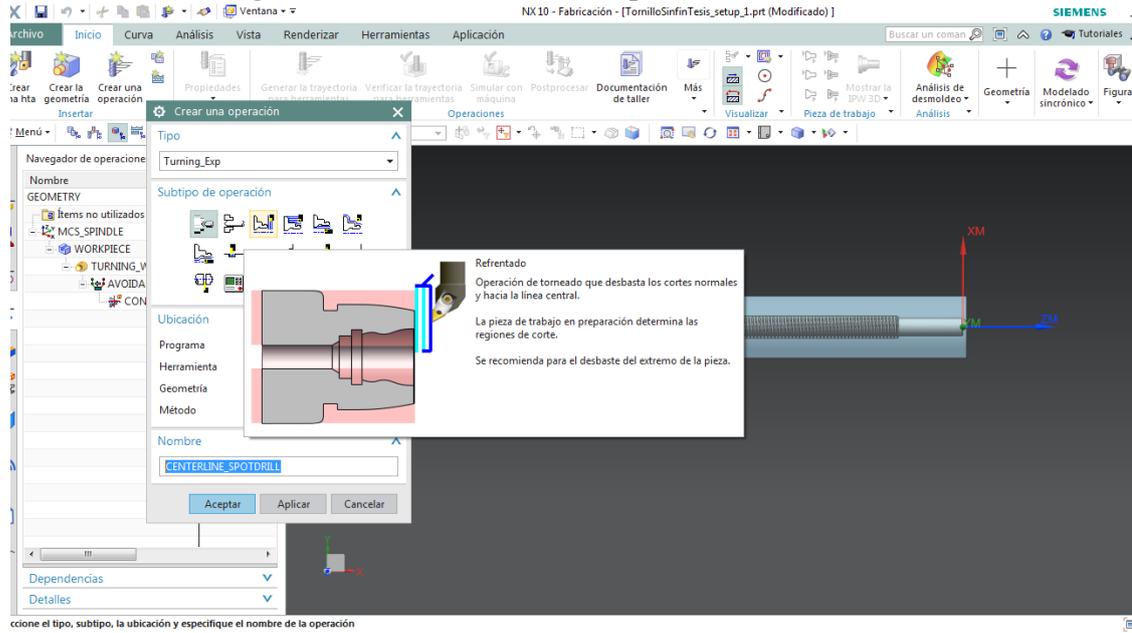


ORDER NO.		INSERT	DIMENSIONS				PARTS		WEIGHT (kg)		CODE NO.	
Righthand	Lefthand		A	B	C	F			Right	Left	Right	Left
SCLCR-0808H06	SCLCL-0808H06	CC 0602	8	8	100	10	CS2560	FT-7	0.06	0.06	6005-360	6005-460
SCLCR-1010H06	SCLCL-1010H06	CC 0602	10	10	100	12	CS2560	FT-7	0.08	0.08	6005-361	6005-461
SCLCR-1212H09	SCLCL-1212H09	CC 09T3	12	12	100	16	CS3590	FT-15	0.12	0.12	6005-362	6005-462
SCLCR-1616H09	SCLCL-1616H09	CC 09T3	16	16	100	20	CS3590	FT-15	0.21	0.21	6005-363	6005-463

Fuente: Vertex Machinery Works.

Luego de ver la herramienta se la introducirá en el programa y crearemos la operación de refrentado. En esta parte se seleccionara la operación, la herramienta a utilizar y en el programa que se va a generar.

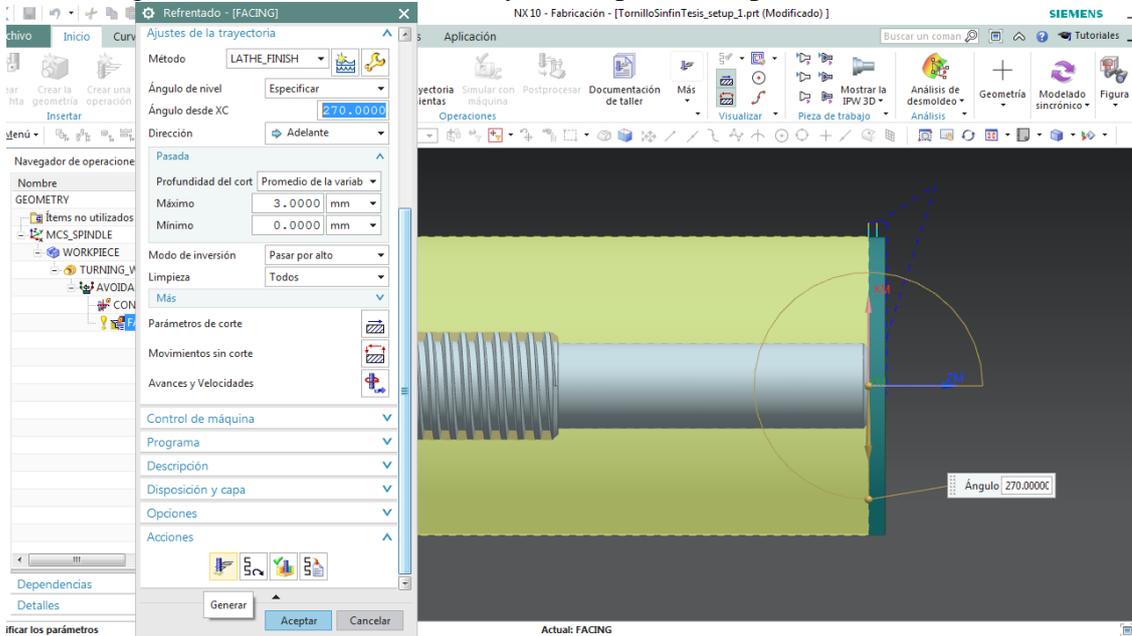
Figura 30. Generación de una operación de refrentado



Fuente: Autor

Al aceptar la operación el programa grabará todos los parámetros de mecanizado y se generará la operación.

Figura 31. Generación de la trayectoria para una operación de refrentado

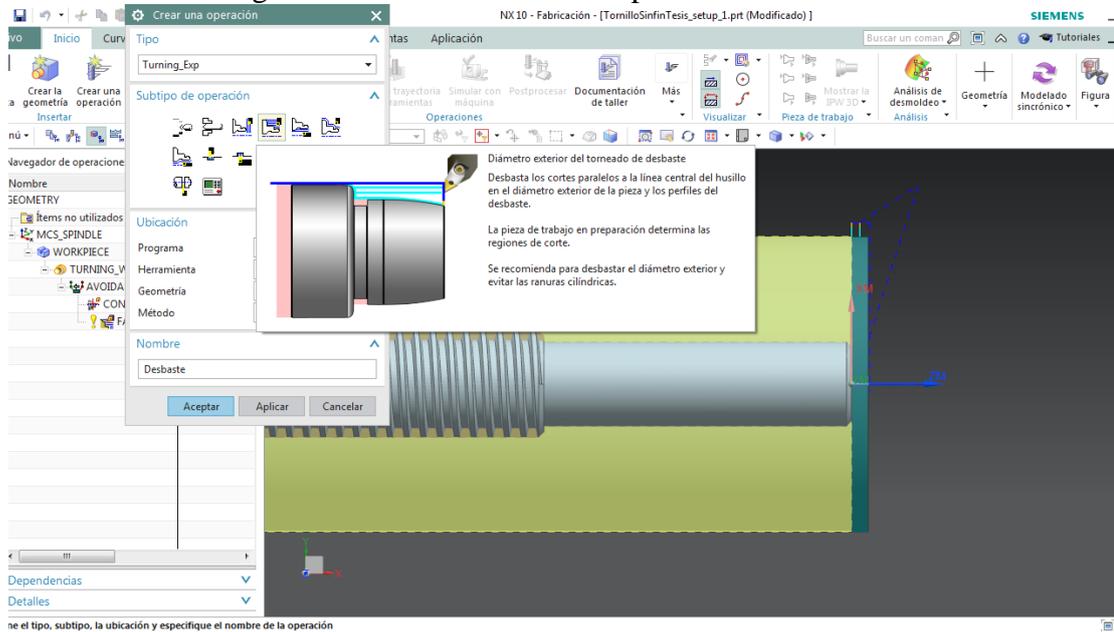


Fuente: Autor

Para los desbastes se aprovechará al máximo la potencia del torno, trabajando con profundidades de 2 a 5 mm para esto utilizaremos la misma herramienta del refrentado (figura 29) ya que según el catalogo puede aguantar estas profundidades.

