



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

UNIDAD PROFESIONAL TICOMÁN

“DISEÑO Y MANUFACTURA DE PROTOTIPO DE FRESADORA VERTICAL CNC”

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN AERONÁUTICA

PRESENTAN:

LÓPEZ BAZ ALAN ALBERTO

ORTIZ BELTRÁN ERICK

PADILLA PIZAÑO GUADALUPE MONCERRAT

TABARES FLORES HÉCTOR

ASESORES:

ING. GUSTAVO ZAMUDIO RODRÍGUEZ.

ING. JORGE ALBERTO JINES GUERRERO

MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE 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
DEBERÁN PRESENTAR: LOS CC. PASANTES:
LÓPEZ BAZ ALAN ALBERTO
ORTIZ BELTRÁN ERICK
PADILLA PIZAÑO GUADALUPE MONCERRAT
TABARES FLORES HÉCTOR

“DISEÑO Y MANUFACTURA DE PROTOTIPO DE FRESADORA VERTICAL CNC”

	CONTENIDO
	RESUMEN
	OBJETIVO GENERAL
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
	JUSTIFICACIÓN
	ALCANCES
	ESTADO DEL ARTE
CAPÍTULO I	MARCO TEÓRICO
CAPÍTULO II	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD
CAPÍTULO III	COMPONENTES ELÉCTRICO ELECTRÓNICOS PARA LA FRESADORA CNC VERTICAL
CAPÍTULO IV	DISEÑO
CAPÍTULO V	MANUFACTURA
CAPÍTULO VI	ANÁLISIS DE COSTOS
CAPÍTULO VII	RESULTADOS Y CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFÍA
	APÉNDICE A
	LISTA DE FIGURAS
	LISTA DE TABLAS

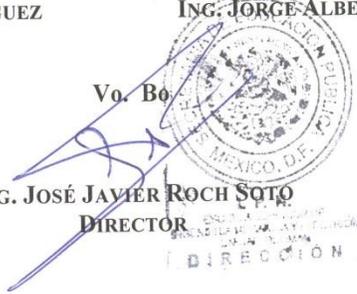
México, DF., a 20 de septiembre de 2013.

A S E S O R


ING. GUSTAVO ZAMUDIO RODRÍGUEZ


ING. JORGE ALBERTO JINES GUERRERO

Vo. Bo.


ING. JOSÉ JAVIER ROCH SOTO
DIRECTOR

DIRECCIÓN

ÍNDICE

Contenido

Resumen.....	7
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Justificación.....	8
Alcances.....	9
ESTADO DEL ARTE.....	9
CAPITULO I MARCO TEORICO.....	11
1.1 Consideraciones en el diseño para la manufactura.....	11
1.2 El diseño como parte de la Manufactura.....	11
1.3 La planeación en la Manufactura.....	12
1.3 Tecnología CAD.....	12
1.4 Tecnología CAM.....	12
1.5 Sistemas CAD/CAM.....	12
1.6 Ventajas de implementar sistemas CAD/CAM.....	13
1.7 Importación y exportación de archivos.....	14
1.8 Extensión de archivos.....	14
CAPITULO II ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	15
2.1 Identificación del cliente.....	16
2.2 Requerimientos del cliente.....	16
2.3 Estructura de la encuesta.....	16
2.4 Aplicación de la encuesta.....	16
2.5 Determinación de la importancia relativa de los requerimientos del cliente.....	18
2.6 Estudio comparativo con la competencia (BENCHMARKING).....	20
2.7 Fichas técnicas de los productos ya establecidos en el mercado.....	20
2.8 Traducción de los requerimientos del cliente en términos de ingeniería.....	21
2.9 Matriz de relaciones.....	21
2.10 Evaluación de importancia.....	21
2.11 Evaluación de ingeniería.....	22

2.12 Matriz de correlación (CASA DE LA CALIDAD)	22
CAPITULO III Componentes eléctrico electrónicos para la fresadora CNC vertical.....	24
3.1 Motores a pasos	24
3.2 Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares.....	27
3.3 Construcción de una fuente variable	32
CAPITULO IV DISEÑO	35
4.1 Memoria de cálculo	35
4.1.1 Potencia de maquinado.....	35
4.1.2 Potencia, torque y empuje de barrenado	39
4.1.3 Resultados del cálculo de potencia de maquinado.....	45
4.1.4 Resultados para el cálculo de empuje torque y potencia del barrenado.....	51
4.2 Modelado	56
4.2.1 Lista de partes del prototipo	58
4.3 Análisis de esfuerzos de la fresadora CNC.....	59
4.4 Selección de materia prima y componentes en el mercado	63
4.5 Tolerancias Geométricas y Dimensionales GD&T	67
4.5.1 Memoria de Cálculos para consideraciones de tolerancia.....	69
4.6 Generación de planos (Ensamble, Diseño y Manufactura)	73
CAPITULO V MANUFACTURA.....	74
5.1 Fundamentos del corte	74
5.2 Tipos de viruta producida en el corte de metales.....	76
5.2.1 Virutas continuas.....	76
5.2.2 Virutas de borde acumulado o recrecido.....	77
5.2.3 Virutas escalonadas o segmentadas.....	78
5.2.4 Virutas discontinuas	79
5.3 Despostillamiento.....	79
5.4 Maquinabilidad.....	80
5.4.1 Maquinabilidad de los aceros.....	80
5.4.2 Aceros resulturados y refosforados.....	80
5.4.3 Aceros con plomo.....	81
5.4.4 Aceros desoxidados con calcio	81
5.4.5 Otros elementos influyentes en la maquinabilidad del acero	81

5.4.6 Maquinabilidad del aluminio y otros metales.....	82
5.5 La fresadora.....	83
5.6 Operaciones de fresado.....	84
5.6.1 Fresado plano o periférico.....	84
5.6.2 Fresado convencional.....	84
5.6.3 Fresado concurrente.....	85
5.7 Rectificado.....	85
5.8 Sujeción de la pieza a maquinar.....	87
5.8.1 Importancia de la sujeción de la pieza.....	87
5.8.2 Sujetadores modulares.....	89
5.8.3 Consideraciones de diseño para la sujeción de piezas.....	89
5.8.4 Elementos de Jigs y Fixtures para cada operación.....	90
5.9 Fluidos de corte.....	97
5.9.1 Elección del producto más adecuado para cada operación.....	98
5.9.2 Refrigeración durante el fresado.....	100
5.10 Planificación para la manufactura de los componentes de la fresadora CNC.....	101
5.10.1 Plan de Proceso o de Manufactura para los componentes de la Fresadora CNC.....	103
5.10.2 Hojas de ruta.....	113
Hoja de ruta.....	113
Hoja de ruta 1.....	113
Hoja de ruta 2.....	114
Hoja de ruta 3.....	114
5.10.3 Lista de operaciones.....	115
Lista de operaciones 1.....	115
Lista de operaciones 2.....	122
Lista de operaciones 3.....	125
5.10.4 Inspección.....	126
5.11 Velocidades de corte.....	129
5.12 Avances.....	130
5.13 Herramientas de corte.....	131
CAPITULO VI ANALISIS DE COSTO.....	132
6.1 Insumos.....	132

6.2 Cotización de materia prima y componentes.....	132
6.3 Mano de obra	133
. 6.4 Servicios y suministros.....	134
CAPITULO VII RESULTADOS Y CONCLUSIONES	134
7.1 Resultados y Conclusiones	134
Lista de operaciones 1	135
Bibliografía.....	137
APÉNDICE A	139
Lista de figuras.....	140
Lista de tablas.....	143

Resumen

En el presente trabajo se analizarán los requerimientos técnicos y económicos para diseñar un prototipo de una máquina fresadora CNC de fresado vertical así como los requerimientos para su manufactura. Este prototipo representará innovación en el sentido de su portabilidad así como la oportunidad que ofrece al poder manufacturar piezas pequeñas de forma eficiente y rápida con un grado aceptable de precisión.

Cabe mencionar que se considerará como portátil comparándola con una máquina convencional CNC que es más robusta y por tanto con otra dimensión y peso. Esta máquina no necesitar ser desensamblada para su traslado. El elemento más pesado es la mesa con aproximadamente 40kg y todo el ensamble está alrededor de los 60-63 kg con los motores incluidos que son 6kg aproximadamente, las dimensiones las limitaremos a 500 x 500 x 500 mm. Con estas características la máquina puede ser fácilmente trasladada entre tres personas de talla pequeña sin necesidad de montacargas.

Se diseñará el modelado de los elementos mecánicos con ayuda de software de diseño asistido por computadora (CATIA V5 R21), los cuales se ensamblarán generando el diseño del prototipo de la máquina fresadora, posteriormente se llevará a cabo un análisis de elemento finito para localizar los esfuerzos a los cuales estará sometida la máquina en condiciones críticas mediante herramientas de ingeniería asistida por computadora, con este análisis se obtendrán pautas para la selección de los materiales con los que se manufacturará el prototipo, así como la selección de los componentes que se adquirirán en caso de estar disponibles en el mercado. Con los datos obtenidos tanto del modelado como el análisis se obtendrán los planos de detalle de los elementos mecánicos.

Posteriormente se analizarán y establecerán los procesos de manufactura, la planeación de los mismos, así como la selección de las herramientas y parámetros de corte para la manufactura del prototipo. Por último se analizarán los costos y tiempos de fabricación directos e indirectos, los cuales se traducirán en capital para la adquisición de materiales y componentes, tiempos hombre-máquina y energía eléctrica, así como las posibles mejoras del proyecto.

Objetivo general

Diseñar y Manufacturar componentes principales de un prototipo de máquina fresadora CNC vertical a partir de los principios de funcionamiento de una máquina CNC. Logrando así un prototipo de un producto de bajo costo con enfoque hacia en el sector PYMES.

Objetivos específicos

- Diseñar el prototipo de una máquina fresadora CNC vertical.
- Modelar el diseño conceptual de los componentes principales de la maquina fresadora CNC en el software CATIA V5.
- Realizar el análisis de esfuerzos de la fresadora CNC vertical (puente, soportes, mesa y soporte de herramienta) mediante el software ANSYS 14.3
- Selección de componentes existentes en el mercado.
- Desarrollo del proceso de manufactura de los componentes principales.
- Determinación de los costos de fabricación del prototipo.

Justificación

Oportunidad

Está investigación apoyará al sector de la manufactura con nuevos prototipos de máquinas CNC con un grado de precisión aceptable

Relevancia Social

Actualmente el hecho de que no se comercialicen máquinas y herramientas con grandes capacidades de trabajo pero de pequeña escala provoca que los pequeños y medianos empresarios PYMES tengan que adquirir los mismos equipos que las industrias grandes, provocando que sea muy difícil costear los gastos ya que estos tienen menores ingresos que estas grandes industrias, aunado a esto el gran espacio que necesitan estos herramientas para una buena operación.

El generar nuevos prototipos funcionales beneficiaria a las PYMES ya que con un menor precio pueden adquirir estas máquinas y herramientas para poder así elevar su producción sin la necesidad de contar con un espacio con grandes dimensiones.

Implicación práctica

Dado a lo simple del diseño, lo fácil de ensamblar y de trasladar se ha logrado una reducción de espacio al utilizar los elementos más esenciales en el funcionamiento por lo cual se tiene una maquina compacta, que puede utilizarse rápidamente y en lugares donde no se cuenta con mucho espacio como talleres, pequeñas fábricas e inclusive en cocheras donde se pueden fabricar los más diversos productos con un bajo costo.

Alcances

Se fabricara un modelo el cual funcionará y hará la manufactura de piezas con una precisión aceptable para la producción de un taller de la pequeña y mediana empresa, inclusive en talleres caseros e instituciones de educación para prácticas demostrativas. En cuanto a la precisión está va de la mano con el precio de los elementos husillos y motores. Este momento se considera una precisión de 0.0254mm, contando con motor a pasos de 200 pulsos/revolución con husillos de 5.08mm de paso.

Se hará un producto con la calidad suficiente (resistencia y durabilidad optima) para maquinar materiales metálicos como un acero de baja dureza, aluminio, nylamid, acrílico, madera y sus derivados. .

El proyecto servirá como una guía práctica de ingeniería y de manufactura al aplicar metodologías teóricas, analíticas y experimentales con el fin de crear un prototipo funcional y aplicable en la industria.

Se desarrollara un producto con la calidad óptima para poderse introducir en un mercado que abarque taller de pequeña y mediana producción PYMES.

Esta prototipo será económico logrando ser competitivo en su fabricación usando productos de bajo costo, nacionales y pensando en el poder adquisitivo del mercado a que estará dirigido.

Debido a su diseño asistido mediante el software (CATIA) se facilitara la obtención de planos detallados para procesos de manufactura.

ESTADO DEL ARTE

En principio, contrariamente a lo que se pudiera pensar, el Control Numérico de Máquinas Herramientas no fue concebido para mejorar los procesos de fabricación, sino para dar solución a problemas técnicos surgidos a consecuencia del diseño de piezas cada vez más difíciles de mecanizar.

La dificultad provenía de combinar los movimientos del útil simultáneamente según varios ejes de coordenadas, hallando el perfil deseado. Se acordó entonces confiar los cálculos a una máquina automática que definiera gran número de puntos de la trayectoria, siendo el útil conducido sucesivamente de uno a otro.

Hoy día este tipo de maquinarias está siendo implementada en casi todo tipo de fábricas y desde el año 2000 el 85 % de la producción industrial del mundo ya se realiza con este tipo de máquinas. Nuestro país no es ajeno a esta industrialización y puede apreciarse que actualmente este sistema se encuentra en plena difusión y las máquinas herramientas comandadas por control numérico, principalmente tornos y fresadoras, se incorporan a pequeñas y medianas empresas en número creciente.

Las máquinas CNC han ido evolucionando desde su desarrollo e implementación en las diferentes industrias. Existen pequeñas y medianas empresas de la rama de la manufactura como Genesis Industrial las cuales han desarrollado prototipos similares de máquinas CNC en formatos pequeños

los cuales son funcionales para manufacturar materiales blandos y piezas pequeñas. Estas máquinas tienen una bancada reducida debido al desplazamiento limitado que pueden tener a lo largo de sus ejes X, Y o Z, sin embargo son prototipos versátiles que permiten una manufactura rápida de partes sencillas con un grado de precisión aceptable.



Figura 1.0.1 Prototipo de máquina CNC. Fuente: Génesis industrial.

Existe una variedad de prototipos de máquinas fresadora CNC de tamaños pequeños las cuales se encuentran clasificadas como routers CNC los cuales pueden ser construidos con diferentes grados de precisión dependiendo de la combinación de piezas mecánicas y electrónicas que se implementen en el diseño de las mismas para alcanzar mayores grados de precisión. Para este fin se requiere invertir una cantidad de dinero mayor debido a que entre mayor precisión tengan los componentes, mayor es el precio de los mismos.

CAPITULO I MARCO TEORICO

1.1 Consideraciones en el diseño para la manufactura

El diseño de máquinas y herramientas e incluso el de partes y componentes exige una gran experiencia y conocimientos, debido a la diversidad de materiales, procesos y aplicaciones.

En la década de 1980 la aparición del diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM) han revolucionado el diseño de piezas y componentes perfeccionando:

- El diseño
- La competencia en el mercado
- La calidad y rentabilidad

Ya que en la mayoría de los diseños debe conseguirse un equilibrio entre la funcionalidad de las partes o componentes diseñados, buen aspecto, producción eficaz y la reducción de costos.

Para lograr estas características hay que tomarse ciertas consideraciones sobre:

El material:

Respecto al impacto económico y propiedades mecánicas de este para cumplir con los objetivos deseados

El diseño

Principalmente se debe tener en cuenta el fin de la piezas o componentes que se vayan a diseñar y las normas que ayudan a interpretar este o estos diseños en cualquier parte del mundo, en base a este es posible tratar otros aspectos tales como tolerancias dimensionales, acabado, líneas de división etc.

1.2 El diseño como parte de la Manufactura

El diseño para la manufactura debe iniciar desde una fase de investigación de mercado y continuar a través del diseño conceptual y el diseño de detalle. Es importante diferenciar entre el diseño conceptual ya que va dirigido hacia el producto y la fase de diseño que va enfocado hacia los componentes que conforman el producto.

La primera (Diseño conceptual) tiene mayor importancia ya que se concentra en el problema fundamental y sirve para darle la forma general y la estructura del producto, el número de componentes y su efecto sobre el costo total de fabricación.

Mientras que el Diseño de detalle denota las tolerancias, los materiales y la determinación de los procesos para la fabricación del producto.

1.3 La planeación en la Manufactura

La planeación como parte fundamental de cualquier sistema de producción en este caso la manufactura es de gran importancia y relevancia.

La planificación eficaz es fundamental en cualquier proceso de manufactura, es un proceso complejo que abarca una amplia variedad de actividades que aseguren que los materiales, equipos, herramientas, suministros y recursos humanos estén disponibles y en sus mejores condiciones para completar el trabajo.

En la manufactura la planeación puede entenderse como una hoja de ruta la cual nos ayudara a tener el producto terminado contando con cada uno de las características y requerimientos que se obtuvieron en el diseño conceptual. Esto nos ayudara a saber a dónde va y cuánto tiempo tomara obtener el producto terminado.

Las principales ventajas de contar con un plan de producción es que:

- Reduce el trabajo
- Elimina tiempos muertos
- Optimiza el uso del equipo y de las herramientas
- Mejora el tiempo de entrega del producto terminado

1.3 Tecnología CAD

CAD (Computer Aided Design, Diseño Asistido por Computadora) abarca el uso de un amplio uso de herramientas computacionales, orientadas principalmente al área ingenieril, con el objetivo de diseñar elementos propios de sus actividades. Esta herramienta permite la especificación de elementos en 2D Y 3D

Esta tecnología implica el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. De esta forma cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software de CAD.

1.4 Tecnología CAM

CAM (Computer Aided Manufacture, Manufactura Asistida por Computadora) es una herramienta la cual necesita de computadores y tecnología avanzada en todas las fases de manufactura de un producto reduciendo al mismo tiempo al mínimo la intervención del operario.

Comúnmente se refiere al uso de software computacionales de control numérico (CN) para crear instrucciones detalladas mediante un código G los cuales permiten a las máquinas-herramienta manufacturar partes controladas numéricamente (CNC).

1.5 Sistemas CAD/CAM

Son consideradas herramientas informáticas las cuales nos permiten diseñar piezas y realizar cálculos muy confiables sobre sus dimensiones, peso, volumen, esfuerzos, etc. Sin tener que realizar alguno de estos cálculos físicamente, lo que nos permite fabricar piezas reduciendo así tiempo y costo.

Muchos de estos sistemas CAD/CAM que están actualmente en uso, fueron diseñados y pensados para automatizar funciones manuales, independientemente si la función a cumplir es un análisis ingenieril, un modelo, un diseño conceptual o la programación de la maquinaria de manufactura.

El CAD/CAM se utiliza de distintas formas. Para producción de dibujo, análisis de ingeniería, control de procesos, control de calidad, etc. Por lo tanto, para entender las técnicas del sistema CAD/CAM, se hace necesario estudiar las distintas actividades y etapas que deben realizarse en el diseño y manufactura de un producto.

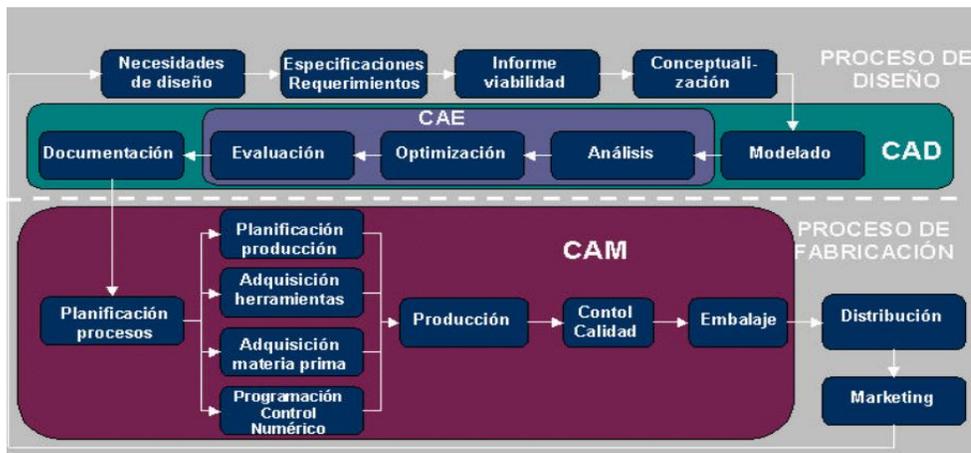


Figura 1.0.1 Proceso típico de un producto

1.6 Ventajas de implementar sistemas CAD/CAM

- Disminución del ciclo de producción
- Integración de la ingeniería a funciones como el diseño, análisis y manufactura
- Incrementa la productividad
- Disminuye tiempos de dirección de procesos
- Planeación eficiente y control de la calidad
- Mejora el control de procesos de producción
- Reducción de costos de producción
- Precios más competitivos de los productos ofrecidos
- Mayor precisión y rapidez durante la creación de diseños.

1.7 Importación y exportación de archivos

Importar puede entenderse como traer de otra parte algo. En informática la función importar se utiliza para incorporar a una aplicación objetos, documentos u otro tipo de archivos que fueron creados en otra aplicación o programa y de igual forma para versiones antigua de estas aplicaciones y programas.

Exportar en informática es transferir datos desde un programa hacia otro. Este pase puede ser directo o a través de archivos compatibles para ambos programas. El programa emisor exporta los datos permitiendo que el programa receptor los reconozca, combinando así el potencial de cada una de estas aplicaciones para así disminuir el trabajo, reducir tiempos y lograr un resultado cercano o igual a lo planteado.

1.8 Extensión de archivos

La extensión de un archivo es una denominación generalmente de caracteres alfanuméricos que se añaden al final de un nombre del archivo, cuya principal función es diferenciar el contenido del archivo de modo que el sistema operativo disponga el procedimiento necesario para ejecutarlo o interpretarlo.

Para la industria de la manufactura es de gran relevancia conocer en primera, las ventajas que nos ofrecen estas herramientas CAD/CAM y cómo es que podemos exportarlas e importarlas hacia otros programas que nos ayudaran a cumplir con todos los requerimientos de ingeniería y los requerimientos del cliente.

Si el primer paso es modelar la pieza a manufacturar en 3D, existen aplicaciones muy potentes para este tipo de tareas, como lo es CATIA (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) en sus siglas en inglés, desarrollado por Dassault Systemes, por su excelente manejo de superficies complejas, lo cual permite trabajar superficies avanzadas y sólidos complejos. Cuando se genera un modelo en 3D en este excelente programa se genera una extensión de tipo **.CATpart**. La cual permite abrir esta pieza en otros programas como lo es ANSYS el cual nos permitirá calcular los esfuerzos a los que está sometida dicha pieza, cuando se ha realizado dicho análisis el documento puede ser guardado con extensión **.wbpj** (Workbench and use for a Project files) el cual nos permite realizar análisis multifísicos complejos.

Cuando se habla de manufactura y nuestro modelo ya está listo para ser maquinado muchas veces es necesario exportar este archivo en **.IGES** (Initial 2D/3D Graphics Exchange Specification) por sus siglas en inglés el cual surge de la estandarización de archivos de tipo CAD, dicha extensión nos ayuda a mantener el archivo en un formato del tipo gráfico es decir, se conserva la forma de la pieza modelada.

Pero esto no significa que sea la mejor extensión o que cumpla con los requisitos necesarios para algún proceso de manufactura. Como por ejemplo la extensión **.stp**, los cuales son ficheros de intercambio de dibujo para modelos 3D convenientes para trabajarse en MasterCam V9.1 ya que el archivo es interpretado como superficie, el cual es de gran ayuda para realizar trayectorias de corte.

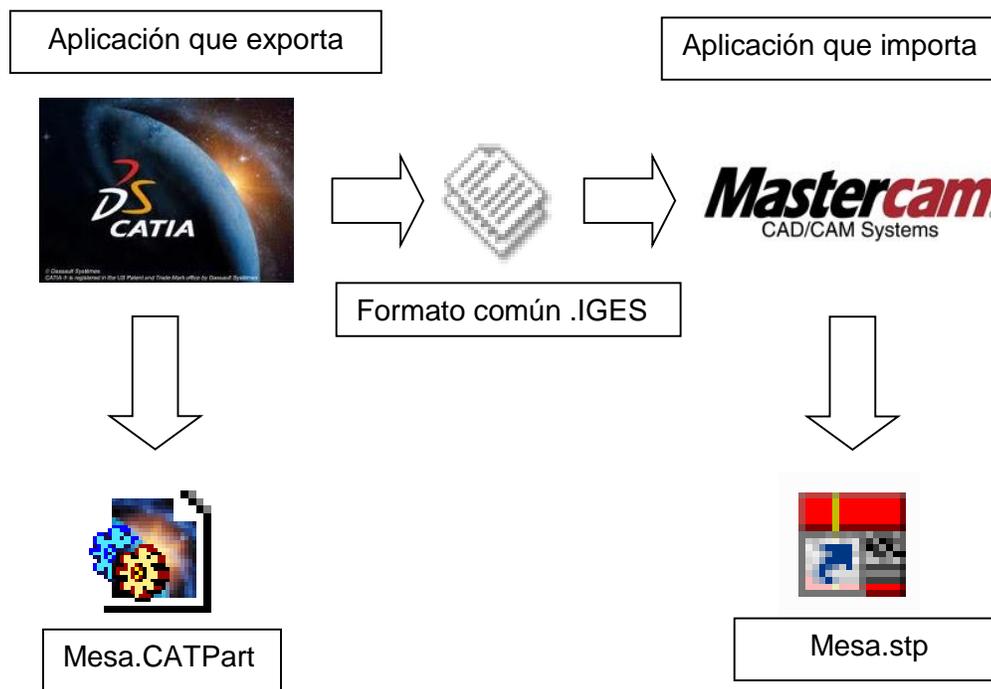


Figura 1.0.2 Diagrama de extensiones de archivos para diferentes programas de diseño y manufactura asistidos por computadora

CAPITULO II ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La satisfacción del cliente y su fidelidad son componentes esenciales para incrementar la competitividad de ciertos productos o servicios. De tal forma que, la identificación de las necesidades y expectativas de los distintos tipos de clientes o potenciales usuarios, es indispensable para alcanzar su satisfacción. La identificación de quiénes son clientes, qué deben aportar y recibir (material, información, documentos, instrucciones, etc.) y cómo, respectivamente, son elementos básicos para alcanzar la calidad.

Es preciso instrumentar las medidas oportunas que permitan al cliente expresar sus necesidades, para que queden bien definidas las características de un servicio o un producto ofrecido. De otro lado, habrá que obtener la retroalimentación oportuna desde el proceso del cliente para efectuar las modificaciones pertinentes.

Para ello es importante disponer de herramientas que nos permitan conocer las necesidades de nuestros clientes, así como las expectativas y satisfacción de éstos frente a los servicios y productos ofrecidos, para disponer de información que permita el diseño de estrategias enfocadas en la mejora de la calidad total de las organizaciones.

Dentro de estas herramientas cabe destacar la metodología conocida como “Despliegue de la función calidad y/o QFD (Quality Function Deployment)”, que puede definirse como: Un sistema estructurado que facilita el medio para identificar necesidades y expectativas de los clientes **“voz del cliente”**, y traducirlas al lenguaje de la organización.

2.1 Identificación del cliente

Al ser prototipo de una fresadora CNC la cual puede mecanizar pequeñas piezas de bajo volumen, nuestros clientes potenciales son esos pequeños talleres de mecanizado los cuales son especialistas en tornos y fresas convencionales, lo que sería de gran relevancia y desarrollo contar con un Máquina-Herramienta capaz de reducir tiempos, tener más producción y agregarle valor a estos.

2.2 Requerimientos del cliente

Para conocer los requerimientos del cliente hay una gran cantidad de herramientas. Las cuales nos arrojan las especificaciones que necesitan nuestro servicio y/o producto en este caso la fresadora CNC que a su vez nos ayuda a identificar las necesidades que necesita satisfacer el cliente potencial. En este caso la encuesta presencial es la mejor opción para conocer el ambiente en que se desarrolla el cliente y darle un plus a sus principales requerimientos.

2.3 Estructura de la encuesta

Es esencial determinar que respuestas se necesitan para poder definir la importancia relativa de estos requerimientos, para esto es necesario formular una serie de preguntas tales que sean rápidas, claras y concisas.

- 1.- ¿Cuál es el nombre de su taller?
- 2.- ¿Cuál es la principal actividad de su taller?
- 3.- ¿Con que tipo de materiales trabaja comúnmente?
- 4.- Mencione 5 características que a su punto de vista debe tener una fresadora CNC indicando cuál de estas es obligatorio o deseable.
- 5.- ¿Cuál sería lo máximo que pagaría por una fresadora CNC de pequeñas dimensiones?

2.4 Aplicación de la encuesta

TALLER 1

1.- ¿Cuál es el nombre de su taller?

Mecanizados Díaz

2.- ¿Cuál es la principal actividad de su taller?

Mecanizados de piezas en general

3.- ¿Con que tipo de materiales trabaja comúnmente?

Principalmente Al 2011

4.- Mencione 5 características que a su punto de vista debe tener una fresadora CNC indicando cuál de estas es obligatorio o deseable.

- Que se barata (o)
- Que dure mucho (d)
- Que se fácil de utilizar (o)
- Que el mantenimiento no sea caro (d)
- Que pueda maquinar al menos aluminio (o)

5.- ¿Cuál sería lo máximo que pagaría por una fresadora CNC de pequeñas dimensiones?

De 10,000 a 15,000 pesos

Taller 2

1.- ¿Cuál es el nombre de su taller?

Mecanizados Industriales SSB

2.- ¿Cuál es la principal actividad de su taller?

Maquinado de piezas según se requieran

3.- ¿Con que tipo de materiales trabaja comúnmente?

Diferentes tipos de aluminio 2011 2014 y latón

4.- Mencione 5 características que a su punto de vista debe tener una fresadora CNC indicando cuál de estas es obligatorio o deseable.

- Que se fácil de operar (d)
- Que tenga botones de seguridad (d)
- Que maneje tolerancias al menos de decimas de mm (o)
- Que sea económica (d)
- Que pueda maquinar diferentes tipos de aluminio y latón (o)

5.- ¿Cuál sería lo máximo que pagaría por una fresadora CNC de pequeñas dimensiones?

Menos de 20,000 pesos

TALLER 3

1.- ¿Cuál es el nombre de su taller?

Fabricaciones Jaramillo

2.- ¿Cuál es la principal actividad de su taller?

Mecanizados de piezas de acuerdo a las necesidades de los clientes.

3.- ¿Con que tipo de materiales trabaja comúnmente?

Latón, Acero 1018 y diferentes tipos de aluminio 2011 y 2017

4.- Mencione 5 características que a su punto de vista debe tener una fresadora CNC indicando cuál de estas es obligatorio o deseable.

- Tamaño (o)
- Excelente precisión (o)
- Económica (d)
- Sistema de seguridad (perillas botones etc.) (o)
- Mantenimiento económico (d)

5.- ¿Cuál sería lo máximo que pagaría por una fresadora CNC de pequeñas dimensiones?

De 15,000 a 20,000 pesos

Nota: Se denotaron con una letras (o) si el requerimiento es obligatorio o con una (d) si es un requerimiento deseable.

2.5 Determinación de la importancia relativa de los requerimientos del cliente

Al recabarse los requerimientos de los clientes es necesario organizar los requerimientos deseables para poder así darles una ponderación.

Requerimientos obligatorios	Requerimientos deseables
Que pueda maquinarse aluminio	Que sea barata (A)
Que tenga buena precisión	Que sea fácil de utilizar (B)
	Que el mantenimiento no sea caro (C)

	Que tenga sistemas de seguridad (D)
	Que dure mucho (E)
	Que maquile latón (F)

Tabla 2.0.1 Organización de requerimientos para los 3 talleres encuestados.

Ahora que se tiene los requerimientos deseables (N) se calcula el número posible de combinaciones (C) y esto se hace mediante la siguiente formula:

$$C = N(N - 1)/2$$

Colocando los números en la formula se obtiene:

$$C = 6(6 - 1)/2 \quad \mathbf{C = 15}$$

	A	B	C	D	E	F	$\Sigma(+)$	Ir(%)
A	0	-	+	-	+	-	2	13.33
B	+	0	+	+	+	+	5	33.33
C	-	-	0	-	-	-	0	0
D	+	-	+	0	-	+	3	20
E	+	-	+	-	0	+	3	20
F	+	-	+	-	-	0	2	13.33
							$\Sigma=15$	$\Sigma Ir = 99.99$

Tabla 2.0.2 Matriz de ponderación.

Ahora es necesario conocer la importancia relativa de cada requerimiento deseable para esto se muestra la siguiente formula:

$$Ir = (\Sigma(+))/C$$

Conociendo el número posibles de combinaciones C tenemos:

Para el requerimiento A:

$$Ir = \frac{2}{15} = 13.33\%$$

Para el requerimiento B:

$$Ir = \frac{5}{15} = 33.33\%$$

Para el requerimiento C:

$$I_r = \frac{0}{15} = 0\%$$

Para el requerimiento D:

$$I_r = \frac{3}{15} = 20\%$$

Para el requerimiento E:

$$I_r = \frac{3}{15} = 20\%$$

Para el requerimiento F:

$$I_r = \frac{2}{15} = 13.33\%$$

Ahora se colocan los valores del I_r en la matriz de ponderación. Esto indica el grado de importancia de los requerimientos a los cuales hay que darle gran enfoque para poder llegar a ellos ganando así la satisfacción del cliente.

Requerimientos obligatorios	Requerimientos deseables
Que pueda maquinar aluminio	1. Que sea fácil de utilizar
Que dure mucho	2. Que tenga sistemas de seguridad
Que tenga buena precisión	3. Que sea barata
	4. Que maquine latón
	5. Que el mantenimiento no se caro

Tabla 2.0.3 Grado de importancia de los requerimientos deseables del cliente.

2.6 Estudio comparativo con la competencia (BENCHMARKING)

Es necesario realizar este análisis puesto que al vivir en un mundo global puede que ya existan organizaciones que fabriquen este tipo de productos, por lo que es necesario determinar qué ventajas y desventajas tiene nuestro producto conforme a los productos de la competencia. Esto también arroja que tan capaces somos para entrar en el mercado y delimitar hasta donde es posible satisfacer al cliente.

2.7 Fichas técnicas de los productos ya establecidos en el mercado

Para poder determinar que tanto se satisfacen las necesidades de los clientes es necesario realizar una ponderación como la que se muestra a continuación:

- 1 = El diseño no cumple en absoluto con el requerimiento
- 2 = El diseño cumple ligeramente con el requerimiento
- 3 = El diseño cumple medianamente con el requerimiento
- 4 = El diseño cumple casi en su totalidad con el requerimiento
- 5 = El diseño cumple totalmente con el requerimiento

	KPOMEDIA	PCDEACITEC	ESIME TIC
Precisión	0.05 mm	0.05 mm	0.05 mm
Maquinar Al	5	5	5
Manual de uso	5	5	5
Sistemas de seguridad	4	4	5
Durabilidad	5	5	5
Precio	24,118 pesos	45,000 pesos	16,000 pesos
Mantenimiento	3	5	5

Tabla 2.0.4 Comparación de la competencia con respecto a los requerimientos del cliente.

Como se puede observar en la tabla, la competencia satisface al cliente casi en todos los requerimientos, solo que en la cuestión monetaria sus costos son más elevados en comparación a la fresadora CNC ESIME TIC, lo cual esto se convierte en una ventaja para este proyecto.

2.8 Traducción de los requerimientos del cliente en términos de ingeniería

Ahora que ya tenemos bien establecidos los requerimientos del cliente y las ventajas y desventajas que se encuentran ante la competencia, es necesario conocer como estas se llevaran a cabo es decir se pasara de los cuestionamientos ¿Qué? a los ¿Cómo?

