



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL TICOMÁN

**“Diseño del proceso de mecanizado de componentes de
uso aeronáutico”**

T E S I S A
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL EN INGENIERÍA AERONAÚTICA

P R E S E N T A
ARELY SÁNCHEZ TEJADA

A S E S O R E S
M. EN C. ARMANDO OROPEZA OSORNIO
M. EN C. SAJJAD KESHTKAR



MÉXICO D.F. FEBRERO 2013

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD TICOMÁN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO EN AERONÁUTICA
POR LA OPCIÓN DE TITULACIÓN: SEMINARIO
DEBERÁ PRESENTAR: LA C. PASANTE:
SÁNCHEZ TEJADA ARELY

“DISEÑO DEL PROCESO DE MECANIZADO DE COMPONENTES DE USO AERONÁUTICO”

	INTRODUCCIÓN
	OBJETIVOS
	JUSTIFICACIÓN
CAPÍTULO I	ESTADO DEL ARTE
CAPÍTULO II	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO III	DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN Y HERRAMIENTA DE CORTE
	CONCLUSIÓN
	BIBLIOGRAFÍA

México, DF., a 13 de marzo de 2013.

A S E S O R E S


M. EN C. ARMANDO OROPEZA OSORNIO


M. EN C. SAJJAD KESHTKAR

Vo. Bo.


ING. JOSÉ JAVIER ROCH SOTO
DIRECTOR

Agradecimientos

A mis padres quienes me han visto y guiado con el corazón, a mis hermanos que han sido mi fortaleza, a Alejandra Miranda Munguía y Omar Mendoza Álvarez quienes no me olvidan, a Alejandro García Ramírez quien ha estado más que nadie a mi lado estos últimos 5 años

A mi asesores Armando Oropeza Osornio y a Sajjad Keshtkar que me han brindado su apoyo incondicional en la realización de este trabajo.

A los buenos maestros de ESIME Ticomán quienes compartieron su conocimiento y experiencia.

Contenido	página
Contenido	ii
Resumen/Abstract	v
Introducción	vi
Objetivos	x
General	
Particulares	
Justificación	xi
Alcance	xii
Capítulo I Estado del Arte	
1,1 Evolución de máquinas-herramienta	2
1.2 Materiales para herramientas de corte	9
Capítulo II Marco Teórico	
2.1 Consideraciones previas a la manufactura	12
2.1.1 Dimensionado del modelo	12
2.1.2 Control de Manufactura	12
2.1.3 Material para su manufactura.	12

2.2 Propiedades de los materiales	13
2.2.1 Integridad de las superficies	14
2.2.2 Efecto de los procesos de manufactura	16
2.2.2.1 Tolerancias y procesos de manufactura	16
2.2.3 Relación esfuerzo-deformación	16
2.3 Proceso de mecanizado	16
2.3.1 Consideraciones para el mecanizado	17
2.4 Normal de referencia	18
2.5 Centro de Mecanizado	20
2.5.1 Estabilidad	
2.5.2 Potencia y par	
2.6 Economía de fabricación	21
2.6.1 Incremento de datos de corte	21
2.7 Titanio en el proceso de mecanizado	22
2.7.1 Designaciones del Titanio	23
2.7.2 Proceso de planeación	25
2.7.3 Maquinabilidad	25
2.7.3.1 Consideraciones de maquinado	26

Capítulo III Diseño del sistema de sujeción y herramienta de corte

3.1 Diseño de dispositivo de sujeción	29
3.2 Propósito de dispositivos de sujeción	29
3.3 Material a maquinar	30
3.4 Diseño del dispositivo de sujeción	31
3.5 Cálculos de error permisible de la sujeción	34
3.6 Cálculo de precisión	39
3.7 Cálculo de esfuerzo para asegurar la pieza en la operación	44
3.8 Cálculo de la herramienta de corte	45
3.9 Formación del diente del cortador	50
3.11 Diseño de la herramienta de corte	53
3.12 Conclusión	54

Anexos

Bibliografía

Resumen

Palabras clave: Titanio, herramienta de corte, sistema de sujeción, tolerancias.

Las aleaciones de Titanio están clasificadas en tres clases. El Titanio establece exigencias complejas de mecanizado, debido a las propiedades mecánicas, características metalúrgicas que afectan a la hora de maquinado de manera más fuerte que otros metales tales como Acero fundido y Acero inoxidable. Para la manufactura de partes aeronáuticas se considera aspectos importantes por ejemplo herramientas de corte, tolerancias de manufactura, etapas en el maquinado, técnicas de maquinado y normas de calidad.

En este trabajo se lleva a cabo el desarrollo del sistema de sujeción, herramienta de corte en la fase de operación de dentado y así como la propuesta del proceso de mecanizado de una flecha de una bomba hidráulica de un motor de aviación el respectivo cálculo de tolerancias de manufactura y ajuste del dispositivo.

Abstract

Key words: *Titanium, cutting tool, restrain system, manufacturing tolerances.*

Titanium alloys fall into three classes. Titanium sets complex machining demands, due to its mechanical proprieties and metallurgical characteristics that affect the cutting more severely than other metals such as cast iron and stainless. To manufacturing aircraft parts are considered aspects important for instance cutting tools, manufacturing tolerances, stages machining, machining techniques and quality standards.

The purpose of this work is design a restrain system, a cutting tool for the manufacturing shaft gear of a hydraulic fuel pump in an aircraft engine, as well as its process machining proposal, estimate manufacturing tolerances and besides fitting.

Introducción

El desarrollo continuo en la aeronáutica ha traído consigo resultados para la ciencia y tecnología en diseños de nuevos y modernos motores de aviación, con calidad y servicio para satisfacer altas demandas. Es muy importante que el diseño del motor tenga la capacidad de ser apropiado para que tan pronto sea posible entre a producción.

El mejorar el diseño de motores de avión, está destinado a aumentar la vida de servicio, así como la eficiencia de otros parámetros (ahorro de combustible, seguridad, etc.), lo que ha impactado significativamente la tecnología de fabricación de piezas.

Los motores de las aeronaves requieren maquinaria de precisión media y sus principales características son:

- Medianas dimensiones de los productos.
- Piezas de alta precisión y productos en general.
- Complejidad de la forma y delgadez de sus partes.
- Aumento de costo por sus difíciles detalles.
- Amplia variedad de tratamientos utilizados.
- Elaboración de documentación técnica, buen control de calidad y tener fiabilidad absoluta en los productos.
- Cambios relativamente frecuentes en las instalaciones de producción.

En tan amplia gama de aplicaciones son muy diferentes los procesos, la manipulación, la unión de materiales, tratamiento térmico, corte, soldadura, pintura, etc.

Debido a las mejoras continuas de los diseños, la creciente demanda de calidad y fiabilidad de los motores de las aeronaves, se ha intensificado la producción con el uso de las nuevas tecnologías, medios de automatización y la mecanización. En la producción de motores utilizan un conjunto diferente de TP (etapa de proceso) proporcional a la fabricación de las piezas, montaje, pruebas y envasado de productos. Entre todos los tipos de TP el más complejo y que requiere mucho tiempo es el mecanizado mecánico TA (grupo de operaciones homogéneas realizadas consecutivamente).

La ejecución de la secuencia de etapas con el principio general de que el material en bruto sea más preciso, resulta debido a la separación de cada tratamiento superficial en varias operaciones y la separación de todo el proceso en etapas, la superficie lleva la forma y tamaño final de las operaciones posteriores y que están previstas para la siguiente operación.

El procesar una superficie en varias operaciones debe de contemplar lo siguiente:

- Proporcionar información necesaria sobre la precisión requerida.
- Tener más características de distintos tipos de equipos y de los métodos de tratamiento diferentes.

Por lo tanto, el principal factor que obligó a dividir el proceso de maquinado en operaciones es el cubrir con los requerimientos de piezas de precisión de mecanizado. La mayoría de los componentes del motor tienen formas complejas, rigidez estructural y con materiales duros. La precisión de la geometría y la calidad de la superficie de estas partes son de altas exigencias. Todo esto lleva a que la TA tenga multi-etapas de fabricación y casi cada operación requiere un equipo tecnológico adecuado. El equipamiento tecnológico juega un papel importante en la intensificación de la producción de manufactura de partes, por lo que el diseño, la fabricación y el funcionamiento debe de ser el correcto para la operación, así como la herramienta que se utilizara y los datos de corte, los accesorios de máquinas-herramienta de medición, equipo de prueba también juegan también un papel importante, lo que lleva a que el 60% de la complejidad de la fabricación de un componente recaer en el equipo utilizado. La complejidad de fabricación de TP de las piezas de motor determina el uso de un gran número de accesorios de diseños diferentes.

Todos los dispositivos se clasifican según el grado de especialización, el número de piezas instaladas, el nivel de mecanización, la automatización, y por el tipo de máquinas. Según el grado de especialización de los dispositivos se dividen en estándar o universal, especializado y especial.

Objetivos

General

Realizar la propuesta del proceso de mecanizado del dentado de una flecha de Titanio de una bomba hidráulica de un motor de aviación así como también diseñar el dispositivo de sujeción y la herramienta especial para la operación del mecanizado.

Particulares

- E Establecer los factores que intervienen en el maquinado del Titanio.
- E Dar a conocer los beneficios de un mecanizado productivo.
- E Hacer la propuesta del proceso de mecanizado de una operación específica.
- E Diseñar un dispositivo de sujeción de la pieza para la operación.
- E Diseñar una herramienta especial para la operación misma.

Justificación

El mecanizado de componentes aeronáuticos es de los más complejos de la industria metal-mecánica debido a los requerimientos de fabricación que se exigen así como la complejidad del maquinado de los materiales usados, el proceso de mecanizado debe de ser pensado desde el diseño del componente, ya que algunos parámetros y/o dimensiones que no son críticos podrían variar para adaptarse en lo posible a lo estándar y si no se toma en cuenta se puede incrementar el costo final en su producción, por ejemplo es menos costoso producir una rosca con medidas estándar, por lo tanto un diseñador debe de conocer las opciones de maquinado que favorecerán la producción del componente

La realización de este estudio dará a conocer los factores directos e indirectos que intervienen en el mecanizado de componentes de Titanio de tal forma que este trabajo sea de utilidad para todas aquellas personas que intervienen de alguna forma en el diseño, producción y manufactura de componentes aeronáuticos y/o otras piezas de la industria metal-mecánica, así como también a académicos que deseen conocer las necesidades de la industria aeronáutica.

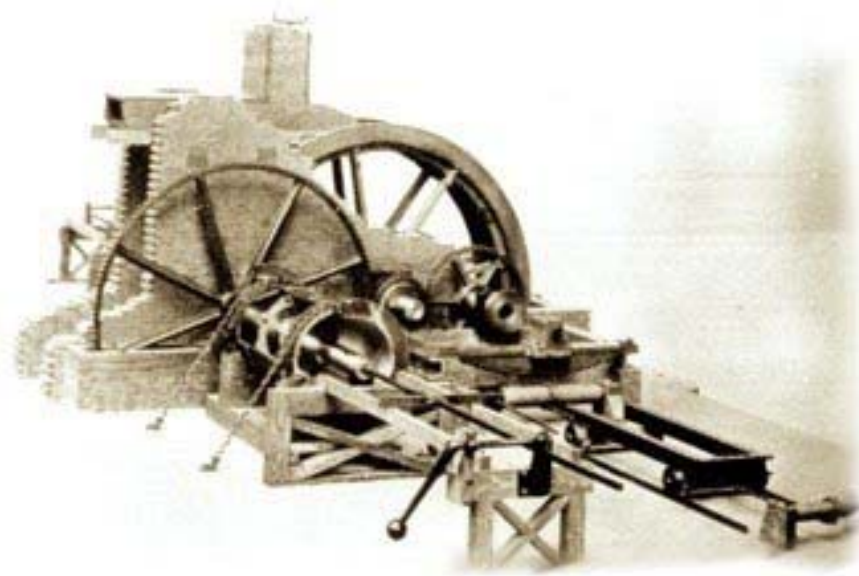
Alcance

Se pretende diseñar el dispositivo de sujeción, la herramienta de corte y proponer el proceso de mecanizado de una flecha de Titanio.

En la operación en la sección de engranaje, se requiere el diseño del sistema de sujeción y la herramienta de corte que cubra las necesidades para el mecanizado de Titanio, lo que lo vuelve una fase de alta complejidad y especial. Siendo un proceso no estandarizado.

CAPÍTULO I

Estado del arte



Este capítulo hace referencia al desarrollo tecnológico de las máquinas-herramienta, desde sus orígenes hasta hoy en día. Las herramientas de corte han evolucionado a la par de las máquinas y de esta evolución se habla en este capítulo.

Además de una breve historia del origen del Titanio y algunas de sus aplicaciones en la aeronáutica.

1.1 Máquina-herramienta

La evolución tecnológica de la máquina-herramienta se ha basado en el conjunto herramienta-máquina.



Prensa de balancín de Nicolás Briot (1626), diseñada por Leonardo da Vinci, y que supuso la puesta en marcha generalizada de la acuñación de moneda

Figura 1.1 Prensa de balancín.

Aparecieron dos esbozos de máquinas para realizar operaciones de torneado y taladrado y se necesitó crear un movimiento de rotación así nació el llamado “arco de violín”. Hacia 1250 nació el torno de pedal que permitió tener las manos libres para el manejo de la herramienta.



Grabado de torno accionado por arco (1435), principio de funcionamiento todavía en uso en algunos países

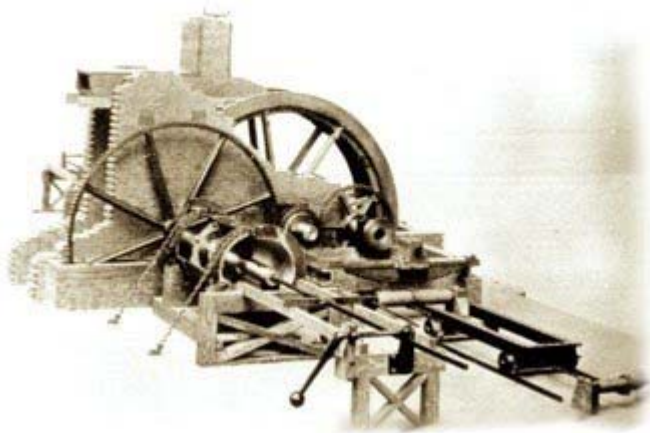
Figura 1.2 Grabado en torno.

A principios del siglo XVI Leonardo da Vinci había diseñado las tres principales máquinas para el acuñado de monedas: la laminadora, la recortadora y la prensa de balancín que dieron la pauta para desarrollos posteriores.

Después de varios siglos, nació el torno de giro continuo llamado de pedal y rueda.

Con el tiempo se introdujeron elementos de fundición, tales como la rueda, los soportes del eje principal, contrapunto, apoyo de la herramienta y, hacia 1568, el mandril.

Hasta 1796 a 1812 se desarrollaron prensas hidráulicas para el acuñado de moneda en Francia y es a partir de 1840 cuando Cavé inicia la fabricación de prensas hidráulicas de elevadas presiones.



Mandrinadora de J. Wilkinson accionada por rueda hidráulica, fabricada en 1775 por encargo de James Watt. Se consiguió una precisión "del espesor de una moneda de seis peniques en un diámetro de 72 pulgadas" (ScienceMuseum, Londres).

Figura 1.3 Mandrinadora de Wilkinson.

Taladro de sobremesa totalmente metálico, con giro de eje porta brocas accionado a mano o por transmisión fabricado por Nasmyth en 1938 (ScienceMuseum, Londres).

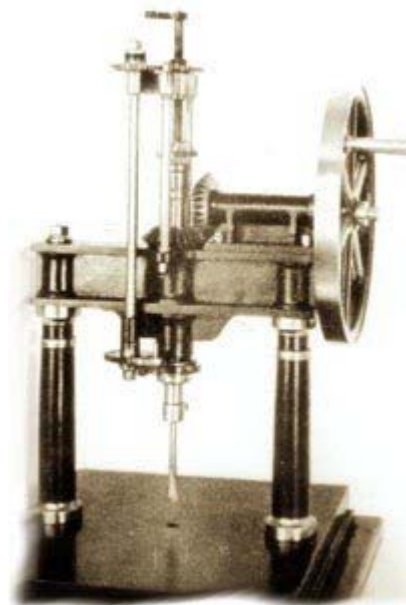
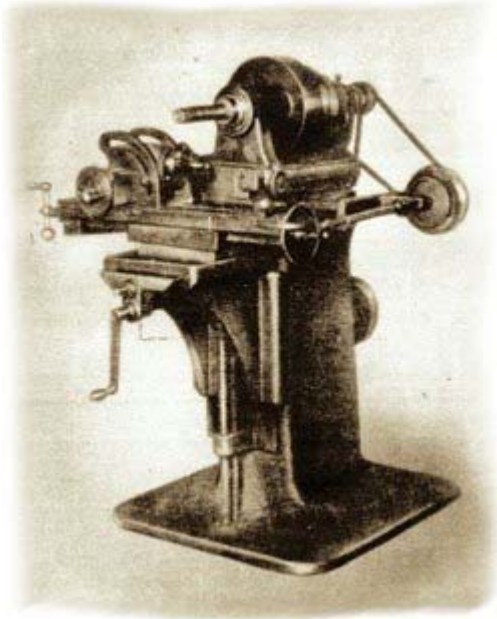


Figura 1.4 Taladro de sobremesa.

En 1800, Mudsley construyó entre otras máquinas diversas el primer torno realizado enteramente de metal para roscar tornillos.

El desarrollo industrial del siglo XIX fue posible gracias al diseño y fabricación de diversos tipos de máquinas y procesos de trabajo, la máquina-herramienta es el único medio existente con el que se pueden fabricar otras máquinas-herramienta y, en general, también el único medio para fabricar cualquier otra máquina o elemento construido con materiales metálicos.



Primera fresadora universal, fabricada por Joseph R. Brown en 1862. Estaba equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan

Figura 1.5 Primera fresadora.

Las primeras operaciones de fresado antes se realizaron en tornos accionados por pedal. El americano Ely Whitney diseñó y construyó en 1818 la primera máquina de fresar. Marcó una nueva era (1797). Su influencia en las máquinas-herramienta británicas perduró durante gran parte del siglo XIX a través de sus discípulos.