De igual manera se creará la operación y se dará los parámetros necesarios.

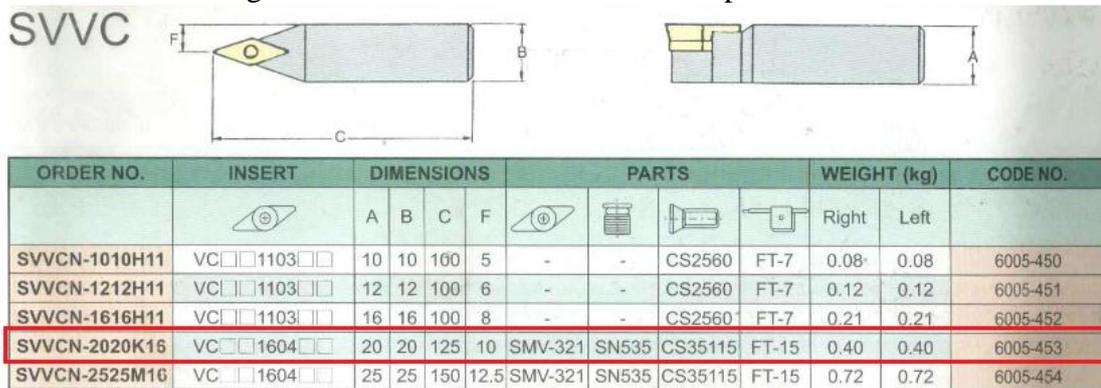
Figura 32. Generación de una operación de desbaste



Fuente: Autor

Para la operación de acabado se buscara una herramienta más fina, la cual asegure que el diámetro del tornillo quede de la misma dimensión que esta especificada en el plano.

Figura 33. Selección de la herramienta para acabado

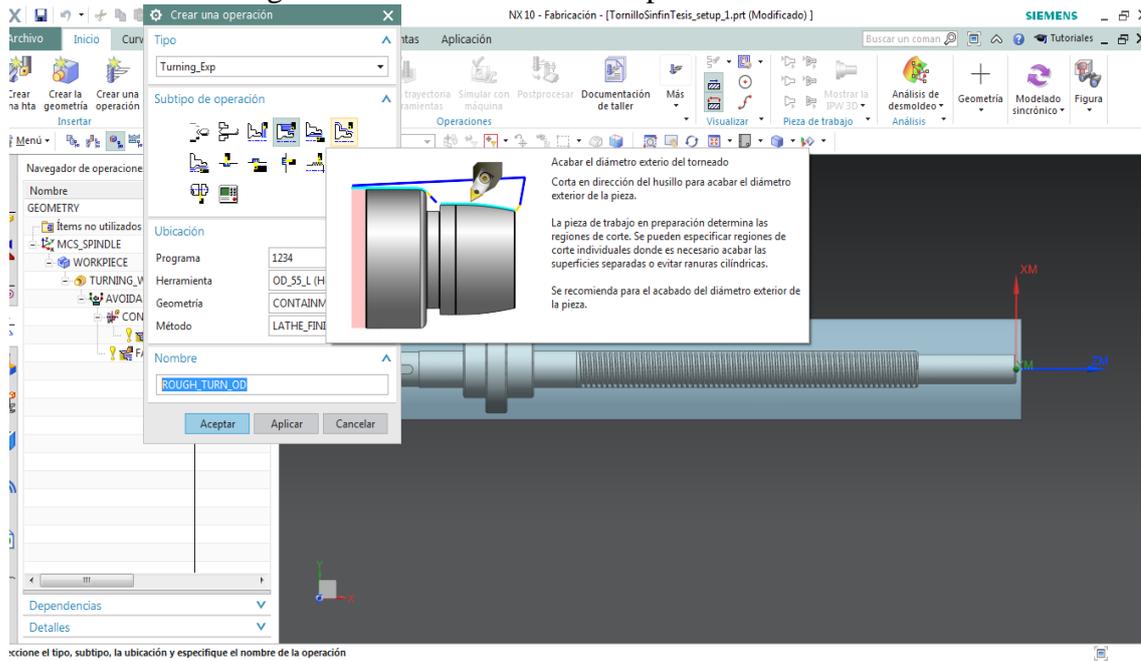


Fuente: Vertex Machinery Works

Ya encontrada la herramienta se procederá a ingresarla en el programa y posteriormente generar la operación de acabado.

Para esta operación se utilizará el método de LATHE_FINISH la cual deja al modelo con sus medidas exactas, esta operación se realizará dentro de la contención ya generada para que la herramienta llegue hasta el límite axial ya establecido.

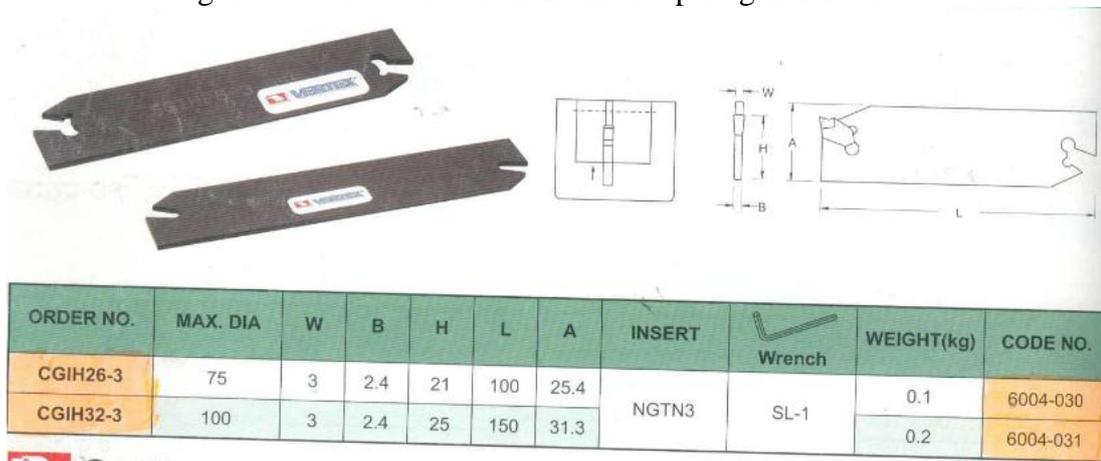
Figura 34. Generación de una operación de acabado



Fuente: Autor

Por último se realizará la rosca del tornillo, de igual manera se buscará la herramienta indicada para esta operación.

Figura 35. Selección de la herramienta para generar la rosca

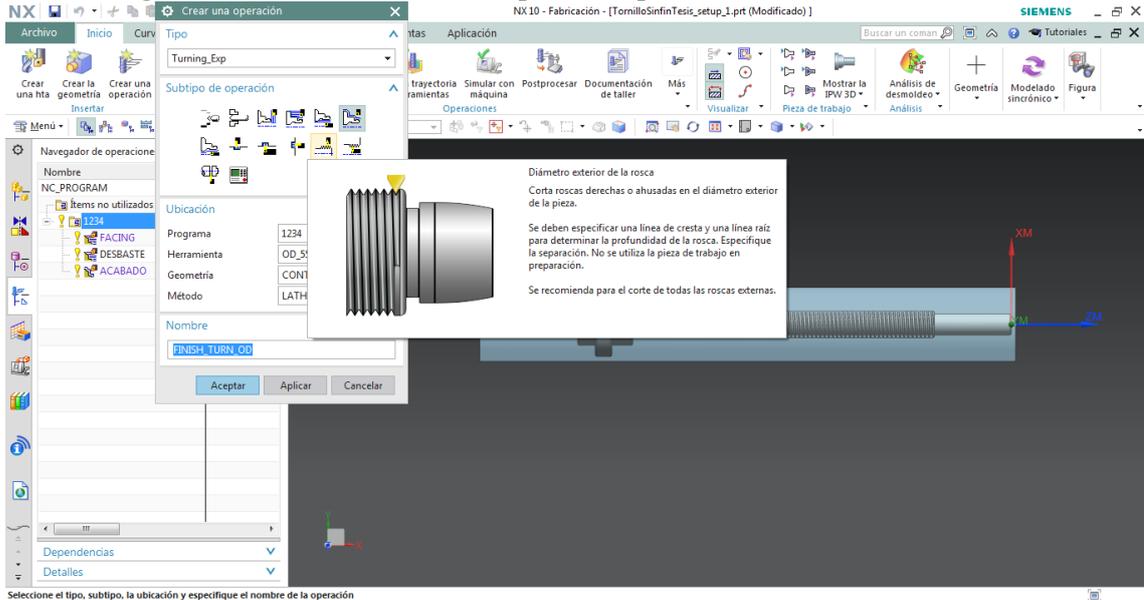


Fuente: Vertex Machinery Works.