Para esto es necesario ir construyendo la casa de calidad la cual permitirá relacionar los requerimientos del cliente con la forma en que se llegara a satisfacer sus necesidades es decir cómo se aplicaran las 5M (Método, Maquinaria, Medida, Mano de obra, Materiales) para llegar a los objetivos establecidos y tener esto en forma medible.

2.9 Matriz de relaciones

Ya que se conoce y se ha determinado como se llegara a cumplir las especificaciones establecidas por el cliente, es necesario conocer qué relación existe entre dichas especificaciones. Esto para ser muy cuidadosos al cumplir los objetivos y no tener que sacrificar un requerimiento por cumplir algún otro. Para hacer esto en términos medibles es recomendable al igual que se hizo en la ficha técnica de la competencia otorgar una ponderación para visualizar que tan fuerte o que tan débil es esta relación entre los distintos requerimientos ya sean deseable u obligatorios.

9 = Para una relación fuerte

3 = Para una relación media

1 = Para una relación baja

2.10 Evaluación de importancia

Ahora ya que se conocen las características de la competencia hay que saber la expectativa que tiene el cliente para poder así realizar una comparación de nuestro producto con respecto al de nuestros competidores. Para poder visualizar esto es necesario realizar ya nuestra casa de la calidad la cual se muestra en la siguiente figura.

Matriz de relación		F								BENCHMARKING			
		M	M	D	F	F	F	M					
Requerimientos Fresadora CNC	Requerimientos Cliente	MOTORES A PASOS #1	MANUALES DE USO #2	LIMITS SWITCH #3	CORTADORES #4	BASE DE ACERO #5	DISEÑO PROPIO #6	MAQUINADO PROPIO #7	TAMANO REDUCIDO #8	IMPORTANCIA CLIENTE	ESIME TICOMAN	KPOMEDIA	PCDEACITEC
Maquinar Aluminio		5			5	5	5			5	5	5	5
Durabilidad					3	5	3	3		5	5	5	5
Buena Presición		3			3		5	3	3	5	5	5	5
Fácil de utilizar			3	5					3	5	5	4	2
Sistema de seguridad							4			4	5	4	4
Barata		3			3	3	3	5	5	3	5	3	1
Maquinar Latón		5			5		5			2	3	4	5
Mantenimiento barato			3	4	3	4	3	3		3	5	3	5
Resultados		59	24	37	83	46	109	54	45				
Dificultad Organizacional (5=Difícil, 3=Intermedio, 1=fácil)										RELACION:			
ESIME TICOMAN		1	3	1	3	3	1	3	3	F	Fuerte 5		
KPOMEDIA		1	3	1	3	3	3	3	3	M	Media 3		
PCDEACITEC		1	3	1	5	3	3	3	3	D	Débil 1		

Figura 2.0.2 Casa de la calidad (Matriz de correlación)

CAPITULO III Componentes eléctrico electrónicos para la fresadora CNC vertical.

En ésta sección se detalla el equipo eléctrico y electrónico que se utilizará en la construcción del prototipo de máquina fresadora CNC así como sus especificaciones y sus diferentes aplicaciones en la construcción del prototipo.

3.1 Motores a pasos

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

Éstos motores son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. El paso de estos motores puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8° , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360° .

Básicamente estos motores están constituidos por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y un cierto número de bobinas excitadoras en su estator. Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.



Figura 3.0.1 Rotor del motor a pasos .Fuente: Todo Robot 2009

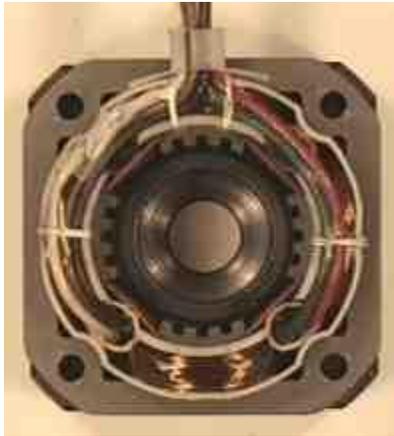


Figura 3.0.2 Estator de un motor a pasos. Fuente Todo Robot 2009

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente:

Bipolar: Estos motores tienen generalmente cuatro cables de salida. Es necesario cierto arreglo para que puedan ser controlados debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento. Como se aprecia en la figura, será necesario un Puente H por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), es necesario utilizar dos Puentes H.

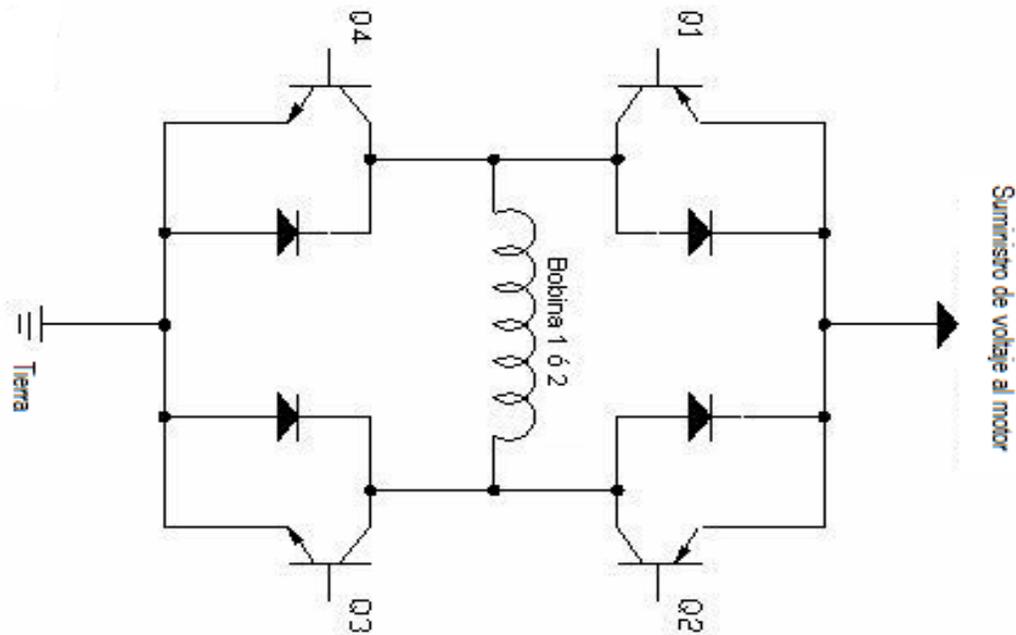


Figura 3.0.3 Diagrama de puente H. Fuente Todo Robot 2009

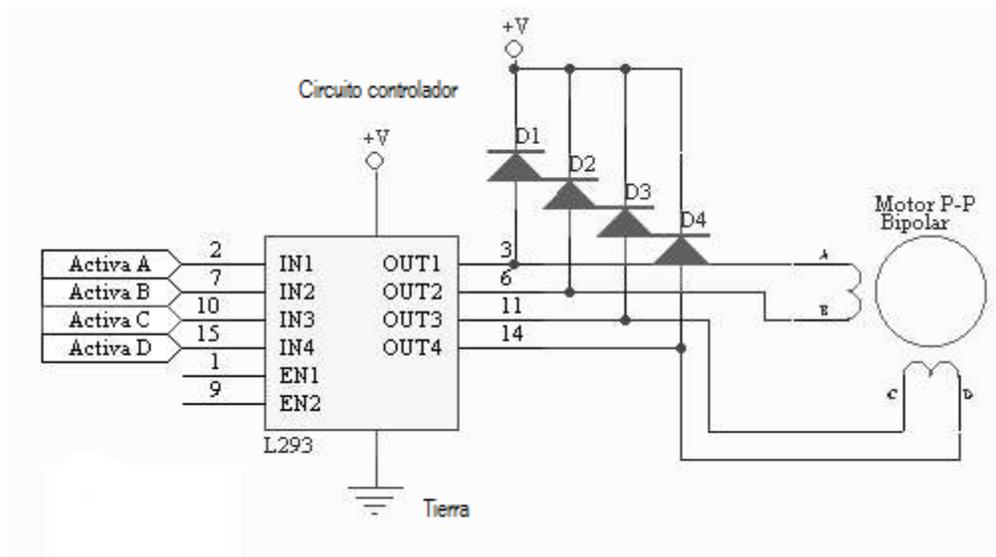


Figura 3.0.4 Diagrama de conexión interna de un motor bipolar a pasos. Fuente Todo Robot 2009

Unipolar: Estos motores suelen tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexión interna. Este tipo de motor se caracteriza por ser más simple de controlar. En la figura se puede apreciar un ejemplo de conexión para controlar un motor paso a paso unipolar mediante el uso de un circuito ULN2803, el cual es una arreglo de 8 transistores tipo Darlington capaces de manejar cargas de hasta 500mA. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un micro controlador.

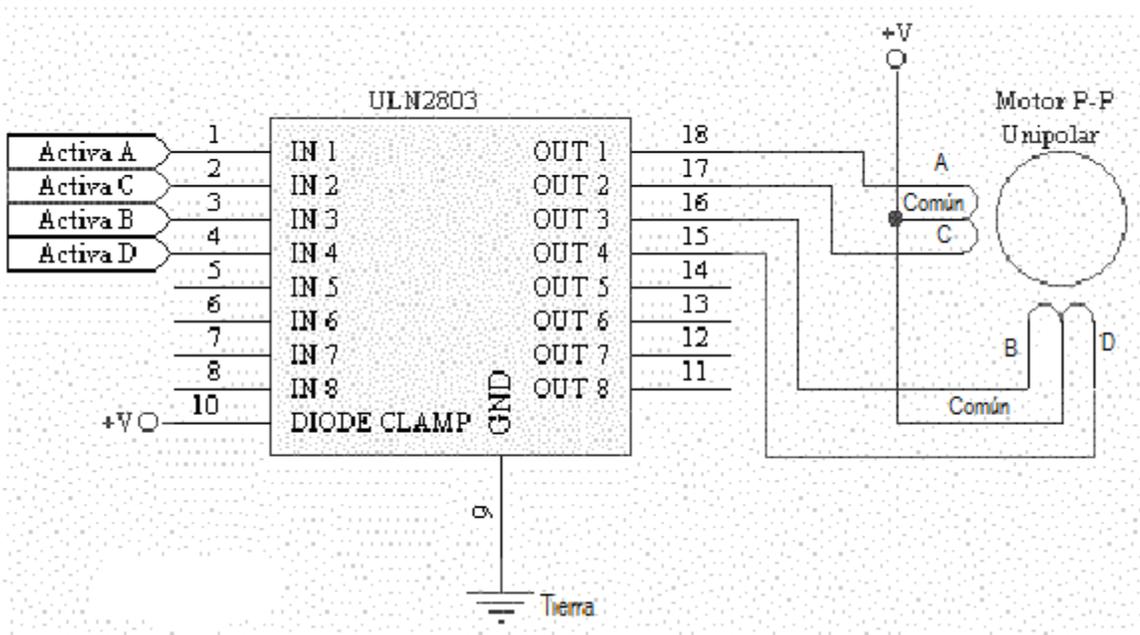


Figura 3.0.5 Diagrama de conexión interna de un motor unipolar a pasos. Fuente Todo Robot 2009

3.2 Secuencias para manejar motores paso a paso Unipolares

Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores, las cuales se detallan a continuación. Todas las secuencias comienzan nuevamente por el paso 1 una vez alcanzado el paso final (4 u 8). Para revertir el sentido de giro, simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso.

Secuencia Normal: Esta es la secuencia más utilizada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

Tabla 3.0.1 Secuencia normal de un motor a pasos

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa solo una bobina a la vez. En algunos motores esto brinda un funcionamiento más suave. La desventaja es que al estar solo una bobina activada, el torque de paso y de retención es menor.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	OFF	ON	OFF	OFF	
3	OFF	OFF	ON	OFF	
4	OFF	OFF	OFF	ON	

Tabla 3.0.2 Secuencia de un motor a pasos tipo wave drive

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como es posible apreciar en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	OFF	OFF	OFF	
2	ON	ON	OFF	OFF	

3	OFF	ON	OFF	OFF	
4	OFF	ON	ON	OFF	
5	OFF	OFF	ON	OFF	
6	OFF	OFF	ON	ON	
7	OFF	OFF	OFF	ON	
8	ON	OFF	OFF	ON	

Tabla 3.0.3 Secuencia del tipo medio paso

3.2 Selección de motores a pasos

Existen en el mercado motores a pasos los cuales son muy usados en la construcción de prototipos y máquinas que requieren precisión al proporcionar algún tipo de movimiento controlado a los componentes móviles de la máquina. La precisión de estos equipos depende de la inversión que se tenga para poder adquirir equipos que sean de mejor calidad y por ende tienen una mayor precisión en sus movimientos. Para el caso de la construcción de este prototipo de fresadora vertical portátil CNC se consideró uno de los proveedores que se especializan en manufacturar motores a pasos para uso específico en prototipos CNC llamado PROBOTIX. Este proveedor ofrece kits de motores a pasos de diferentes capacidades y costos, de entre los cuales se eligió un kit de tres motores *Monster* para los tres ejes en los cuales trabaja el prototipo de fresadora CNC.



Figura 3.0.6 Kit de 3 motores Monster híbridos para tres ejes. Fuente: <http://probotix.com>

El kit anterior contiene lo siguiente:

- 3 controladores ProboStep VX para motores Uni-Polares.
- 2 motores HT23-400-8 de 400 onzas por pulgada (Eje X y Y).
- 1 motor HT23-280-8 de 280 onzas por pulgada (Eje- Z).
- Tarjeta de puerto paralelo PBX-2.
- Fuente de poder 24Volt y 6.5Amp.
- 6 pies de cable DB25 macho- macho.
- 1 cable de 3x 4" IDC 10-pin.

El kit anterior se debe de conectar de acuerdo al manual de alambrado del fabricante el cual es proporcionado por PROBOTIX al momento de solicitar la cotización del producto. El siguiente diagrama nos muestra la forma en cómo se deben de conectar los motores con los elementos contenidos del kit.

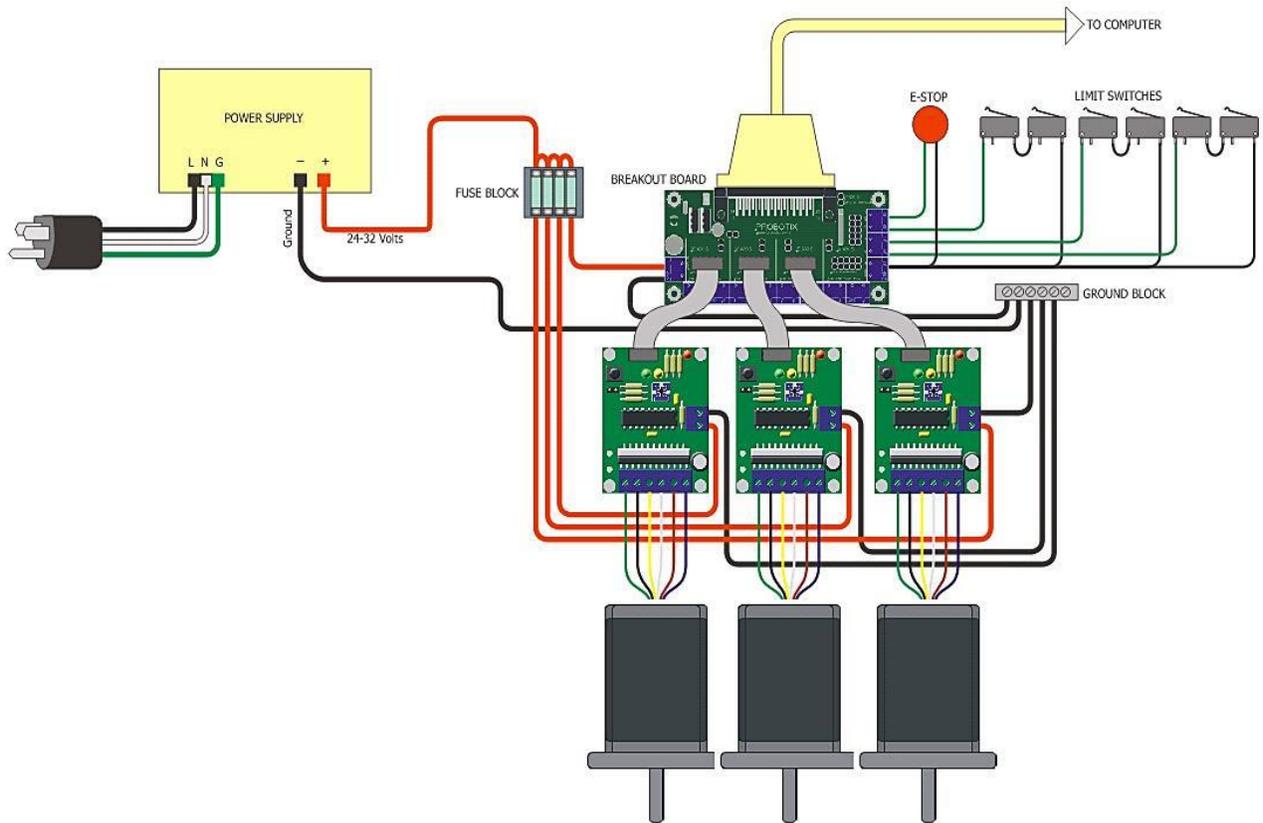


Figura 3.0.7 Diagrama de conexión del kit de 3 ejes Monster. Fuente: <http://probotix.com>

De acuerdo al diagrama se deben conectar la fuente de poder con el bloque de fusibles y el bloque de tierra, el bloque de fusibles se conectará con la tarjeta del puerto paralelo, la cual es el cerebro del sistema el cual controla a los demás componentes por lo cual deberá estar conectada a la computadora desde la cual se controlara el prototipo mediante un programa de CAM (Manufactura asistida por computadora). La tarjeta de puerto paralelo se comunicará con cada controlador individual de cada motor los cuales se alimentan de la fuente de poder y controlan el movimiento de los motores.

Los limit switch mostrados a la derecha de la imagen se utilizan para evitar que la carrera de la fresadora CNC sea excedida y evitan que se dañen los motores a pasos por una sobre corriente al momento de intentar vencer la fuerza que impida el movimiento y demandar mayor corriente, y protegen a los componentes de la máquina evitando que sufran un sobreesfuerzo o impacto de los carros móviles. Los limit switch se conectarán a la tarjeta de puerto paralelo la cual cortará la corriente cuando se alcance el límite de la carrera y desenergizará el prototipo.



Figura 3.0.8 Limit Switch. Fuente: www.switchgeardealers.in

Así mismo el botón de paro de emergencia deberá ir conectado a la tarjeta de puerto paralelo la cual en caso de ser oprimido mandará la señal de paro a los motores y desenergizará la máquina completa. Todos los componentes del circuito mostrado deberán conectarse a un bloque de tierra común los cuales se muestran conectados con un cable negro al bloque de tierra.

3.3 Construcción de una fuente variable

Para efectos prácticos de energizar el motor que moverá la herramienta de corte, se construyó una fuente de voltaje variable la cual se puede ajustar en caso necesario si se pretendiera cambiar el motor. Ésta fuente se construyó sobre una placa perforada y se soldó a la misma los distintos componentes. Los componentes empleados en la construcción de dicha fuente se enlistan a continuación:

- 1 Regulador LM 317T
- 1 Transistor TIP3055 (NPN)
- 1 Condensador de 2200 μ F a 50 volts
- 1 Condensador de 0.1 μ F (104) a 50 voltios
- 1 Resistencia de 220 Ω / 1/4W
- 1 Resistencia de 10 Ω / 1/2W
- 1 Puente de diodos de 4 amperios
- 2 Conectores de tres pines
- 1 transformador de 127 a 24 volts AC, 3 amperes
- 1 Potenciómetro de 5K, lineal
- Alambre telefónico
- 1 disipador de calor de aluminio
- 1 cautín y soldadura
- 1 placa de baquelita perforada tipo protoboard (STEREN MOD- 400)

Los componentes se sueldan en la placa perforada de baquelita según el siguiente diagrama de conexión.

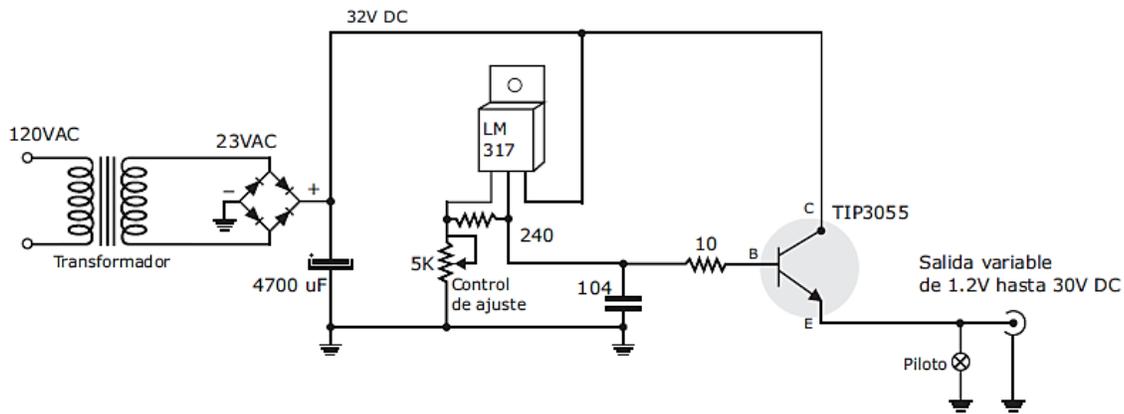


Figura 3.0.9 Diagrama de conexión de fuente variable. Fuente: Proyectos DIY <http://construyasuvideorockola.com>

Esta fuente variable proporciona desde 1.5 a 60 volts de corriente continua a 3 amperes la cual se conecta al transformador en la entrada de voltaje de corriente alterna (AC) y la salida de corriente directa (DC) de la fuente se conectará al motor.

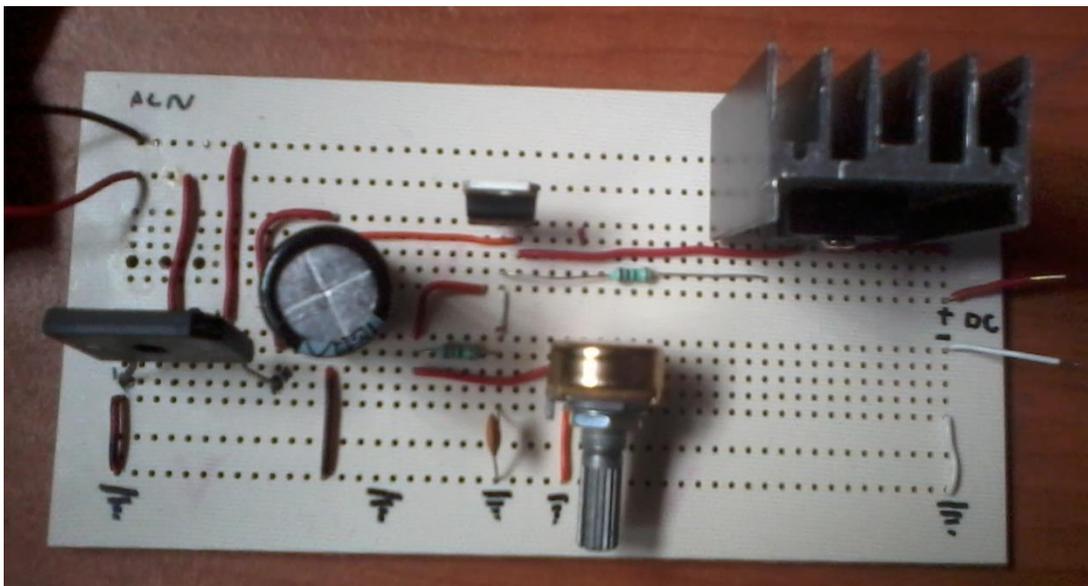


Figura 3.0.10 Fuente variable 1.5 a 60 volts DC

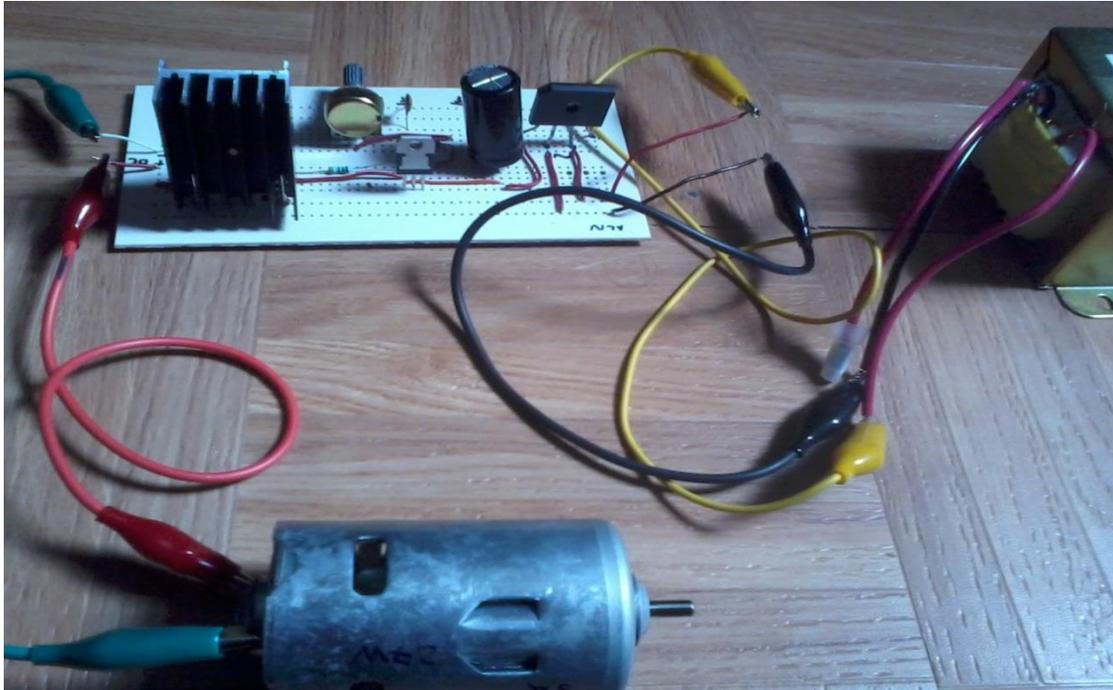


Figura 3.0.11 Conexión de la fuente variable al transformador y al motor DC

CAPITULO IV DISEÑO

4.1 Memoria de cálculo

4.1.1 Potencia de maquinado

Para calcular la potencia de nuestro motor el cual accionará la herramienta de corte y las fuerzas que interactúan en el corte debemos tener en cuenta diversas variables como son el material que queremos maquinar, la profundidad del corte, el diámetro de nuestro cortador, el número de dientes, el avance y la velocidad de corte. Se analizarán cuáles son los requerimientos teóricos de potencia para que el prototipo sea capaz de maquinar aluminio y plástico (nylamid).

La potencia necesaria para cortar un material depende de la tasa a la cual se esté cortando y de una constante de potencia determinada experimentalmente (K_p), la cual es llamada consumo específico de potencia o unidad de potencia. Ésta constante es igual a los caballos de fuerza requeridos para cortar a una tasa de una pulgada cúbica por minuto, en el sistema internacional ésta constante es igual a la potencia en kilowatts necesaria para cortar un material a una tasa de un cm^3 por segundo o 1000 mm^3 por segundo.

De esta tabla seleccionamos la constante (K_p) en unidades del sistema métrico para el material que deseamos manufacturar, en este caso aluminio cuya constante es de 0.68 para aluminio de fundición (cast) que es el más blando y más fácil de maquinar de los que tenemos en la tabla. Para determinar la potencia en el cortador de utiliza la siguiente fórmula, la cual se puede usar en unidades del sistema internacional o en sistema inglés:

$$P_c = K_p C Q W$$

Dónde:

P_c = Potencia en la herramienta de corte (kW en SI o HP en sistema inglés)

K_p = Constante de potencia

C = Factores de avance

Q = Tasa de corte o remoción de material

W = Factor de desgaste de herramienta

Material	Kp Unidades en Pulgadas	Kp Unidades Métricas
Aluminio		
Fundición	0.25	0.68
Rolado (Duro)	0.33	0.90
Aleaciones de Magnesio		
	0.10	0.27

Tabla 4.0.1 Constantes de potencia (Kp) para distintos materiales, Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

Para determinar el valor de los factores de avance C es necesario tener un avance para el material a trabajar, de acuerdo al catálogo de cortadores de la empresa toolmex para cortadores de 3/8 de carburo sólido, para aleaciones de aluminio en general tenemos que se recomienda un avance de 0.003 pulgadas por diente, con este dato podemos consultar la tabla de factores de avance C la cual nos arroja un valor de 1.30

Material Pieza de trabajo	Velocidad (SFPM)	Avance IPT Basado en el diámetro de la herramienta						
		1/8 "	1/4"	3/8 "	1/2"	5/8"	3/4 "	1"
Aleaciones de Aluminio	600-1200	0.0010	0.0020	0.0030	0.0040	0.0048	0.0058	0.0080
Magnesio	900-1300	0.0010	0.0020	0.0032	0.0040	0.0048	0.0058	0.0080

Tabla 4.0.2 Avances y velocidades de corte para cortadores de carburo sólido para aluminio y magnesio, Fuente: catálogo Toolmex

Unidades en Pulgadas				Unidades en Sistema Métrico			
Avance en pulgadas	C	Avance en pulgadas	C	Avance en mm	C	Avance en mm	C
0.001	1.60	0.014	0.97	0.02	1.70	0.35	0.97
0.002	1.40	0.015	0.96	0.05	1.40	0.38	0.95
0.003	1.30	0.016	0.94	0.07	1.30	0.40	0.94
0.004	1.25	0.018	0.92	0.10	1.25	0.45	0.92
0.005	1.19	0.020	0.90	0.12	1.20	0.50	0.90
0.006	1.15	0.022	0.88	0.15	1.15	0.55	0.88
0.007	1.11	0.025	0.86	0.18	1.11	0.60	0.87
0.008	1.08	0.028	0.84	0.20	1.08	0.70	0.84
0.009	1.06	0.030	0.83	0.22	1.06	0.75	0.83
0.010	1.04	0.032	0.82	0.25	1.04	0.80	0.82
0.011	1.02	0.035	0.80	0.28	1.01	0.90	0.80
0.012	1.00	0.040	0.78	0.30	1.00	1.00	0.78
0.013	0.98	0.060	0.72	0.33	0.98	1.50	0.72

Tabla 4.0.3 Factores de avance para procesos de torneado, fresado, y rectificado y brochado, Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

Para saber el valor de Q que corresponde a la tasa de remoción o corte de material tenemos diversas fórmulas las cuales nos sirven para diferentes operaciones que estemos realizando ya sea para torneado, rectificado, fresado o brochado, las cuales están dadas en la siguiente tabla.

Operación	Tasa de remoción de material	
	Para Unidades en pulgadas $Q = \frac{in^3}{min}$	Para Unidades en Sistema Métrico $Q = \frac{cm^3}{s}$
Herramientas de punto simple (Torneado, Rectificado)	$12Vfd$	$\frac{V}{60}fd$
Fresado	$f_m wd$	$\frac{f_m wd}{60,000}$

Tabla 4.0.4 Fórmulas para calcular la tasa de corte de material. Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

Consultando la tabla anterior seleccionamos la fórmula que se adapta a la operación que se desea realizar en este caso fresado (milling) para unidades del sistema métrico, así se tiene la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{f_m wd}{60\,000}$$

Dónde:

Q= tasa de corte o remoción de material (cm³/s).

f_m= Avance (mm/min)

w= espesor de corte (mm)

d= profundidad de corte (mm)

Para calcular el avance (f_m), en la tabla 4.2 el avance esta dado en IPT (pulgadas por diente), para efectos de la fórmula para calcular Q es necesario proporcionar el avance en mm/min para lo cual se tiene la siguiente ecuación:

$$f_m = (RPM \times IPT \times z)(25.4)$$

Dónde:

f_m = avance (mm/min)

RPM= Revoluciones por minuto

IPT= avance (mm/diente)

z= número de dientes del cortador

Para calcular las RPM (revoluciones por minuto) es necesario conocer la velocidad de corte la cual es posible consultar en la tabla 4.2, la cual está dada en SFPM (surface feet per minute, pies superficiales por minuto), es necesario convertir este valor a m/min para utilizar la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D}$$

En la cual:

RPM= Revoluciones por minuto (1/min)

V_c = Velocidad de corte (m/min)

D= Diámetro del cortador o fresa

El siguiente valor necesario para la fórmula que nos permite calcular la potencia en la herramienta de corte, corresponde a los factores de desgaste de la herramienta (W) los cuales están dados por tablas dependiendo el tipo de operación que se vaya a realizar ya sea torneado, fresado, rectificado, barrenado o brochado, para este caso se toma el valor de la operación de fresado ya que el prototipo es una fresadora y seleccionamos el valor de fresado de bloque (slab milling) ya que el material a utilizar será un bloque de aluminio. Consultando la tabla corresponde el valor de 1.10 para la operación se desea realizar.

Tipo de Operación		W
Torneado	Torneado de acabado	1.10
	Torneado de desbaste	1.60- 2.00
Fresado	Fresado de desbaste	1.10
	Fresado de acabado	1.10
Barrenado	Normal	1.30

Tabla 4.0.5 Factores de desgaste de herramienta para distintas operaciones, Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

Para calcular la potencia necesaria del motor que será el encargado de transmitir esa potencia a la herramienta de corte es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$P_m = \frac{P_c}{E}$$

Dónde:

P_m= Potencia en el motor (HP o kW)

P_c= Potencia en la herramienta de corte

E= Factor de eficiencia máquina herramienta

Para poder saber el valor de la eficiencia máquina herramienta existe una tabla que nos muestra diversos valores dependiendo de cómo esté impulsada nuestra herramienta de corte.

Tipo de impulso	E	Tipo de impulso	E
Impulso directo	0.90	Impulso de engrane de cabeza	0.70- 0.80
Impulso de engrane trasero	0.75	Impulso Hidráulico de aceite	0.60- 0.90

Tabla 4.0.6 Factores de eficiencia máquina herramienta .Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

De acuerdo a la tabla 4.5 y tomando en cuenta que la herramienta de corte que se utilizará para el prototipo de fresa CNC será impulsada directamente por el motor se selecciona el valor de 0.90 correspondiente a impulso directo del motor (Direct Belt Drive), ya que no lleva engranes acoplados a la herramienta de corte.

4.1.2 Potencia, torque y empuje de barrenado

A pesar de que una broca corta metal y produce viruta de una manera muy similar a los filos o dientes de las herramientas de corte para las fresadoras, las esquinas de los gavilanes de las brocas remueven el material por una combinación bastante compleja de extrusión y corte. Por esta razón, se

debe utilizar otro método para estimar la potencia requerida para el barrenado. De igual manera es deseable saber la magnitud de empuje y torque requerida para un barrenado. Para saber el empuje que debe tener nuestra herramienta, se tiene la siguiente ecuación:

$$T=0.05 K_d F_f F_T B W + 0.007 K_d D^2 J W$$

Dónde:

T= Empuje (N)

K_d= Factor de trabajo de material

F_f= Factor de avance

F_T= Factor de empuje para diámetro de la broca

B= Factor de punta de broca para empuje

W= Factor de desgaste de herramienta

D= Diámetro de la broca (mm)

J= Factor de punta de broca para empuje

Y para calcular el torque generado se tiene la siguiente ecuación.

$$M = \frac{K_d F_f F_M A W}{40\,000}$$

En la cual:

M= torque (Nm)

K_d= Factor de trabajo de material

W= Factor de desgaste de herramienta

A= Factor de punta de broca

F_f= Factor de avance

F_M= Factor de torque para diámetro de la broca

Los valores para el factor de trabajo del material se consultan en una tabla los cuales son valores experimentados por la National Twist Drill Division of Regal-Beloit Corp. La siguiente tabla muestra diferentes valores para su respectivo material.