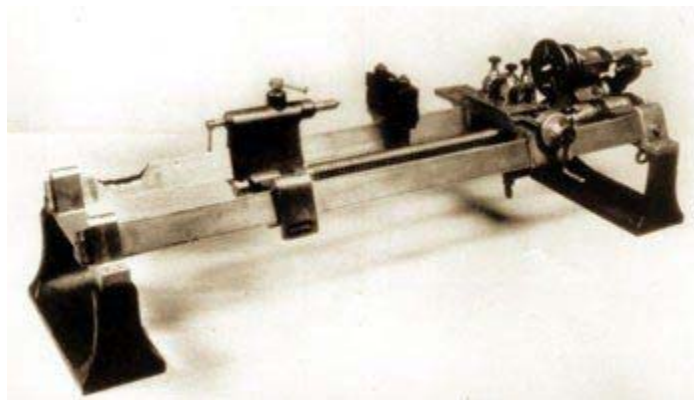
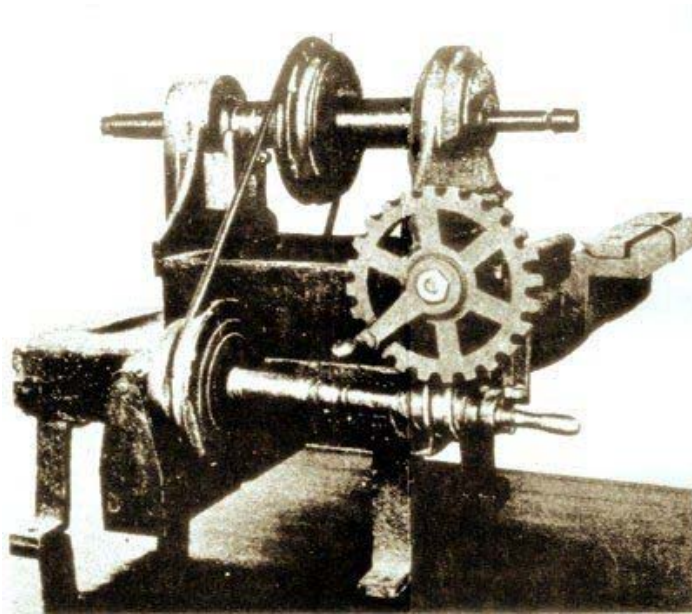


Figura 1.6 Torno para cilindrar de Maudsley.

En 1862, J. R. Brown construyó la primera fresadora universal equipada con divisor, consola con desplazamiento vertical, curso transversal y avance automático de la mesa longitudinal con la aplicación de la transmisión Cardan y en 1884 por Cincinnati, se incorpora por vez primera un carnero cilíndrico desplazable axialmente, se alcanza el máximo desarrollo de este tipo de máquinas. P. Huré construida en 1894, incorporaba un ingenioso cabezal con el cual, mediante previo movimiento giratorio, podía trabajar en horizontal, vertical y otras posiciones. Todo esto tuvo influencia en la construcción de los actuales centros de fresado de CNC.



Consola de Whitney, construida en 1818 para fabricar gran cantidad de fusiles en serie durante la guerra de la independencia americana. Destacaba un eje sinfín que se podía embragar y desembragar sobre una corona dentada alojada en el husillo del carro.

Figura 1.7 Consola de Whitney.

Hacia 1854 se incorporaron torretas revolver a tornos convencionales. En 1870 se desarrollaron tornos automáticos para dar solución a la producción en grandes series de pequeñas piezas de revolución. El primer torno fue diseñado por Spencer y fabricado por "Hartford Machine Screw". "Pratt&Whitney" construye el primer torno automático con cargador de piezas en 1898 y el mismo año "TheNationalAcme", el primer torno multihusillo.

A partir de 1865 las prestaciones de las máquinas aumentan al equiparse con nuevas herramientas fabricadas con acero aleado, descubierto por Robert Mushet. Esto permite doblar la capacidad de mecanizado en relación con las herramientas de acero al carbono al crisol conocidas hasta entonces.

El desarrollo del rectificado de producción con herramientas abrasivas se inicia hasta finales del siglo XIX gracias a la exigencia de la industria del automóvil.

El descubrimiento del Carburo de Silicio en 1891 por Edward Goodrich Acheson permitió disponer de una potente herramienta para desarrollar grandes velocidades de corte, propiciando la construcción de máquinas más potentes y precisas para dar respuesta a las nuevas exigencias de calidad.

A partir de 1898, con el descubrimiento del acero rápido por parte de Taylor y White, se fabrican nuevas herramientas con las que se triplica la velocidad periférica de corte, aumentando la capacidad de desprendimiento de viruta, del orden de siete veces, utilizando máquinas adaptadas a las nuevas circunstancias.

Con la fresadora universal construida en 1884 por Cincinnati, a la que se incorpora por vez primera un carnero cilíndrico desplazable axialmente, se alcanza el máximo desarrollo de este tipo de máquinas

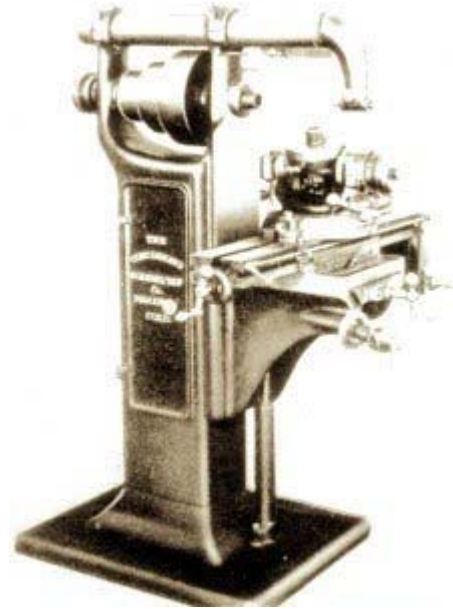


Figura 1.8 Fresadora universal.

A principios del siglo XIX progresivamente en la máquina-herramienta se implementan de corriente continua y alterna.

Henry Ford fabrica en 1911 instala el primer transportador en cadena en Highland Park, iniciando la producción en masa. Se perfeccionan una gran cantidad de máquinas-herramienta adaptadas a las características exigidas por la industria del automóvil.

A finales del siglo XIX las máquinas evolucionaron, contribuyendo rentablemente al extraordinario incremento de productividad logrado por la industria en general y en especial por la automovilística y aeronáutica.

La empresa alemana Krupp presenta en la feria de Leipzig en 1927 del Carburo cementado metal duro. Por otro lado se registra la automatización de diversos movimientos mediante la aplicación de motores eléctricos, sistemas hidráulicos, neumáticos y eléctricos.

A partir del año 1945 las fábricas de automóviles utilizan de manera generalizada máquinas transfer, compuestas de unidades autónomas, en el mecanizado de bloques y culatas.

En 1943 el matrimonio de científicos rusos Lazarenko, pone en marcha los primeros dispositivos que permitieron el mecanizado por electroerosión. Hacia 1950 aparecieron las primeras máquinas y en 1955 aparecen en Estados Unidos las primeras máquinas de electroerosión para realizar mecanizados por penetración. Muchos años más tarde, apoyándose en el control numérico, se desarrolla la electroerosión por hilo.

En 1948, John Parson inicia la aplicación del control numérico a la máquina-herramienta, con el objeto de resolver el problema del fresado de superficies complejas tridimensionales para la aeronáutica.

Fue a partir de los años setenta, con el desarrollo de la microelectrónica, el control numérico pasó a ser control numérico por computadora (CNC). Pero definitivamente fue durante los años ochenta cuando se generaliza el uso del CNC, debido al desarrollo de la electrónica y la informática, provocando una revolución dentro de la cual todavía crece.

Nace el centro de mecanizado una máquina-herramienta capaz de fresar, taladrar, roscar, mandrinar, etc., que incluye un almacén de herramientas y un sistema de cambio automático de las mismas, de forma que el control numérico ordena las posiciones y trayectorias de las piezas y herramientas, velocidades de avance, giro de herramientas y selección de las mismas.

Ante una economía sustentada en los principios de la mecánica, esto es, en la producción en masa, en el carácter uniforme de los productos, etc. a una economía que se caracteriza por la flexibilidad, la rápida reacción a la evolución de los mercados, la adaptabilidad de los productos, etc. Para ello se han integrado tecnologías basadas en la mecánica y la electrónica - mecatrónica - lo que ha supuesto entrar en una nueva cultura industrial condicionada por un enfoque global y pluridisciplinario de los problemas de producción.



Figura 1.9 Seyanka.

Seyanka, muestra de la tecnología más avanzada en la actualidad. Se trata de una arquitectura de cinemática paralela de tipo hexápodo, desarrollada por la Fundación Tekniker. Todavía falta algún tiempo para que se generalice. En el futuro, tal vez, este tipo de máquinas sean consideradas historia.

A pesar del alto grado de automatización y teniendo varios avances tecnológicos como lo son aparatos de medición automática, sensores para detectar averías, vibraciones, desgaste o rotura de herramientas, etc. Los usuarios exigen mayor disponibilidad de máquinas y sistemas debido a la insuficiente productividad ya que en la mayoría de los casos, cuando se inicia el proceso de mecanizado de piezas en una máquina solamente el 40% del tiempo total disponible están siendo mecanizadas, y el 60% restante se consume en cambio de utillaje, carga y descarga de pieza, posicionado, averías, rotura y afilado de herramientas, etc.

Hay que destacar positivamente el desarrollo de máquinas-herramienta de estructuras paralelas tipo hexápodos, especialidad en la que el Centro Tecnológico Tekniker ha adquirido buena experiencia durante los últimos años. Tienen la ventaja de ser muy simples en su arquitectura, pero todavía no sirven para grandes potencias, siendo su programación compleja.

En el aspecto mecánico se ha evolucionado menos, aunque cabe destacar el “fresado de alta velocidad” lo que disminuye el rozamiento considerablemente al no existir ningún apoyo físico entre rotor y estator.

Durante los últimos veinte años se ha producido un desarrollo muy positivo en la fabricación de herramientas. El diseño de plaquitas diseñadas con nuevas formas geométricas, adaptadas a las características del material y su proceso de mecanizado, ha mejorado notablemente el rendimiento de las herramientas de corte. Complementariamente, la técnica de recubrimiento en fabricación de herramientas de metal duro, recubiertas de una fina capa de nitruro o carbonitruro de Titanio mediante el procedimiento de deposiciones químicas de vapor (CVD) ha contribuido de forma muy importante al incremento de la producción de las modernas máquinas de CNC. Con los mismos resultados positivos, un proceso de recubrimiento complementario al anterior, que se realiza mediante deposición física por vapor (PVD), se utiliza principalmente para el recubrimiento del acero rápido.

El CBN, Nitruro de Boro cúbico, (CubicBoronNitride) tiene múltiples usos en el mecanizado, destacando inicialmente su utilización en la industria del automóvil, el rectificado de alta producción, el rectificado de corte pleno y el rectificado sin centros. El descubrimiento básico de este material por parte R.H. Wentorf de General Electric se remonta a 1957.

Hay que destacar que, con la aparición del PCBN (PolycrystallineCubicBoronNitride), se fabrican nuevos tipos de herramientas para diversas aplicaciones: fresado, torneado, etc. Este material permite someter a la herramienta a mayores esfuerzos (por ejemplo corte interrumpido y materiales muy duros), pudiendo alcanzar altas velocidades en el mecanizado y/o mayores capacidades de arranque de material. Gracias al CBN y al PCBN, actualmente se investigan nuevos procesos de mecanizado que además aseguren una especial atención al medio ambiente. Hoy se puede hablar del mecanizado ecológico.

1.2 Materiales para herramientas de corte

En 1800, Inglaterra encabeza la Revolución Industrial, el hierro era el material más importante de esta revolución. Las mejores herramientas de corte para hierro se hacían de fundición de acero por el proceso de crisol, inventado alrededor de 1740. La fundición de acero, cuyo contenido de carbono se sitúa entre el hierro forjado y la fundición de hierro, pudo ser endurecida con tratamiento térmico para maquinarse otros metales.

En 1868, R Mushet descubrió una aleación de Tungsteno, cercana al 7%, en un crisol de acero y con tratamiento térmico con un rápido enfriamiento con aire, se obtenía un acero herramienta endurecido.

F.W. Taylor alrededor de 1890 en Pennsylvania, inicio una serie de experimentos que arrojaron conocimientos más amplios de los procedimientos de corte de metales. Entre los desarrollos que resultaron de los trabajos de Taylor están los aceros de alta velocidad, una clase de aceros de herramienta de alta aleación que permitieron velocidades casi cuatro veces más altas que las de las herramientas de corte anteriores, así como también refinó los tratamientos térmicos.

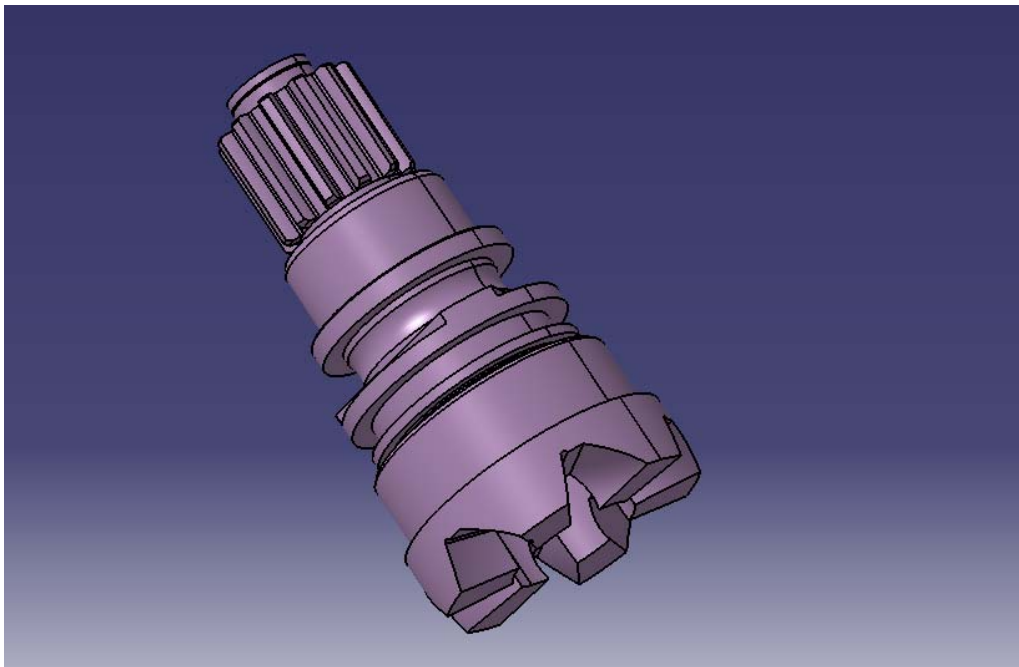
El Carburo de Tungsteno se sintetizó por primera vez alrededor de 1890. Pasaron casi tres décadas para que se desarrollara un material que fuera útil como herramienta de corte, sinterizando el Carburo de Tungsteno con un aglutinante metálico para formar los carburos cementados, estos se usaron por primera vez en el corte de metales de mediados de los años veinte en Alemania y a finales de la misma década en Estados Unidos.

Las herramientas de corte de Cermet basadas en Carburo de Titanio se introdujeron por primera vez en los años cincuenta, pero su importancia comercial data de los años setenta. El primer carburo recubierto que consistía en un Sulfato de WC-Co se usó por primera vez alrededor de 1970. Los materiales recubiertos incluyen TiC, TiN y Al_2O_3 . Los modernos carburos recubiertos tienen tres o más recubrimientos de esto y otros materiales duros. El uso comercial de herramientas cerámicas de corte en Estados Unidos se remonta a mediados de la década de los cincuenta.

Los primeros diamantes industriales fueron en 1954. Eran cristales sencillos de diamante y se aplicaron con cierto éxito en operaciones de esmerilado iniciadas hacia 1957. Se ha registrado una mayor aceptación de las herramientas de corte de diamante con el uso de diamante Policristalino sinterizado (DPS) que data de los primeros años de la década de los setenta. Un material similar para herramientas, el Nitruro de Boro Cúbico, se introdujo en 1969.

CAPÍTULO II

Marco teórico



Este capítulo contiene los conceptos y teoría considerados para el maquinado de componentes de Titanio.

2.1 Consideraciones previas a la manufactura

La manufactura del producto, conlleva a un conjunto de procesos en la etapa de maquinado; en el que intervienen condiciones de operación, habilidades del operador, maquinaria, herramienta, condiciones de corte (velocidad, avance, profundidad) que determina la relación calidad-precio en producción.

2.1.1 Dimensionado del modelo

Para la mayoría de las superficies de las piezas es posible combinar el diseño con la base de montaje. Esto significa que en la mayoría de casos el principio de los datos base se combina para el funcionamiento.

2.1.2 Control de Manufactura

Para controlar el tamaño y parámetros de la superficie de la pieza, se utilizan herramientas estándar de medición que son de diseño bastante sencillo y alta precisión. Las especificaciones de superficies de precisión da pauta al uso de calibradores, micrómetros, transportador, etc.

2.1.3 Material para su manufactura.

Para la fabricación de partes de unidades aéreas se utilizan diferentes tipos de materiales en bruto como laminación, forja y fundición.

La preparación de la pieza, es dar la forma del material lo más cercano a la forma de la pieza final. Sin embargo, las especificaciones que necesita la pieza impide este método para conseguir la pieza desde bruto.

Existen diferentes tipos de procesos de fundición de metales por los cuales se fabrican diferentes componentes como monobloques para motores, cigüeñales, tapacubos, herramientas eléctricas, álabes para turbinas, plomería, dientes para cremalleras, matrices y moldes, engranes, ruedas de ferrocarril, propulsores, equipo de oficina, estatuas y cajas. También existen procesos alternativos de forjado, metalurgia de polvos, maquinados y fabricación. El uso de moldes permanentes como de Acero, Latón, Grafito o aleaciones metálicas refractarias, producen fundiciones con buen acabado superficial, tolerancias dimensionales cerradas, propiedades mecánicas buenas y uniformes, y grandes capacidades de producción. Aunque los costos del equipo pueden ser elevados debido al alto precio de las matrices, los costos de mano obra se mantienen bajos automatizando el proceso. La fundición de molde permanente no es económica para pequeños lotes de producción ni para formas intrincadas, por la dificultad de retirar la fundición del molde.

2.2 Propiedades de los materiales

Las propiedades mecánicas son importantes en el diseño, porque el funcionamiento y desempeño de los productos depende de esas propiedades. Estas propiedades incluyen el módulo de elasticidad, ductilidad, dureza y varias medidas de resistencia.

En el diseño de un componente, el objetivo primordial en el material es soportar los esfuerzos a los que encontrarán durante su operación.

En el proceso de manufactura el objetivo diametralmente opuesto; es necesario aplicar esfuerzos que excedan la resistencia a la fluencia del material a fin de alterar su forma, sin alterar las propiedades mecánicas.

En los procesos mecánicos como el maquinado, se logra el cometido por que desarrollan fuerzas que excedan a la resistencia del material a la deformación. Entonces surge la siguiente disyuntiva: las propiedades mecánicas que son deseables para el diseñador, tal como una alta resistencia, hacen generalmente más difícil la manufactura del producto; por tanto, es conveniente que el ingeniero de manufactura tome en cuenta los objetivos del diseño, y que el diseñador tenga en cuenta los objetivos de la manufactura.

Las propiedades eléctricas juegan un papel importante en varios procesos de manufactura. Algunos procesos no tradicionales usan la energía eléctrica para remover material. El maquinado por descargas eléctricas utiliza el calor generado por la energía eléctrica en forma de chispas para remover material metálico. La mayoría de los procesos importantes de soldadura utilizan la energía eléctrica para fundir el metal de las uniones.

2.2.1 Integridad de las superficies

En un proceso de manufactura pueden resultar muchos cambios posibles en la capa subyacente del material. Estos pueden fluctuar desde grietas claramente observables en la superficie hasta transformaciones sutiles en la estructura metálica interna. Se presenta una lista de posibles alteraciones y daños de la capa superficial en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Daños y alteraciones en capas adyacentes durante mecanizado.