Se ingresará la herramienta y se creará la operación de roscado de diámetro exterior con todos los parámetros como ángulos, pasos, avances etcétera, todos ya calculados en páginas de este proyecto.

De igual manera escogeremos el método de LATHE_FINISH para dejar el diámetro interno deseado en la rosca.

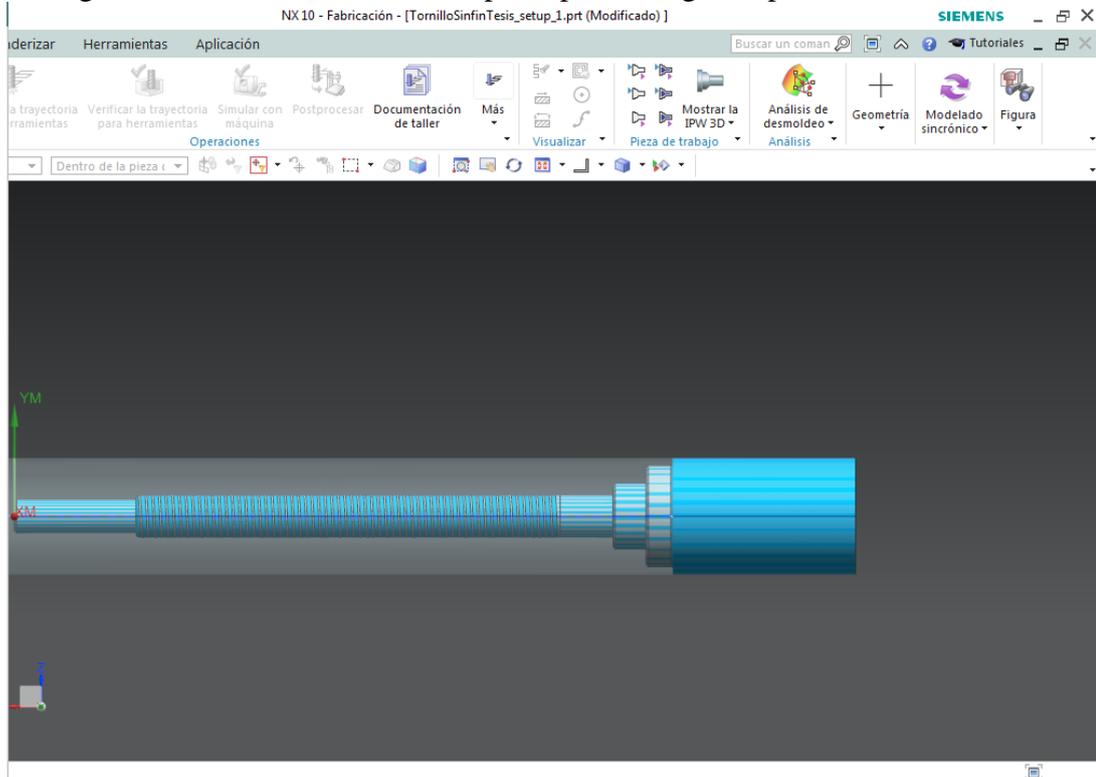
Figura 36. Generación de una operación para diámetro exterior de rosca



Fuente: Autor

Al acabar la rosca el operario tendrá que desmontar la pieza para girarla y volverla a montar. Luego encerara los ejes y correrá el programa segundo programa que será el mecanizado de la última parte del tornillo que constara de un refrentado, un desbaste y un acabado, con esto se acabará la fabricación del tornillo.

Figura 37. Posicionamiento de la pieza para la segunda parte de la fabricación

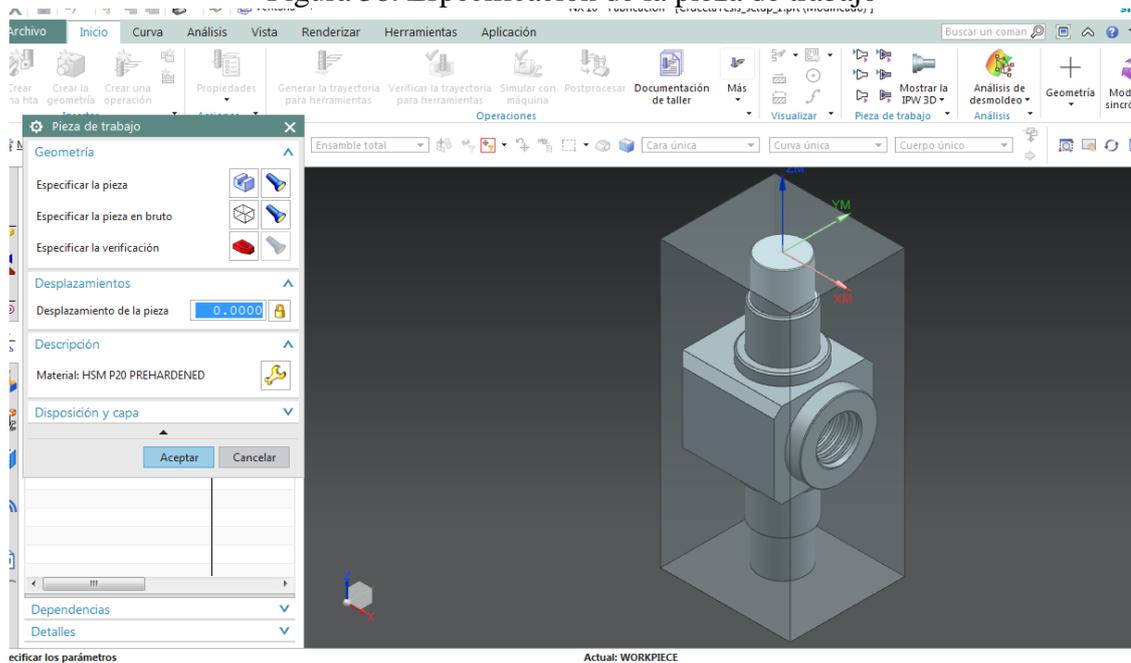


Fuente: Autor

3.5.2.2 Programa de manufactura para cruceta. El material de la pieza (Cruceta) a realizar será de una aleación de Bronce y Níquel. El material en bruto a mecanizar tendrá una geometría cuadrada cuyas dimensiones serán de una longitud de 85mm, una anchura de 75mm y una altura de 188mm, se supondrá que el material vendrá con estas dimensiones pero realmente puede tener una sobre medida de 2mm, para corregir esto el operario será el último que de la medida exacta del material en bruto para que el programador pueda contrarrestar estas sobre medidas.

Se realizara el ajuste inicial el cual definirá las condiciones y los parámetros que se utilizaran en el programa, dentro de este ajuste se verificará y editará el sistema de coordenadas de la máquina, se definirá el plano de seguridad y se especificara la geometría de la pieza a realizar y de la pieza en bruto.

Figura 38. Especificación de la pieza de trabajo



Fuente: Autor

A diferencia que con el tornillo los parámetros tales como velocidad del husillo, velocidad de avance y profundidad de corte dejaremos que el programa los calcule de forma automática de acuerdo a datos ya ingresados en el ajuste inicial como son material de la pieza, material de la herramienta y el diámetro de la herramienta.

A más de estos datos el programa generará los parámetros con la velocidad de corte que será tomada de la Tabla 8 de valores recomendados para una maquina fresadora.

Tabla 8. Velocidades de corte recomendadas para fresas

Material	Fresa de acero de alta velocidad		Fresa de carburo	
	[pie/min]	[m/min]	[pie/min]	[m/min]
Acero aleado	40 - 70	dic-20	150 - 250	45 - 75
Aluminio	500 - 1 000	150 - 300	1 000 - 2 000	300 - 600
Bronce	65 - 120	20 - 35	200 - 400	60 - 120
Hierro fundido	50 - 80	15 - 25	125 - 200	40 - 60
Acero de maquinado libre	100 - 150	30 - 45	400 - 600	120 - 180
Acero para maquinaria	70 - 100	21 - 30	150 - 250	45 - 75
Acero inoxidable	30 - 80	oct-25	100 - 300	30 - 90
Acero para herramienta	60 - 70	18 - 20	125 - 200	40 - 60

Fuente: (KRAR, 2002)

Estos valores harán que el programa calcule las revoluciones por minuto de la máquina, según la Tabla 8 los valores de velocidad de corte estarán entre 20 y 35 m/min, se tomara el valor menor para operaciones de desbaste y el valor mayor para operaciones de acabado.