Material de trabajo	Constante de Material, Kd
Aleaciones de aluminio	7000
Aleaciones de magnesio	4000
Bronces	14000
Aleaciones de bronce con plomo	7000
AISI 1117	12000

Tabla 4.0.7 Factores de trabajo de material para barrenado (Kd). Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

El factor de avance de la broca F_f , depende del avance el mm/rev que deseemos emplear para la operación de barrenado, dependiendo del valor del avance se tienen distintos valores para F_f los cuales se muestran a continuación.

Unidades en pulgadas				Unidades en sistema métrico			
Avance in/rev	F_f	Avance In/rev	F_f	Avance mm/rev	F_f	Avance mm/rev	F_f
0.0005	0.0023	0.012	0.029	0.01	0.025	0.30	0.382
0.001	0.004	0.013	0.031	0.03	0.060	0.35	0.432
0.002	0.007	0.015	0.035	0.05	0.091	0.40	0.480
0.003	0.010	0.018	0.040	0.08	0.133	0.45	0.528
0.004	0.012	0.020	0.044	0.10	0.158	0.50	0.574
0.005	0.014	0.022	0.047	0.12	0.183	0.55	0.620
0.006	0.017	0.025	0.052	0.15	0.219	0.65	0.708
0.007	0.019	0.030	0.060	0.18	0.254	0.75	0.794
0.008	0.021	0.035	0.068	0.20	0.276	0.90	0.919
0.009	0.023	0.040	0.076	0.22	0.298	1.00	1.000
0.10	0.025	0.050	0.091	0.25	0.330	1.25	1.195

Tabla 4.0.8 Factores de avance F_f .. Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

El avance para las brocas de HSS (Acero de alta velocidad) es posible consultar un valor recomendado en las tablas del siguiente catálogo de la empresa Dormer.

Material		Dureza	
Aluminio y Magnesio	7.1 Al y Mg sin alear	Comercialmente puros	<100
	7.2 Al sin alear, Si<0.5%	6061 T6, 7075, 314-340	<150
	7.3 Al aleado, Si >0.5%<10%	6061 T6, 380-390	<120
	7.4 Al aleado, Si>10%, Aleaciones de Mg	Magnesio reforzado	<120

7.1	230E	108J	134K	134K	108J	440H	400H	351H	108J
7.2	148N	98I	125J	125J	98I	384H	351H	325H	98I
7.3	131N	89H	108I	108I	98H				98H
7.4	95G	79F	108I	108I	89F	344H	315H	276H	89F

Código Alfabético	Avance en mm por rev (IPR) +/- 25% Ø Diámetro			
	1/8"	3/8"	1/2"	3/4"
A	0.0279	0.0610	0.0686	0.1092
B	0.0381	0.0787	0.0889	0.1346
C	0.0432	0.0991	0.1092	0.1600
D	0.0533	0.1194	0.1295	0.1880
E	0.0610	0.1397	0.1499	0.2159
F	0.0737	0.1651	0.1778	0.2489
G	0.0838	0.1905	0.2057	0.2794
H	0.1016	0.2286	0.2438	0.3200
I	0.1194	0.2642	0.2794	0.3607
J	0.1346	0.2972	0.3150	0.4039
K	0.1499	0.3302	0.3505	0.4496
L	0.1651	0.3607	0.3861	0.4851
M	0.1803	0.3912	0.4191	0.5207
N	0.1956	0.4191	0.4547	0.5563
S	0.0203	0.0787	0.0991	0.1499
T	0.0406	0.1092	0.1295	0.1905
U	0.0711	0.1702	0.2007	0.2388
V	0.0991	0.2489	0.2794	0.3404
W	0.1295	0.3302	0.3810	0.4496
X	0.1499	0.4191	0.4801	0.0591
Y	0.1803	0.5512	0.7010	0.7391
Z	0.2489	1.0008	1.0998	1.1989

Tabla 4.0.9 Avances y velocidades de corte para diferentes materiales. Fuente catálogo de brocas Dormer.

En las tablas anteriores se consulta la velocidad de corte dada en pies por minuto así como la letra y número correspondiente al avance y al material a cortar respectivamente.

Para los valores del factor de punta de broca se debe de calcular la longitud de punta de broca tomando en cuenta el ángulo de la punta el cual es 118 ° para brocas de HSS de hélice regular. El valor de c que corresponde a la longitud de punta de broca irá en función del diámetro de la broca que se planea utilizar mediante la fórmula:

$$c = \frac{D/2}{\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

Dónde:

c= Longitud de punta de broca (mm)

D= Diámetro de la broca (mm)

Θ= Ángulo de punta de la broca (°)

De esta manera es posible calcular la longitud de punta de broca, este dato es necesario ya que determinará el factor de punta de broca de acuerdo a la siguiente tabla donde se muestran los distintos valores para los parámetros de factor de torque A, y factor de empuje B y J.

c/d	Approx. w/d	Factor de torque A	Factor de empuje B	Factor de empuje J	c/d	Approx. w/d	Factor de torque A	Factor de empuje B	Factor de empuje J
0.03	0.025	1.000	1.100	0.001	0.18	0.155	1.085	1.355	0.030
0.05	0.045	1.005	1.140	0.003	0.20	0.175	1.105	1.380	0.040
0.08	0.070	1.015	1.200	0.006	0.25	0.220	1.155	1.445	0.065
0.10	0.085	1.020	1.235	0.010	0.30	0.260	1.235	1.500	0.090
0.13	0.110	1.040	1.270	0.017	0.35	0.300	1.310	1.575	0.120
0.15	0.130	1.080	1.310	0.022	0.40	0.350	1.395	1.620	0.160

Tabla 4.0.10 Factores de punta de broca. Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

Para obtener los parámetros correspondientes a los factores de diámetro de broca para torque y empuje de barrenado se consulta en la siguiente tabla los valores correspondientes al diámetro de la broca que se planea utilizar ya sea en pulgadas del sistema inglés o milímetros en el sistema internacional, para efectos de la fórmula es necesario proporcionar el factor correspondientes a unidades métricas del sistema internacional.

Unidades en Sistema Métrico					
Diámetro de la broca mm.	F _T	F _M	Diámetro de la broca mm	F _T	F _M
1.60	1.46	2.33	22.00	11.86	260.8
2.40	2.02	4.84	24.00	12.71	305.1
3.20	2.54	8.12	25.50	13.34	340.2
4.00	3.03	12.12	27.0	13.97	377.1
4.80	3.51	16.84	28.50	14.58	415.6
5.60	3.97	22.22	32	16	512
6.40	4.42	28.26	35	17.19	601.6
7.20	4.85	34.93	38	18.36	697.6
8.00	5.28	42.22	42	19.89	835.3
8.80	5.96	50.13	45	21.02	945.8
9.50	6.06	57.53	48	22.13	1062
11.00	6.81	74.90	50	22.86	1143
12.50	7.54	94.28	58	25.75	1493
14.50	8.49	123.1	64	27.86	1783
16.00	9.19	147.0	70	29.93	2095
17.50	9.87	172.8	76	31.96	2429
19.00	10.54	200.3	90	36.53	3293
20.00	10.98	219.7	100	39.81	3981

Tabla 4.0.11 Factores de diámetro de broca para torque y empuje de barrenado. Fuente: Machinery's Handbook 27 th edition

El dato que corresponde a W se consulta en la tabla 4.5 Factores de desgaste de herramienta para distintas operaciones, en la cual se selecciona en este caso el valor para barrenado (drilling) que corresponde a la operación que se está realizando en cuyo caso corresponde a 1.30 para barrenado normal.

Una vez obtenidos los valores de empuje (T) y torque (M) con las ecuaciones citadas anteriormente, se calcula la potencia en la herramienta de corte que corresponde a la broca con la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{MN}{9550}$$

En la cual:

P_c= Potencia en la broca (kW)

M= Torque (Nm)

N= Revoluciones por minuto RPM

Y finalmente habiendo calculado la potencia en el cortador, se calcula la potencia en el motor.

$$P_m = \frac{P_c}{E}$$

En la cual:

P_m = Potencia en el motor (kW)

P_c = Potencia en la broca (kW)

E= Eficiencia máquina herramienta (ver *Tabla 4.6 Factores de eficiencia máquina herramienta*)

4.1.3 Resultados del cálculo de potencia de maquinado

De acuerdo a las tablas y ecuaciones anteriores se obtuvieron los valores siguientes para la potencia de maquinado, debido a que con las velocidades de corte y avances que se sugieren en los catálogos la potencia del motor necesaria se eleva demasiado para ser posible montar un motor de tal magnitud en el prototipo de fresador a CNC, algunos valores como son la velocidad, avance, RPM y profundidad de corte se ajustaron a la potencia del motor disponible que se planea utilizar para mover la herramienta de corte la cual es de 85 kW y RPM máximas de 6100, con el fin de tener un margen de seguridad y evitar que el motor se dañe por la demanda de potencia, se manejan valores inferiores de los parámetros mencionados anteriormente con el fin de obtener resultados menores a la capacidad total del motor en lo que respecta a potencia en la herramienta de corte (P_c) y potencia en el motor (P_m). Para los cálculos de la potencia de maquinado y barrenado se analizan 3 cortadores y brocas de los siguientes diámetros: 1/8", 3/8" y 1/2"

Para **aluminio** con cortador de 1/8" de carburo sólido:

Parámetros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,125	in
	3,175	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	2,49	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	150	ft/min
	45,72	m/min
RPM (fresado)	4583,65	4584,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,001	in/th
	0,0254	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	18,33	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,68			
C (constante de avance, para mm/th)	1,7			
Q (tasa de remoción de metal)	0,037	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	465,70	mm/min		
w (espesor del corte)	3,175	Mm		
d(profundidad de corte)	1,5	Mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,047	kW	0,063	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,052	kW	0,070	HP

Para **plástico (nylamid)** con cortador de **1/8"** de carburo sólido:

Parámetros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,125	in
	3,175	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	2,49	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	180	ft/min
	54,864	m/min
RPM (fresado)	5500,38	5500,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,003	in/th
	0,0762	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	66,00	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,27			
C (constante de avance, para mm/th)	1,3			
Q (tasa de remoción de metal,)	0,160	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	1676,52	mm/min		
w (espesor del corte)	3,175	Mm		
d(profundidad de corte)	1,8	Mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,062	kW	0,083	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,069	kW	0,092	HP

Para **aluminio** con cortador de **3/8"** de carburo sólido:

Parámetros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,375	in
	9,525	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	7,48	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	600	ft/min
	182,88	m/min
RPM (fresado)	6111,54	6112,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,003	in/th
	0,0762	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	73,34	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,68			
C (constante de avance, para mm/th)	1,3			
Q (tasa de remoción de metal)	0,059	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	1862,80	mm/min		
w (espesor del corte)	9,525	mm		

d(profundidad de corte)	0,2	mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,058	kW	0,077	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,064	kW	0,086	HP

Para **plástico (nylamid)** con cortador de **3/8"** de carburo sólido:

Parametros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,375	in
	9,525	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	7,48	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	600	ft/min
	182,88	m/min
RPM (fresado)	6111,54	6112,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,0048	in/th
	0,122	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	117,34	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,27			
C (constante de avance, para mm/th)	1,2			
Q (tasa de remoción de metal)	0,095	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	2980,47	mm/min		
w (espesor del corte)	9,525	Mm		
d(profundidad de corte)	0,2	Mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,034	kW	0,045	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,037	kW	0,050	HP

Para **aluminio** con cortador de **1/2 "** de carburo sólido:

Parámetros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,5	in
	12,700	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	9,97	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	170	ft/min
	51,816	m/min
RPM (fresado)	1298,70	1299,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,001	in/th
	0,0254	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	5,19	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,68			
C (constante de avance, para mm/th)	1,7			
Q (tasa de remoción de metal)	0,050	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	131,95	mm/min		
w (espesor del corte)	12,700	mm		
d(profundidad de corte)	1,8	mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta,)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,064	kW	0,086	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,071	kW	0,095	HP

Para **plástico (nylamid)** con cortador de **1/2 "** de carburo sólido:

Parámetros fresado		
D (Diámetro del cortador)	0,5	in
	12,700	mm
z (número de dientes)	4	
Pi	3,1416	
U (paso de dientes)	9,97	mm
Velocidad de corte SFPM fresado	170	ft/min
	51,816	m/min
RPM (fresado)	1298,70	1299,00
IPT (inches per tooth feed rate)	0,003	in/th
	0,0762	mm/th
IPM (inches per minute feed rate)	15,58	in/min

Potencia del maquinado (fresado)				
Kp (constante de potencia)	0,27			
C (constante de avance, para mm/th)	1,3			
Q (tasa de remoción de metal)	0,168	cm ³ /s		
fm (feed rate, avance)	395,84	mm/min		
w (espesor del corte)	12,700	mm		
d(profundidad de corte)	2	mm		
W (factor de desgaste herramienta para fresado)	1,1			
E (Factor de eficiencia máquina herramienta)	0,9			
Pc (Potencia en herramienta de corte)	0,065	kW	0,087	HP
Pm (Potencia en el motor)	0,072	kW	0,096	HP

4.1.4 Resultados para el cálculo de empuje torque y potencia del barrenado

De igual manera que para el cálculo de la potencia de maquinado, en ésta sección se ajustan los parámetros del avance y velocidad de corte a la potencia disponible del motor citado anteriormente.

Para **aluminio** con broca de 1/8"

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	0,94	mm
d(Diámetro de la broca)	0,125	in
	3,175	mm
Velocidad de corte barrenado	50	m/min
RPM	5012,7	5013,0
Avance	0,01	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	7000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,296			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance)	0,025			
Factores de diámetro de la broca	3,175			
F_T (para empuje)	2,52			
F_M (para torque)	8,01			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	100,79	N	10,3	Kg
M(Torque)	0,056	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,030	kW	0,040	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,033	kW	0,044	HP

Para **plástico (nylamid)** con broca de 1/8"

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	0,94	mm
d(Diámetro de la broca)	0,125	in
	3,175	mm
Velocidad de corte barrenado	50	m/min
RPM	5012,7	5013,0
Avance	0,05	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	4000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,296			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance de barrenado)	0,091			
<i>Factores de diámetro de la broca</i>	3,175			
F_T (para empuje)	2,52			
F_M (para torque)	8,01			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	122,46	N	12,5	Kg
M(Torque)	0,117	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,061	kW	0,082	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,068	kW	0,091	HP

Para **aluminio** con broca de **3/8"**

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	2,86	mm
d(Diámetro de la broca)	0,375	in
	9,525	mm
Velocidad de corte	25	m/min
RPM	835,5	835,0
Avance	0,01	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	7000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,300			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance)	0,025			
<i>Factores de diámetro de la broca</i>	9,525			
F_T (para empuje)	6,06			
F_M (para torque)	57,53			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	623,53	N	63,6	Kg
M(Torque)	0,404	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,035	kW	0,047	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,039	kW	0,053	HP

Para plástico (nylamid) con broca de 3/8"

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	2,86	mm
d(Diámetro de la broca)	0,375	in
	9,525	mm
Velocidad de corte barrenado	25	m/min
RPM	835,5	835,0
Avance	0,03	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	4000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,300			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance de taladrado con dato mm/rev)	0,06			
<i>Factores de diámetro de la broca</i>	9,525			
F_T (para empuje)	6,06			
F_M (para torque)	57,53			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	439,02	N	44,8	Kg
M(Torque)	0,554	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,048	kW	0,065	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,054	kW	0,072	HP

Para **aluminio** con broca de 1/2 “

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	3,81	mm
d(Diámetro de la broca)	0,5	in
	12,7	mm
Velocidad de corte barrenado	100	m/min
RPM	2506,4	2506,0
Avance	0,05	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	7000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,300			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance)	0,091			
<i>Factores de diámetro de la broca</i>	12,7			
F_T (para empuje)	2,52			
F_M (para torque)	8,01			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	1081,19	N	110,2	Kg
M(Torque)	0,205	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,054	kW	0,072	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,060	kW	0,080	HP

Para **plástico (nylamid)** con broca de 1/2 ”

Parámetros barrenado		
c (Longitud de punta de broca)	3,81	mm
d(Diámetro de la broca)	0,5	in
	12,7	mm
Velocidad de corte barrenado	120	m/min
RPM	3007,6	3008,0
Avance	0,1	mm/rev

Empuje , torque y potencia de barrenado				
K_d (factor de material de trabajo)	4000			
Factores de punta de broca para empuje y torque (c/d)	0,300			
A	1,235			
B	1,5			
J	0,09			
F_f (Factor de avance)	0,158			
Factores de diámetro de la broca	12,7			
F_T (para empuje)	2,52			
F_M (Para torque)	8,01			
W (factor de desgaste de la herramienta para barrenado)	1,3			
T (Thrust, empuje)	683,67	N	69,7	Kg
M(Torque)	0,203	Nm		
Pc (Potencia en la broca)	0,064	kW	0,086	HP
Pm(Potencia en el motor)	0,071	kW	0,095	HP

4.2 Modelado

Partiendo de los datos obtenidos del estudio de mercado se diseñan las partes que forman nuestro prototipo. Se inició con el bosquejo del prototipo, ya que de aquí se parte para obtener el modelado de las distintas partes, además se debe tener en cuenta la oferta de productos existentes en el mercado que nos pueden ayudar a reducir tiempo en la manufactura.

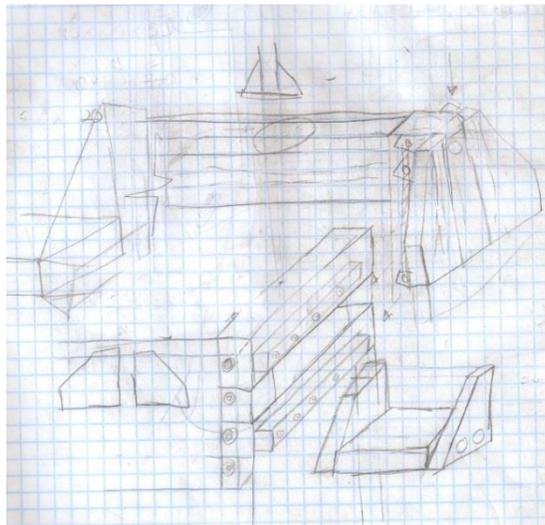


Figura 4.0.1 Bosquejo de prototipo



Figura 4.0.2 Bosquejo del prototipo

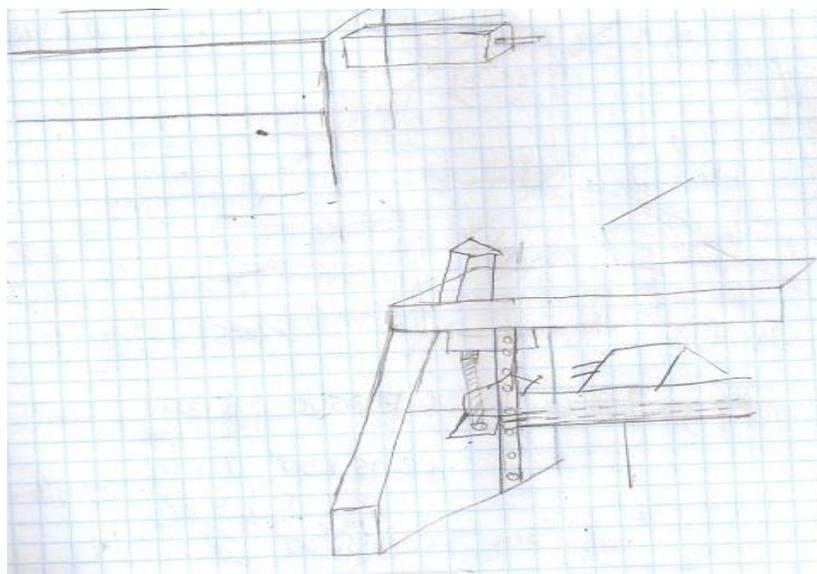


Figura 4.0.3 Bosquejo del prototipo

En el modelado se facilita el dimensionado de las partes ya que se asignan las medidas para generar los sólidos y estas, a su vez se pueden ir modificando si así se requiere, además de que el programa es paramétrico al generar los planos las cotas cambian solo con actualizar los dibujos, de ésta manera se visualizan mejor los detalles y la forma de los ensambles.

4.2.1 Lista de partes del prototipo

A continuación se enlistan las partes de las que consta el Prototipo incluyendo aquellas que se integrarán al ser adquiridas de los proveedores especificados:

No. de parte	Cantidad	Descripción	No. de parte	Cantidad	Descripción
1	2	Soporte Z puente	15	1	Husillo Z
2	1	Carro eje X	16	1	Husillo X
3	1	Tapa X	17	1	Husillo Y
4	1	Soporte X	18	2	Guía Z
5	2	Soporte Husillo X	19	2	Guía Y
6	2	Soporte eje Z	20	2	Guía X
7	1	Soporte Inferior X	21	1	TE X
8	1	Soporte Husillo Z	22	1	TEY
9	1	Soporte Husillo Y	23	1	TEZ
10	1	Soporte Herramienta	24	6	Bearing
11	1	SHIF	25	1	SHIR
12	1	Mesa	26	1	SHSF
13	3	Carro Z	27	1	SHSR
14	1	Carro eje X	Total	40	

Tabla 4.0.12 Partes del prototipo de fresadora CNC

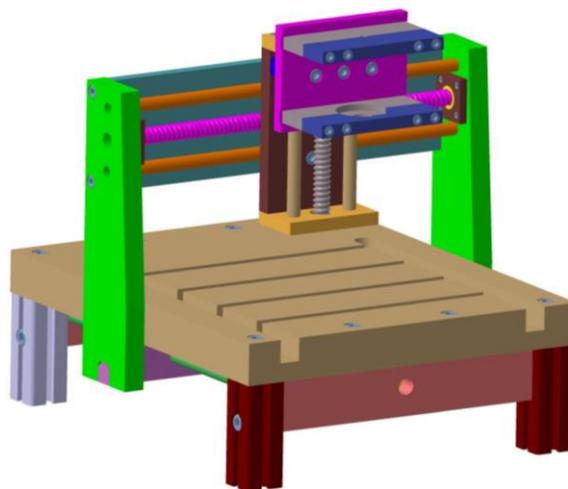


Figura 4.0.4 Modelo de Prototipo (CATIA V5)

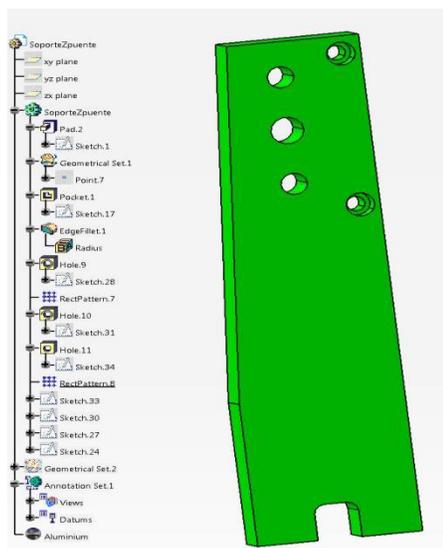


Figura 4.0.5 Modelado Soporte Z puente (CATIA V5)

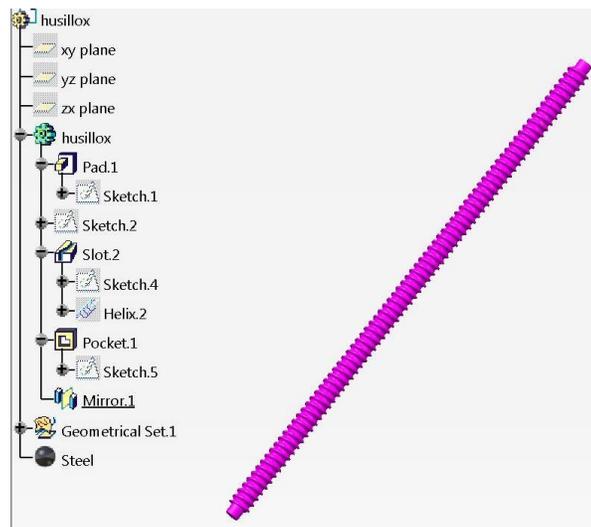


Figura 4.0.6 Modelado Husillo X (CATIA V5)

4.3 Análisis de esfuerzos de la fresadora CNC

El análisis de esfuerzos del mecanismo completo se logró realizar con la ayuda del programa ANSYS V 14.0 (programa basado en el Método del Elemento Finito) el cual nos mostró las condiciones de frontera con las cuales se presenta la falla en los distintos componentes del mecanismo.

El ensamble final de la máquina herramienta permite iniciar el estudio en el cual se consideran tres posiciones críticas.

Para la primera posición crítica se tomó la suposición simple de que el puente está trabajando como una viga de extremos fijos o empotrados, simulando una trabe empotrada rígidamente, para esta suposición se tiene que el máximo esfuerzo se presentara en el centro del puente y por ende la falla, con la máxima deformación.

Desplazamiento al centro, del puente y del portaherramientas (en posición superior):

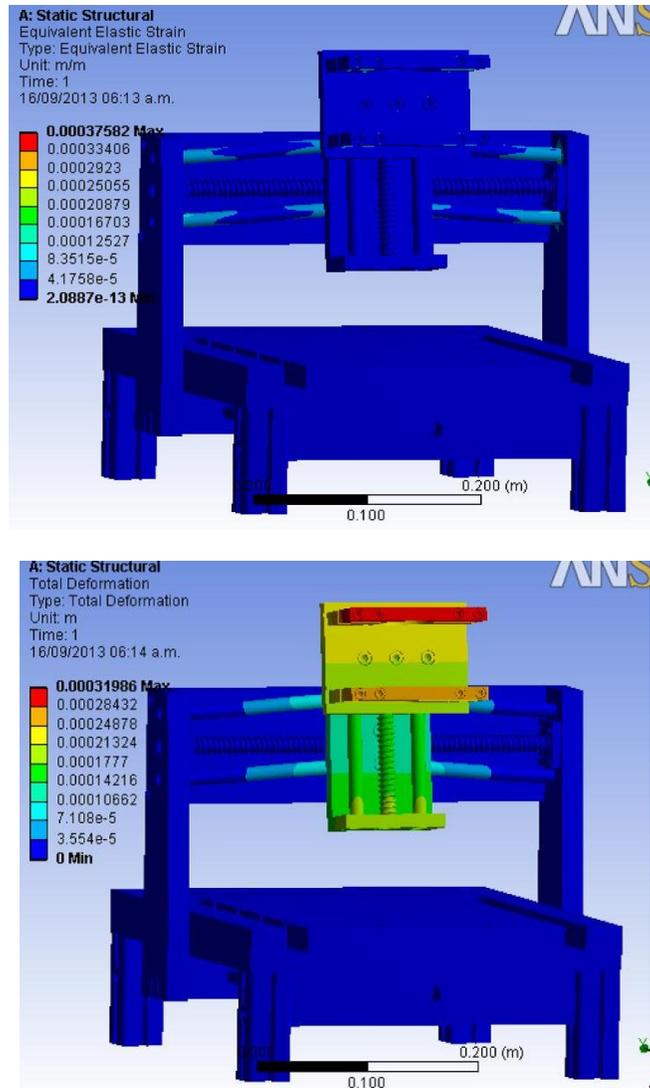


Figura 4.0.7 Análisis de elemento finito con portaherramientas en posición superior y al centro del puente.

Revisando los resultados de la imagen del análisis se puede observar que el valor máximo obtenido de la Deformación Total es de 0.31986 mm lo cual se aprecia en el Soporte Herramienta Superior Frontal y también en las flechas o guías transversales del carro del puente.

Ahora considerando la posición más favorable para el mecanismo, es decir, la posición donde se tienen menos esfuerzos debido a la suposición de una trabe empotrada en los extremos, logrando así la mayor rigidez del mecanismo, se estableció la siguiente posición.

Desplazamiento al frente del puente, portaherramientas en extremo izquierdo y en posición superior:

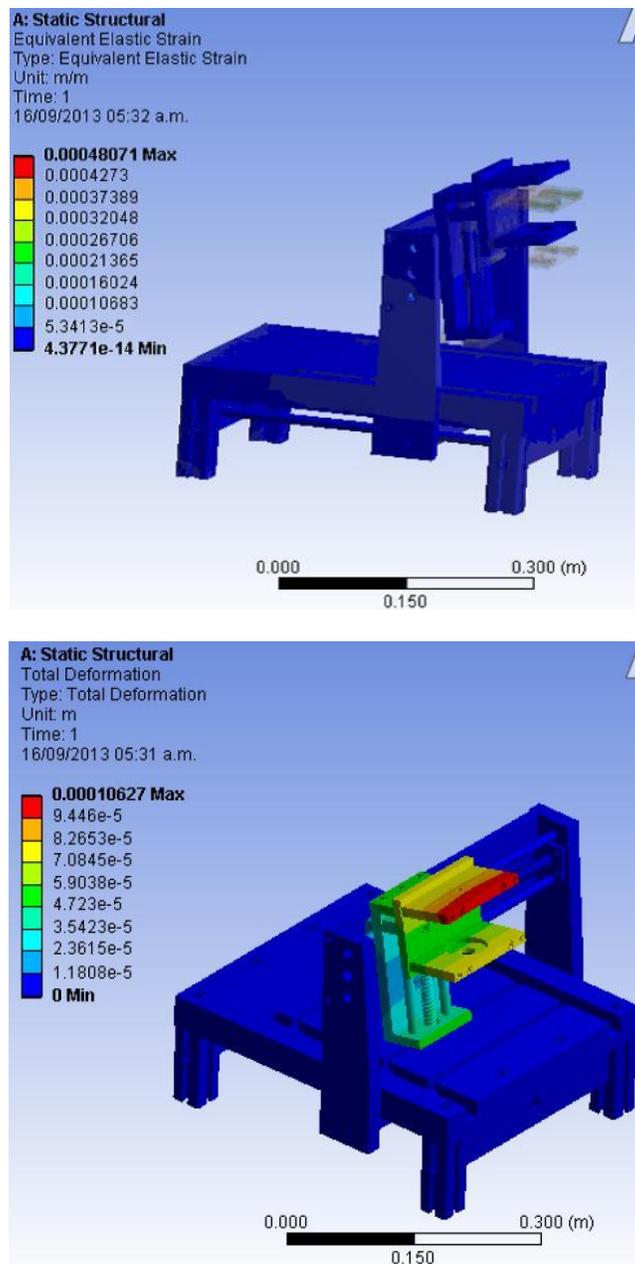


Figura 4.0.8 Análisis de elemento finito con portaherramientas en posición superior y al extremo izquierdo del puente

Revisando los resultados de la imagen del análisis observamos el valor máximo obtenido: la Deformación Total es de 0.10627 mm lo cual se aprecia nuevamente en el Soporte Herramienta Superior Frontal dejando de notarse la deformación de las flechas o guías transversales del carro del puente.

Tratando de corroborar los resultados de la posición anterior se analizó la posición contraria para una mayor seguridad en la estructura del mecanismo bajo la misma carga.

Desplazamiento hacia atrás del puente, portaherramientas en extremo derecho y en posición superior:

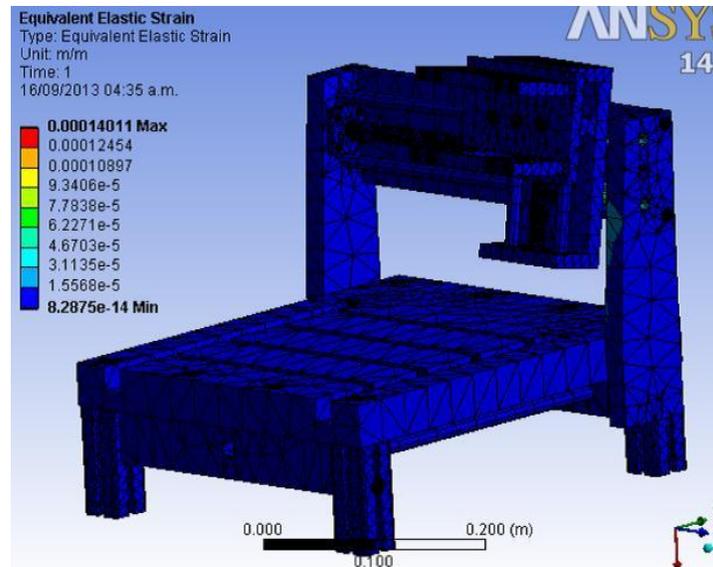


Figura 4.0.9 Análisis de deformación con portaherramientas en posición superior y al extremo derecho del puente

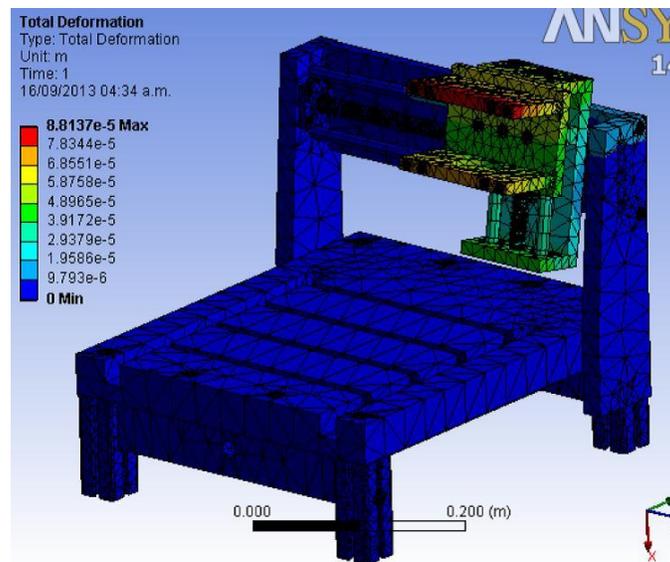


Figura 4.0.10 Análisis de elemento finito con portaherramientas en posición superior y al extremo derecho del puente

En conclusión el análisis arrojó una deformación máxima de 0.37 mm. Esta deformación es de considerar, una de las soluciones más simples aparentemente es incrementar el diámetro de las flechas transversales, en donde se aprecia el mayor esfuerzo, o también se propone sustituir el material utilizado en las flechas por un material con mayor rigidez e inclusive hasta introducir una tercer guía, aumentando así la rigidez del puente, repercutiendo en el costo de fabricación del prototipo de fresadora CNC.

4.4 Selección de materia prima y componentes en el mercado

Entre los puntos destacados en el estudio de mercado se encuentra el que sea un producto barato tomando esto en cuenta los recursos económicos disponibles, los materiales empleados no pueden ser tan costosos pero si de una calidad media, basándonos en esto sugerimos los siguientes materiales para la manufactura del prototipo:

Aluminio 6061T6

Por ser una aleación estándar dúctil y ligera con gran resistencia y es ideal para la elaboración de piezas maquinadas. Ésta es una aleación de propósito general con buena facilidad de maquinado a pesar de su tratamiento con envejecimiento artificial y es muy accesible en el mercado.

Composición química

Elemento	Contenido
Silicio	0.40 a 0.80 %
Hierro	0.7% máximo
Cobre	0.15 a 0.40 %
Magnesio	0.8 a 1.2 %
Cromo	0.04 a 0.35 %
Zinc	0.25 % máximo
Titanio	0.015% máximo

Propiedades mecánicas

Propiedad	Unidades
Resistencia a la tracción máxima	310 MPa
Resistencia a la tracción de cedencia	276 MPa
Elongación a la ruptura	17 %
Modulo de Young	68.9 GPa
Relación de Poisson	0.33
Módulo de corte	26 GPa

Acero A36

El acero ASTM A 36 es un acero al carbón estructural rolado en caliente y es el acero usado más comúnmente para elementos estructurales, posee excelentes propiedades para soldadura y es adecuado para procesos de maquinado como fresado y barrenado.

Composición química

Elemento	Contenido
Carbono, C	0.25 - 0.290 %
Cobre, Cu	0.20 %
Hierro, Fe	98.0 %
Manganeso, Mn	1.03 %
Fósforo, P	0.040 %

Silicio, Si	0.280 %
Azufre, S	0.050 %

Propiedades mecánicas

Propiedad	Unidades
Resistencia a la tracción máxima	400 - 550 MPa
Resistencia a la tracción de cedencia	250 MPa
Elongación a la ruptura (en 200 mm)	20.0 %
Elongación a la ruptura (en 50 mm)	23.0 %
Módulo de Young	200 GPa
Relación de Poisson	0.260
Módulo de corte	79.3 GPa

Aleación de acero con cuerdas roladas no especifica más sobre el material pero alcanza durezas de hasta 64 RC.