Alteración/daño	Descripción
Absorción	Las impurezas están absorbidas y retenidas en las capas superficiales del material base, conduciendo posiblemente a la fragilidad y otros cambios de propiedades.
Agotamiento de la aleación	Los elementos aleantes críticos se pierden en las capas superficiales con una posible pérdida de las propiedades en el metal.
Grietas	Rupturas o separaciones estrechas, en o debajo de las superficies que alteran la continuidad del material. Las grietas se caracterizan por bordes afilados y relaciones largo ancho de 4 a 1 o mayor. Se clasifican en macroscópicas (pueden observarse con una amplificación de 10 * 0 menor) y microscópicas (requieren de 10 * 0 más)
Cráteres	Depresiones burdas de la superficie producidas por descargas de corto circuito que están asociadas con métodos de procesamiento eléctrico tales como maquinado por descargas eléctricas o maquinado electroquímico
Cambios de dureza	Diferencias de dureza en o cerca de la superficie.
Zona afectada por el calor (ZAC)	Regiones de metal afectadas por aplicaciones de energía térmica; las regiones no están fundidas pero han sido calentadas suficientemente para producir cambios metalúrgicos que afectan las propiedades. El efecto es más prominente en operaciones de soldadura de fusión
Inclusiones	Pequeñas partículas de material incorporadas a la capa superficial durante su procesamiento; son discontinuidades en el material base. Su composición difiere generalmente de la del material base.
Ataque intergranular	Formas varias de reacción química en la superficie, incluyendo corrosión intergranular y oxidación
Traslapes, pliegues y costuras	Irregularidades y defectos en la superficie causadas por el trabajo plástico de superficies sobrepuestas.
Picaduras	Cambios micro estructurales causados por deformaciones de metal en la superficie; el resultado es endurecimiento por deformación
Deformación plásticas	Formación de nuevos granos en los metales endurecidos por deformación; asociado con el calentamiento de partes metálicas que han sido deformadas.
Recristalización	Metal que se remueve de la superficie en estado fundido y se reincorpora antes de la solidificación
Metal redepositado	Una porción de la superficie que se funde durante el procesamiento y luego se solidifica sin desprenderse de la superficie. También se usa el término metal refundido. El término metal recolado incluye ambos, metal redepositado y resolidificado
Metal resolidificado	Esfuerzos que permanecen en el material después de su procesamiento
Esfuerzos residuales	Una forma de ataque químico que se concentra en ciertos componentes de material base
Ataque selectivo	

Los cambios superficiales son causados por la aplicación de varias formas de energía durante el procesamiento mecánico, térmico, químico y eléctrico. La energía mecánica es la forma más usada en la manufactura; se aplica contra el material de trabajo en operaciones tales como formado de metales (forjado y extrusión) prensado y maquinado. Aunque la función primaria en estos procesos es cambiar la geometría de la parte de trabajo. La energía mecánica puede también causar esfuerzos residuales, endurecimiento por trabajo y grietas en las capas superficiales. La tabla 2.2 indica varios tipos de alteraciones en la superficie y capa subyacente que son atribuibles a las diferentes formas de energía aplicadas en manufactura. La mayoría de las alteraciones en la tabla 2.2 se refieren a los metales, para los cuales la integridad de la superficie ha sido estudiada más profundamente.

Tabla 2.2 Daños y alteraciones en capas adyacentes por diferentes formas de energía.

Forma de energía	Alteraciones de daños posibles
Mecánica	<ul style="list-style-type: none"> Esfuerzos residuales en la capa subyacente Grietas: microscópicas y macroscópicas Deformación plástica Traslapes, pliegues o fisuras Huecos o inclusiones introducidas mecánicamente Variaciones de dureza (endurecimiento por trabajo, por ejemplo)
Térmica	<ul style="list-style-type: none"> Cambios metalúrgicos (recristalización, cambios de tamaño de los granos, cambios de fase en la superficie) Material redepositado o resolidificado Zona afectada por el calor (incluyendo algunos de los cambios metalúrgicos mencionados arriba) Cambios en la dureza
Química	<ul style="list-style-type: none"> Ataque intergranular Contaminación química Absorción de ciertos elementos como H y Cl en la superficie del metal Corrosión por esfuerzos Disolución de los microconstituyentes Agotamiento de la aleación y cambios resultantes de la dureza
Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> Cambios en conductividad y/o magnetismo Cráteres resultantes de cortos circuitos durante ciertas técnicas de procesamiento eléctrico

2.2.2 Efecto de los procesos de manufactura

La capacidad de lograr cierta tolerancia o superficie está en función de los procesos de manufactura.

2.2.2.1 Tolerancias y procesos de manufactura

Algunos procesos de manufactura son más precisos que otros. La mayoría de los procesos de maquinado son bastante precisos y capaces de lograr tolerancias de ± 0.002 plg (± 0.05 mm) o mejores. Por el contrario la fundición en arena es generalmente imprecisa y deben especificarse tolerancias 10 o 20 veces mayores que las usadas para el maquinado.

2.2.3 Relación esfuerzo-deformación

Hay tres tipos de esfuerzos estáticos a los que se pueden someter las materiales: de tensión, de compresión y de corte. Los esfuerzos de tensión tienden a alargar el material, los de compresión a comprimirlos y los de corte implican fuerzas que tienden a deslizar porciones adyacentes de material una sobre otras. La curva de esfuerzo *versus* deformación es la relación básica que describe la fuerza que actúa sobre una determinada área en el material en sus tres tipos.

2.3 Proceso de mecanizado

El mecanizado de una pieza consta de una sucesión de operaciones, definidas por un proceso de fabricación que engloba en forma detallada, todas las transformaciones que debe sufrir ésta, hasta su acabado final y teniendo en cuenta todos los factores a intervenir algunos de ellos son:

- Material a maquinar,
- Máquina en la que se va a realizar el proceso
- Herramienta a utilizar
- Forma de sujeción de la pieza, entre otros más.

Dependiendo de estos factores es como se debe de determinar el proceso de mecanizado y recordando siempre que es necesario tomar en cuenta la productividad o cuanto se invertirá y lo que se obtendrá (resultado/inversión), es decir, producir más con menos costes.

2.3.1 Consideraciones para el mecanizado

Una correcta sujeción de una pieza a mecanizar es un factor clave para obtener los resultados deseados, la cual está definida si se conocen:

- Ⓔ Las superficies que aseguran que la pieza se coloque de forma correcta.
- Ⓔ Las superficies que reciben los esfuerzos de mantener la posición.

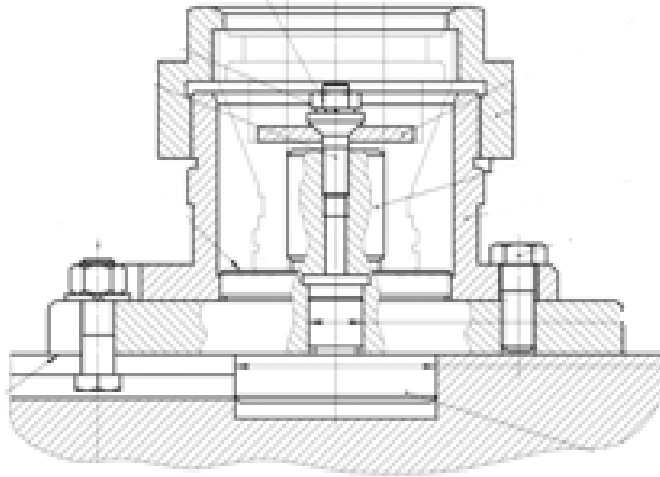


Figura 2.1 Ejemplo de sistema de sujeción.

El posicionamiento de una pieza se caracteriza por los grados de libertad que elimina.

- Ⓔ El dispositivo que se sujeta en posición debe de asegurar, con permanencia, el contacto de la pieza con las superficies de la montadura y garantizar su posicionamiento original, a pesar de las fuerzas de corte.
- Ⓔ En ningún caso se le deben de causar a la pieza deformaciones superiores a 0.5 de la tolerancia que se deba respetar.

Evitar deformaciones excesivas:

- Ⓔ La intensidad del apriete debe ser tan leve como sea posible.

Reducción de vibraciones durante el maquinando:

- E Las fuerzas de sujeción deben ejercerse en una zona tan próxima como sea posible a la superficie que se va a maquinar.
- E Las fuerzas de corte se deben aplicar a la pieza sobre sus apoyos.
- E Las deformaciones del montaje deben ser despreciables bajo las fuerzas que conservan la posición y bajo las fuerzas de corte.

Grados de libertad.

- E Un grado de libertad corresponde a la posibilidad de un movimiento relativo de rotación o de translación entre la pieza y la montadura.
- E Un sólido posee 6 grados de libertad: 3 en rotación y 3 en translación.
- E Teóricamente se elimina un grado de libertad por medio de un punto de contacto.

2.4 Normal de referencia

Cada contacto puntual teórico se representa esquemáticamente por un vector normal ala superficie considerada.

Se afecta a cada superficie a medida de los grados de libertad que elimine la normal de referencia.

Tabla 2.3 Número máximo de grados de libertad.

Número máximo de grados de libertad eliminados			
Plano	Cilindro	Cono	Esfera
3	4	5	3

Posicionamiento es isostático:

- E Si el número de normales de referencia es igual al número de grados de libertad por eliminar.
- E Si cada una de las normales de referencia contribuye a eliminar un grado de libertad.
- E Si cada una de las normales de referencia contribuye a eliminar un grado de libertad.

Posicionamiento por sistema de referencias:

- E Un sistema de referencias se compone de varias superficies de referencia.
- E Si sobre cada superficie se sitúa el número máximo de normales de referencia, se llega con frecuencia a una cifra superior al número de grados de libertad por eliminar, tal posicionamiento es hiperestático y es prácticamente imposible tener sin deformaciones, una fuerza de sujeción en todos los puntos de contacto especificados.

Para poder verificar si cada una de las normales de referencia contribuye a eliminar un grado de libertad, es útil conocer algunas reglas usuales.

- E El desplazamiento de una normal de referencia se determina de manera que el grado de libertad que suprima no esté ya eliminado por otra normal.
- E Nunca se deben tener más de tres normales de referencia paralelas, pero en caso de tenerlas, los puntos de contacto no deben estar en línea recta.
- E Nunca se deben poner más de tres normales coplanares
- E Nunca se deben de poner más de tres normales no coplanares, que concurran a un mismo punto.
- E Un posicionamiento sin grado de libertad impone que las seis normales están en relación por lo menos a tres planos.

Para aumentar la calidad de posicionamiento:

- E Las normales de referencia deben ser en lo posible, equidistantes una de las otras.
- E Cada normal debe coincidir o ser tangente a la dirección de movimiento que elimina.
- E Las normales de referencia definen las zonas preferenciales de las piezas sobre sus apoyos.
- E El número y las posiciones de las normales de referencia se deducen de las superficies del sistema de referencia.

Elección de las superficies de posicionamiento

- E Las superficies que aseguran el posicionamiento de una pieza son, en principio, las del sistema de referencia que define la posición de las superficies por maquinarse.

2.5 Centro de Mecanizado

La máquina tiene gran importancia para la elección del método de fresado. Es posible realizar fresado en escuadra/planeado o fresado de ranuras en máquinas de 3 ejes, mientras el fresado de perfiles en 3D requiere de máquinas de 4 o 5 ejes.

2.5.1 Estabilidad

El estado y estabilidad de la máquina afectan a la calidad superficial y también pueden empeorar la vida útil de la herramienta. Excesivo desgaste de los rodamientos de husillo o mecanismos de avance pueden provocar una estructura superficial deficiente.

La estabilidad del conjunto de la herramienta es fundamental. Es necesario considerar factores como voladizo de la herramienta, acoplamiento y adaptadores anti-vibratorios de ser necesario.

2.5.2 Potencia y par

Básicamente, los requisitos de potencia en fresado varían con respecto a:

- E Cantidad de material que es necesario eliminar
- E Espesor medio de la viruta
- E Geometría de la herramienta
- E Velocidad de corte necesario

En determinado caso que la máquina no cumpla con los requerimientos que exige un proceso, se diseña una máquina que los cumpla.

2.6 Economía de fabricación

La productividad del mecanizado es un término muy utilizado en la industria y es el lograr una relación conveniente entre resultado/inversión, hacer más con menos, sin olvidar que primero se debe de saber es que necesita la empresa (reducir costos, aumentar producción), el resultado puede verse afectado por distintos factores, como:

- E Selección de método de mecanizado y recorrido de la herramienta.
- E Selección de herramienta, geometría de herramienta y calidad de material.
- E Datos de corte (velocidad, avance, profundidad de corte etc.).
- E Bajo número de rechazos (piezas).
- E Menos cambios de herramientas, más tiempo de mecanizado.
- E Disponibilidad del producto, menos inventario.
- E Formación técnica, mejor comprensión.

Un factor clave en las velocidades de arranque de viruta, que se puede medir como la cantidad de material eliminado en un periodo de tiempo dado (cm^3/min).

2.6.1 Incremento de datos de corte

El incremento de datos de corte, el proceso mejora y reduce considerablemente el coste por pieza, de esta forma incrementar las rentabilidades de la empresa. En la mayor parte de los casos, resulta mucho más rentable incrementar los datos de corte que la vida útil de la herramienta. Del mismo modo, resulta mucho más rentable utilizar herramienta de corte que soporte datos de corte elevados que utilizar herramientas de baja calidad.

2.7 Titanio en el proceso de mecanizado

El Titanio fue descubierto por un clérigo inglés llamado Gregot. La separación en bruto del Titanio fue llevada a cabo en 1825. En 1906 se logró aislar la cantidad suficiente de Titanio puro lo que permitió su estudio. Después de este estudio, en 1932, se desarrolló un proceso de extracción el cual fue el primer método comercial para la producción de Titanio. Las oficinas de minas de los Estados Unidos comenzaron a hacer esponja de Titanio en 1946 y 4 años más tarde comenzaron con el proceso de fusión.

El uso del Titanio es extenso, éste es usado en muchas industrias y tiene una demanda constante en artículos como bombas, pantallas, herramientas y accesorios que son atacados comúnmente por la corrosión. En la construcción y reparación de los aviones, el Titanio se usa para el fuselaje, partes del motor,

paredes anti fuego, largueros, marcos, accesorios, conductos de aire y elementos de sujeción.

El Titanio es utilizado para hacer el disco del compresor, anillos espaciadores, palas del compresor y los álabes, pernos, la carcasa de la turbina y revestimientos, accesorios del hardware para la turbina de los motores.

Es utilizado en partes estructurales de la industria aeroespacial ya que brinda propiedades que son fundamentales para este sector, relación peso-resistencia teniendo sólo dos terceras partes de peso que el Acero y una mejor resistencia que muchas aleaciones de Acero, buena resistencia térmica aunque a 420°C la resistencia decrece rápidamente y resistente a la corrosión.

El Titanio, en cuanto a apariencia física es similar al acero inoxidable y está entre el Aluminio y el Acero en términos de elasticidad, densidad, y resistencia a elevadas temperaturas, el Titanio tiene un punto de fusión de 2,230 °F a 3,155°F, baja conductividad térmica, bajo coeficiente de expansión, es ligero, resistente corrosión bajo tensión y es 60% más duro que el Aluminio y alrededor de 50% más ligero que el Acero.

El Titanio tiene un alto punto de fusión pero sus propiedades térmicas son malas ya que su límite elástico cae rápidamente arriba de los 800 °F, la absorción de Oxígeno y Nitrógeno del aire a temperaturas superiores a 1000 °F lo hace frágil y en una larga exposición a esto se vuelve inútil, sin embargo la exposición de corto plazo a 3000 °F tiene ciertos méritos en donde la resistencia no es importante como en las paredes anti fuego.

El Titanio no es magnético y tiene una resistencia eléctrica comparable con la del acero inoxidable. Algunas de las aleaciones básicas del Titanio son bastante duras. Los tratamientos térmicos y las aleaciones no desarrollan la dureza del Titanio a niveles elevados de algunos de los tratamientos térmicos y aleaciones del Acero.

Fue recientemente que los tratamientos térmicos del Titanio y sus aleaciones fueron desarrollados. Previo al desarrollo de estas aleaciones, el formado y el laminado eran los únicos métodos que se podían hacer. Sin embargo, es posible formar la nueva aleación en condición blanda y tratamiento térmico por su dureza.

El Hierro, Molibdeno, Cromo son usados para estabilizar el Titanio y producir aleaciones que requieren endurecimiento y envejecimiento, la adicción de estos metales también le brinda ductilidad, la resistencia a la fatiga del Titanio se agrega mediante el Aluminio.

El Titanio se vuelve más suave conforme incrementa su grado de pureza. No es práctico distinguir entre varios grados de Titanio comerciales puros o no aleados por análisis químico, por lo tanto, los grados son determinados por sus propiedades mecánicas.

2.7.1 Designaciones del Titanio

Las aleaciones de Titanio están clasificadas en tres clases las cuales dependen de la estructura y tipo de aleación. El código de designación utilizado para describir cada aleación es:

Aleaciones alfa (α)

Compuesto de Al, O, y/o N: es fácil de soldar, duro, fuerte tanto en frío como caliente y resistente a la oxidación.

Aleación beta (β)

Compuesto de Mo, Fe, V, Cr y/o Mn. Es una aleación flexible; con excelente ductilidad al flexionarse; resistente al frío y al calor pero vulnerable a la contaminación

Aleación mixta ($\alpha+\beta$)

La cual es una mezcla de ambas clases alfa y beta. Esta aleación es resistente cuando está fría o tibia pero débil al estar caliente, buena flexibilidad, resistencia moderada a la contaminación, excelente forjabilidad.

La aleación mixta es una de las más empleadas hoy en día.

Estos compuestos químicos tienen una influencia directa en las propiedades físicas de la aleación, la química, comportamiento térmico y maquinabilidad.

Tabla 2.4 Composición de los distintos tipos de aleaciones de Titanio.

Condición	Designación	Composición (aprox %)							Esfuerzo a la tensión N/mm ²	Dureza HP	Fuerza especifica de corte Kc/MPa
		Al	Sn	Mo	V	Zr	Cr	Otros			
α y aleaciones cercanas a α	Ti-5Al-2,5Sn	5	2,5					x.xx	790	300-400	1200
	Ti-5Al-2,5Sn ELI	5	2,5						690		
	Ti-8Al-1Mo-1V	8		1	1				900		
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	6	2	2		4			900		
	Ti-3Al-2,5V	3			2,5				620		
	Ti-6Al-4V	6			4				900	310-350	1700
	Ti-6Al-6V-2Sn	6	2		6				1030		
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	6	2	6		4			1170		
	Ti-5Al-2Sn-4Mo-27r-2Mo-4Cr-(Ti-17)	5	2	4		2	4		1125		
	Ti-7Al-4Mo-	7		4					1030		
	Ti-6Al-32Sn-27r-2Mo-2Cr 0,23Si	6	2	2		2	2	0,25	1280		
	Ti-8Mn							8	860		
β y cercanos a aleaciones β	Ti-13V-11Cr-3Al	3			13		11		1170	275-400	2400
	Ti-11,5Mo-6Zr-4,5Sn (βIII)		4,5	11,5		6			700		
	Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (β C)	3		4	8	4	6		900		
	Ti-10V-2Fe-3Al	3			10			2	1170		
	Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn	3	3		15		3		1000		
	Ti-5553	5		5	5		3	1,3	1160		

2.7.2 Proceso de planeación

Antes del maquinado de cualquier componente de aleación de Titanio, es de especial importancia planear y optimizar el proceso. Esta planificación llevará a la elección de la más adecuada herramienta de corte, en conjunto de beneficios a partir de la aplicación del conocimiento específico.