Para hallar el avance de la maquina se tomara los valores de la Tabla 9 el avance por diente recomendado y se lo ingresará a la tabla con el número de diente de la fresa que se va a utilizar en cada operación.

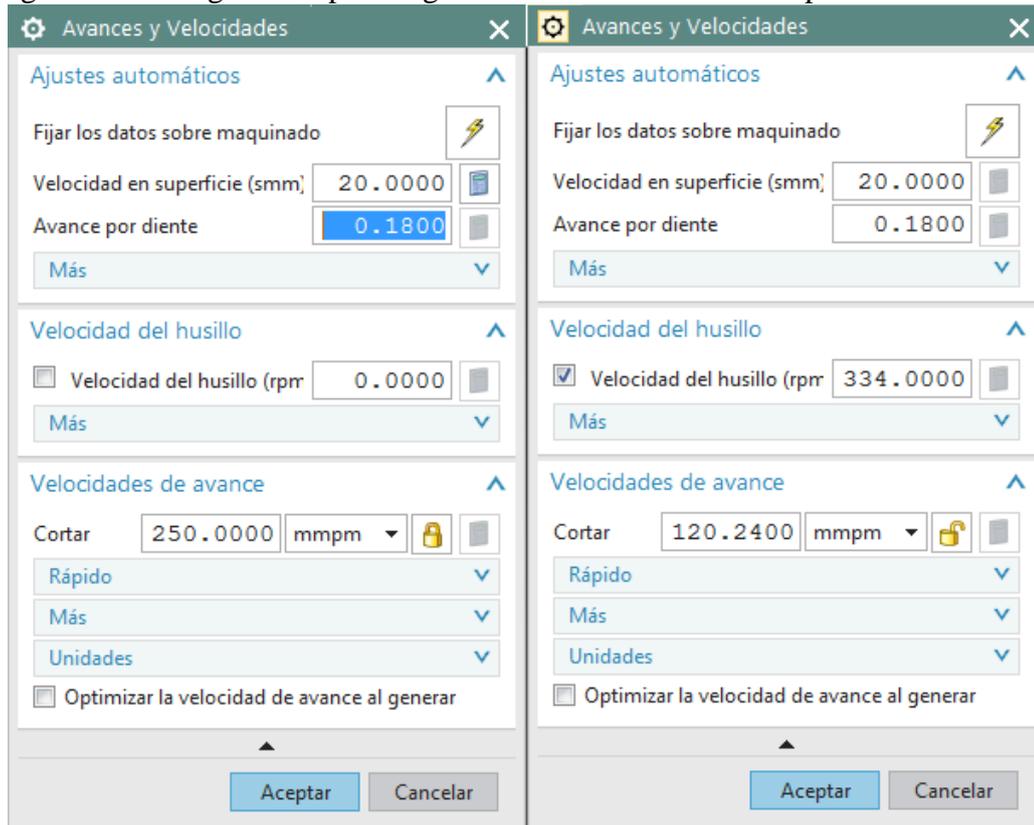
Tabla 9. Avance por diente recomendado (fresas de alta velocidad)

Material	Fresas de careado o refretar		Fresas helicoidales		Fresas de ranurado y de corte lateral		Fresas frontales	
	[pulg]	[mm]	[pulg]	[mm]	[pulg]	[mm]	[pulg]	[mm]
Acero aleado	0,006	0,15	0,005	0,12	0,004	0,1	0,003	0,07
Aluminio	0,022	0,55	0,018	0,45	0,013	0,33	0,011	0,28
Latón y bronce (medio)	0,014	0,35	0,011	0,28	0,008	0,2	0,007	0,18
Hierro fundido (medio)	0,013	0,33	0,01	0,25	0,007	0,18	0,007	0,18
Acero de maquinado libre	0,012	0,3	0,01	0,25	0,007	0,17	0,006	0,15
Acero para maquinaria	0,012	0,3	0,01	0,25	0,007	0,18	0,006	0,15
Acero inoxidable	0,006	0,15	0,005	0,13	0,004	0,1	0,003	0,08
Acero para herramienta (medio)	0,01	0,25	0,008	0,2	0,006	0,15	0,005	0,13

Fuente: (KRAR, 2002)

Al ingresar los datos al programa automáticamente se calcularan las [rpm] del husillo.

Figura 39. Configuración para la generación automática de los parámetros de corte



Fuente: Autor

Al ajustar los parámetros iniciales del modelo en el software se procederá a realizar cada una de las operaciones de manufactura las cuales el programador ya las tendrá previamente establecidas en su hoja de proceso, esto simplificará varios aspectos al momento de programar el modelo de la cruceta, este programara se tomaron las siguientes estrategias de mecanizado:

- Dos planeados (parte superior y parte inferior); nos servirá.
- Varios contornos un cuadrado y siete circulares; los contornos circulares serán tres en la parte superior, tres de la parte inferior y uno del frente donde se acopla el tornillo.
- Un vaciado interior; se utilizó esta estrategia ya que no existe una broca lo suficientemente gruesa para hacer el agujero, por esto se utilizará un vaciado en esta parte con una fresa adecuada.
- Un roscado interno

Las herramientas serán seleccionadas del Catálogo Vertex que es un distribuidor de Máquinas y Herramientas.

Buscaremos en el catálogo de Vertex la herramienta indicada para realizar una operación de planeado la cual ayudara a dejar la pieza sin imperfecciones de fundición.

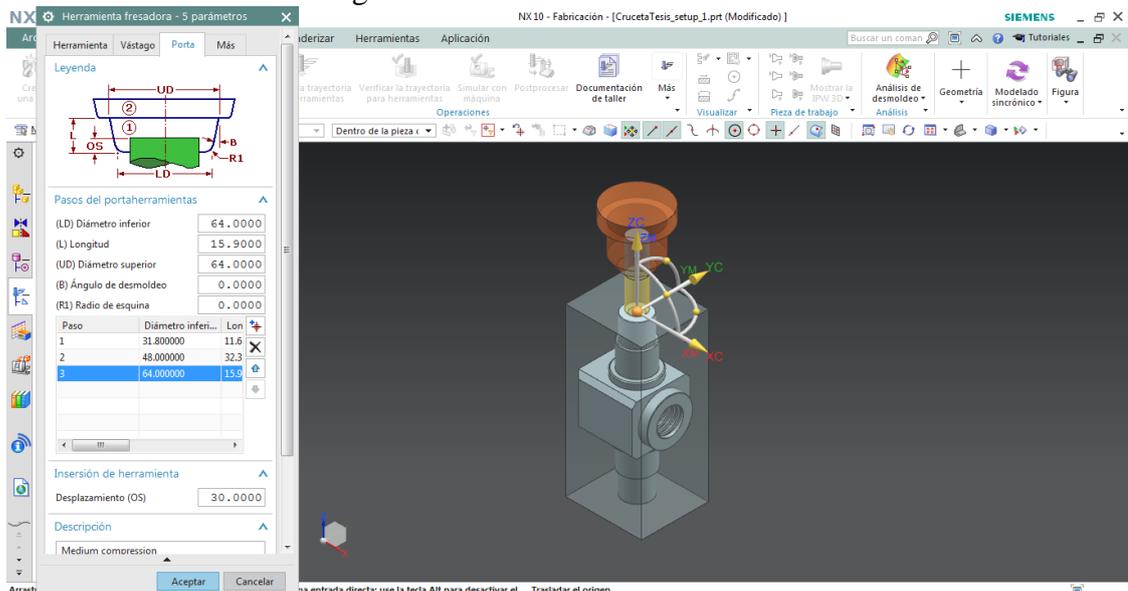
Figura 40. Selección de la herramienta en el catalogo Vertex para desbaste



Fuente: Vertex Machinery Works

Antes de realizar la operación de planeado se ingresará la herramienta en el programa para posteriormente elegirla.