Se consideraron proveedores para productos comerciales como son: los husillos, guías, carros, tornillería, etc. Así mismo se modelaron todos los componentes que estarán involucrados en el prototipo de la máquina, es un hecho que algunos proveedores ya cuentan con librerías 3D de algunos de sus productos, lo cual ahorra tiempo al momento del modelado aunque es necesario hacer ciertos ajuste para acoplarlos al diseño deseado.

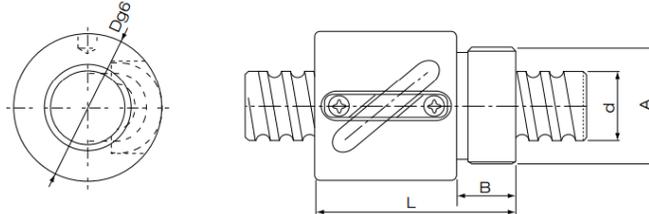
Entre los proveedores se consideró a Thomson Barmex, Rollco, y TBI linear motion para las tuercas embalada, los husillos, guías y carros. Para el prototipo los elementos de movimiento lineal que ofrecen estos proveedores satisfacen las necesidades de precisión del mismo los cuales aseguran un grado de calidad al tener éstas empresas un control estricto en la calidad de sus productos por ser proveedores para empresas más complicadas que se dedican al ramo de la manufactura de componentes.

Para la selección del husillo el cual deberá ser colocado en cada uno de los ejes de la máquina se tomó en cuenta las dimensiones dela máquina y las carreras de los diferentes ejes.

Resumen de especificaciones del producto							
Ball circle	Lead (in)	Dirección	Numero de parte de husillo	Diámetro raíz (in)	Distancias máximas disponibles (ft)	Peso (lb/in)	Útese con estas tuercas de bolas
.631	.200	RH	5707540	.480	6	0.69	7820827
	.200	LH	5707541	.480	6	0.69	7820828
	.200	RH	5705378	.480	6	0.69	5707645

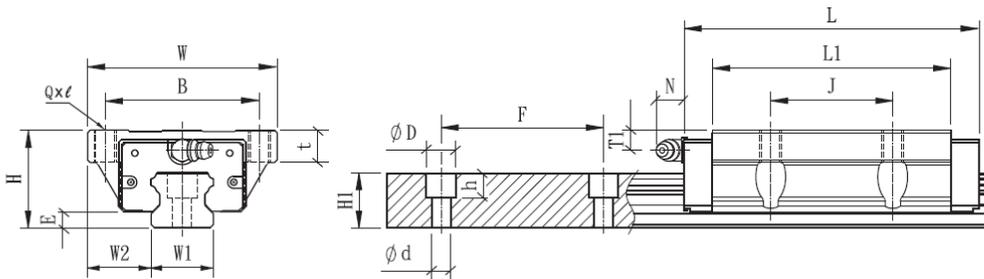
Tabla 4.0.13 Selección de husillo. Fuente catálogo de marcas Barmex.

Una vez seleccionado el husillo, es necesaria la selección de la tuerca embalada que se utilizará para mover los carros en cada uno de los ejes así como los soportes de los husillos, para este fin la empresa Rollco ofrece en sus productos las tuercas embaladas y los soportes para el husillo los cuales deberá ser acoplado un soporte rígido en la parte que sostiene al motor a pasos y otro soporte en el extremo opuesto del husillo el cual se denomina flotante y es más ligero que el soporte rígido. Para el prototipo se seleccionó el siguiente material de acuerdo a los catálogos de estos proveedores:



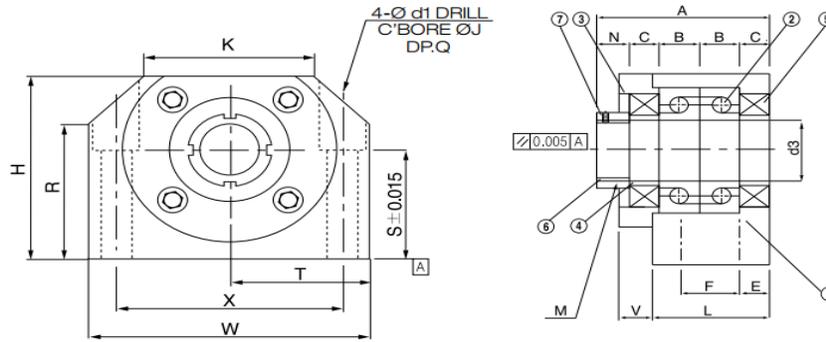
Artículo		Vueltas efectivas			Tuerca				Tasa de carga básica	
d (Diámetro)	l (pa so)	Da (Diámetro de la bola)	N	Dg 6	L	A	B	Ca (Tasa básica de carga dinámica)	Coa (Tasa básica de carga estática)	
RSWR 1605	8	2.5	1.2	2.5 x 1	17	23	M15	7.5	1510	2320
RSWR 1204	12	4	2.381	3.5 x 1	25	34	M20	10	4250	7380
RSWR 1605	16	5	3.175	3.5 x 1	32	42	M26 x 1.5	12	7160	12300

Tabla 4.0.14 Selección de tuerca embalada. Fuente catálogo Rollco.



Modelos de carros para guías Linear Motion TB										
No. De modelo	Ensamble - mm					Block- mm				
	H	W	W2	E	L	B	J	Q x l	L1	
TRH15FL	24	47	16	3	64.7	38	30	M5 x 8	48	
TRH15FE					79.4				63	

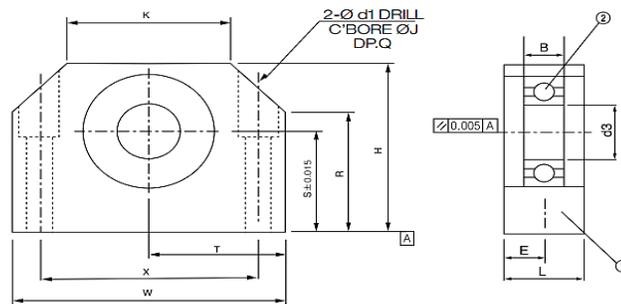
Tabla 4.0.15 Selección de carro y guías. Fuente catálogo Linear TB.



BK part list 1: Housing 2: Bearing 3: Bracket 4: Collar 5: Seal 6: Ring nut 7: Set screw

Selección de soporte rígido para husillos											
No de artículo	Dimensiones										
	W	H	S	R	T	X	K	D1	J	Q	
BK8	52	32	17	18.5	26	38	25	6.6	11	6.5	
BK10	60	39	22	26	30	46	34	6.6	11	6.5	
BK12	60	43	25	30	30	46	34	6.6	11	6.5	
Montura											
	M	L	E	F	V	A	B	C	N	d3	BRG
BK8	M8*0.75	23	11.5		5	34	7	6	8	8	608
BK10	M10*1	25	6	13	6	38	8	7	8	10	7000A
BK12	M12*1	25	6	13	6	38	8	7	8	12	7001A

Tabla 4.0.16 Selección del soporte rígido para los husillos Fuente: Fuente catálogo Rollico.



BF part list 1: Housing 2: Bearing

Selección de soporte rígido para husillos											
No de artículo	Dimensiones										
	W	H	S	R	T	X	K	d1	J	Q	
BF8	52	32	17	18.5	26	38	25	6.6	11	6.5	
BF10	60	39	22	26	30	46	34	6.6	11	6.5	
BF12	60	43	25	30	30	46	34	6.6	11	6.5	
Montura											

	L	E	d3	B	BRG
BF8	20	10	6	6	606
BF10	20	10	8	7	608
BF12	20	10	10	8	5000

Tabla 4.0.17 Selección del soporte flotante para los husillos. Fuente: Fuente catálogo Rollco.

Una vez analizados los catálogos de éstos proveedores se resumen los componentes que serán utilizados para la construcción del prototipo:

Componentes	Descripción	Proveedor	Cantidad
Husillo	Longitud: Eje X 400 mm Eje Y 360 mm Eje Z 184 mm	Rollco	3
Tuerca embalada	RSWR1605	Rollco	3
Carros	TRH15FL	TBI	6
Guías	Longitud: Eje X=330 mm, A= 15 mm Eje Y=380 mm, A= 12 mm Eje Z=185 mm, A= 33 mm Donde A es la distancia del inicio de la guía al centro del primer barreno	TBI	6
Soporte rígido	BK12	Rollco	3
Soporte flotante	BF12	Rollco	3

El criterio para la selección de los componentes del prototipo se basó en los datos que se obtiene de los catálogos del proveedor, así como de su disponibilidad, por tiempos de entrega.

4.5 Tolerancias Geométricas y Dimensionales GD&T

La aplicación de este sistema se ve presente en todos los planos que se generaron para hacer posible la manufactura de las partes, incluso en el modelado del ensamble se deben considerar, ya que las restricciones geométricas que requiere el prototipo pueden afectar en su funcionamiento, por ejemplo la posición de los husillos, carros y guías. El sistema de tolerancias que se aplicará es agujero base esto quiere decir que todos nuestros contenidos serán con tolerancias debajo de la nominal y los continentes estarán en la nominal más la tolerancia que se requiera.

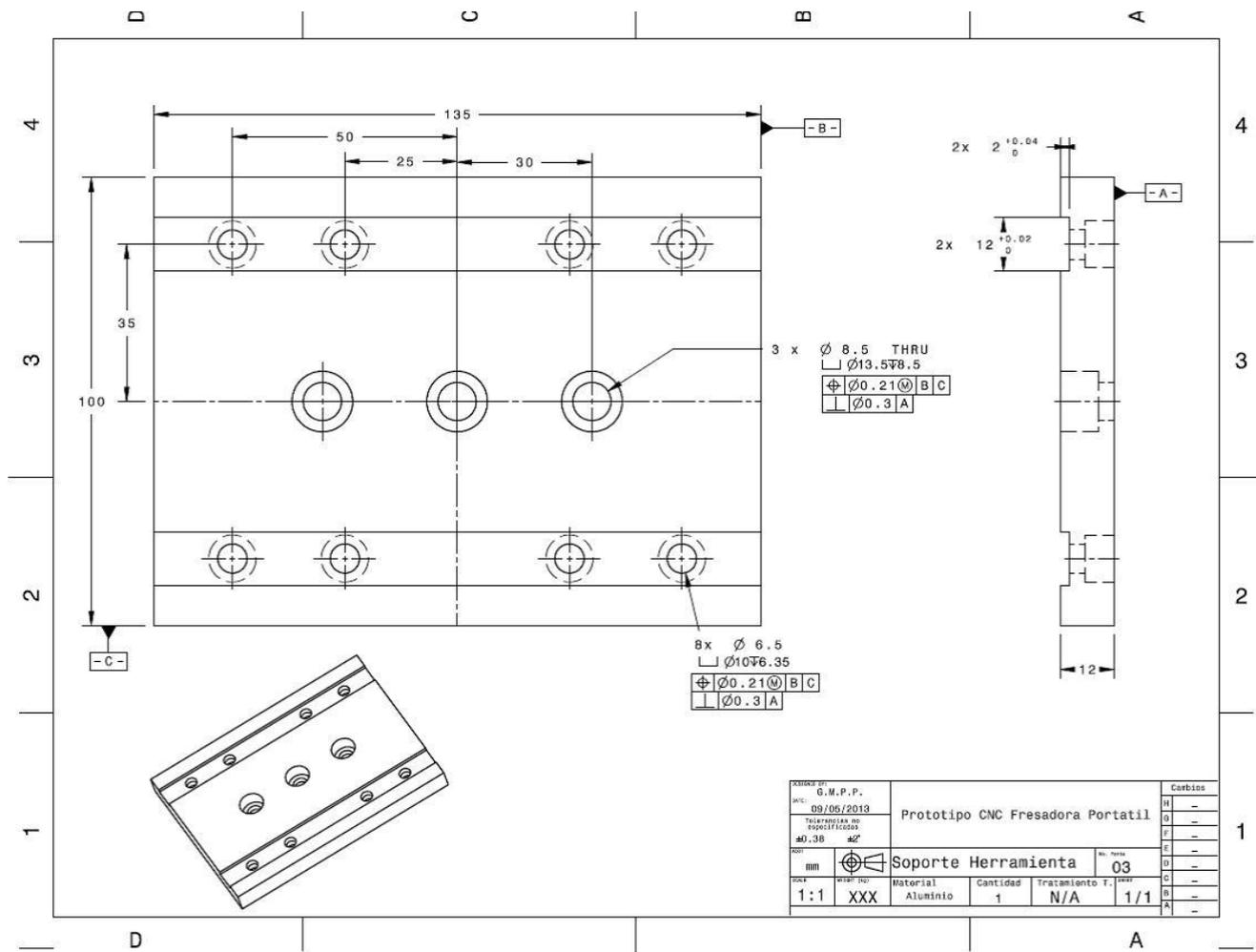


Figura 4.0.11 Plano con sistema GD&T soporte eje z

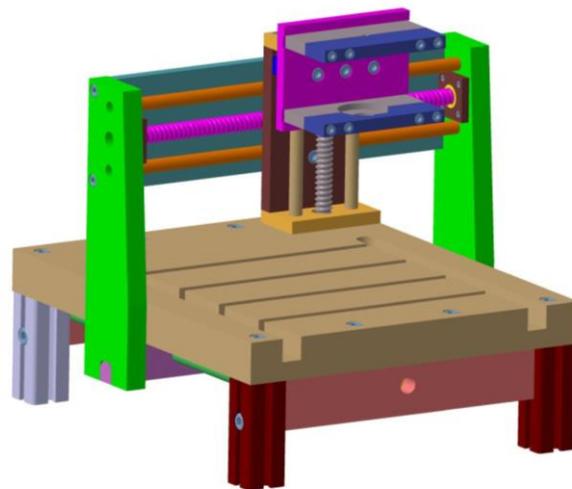


Figura 4.0.122 Modelo de Prototipo (CATIA V5)

4.5.1 Memoria de Cálculos para consideraciones de tolerancia.

Consideraciones para tolerancias de posición en alojamiento de tornillos y barrenos con cuerda.

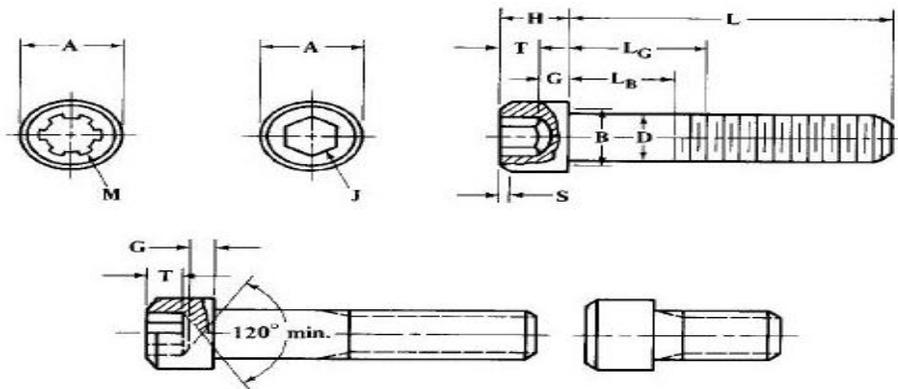
Mediante un análisis mecánico de los elementos se determinó lo siguiente:

Para el alojamiento de tornillos se establece un ajuste con juego, desde diseño se contempla manufacturar los alojamientos del cuerpo y cabeza de los tornillos con brocas estándar y que permitan un juego libre entre sujetador y alojamiento del mismo.

Se contempla el uso de las siguientes medidas de tornillería estándar:

M4, M6, M8 y M10.

De la siguiente tabla se obtiene el rango de diámetro de los tornillos.

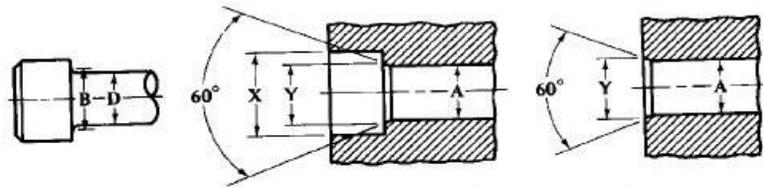


Dimensiones de tornillos métricos estándar											
Tamaño nominal y Paso de la Cuerda	Diámetro del cuerpo D		Diámetro de la cabeza A		Altura de la cabeza H		Chaflán o Radio S	Tuerca Hexagonal tamaño J	Turca Estriada tamaño M	Profundidad T	Transmisión Dia. B
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Nom.	Nom.	Min	Max
M ₄ x0.7	4	3.8	7	6.8	4	3.9	0.4	3	3.378	2	4.7
M ₆ x1	6	5.8	10	9.74	6	5.9	0.6	5	5.486	3	6.8
M ₈ x1.25	8	7.8	13	12.7	8	7.8	0.8	6	7.391	4	9.2
M ₁₀ x1.5	10	9.8	16	15.7	10	9.8	1	8	5	11.2

Tabla 4.0.18 Dimensiones de tornillería estándar métrica. Fuente: 27th Edition Machinery Handbook.

Con estas dimensiones pasamos a la parte de las holguras que establecimos con ayuda de la siguiente tabla.

Para las cajas tomamos de referencia la siguiente tabla, para establecer el tamaño de los alojamientos.



Tamaño de caja y barreno para tornillo estándar métrico				
Tamaño Nominal o Básico Diámetro del Tornillo	Tamaño Nominal del Agujero A		Diámetro Caja X	Diámetro Avellanado Y
	Apretado	Normal		
M ₄	4.4	4.8	8.25	4.7
M ₆	6.4	6.8	11.25	6.8
M ₈	8.4	8.8	14.25	9.2
M ₁₀	10.5	10.8	17.25	11.2

Tabla 4.0.19 Dimensiones de alojamientos tornillería estándar métrica. Fuente:27th Edition Machinery's handbook.

Para el cuerpo:

Holguras recomendadas para agujeros de tornillos métricos			
Diámetro Nominal. D y Paso de la cuerda	Holgura de agujeros		
	Apretado	Normal	Flojo
M ₆ x 1	6.4	6.6	7
M ₈ x 1.25	8.4	9	10
M ₁₀ x 1.5	10.5	11	12

Tabla 4.0.20 Holguras de tornillería métrica estándar. Fuente:27th Edition Machinery's handbook.

Con esto definimos la medida de las brocas estándar a utilizar:

Tornillo	Broca p/alojamiento cuerpo mm	Broca p/alojamiento cabeza mm
M4	4.5	7.5
M6	6.5	10.5
M8	8.5	13.5
M10	10.5	17

Considerando el tipo de maquinado se toma de referencia la siguiente tabla:

Relación de procesos de maquinado con grados de tolerancias

Operación	Grado de Tolerancia									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Lapeado & Honeado										
Rectificado cilindrico										
Rectificado plano										
torneado con diamante										
Mandrilado con diamante										
Brochado										
Rimado										
Torneado										
Mandrilado										
Fresado										
Cepillado										
Barrenado										

Tabla 4.0.21 relación de tolerancias y procesos de maquinado. Fuente: 27th Edition Machinery's handbook.

dimensiones en mm			
Grados	3 - 6	6 - 10	10 - 18
IT10	0.048	0.058	0.07
IT11	0.075	0.09	0.11
IT12	0.12	0.15	0.18
IT13	0.18	0.22	0.27
promedio	0.10575	0.1295	0.1575

Se aplicará el rango máximo de tolerancia para el diámetro del alojamiento, esto con el criterio de que a mayor rango de tolerancia menor el costo de maquinado y sin afectar la funcionalidad de nuestro ensamble, las tolerancias son:

Tornillo	tolerancia mm	Ø de barreno cuerpo mm	Ø de barreno caja mm
M4	0.18	4.68	7.72
M6	0.22	6.72	10.77
M8	0.22	8.72	13.77
M10	0.27	10.77	17.27

Con estos valores y basandonos en la norma ASME Y14.5-2009 del apendice B obtenemos nuestros valores de tolerancia de posición para alojamiento de tornillo y barreno de sujeción.

$$H = F + T\left(1 + \frac{2P}{D}\right) \text{ despejando}$$

$$T = \frac{H - F}{\left(1 + \frac{2P}{D}\right)}$$

donde; T= tolerancia de posición, H= dimensión del agujero de juego libre, F= diámetro del sujetador, P= espesor de la parte con agujero de juego libre y D=profundidad del agujero con cuerda.

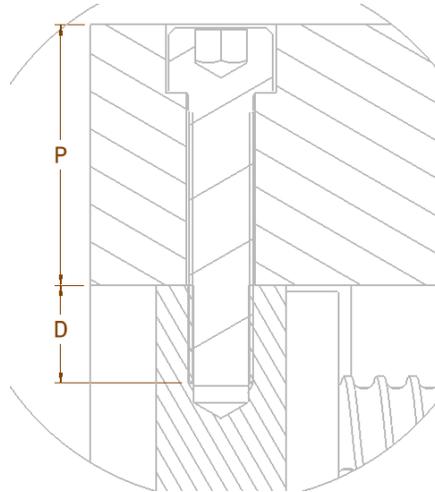


Figura 4.0.13 Identificación de variables P y D.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de tolerancia que aplicamos en nuestros dibujos de detalle.

Tolerancias de posición mm					
Tornillo	F	H	P	D	Tolerancia de posición
M4	4	4.68	8	12	0.2914
M6	6	6.72	12	10	0.2118
M8	8	8.72	20	10	0.1440
M10	10	10.77	40	20	0.1540

Para la tolerancia de perpendicularidad establecimos una condición de proyección de tolerancia en donde un rango de 0-0.3mm nos permite tener piezas funcionales y una tolerancia relativamente amplia.

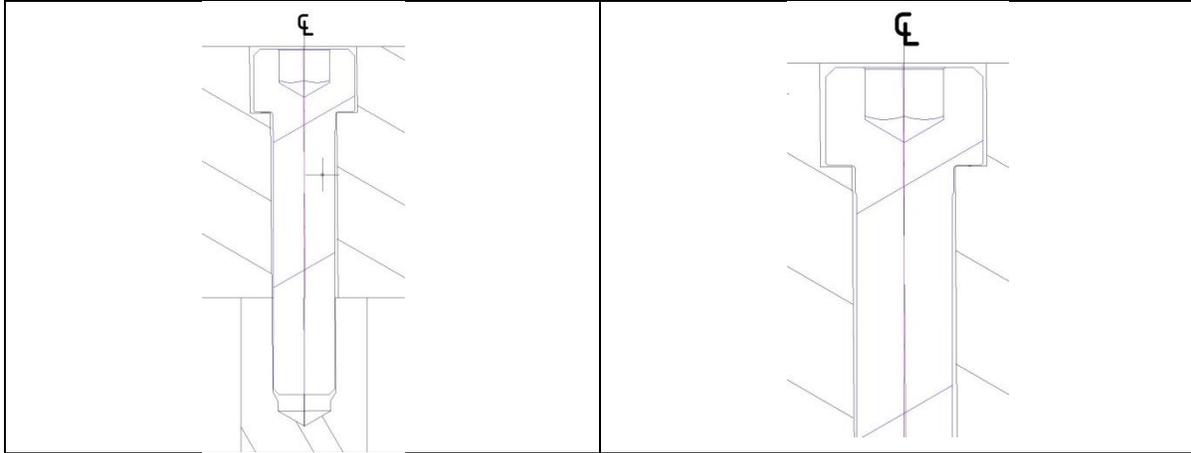


Figura 4.0.14 Condición virtual de alojamiento de tornillo

Para los agujeros con ajuste apretado se propone N7 m6 los elementos que llevan este ajuste son las flechas y los alojamientos de estas en los extremos, haciendo un análisis de condiciones críticas se determina que la máxima tolerancia de posición que estos pueden tener sin afectar el funcionamiento de la maquina es de 0.013mm, y para su perpendicularidad de 0.01mm.

4.6 Generación de planos (Ensamble, Diseño y Manufactura)

Los planos del prototipo fueron generados utilizando la herramienta del módulo llamado “Drafting” el cual se encuentra en el software CATIA V5, los planos se generaron por cada una de las partes del ensamble final el cual igualmente se encuentra detallado. **“Los planos se anexan en el apéndice A de este trabajo.”**

CAPITULO V MANUFACTURA

5.1 Fundamentos del corte

Los procesos de corte quitan material de la superficie de una pieza y producen virutas, algunos de los procesos más comunes que existen son:

- a) Cilindrado: La pieza se gira y una herramienta de corte quita una capa de material al moverse hacia la izquierda.
- b) Tronzado: La herramienta de corte se mueve radialmente hacia adentro y separa el trozo de la derecha del cuerpo de la pieza bruta como se muestra en la figura.
- c) Fresado de placa: Una herramienta de corte rotatoria quita una capa de material de la superficie de la pieza.
- d) Fresado de acabado: El cortador giratorio viaja a cierta profundidad en la pieza y produce una cavidad.

Las operaciones mencionadas se muestran en la siguiente figura:

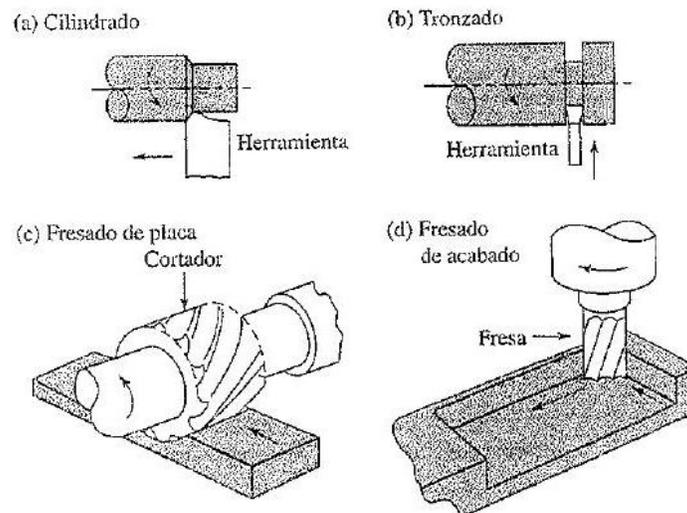


Figura 5.0.1 Ejemplo de procesos de corte. Fuente: *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Serope Kalpakjian 2002

Para analizar en detalle el proceso de corte se presenta un modelo bidimensional del mismo. En éste modelo idealizado, una herramienta de corte se mueve hacia la izquierda, a lo largo de la pieza y a velocidad constante V , y a una profundidad de corte t_0 constante, delante de la herramienta se produce una viruta, por deformación y cizallamiento continuo del material a lo largo del plano cortante.

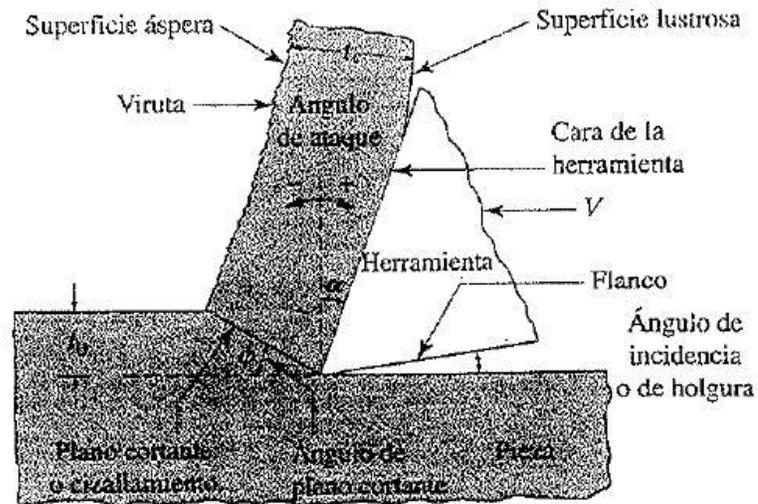


Figura 5.0.2 Esquema de un proceso de corte bidimensional llamado también corte ortogonal Fuente: Serop Kalpakjian 2002

Las variables independientes principales en este proceso son las siguientes:

- Material, recubrimientos y estado de la herramienta.
- Forma, acabado superficial y filo de la herramienta.
- Material, estado y temperatura de la pieza.
- Parámetros de corte, como velocidad, avance y profundidad de corte.
- Fluidos de corte.
- Características de la máquina herramienta, como por ejemplo rigidez y amortiguamiento.
- Sujeción y soporte de la pieza

Variables dependientes que son influidas por cambios en las variables independientes son las siguientes:

- Tipo de viruta producida.
- Fuerza y energía disipadas en el proceso de corte.
- Aumento de temperatura en la pieza, la viruta y la herramienta.
- Desgaste y falla de la herramienta.
- Acabado superficial producida en la pieza después de maquinarla.

En la siguiente tabla se describen los factores que influyen sobre un proceso de corte:

Parámetro	Influencia e interrelaciones
Velocidad, profundidad, avance y fluidos de corte	Fuerzas, potencia, aumento de temperatura, vida de la herramienta, tipo de viruta, acabado superficial.

Ángulos de la herramienta	Igual que arriba, influencia sobre dirección de flujo de viruta, resistencia de la herramienta al despostillamiento.
Viruta continua	Buen acabado superficial; fuerzas estables de corte; indeseable en el maquinado automatizado.
Viruta de borde acumulado	Mal acabado superficial; si el borde acumulado es delgado, puede proteger las superficies de la herramienta.
Viruta discontinua	Preferible para facilidad de desecho de viruta; fuerzas fluctuantes de corte; puede afectar el acabado superficial y causar vibración y traqueteo
Aumento de temperatura	Influye sobre la vida de la herramienta, en especial sobre el desgaste de cráter, y la exactitud dimensional de la pieza; puede causar daños térmicos a la superficie de la pieza.
Desgaste de la herramienta	Influye sobre el acabado superficial, la exactitud dimensional, aumento de temperatura, fuerzas y potencia.
Maquinabilidad	Se relaciona con la vida de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia

Tabla 5.0.1 Factores que influyen sobre el proceso de corte

5.2 Tipos de viruta producida en el corte de metales

Al observar la formación real de virutas bajo distintas condiciones de corte de metales, se ven desviaciones apreciables al modelo de corte ortogonal (Figura 1.6). Una viruta tiene dos superficies: una en contacto con la cara de la herramienta (cara de ataque) y la otra de la superficie original de la pieza. La cara de la viruta hacia la herramienta es brillante o bruñida y esto se debe al frotamiento de la viruta al subir por la cara de la herramienta. La otra superficie de la viruta no se pone en contacto con cuerpo alguno. Ésta superficie tiene un aspecto rasgado y áspero que se debe al mecanismo de corte. Los tipos de viruta más comunes son los siguientes:

- Continua
- Borde acumulado o recreado
- Escalonada o segmentada
- Discontinua

5.2.1 Virutas continuas

Las virutas continuas se suelen formar con materiales dúctiles a grandes velocidades de corte y/o a grandes ángulos de ataque. La deformación del material se efectúa a lo largo de una zona de cizallamiento angosta, la zona primaria de corte. Las virutas continuas pueden, por la fricción,

desarrollar una zona secundaria de corte en la interface entre la herramienta y la viruta. La zona secundaria se vuelve más gruesa a medida que aumenta la fricción entre la herramienta y la viruta. En las virutas continuas la deformación también puede ser a lo largo de una zona primaria de corte amplia, con límites curvos. Aunque en general producen buen acabado superficial, las virutas continuas no son siempre deseables, en especial en las máquinas herramientas controladas por computadora (CNC) porque tienden a enredarse en el portaherramientas, los soportes y la pieza, así como los sistemas de eliminación de viruta y se debe parar la operación para apartarlas. Este problema se puede solventar con los rompe virutas y cambiando los parámetros de maquinado.



Figura 5.0.3 Viruta continua con una zona primaria de corte amplia. Fuente: Serope Kalpakjian 2002

5.2.2 Virutas de borde acumulado o recrecido

Una viruta de borde acumulado consiste en capas de material de la pieza maquinada, que se depositan en forma gradual sobre la herramienta, puede formarse en la punta de la herramienta durante el corte. Al agrandarse, esta viruta se hace inestable y finalmente se rompe. Parte del material de la viruta es arrastrado por su lado que ve a la herramienta y el resto se deposita al azar sobre la superficie de la pieza. El proceso de formación y destrucción del borde acumulado se repite en forma continua durante la operación de corte, a menos que se tomen medidas para eliminarlo. El borde acumulado es uno de los factores que afecta de forma más adversa al acabado superficial en el corte y cambia la geometría del filo de corte. Por el endurecimiento por trabajo y por la deposición de capas sucesivas de material, la dureza del borde acumulado aumenta bastante. Aunque en general el borde acumulado es indeseable, se considera que un borde delgado y estable es favorable, porque reduce el desgaste, protegiendo la cara de ataque de la herramienta

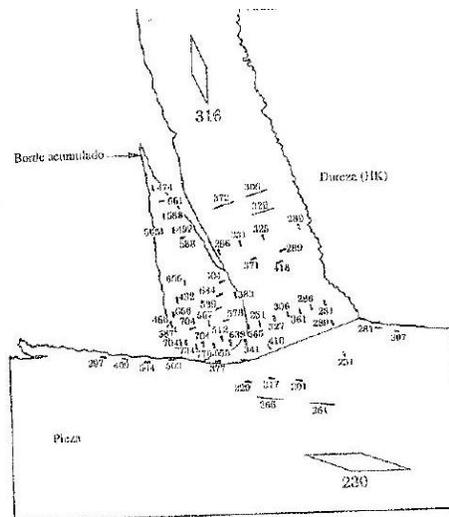


Figura 5.0.4 Viruta con borde acumulado o recocado. Fuente: Serope Kalpakjian 2002

A medida que aumenta la velocidad de corte disminuye el tamaño del borde acumulado, de hecho, puede no formarse. La tendencia de formación de borde acumulado se reduce también con cualquiera de los siguientes métodos:

- Disminuir la profundidad de corte.
- Aumentar el ángulo de ataque.
- Usar una herramienta aguda.
- Usar un buen fluido de corte.

En general, mientras mayor sea la afinidad de los materiales de la herramienta y la pieza, a tendencia al borde acumulado es mayor, además un metal trabajado en frío tiene en general, menor tendencia al borde acumulado que uno que ha sido recocido.

5.2.3 Virutas escalonadas o segmentadas

Las virutas escalonadas llamadas también segmentadas o no homogéneas, son semicontinuas con zonas de baja y alta deformación por cortante. Los metales con baja conductividad térmica y resistencia que se reduce rápidamente con la temperatura, como el titanio, muestran este comportamiento. Las virutas tienen un aspecto de diente de sierra.

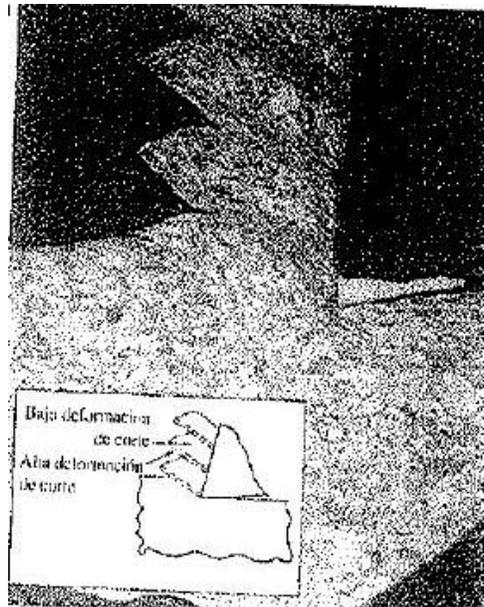


Figura 5.0.5 Viruta escalonada o segmentada con zonas de baja y alta deformación de corte. Fuente: Serope Kalpakjian 2002

5.2.4 Virutas discontinuas

Las virutas discontinuas consisten en segmentos que pueden fijarse firme o flojamente, entre sí. Se suelen formar en las siguientes condiciones:

- Materiales frágiles en la pieza, porque no tienen la capacidad de absorber las grandes deformaciones cortantes que se presentan en el corte.
- Materiales de la pieza que contienen inclusiones e impurezas duras, o que tienen estructuras como las láminas de grafito en la fundición gris.
- Velocidades de corte muy bajas o muy altas.
- Grandes profundidades de corte.
- Ángulos de ataque bajos.
- Falta de un fluido de corte eficaz.
- Baja rigidez de la máquina herramienta.