A un análisis básico podría quedar de la siguiente manera:

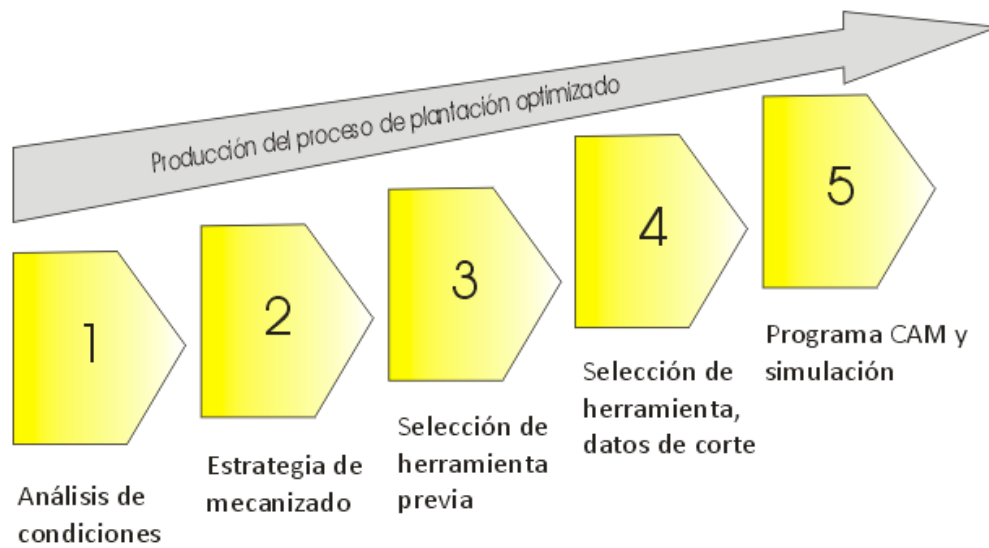


Figura 2.2 Diagrama de análisis de optimización de maquinado

2.7.3 Maquinabilidad

La maquinabilidad de las aleaciones de Titanio es mala si se compara con el Acero en general o con el acero inoxidable, y esto impone determinadas exigencias en las herramientas de corte. El Titanio tiene poca conductividad térmica; mantiene la resistencia a alta temperatura, por lo que se genera altas fuerzas de corte y calor en el filo de la herramienta. Virutas delgadas, muy recortadas, con tendencia a la corrosión por rozamiento que crean un área de contacto estrecha en la cara de desprendimiento y genera fuerzas de corte concentradas en la proximidad del filo.

Una velocidad de corte demasiado alta produce una reacción química entre la viruta y el material de la herramienta, que puede derivar en rotura/astillamiento de la herramienta. El material de la herramienta de corte debe tener buena resistencia al calor, bajo contenido de Cobalto o de manera opuesta podría reaccionar con el Titanio. Se puede utilizar metal duro de grano fino sin recubrimiento que sea tenaz.

2.7.3.1 Consideraciones de maquinado

El maquinado puede ser dividido en tres etapas, primera etapa de maquinado (FSM), etapa intermedia de maquinado (ISM) y última etapa de maquinado (LSM). Cada etapa tiene sus propias técnicas de maquinado, desafíos y consideraciones específicas de aplicación.

Primera etapa de mecanizado (FSM)

Hasta 10 mm (0,394 in) de profundidad. FSM del Titanio es un proceso simple que es aplicado a altas rugosidades y utilizado:

- En componentes de Titanio forjado con un revestimiento desigual.
- Mecanizado en condiciones de recocido o tratamiento térmico en fundición o en la geometría básica del componente.
- En grados sin recubrimiento son óptimas.
- Altas profundidades de corte, a bajas velocidades.

Etapa intermedia de maquinado (ISM)

De 0,5 mm a 4 mm (0,02 in a 0,157 in) de profundidad de corte. En esta etapa, el Titanio se encuentra en una solución de tratado final.

- Se da un perfilado, a varias profundidades de corte.
- Con tolerancias moderadas.
- De 1 mm (0,0039 in) de acabado en perfilado.
- Utilizado en componentes de pared delgada.
- Puede ser utilizado en distintos grados de revestimiento.

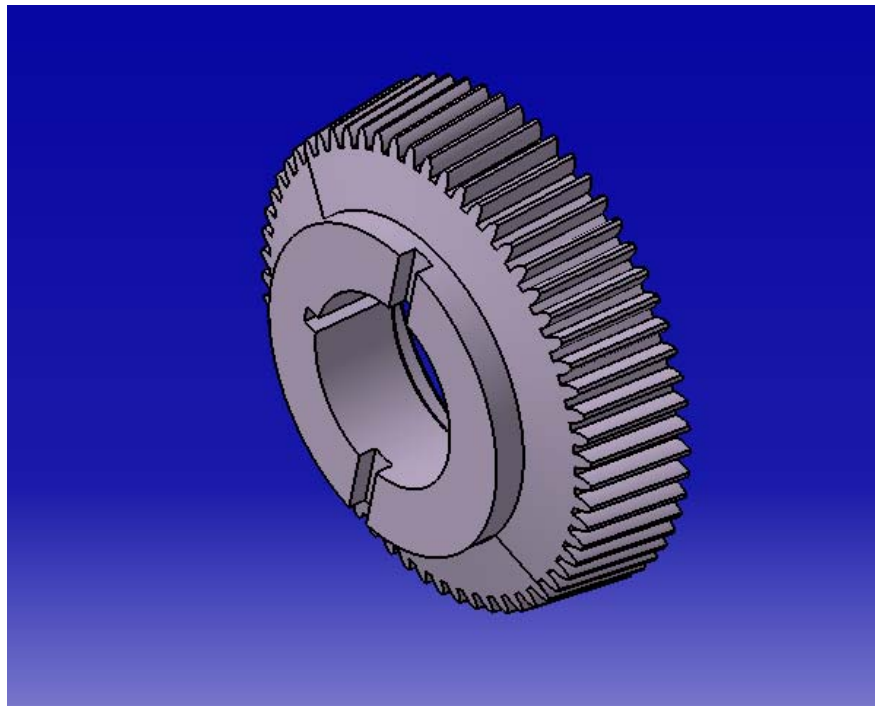
Última etapa de maquinado (LSM)

Va desde 0,2 a 0,5 mm (0,008 a 0,020 in) de profundidad de corte.

- Representa la última remoción de material del componente.
- Utilizado en la etapa crítica de producción.
- Demanda la más alta calidad en las superficies.
- La última sección de corte está sujeto a muy altas restricciones de calidad.
- Herramientas, trayectorias de corte y datos de corte son validadas por el usuario final.

CAPÍTULO III

Diseño del sistema de sujeción y herramienta de corte



En este capítulo se llevara a cabo el diseño y modelado en software CAD del sistema de sujeción, de la herramienta de corte y su determinado cálculo de tolerancias de una flecha de bomba de un motor de aviación.

3.1 Diseño de dispositivo de sujeción

Como se mencionó en capítulos anteriores, el Titanio es un material usado ampliamente en la industria manufacturera de componentes y partes aeronáuticas por los múltiples beneficios que brinda, pero las propiedades del Titanio, las formas complejas de las piezas, las tolerancias cerradas de maquinado y las normas de calidad estrictas para aviación, hacen que el proceso de manufactura sea complejo.

La fecha de Titanio que se maquinara se modelo solo para corroborar en el ensamble que la sujeción sea correcta así como también obtener su peso mediante el software.

3.2 Propósito de dispositivos de sujeción

Los dispositivos utilizados en los procesos de maquinado están diseñados para.

- E Montar la pieza.
- E Proteger la pieza de trabajo.
- E Dar seguridad al proceso
- E Asegurar la precisión requerida de procesamiento.
- E Proporcionar un mayor rendimiento de procesamiento.
- E Ser fácil de usar, económico y seguro de usar.

3.3 Material a maquinar

Para que el diseño de la sujeción sea válido se debe de considerar el tipo de material que se maquina para conocer la dureza del material y asegurar que no sufra deformaciones con el apriete de la sujeción, así como también el error permisible el cual no debe de ser mayor a la tolerancia de la pieza a maquina.

La flecha de Titanio Ti-Al6-V4 para la que se diseñó la sujeción es de una bomba hidráulica para un motor de aviación proveniente de fundición, de una aleación tipo Alfa/Beta la cual tiene propiedades (ver anexo 1), convenientes para aplicaciones tales como son álabes, discos, anillos, armaduras de aviones, sujetadores, componentes de aviación, piezas forjadas e implantes biomédicos.

3.4 Propuesta del proceso de mecanizado

La propuesta de mecanizado está proyectada para realizarse en Torno, Centro de mecanizado, así como maquinas especializadas para ciertas operaciones, esto debido a que se considero una producción en serie la cual permite satisfacer alta demanda del producto.

3.4.1 Operaciones en Torno

Las líneas de color verdes son el perfil resultante por el material removido en cada operación correspondiente.

La determinación de estas operaciones se realizo de la siguiente forma.

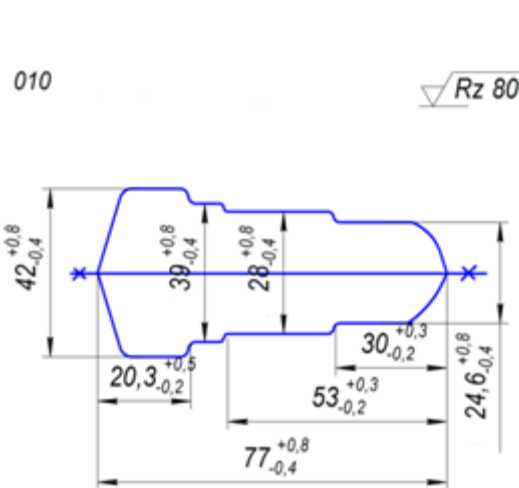


Figura 3.1 Pieza de fundición.

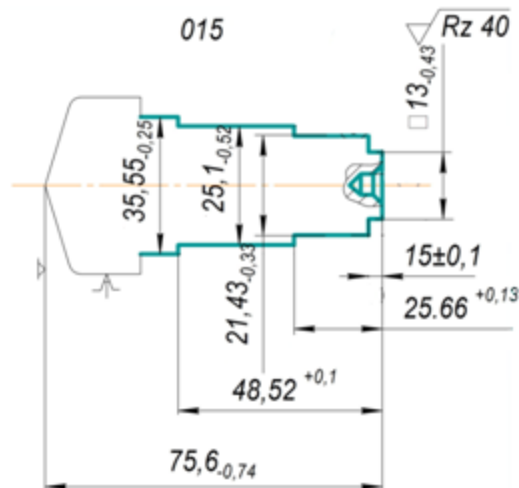


Figura 3.2 Op.015: desbaste lado A y barrenado para contrapunto de la maquina.

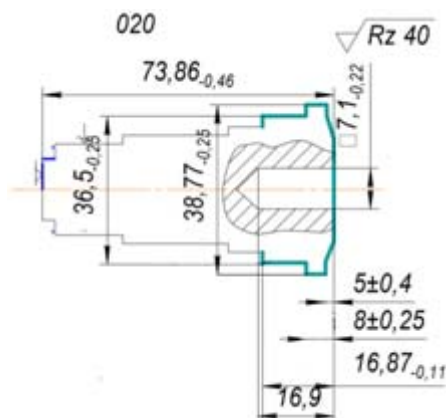


Figura 3.3 Op.020: desbaste lado B y barrenado

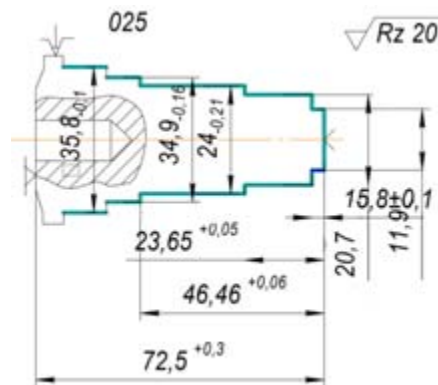


Figura 3.4 Op.025: acabado lado A.

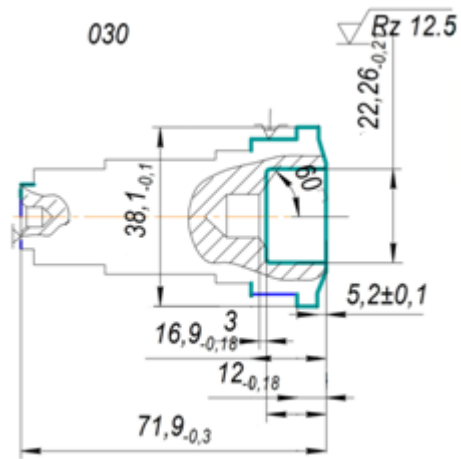


Figura 3.5 Op.030: acabado lado B y mandrinado para la caja del barrero.

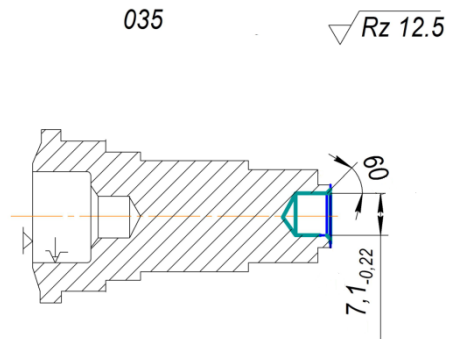


Figura 3.6 Op.035: Barrenado lado A

3.4.2 Operaciones en Centro de Mecanizado

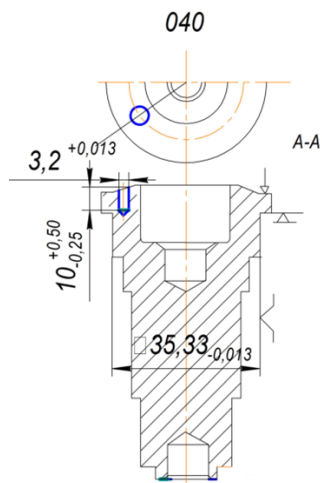


Figura 3.7 Op.040: Barrenados lado B.

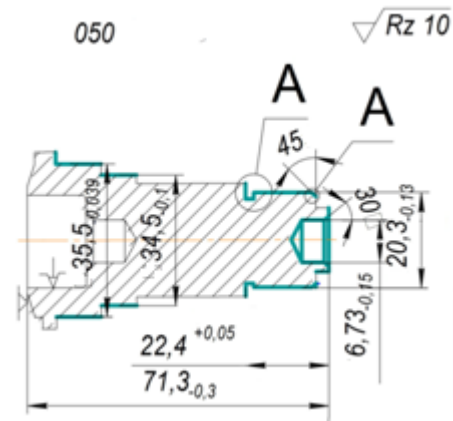


Figura 3.8 Op.050: Ranurados y chaflanes

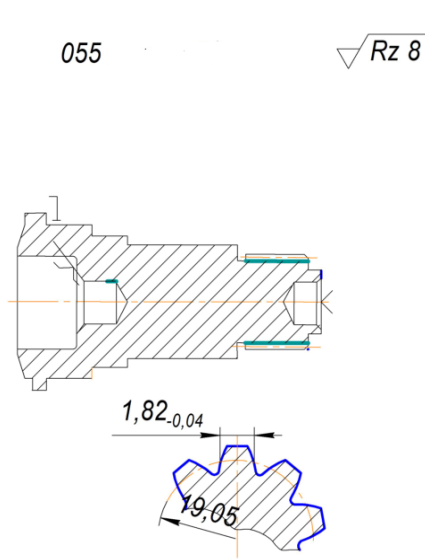


Figura 3.9 Op.055: estriado de flecha.

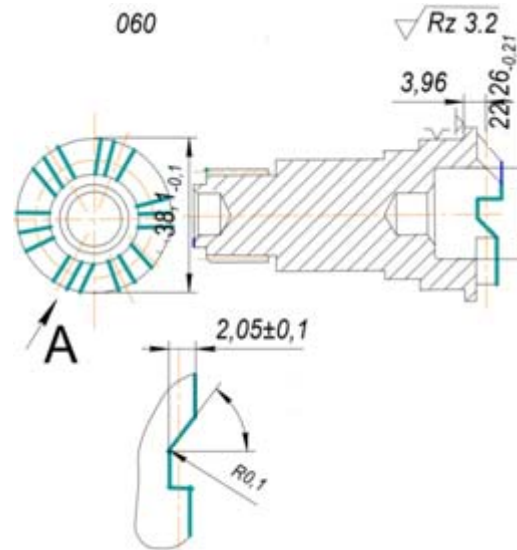


Figura 3.10 Op.060: fresado lado B.