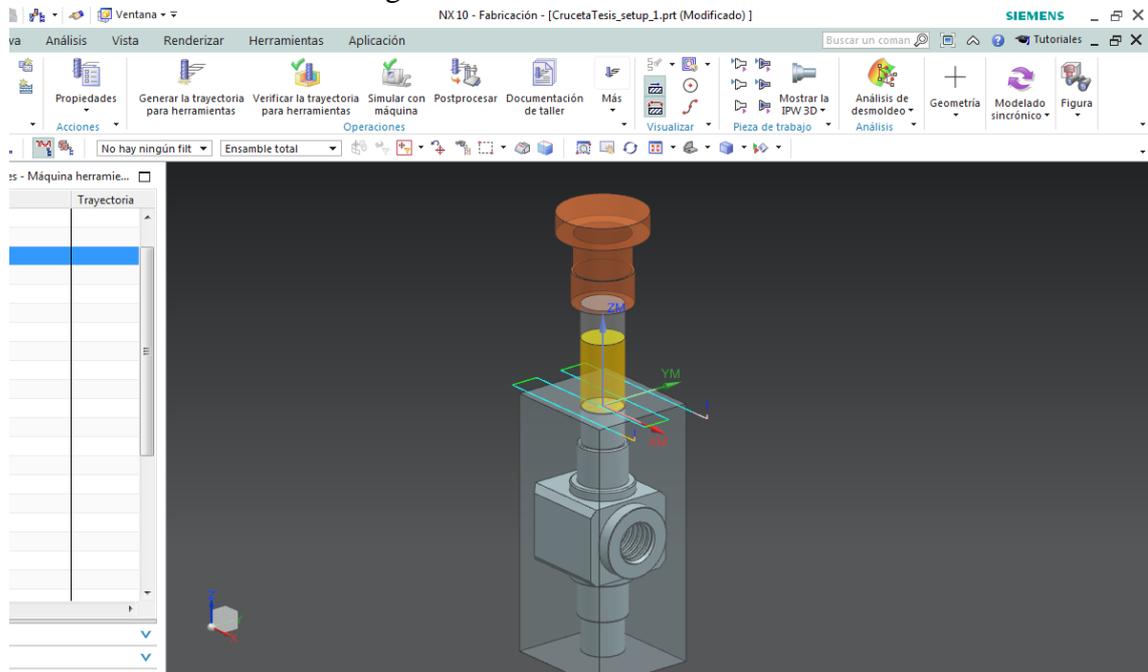
Figura 41. Elección de la herramienta



Fuente: Autor

Posteriormente creamos la operación de planeado de la sobredimensión de material en su cara superior.

Figura 42. Planeado de la demasía



Fuente: Autor

La siguiente herramienta que utilizaremos será para un desbaste de contorno por lo cual utilizaremos la siguiente fresa del catálogo Vertex.

Figura 43. Selección de la herramienta para desbaste



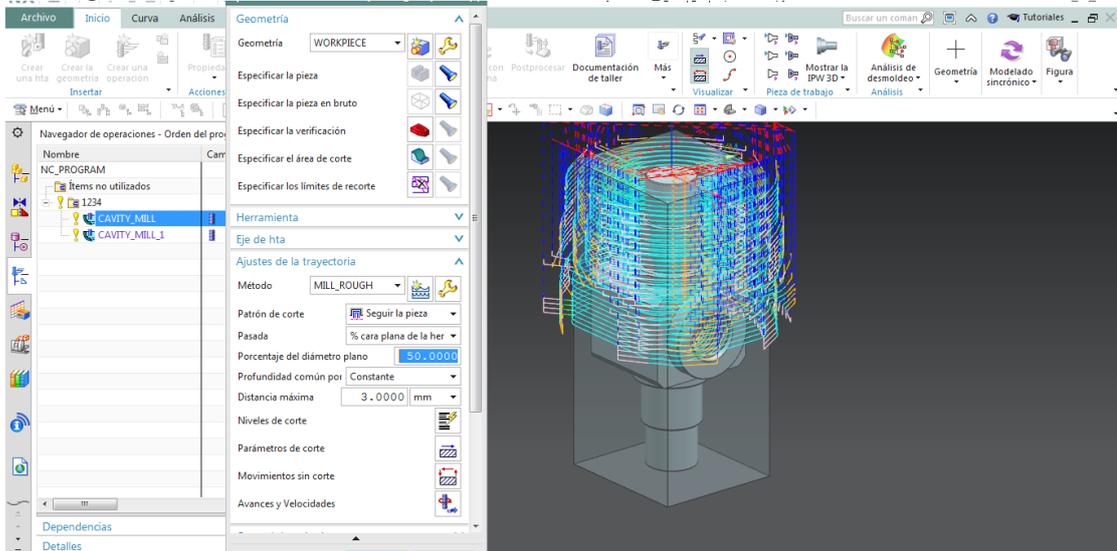
Standard Length(Order No. VE124F-Dia) Unit:mm

ORDER NO.	Dia of Mill Tool	Shank Dia mm	Flute Length mm	Overall Length mm	CODE NO.	ORDER NO.	Dia of Mill Tool	Shank Dia mm	Flute Length mm	Overall Length mm	CODE NO.
VE124-1.0	1.0	4	3	50	6007-100	VE124-6.0	6.0	6	16	50	6007-110
VE124-1.5	1.5	4	5	50	6007-101	VE124-7.0	7.0	8	20	60	6007-111
VE124-2.0	2.0	4	6	50	6007-102	VE124-8.0	8.0	8	20	60	6007-112
VE124-2.5	2.5	4	8	50	6007-103	VE124-9.0	9.0	10	22	72	6007-113
VE124-3.0	3.0	6	8	50	6007-104	VE124-10.0	10.0	10	25	72	6007-114
VE124-3.5	3.5	6	10	50	6007-105	VE124-11.0	11.0	12	26	75	6007-115
VE124-4.0	4.0	6	11	50	6007-106	VE124-12.0	12.0	12	30	75	6007-116
VE124-4.5	4.5	6	11	50	6007-107	VE124-14.0	14.0	16	32	90	6007-117
VE124-5.0	5.0	6	13	50	6007-108	VE124-16.0	16.0	16	38	100	6007-118
VE124-5.5	5.5	6	13	50	6007-109	VE124-18.0	18.0	20	38	100	6007-119
VE124-6.0	6.0	6	16	50	6007-110	VE124-20.0	20.0	20	38	100	6007-120

Fuente: Vertex Machinery Works

Ya ingresada la herramienta se realizara una operación que desbastará una forma contorneada con lo cual quitaremos el material de la pieza en bruto que no pertenezca a la geometría del modelo, para esto se utilizará el método de MILL_ROUGH el cual deja una sobre medida para posteriormente realizar una operación de acabado.

Figura 44. Movimiento de la herramienta en operación de desbaste de material



Fuente: Autor

La siguiente herramienta será para dejar un acabado fino en cada uno de los bordes, esquinas y caras que tenga la pieza es por esto que se buscará una herramienta con un diámetro menor a la anterior y que al realizar la operación deja la pieza ya elaborada en esa parte.

Figura 45. Selección de la herramienta para acabado



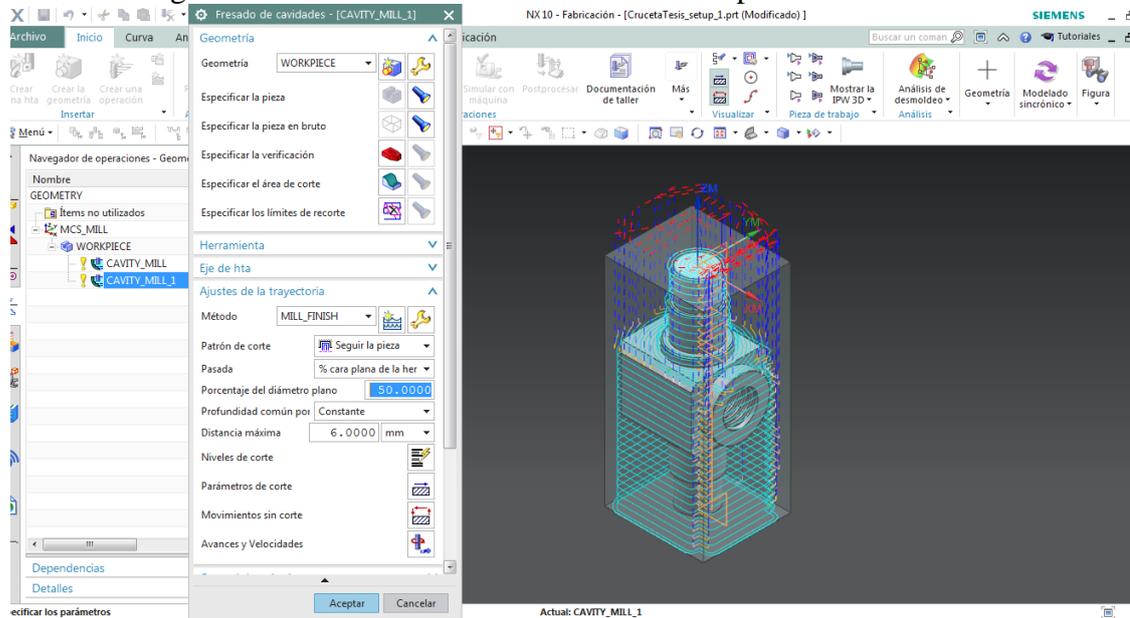
Standard Length(Order No. VE124F-Dia) Unit:mm