Por la naturaleza discontinua de la formación de virutas, las fuerzas varían de forma continua durante el corte. En consecuencia, adquieren importancia la rigidez del porta herramienta y de los sujetadores de la pieza, así como de la máquina herramienta.

5.3 Despostillamiento

Desportillado es el término que se utiliza para describir la rotura y expulsión de una pequeña parte del filo de la herramienta, fenómeno parecido a cuando se rompe la punta de un lápiz aguzado. Las

partes desportilladas de la herramienta de corte pueden ser muy pequeñas (microdespostillado o macrodespostillado) o pueden ser relativamente grandes (desportillado grueso o fractura). A diferencia del desgaste que es un proceso gradual, el despostillamiento da como resultado una pérdida repentina del material de la herramienta y un cambio correspondiente de forma, y tiene un gran efecto negativo sobre el acabado superficial, la integridad superficial y la exactitud dimensional de la pieza.

Dos causas principales del desportillado son el choque mecánico (impacto por interrumpir el corte) y la fatiga térmica (variaciones cíclicas de temperatura de la herramienta de corte en el corte interrumpido). Las grietas térmicas suelen ser perpendiculares al filo cortante de la herramienta. El despostillamiento puede ser consecuencia de grandes inconsistencias en la composición del material de la pieza o en su estructura. El despostillamiento se puede presentar en una región de la herramienta donde ya existía una grieta o un defecto pequeños.

Los ángulos de ataque positivos grandes también pueden contribuir al despostillamiento, por el ángulo incluido pequeño de la punta de la herramienta. El despostillamiento o la fractura se pueden reducir seleccionando materiales de herramienta con gran resistencia al impacto y al choque térmico.

5.4 Maquinabilidad

La maquinabilidad de un material, se suele definir en función de 4 factores:

- Acabado e integridad superficial de la parte maquinada.
- Duración de la herramienta
- Requerimientos de fuerza y potencia
- Control de viruta

Una buena maquinabilidad se traduce en un buen acabado e integridad de superficie, larga vida de la herramienta y bajos requerimientos de fuerza y potencia. Las virutas largas y delgadas, si no se rompen, pueden interferir mucho en las operaciones de corte, al enredarse en la zona de corte.

5.4.1 Maquinabilidad de los aceros

Los aceros son de los materiales más importantes en ingeniería. La maquinabilidad de los aceros se ha mejorado, principalmente agregándoles plomo y azufre para obtener los llamados aceros de maquinado libre.

5.4.2 Aceros resulfurados y refosforados

El azufre en los aceros forma inclusiones de sulfuro de manganeso que actúan como elevadores de refuerzos en la zona de corte primario. En consecuencia, las virutas producidas se rompen con facilidad y son pequeñas; esto mejora la maquinabilidad. El tamaño, forma, distribución y concentración de estas inclusiones influyen mucho sobre la maquinabilidad.

El fósforo tiene dos efectos principales sobre los aceros. Fortalece a la ferrita, elevando la dureza. Los aceros más duros dan como consecuencia mejor formación de viruta y mejor acabado superficial. El segundo efecto es que la mayor dureza causa la formación de virutas cortas, en lugar de hilos continuos, y con ello mejora la maquinabilidad.

5.4.3 Aceros con plomo

Un gran porcentaje del plomo en los aceros se solidifica en las puntas de las inclusiones de sulfuro de manganeso. En los tipos no resultados de acero, el plomo toma la forma de partículas finas dispersas. El plomo es insoluble en el hierro, cobre y aluminio, y en sus aleaciones. Por su baja resistencia al corte, en consecuencia, el plomo funciona como lubricante sólido, y se reparte sobre la interface herramienta viruta durante el corte. Este comportamiento ha sido verificado por la presencia de grandes concentraciones de plomo en la cara de las virutas que dan a la herramienta, al maquinar aceros con plomo.

Cuando la temperatura es suficientemente alta, por ejemplo, a grandes velocidades de corte y grandes avances, el plomo se funde directamente frente a la herramienta y funciona como lubricante líquido, además de este efecto, el plomo baja el esfuerzo cortante en la zona primaria de corte, reduciendo las fuerzas de corte y el consumo de potencia. El plomo se puede usar en todo tipo de acero como 10xx, 11xx, 12xx, 41xx, etc. Los aceros con plomo se identifican con la letra L (lead, plomo) entre el segundo y tercer número (ej. 10L45)

5.4.4 Aceros desoxidados con calcio

Un desarrollo importante es el de los aceros desoxidados con calcio, en los que se forman hojuelas de silicatos de calcio (CaSO_x). Estas hojuelas a su vez reducen la resistencia de la zona secundaria de corte y disminuyen la fricción entre la herramienta y la viruta, así como el desgaste. La temperatura se reduce en consecuencia y se reduce el desgaste en especial a grandes velocidades de corte.

5.4.5 Otros elementos influyentes en la maquinabilidad del acero

La presencia de aluminio y de silicio en los aceros siempre es nociva, porque estos elementos se combinan con el oxígeno y forman óxido de aluminio y silicatos que son duros y abrasivos. Estos componentes aumentan el desgaste de las herramientas y reducen la maquinabilidad. Son esenciales para producir y usar aceros limpios.

El carbono y el manganeso tienen diversos efectos sobre la maquinabilidad de los aceros que dependen de su composición. Los aceros simples al bajo carbono (menos de 0.15% C) pueden producir mal acabado superficial por la formación de borde acumulado.

Otros elementos de aleación como níquel, cromo, molibdeno y vanadio, que mejoran las propiedades de los aceros, reducen en general su maquinabilidad. El efecto del boro es inapreciable. Los elementos gaseosos como el hidrógeno y el nitrógeno pueden tener efectos especialmente nocivos sobre las propiedades del acero. Se ha demostrado que el oxígeno tiene un fuerte efecto sobre la relación de aspecto de las inclusiones de sulfuro de manganeso; a mayor contenido de oxígeno, la relación de aspecto es menor y la maquinabilidad es mayor. Al seleccionar diversos elementos con objeto de mejorar la maquinabilidad, se deben tener en cuenta los efectos negativos posibles de ellos sobre las propiedades y la resistencia de la parte maquinada durante su servicio. Un ejemplo de ello es el plomo que a temperaturas elevadas causa la fragilización de los aceros aunque a temperatura ambiente no tiene efecto sobre las propiedades mecánicas.

5.4.6 Maquinabilidad del aluminio y otros metales

En general, el aluminio es muy fácil de maquinar, aunque los grados más suaves tienden a formar borde acumulado y se obtienen mal acabado superficial, se recomiendan grandes velocidades de corte, altos ángulos de ataque y grandes ángulos de incidencia. Las aleaciones forjadas de aluminio con alto contenido de silicio y las aleaciones coladas de aluminio pueden ser abrasivas, requieren materiales de herramienta más duros. Puede presentarse el problema del control dimensional al maquinar aluminio, por tener un alto coeficiente de dilatación y un módulo de elasticidad relativamente bajo. El berilio se parece a los hierros colados. Sin embargo, por ser más abrasivo y tóxico, requiere maquinarlo en un ambiente controlado.

Las fundiciones grises o hierros colados grises son maquinables en general, pero también son abrasivos. Los carburos libres en las coladas reducen su maquinabilidad y causan desportillamiento o fracturas de herramienta; necesitan herramientas con gran tenacidad. Los hierros nodulares y maleables son maquinables con materiales de herramienta duros.

Las aleaciones a base de cobalto son abrasivas y se endurecen mucho por el trabajo en frío, requieren materiales afilados y resistentes a la abrasión así como bajos avances y bajas velocidades de corte.

El cobre forjado puede ser difícil de maquinar por la formación de borde acumulado, aunque las aleaciones coladas de cobre son fáciles de maquinar.

El magnesio es muy fácil de maquinar, con buen acabado superficial y permite larga duración de la herramienta. Sin embargo se debe tener cuidado por su gran rapidez de oxidación y peligro de incendios. El elemento es pirofórico.

El molibdeno es dúctil y se endurece con el trabajo, por lo que puede producir mal acabado superficial. Son necesarias herramientas aguzadas.

Las aleaciones a base de níquel se endurecen con el trabajo, son abrasivas y son resistentes a altas temperaturas.

El titanio y sus aleaciones tienen baja conductividad térmica (la mínima de todos los metales) que causa bastante aumento de temperatura y borde acumulado; pueden ser difíciles de maquinar.

5.5 La fresadora

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, etc. Además las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas. En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen tres tipos de fresadoras: horizontales, verticales y universales.

Una fresadora horizontal utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero. Esta máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras. Cuando las operaciones a realizar lo permiten, principalmente al realizar varias ranuras paralelas, puede aumentarse la productividad montando en el eje portaherramientas varias fresas conjuntamente formando un tren de fresado. La profundidad máxima de una ranura está limitada por la diferencia entre el radio exterior de la fresa y el radio exterior de los casquillos de separación que la sujetan al eje portafresas.

En una fresadora vertical, el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.

Una fresadora universal tiene un husillo principal para el acoplamiento de ejes portaherramientas horizontales y un cabezal que se acopla a dicho husillo y que convierte la máquina en una fresadora vertical. Su ámbito de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar. En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido como carnero, puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías.

5.6 Operaciones de fresado

En el fresado se incluyen varias operaciones de maquinado muy versátiles, capaces de producir una diversidad de configuraciones usando una fresa (cortador de la máquina fresadora), que es una herramienta de varios dientes que produce varias virutas en su revolución.

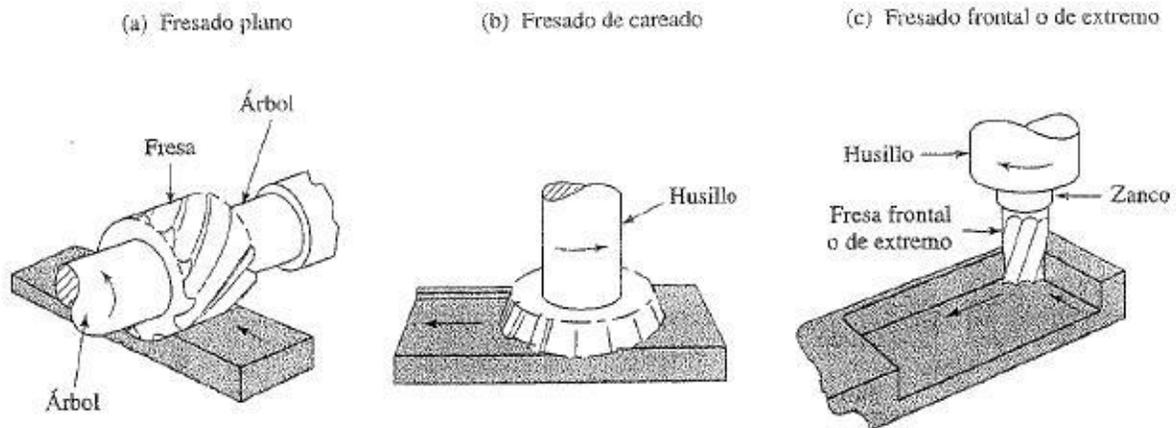


Figura 5.0.6 Algunos de los tipos básicos de fresas y operaciones de fresado. Fuente: Manufactura ingeniería y tecnología, Serope Kalpakjian 2002

5.6.1 Fresado plano o periférico

En este proceso, el eje de rotación de la fresa es paralelo a la superficie de la pieza que se va a maquinar. La fresa suele ser de acero de alta velocidad, tiene varios dientes en su circunferencia y cada uno trabaja como herramienta de corte, esta fresa se llama fresa recta. Los cortadores para fresado periférico pueden tener dientes rectos o dientes helicoidales con los que se obtienen acciones respectivas de corte ortogonal o de corte oblicuo.

5.6.2 Fresado convencional

También llamado hacia arriba o contra el avance, el espesor máximo de la viruta está en el final del corte. Sus ventajas son que el agarre del diente no es función de las características superficiales de la pieza y que la contaminación y/o cascarilla no afectan la vida de la herramienta. En el método normal de fresar, el proceso de corte es uniforme siempre que los dientes de la fresa estén afilados, sin embargo, puede haber tendencia de la herramienta a traquetear y la pieza tiene tendencia a ser arrancada hacia arriba.

5.6.3 Fresado concurrente

Llamado también hacia abajo (el giro de la fresa está en la misma dirección que el avance de la pieza) el corte comienza en la superficie de la pieza y la viruta es allí más gruesa. La ventaja es que la componente hacia debajo de las fuerzas de corte mantiene la pieza en su posición en especial en piezas delgadas.

5.7 Rectificado

El rectificado es el trabajo de mayor importancia en la construcción de máquinas y en todo aquel tipo de construcciones mecánicas que requieran ajustes y tolerancias. Dicha importancia se debe a la necesidad creada por el constante progreso de la industria mecánica y la conveniencia de dar a las superficies deslizantes una mayor resistencia al desgaste.

La rectificadora es una máquina herramienta, utilizada para realizar mecanizados por abrasión, con mayor precisión dimensional y menores rugosidades que en el mecanizado por arranque de viruta. Las piezas que se rectifican son principalmente de acero endurecido mediante tratamiento térmico. Para el rectificado se utilizan discos abrasivos robustos, llamados muelas. El rectificado se aplica luego que la pieza ha sido sometida a otras máquinas herramientas que han quitado las impurezas mayores, dejando solamente un pequeño excedente de material para ser eliminado por la rectificadora con precisión. A veces a una operación de rectificado le siguen otras de pulido y lapeado.

Las rectificadoras para piezas metálicas consisten en un bastidor que contiene una muela giratoria compuesta de granos abrasivos muy duros y resistentes al desgaste y a la rotura. La velocidad de giro de las muelas puede llegar a 30.000 rpm, dependiendo del diámetro de la muela.

Según las características de las piezas a rectificar se utilizan diversos tipos de rectificadoras, siendo las más destacadas las siguientes:

- **Rectificadoras planeadoras o tangenciales:** consisten de un cabezal provisto de una muela y un carro longitudinal que se mueve en forma de vaivén en el que se coloca la pieza a rectificar. También puede colocarse sobre una plataforma magnética. Generalmente se utiliza para rectificar matrices, calzos y ajustes con superficies planas.

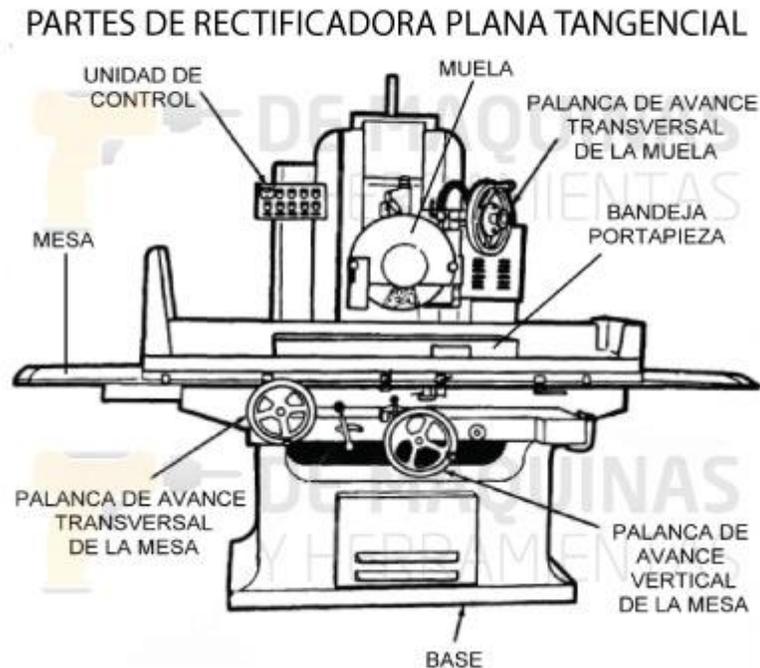


Figura 5.0.7 Rectificadora plana. Fuente <http://www.demaquinasyherramientas.com>

- **Rectificadora sin centros (centerless):** consta de dos muelas y se utilizan para el rectificado de pequeñas piezas cilíndricas, como bulones, casquillos, pasadores, etc. Permite automatizar la alimentación de las piezas, facilitando el funcionamiento continuo y la producción de grandes series de la misma pieza. En este caso la superficie de la pieza se apoya sobre la platina de soporte entre el disco rectificador (que gira rápidamente) y la platina regulable pequeña (que se mueve lentamente).



Figura 5.0.8 Rectificadora sin centros centerless. Fuente: <http://es.made-in-china-com>

- **Rectificadoras universales:** se utilizan para todo tipo de rectificadas en diámetros exteriores de ejes. Son máquinas de gran envergadura cuyo cabezal porta muelas tiene un variador de velocidad para adecuarlo a las características de la muela que lleva incorporada y al tipo de pieza que rectifica.



Figura 5.0.9 Rectificadora universal. Fuente: <http://mercadolibre.com>

5.8 Sujeción de la pieza a maquinar

Se puede determinar que la sujeción de la pieza es la disciplina dedicada a mantener la pieza en su lugar mediante la ubicación y fijación. Los dispositivos de sujeción mantendrán la pieza de trabajo en un lugar específico mientras se desempeña una o varias operaciones de maquinado.

5.8.1 Importancia de la sujeción de la pieza

Esta importancia puede depender del tipo de producción que se realiza en el centro de maquinado ya que, una buena sujeción puede:

- Reducir los tiempos de producción
- Obtener la precisión deseada o estar dentro de las tolerancias establecidas para el maquinado
- Disminuye los gastos en el control de calidad

Diferentes tipos guías y sujetadores (jig & fixtures)

- Clamps
- Chucks
- Vises (Tornillos de banco)
- Bushings
- Modular Fixturing

DIFERENCIAS ENTRE JIG & FIXTURES

JIGS (GUIAS)	FIXTURES (SUJETADORES)
Son más ligeros	Son mas pesados
Mantiene la pieza de trabajo, localiza y guía la herramienta.	Mantienen y posicionan la pieza, pero no guían la herramienta
Generalmente utilizado en operaciones de Drilling y Taping	Generalmente utilizados en operaciones de Milling, Grinding y Turning

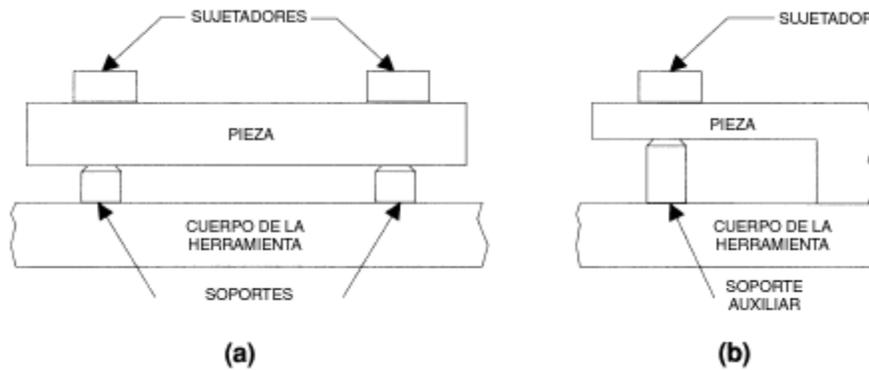


Figura 5.0.10 Utilización de sujetadores Fuente www.carrlane.com

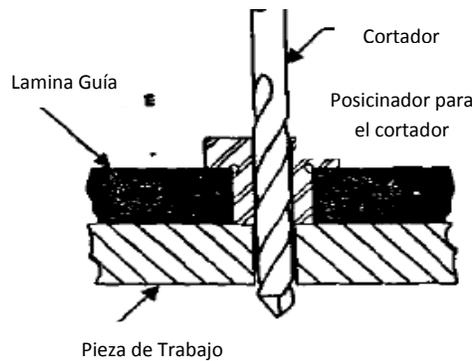


Figura 5.0.11 Utilización de guías Fuente Tesina Importancia de la Sujecion

Costo

Aunque el costo inicial es un elemento importante, este no debería ser base para aceptar o rechazar ninguna opción de maquinado.

Aquí también es de gran importancia saber qué tipo de producción es ya que, si es una enserie donde se hace la misma pieza es conveniente tener sujetadores permanente pero esto implica mantenimiento y almacenaje. En cambio sí son piezas únicas es más práctico fabricar los sujetadores con un material de menor calidad, pero esto puede implicar desviaciones en la geometría final de la pieza.

Operación

Esto va ligado a la operación que ejercerá la maquina sobre la herramienta lo cual considera dimensiones de la pieza, material de la pieza, trayectorias de corte de la pieza, revoluciones del cortador etc.

5.8.4 Elementos de Jigs y Fixtures para cada operación.

Los principales elementos y los que nos permitirán seleccionar cuales son los mejores para cada operación son los siguientes:

- Cuerpo (Body)
- Dispositivo de localización (Locating Device)
- Dispositivo de sujeción (Clamping Device)
- Guía de la herramienta (Tool Guide)

BODY (Cuerpo)

El Jig Body es la parte más característica y predominante de la guía, su principal propósito es mantener la pieza en su lugar evitando así que esta se mueva durante el maquinado.

Existen diferentes tipos de Jig y estos al igual que todo tipo de guía y sujetador depende de la operación que se vaya a realizar, como lo son:

- Plantilla Guía (Template Jig). Este es el tipo más simple de Jig, es simplemente una lámina hecha a la forma y tamaño de la pieza de trabajo e incluso con el número de barrenos que se harán en el proceso de maquinado.

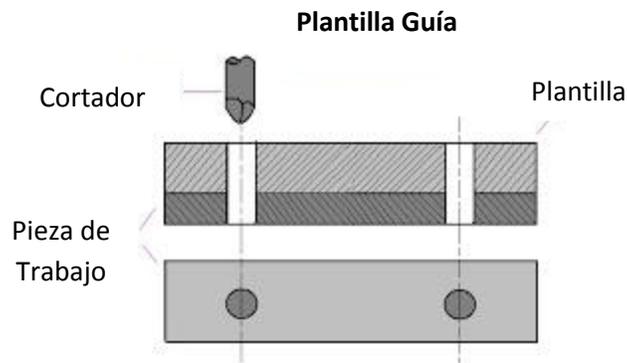


Figura 5.0.13 Plantilla de sujeciones. Fuente: engineeringhut.

- Jig Tipo Lamina (Plate Type Jig). Este es una mejora sobre el Template Jig. En lugar de realizar simples barrenos al Jig tipo lamina se le agrega un Bush el que tiene la función de guiar la herramienta de corte. La pieza de trabajo puede ser sujeta a la lámina (Plate Type Template) y los agujeros pueden ser realizados. Este tipo de Jig es recomendado cuando se hacen varios barrenos en la pieza a maquinar, manteniendo así la precisión y los espacio entre cada barreno.

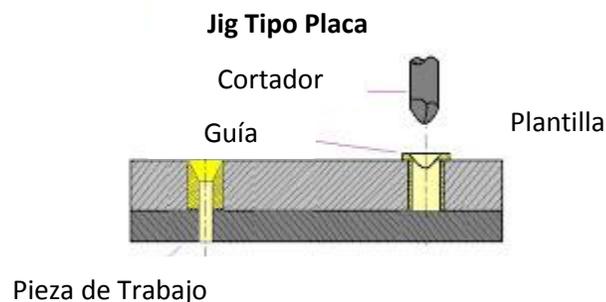


Figura 5.0.14 Jig tipo lamina

- Jig Tipo Canal (Channel Jig). Un jig tipo canal es parecido al jig tipo simple teniendo como diferencia un canal el cual forma una tipo caja, en este espacio que se forma es colocada la pieza de trabajo, este jig tipo canal es sujetado mediante clamps y la pieza a maquinar es ajustada mediante una perilla la cual viene integrada en este tipo de jigs.

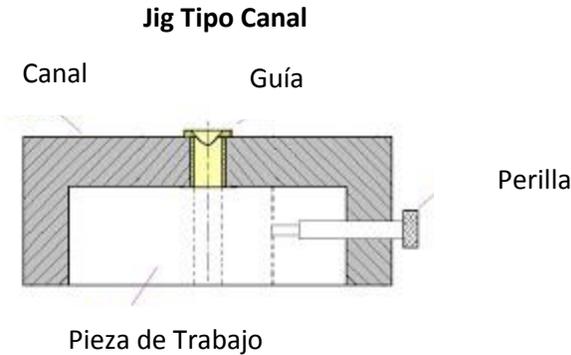


Figura 5.0.15 Jig tipo canal. Fuente American Machinist

DISPOSITIVOS DE LOCALIZACION (Locating devices)

Los pines o clavijas tienen varios diseños y son hechos de acero templado, estos son los dispositivos de localización más comunes utilizados para ubicar la pieza de trabajo en una plantilla o portapiezas. El diámetro de la cabeza del pin es mayor a al diámetro del cuerpo esto para evitar esfuerzos cortantes que puedan dañar las plantillas por el mismo peso de la pieza. Dependiendo de la relación entre la pieza del trabajo y el pin este puede ser clasificado en:

- Pines de localización (Locating Pins). Este tipo de pines son utilizados para localizar ya sea una superficie exterior de la pieza de trabajo o un algún barreno interior. Para estas dos tipos de operaciones existen 2 tipos de pines los cilíndricos que sirven para la localización de las superficies exteriores de la pieza de trabajo y las cónicas para ubicar los agujeros internos.

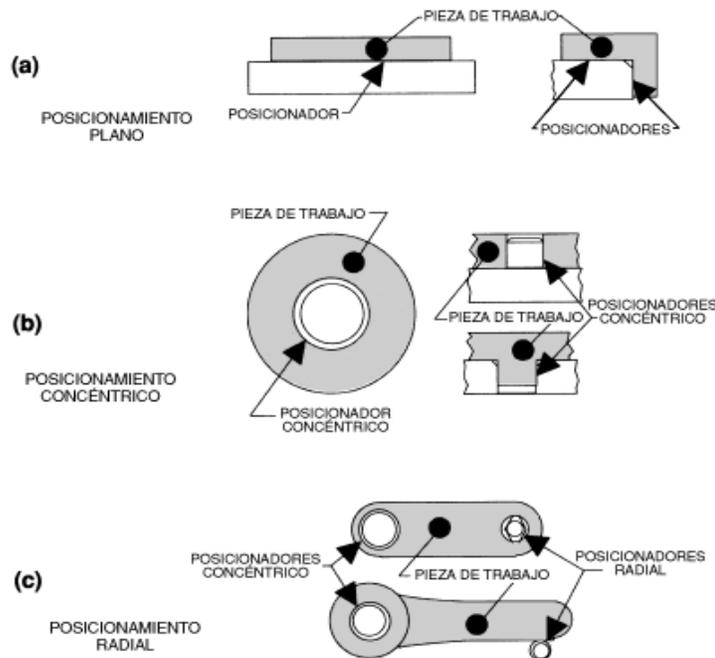


Figura 5.0.16 Representación de los 3 tipos de posicionadores para poder así localizar la pieza de trabajo Fuente www.carrlane.com

- Pines de Soporte o Apoyo (Support Locating Pins). Estos dispositivos levantan la pieza de trabajo mediante una cabeza plana o curva. Los pines de cabeza plana son lo más utilizados ya que tienen una mayor área de contacto sobre la pieza así asegurando la ubicación de esta sea segura y estable. Los pines de cabeza esférica son utilizadas para piezas que tienen superficies rugosas ya que estas proporcionan un punto de apoyo que pueden ser mas estables bajo estas circunstancias.

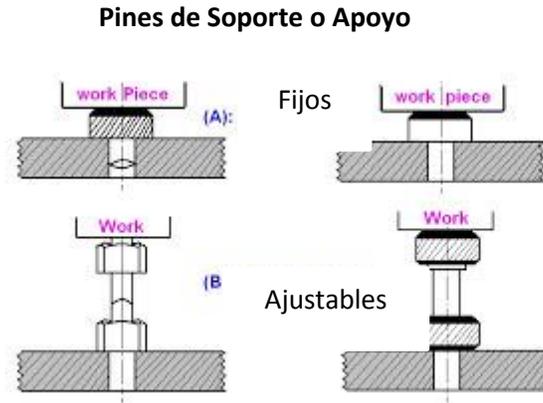


Figura 5.0.17 Pines de soporte o apoyo. Fuente: American Machinist

- Pin Tipo Jack (Spring Pin). Pines tipo Jack son utilizados para levantar la pieza de trabajo constantemente puede considerarse como una variante de los pines de apoyo solo que esta puede subir y bajar sin la necesidad de desmontar la pieza de trabajo. Este mecanismo funciona como lo hace un gato hidráulico.

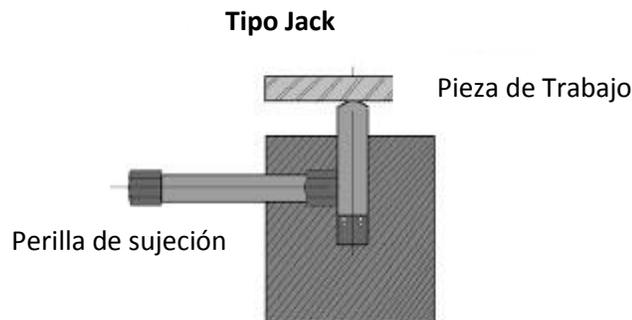


Figura 5.0.18 Pin tipo Jack. Fuente: American Machinist

DISPOSITIVOS DE ABARAZADERAS Y MORDAZAS (Clamping devices)

Es un dispositivo en la que su principal función es resistir las fuerzas de corte secundarias durante la operación de mecanizado. Los clamps se utilizan para sujetar la pieza contra los dispositivos de localización.

Existe una gran variedad de clamps pero los que suelen ser más utilizados son:

- Tornillos de sujeción (Clamping Screw). Los tornillos de sujeción son utilizados cuando es necesario realizar algún tipo de ajuste o inspección en la pieza a maquinar ya que estos pueden aflojarse y apretarse cuando esto sea requerido.

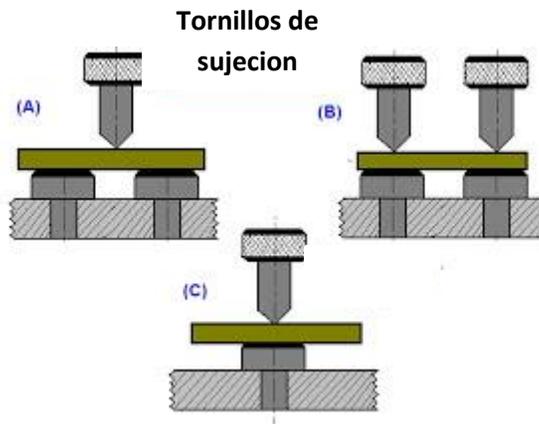


Figura 5.0.19 Tornillos de sujeción. Fuente: American Machinist

- Perno tipo gancho (Hook Bolt Clamp) Estos dispositivos son muy parecidos a los tipo tornillo de igual forma se utilizan cuando es necesario realizar ajuste o algún tipo de inspección ya que este es ajustable, la única diferencia es la forma en que se aprietan estos dispositivos, ya que estos se ajustan a superficies que no son la pieza de trabajo.



Figura 5.0.20 Perno tipo gancho. Fuente: American Machinist

- Clamp Tipo Puente (Bridge Clamp). Este tipo de dispositivos sirven para distribuir la fuerza sujeción a lo largo del puente, esto para evitar posibles daños a la pieza a maquinar y el mismo Clamp.

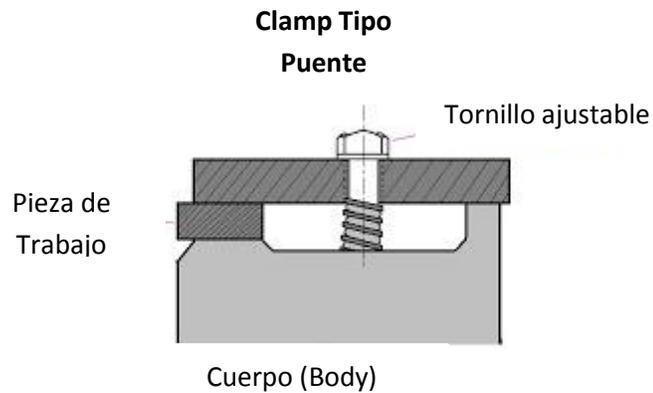


Figura 5.0.21 Clamp Tipo Puente. Fuente: American Machinist

- Clamp tipo Tacon (Heel Clamp) La principal función de este dispositivo es que mediante el uso del tacón manda las fuerzas de sujecion a la parte de adelante o la parte en donde se sujetara la pieza para poder así disminuir el are de contacto entre el Clamp y la pieza de trabajo.

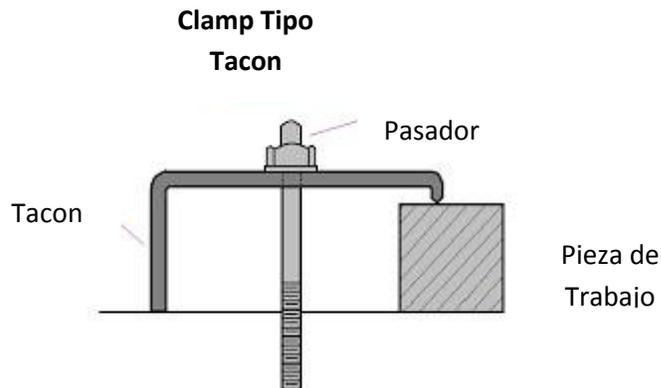


Figura 5.0.22 Clamp tipo tacón. Fuente: American Machinist

HERRAMIENTAS GUIA O PLANTILLAS GUIA (Tool Guide or Jig Bushing).

Algunas veces solo la rigidez de la herramienta de corte puede ser insuficiente para realizar ciertas operaciones de mecanizado necesitan una guía, una posición y un apoyo es por eso que si queremos hacer una buena sujecion en cualquier pieza de trabajo es necesario considerar estas herramientas guía.

En el estándar americano existen 3 categorías para estas plantillas que son:

- Press-Fit Wearing Bushes. Este tipo de guías es utilizada cuando hay muy poca importancia sobre la precisión de la pieza a maquinar. Esta plantillas son directamente instaladas en el Body Jig.

Press Fit Wearing Bush

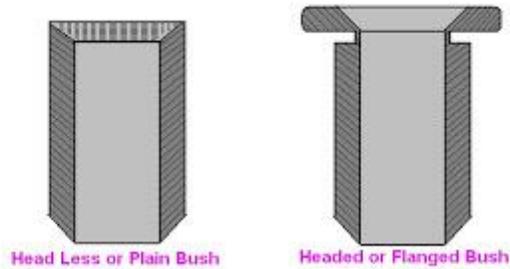


Figura 5.0.23 Press Fit Wearing Bushes. Fuente: American Machinist

- Renewable Bushes. Como su nombre lo dice este tipo de dispositivos son reutilizados debido al material con que son fabricados, es recomendable el uso de estos dispositivos cuando se está produciendo una misma pieza o componente en serie.

Renewable Bushes

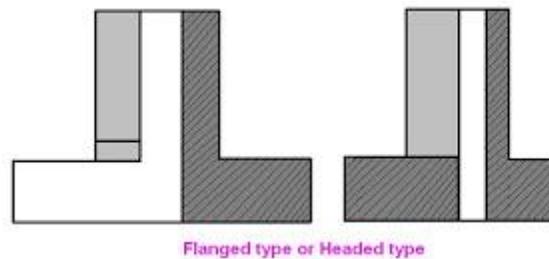


Figura 5.0.24 Renewable Bushes. Fuente: American Machinist

- Linear Bushes. La única diferencia a comparación del Renewable Bushes es que estas guías están fijadas dentro del Body Jig de igual forma son muy recomendables cuando se hace una misma pieza o componente, estas pueden ser con o sin cabeza.