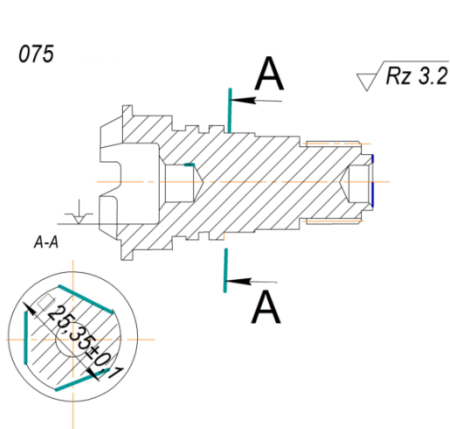


Figura 3.11 Op.0.75: fresado de caras laterales

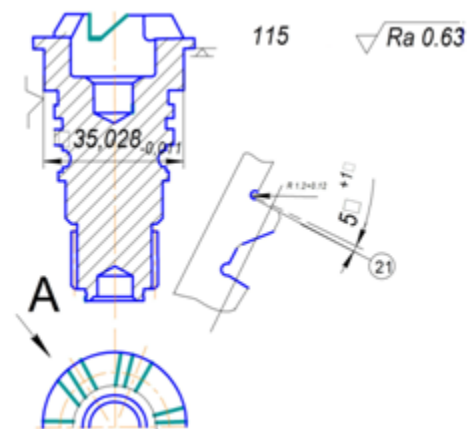
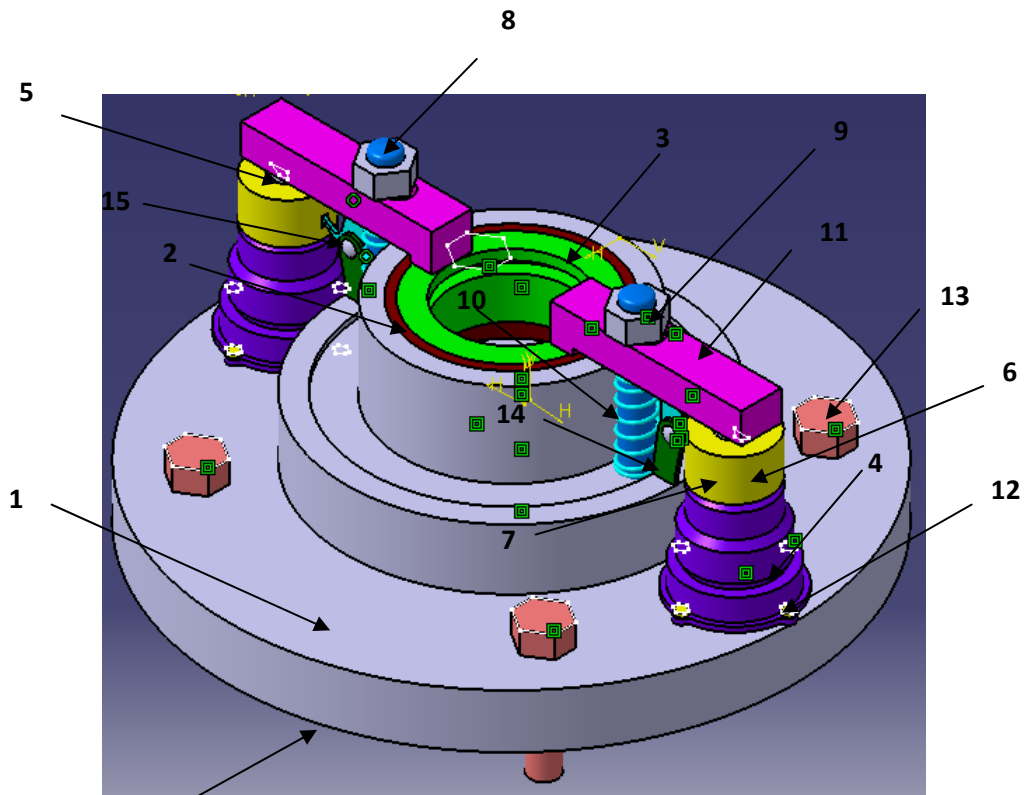


Figura 3.12 Op.115: fresado de detalles

La operación 055 es una operación compleja en el proceso de mecaniza ya que necesita el desarrollo de herramienta de corte especia, así como una sujeción confiable para poderlo realizarse.

El dispositivo de sujeción consta de los componentes que se describen a continuación.

1. Cuerpo principal: Es el cuerpo que soporta todos los elementos de tal forma de restringir los 6 grados de libertad de la pieza a maquinar, como se muestra en el esquema posterior.
2. Casquillo exterior: Con ayuda de su geometría y el apriete del casquillo interior ajusta a la pieza axialmente en todas las direcciones.
3. Casquillo interior: Elemento que es presionado por el sujetador y aprieta a la pieza hacia abajo contra el cuerpo principal.
4. Cilindro hidráulico (2): Cubre la mayor parte del cuerpo del émbolo.
5. Embolo del cilindro hidráulico (2): Va internamente él en cilindro y es impulsado por fuerza hidráulica el cual mueve al sujetador hacia arriba.
6. Cubierta de parte superior del émbolo: Cubre una parte del émbolo así como también es el que da el movimiento a la palanca guía.
7. Resorte del émbolo (2): evita el movimiento brusco del émbolo al descender (está debajo de la cubierta).
8. Esparrago M8 (2): va unido del cuerpo principal con el sujetador y limita que el sujetador de mueva en direcciones contrarias a Z.
9. Tuerca M8 (2): Aprieta al sujetará hacia abajo.
10. Resorte para Tuerca M8 (2): Evita que el sujetador descienda bruscamente.
11. Sujetador (2): es el elemento que por medio de la presión del cilindro hidráulico da el apriete necesario al casquillo interior que presiona verticalmente a la pieza a máquina.
12. Tornillo M1.6 (8): Une al cilindro con el cuerpo principal.
13. Tornillo M8 (4): Une al cuerpo principal con la mesa de la maquina
14. Palanca guía: Esta palanca es impulsada por la cubierta del émbolo, y ésta a su vez es la que mantiene la trayectoria del sujetador.
15. Perno de palanca: es el que une y permita el movimiento entre los dos elementos de la palanca guía.
16. Centrador: Va ensamblado la cuerpo principal y se sujeta de la mesa de la máquina de tal forma que sirva para central a todo el dispositivo.



16 *Figura 3.14 Dispositivo de Sujeción (Ver anexo 6).*

3.6 Cálculos de error permisible de la sujeción

Para validar que el diseño dispositivo de sujeción es el correcto para el maquinado de la pieza se debe de comprobar que los errores permitidos de la pieza no sean rebasados, estos errores son los valores de tolerancias y rugosidades especificadas en el plano de manufactura, también el error de fijación o montaje debe ser considerado ya que en la mayoría de las ocasiones es inevitable debido a que este se realiza de forma manual, también se debe de hacer el cálculo de apriete necesario que deberá ser en este caso por los cilindros hidráulicos.

1) Definir el nivel de precisión o tolerancia.

El plano de pieza muestras las siguientes tolerancias (Ver anexo página 3):

Tolerancia 5: 2

Tolerancia 6: 1

Tolerancia 8: 2

Tolerancia 9: 1

Tolerancia 10: 1

Tolerancia 11: 5

Tolerancia 12: 3

Tolerancia 13: 1

Tolerancia 14: 4

Tolerancia 15: 4

Tolerancia 16: 1

Tolerancia 17: 1

Siendo el primer número el tipo de tolerancia y el segundo la cantidad de tolerancias de este tipo.

El promedio de precisión productos de mecanizado de precisión se determina:

$$P_t = \frac{\sum P * n_i}{\sum n_i} = \frac{5 \cdot 2 + 6 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 11 \cdot 5 + 12 \cdot 3 + 13 \cdot 1 + 14 \cdot 4 + 15 \cdot 4 + 16 \cdot 1 + 17 \cdot 1}{26} = 11.692$$

Nivel de precisión del mecanizado:

$$N_p = 1 - \frac{1}{P_t} = 1 - \frac{1}{11,69} = 0,914$$

2) Determinar el nivel de rugosidad.

Los niveles de rugosidad de las superficies de las piezas son (ver anexo página3):

Rz 0,4: 1
 Rz 0,63: 2;
 Rz 0,8: 4;
 Rz 1.25: 2
 Rz 1.5: 1
 Rz: 1.6: 3
 Rz 6,3: 6;

Se define los productos de superficie de rugosidad media como:

$$R_m = \frac{\sum R^* n_{im}}{\sum n_{im}} = \frac{0,4 \cdot 1 + 0,63 \cdot 2 + 0,8 \cdot 4 + 1,25 \cdot 2 + 1,5 \cdot 1 + 1,6 \cdot 1 + 6,3 \cdot 6}{19} = 2,54$$

Nivel de rugosidad de la superficie:

$$N_R = \frac{1}{R_m} = \frac{1}{2,54} = 0,393$$

3) Material efectivo:

$$M_e = \frac{M_f}{M_i} = \frac{0,178}{0,291} = 0,611$$

Los valores del peso de la pieza antes y después del maquinado se obtuvieron con un software como se muestra en las siguientes Figuras 3.15 y 3.16 (ver anexo 5):

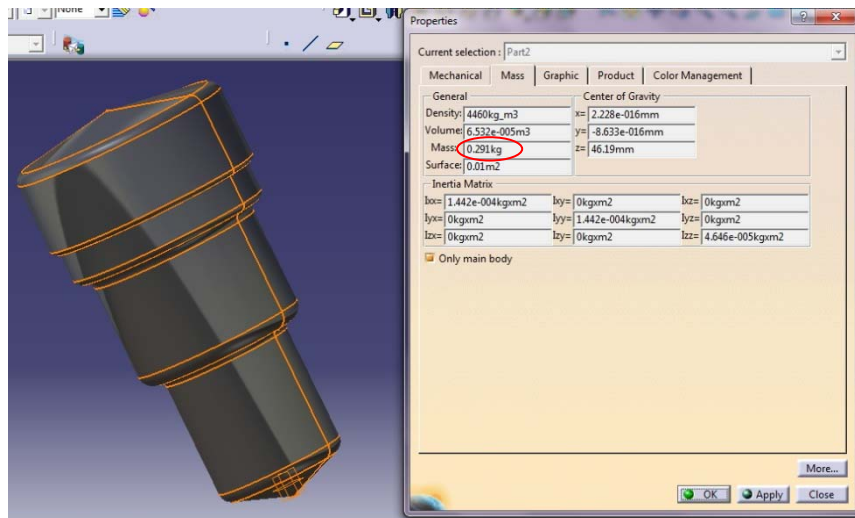


Figura 3.15 Pieza de fundición.

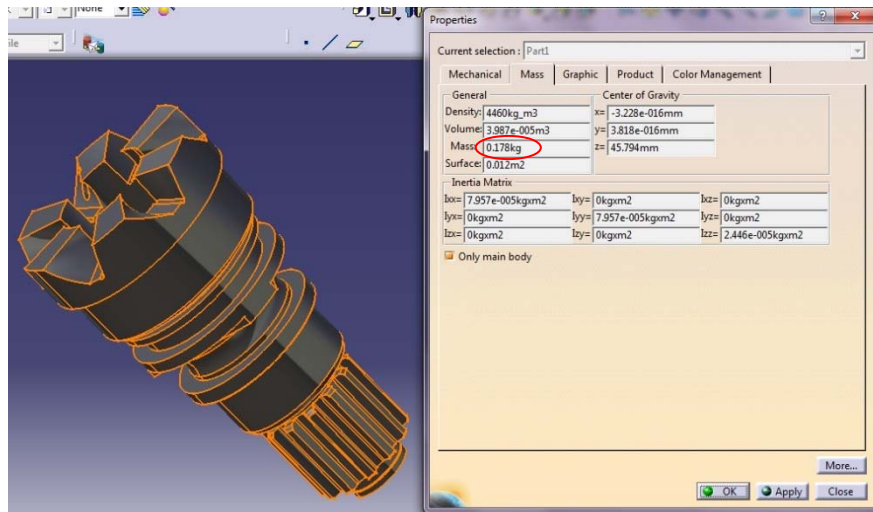


Figura 3.16 Pieza maquinada.

4) Cálculo de las componentes de fuerza de corte en el proceso a lo largo de los ejes del sistema de coordenadas de máquina.

La fuerza total de corte P_z que se representa en la Figura 3.17, se puede calcular con la fórmula:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^m \cdot K_p$$

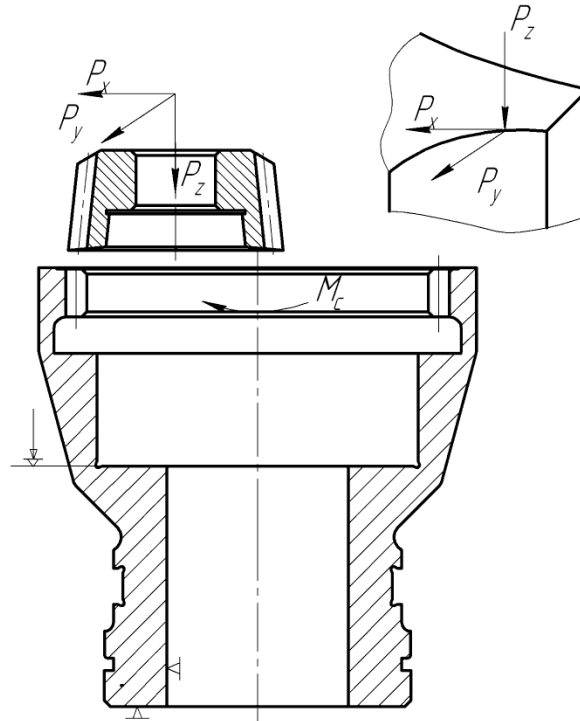


Figura 3.17 Componentes de la fuerza total de corte.

Donde

t : espesor de corte de la pieza a maquinar, C_p constante y los exponentes, S el avance y V las velocidad de corte, x , y , n y K_p son constante.

Los valores considerados son:

$C_p=148$,

$K_p=1,33$,

$t=16.87\text{mm}$,

De los datos de corte de Titanio se tiene que (Ver anexo Página 4):

$S=0,05$ mm/rev,

$V=36$ m/min,.

Por lo tanto:

$$P_z = 10 \cdot 148 \cdot 16.87 \cdot 0,05^{0,4} \cdot 36^{0,2} \cdot 1,33 = 20515.256H.$$

La relación entre las fuerzas axiales es:

$$P_x=0,3P_z=0,3 \cdot 20515.256= 6154.578H.$$

$$P_y=0,4 P_z=0,4 \cdot 20515.256= 8206.102H.$$

La componente fuerza de torsión P_{ct} se calcula:

$$P_{ct}=15\%P_y=1230H.$$

3.7 Cálculo de precisión

El dispositivo puede ser utilizado sólo si proporciona el manejo de error esperado esto quiere decir que no debe de sobrepasar los errores permitidos por la pieza.

Para el cálculo de la precisión que considera que:

$$a_u \leq \delta_\Sigma$$

Donde

a_u : La tolerancia de la pieza a maquinar.

δ_Σ : Sumatoria de errores.

Se sabe que:

$$\delta_\Sigma = \delta_{ms} + P + \tau$$

Donde:

δ_{ms} Es el control de errores asociados con la instalación del dispositivo en la máquina.

P - Son los errores asociados con los elementos del dispositivo.

τ - El manejo de errores asociados con el método de maquinado.

El error de los elementos de montaje consta de varios componentes siendo entonces:

$$P = 1,2\sqrt{P_g^2 + P_3^2 + P_{np}^2}$$

Donde:

P_g : Error de los componentes que intervienen en la adaptación;

P_3 : El error de fijación;

P_{np} : Precisión de la fabricación y desgaste de la herramienta.

$$P_{np} = P_{Nr} + P_{NH}$$

En base a las tolerancias de la pieza y el sistema de sujeción se determinan los valores de H6 y h6 de acuerdo a las dimensiones y con conforme a las tablas (ver anexo 2), para realizar los cálculos de los siguientes errores.

1) Se determinar el error debido a la instalación de dispositivos.

Se sabe que:

$$\delta_{Ins} = S1_{max}$$

Dónde $S1_{max}$ - el error del centrador en la mesa de la máquina.

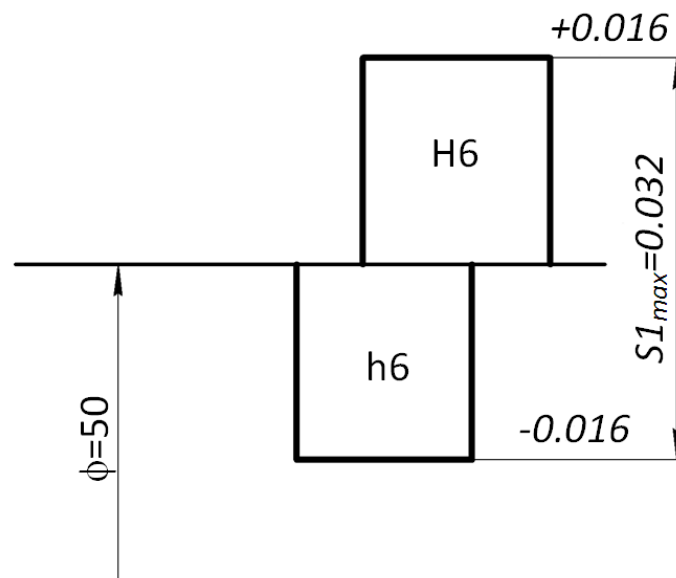


Figura 3.18 Esquema de error del centrador en la mesa.

$$\delta_{Ins} = S1_{max} = H6 + h6 = 0,032$$

2) Determinar el error debido a las variaciones de la instalación del dispositivo, siendo:

P_g el error permitido en la superficie a sujetar.

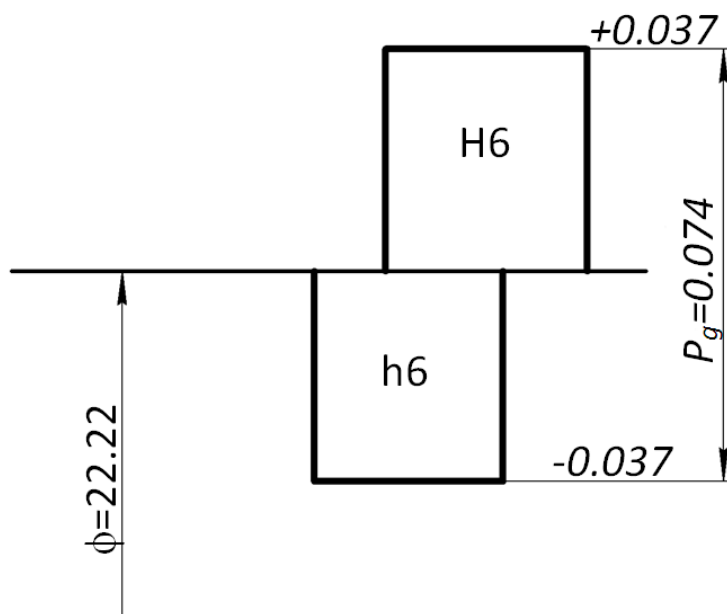


Figura 3.19 Esquema del error permitido en la superficie a sujetar.

$$P_g = H6 + h6 = 0,037 + 0,037 = 0,074 \text{ mm}$$

3) Se considero que la colocación y fijación será correcta por lo que:

$$P_3=0$$

4) Encontrar el error de los elementos adjuntos:

Se sabe que:

$$P_{Nr} = S2_{max}$$

$S2_{max}$ - error del dedo del centrador

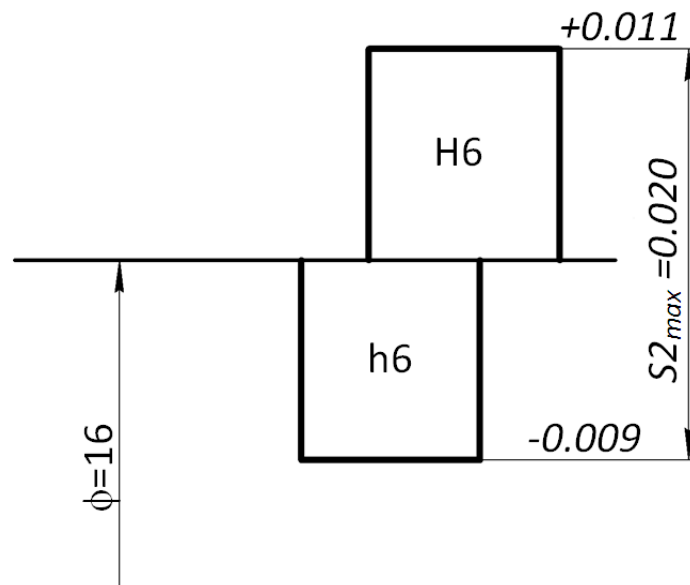


Figura 3.20 Esquema del error del dedo del centrador.

$$P_{Nr} = S2_{max} = H6 + h6 = 0,020mm$$

Se considera que el desgaste de la herramienta (P_{NH}) es:

$$P_{NH}=0,01mm$$

$$P_{np}= P_{Nr}+P_{NH}=0,020+0,01=0,031mm$$

$$P = 1,2\sqrt{0,074^2 + 0^2 + 0,031^2} = 0,096mm$$

5) Los errores asociados con el método de manufactura está determinada por la tecnología la maquina, deformidades de la fundición y el desgaste de la herramienta, por lo que se propone que.

$$\tau = 0,01mm$$

$$\delta_{\Sigma} = \delta_{Ins} + P + \tau = 0,032 + 0,096 + 0,01 = 0.138mm$$

La tolerancia de la superficie que será sujeta es de 0,37mm .

$$\delta_{\Sigma} = 0,138 < 0,37mm$$

Así con esto se comprueba que este dispositivo es adecuado para sujetar la pieza durante el maquinado ya que la sumatoria de errores no sobrepasa la tolerancia permitida de la pieza.