ORDER NO.	Dia of Mill Tol e8	Shank Dia mm	Flute Length mm	Overall Length mm	CODE NO.	ORDER NO.	Dia of Mill Tol e8	Shank Dia mm	Flute Length mm	Overall Length mm	CODE NO.
VE124-1.0	1.0	4	3	50	6007-100	VE124-6.0	6.0	6	16	50	6007-110
VE124-1.5	1.5	4	5	50	6007-101	VE124-7.0	7.0	6	20	60	6007-111
VE124-2.0	2.0	4	6	50	6007-102	VE124-8.0	8.0	8	20	60	6007-112
VE124-2.5	2.5	4	8	50	6007-103	VE124-9.0	9.0	8	22	62	6007-113
VE124-3.0	3.0	6	8	50	6007-104	VE124-10.0	10.0	10	25	72	6007-114
VE124-3.5	3.5	6	10	50	6007-105	VE124-11.0	11.0	12	26	75	6007-115
VE124-4.0	4.0	6	11	50	6007-106	VE124-12.0	12.0	12	30	75	6007-116
VE124-4.5	4.5	6	11	50	6007-107	VE124-14.0	14.0	16	32	90	6007-117
VE124-5.0	5.0	6	13	50	6007-108	VE124-16.0	16.0	16	38	100	6007-118
VE124-5.5	5.5	6	13	50	6007-109	VE124-18.0	18.0	20	38	100	6007-119
VE124-6.0	6.0	6	16	50	6007-110	VE124-20.0	20.0	20	38	100	6007-120

Fuente: Vertex Machinery Works

Ya elegida la herramienta se la ingresara y se creara una operación que de un acabado para esto utilizaremos el método de MILL_FINISH dentro de la geometría pieza de trabajo.

Figura 46. Movimiento de la herramienta en operación de acabado



Fuente: Autor

Luego de esta operación se voltará la pieza para trabajar el lado de debajo de la misma repitiendo las mismas operaciones tomando en cuenta la nueva profundidad de corte.

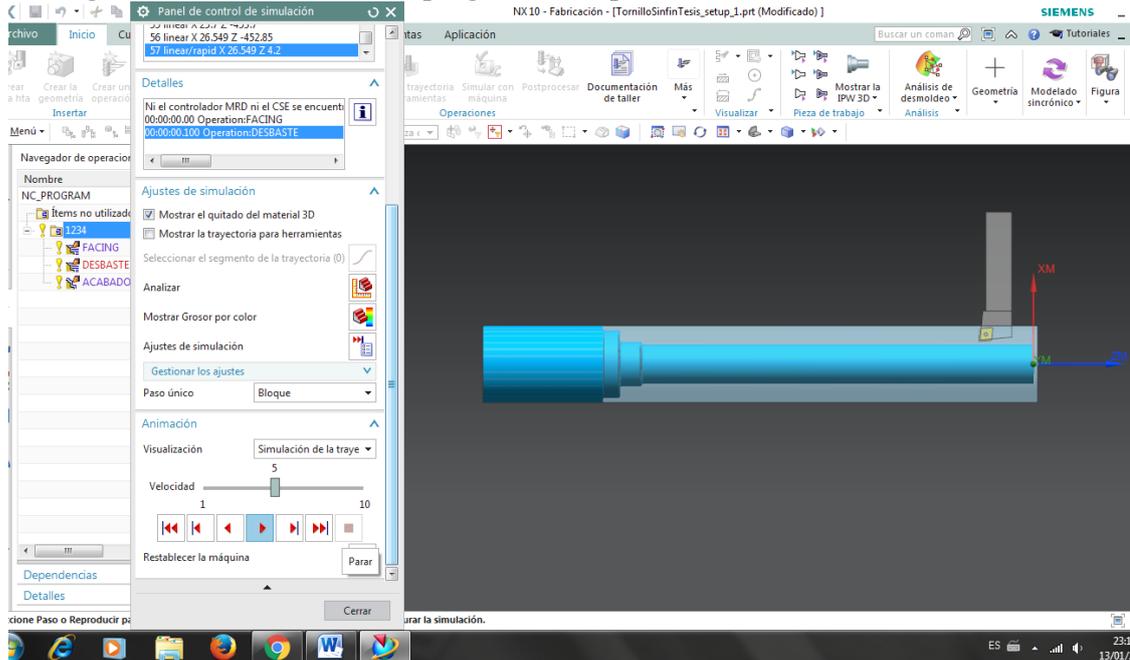
Por último se montará la pieza para el vaciado del agujero de la rosca y posteriormente la fabricación de la rosca.

3.6 Simulación

Otra de las ventajas del uso de un software CAD-CAM es que te permite visualizar el proceso de construcción de los modelos mediante una simulación. Esto con la finalidad de prever fallas o errores de cualquier índole, que pudieran haberse generado en el proceso del modelado. Con esto el usuario del software se cerciora que todo esté listo para empezar a fabricar.

En la ilustración de la figura 47 se puede observar la trayectoria de la herramienta bajo los parámetros establecidos en cada una de las operaciones generadas por el programador de la parte CAM.

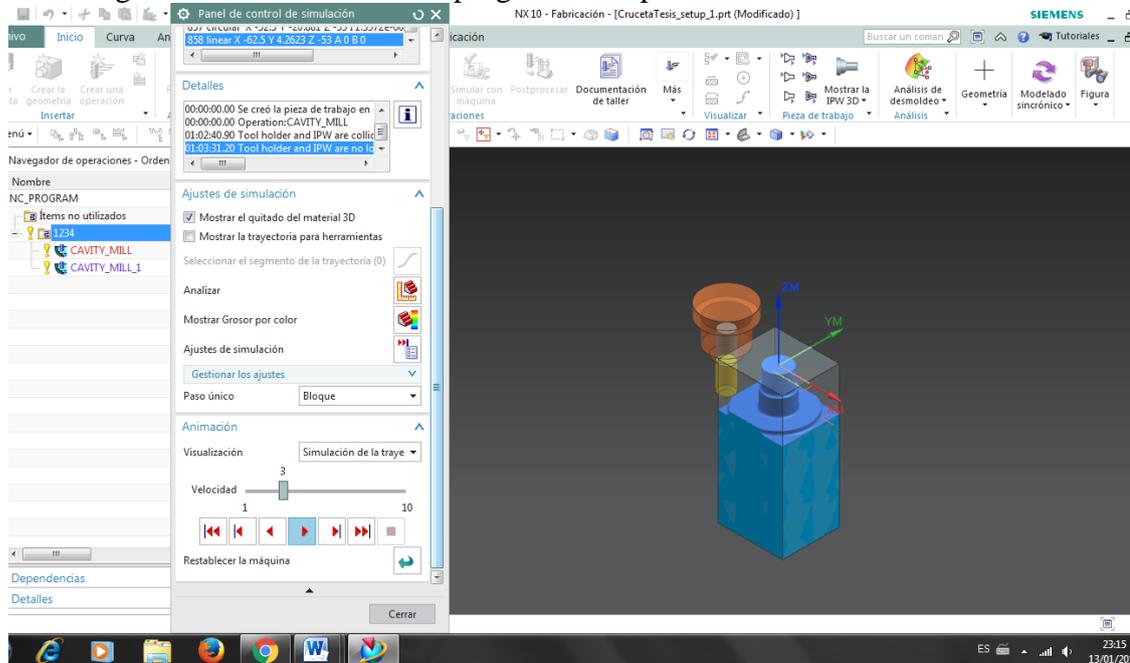
Figura 47. Simulación de la programación para la fabricación del tornillo sinfín



Fuente: Autor

En la figura 48 se muestra la trayectoria de cada herramienta ingresada en el programa, y las operaciones de desbaste y acabado que se otorgó.