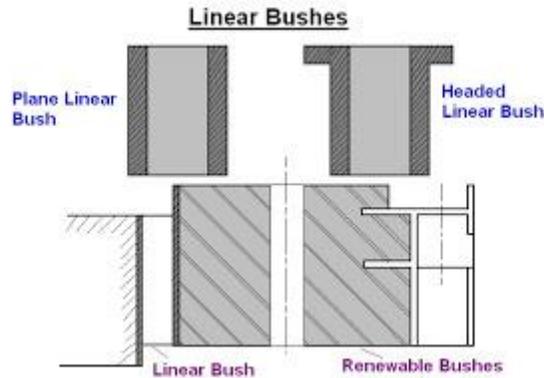


Figura 5.0.25 Linear Bushes. Fuente: American Machinist

5.9 Fluidos de corte

Los fluidos de corte son productos líquidos de composición más o menos compleja, que se adicionan en el sistema pieza- herramienta-viruta de una operación de mecanizado, a fin de lubricar y eliminar el calor producido.

En la industria del mecanizado, estos productos reciben, con frecuencia, el nombre de "aceites de corte" cutting oils". Sin embargo, esta denominación no es del todo apropiada, si se tiene en cuenta que algunos de estos productos no contienen la más mínima cantidad de aceite mineral en su composición. Por tanto, la designación "fluidos de corte" (cutting fluids) o si se quiere "fluidos de mecanizado" (metalworking fluids) resulta más correcta.

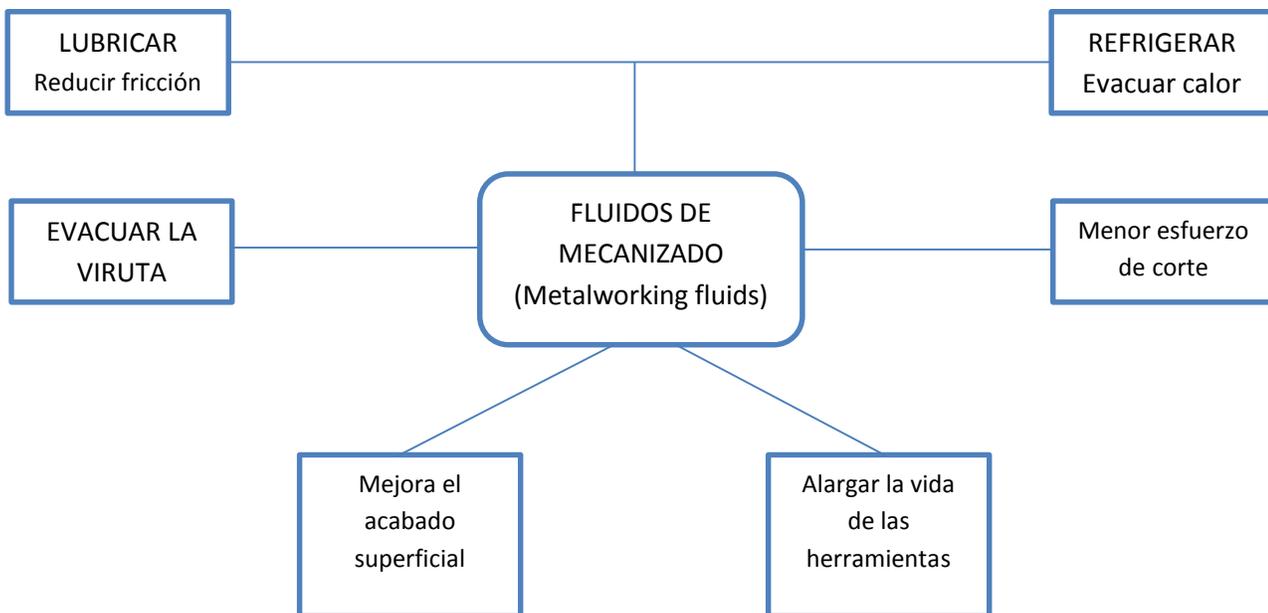


Figura 5.0.26 Mapa conceptual de fluidos de mecanizado

Dependiendo en el contenido aceite mineral, los fluidos de corte pueden clasificarse del siguiente modo:

- Fluidos aceitosos o aceites de corte.
- Fluidos acuosos o taladrinas.

Con frecuencia, los fluidos de corte contienen aditivos, con el fin de proporcionarles cualidades determinadas, de acuerdo con el propósito que tiene que cumplir. Entre los aceites de corte, los aditivos más usuales son los de extrema presión. Por lo que respecta a las taladrinas, además de éstos pueden contener emulsionantes, antioxidantes e inhibidores de corrosión, bactericidas y bacteriostáticos, perfumes, colorantes, etc.

Hablando en términos de manufactura un lubricante o fluido de corte puede ser considerado como: Aquella sustancia la cual se aplica en la zona de formación de viruta los cuales nos ayudan a aumentar el tiempo de vida de las herramientas, nos ayuda a conseguir un mejor acabado superficial y obtenemos una mejor precisión en la geometría de la pieza a maquinar.

Tipos de lubricantes-refrigerantes:

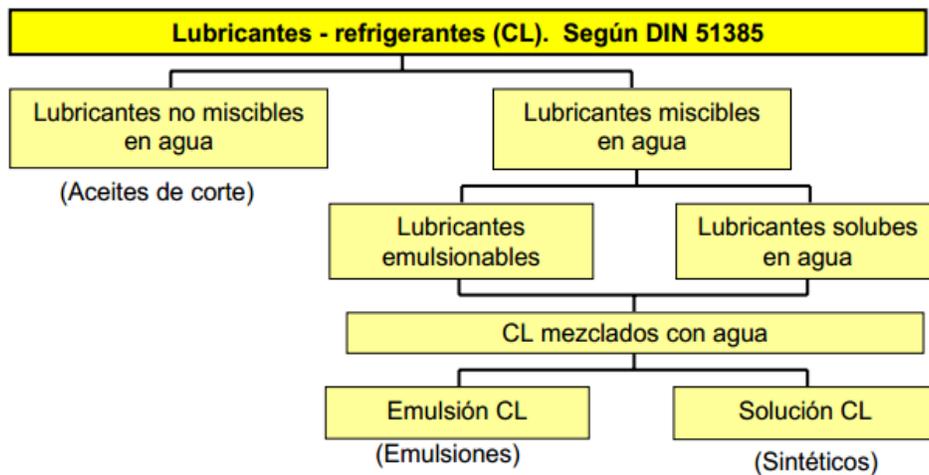


Figura 5.0.2727 Clasificación de tipos de lubricantes- refrigerantes

5.9.1 Elección del producto más adecuado para cada operación

La naturaleza química del producto o composición química (Hablando de fluidos sintéticos) determina las dos características básicas de cualquier fluido de mecanizado: su capacidad refrigerante que permite evacuar el calor generado, y su capacidad lubricante que permite disminuir el coeficiente de rozamiento, a estos 2 criterios se le puede agregar la presión y la dirección con la que se aplican los fluidos de corte.

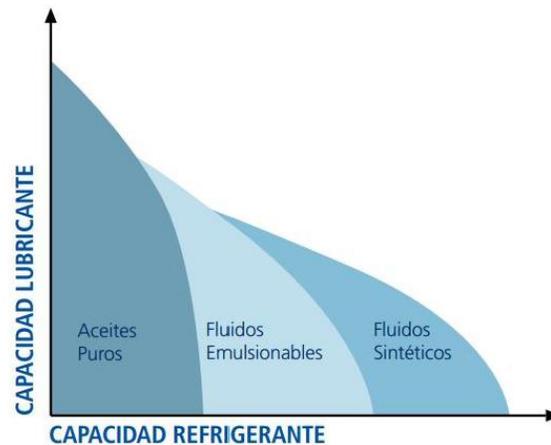


Figura 5.0.28 Gráfica de capacidad refrigerante vs capacidad lubricante

Requisitos y variables para seleccionar el fluido más idóneo

- Tipo de herramienta.
- Geometría de la pieza y el grado de dificultad de la operación de mecanizado.
- Sistema de filtración (Depende de cada centro de maquinado)
- Procesos anteriores y posteriores que se le aplican a la pieza
- Normas de Seguridad y Ambientales en el uso y deshecho del producto.

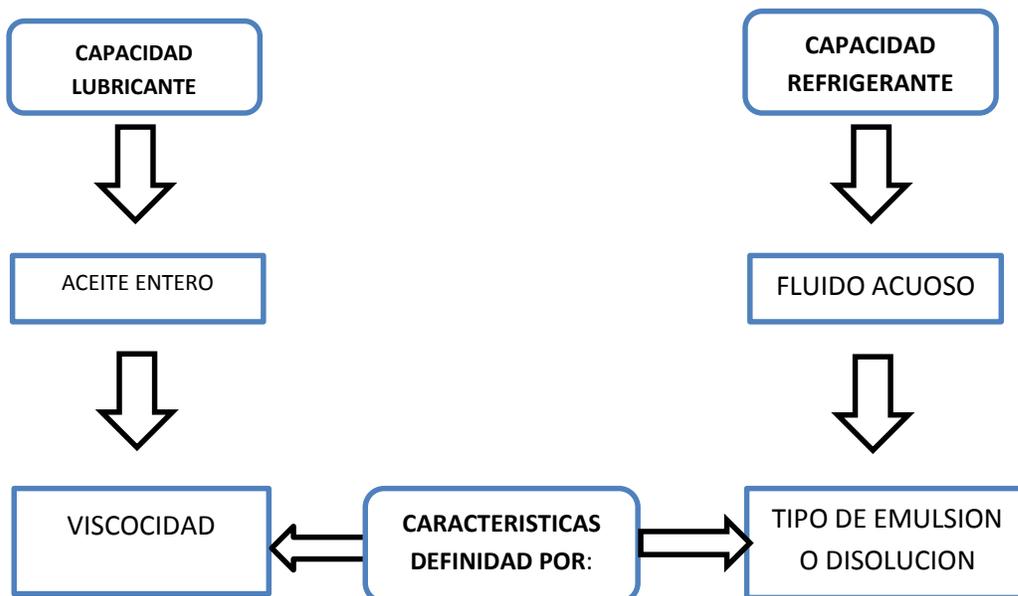


Figura 5.0.29 Proceso de selección para el mejor fluido de corte.

Cuadro comparativo

El siguiente diagrama comparativo esquematiza el comportamiento global de cada grupo de productos en función de las siguientes características:

- ▲ ACEITES PUROS
- SOLUBLES EMULSIONABLES
- SOLUBLES SINTETICOS
- ★ MQL

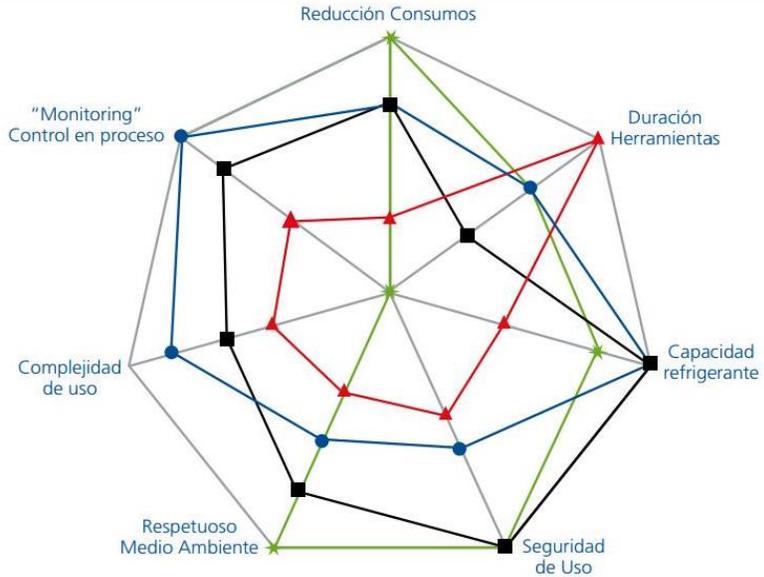


Figura 5.0.30 Cuadro comparativo de las propiedades de los refrigerantes. Fuente www.fuchs.es

5.9.2 Refrigeración durante el fresado

Una buena refrigeración con medio refrigerantes adecuados (“Metalworking fluid”) se traduce en mejora de la calidad superficial y aumento del tiempo de duración del cortador. Aparte de esto, el medio refrigerante, que es proyectado con un fuerte chorro sobre el punto de corte, arrastra la viruta que se desprende con el objetivo de que estas no se queden enganchadas entre la superficie de trabajo y los dientes del cortador.

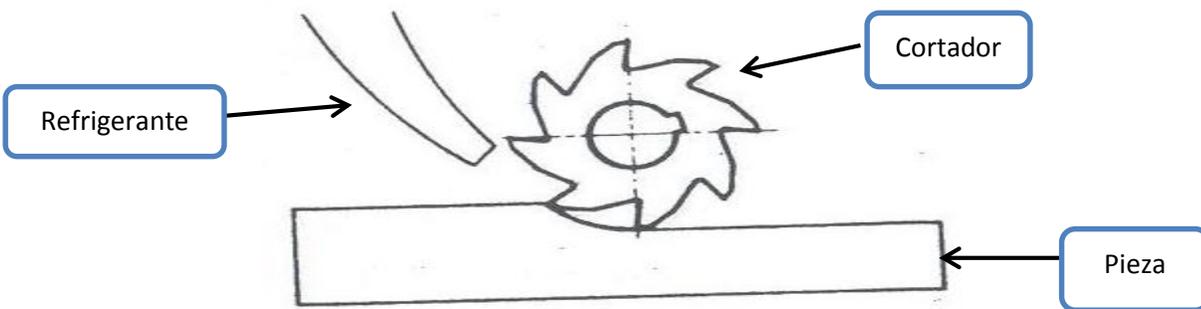


Figura 5.0.31 Diagrama de fresado

Una de las ventajas que nos otorga el proceso de fresado con respecto a la refrigeración es que los gavilanes o filos de la herramienta no están más que en una parte de la revolución de la fresa dedicado al arranque de viruta. El resto de los dientes giran en vacío lo cual permite refrigerarse de manera natural y aunado a esto el refrigerante propio de la fresadora CNC.

5.10 Planificación para la manufactura de los componentes de la fresadora CNC.

La planeación de los procesos comprende la selección y secuencia de procesos y operaciones para transformar la materia prima elegida en un componente terminado. Es el acto en el cual se preparan las instrucciones detalladas del trabajo para producir un componente. Esto incluye la selección de procesos de manufactura y operaciones, equipo de producción, herramientas, accesorios y sujeciones, así como los parámetros de corte. Los requerimientos del producto y del proceso generados en la etapa de diseño y desarrollo son trasladados a la función de manufactura. Estas serán usadas para preparar las instrucciones de trabajo detalladas y que son requeridas para manufacturar el producto. Estas serán transportadas a las instalaciones donde se manufacturará el producto para su ejecución. De esta manera, aunque las funciones de diseño y manufactura están separadas, la actividad de planeación de procesos las une, siendo esta la interface entre ambas.

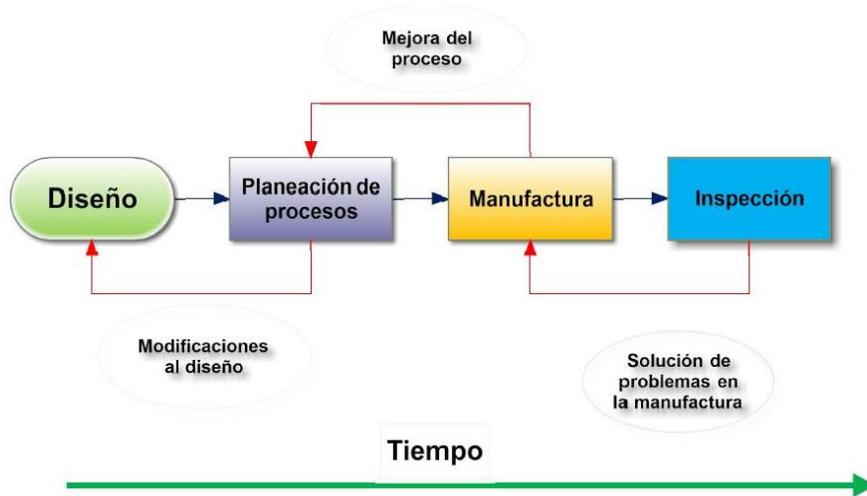


Figura 5.0.322 Diagrama de la interface diseño manufactura del producto.

Para llevar a cabo los procesos de fresado de una forma correcta, se requiere, contar con planes de proceso previamente elaborados como son: Ordenes de trabajo o formatos de inspección, de tal forma que se logre una forma de trabajo uniforme en la forma de ejecución del fresado para los diferentes trabajos que se requieran.

Estos planes de procesos deben contener la descripción secuencial del proceso, indicando, el estado de la máquina y herramienta, las operaciones que se realizarán, las herramientas a utilizar, el material o los materiales a emplear, los instrumentos de medición y un plano de manufactura de la pieza que se maquinara.

Antes de dar inicio a cualquier proceso para el fresado, se desarrollan una serie de pasos para obtener buenos resultados y así cumplir con los requerimientos del cliente. Estos pasos pueden dividirse en 2 partes las cuales se mencionaron en el Marco Teórico de este trabajo que son:

- La conceptualización
- El detalle

Para la primera parte se consideran:

1. Análisis del plano de la pieza. Revisión de la geometría y Tolerancia de la pieza (GD&T).
2. Forma de la materia prima.
3. Selección de la máquina y herramienta.
4. Planeación en la preparación o colocación de la pieza de trabajo en el centro de mecanizado.
5. Determinar los puntos de referencia, alineación y sujeción de la pieza.
6. Elegir el mejor Metal Working Fluid.

Y para la parte de detalle se contempla:

1. Elección de las herramientas de corte y parámetros de operación (Calcular y Optimizar)
2. Selección de los dispositivos de medición.
3. Cálculos de tiempos movimientos y costos.
4. Elaboración de un documento final.

Una vez realizados estos pasos se procede a la manufactura de la pieza, verificando el seguimiento de los pasos recomendados en el plan de proceso o el plan de manufactura.

Esto para cumplir con los requisitos de calidad que pide la norma ISO 9001 "Sistema de Gestión de la Calidad" y para cuando se manufacturan piezas de la industria aérea y aeroespacial la norma AS9100 "Estándar de Calidad para la Industria Aeroespacial", las cuales se basan en un procesos totalmente respaldados por documentos y que estos reflejen en su totalidad la forma de trabajo. Garantizando de esta forma, un trabajo de calidad que cumpla con cada uno de los requerimientos y especificaciones de geometría, tolerancias, acabados, tiempos de entrega etc, que son solicitados por clientes.

En base a esta información es necesario realizar un plan de proceso o plan de manufactura para cada una de las piezas que se manufacturaran y poder así completar el prototipo de la fresadora CNC.

Cuando ya se tiene el plano, el tipo de material y la funcionalidad de la pieza a maquinar es importante considerar la forma de la materia prima ya que esto nos permitirá elegir las mejores operaciones de mecanizado, para desperdiciar la menor cantidad de material posible y poder tener un sobrematerial en caso que se necesite realizar un ajuste en el mecanizado. En el caso de la mesa la forma rectangular (420mm x 244mm x 40mm) es perfecta para cumplir con las longitudes establecidas en el plano y esta a su vez pueda cumplir con las funciones por la que fue diseñada..

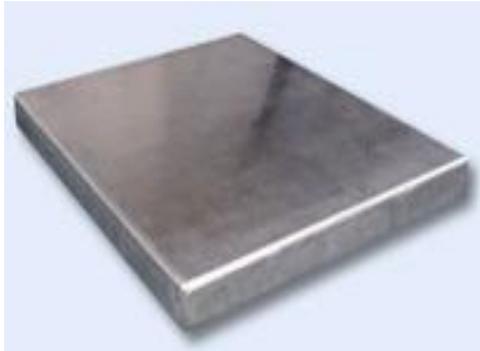


Figura 5.0.344 Placa de Acero A36.

- Selección de la máquina y herramienta

La manufactura de la mesa de la Fresadora CNC se realizó en el laboratorio de Control Numérico Computarizado y Procesos de Manufactura de ESIME Ticoman con la Fresadora Universal Cincinnati 500.



Figura 5.0.35 Fresadora Cincinnati 500 de la ESIME U.Ticomán.

- Colocación de la pieza de trabajo en el centro de mecanizado.

La placa de acero al ser muy pesada para ser colocada solo con la fuerza humana es algo muy complicado lo ideal sería contar con un montacargas para colocar la placa de acero sobre la mesa de la fresadora Cincinnati 500 con mucha precaución para evitar daños sobre la fresadora. Por lo

que se optó colocarla cargándola entre 4 personas y esta se fue deslizando mediante unas tablas de tal manera que esta no cayera abruptamente sobre la mesa de la fresadora.

- Determinar los puntos de referencia, alineación, centrado y sujeción de la pieza.

Conforme a lo explicado anteriormente y de acuerdo con las operaciones que se llevarán a cabo para maquinar la placa de acero, se eligió un Body Jig tipo abierto para evitar posibles golpes con el porta herramientas de la fresadora CNC de igual forma esta situación es considerada dentro de las trayectorias de corte programadas en el MasterCam y poder hacer las ranuras que se necesitan para que se sujeten piezas en el prototipo de la fresadora, la segunda consideración es el uso de los dispositivos de localización por lo que se decidió el uso de Locating Pins para mantener el paralelismo con la mesa de trabajo del centro de maquinado y así obtener la precisión deseada y Support Pins de cabeza plana para levantar un poco la placa de acero para evitar así algún posible daño en la mesa del centro de maquinado, el tercer parámetro es el uso de Clamps Device por lo que se eligieron los Tornillos sujetadores debido a que ya habían sido considerados en las trayectorias de corte y por la disponibilidad de estos en el laboratorio y por último se eligieron Press-Fit Wearing Bushes debido a que como solo se hará un prototipo de esta máquina CNC no es necesario contar con Bushes de mejor calidad.

Lamentablemente por no contar con un mayor presupuesto, se realizó una sujeción modular ya que en el centro de mecanizado de ESIME TICOMAN no existe una gran variedad de sujetadores o guías, por lo que en base a experiencia se decidió sujetarla de diferente manera para cada operación.

Para la realización de las ranuras donde se colocaran los sujetadores y los barrenos del prototipo de la "Fresadora CNC", se sujetó de las 4 esquinas y uno más en la parte central de lado izquierdo de la placa con unos Clamp tipo puente para así evitar que cuando la herramienta de corte este avanzando esta no se desplace de forma horizontal y que cuando se estén realizando los barrenos la placa no tienda a girar y se pierdan las medidas establecidas en el plano de manufactura, cabe mencionar que es favorable el peso de la mesa ya que es de aproximadamente 45 Kg, también se consideró las trayectorias de corte establecidas por el programa *MasterCam V9.1*.

También es de gran importancia mencionar que para mantener segura la mesa en donde se montó la placa, y no esta no se dañara cuando se hicieran los barrenos se colocaron unas calzas de aluminio realizando la función de los Support Pins para elevar un poco la mesa y aun cuando el cortador haga los barrenos pasados este no toquen la mesa.

Ya que se eligieron los distintos tipos de fijación lo primero es alinear y centrar la pieza de trabajo mediante un indicador de caratula en donde la punta de contacto (palpador) de este instrumento se coloca sobre la superficie del espesor de la placa y se mueve de una esquina a otra de lado izquierdo a lado derecho, cuando la manecilla indicadora se mantiene en el cero o cercano a él cuando la punta de contacto se está moviendo, nos indica que la placa está alineada correctamente, ya que se ha sujetado la pieza de las 4 esquinas y de la parte central de lado izquierdo se hace un apriete suave esto para que si existen una variación en el indicador de caratula la placa de acero, la placa pueda ser ajustada con un mazo de plástico por medio de pequeños golpes, de tal manera que la placa quede perfectamente alineada y centrada, y con el indicador de caratula marcando cero, cumpliendo con esto los tornillos de sujeción se aprietan poco a poco en forma secuencial para así asegurar que la

pieza está correctamente sujeta. Cuando ya se apretaron los tornillos de sujeción se vuelve a checar la alineación con el indicador de caratula solo para verificar que la mesa no se desalineo cuando se apretaron los tornillos.



Figura 5.0.36 Utilización del indicador de caratula para alinear la placa de acero A36.

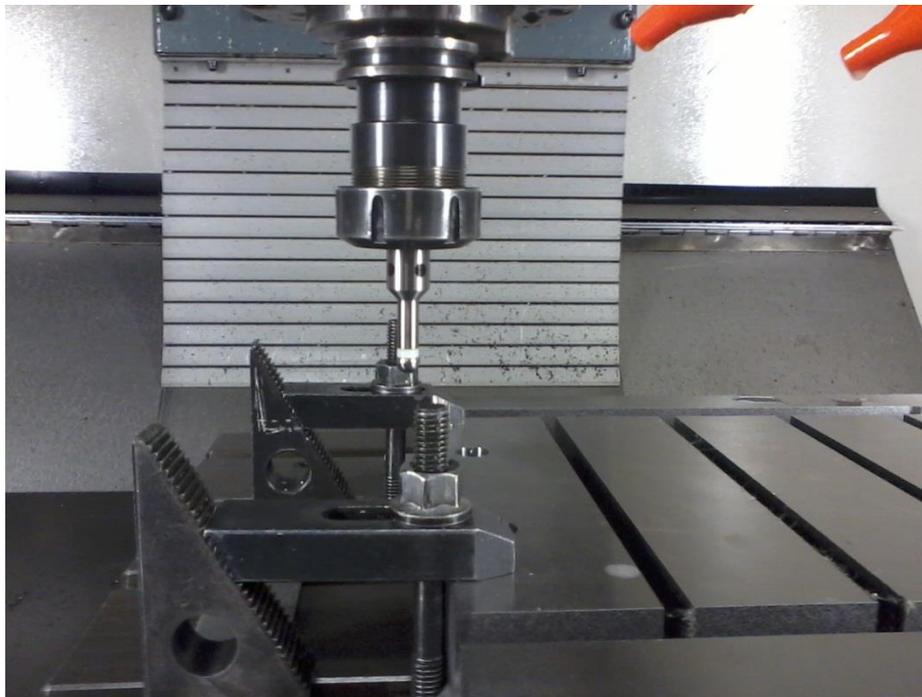


Figura 5.0.377 Utilización del centrador de luz para centrar en eje X

Una vez alineada y centrada procedemos a verificar la perpendicularidad, para esto se palpara con el indicador de caratula en cualquiera de las cara laterales.

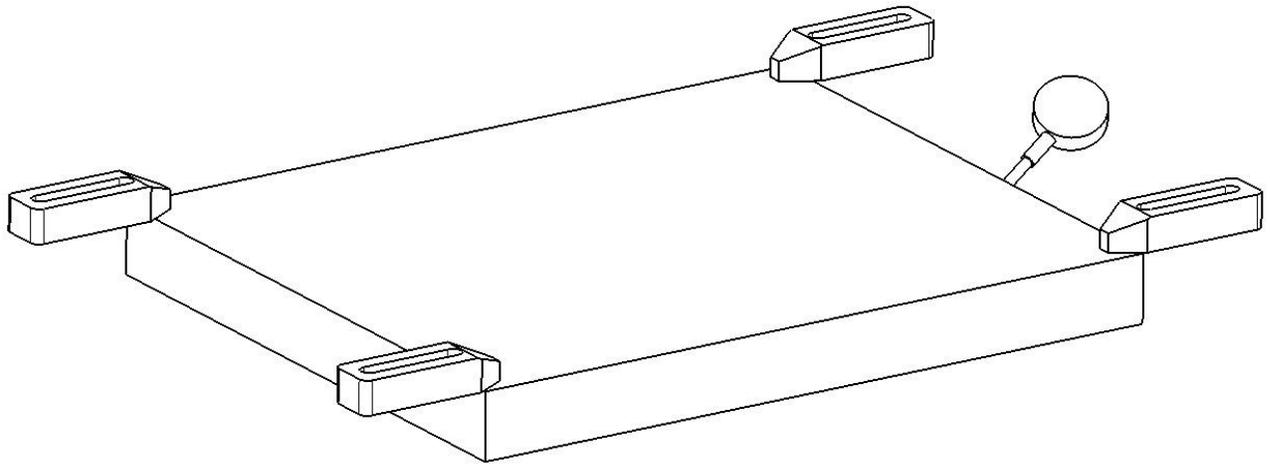


Figura 5.0.38 Verificación de perpendicularidad con el indicador de caratula.

Ya que se ha verificado la perpendicularidad de la placa de acero es necesario corroborar el paralelismo entre las caras (Superior e Inferior), cabe mencionar que la placa esta rectificada pero esto no significa que no se tenga que checar esta relación, ya que como se calzo sobre placas de aluminio recicladas, estas pudieran generar desviaciones y afectar nuestro maquinado y la funcionalidad de la pieza.

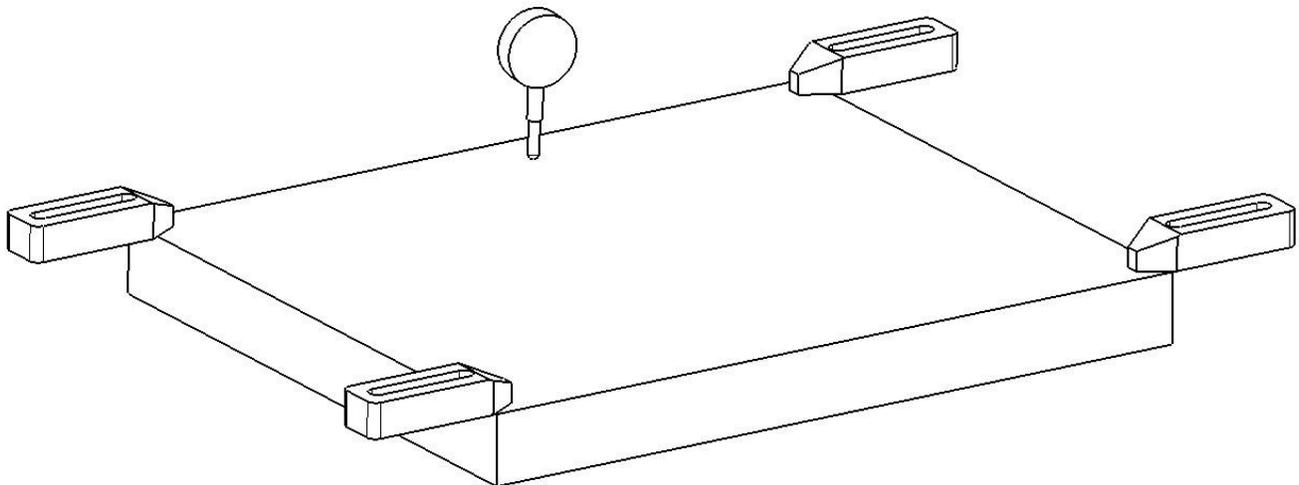


Figura 5.0.39 Palpador sobre la cara superior para verificar la variación generada por calzarla sobre las calzas de aluminio sobre el eje Y.

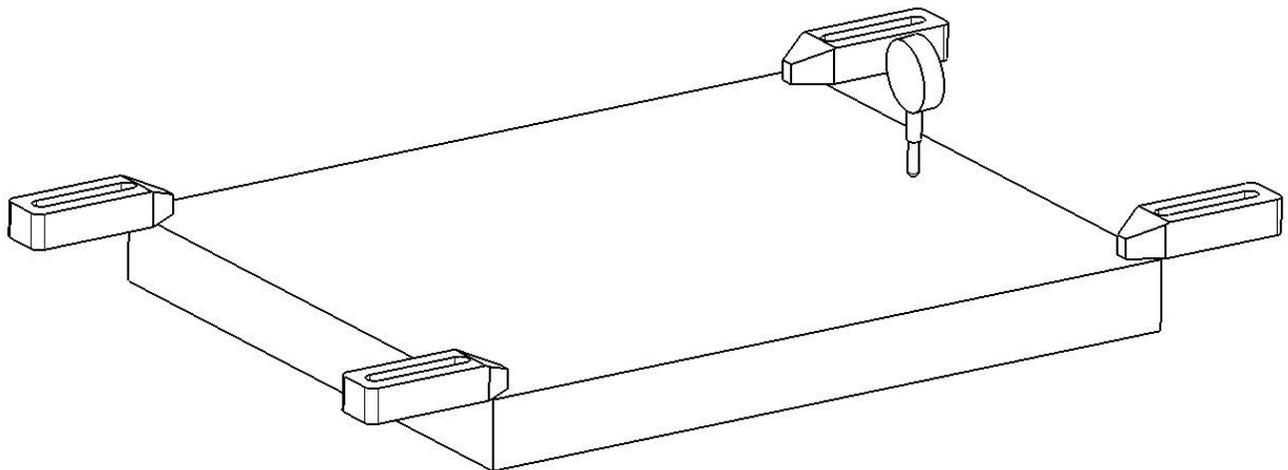


Figura 5.0.40 Palpador sobre la cara superior para verificar la variación generada por calzarla sobre las calzas de aluminio sobre el eje X.

Ya que se han checado estos parámetros tenemos que calibrar la longitud de las herramientas. Para esta operación se debe tener en cuenta la profundidad del maquinado, para saber que longitud de la herramienta requerimos que este fuera del portaherramientas (holder) con este dato apretamos la herramienta y la calibramos.

Para calibrarla hay que dar de alta la herramienta en la máquina, es decir numerarla ejemplo: T1, T2, etc.

Una vez montada la herramienta en el magazine se manda llamar con el código M6, se coloca el sensor sobre la cara de la pieza de trabajo y se procede a bajar el cabezal próximo a la superficie del sensor se disminuye el avance de la maquina al mínimo y se va acercando la herramienta, hasta que indique en este caso con luz roja el contacto, se levanta un poco el cabezal se repite para cerciorarse del contacto, a esa distancia en Z obtenida se le resta la constante que indique el sensor, ese será el cero de la herramienta en Z.

Cuando falla o no se tiene sensor el método es con una hoja de papel la herramienta de aproxima a la superficie de la pieza de trabajo y se va aproximando con el avance mínimo y la hoja de mueve constantemente entre la herramienta y la pieza de trabajo hasta que se genere un apriete el cual no permita seguir moviendo la hoja (espesor de hoja de cuaderno 0.06mm aproximadamente). Está variación en la calibración se puede compensar restando el valor del espesor de la hoja que se ocupe, en el valor de la herramienta y ese será el cero en z para esa herramienta.

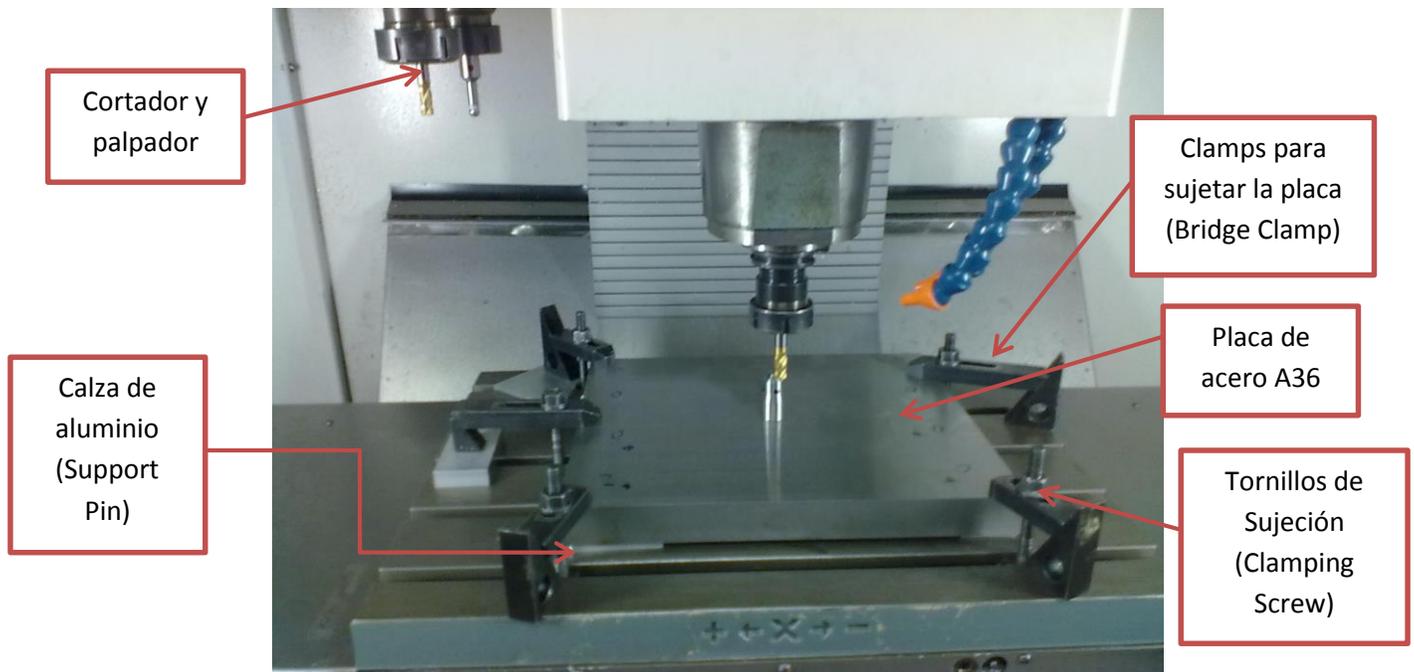


Figura 5.0.41 Placa de acero montada, centrada y alineada en la fresadora CNC con sus respectivos sujetadores lista para empezar el maquinado.