3.8 Cálculo de esfuerzo para asegurar la pieza en la operación

El momento de corte se calcula:

$$M_c = P_{ct} \cdot D / 2 = 1230 \cdot \frac{18.485}{2} = 11368.275H \cdot mm$$

Donde

P_{cp} es tomado del cálculo anterior de fuerzas de corte, D es el diámetro del círculo primitivo de los dientes a maquinar.

El momento de fricción es:

$$M_f = K_3 \cdot M_c,$$

Donde

K_3 - coeficiente de reserva, $K_3 = 1,8$ el cual depende de características de maquinado.

$$M_f = 1,8 \cdot 11368.275 = 20462.895H \cdot m \approx 20000H \cdot m$$

La fuerza de fricción se define como:

$$F_f = \frac{M_f}{r_{cp}} = \frac{20000}{20,32} = 984.251H$$

Donde

r_{cp} : es el diámetro máximo de la pieza

Entonces sí:

$$F_f = Q \cdot f,$$

Donde

f - coeficiente de fricción, $f = 0,1$, Q - fuerza de apriete

La fuerza de apriete es:

$$Q = \frac{F_{mp}}{f} = \frac{984.25}{0,3} = 3280.83H.$$

3.9 Cálculo de la herramienta de corte

Existen varios parámetros a considerar dentro del cálculo de un cortador para dentado cilíndrico, el cual es similar al cálculo de un engrane como se muestra en la Figura 3.21, es importante mencionar que dichos engranes se diseñan bajo dos sistemas; el sistema internacional (SI) y el sistema inglés (FPS).

Para fines de este trabajo se basa en el sistema internacional, los parámetros principales considerares son:

1. Módulo

Está definido como la relación de paso diametral entre el número de dientes.

$m=1,27$, dato que tiene que ser igual al estriado que va a maquinar, por lo cual se obtuvo del plano de la pieza (Ver anexo Página 3). El número

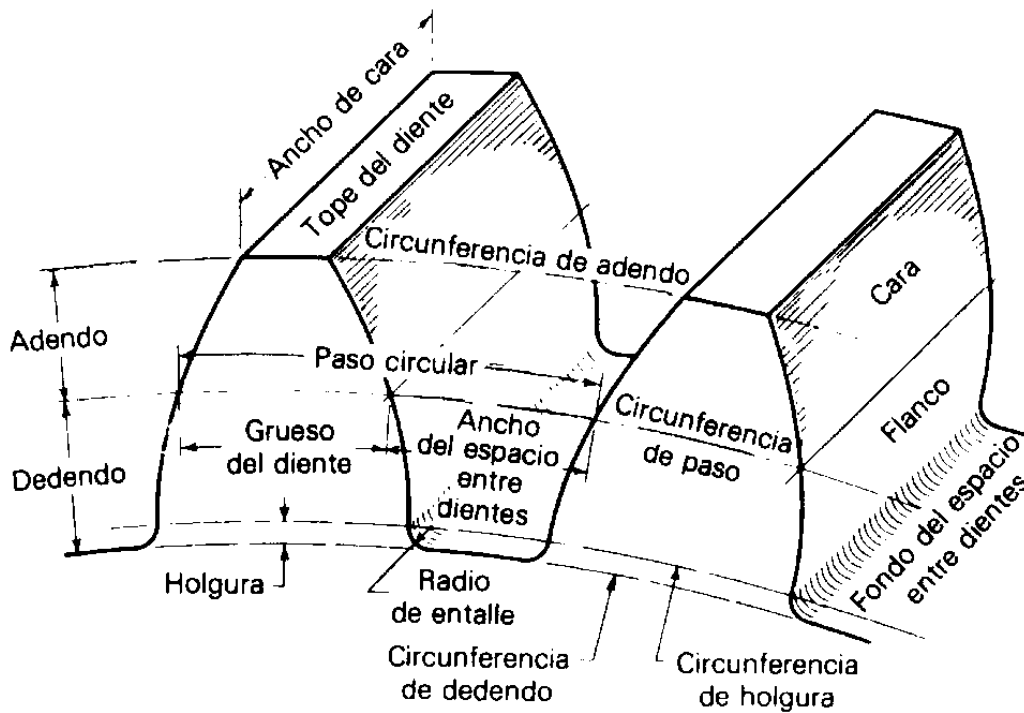


Figura 3.21 Características del engrane.

2. Diámetro primitivo o diámetro base

Es el diámetro de la circunferencia de paso, es decir de la circunferencia donde tiene o se efectúa el contacto de los dientes engranados de dos ruedas. Esta circunferencia de paso es la que sirve de base para los cálculos de diseño como el cálculo de la velocidad de giro, el cálculo de la potencia, etc.

$$d = z * m$$

Donde

z: es el número de dientes

m: es el módulo

$$d = 60 * 1.27 = 76,2 \text{ mm}$$

3. Altura de diente

La altura de un diente depende directamente del módulo, o lo que es lo mismo depende del diseño del cortador tipo engrane; a módulo mayor, diente más grande, a menor módulo diente más pequeño. El diente está dividido en dos partes por la circunferencia de paso, la parte de superior del diente mejor conocida como cabeza de diente o addendum (h_a) y la parte inferior como pie de diente, raíz o dedendum (h_f). La altura del diente es la suma de los valores de la cabeza de diente y del pie de diente, están en función del módulo y son:

Addendum

$$h_a = \frac{6}{6} m$$

$$h_a = 1,27 \text{ mm}$$

Dedendum

$$h_f = \frac{7}{6} m$$

$$h_f = 1,481 \text{ mm}$$

Altura

$$h = h_a + h_f$$

$$h = 2,7516 \text{ mm}$$

4. Diámetro exterior

Como su nombre indica, es el diámetro externo o sea el mayor diámetro. El valor de este diámetro es igual al diámetro primitivo más dos cabezas de diente.

$$da = d + 2 * m = (z + m) + 2 * m$$

$$da = m (z + 2)$$

$$da = 78,74 \text{ mm}$$

5. Diámetro base o interior

Es el diámetro del cilindro en que se asientan los dientes de la rueda dentada. Este diámetro es igual al diámetro primitivo menos dos pies de dientes.

$$df = d - 2 * hf$$

$$df = d - 2 \left(\frac{7}{6} m \right)$$

$$df = d - \frac{7}{3} m$$

$$df = m \left(z - \frac{7}{3} \right)$$

$$df = 73,23 \text{ mm}$$

A continuación se muestra el dimensionado para la generación del dentado, en base a los cálculos previos (ver anexo 5):

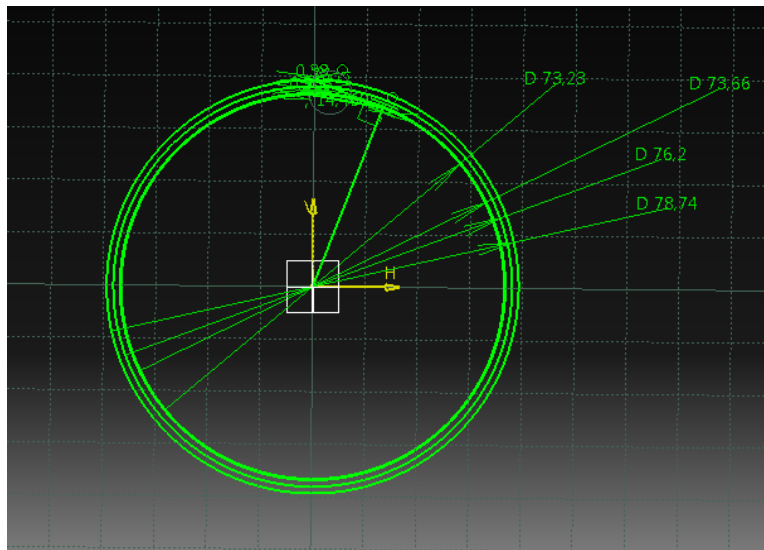


Figura 3.22 Diámetros para la formación del diente.

6. Paso

Es la distancia medida sobre la circunferencia de paso entre dos puntos iguales y consecutivos. El paso es igual al perímetro de la circunferencia de paso dividida para el número de dientes.

$$p = \frac{d * \pi}{z} = \frac{2 * m * \pi}{z}$$

$$p = m * \pi$$

$$p = 3,989$$

7. Espesor de diente

El espesor del diente tiene que ser necesariamente igual a la mitad del paso. Ya que en este caso el diente de la pieza a maquinar tiene que caber en un espacio similar al dejado entre diente y diente de la rueda engranada.

$$s = \frac{p}{2}$$

$$s = 1,99$$

8. Holgura

Al engranar los dientes de dos ruedas dentadas con contacto en la circunferencia de paso, queda un espacio libre entre la cabeza del diente de una rueda y la base del diente de la otra rueda, esto se debe a la diferencia existente entre la cabeza y el pie del diente, este mismo principio se sigue para el cortador tipo engrane y la pieza a maquinar como se muestra en la Figura 3.23. Este juego es importante para el deslizamiento entre los dientes las dos ruedas además que sirve para la lubricación y la disipación del calor.

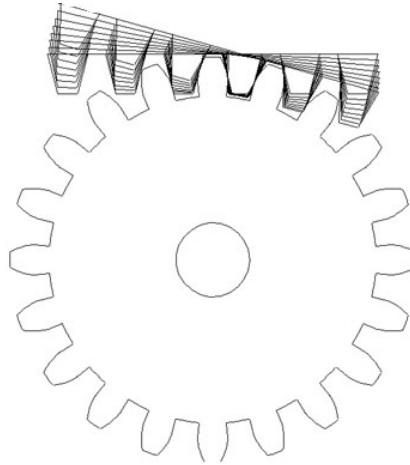


Figura 3.23 Acoplamiento entre pieza y cortador.

Tenemos que el juego es igual a:

$$Sk = ha - hf$$

$$Sk = m - \frac{7}{6}m$$

$$Sk = \frac{m}{6}$$

$$Sk = 0,211 \text{ mm}$$

9. Espesor en la punta del diente

$$So = \sqrt{0,25838 * m - 0,03752}$$

$$So = 0,540 \text{ mm}$$

3.10 Formación del diente del cortador

Las herramientas de corte deben de tener ángulos de corte en su geometría como se muestran en la figura 3.25 los cuales les permita disminuir esfuerzos de corte, estos ángulos ya están estandarizados por lo cual se eligieron de la Tabla 3.1, los cuales se eligieron los datos de la primera fila.

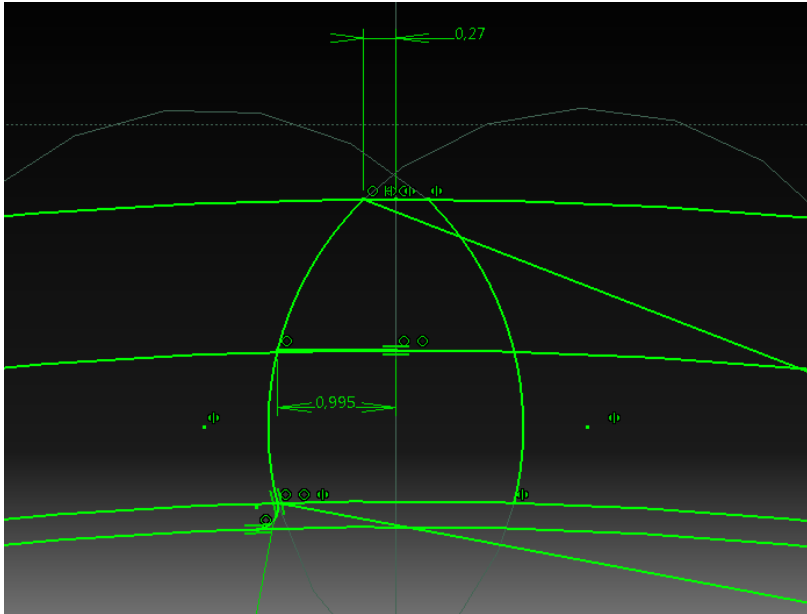


Figura 3.24 Formación del diente para el cortador.

Para la geometría que determina las características del dentado en el cortador esta dado por algunos parámetros ya establecidos, y estos fueron considerados durante la etapa de modelado del mismo en el software CAD; mismos que se muestran a continuación.

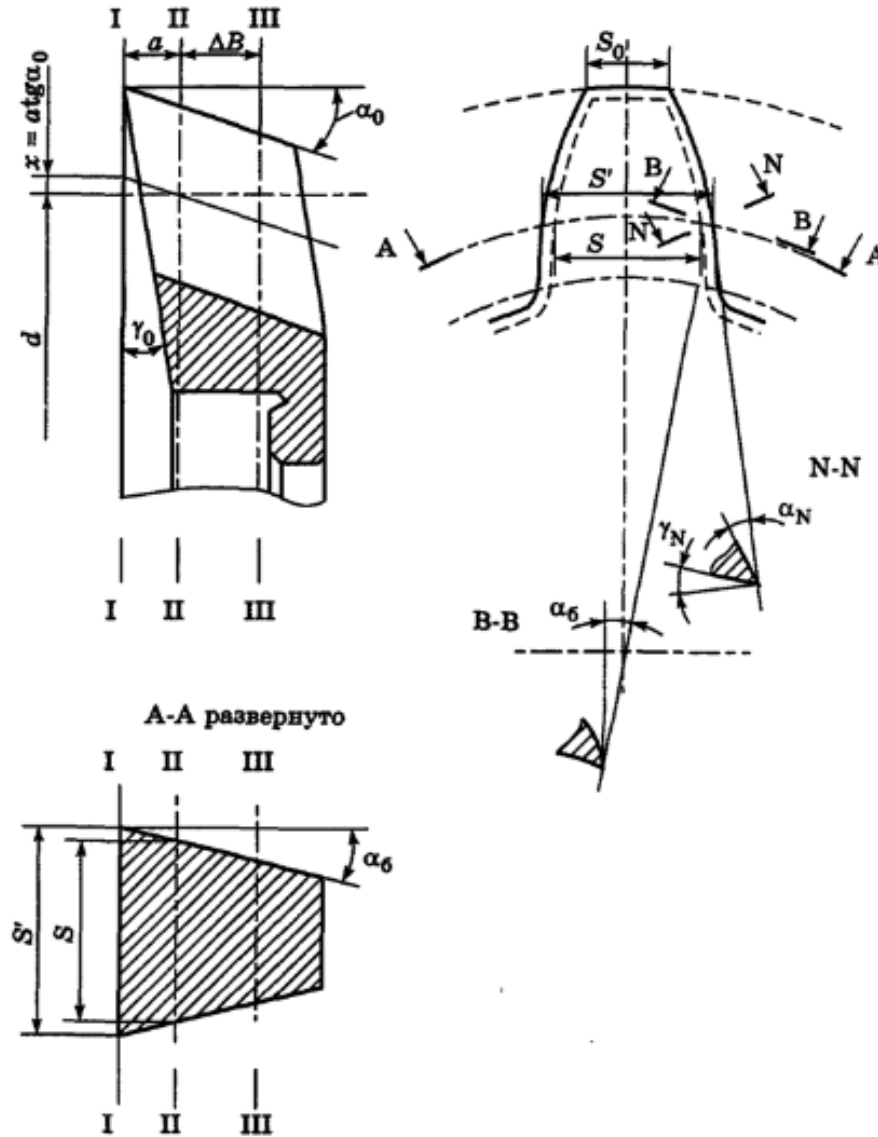


Figura 3.25 Ángulos y dimensiones del diente de corte.

Ángulo frontal:

$$\gamma_a = 5^\circ$$

Ángulo posterior:

$$\alpha_a = 6^\circ$$

Ángulo lateral:

$$\alpha_n = 2^\circ 04' 32''$$

Tabla 3.1 Parámetros para los ángulos externos del cortador.

	γ_a	α_a	α_0	α_n	α_6
20°	5°	6°	20°10'14"	2°04'32"	2°12'40"
20°	5°	9°	20°15'30"	3°08'20"	3°20'44"
20°	10°	6°	20°20'49"	2°05'35"	2°13'58"
20°	10°	9°	20°31'38"	3°10'44"	3°23'38"
20°	15°	9°	20°48'43"	3°13'15"	3°26'42"
20°	17°	9°	20°55'53"	3°14'19"	3°28'04"
20°	17°	12°	21°16'09"	4°24'33"	4°43'48"

Nota:

Los datos tomados de tablas se escogieron con condición de acabado y no de desgaste debido a que es una sola herramienta la encargada de dar la rugosidad final.

3.11 Diseño de la herramienta de corte

Con los datos obtenidos anteriormente de diseño el cortador en un Software CAD, quedando de la siguiente forma (Ver Anexo 5):

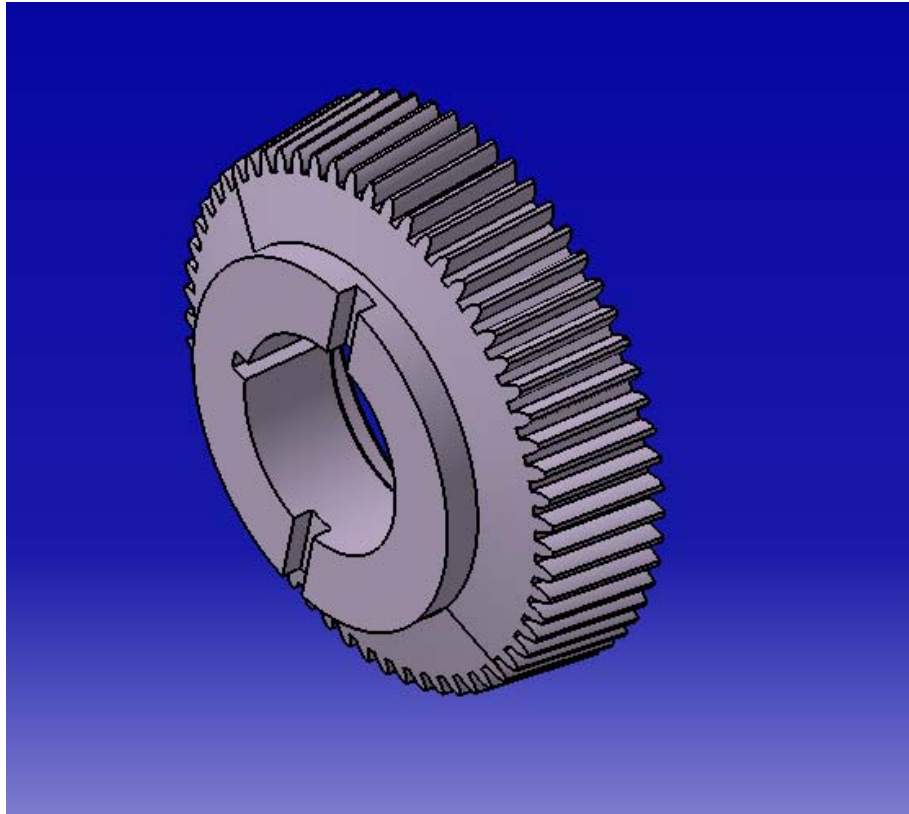


Figura 3.26 Herramienta de corte.