Figura 48. Simulación de la programación para la fabricación de la cruceta



Fuente: Autor

La simulación del proceso constructivo de los modelos es presentada en un archivo de video para su apreciación.

3.7 Generación de códigos CNC

Una vez que se han desarrollado los modelos (parte CAD) y los programas de maquinados del tornillo sinfín y de la cruceta, se generará por medio del software el listado de códigos de acuerdo a la programación y estrategias de mecanizado que se construyó (parte CAM), estos serán enviados a la máquina de acuerdo al post-procesador especificado por los fabricantes de la máquina, en el caso del tornillo se utilizará un torno CNC que posee la Facultad de Mecánica cuyo post-procesador es un GSK980TD el cual arrojará los códigos de acuerdo a la máquina que se utilizará.

Para la construcción de la cruceta utilizaremos la máquina Bridgeport BCM800-22 la cual no posee un post-procesador pero en su manual de funcionamiento nos da un encabezado que se deberá ponerse a todos los programas que se mande a la máquina es por esto que después de generar los códigos con un post-procesador por defecto se tendrá que corregir algunos códigos y se colocará el encabezado para luego mandar los códigos a máquina el encabezado es el siguiente:

G17G40G54G71G75G90

Lo cual según el Anexo quiere decir que la máquina trabajará en el plano de coordenadas XY (G17), con compensaciones respectivas de altura (G40), tomando en cuenta el cero pieza (G54), la máquina trabajará en coordenadas absolutas (G90), todas estas coordenadas serán leídas en milímetros (G71) y a más de esto anularemos los ciclos de perforado (G75) ya que según el manual de la máquina esta no interpreta estos ciclos.

Una vez revisados los códigos se realizará la interfaz con la máquina la cual interpretará los códigos y los transformará en órdenes de trabajo para construir los modelos.

3.7.1 *Códigos CNC para la fabricación del tornillo sinfín.* La fabricación constará de dos partes cada una con su programa de códigos, al terminar la primera parte que se podrá apreciar en las hojas de proceso se procederá a desmontar la pieza para ubicarla de forma respectiva para el mecanizado de la segunda parte con la cual culminaremos el tornillo en el torno CNC.

Las siguientes líneas de códigos CNC son una parte de la fabricación del tornillo el resto de la codificación estará en el anexo C del presente proyecto. Esta parte explicara cómo se moverán los distintos ejes para realizar la operación de refrentado la cual dejara a la pieza sin excesos de material en la parte frontal.

% O0001

N0010 G18 G99 G90 G21 M42

N0020 G00 X100. Z150.

N0030 T0100

N0040 G97 S300 M03

N0050 X60. Z20.

N0060 X48.65 Z2.5

3.7.2 *Códigos CNC para la fabricación de la cruceta.* Como se podrá observar en la Hoja de Proceso en el anexo B del presente trabajo la elaboración de la cruceta constará de tres partes, por lo cual que en la máquina se cargaran tres programas en el Anexo C se muestran los programas que deberán correrse para cada proceso.

Los siguientes códigos mostraran una de las operaciones que se realizaran en todo el proceso de fabricación esta operación es la de planeado de la cara superior de la pieza la cual ayudara a dejar una superficie sin imperfecciones y uniforme en la parte superior de la pieza de trabajo, además que se podrá dar los ceros de cada herramienta en esa posición.

N1 G17 G40 G54 G71 G75 G90

N2 T1 M6

N3 G0 X-72.313 Y52.498 S2000 M3

N4 G0 Z50.

N5 Z10.

N6 G1 Z0 F800.

N7 X53.563 F1000.

N8 X68.065 Y31.499

N9 X-68.065

N10 X-74.261 Y10.5

N11 X74.261

N12 Y-10.5

N13 X-74.261

N14 X-68.065 Y-31.499

N15 X68.065

N16 X53.563 Y-52.498

N17 X-72.313

N18 G0 Z25.

N19 Y52.498

N20 Z10.

N21 G1 Z-1. F800.

N28 X-74.261

N22 X53.563 F1000.

N29 X-68.065 Y-31.499

N23 X68.065 Y31.499

N30 X68.065

N24 X-68.065

N31 X53.563 Y-52.498

N25 X-74.261 Y10.5

N32 X-72.313

N26 X74.261

N33 G0 Z25.

N27 Y-10.5

N34 Y52.498

3.8 Prueba de códigos CNC

Los códigos generados para la fabricación del tornillo sinfín no tendrán problema al momento de ser procesados por el torno CNC ya que fueron generados según su post-procesador, pero para la cruceta se generaron códigos con un post-procesador por defecto que no es el de la maquina con la que se trabajará.

Para verificar que los códigos generados y corregidos de la cruceta trabajaran bien en la maquina CNC Bridgeport VCM 800 – 22 que se encuentra en el galpón de CEDICOM en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se procederá a realizar la fabricación en un material de prueba.

Figura 49. Máquina Bridgeport VCM 800-22



Fuente: Autor

Para el material de prueba se utilizará el aluminio con sobredimensionamientos para operaciones de desbaste, este pieza en bruto se consiguió mediante un proceso de fundición en el cual se realizó el modelo respectivo con ángulos de salida para realizar

los moldes, una vez obtenido los moldes se procedió a fundir el aluminio en el galpón de fundición de la Facultad de Mecánica.

Ya obtenida la pieza en el proceso de fundición se montará en la máquina CNC para la fabricación de la cruceta, para esto se seguirán los pasos que se encuentran en la hoja de proceso del anexo B.

Figura 50. Primer montaje de la pieza en bruto



Fuente: Autor

Una vez montada la pieza se procederá a cargar el primer programa para la elaboración de la cruceta, este programa constará de dos operaciones una de planeado frontal y otra de contornos que darán forma a la pieza de trabajo.

Figura 51. Resultado de primera parte de los códigos



Fuente: Autor

Luego de haber concluido la primera parte del programa se desmontará la pieza para girarla y trabajar con el otro extremo de la misma, en este paso el operario deberá tomar las medidas de la pieza para saber cuánto deberá planear la parte superior, para luego montarla, cuadrarla y volver a cargar el mismo programa de la primera parte.

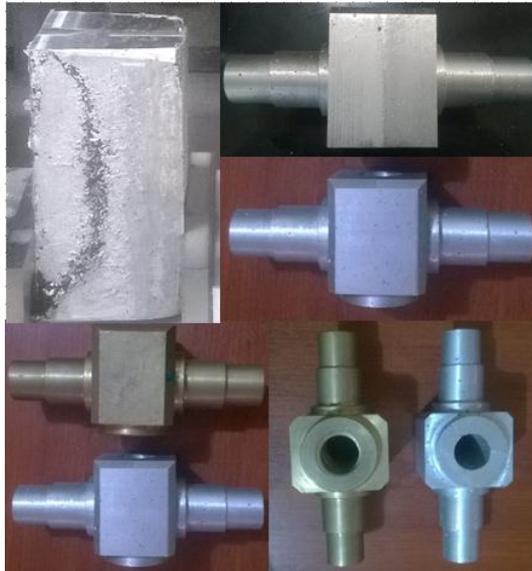
Figura 52. Segundo montaje de la pieza



Fuente: Autor

Por último se realizará el tercer montaje y se cargará el programa para la terminación de la cruceta, con lo cual se comprobó que los códigos generados en el programa están de acuerdo al procesador de la maquina ya que se llegó a los resultados de la figura 53.

Figura 53. Resultados de fabricación de la cruceta



Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE COSTOS

El análisis de costos es en referencia a valores que se cubrieron para la realización del proyecto y no para la fabricación de los modelos, debido a que el objetivo principal es realizar los modelados y no construirlos.

4.1 Costos directos

Los costos directos son aquellos costos de los recursos que se incorporan de manera directa en el producto final y también las actividades necesarias para su transformación. Los costos directos necesarios para cubrir la ejecución de esta investigación suman un total de cuatrocientos noventa y seis dólares (496 USD), y están constituidos por la materia prima, impresiones, copias, empastados y capacitaciones.