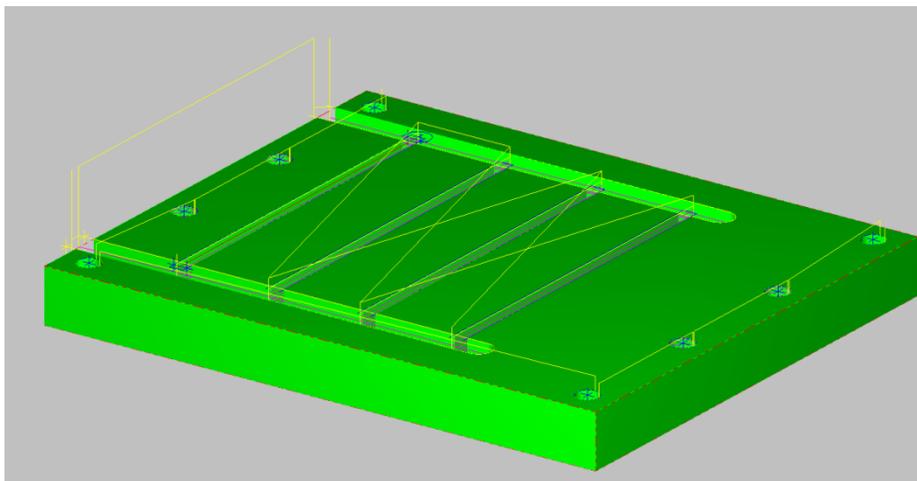


Figura 5.0.42 Trayectorias de corte de la mesa. Aquí se observa como no habrá contacto entre los dispositivos de sujeción y el porta herramientas.

- Selección del MetalWorking Fluid

Como se mencionó anteriormente dos de los parámetros importantes que sirvieron de base para la elección del fluido son “la herramienta” y “los procesos” que se emplearían en el mecanizado de la mesa.

Uno de los procesos más críticos fue la creación de los barrenos debido a que, si no se programa en las trayectorias de corte un alivio:

1. Se acumula viruta dentro del barreno.
2. No logra ingresar el refrigerante dentro del espacio del barreno.

Creando así más fricción entre las paredes del barreno y las herramientas provocando que:

1. Se caliente la herramienta y puede que esta se fracture debido a que no tiene espacio suficiente para girar libremente.
2. Se calienta el material a maquinar provocando que cambien las propiedades mecánicas de este y no pueda cumplir su función específica.

Para evitar este tipo de inconvenientes existen tablas las cuales dependiendo del diámetro y material del cortador y avance se puede determinar qué tipo de refrigeración es la mejor para este tipo de procesos.

Material		Diámetro de la broca						Refrigeración	
		5	10	15	20	25	30		
Acero	s	0.1	0.18	0.25	0.28	0.31	0.34	T ó C	
	v	15	18	22	26	29	32		
Acero	s	0.1	0.18	0.25	0.28	0.31	0.35		
	v	13	16	20	23	26	28		
Acero	s	0.07	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23		
	v	12	14	16	18	21	23		
Fundición gris	s	0.15	0.24	0.3	0.32	0.35	0.38		S ó T
	v	24	28	32	34	37	39		
Fundición gris	s	0.15	0.24	0.3	0.33	0.35	0.38		
	v	16	18	21	24	26	27		
T = taladrina C = aceite de corte y de refrigeración S= en seco									

Tabla 5.0 Velocidades de corte (v), avance (s) y refrigeración para brocas de acero SS. Fuente: Gerling, Alrededor de las máquinas y herramientas, 2002

Material		Diametro de la broca						Refrigeración
		5	10	15	20	25	30	
Latón	s	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	T ó C
	v	60 ... 70 m/min						
Bronce	s	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	ó S
	v	30 ... 40 m/min						
Aluminio	s	0.05	0.12	0.2	0.3	0.35	0.4	T ó C
	v	80 ... 120 m/min						
Aleaciones de	s	0.12	0.2	0.3	0.4	0.46	0.5	ó S

aluminio	v	100 ... 150 m/min						
Aleaciones de	s	0.15	0.2	0.3	0.38	0.4	0.45	
magnesio	v	200 ... 250 m/min						S
T = taladrina C = aceite de corte y de refrigeración S= en seco								

Tabla 5.0.2 Velocidades de corte (v), avance (s) y refrigeración para brocas de acero SS (continuación). Fuente: Gerling, Alrededor de las máquinas y herramientas, 2002

Ahora ya que se tiene consideración de los parámetros que intervienen para la selección del mejor Metal Working Fluid es necesario realizar una ponderación o evaluar el grado de importancia que tienen estos Fluidos sobre los procesos de operación.

De la figura 5.0.20 se obtuvieron las propiedades de cada refrigerante por lo que se decidió tomar 3 factores que afectan más en nuestro proceso de maquinado.

- 1.- Duración de la herramienta. (Ya que solo teníamos un cortador para realizar las ranuras en la placa de acero)
- 2.- Capacidad Refrigerante. (Ya que cuando se hagan las ranuras y los barrenos se generaran altas temperaturas y estas pueden afectar las propiedades mecánicas de la placa de acero y verse afectado el desempeño de la herramienta)
- 3.- Amigable con el medio ambiente. (Ya que hoy en día el compromiso que se tiene con el medio ambiente es tan importante que le agrega valor a este tipo de trabajos)

Conforme a esta ponderación se eligieron 3 Metal Working Fluid:

- **Solubles Sintéticos**, Estos se caracterizan por tener una mínima cantidad de aceite mineral la principal ventaja son los aditamentos que se le pueden agregar a este tipo de solubles los cuales permiten aumentar la vida útil de la herramienta y reducir en gran cantidad la fricción y el calor generado por los trabajos de mecanizados
- **MQL (Mínima Cantidad de Lubricante)**. Este tipo de Metal Working Fluid humedecen la zona de trabajo (Herramienta-Pieza-Viruta) con muy poca cantidad de lubricante, de tal manera que se optimiza el consumo del fluido reduciendo este hasta en un 96%.
- **Aceites puros**. Estos tipos de aceite se dividen en 3 categorías importantes Aceites Puros, Aceites Minerales y Aceites Mixtos. Su principal ventaja es que son excelentes lubricantes pero tienen un bajo poder de refrigeración.

Con estos criterios se decidió elegir un Metal Working Fluid sintético ya que gracias a la característica de los aditamentos y aditivos que pueden agregarse a este tipo de solubles se puede aumentar la vida útil de la herramienta, protege las superficies de metal de contaminantes como el agua, aire y otros

materiales corrosivos y pueden ser amigables con el medio ambiente (Biodegradables) e incluso con el operario del centro de mecanizado.

Conforme a esto, en el centro de maquinado de ESIME TICOMAN debido a la falta de otros tipos de fluidos de mecanizado y presupuesto se utilizó una solución acuosa de marca Meisa soluble 240-A el cual es un excelente disipador de calor y óptimo para procesos de taladrado y fresado de alta velocidad, lo cual fue de gran aportación para disipar el calor que se producía específicamente cuando eran generados los barrenos en donde se sujetara la mesa de la fresadora CNC..



Figura 5.0.43 Creación de los barrenos en la mesa de la fresadora CNC



Figura 5.0.44 Aplicación del fluido de mecanizado en el desbaste para la ranura de la mesa.

Para la parte correspondiente al detalle, mediante hojas de ruta, lista de operaciones y formatos de inspección los que conforman los capítulos 5.10.2, 5.10.3 y 5.10.4 se especifican las herramientas de

corte, Avances, Profundidades de corte etc., para cada operación, así como los dispositivos de medición y tiempos de operación, en el capítulo 6.1 se encuentra lo referente a costos.

5.10.2 Hojas de ruta

En ésta sección se detallan las rutas que seguirán cada uno de los componentes de la máquina que serán manufacturados de acuerdo a la lista de [Tabla 4.0.12](#). Se especifican las máquinas que serán utilizadas para la transformación de la materia prima en los diferentes componentes del prototipo, así como el material del cual será manufacturado, las operaciones, fecha y el nombre del componente.

Tabla 5.3 Formato de hoja de ruta la cual nos muestra las operaciones de maquinado y la herramienta con la que se realizara dicha tarea.

Hoja de ruta		
Nombre del componente:	Numero de parte:	
Cantidad:	Material:	Fecha:
No. de revisión:	Página 1 de 1	
<i>No. de operación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Máquina herramienta</i>
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		

Hoja de ruta 1		
Nombre del componente:	Numero de parte: 1	
Soporte Z puente		
Cantidad: 2	Material: Aluminio 6061 T6	Fecha: 30/05/13
No. de revisión: 0	Página 1 de 1	
<i>No. de operación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Máquina herramienta</i>
10	Corte a 20 x75 x300 mm	Sierra cinta
20	Fresado inferior	Fresadora
30	Barrenado Ø9 mm con escariado de Ø 14mm x 6	Fresadora
40	Barrenado Ø5.5 mm con escariado de Ø 9 mm x 4	Fresadora
50	Barrenado a Ø 3.242 mm x4	Fresadora
60	Rebabeado	Quitarrebaba y charrasca

70	Inspección	No aplica
----	------------	-----------

Hoja de ruta 2

Nombre del componente: Soporte Herramienta	Numero de parte: 10	
Cantidad: 1	Material: Aluminio 6061 T6	Fecha: 30/05/13
No. de revisión: 0	Página 1 de 1	
No. de operación	Descripción	Máquina herramienta
10	Corte a 13x 102 x 137 mm	Sierra cinta
20	Fresado a 12x100x135 mm (Ver dibujo de detalle)	Fresadora
30	Barrenado Ø 1/4" con caja Ø 10 x 6.35 mm	Fresadora
40	Barrenado Ø 8.5" con caja Ø 13.5 x 8.5 mm	Fresadora
50	Ajuste de 12 x 2 mm (Ver dibujo de detalle)"	Fresadora CNC
60	Rebabeado	Quitarrebaba y charrasca
70	Inspección	No aplica

Hoja de ruta 3

Nombre del componente: Mesa	Numero de parte: 12	
Cantidad: 1	Material: Acero A36	Fecha: 30/05/13
No. de revisión: 0	Página 1 de 1	
No. de operación	Descripción	Máquina herramienta
10	Corte con sobre material a 41 x355x423 mm	Cierra cinta
20	Rectificado a 40 x 352x 420	Rectificadora blanchard
30	Fresado de ranuras	Fresadora
40	Barrenado para tornillo M10 x 8	Fresadora
50	Fresado de ranuras de paso de guías (ajuste)	Fresadora
60	Barrenado y machueleado para M4 x 7	Fresadora
70	Fresado de ranuras de paso de guías (ajuste)	Fresadora
80	Barrenado y machueleado para M4 x 7	Fresadora
90	Rebabeado	Quitarrebaba y charrasca
100	Inspección	No aplica

Nota: Debido a la falta de presupuesto solo se pudo manufacturar el componente mesa, pero de igual forma se consideraron las hojas de ruta 1, 2 y 3 de este documento.

5.10.3 Lista de operaciones

En ésta sección se detallan las operaciones de cada componente en la cual se indica la operación a realizar, la máquina utilizada, la herramienta seleccionada, así como velocidades, avances y profundidades de corte, tiempo de la operación y observaciones que sean necesarias para las diversas operaciones.

Lista de operaciones 1								
Nombre del componente: Soporte Z puente			No. de parte:1		No. de revisión: 0		Fecha: 7/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10								
20								
30								
40								
50								

Tabla 5.0.4 Formato lista de operaciones

Lista de operacion 1								
Nombre del componente: Mesa			No. de parte:12		No. de revisión: 0		Fecha: 7/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Ranurado x2	Fresadora CNC	Cortador plano Ø1/2" 4 gav. Carburo TiN	850	65	4.5	96	
20	Ranurado x4	Fresadora CNC	Cortador Plano Ø3/8 " 4 gav. Carburo TiN	1200	57	3	150	
30	Ranurado x4	Fresadora CNC	Cortador Woodruff 5/8 x 3/16	240	30	4.76	70	
40	Barrenado x4	Fresadora CNC	Cortador Plano Ø3/8" 4 gav. Carburo TiN	1200	57	13.509	124	

“Ver plano de detalle de elemento a maquinar MESA.”

Para este elemento se optó por comprar la placa que se pidió con las siguientes especificaciones:

Placa de Acero A36 Rectificada de caras y canteada de cantos y cabezas con dimensiones de 40x352x420 mm

Una vez que nos entregaron la placa se tomaron medidas 40.05 x 352.1 x 420.13 y se inicia el proceso para el maquinado en el CNC. Se debe tomar en cuenta las dimensiones de la mesa del CNC, la posición para maquinar, la disposición para la sujeción, así como las herramientas de corte.

Es preferible ya tener modelada la mesa del CNC, así como las bridas para visualizar el espacio con el que contamos lo cual nos facilitará y reducirá el tiempo en el montaje, además de evitar accidentes con referencia al recorrido de la herramienta ya que es importante saber la posición de bridas u obstáculos que llegara a tener.

En la selección de las herramientas de corte se eligió la herramienta plana de $\varnothing 1/2$ con 4 gavilanes con longitud de corte estándar y recubrimiento de TiN. El número de gavilanes fue pensando para dar rapidez al maquinado y al a vez ya dar el acabado, está ranura al maquinar no requiere una precisión tan estricta ya que solo es un paso para las tuercas. Además el diámetro de la herramienta es muy comercial por tanto el tiempo de entrega es inmediato y se adapta bien a nuestra trayectoria. Está trayectoria es en contorno y no en "pocket" ya que en pocket se requiere una trayectoria más larga de tal manera que la entrada de la herramienta sea en vacío y no se entierre en la placa. En contorno no se requiere cerrar la trayectoria y con esa misma longitud se logra que la herramienta entre en vacío, otra observación es que las trayectorias se planearon para un corte concurrente (climb) que nos ayuda a generar menos esfuerzo al corte. Esta operación se eligió como la primera porque nos ayudará a hacer la segunda operación que son las ranuras transversales de manera que nuestra segunda herramienta entrará en vacío y se podrá dar un avance más rápido.

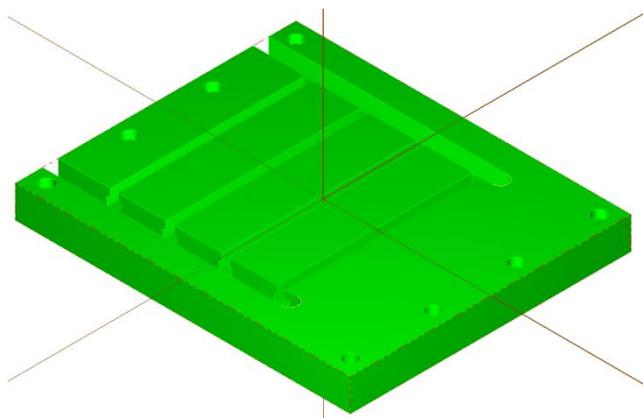


Figura 5.0.45 Posición de mesa para maquinar.

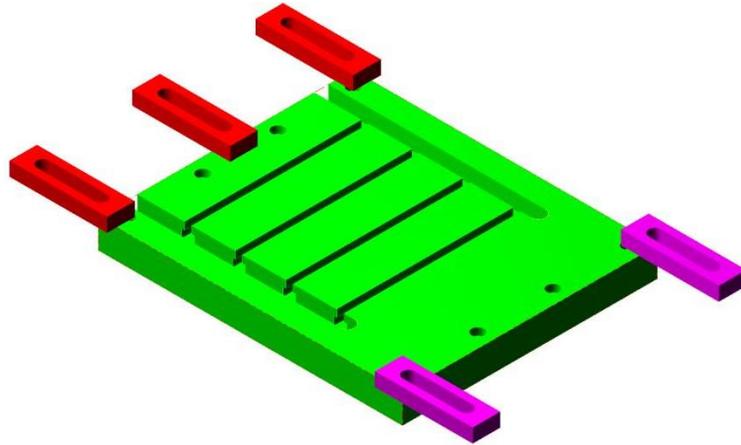


Figura 5.0.46 Disposición de sujeción vista isométrica.

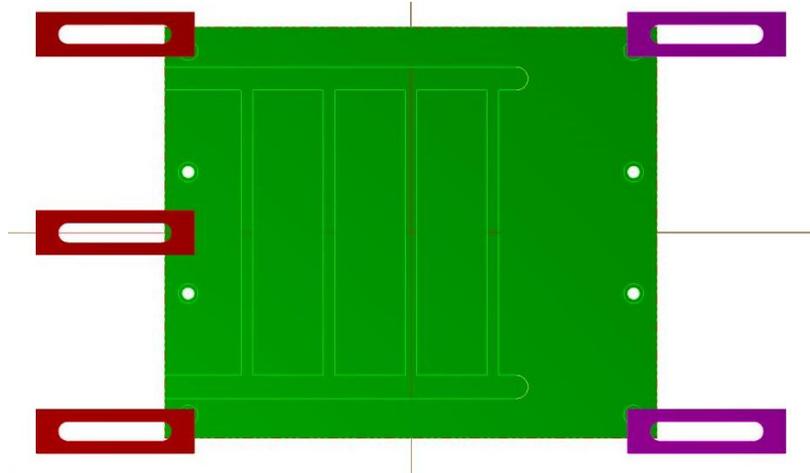


Figura 5.0.47 Disposición de sujeción vista de planta.

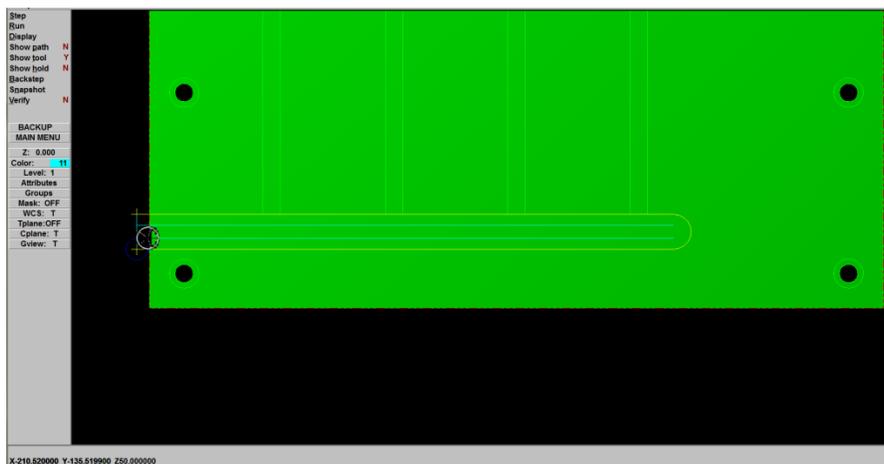


Figura 5.0.48 Trayectoria en Pocket de ranuras laterales.

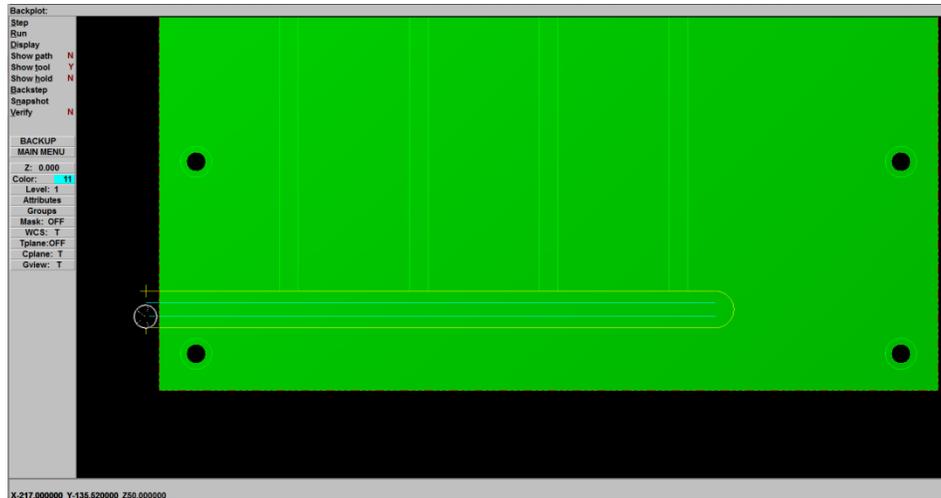


Figura 5.0.49 Trayectoria en Contour ranuras laterales.

En las imágenes anteriores se pretende visualizar la forma más fácil de hacer la trayectoria.

Para la operación 20 que es el maquinado de las ranuras transversales con cortador de $\varnothing 3/8$ funciono la misma posición de sujeción. Se consideró la trayectoria en contorno, concurrente y entrando en vacío sin obstáculos permitiendo una retracción corta de la herramienta, con este parámetro se ahorra un poco de tiempo en el maquinado.

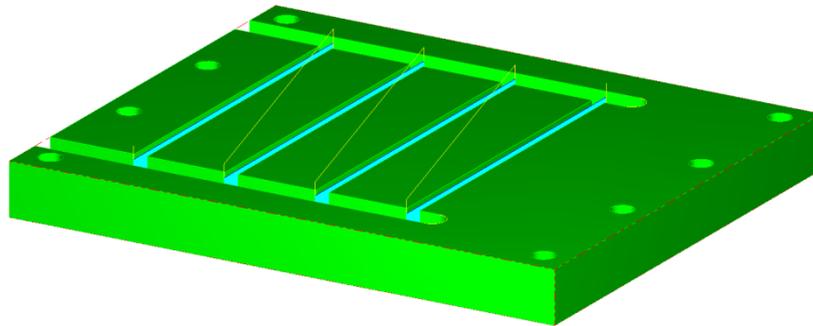


Figura 5.0.50 Trayectoria en Contour de ranuras transversales.

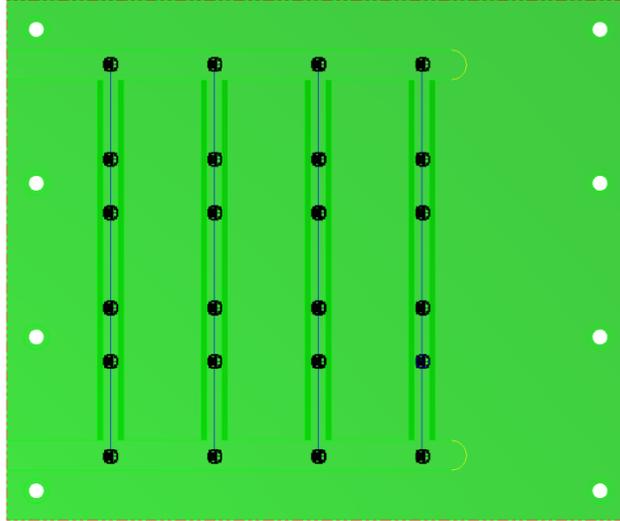


Figura 5.0.51 Posiciones de la herramienta durante el maquinado.

Para la operación 30 que es el ranurado con herramienta woodruff se utilizó la misma trayectoria de la operación 20 pero se comenzó desde una profundidad mayor, que es la profundidad donde inicia la ranura más la longitud de corte del cortador en este caso 4.7625mm (3/16”).

Los alojamientos de los tornillos se harán con el cortador de $\varnothing 3/8$ ya que no contamos con más herramienta. La trayectoria para el barrenado es helicoidal de tal forma que el cortador entre en rampa y no se desgaste tan rápido.

Contando con toda esta información ya solo falta realizar estas operaciones en la fresadora CNC, teniendo en cuenta que las operaciones más complicadas son las ranuras y los barrenos, se decidió iniciar con las ranuras ya que estas son necesarias para realizar las ranuras donde irán los sistemas de sujeción para el prototipo de la fresadora CNC.



Figura 5.0.52 Inicio de la ranura entrando en vacío para evitar un procesos rampeado ya reducir el tiempo de maquinado

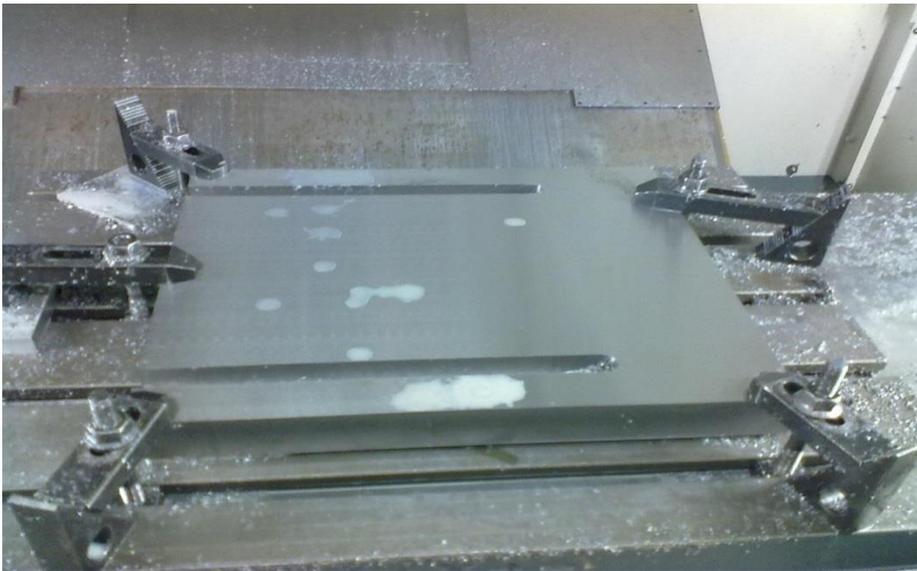


Figura 5.0.53 Primera operación terminada. Ranurado longitudinal con Cortador $\varnothing \frac{1}{2}$ "

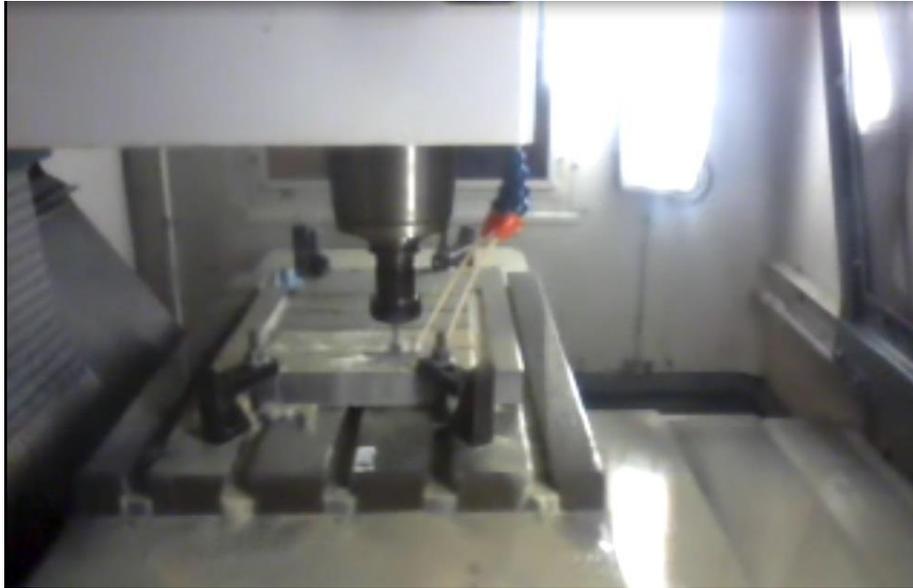


Figura 5.0.54 Operación de ranurado transversal para la mesa de la máquina CNC

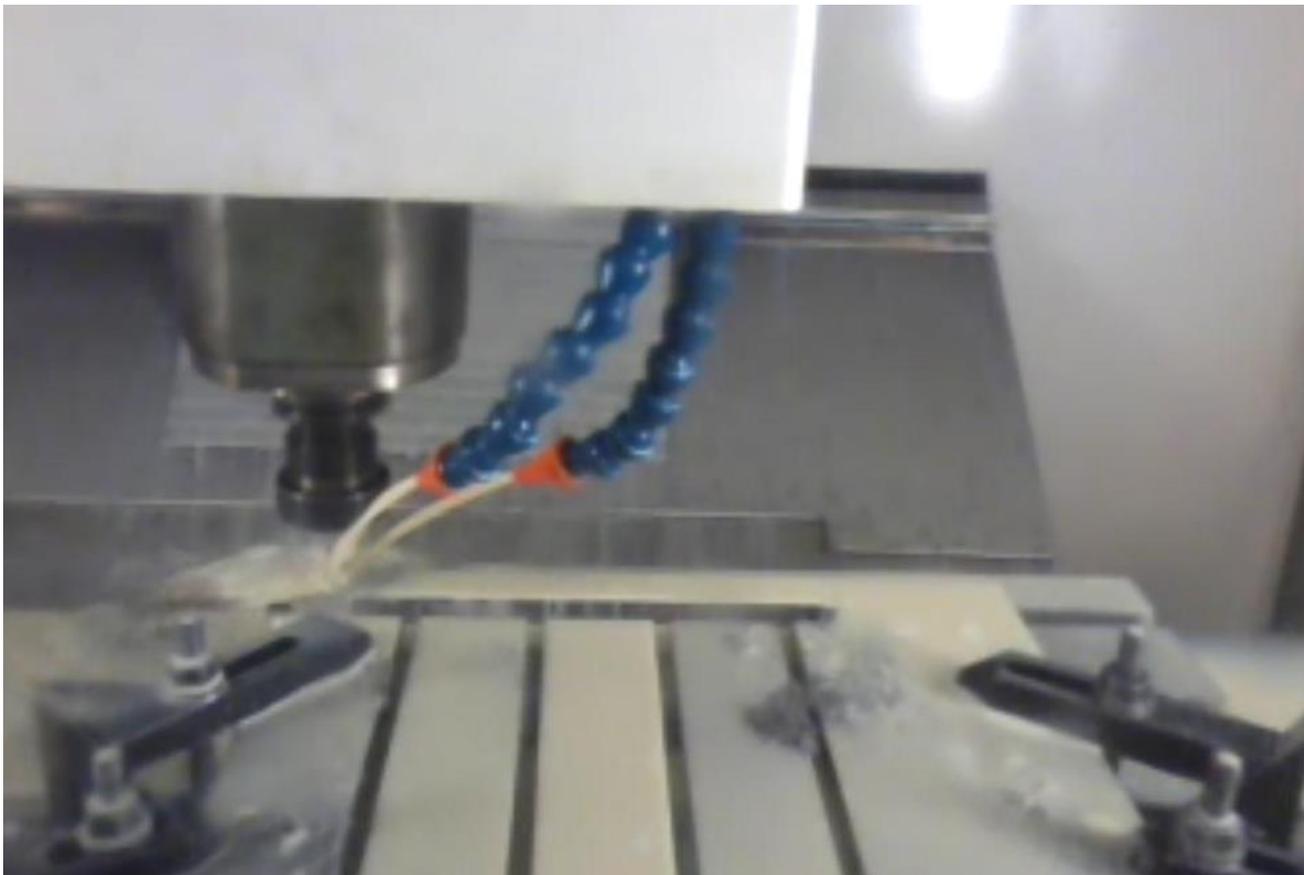


Figura 5.0.55 Operación de barrenado y diferente posicionamiento de bridas, esto para evitar daños a la herramienta, al holder o los sistemas de sujecion.

Ya que se estableció el plan de manufactura de la mesa es necesario realizarlo para las demás piezas a maquinar. Aunque el soporte Z puente y el porta herramientas de la fresadora CNC no se hallan manufacturado es indispensable realizar las lista de operaciones como se muestran a continuación:

Lista de operaciones 2								
Nombre del componente: Soporte Z puente			No. de parte: 1		No. de revisión: 0		Fecha: 7/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Escuadrado de material	Fresadora	Cortador 4gav carburo Ø1/2	2000	350	0.1	60	Lleva varios montajes
20	Maquinado de agujeros 5x y ranura	Fresadora CNC	Cortador 4gav carburo Ø1/4	7000	600	0.3	30	
30	Ajuste de agujeros 2x Calibrar	Fresadora CNC	Cortador 4gav carburo Ø1/4	7000	400	20.5	1.5	Verificar dimensiones en dibujo de detalle
40	Ajuste de ranura 20x20 Calibrar	Fresadora CNC	Cortador 4gav carburo Ø1/4	7000	400	20.5	1.3	Verificar dimensiones en dibujo de detalle
50	Maquinado de silueta	Fresadora CNC	Cortador 4gav carburo Ø1/4	7000	600	22	.4	
60	Barrenado para M10	Taladro	Broca Ø8.5mm	800		.75	40	
70	Machueleado M10x16	Taladro	Machuelo				10	Manual
80	Machueleado 4x M4x12	Taladro	Machuelo				20	Manual
90	Chafilanes	Taladro	Avellanador				40	Manual
100	Rebabeado	No aplica	Rebabeador				30	Manual
110	Limpiar	No aplica	Trapos, Estopa				15	Manual

Ya que tenemos nuestro plano y haber identificado la funcionalidad de la pieza, cual es formar el marco en el cual se colocara el porta herramienta y que a servirá para contrarrestar los momentos provocados cuando la herramienta este girando, se realizara el plan de manufactura siguiendo los 6 pasos que se citaron en el capitulo 5.10.

Esta es la propuesta de sujecion de la pieza en la fresadora Cincinnati 500 la cual se sujetara con 4 clamps tipo puente y 2 Support Pins de cabeza plana para alzar la placa y así evitarle daños a la mesa de la fresadora. Cabe recordar que la alineación centrado y calibración de la herramienta ser realizara de igual forma que se expone en el plan de manufactura de la mesa de la fresadora, se maquinara de igual forma en la maquina Cincinnati 500 y al ser una pieza de menor tamaño se colocó de forma manual CNC. Los avances, velocidades de corte y profundidad están en la lista de operaciones y las herramientas que se utilizaran se encuentran en la hoja de ruta para el componente soporte Z puente.