3.12 Características de la herramienta de corte

Las herramientas de corte utilizadas para maquina titanio requieren ser resistentes a la abrasión y al calor, los aceros rápidos presentan una alta resistencia, dureza y tenacidad, acompañada de una buena resistencia al desgaste, los mejores resultados de herramientas de acero rápido se han obtenido con los grados T5, T15, M33 y las series M40.

Se selecciono el acero rápido T15 ya que es utilizado para el maquinado de titanio y por las propiedades que brinda (ver anexo 6)

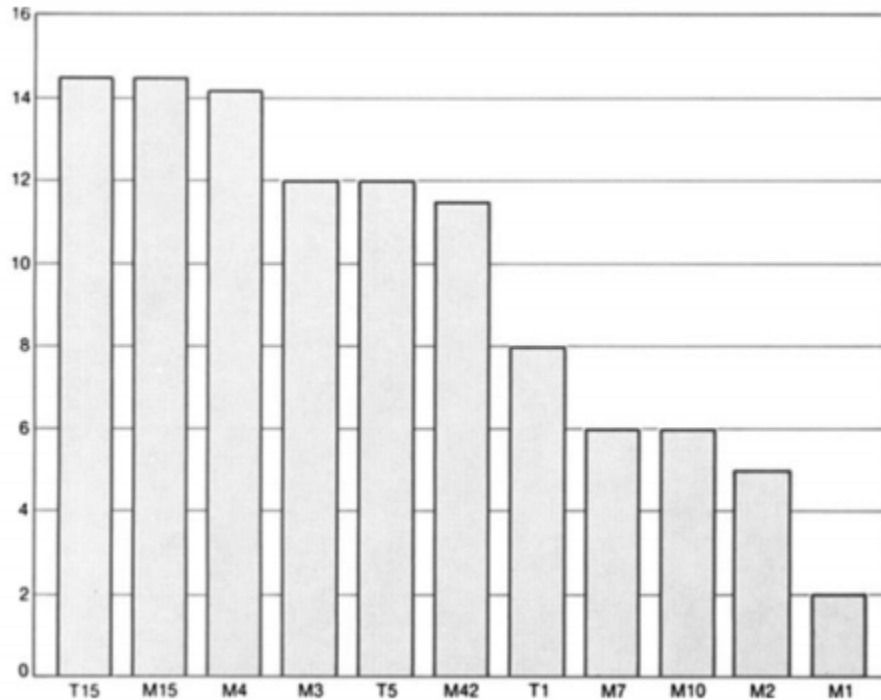


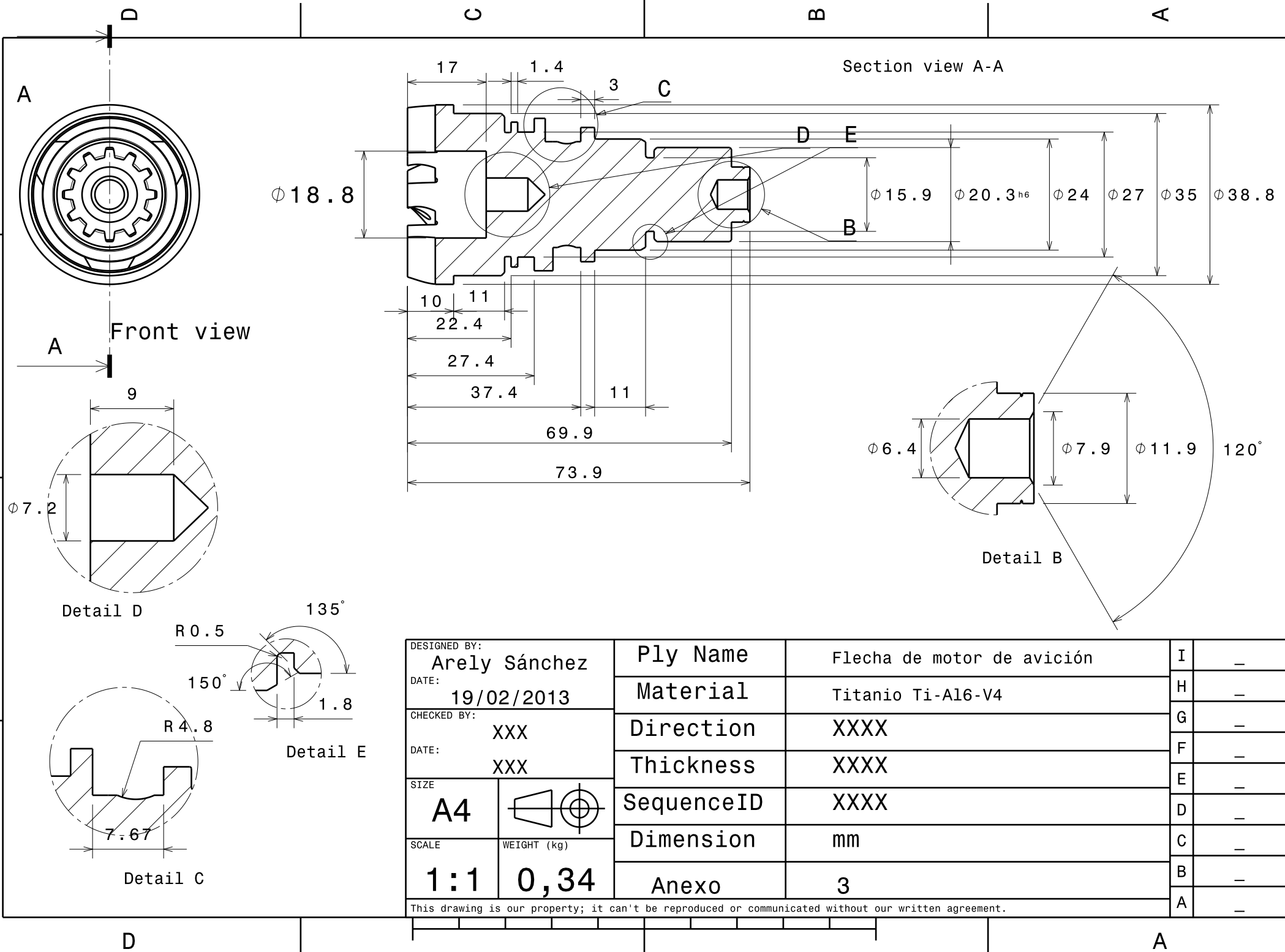
Figura 3.27 Comparación de resistencia abrasiva relativa de dureza típica para cortadores de acero a altas velocidades.

A pesar de los desarrollos tecnológicos en herramientas la productividad del maquinado del titanio sigue limitada, el rendimiento de las herramientas de corte es influenciado por diferentes factores aparte del grado de la herramienta, tales como: la programación de la máquina, métodos de maquinado, las condiciones de máquina y el uso adecuado del refrigerante durante las operaciones de maquinado suele incrementar la vida de la herramienta, también ayuda a disipar el calor y reduce las fuerzas de corte entre la herramienta y la pieza.

Muchas cualidades del refrigerante son necesarias para mantener la pieza y la herramienta en buen estado durante el maquinado a altas velocidades. Los refrigerantes base agua son más eficientes que los de aceite, las bajas velocidades y las operaciones complejas pueden requerir cloruros y sulfuros aceitosos para minimizar las fuerzas de fricción

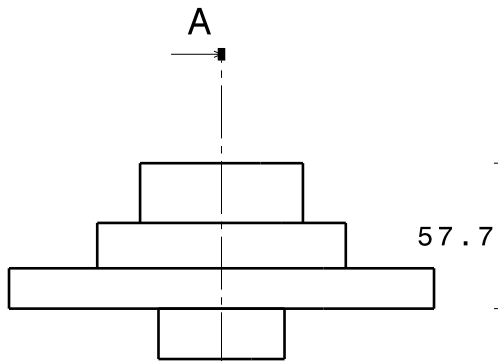
3.13 Conclusión

Los objetivos fueron alcanzados, el diseño de la sujeción cumple con las necesidades de ajuste y apriete de la pieza según los cálculos, los cálculos de la herramienta de corte fueron satisfactorios permitiendo el diseño de éste, el maquinado del Titanio es un tema que sigue desarrollo con mejora continua debido a su complejidad y costo.

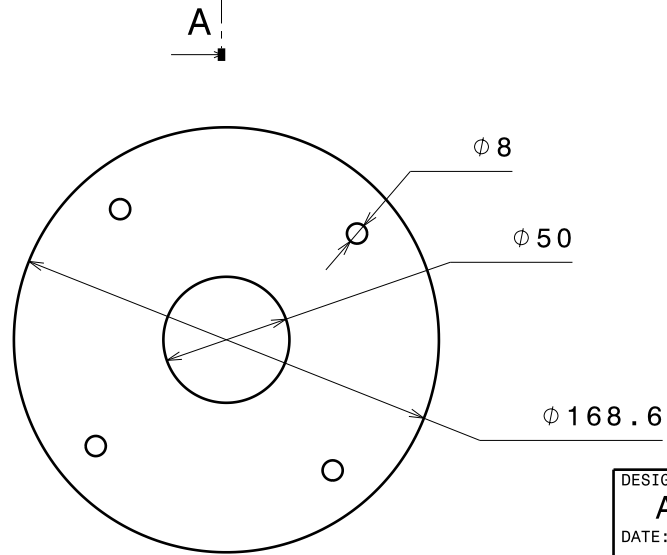


DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Flecha de motor de aviación	I	—
DATE: 19/02/2013		Material	Titanio Ti-Al6-V4	H	—
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	—
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	—
SIZE A4		SequenceID	XXXX	E	—
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,34	Dimension	mm	D	—
		Anexo	3	C	—
				B	—
				A	—

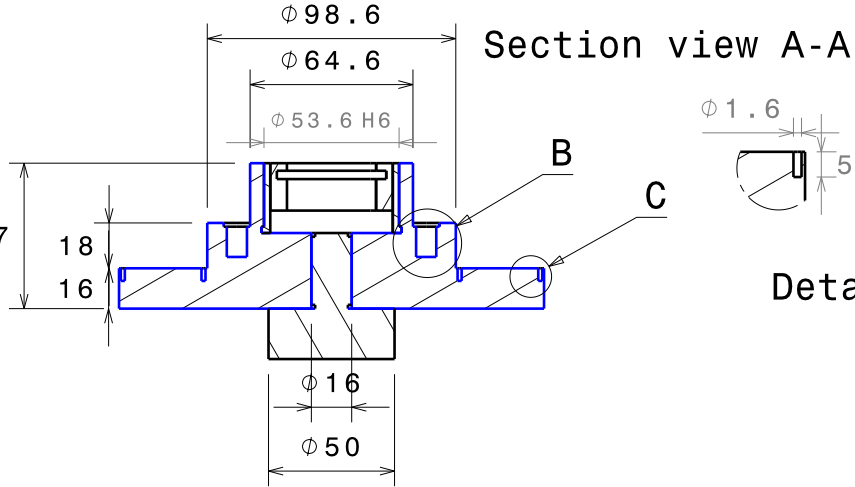
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



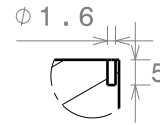
Bottom view
Scale: 1:3



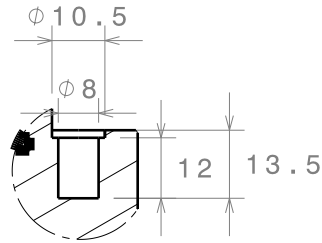
Rear view
Scale: 1:3



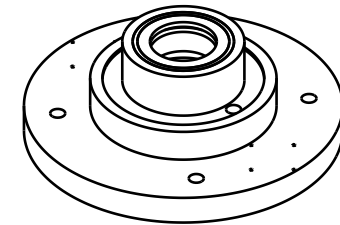
Section view A-A



Detail C



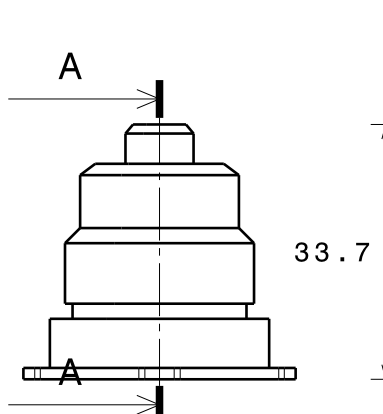
Detail B



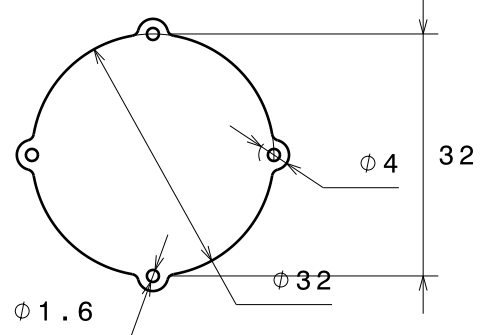
Isometric view
Scale: 1:4

DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Sistema de sujeción	I	-
DATE: 19/02/2013		Material	Acero 1045	H	-
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-
SIZE A4		SequenceID	XXXX	E	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 3,897	Dimensions	mm	D	-
		Anexo	4A	C	-
				B	-
				A	-

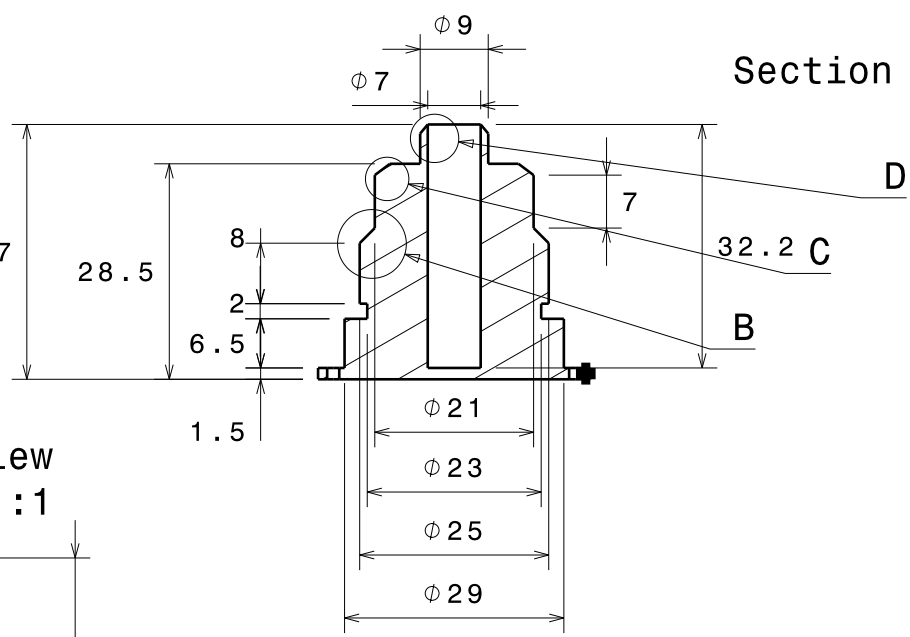
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



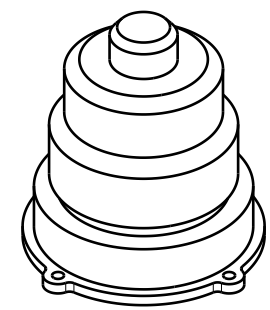
Bottom view
Scale: 1:1



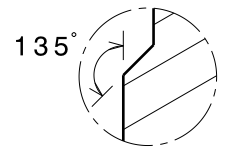
Rear view
Scale: 1:1



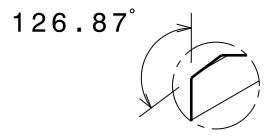
Section view A-A



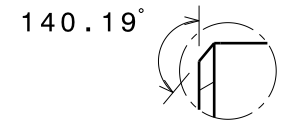
Isometric view
Scale: 1:1



Detail B



Detail C



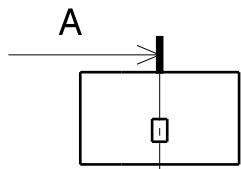
Detail D

DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Cilindro	I	-
DATE: 19/02/2013		Material	Aluminio 1060	H	-
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-
SIZE A4		SequenceID	XXXX	E	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,035	Dimensions	mm	D	-
		Anexo	4B	C	-
				B	-
				A	-

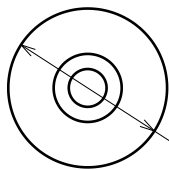
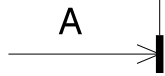
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