Tabla 10. Costos directos

Item	Costo [USD]
Materia prima	110
Capacitación CNC Y CAD-CAM	186
Impresiones, copias y empastados	200
Total	496

Fuente: Autor

Los costos de materia prima comprenden la adquisición del material para fabricar la cruceta de prueba en aluminio el cual fue de ciento diez dólares (110 USD), sin embargo como se fundió el bloque se toma en cuenta los costos que se dan de dicho proceso.

Para llegar al modelado de los elementos se realizó capacitaciones sobre el software y la máquina a utilizar, los costos que se dieron en este proceso ascendieron a los ciento ochenta y seis dólares (186 USD).

Otro costo directo son los costos por impresiones, copias y empastados, los cuales suman un valor de doscientos dólares (200 USD).

4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son los costos que se vinculan al periodo productivo y no al producto final como tal. Están comprendidos por costos de transporte, alimentación, servicios básicos, servicio de máquina CNC y equipos de protección personal. Sumando cada uno de estos valores tenemos un total por costos indirectos de dos mil setecientos cincuenta y dos dólares, (2 757 USD).

Tabla 11. Costos indirectos

Item	Costo [USD]
Transporte	250
Alimentación	320
Servicios básicos	252
Máquina CNC	1800
Equipos de protección personal	120
Total	2752

Fuente: Autor

Los costos por transporte consisten básicamente en la movilización entre barrios, ciudades y provincias del país, principalmente entre las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Esmeraldas y Manabí en donde se realizó la mayor parte de la investigación del trabajo. Suman un total de doscientos cincuenta dólares (250 USD).

La alimentación también se considera entre los costos indirectos siempre que esté vinculada a la tesis, el cual alcanzó un valor de trescientos veinte dólares (320 USD).

Entre los costos por servicios básicos se encuentra principalmente el servicio de internet, el cual tiene un valor mensual de veinte ocho dólares (28 USD), durante los 9 meses que duró la investigación suma un total de doscientos cincuenta y dos dólares (252 USD).

En los costos indirectos se incluyen también la adquisición de una máquina CNC para realizar la construcción de prueba de los modelos, para adquirir esta máquina se realizaron gestiones de varios compañeros para llegar al valor de la compra, por lo cual se colaboró con mil ochocientos dólares (1 800 USD) para la adquisición de la máquina y herramientas, las cuales ya se encuentran en el taller de CEDICOM de la institución.

En equipos de protección personal el costo indirecto tiene un valor de ciento veinte dólares (120 USD).

4.3 Costos totales

Los costos totales para la ejecución de esta investigación son el resultado entre los costos directos y costos indirectos, el cual alcanza un valor de dos mil setecientos cincuenta dos dólares, (2 752 USD).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Mediante el manejo del software de CAD-CAM de Siemens NX10, del cual se cuenta con una licencia para utilización con fines académicos y/o investigación, se realiza un modelo y construcción del tornillo sinfín y de la cruceta de la válvula de guarda tipo mariposa, utilizada en algunos sistemas hidráulicos, el cual tendrá una eficiencia del 66%.

La válvula de guarda consiste en una válvula tipo lenteja o de mariposa, la cual cumple la función de proteger al sistema en caso de emergencia mediante el cierre del obturador accionado por un servomotor o el movimiento manual de un volante. El movimiento es transmitido hasta el obturador mediante un sistema compuesto de un tornillo sinfín acoplado con una cruceta que hará la función de una tuerca.

Mediante el estudio cinemático del tornillo sinfín se determina que sobre él se aplica una fuerza de 39 871,36 N; el esfuerzo debido a la carga axial es 65 MPa; el esfuerzo producido por el par de torsión es de 32,5 MPa; el esfuerzo cortante para los filetes del tornillo es de 25 MPa y para la cruceta de 20 MPa; por aplastamiento el material utilizado para los dos elementos deberán soportar cargas de 3,7 MPa; el esfuerzo de flexión que deberá soportar el tornillo es de 49 MPa y en la cruceta de 41 MPa; el mayor esfuerzo que soportará el mecanismo será debido a la carga axial.

La característica principal de la válvula de mariposa es que viene acoplado un servomotor, el cual aplica un par de giro de 120 Nm sobre el tornillo sinfín para ejecutar en 60 segundos el cierre del obturador (mariposa). Adicional a esto la válvula cuenta con un volante para ser accionada manualmente en caso de falla.

La estrategia de mecanizado será de total responsabilidad del programador de la fabricación del modelo, el será quien tomara las decisiones de un mejor de cómo será mecanizada la pieza.

5.2 Recomendaciones

En la actualidad existen varios software CAD-CAM que permiten realizar el modelado de cualquier elemento de máquina que se requiera. Nosotros recomendamos la utilización del NX porque tiene un grado de confiabilidad muy alto, sobre todo para quienes están comenzando a involucrarse en el uso de máquinas CNC.

El software de Siemens NX10 permite corregir y cambiar variables ingresadas de manera rápida sin ningún daño o perjuicio. Sin embargo a la hora de construir por primera vez recomendamos no hacerlo directamente en el material de las piezas, sino utilizar otro material de prueba, que sea más económico y fácil de conseguir. Esto como medida de precaución por si cometimos algún error en la programación y que se nos haya pasado por alto, no se vea perjudicado el material de las piezas.

Al momento de utilizar las maquinas CNC se recomienda tomar medidas de seguridad como es el equipo de protección personal: mandil, guantes, botas de seguridad y gafas que ayudaran al operario a no sufrir accidentes por falta de equipamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AMSTEAD, B.H., OSTWALD, Phillip F. y BEGEMAN, Myron L.** Procesos de manufactura. *Procesos de manufactura*. México, D.F. : CIA. EDITORIAL CONTINENTAL, S.A. DE C.V., 1984.
- BAWA, H.S.** Procesos de manufactura. *Procesos de manufactura*. México, D.F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.
- BUDYNAS, R. y NISBETT, K.** *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. México : McGraw-Hill, 2008.
- Canal de Isabel II Gestión.** *Especificación Técnica de Elementos de Maniobra y Control*. 2013.
- CREUS, Antonio.** *Instrumentación Industrial*. México D.F. : Alfaomega Grupo Editor, 2005.
- DOBROVOSLKI.** *Elementos de Máquinas*. Moscú : MIR, 1970.
- FAIRES, V. M.** *Diseño de Elementos de Máquinas*. México : Limusa, 1995.
- GROOVER, Mikell P. 2007.** Fundamentos de manufactura moderna. *Fundamentos de manufactura moderna*. México, D.F. : McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2007.
- KALPAKJIAN, Serope y SCHIMD, Steven.** Manufactura, ingeniería y tecnología. [aut. libro] Serope KALPAKJING y Steven SCHIMD. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México DF : Luis Miguel Cruz Castillo, 2008.
- KRAR, Steve f. Check, Albert F.** *Tecnología de las Máquinas Herramientas*. México : MARCOMBO S.A., 2002.
- LAMBERT, T. H.** *Effects of Variations in the Screw Thread Coefficient of Friction on Clamping Forces of Bolted Connections*. 1962.
- LEHNHOFF, T. F., KO, K. I., MCKAY, M. L..** *Member Stiffness and Contact Pressure Distribution of Bolted Joints*. 1994.
- MANEY, G. A..** *Predicting Bolt Tension. Fasteners Data Book*.
- NORTON, Robert L.** *Diseño de Máquinas*. México : Ed. Prentice-Hall (Pearson), 1999.
- RODRIGUEZ, Hugo.** *Modelos Matemáticos*. Madrid : Limusa, 2005.
- SHIGLEY, J. y MISCHKE, C.** *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México : McGRAW-HILL, 1991.
- VIEJO, Zubicaray Manuel y ALVAREZ, Fernández Javier.** *Bombas: teoría, diseño y aplicaciones*. Mexico : Mexico Limusa, 2009.

AISC. *Steel Construction*. s.l. : 6a. edition.

Wikipedia. 2013. Aparatos Eléctricos. [En línea] 2013. [Citado el: 04 de Enero de 2013.] https://es.wikipedia.org/wiki/Aparato_el%C3%A9ctrico.

WILEMAN, J., CHOUDHURY, M. y GREEN, I. *Computation of Member Stiffness in Bolted Connections*. 1992.