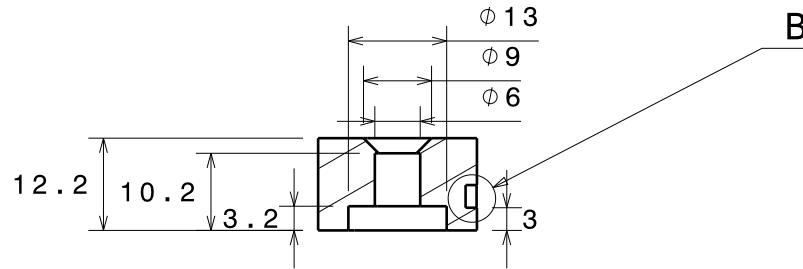


Bottom view
Scale: 1:1

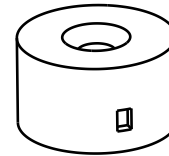


Front view
Scale: 1:1

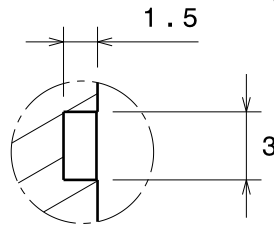
Ø 21



Section view A-A
Scale: 1:1



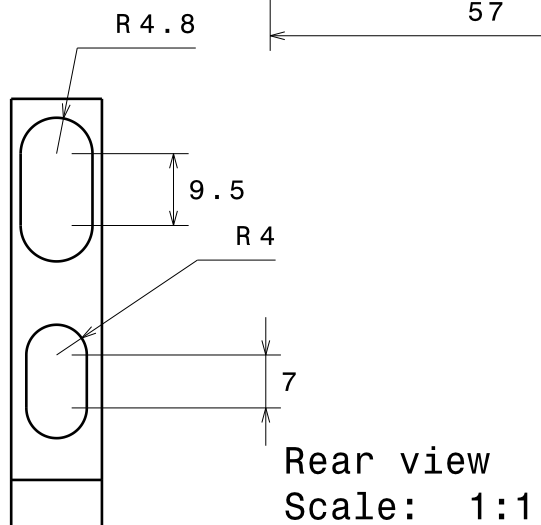
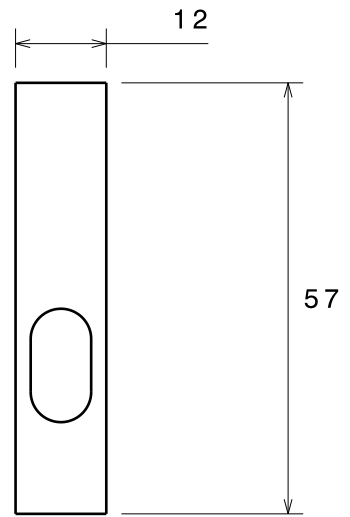
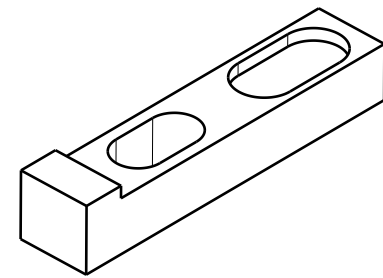
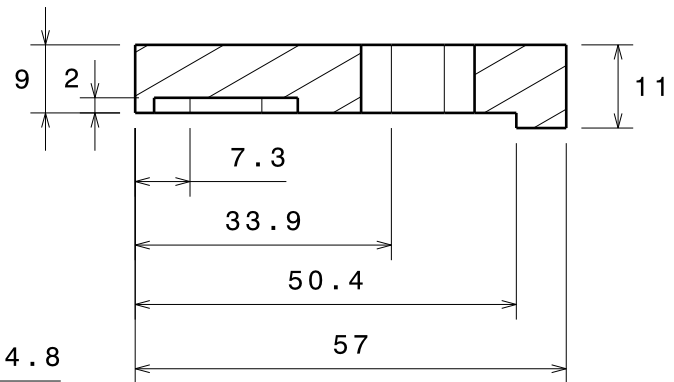
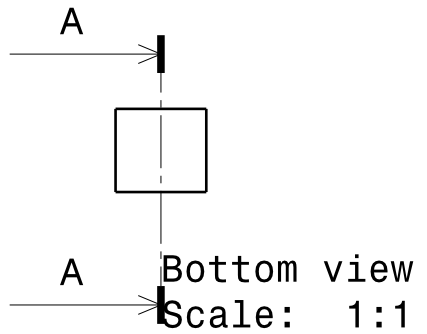
Isometric view
Scale: 1:1



Detail B

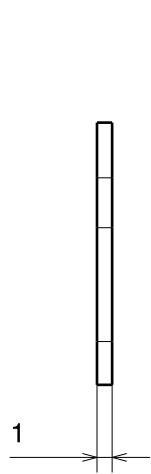
DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Cubierta del cilindro	I	-
DATE: 20/02/2013		Material	Aluminio 1060	H	-
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-
SIZE A4		SequenceID	XXXX	E	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,02	Dimensions	mm	D	-
		Anexo	4C	C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

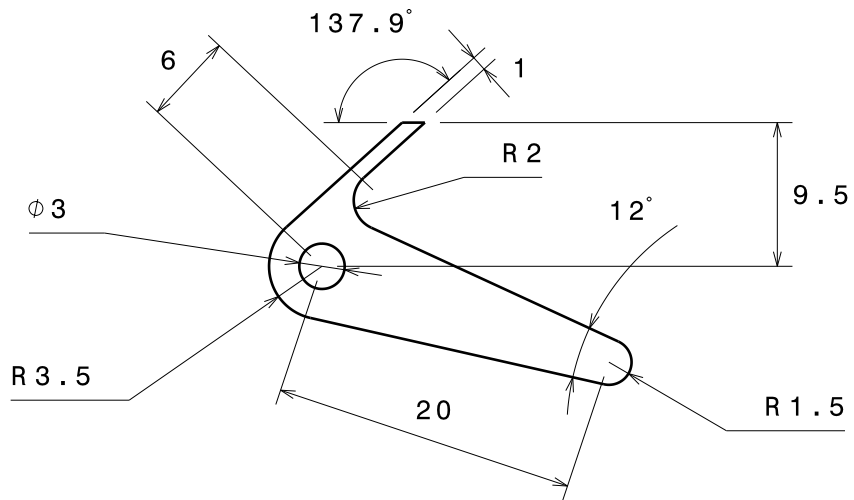


DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Sujetador	I	-
DATE: 20/02/2013		Material	Acero 1045	H	-
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-
SIZE A4		Dimensions	mm	E	-
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,04	GroupID	XXXX	D	-
		Anexo	4D	C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Front view
Scale: 2:1



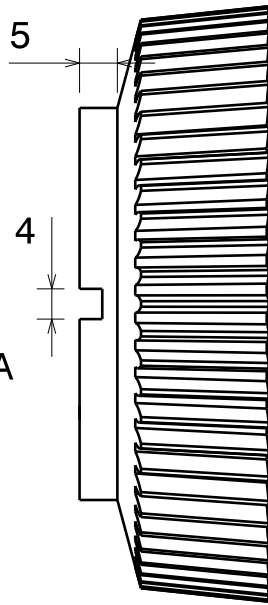
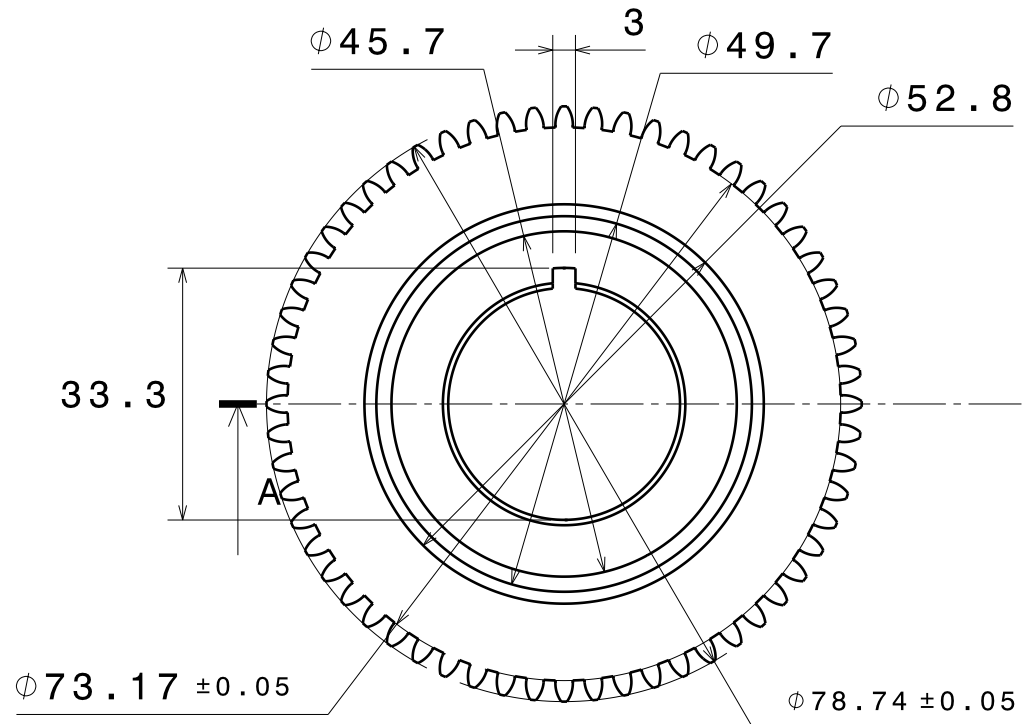
Left view
Scale: 2:1



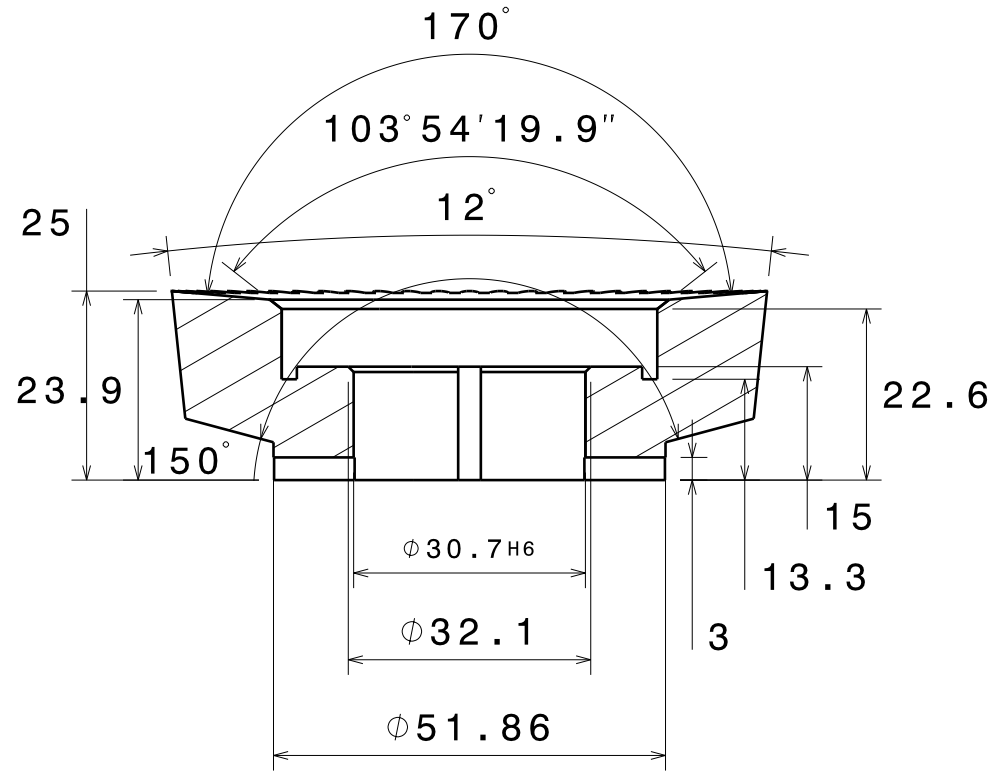
Isometric view
Scale: 2:1

DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Palanca superior	I	-	
DATE: 20/02/2013		Material	XXXX	H	-	
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-	
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-	
SIZE A4		SequenceID	XXXX	E	-	
SCALE 1:1	WEIGHT (kg) 0,001	Dimensions	mm	D	-	
		Anexo	4E	C	-	
					B	-
					A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

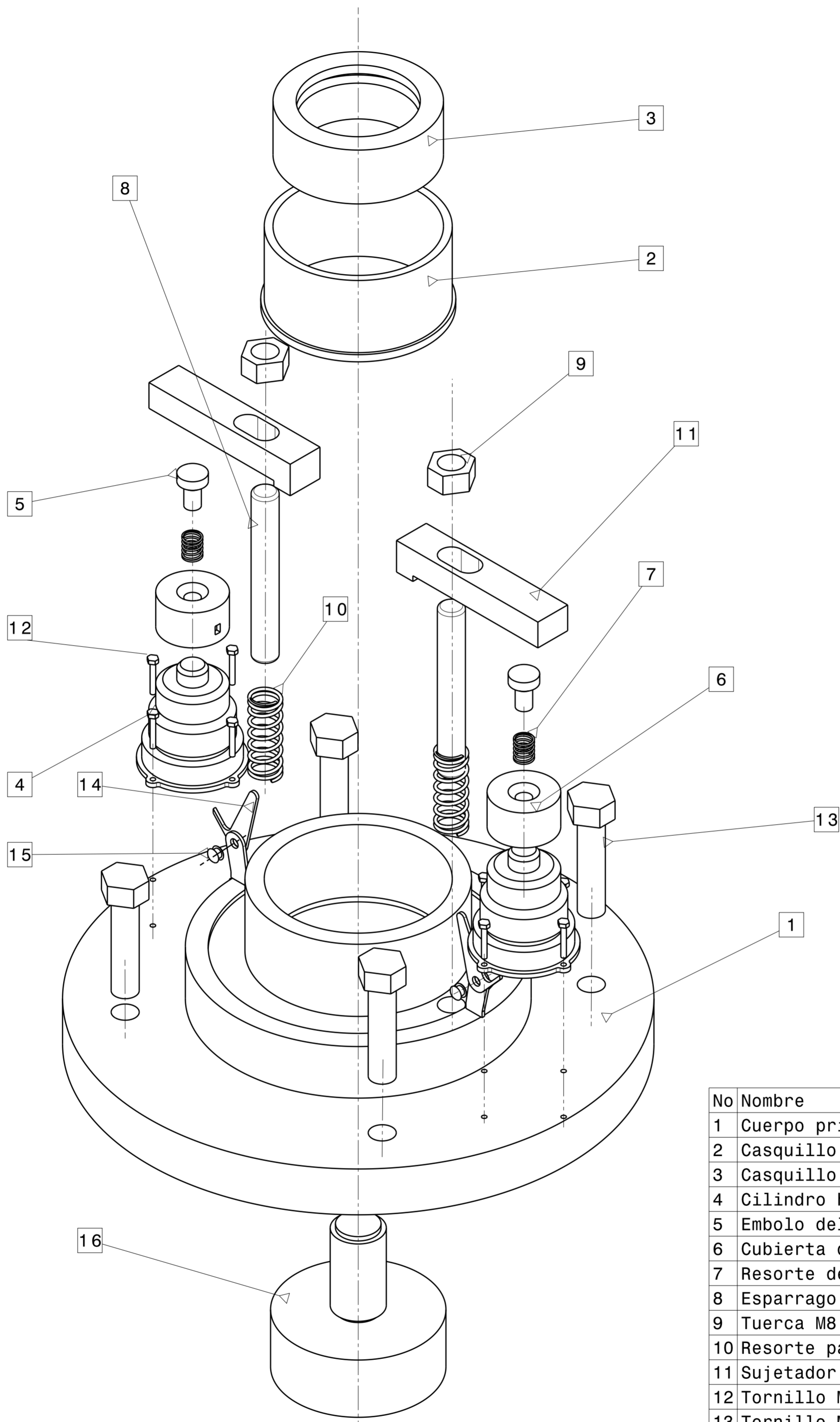


Left view
Scale: 1:1



DESIGNED BY: Arely Sánchez		Ply Name	Herramienta de corte para engranes	I	-
DATE: 18/02/2013		Material	Acero rápido T-15	H	-
CHECKED BY: XXX		Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX		Thickness	XXXX	F	-
SIZE USER		SequenceID	XXXX	E	-
SCALE 1:1		Dimensions	mm	D	-
WEIGHT (kg) 0,23		Anexo	5	C	-
				B	-
				A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.



Isometric view
Scale: 1:1

No	Nombre
1	Cuerpo principal
2	Casquillo exterior
3	Casquillo interior
4	Cilindro hidráulico
5	Embolo del cilindro hidráulico
6	Cubierta de parte superior del émbolo
7	Resorte del émbolo
8	Esparrago M8
9	Tuerca M8
10	Resorte para Tuerca M8
11	Sujetador
12	Tornillo M1.6
13	Tornillo M8
14	Palanca guía
15	Perno de palanca
16	Centrador

DESIGNED BY: Arely Sánchez Tejad	Ply Name	Dispositivo de sujeción	I	-
DATE: 10/03/2013	Material	XXXX	H	-
CHECKED BY: XXX	Direction	XXXX	G	-
DATE: XXX	Thickness	XXXX	F	-
SIZE A2	SequenceID	XXXX	E	-
SCALE 1:1	GroupID	XXXX	D	-
WEIGHT (kg) 4,145	Anexo	6	C	-
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.			B	-
			A	-

Relación de figuras y tablas

Capítulo I Estado del arte

Figura 1.1 Prensa de balancín.

Figura 1.2 Grabado en torno.

Figura 1.3 Mandrinadora de Wilkinson.

Figura 1.4 Taladro de sobremesa.

Figura 1.5 Primera fresadora.

Figura 1.6 Torno para cilindrar de Maudslay.

Figura 1.7 Consola de Whitney.

Figura 1.8 Fresadora universal.

Figura 1.9 Seyanka.

Capítulo II Marco teórico

Figura 2.1 Ejemplo de sistema de sujeción.

Figura 2.2 Diagrama de análisis de optimización de maquinado.

Tablas

Tabla 2.1 Daños y alteraciones en capas adyacentes durante mecanizado.

Tabla 2.2 Daños y alteraciones en capas adyacentes por diferentes formas de energía.

Tabla 2.3 Número máximo de grados de libertad.

Tabla 2.4 Composición de los distintos tipos de aleaciones de Titanio.

Capítulo III Diseño del sistema de sujeción y herramienta de corte

Figura 3.1 Pieza de fundición.

Figura 3.2 Op.015: desbaste lado A y barrenado para contrapunto de la máquina.

Figura 3.3 Op.020: desbaste lado B y barrenado.

Figura 3.4 Op.025: acabado lado A.

Figura 3.5 Op.030: acabado lado B y mandrinado para la caja del barrero.

Figura 3.6 Op.035: Barrenado lado A.

Figura 3.7 Op.040: Barrenados lado B.

Figura 3.8 Op.050: Ranurados y chaflanes.

Figura 3.9 Op.055: estriado de flecha.

Figura 3.10 Op.060: fresado lado B.

Figura 3.11 Op.0.75: fresado de caras laterales.

Figura 3.12 Op.115: fresado de detalles.

Figura 3.13 Esquema para delimitar los grados de libertad.

Figura 3.14 Dispositivo de Sujeción.

Figura 3.15 Pieza de fundición.

Figura 3.16 Pieza maquinada.

Figura 3.17 Componentes de la fuerza total de corte.

Figura 3.18 Esquema de error del centrador en la mesa.

Figura 3.19 Esquema del error permitido en la superficie a sujetar.

Figura 3.20 Esquema del error del dedo del centrador.

Figura 3.21 Características del engrane.

Figura 3.22 Diámetros para la formación del diente.

Figura 3.23 Acoplamiento entre pieza y cortador.

Figura 3.24 Formación del diente para el cortador.

Figura 3.25 Ángulos y dimensiones del diente de corte.

Figura 3.26 Herramienta de corte.

Figura 3.27 Comparación de resistencia abrasiva relativa de dureza típica para cortadores de acero a altas velocidades.

Tablas

Tabla 3.1 Parámetros para los ángulos externos del cortador.

Referencias bibliográficas

- [1] A.Chevalier, **Dibujo Industrial.**
- [2] E. W. Collings, **Materials Properties Handbook: Titanium Alloys.**
- [3] Mikell P. Groover, **Fundamentals of Modern Manufacturing,** Third Edition,
- [4] Mikell P. Groover, **Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos Y Sistemas.**
- [5] Norton Robert L. **Design of machinery,** Second Edition.
- [6] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, **Manufactura, Ingeniería y Tecnología.**
- [7] Sandvik Coromant, **Aplication Guide, Titnium Machining,** C-2920:22 ENG/01 AC, (2004)
- [8] Sandvik Coromant, **Tecnología de Mecanizado, Guía Técnica,** C-2900:7 SPA/02 AB, (2010)
- [9] Universidad de Sevilla, **Temas Actuales en Ciencia de Materiales,**

Páginas web de apoyo

- [10] www.asminternational.org
- [11] <http://asm.matweb.com>
- [12] <http://www.tornilleriareche.com>