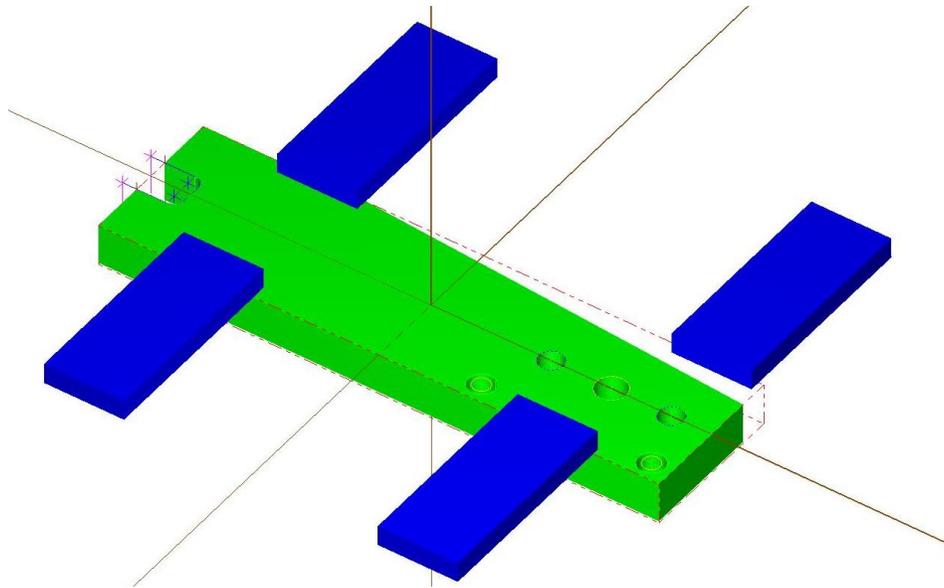


Figura 5.0.56 Posicion y Sujecion de la pieza soporte Z puente

Las trayectorias de corte se hicieron de igual forma en MasterCam solo para los 5 barrenos y la ranura de lado izquierdo de la figura (Color Rosa) , de igual forma estos parámetros pueden variar a pie de máquina y pueden ser optimizados al igual que se hicieron con la mesa del prototipo de la fresadora CNC.

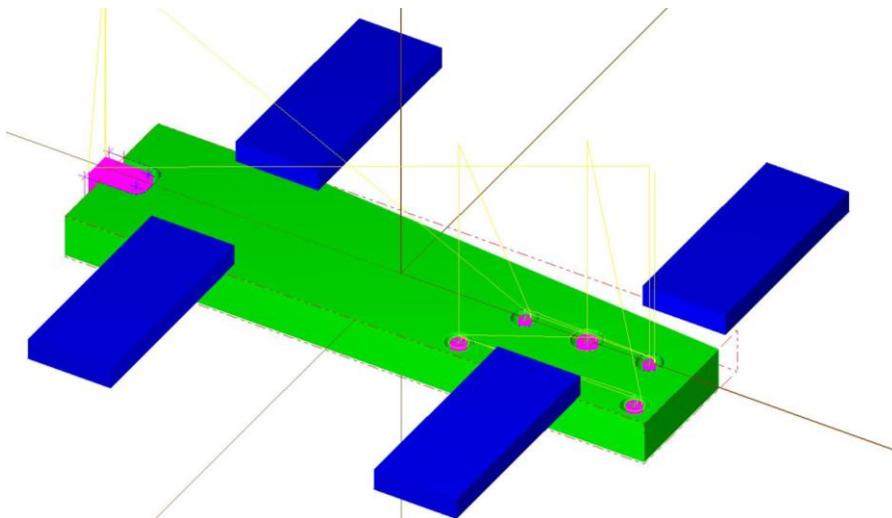


Figura 5.0.57 Trayectorias de corte para el Soporte Z puente

Ya que se realizaron los barrenos y la ranura es necesario darle el ángulo para que pueda soportar los esfuerzos en eje z producido por el portaherramientas, por lo que es necesario sujetarla de diferente manera, se utilizaran 3 clamps tipo puente y 2 support pins para alzar la placa de acero, al hacer cambios sobre la sujecion de la pieza es necesario verificar alineación, centrado y calibrar la altura de la herramienta.

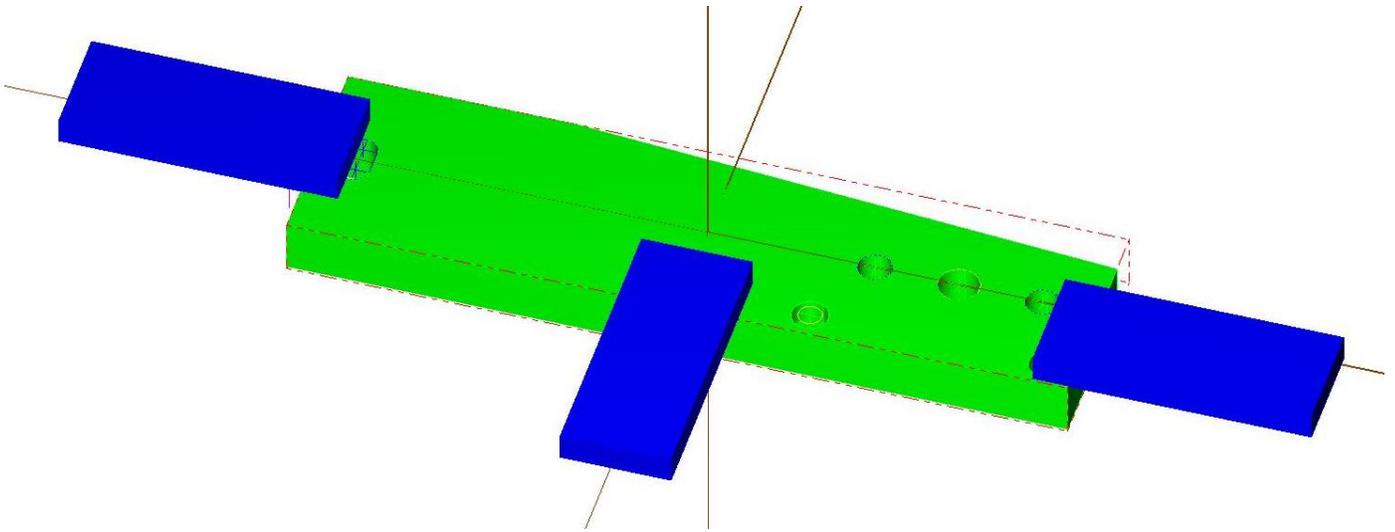


Figura 5.0.58 Sujecion de la pieza diferente para realizar el perfil sin dañar los dispositivos de sujecion, la herramienta o el holder

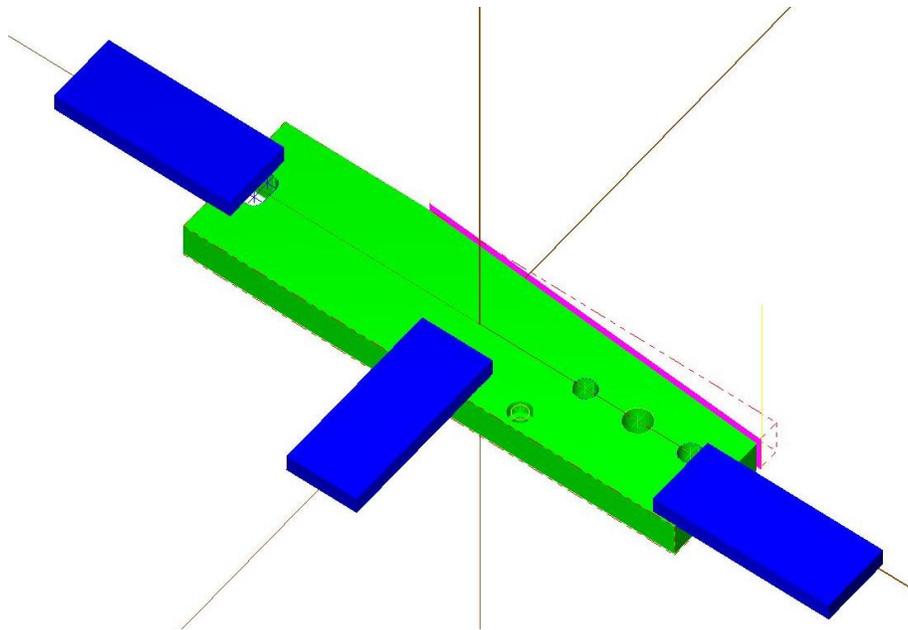


Figura 5.0.59 Trayectorias de corte para realizar el ángulo que garantice el funcionamiento del puente Z

Contando con el plano y conociendo la funcionalidad se realizan los mismos pasos para crear así un plan de manufactura para este componente.

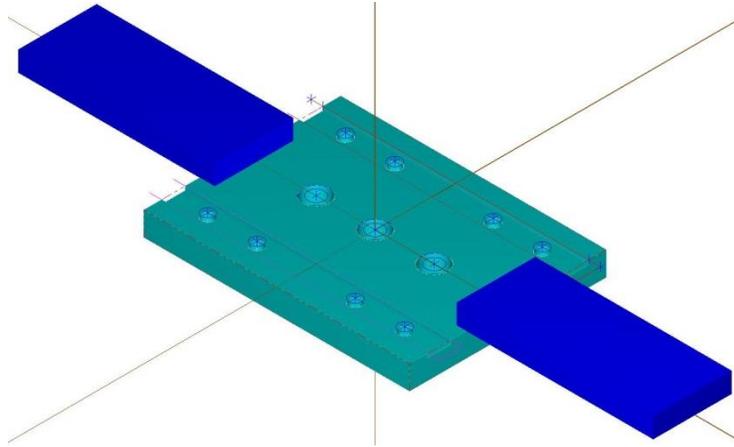


Figura 5.0.61 Colocacion y sujecion del componente Portaherramienta

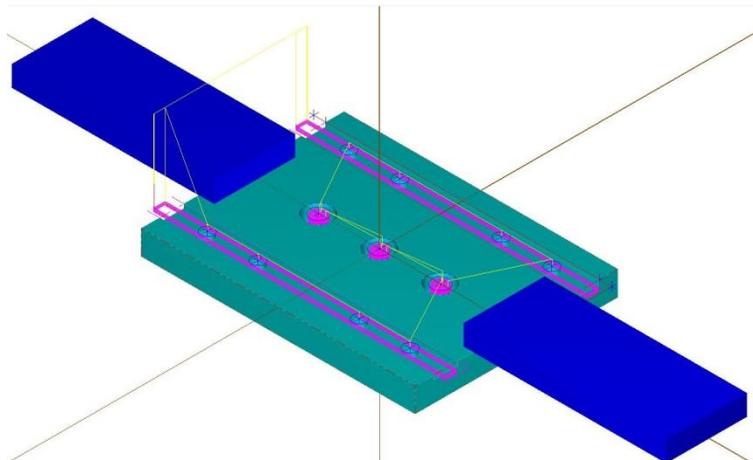


Figura 5.0.62 Trayectorias de corte para la realización de los barrenos

5.10.4 Inspección

La inspección en el proceso de fresado debe realizarse de forma continua, en todos los pasos especificados en el plan de proceso o plan de manufactura, utilizando el instrumento o aparato de medición adecuado, para poder así verificar la concordancia de las medidas especificadas en los

planos de detalle, con las medidas efectivas después de realizar la operación de manufactura correspondiente.

Para esto es necesario un formato de inspección el cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 5.5 Formato de inspección para cualquier pieza a maquinar

Formato de inspección.				
Nombre de la pieza: Mesa	Número de la parte:	Número de piezas:	Fecha:	
Operación No	Descripción	Instrumento	Mide [mm]	Debe Medir [mm]

Formato de inspección.				
Nombre de la pieza: Mesa	Número de la parte: 12	Número de piezas: 1	Fecha: 7/06/13	
Operación No	Descripción	Instrumento	Mide [mm]	Debe Medir [mm]
10	Ranurado x2	Vernier	Prof. 22.3	22
			Ancho 20	20
			Largo 310	310
20	Ranurado x4	Vernier	Prof. 21.7	22
			Ancho 10	10
			Largo. 244	244
30	Ranurado x4	Tuerca (Pasa No pasa)	Pasa libre	Pasar libre
40	Barrenado x4	Calibrador Digital	Ø17x10.95	Ø17x11
			Ø10.4	Ø10.5



Figura 5.0.63 Verificación de la operación 10 (Ranurado) de la lista de inspección 1 con el instrumento Vernier

Nota: Al ser la mesa el único componente que se manufacturo, fue a la que se le realizo el proceso de inspección.

5.11 Velocidades de corte

La velocidad de corte se establece de forma experimental y existen muchas tablas de donde se pueden consultar estas velocidades, además de que van variando dependiendo del material y la herramienta de corte, este parámetro se utiliza para calcular las RPM's que son revoluciones por minuto, esta velocidad es la velocidad tangencial de la herramienta siempre y cuando sea una maquina donde gira la herramienta, para los tornos seria la velocidad de la pieza a cortar.

Esta velocidad la encontramos como Vc [m/min] y como SFM [ft/min] las ecuaciones para calcular las RPM:

$$RPM = \frac{1000(Vc)}{\pi(\phi Htta)}$$

Donde;

Vc [m/min]

ØHtta [mm]

$$RPM = \frac{12(SFM)}{\pi(\phi Htta)}$$

Donde;

SFM [ft/min]

ØHtta [in]

Cabe mencionar que este parámetros también se debe ajustar a la capacidad de la máquina, al cortador y al tipo de maquinado deseado por mencionar algunos ejemplos: desbaste, ajuste, contorneado, ranurado, barrenado, etc.

Para nuestro caso se tiene los datos del acero A36

Profundidad axial (P.A.) Relación	Surface feet per minute (SFPM)					
	Cortador para acabados			Cortador para desbaste		
	STD	TiN	TiCN	STD	TiN	TiCN
DIA. /8	50	58	65	60	72	84
DIA. /4	45	52	59	54	65	76
DIA. /2	40	46	52	48	58	67
DIA. /1	35	40	46	42	50	59

Tabla 5.0.7 Velocidades de corte acero A 36. Fuente: Niagara Cutter

Avance por diente (Feed per tooth F.P.T.) por diámetro						
Nota: Incremente el avance de 25 a 35% para cortadores a 60°.						
Nota: Incremente el avance 25% para cortadores con recubrimiento de TiN						
1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1" o +
.0013	.0019	.0025	.0031	.0038	.0044	.0050
.0011	.0015	.0020	.0025	.0030	.0035	.0040
.0008	.0011	.0025	.0019	.0023	.0026	.0030
0.0005	.0008	.0010	.0013	.0015	.0018	.0020

Tabla 5.0.8 Avances para el acero A36. Fuente Niagara Cutter

5.12 Avances

El avance de corte es la velocidad a la que se moverá la herramienta a manera de seguir una trayectoria, este parámetro depende de la calidad, del número de gavilanes y del material de nuestro cortador, así como de la relación que existe con la profundidad de corte

De acuerdo al proveedor Niagara Cutter mostradas anteriormente para fresado de desbaste se tienen las siguientes velocidades de corte sugeridas para Acero A36:

SFPM		
STD	TiN	TiCN
60	72	84
54	65	76
48	58	67
42	50	59

Tabla 5.0.9 Velocidades de corte para acero A36. Fuente: Niagara Cutter

Con éstas velocidades se pueden calcular los avances y profundidades de corte teóricos para el maquinado de la mesa de la fresadora portátil CNC, con lo cual se tienen los siguientes resultados:

ØHerramienta	SFPM			Profundidad de corte (in)	Profundidad de corte (mm)	RPM			Avance (in/tooth)	Avance (in/min)	Avance (mm/min)	Tiempo de Maquinado		
	STD	TiN	TiCN			STD	TiN	TiCN				Distancia a recorrer 645 mm/ avance	No. de pasadas	Total (min)
0,5	60	72	84	0,0625	1,5875	460	550	640	0,0025	4,6	116,84	5,52	15	82,81
	54	65	76	0,125	3,175	410	500	580	0,002	3,28	83,312	7,74	8	61,94
	48	58	67	0,25	6,35	370	440	510	0,0015	2,22	56,388	11,44	4	45,75
	42	50	59	0,5	12,7	320	380	450	0,001	1,28	32,512	19,84	2	39,68
0,375	60	72	84	0,046875	1,190625	610	730	860	0,0019	4,636	117,7544	5,48	19,0	104,07
	54	65	76	0,09375	2,38125	550	660	770	0,0015	3,3	83,82	7,70	10,0	76,95
	48	58	67	0,1875	4,7625	490	590	680	0,0011	2,156	54,7624	11,78	5,0	58,89
	42	50	59	0,375	9,525	430	510	600	0,0008	1,376	34,9504	18,45	3,0	55,36

Tabla 5.0.10 Parámetros de corte y tiempos de maquinado teóricos para acero A36

Con estos resultados obtenidos de este proveedor se pueden calcular los siguientes parámetros de corte sugeridos así como su tiempo de maquinado teórico:

ØHerramienta	SFPM			Profundidad de corte (in)	Profundidad de corte (mm)	RPM		
						STD	TiN	TiCN
0,5	111,3	175	250	0,177	4,4958	850	1340	1910
0,375	111	175	250	0,118	2,9972	1130	1780	2550

Avance (in/tooth)	Avance (in /min)	Avance (mm/min)	Tiempo de Maquinado			Ranuras	Total (hrs)
			Distancia /avance	No. de pasadas	Subtotal (min)		
0,00075	2,55	64,77	9,96	5,00	49,79	2	1,66
0,0005	2,26	57,404	4,60	8,00	36,79	4	2,45

Tabla 5.0.11 Parámetros de corte sugeridos y tiempos de maquinado teóricos

5.13 Herramientas de corte

Las herramientas para el corte que se utilizaron para los diferentes procesos son las siguientes:

1. Cortador de Ø ½" x 1" de longitud de corte con recubrimiento de TiN 4 gavilanes en carburo
2. Cortador de Ø 3/8" x 1" de longitud de corte con recubrimiento de TiN 4 gavilanes en carburo
3. Cortador Woodroof 5/8" x 3/16" con vástago Ø ½" en carburo



Figura 5.0.64 Cortadores utilizados en el maquinado de la mesa

CAPITULO VI ANALISIS DE COSTO

6.1 Insumos

Se consideró como insumos el lubricante y los cortadores con precios alrededor de:

- Lubricante 20 lts (Hangsterfer's) \$ 1,500
- Cortadores (Ver Notas de remisión)

6.2 Cotización de materia prima y componentes

En ésta sección se detallan las cotizaciones de la materia prima que se transformará en componentes del prototipo, así como los componentes que existen en el mercado los cuales se cotizaron y se integraron al prototipo. A continuación se detallan las cotizaciones de los materiales antes mencionados.

Para los componentes existentes en el mercado de los proveedores TBI y Rollco se tiene la siguiente cotización:

Eje	Componente	Precio USD	Cantidad	Subtotal	Total	Cambio Divisa	Total en MXN
	Tuerca de bolas 16 mm paso 5	115	3	345	400.20	13	5,202.60
X	Tornillo de bolas de 16mm con Long. De 398 mm sin maquinado	58	1	58	67.28		874.64
Y	Tornillo de bolas de 16mm con Long. De 360 mm sin maquinado	55	1	55	63.80		829.40
Z	Tornillo de bolas de 16mm con Long. De 184 mm sin maquinado	32	1	32	37.12		482.50
	Soporte para Husillo BK	99	3	297	344.52		4,478.76
	Soporte para Husillo BF	48	3	144	167.04		2,171.52
X	Guia 330 mm long. De inicio al centro del barreno de 15mm	42	2	84	97.44		1,266.72
Y	Guia 380 mm long. De inicio al centro del barreno de 12mm	45	2	90	104.4		1,357.2
Z	Guia 185 mm long. De inicio al centro del barreno de 33mm	25	2	50	58		754
	Carro lineal TRH 15 FL	35	6	210	243.6		3,166.80
Total					1,583.40		20,584.2

Tabla 6.0.1 Cotización de componentes existentes en el mercado

Con respecto a la materia prima para la manufactura de la máquina se tienen las siguientes cotizaciones:

Para la placa de acero A36 la cual conformará la mesa del prototipo de CNC portátil, se cotizó en la empresa Aceros Rectificados, la cual incluye los procesos de rectificado y canteado, así como los cortadores necesarios para cada operación.

Componente	Cantidad	Precio MXN	Total
Placa de acero A36	1	2,674.05	2,674.05
Cortador de 1/2" TiN	1	385.0	385.0
Cortador de 3/8" TiN	1	385.0	385.0
Cortador Woodruff 5/8" por 3/16"	1	265.0	265.0

Tabla 6.0.2 Cotización del material necesario para la fresadora CNC

6.3 Mano de obra

En esta sección se sugiere un costo de la mano de obra en basado en una empresa del ramo dedicada a la operación de una máquina CNC y montaje de las piezas. Es importante considerar el costo de la mano de obra ya que forma parte de la manufactura de este proyecto y de todas las piezas que se manufacturan en la industria. Los sueldos por del personal que opera la maquina CNC de dicha empresa es el siguiente:

SAMCO, S.A. DE C.V.

Empleado Numero : 790	Numero de Afiliación al IMSS : 11008236918
Nombre : ORTIZ BELTRAN ERICK	Dias Pagados : 7.02
R.F.C. : OIBE820129	Faltas : 0.00
Departamento : PRODUCCION	Periodo Desde el : 19/Jul/13
Puesto : OPERADOR CNC	Hasta el : 25/Jul/13
Salario Diario : 158.00	Nomina Numero : 31
PERCEPCIONES	
P001 SUELDO 1,109.03	D001 ISPT 2.40
P019 AYUDA DESPESA 290.00	D002 IMSS 34.87
P025 AYUDA DE TRANSPORTE 50.00	D009 FONDO DE AHORRO APORTAC 110.90
DEDUCCIONES	
Total Percepciones -----> 1,449.03 Total Deducciones -----> 148.17	
Recibí la cantidad indicada que cubre a la fecha el importe de mi salario, tiempo extra, séptimo día y todas las percepciones y prestaciones a que tengo derecho sin que se me adeude alguna cantidad por otro concepto.	
Firma: ERICK ORTIZ BELTRAN	

Figura 6.0.1 Recibo donde se puede observar el sueldo por día de un operador de esta empresa.

6.4 Servicios y suministros

Estos servicios son los que se requirieron en el proceso completo de desarrollo de nuestro proyecto aplicados a la manufactura, los cuales son los siguientes:

- En el caso de refrigerante se utilizó uno disuelto en agua al 50% el cual no solo también contribuyó a disipar calor en el momento de maquinado, sino que también contribuyó al desahogo de la viruta. Al tener una viscosidad baja se logró optimizar más nuestro tiempo de maquinado.
- Parte de los servicios con los que se contaron en el Laboratorio de CNC también fue el de energía eléctrica para el accionamiento del centro de maquinado con lo cual estimamos el consumo durante una semana de maquinado para la placa de nuestra mesa de 256 kWh, con un promedio de 4.19 kWh diario.
- Otro servicio del que se hizo uso es el del aire comprimido el cual fue requerido para el accionamiento del Centra de Maquinado por lo cual se tenía que una adecuada operación requiere de una presión de 5 psi aproximadamente, con lo cual aseguramos una adecuada manufactura de nuestros componentes.

CAPITULO VII RESULTADOS Y CONCLUSIONES

7.1 Resultados y Conclusiones

Basándonos en los objetivos específicos los resultados fueron los siguientes:

- Diseñar el prototipo de una máquina fresadora CNC vertical.

Este objetivo se logró al 100% con tendencia a la mejora. De tal manera que con un presupuesto más alto esta fresadora CNC se puede transformar en una CMM.

- Modelar el diseño conceptual de la fresadora CNC en el software CATIA.

Se logró al 100% modelando todos los componentes, así como su ensamble final.

- Realizar el análisis teórico del puente de fresado.

Se obtuvieron los valores y los diagramas de momentos, considerando la condición de máxima carga en barrenado.

- Selección de componentes existentes en el mercado

Se realizó la selección de los componentes comprobando la existencia de estos en el mercado.

- Desarrollo del proceso de manufactura de los componentes.

Se desarrolló una lista de operaciones para generar el proceso de manufactura de cada componente.

El elemento con el que se contaba hasta el momento y se pudo maquinado fue la Mesa.

Con referencia a la lista de operaciones 1

Maquinando y con la ayuda de nuestro asesor se encontraron varias fallas en los parámetros de corte, ya que los primeros maquinados de desbaste se contemplaron con cortadores de carburo pero con radios en las puntas de aproximadamente 0.030", pero por cuestión de presupuesto se optó por usar la misma herramienta para las operaciones de desbaste y acabado. Esto nos llevó a cambiar los parámetros de corte, los nuevos parámetros propuestos para la operación 10 son:

Propuestos por nosotros:

Lista de operaciones 1								
Nombre del componente: Mesa			No. de parte: 12		No. de revisión: 0		Fecha: 24/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Ranurado x2	Fresadora CNC	Cortador plano Ø½" 4 gav. Carburo TiN	2200	350	.6	138	

Con estos parámetros no se obtuvimos buenos resultados ya que se generó un ruido agudo lo que por experiencia de nuestro asesor recomendó incrementar las RPM's lo cual que se pudo experimentar a pie de máquina.

Con apoyo de nuestro asesor:

Lista de operaciones 1								
Nombre del componente: Mesa			No. de parte: 12		No. de revisión: 0		Fecha: 24/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Ranurado x2	Fresadora CNC	Cortador plano Ø½" 4 gav. Carburo TiN	3500	500	.5	97	

Óptimos:

Lista de operaciones 1								
Nombre del componente: Mesa			No. de parte: 12		No. de revisión: 0		Fecha: 24/06/2013	
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Ranurado x2	Fresadora CNC	Cortador plano Ø½" 4 gav. Carburo TiN	3700	600	.5	96	

Estos parámetros finales de avance y revoluciones se lograron en parte de forma experimental ya que la maquina CNC en la que se maquino tiene la flexibilidad de incrementar o disminuir los avances y revoluciones en rango amplios los que nos favorece en este proceso.

Para las operaciones siguientes, el parámetro de velocidad de corte lo obtuvimos con las RPM's del cortador de Ø1/2 con la cual se hicieron los cálculos para el cortador de Ø3/8

$V_c = 147.6 \text{ m/min}$ z 148 m/min por tanto:

Las Rpm's para cortador de Ø3/8 son : 4945 Rpm's z 4950, pero de cualquier forma se mejoró a pie de máquina.

En este maquinado se optó por hacer los cortes en rampa ya que al inicio solo se consideró que cortara de ida pero no de regreso y al cortar en ambas direcciones se mejoró el proceso no tanto el tiempo ya que el regreso era un movimiento rápido y en este momento el proceso es único, pero en producción en serie este cambio en la estrategia de corte sería relevante para mejorar el tiempo.

Para el barrenado se fueron cambiando los parámetros de corte ya que el cortador presentaba un desgaste considerable de hecho se despostillo un gavilán.

Se consideró un avance para el alojamiento de la cabeza y otro para el cuerpo ya que la herramienta no era la apropiada porque no ayudaba a sacar la viruta, a pesar de que se levantaba la herramienta a ciertas profundidades de corte para desahogar la viruta. Un cortador con refrigeración interna para esta operación sería mejor pero se elevan generosamente en el costo.

Lista de operaciones 1								
Nombre del componente:			No. de parte:12		No. de revisión:		Fecha: 7/06/2013	
Mesa					0			
No. de Operación	Descripción	Máquina	Herramienta	Velocidad (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad de corte (mm)	Tiempo de operación (min)	Observaciones
10	Ranurado x2	Fresadora CNC	Cortador carburo TiN 1/2" 4 gavilanes	3700	600	4.5	70	
20	Ranurado x4	Fresadora CNC	Cortador carburo TiN 3/8" 4 gavilanes	6600	611	0.4	190	
30	Ranurado x4	Fresadora CNC	Cortador carburo Woodruff 5/8 x 3/16	1665	25.5	4.7625	130	
40	Barrenado x4	Fresadora CNC	Cortador carburo TiN 3/8" 4 gavilanes	6600	300	.3	6.5	
50	Barrenado x4	Fresadora CNC	Cortador carburo TiN 3/8" 4 gavilanes	3500	280	.3	1	
60	Barrenado x4	Fresadora CNC	Cortador carburo TiN 3/8" 4	5350	260	.3	2	

			gavilanes					
--	--	--	-----------	--	--	--	--	--

Uno de los resultados más relevantes fue el hecho de que por una falta de planeación no se pudieron maquinar algunos elementos para la operación de la fresadora CNC.

- Determinación de los costos de fabricación del prototipo.

Se determinaron los costos de producción teniendo los comprobantes de los gastos.

Erróneamente se cree que el fabricar una maquina CNC implica demasiado costo ya que se considera crear todas las partes que conforman esta Máquina-Herramienta, pero realmente ya está todo fabricado solo es cuestión de definir quiénes serán tus proveedores y cuanto estas dispuesto a pagar por conseguir una mayor precisión.

Otro de los factores que puede incrementar el tiempo de manufactura y por tanto dinero es la mala planeación en la selección del proceso de manufactura.

Conforme al análisis de costos, tomando en cuenta los materiales, herramientas, mano de obra, suministros e insumos nos arroja un costo de producción de **\$32,243.25** tomando en cuenta la fluctuación del dólar este costo de producción puede variar.

Bibliografía

PCDEACITEC. (2013). *PC DeaciteC*. Recuperado el Abril de 2013, de <http://www.pcdeacitec.com/>

KpoMedia Digital Store. (2013). *KPO Media Digital Store*. Recuperado el Abril de 2013, de <http://www.kpomediamedia.com.ar/upload/index.php>

Linear TBI Motion Technology. (2013). *Comtop*. Recuperado el 23 de mayo de 2013, de http://www.comtop.com.tw/US/ShowProduct.aspx?p_id=195

Niagara Cutter LCC. (2013). *Comprehensive Solutions toCutting Challenges*. Recuperado el 23 de junio de 2013, de <http://www.niagaracutter.com/solidcarbide/>

Oberg, E., D.Jones, F., L. Horton, H., & H Ryffel, H. (2004). *Machinery's Handbook*. Nueva York: Industrial Press Inc.

Precision Dormer LLC. (2009). *Precision Twist Drill Catalogue*. Crystal Lake, Illinois, EEUU.

Presto International Limited. (30 de enero de 2007). *Catálogo de Brocas*.

PROBOTIX TM. (2013). *Probotix*. Recuperado el 7 de Mayo de 2013, de <http://probotix.com>

Quadrant. (24 de Septiembre de 2010). *Servidor-1.com*. Recuperado el 25 de Abril de 2013, de http://servidor-1.com/nylamid.com.mx/pdf/Maquinado_Nylamid.pdf

Rollco Specialized in linear motion. (2012). *Rollco-tw*. Recuperado el 23 de mayo de 2013, de <http://rollco-tw.com/uk/wp-content/uploads/2012/07/Ball-Screws-chi-eng-2012-11.pdf>

Scallan, P. (2002). *Process Planning*. Paisley: Elsevier Science & Technology books.

ASME Y14.5-2009 ANSI Y Dimensioning and Tolerancing

G. Henzold GEOMETRICAL DIMENSIONING AND TOLERANCING FOR DESIGN, MANUFACTURING AND INSPECTION

Serpe Kalpakjian, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Education.

Switch Gear Dealers. (2012). Recuperado el 8 de Mayo de 2013, de Switch Gear Dealers:
<http://www.switchgeardealers.in/>

Thomson Barmex. (Febrero de 2012). *Ball & Leads Screws*. Recuperado el 16 de Mayo de 2013, de
http://www.barmex.com.mx/pdf/dana_pdf/danaher01.pdf

Todo Robot. (28 de Marzo de 2009). *Todo Robot Argentina*. Recuperado el 26 de Abril de 2013, de
<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Toolmex Corporation. (2010). Catálogo Toolmex de fresas y barrernas en Carbide. Natick, Massachussets, EE.UU.

APÉNDICE A

En este apéndice se anexan los planos de diseño de cada una de las partes de la máquina los cuales fueron manufacturados y posteriormente incorporados con los elementos que ya se encuentran disponibles en el mercado los cuales se puede prescindir de manufacturar por cuestiones de ahorro en capital y en tiempos hombre- máquina.

Lista de figuras

FIGURA 1.0.1 PROTOTIPO DE MÁQUINA CNC. FUENTE: GÉNESIS INDUSTRIAL.....	10
FIGURA 1.0.2 PROCESO TÍPICO DE UN PRODUCTO.....	13
FIGURA 1.0.3 DIAGRAMA DE EXTENSIONES DE ARCHIVOS PARA DIFERENTES PROGRAMAS DE DISEÑO Y MANUFACTURA ASISTIDOS POR COMPUTADORA.....	15
FIGURA 2.0.1 CASA DE LA CALIDAD (EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA)	22
FIGURA 2.0.2 CASA DE LA CALIDAD (MATRIZ DE CORRELACIÓN)	23
FIGURA 3.0.1 ROTOR DEL MOTOR A PASOS .FUENTE: TODO ROBOT 2009	24
FIGURA 3.0.2 ESTATOR DE UN MOTOR A PASOS. FUENTE TODO ROBOT 2009	25
FIGURA 3.0.3 DIAGRAMA DE PUENTE H. FUENTE TODO ROBOT 2009	25
FIGURA 3.0.4 DIAGRAMA DE CONEXIÓN INTERNA DE UN MOTOR BIPOLAR A PASOS. FUENTE TODO ROBOT 2009	26
FIGURA 3.0.5 DIAGRAMA DE CONEXIÓN INTERNA DE UN MOTOR UNIPOLAR A PASOS. FUENTE TODO ROBOT 2009.....	26
FIGURA 3.0.6 KIT DE 3 MOTORES MONSTER HÍBRIDOS PARA TRES EJES. FUENTE: HTTP://PROBOTIX.COM	30
FIGURA 3.0.7 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL KIT DE 3 EJES MONSTER. FUENTE: HTTP://PROBOTIX.COM	31
FIGURA 3.0.8 LIMIT SWITCH. FUENTE: WWW.SWITCHGEARDEALERS.IN	32
FIGURA 3.0.9 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE FUENTE VARIABLE. FUENTE: PROYECTOS DIY HTTP://CONSTRUYASUVIDEOROCKOLA.COM	33
FIGURA 3.0.10 FUENTE VARIABLE 1.5 A 60 VOLTS DC.....	33
FIGURA 3.0.11 CONEXIÓN DE LA FUENTE VARIABLE AL TRANSFORMADOR Y AL MOTOR DC	34
FIGURA 4.0.1 BOSQUEJO DE PROTOTIPO	56
FIGURA 4.0.2 BOSQUEJO DEL PROTOTIPO	57
FIGURA 4.0.3 BOSQUEJO DEL PROTOTIPO	57
FIGURA 4.0.4 MODELO DE PROTOTIPO (CATIA V5)	58
FIGURA 4.0.5 MODELADO SOPORTE Z PUENTE (CATIA V5)	59
FIGURA 4.0.6 MODELADO HUSILLO X (CATIA V5)	59
FIGURA 4.0.7 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO CON PORTAHERRAMIENTAS EN POSICIÓN SUPERIOR Y AL CENTRO DEL PUENTE.....	60
FIGURA 4.0.8 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO CON PORTAHERRAMIENTAS EN POSICIÓN SUPERIOR Y AL EXTREMO IZQUIERDO DEL PUENTE.....	61
FIGURA 4.0.9 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN CON PORTAHERRAMIENTAS EN POSICIÓN SUPERIOR Y AL EXTREMO DERECHO DEL PUENTE	62
FIGURA 4.0.10 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO CON PORTAHERRAMIENTAS EN POSICIÓN SUPERIOR Y AL EXTREMO DERECHO DEL PUENTE.....	62
FIGURA 4.0.11 PLANO CON SISTEMA GD&T SOPORTE EJE Z.....	68
FIGURA 4.0.12 MODELO DE PROTOTIPO (CATIA V5)	68
FIGURA 4.0.13 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES P Y D.	72
FIGURA 4.0.14 CONDICIÓN VIRTUAL DE ALOJAMIENTO DE TORNILLO.....	73
FIGURA 5.0.1 EJEMPLO DE PROCESOS DE CORTE. FUENTE: MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, SEROPE KALPAKJIAN 2002	74
FIGURA 5.0.2 ESQUEMA DE UN PROCESO DE CORTE BIDIMENSIONAL LLAMADO TAMBIÉN CORTE ORTOGONAL FUENTE: SEROPE KALPAKJIAN 2002	75
FIGURA 5.0.3 VIRUTA CONTINUA CON UNA ZONA PRIMARIA DE CORTE AMPLIA. FUENTE: SEROPE KALPAKJIAN 2002	77
FIGURA 5.0.4 VIRUTA CON BODE ACUMULADO O RECRECIDO. FUENTE: SEROPE KALPAKJIAN 2002.....	78
FIGURA 5.0.5 VIRUTA ESCALONADA O SEGMENTADA CON ZONAS DE BAJA Y ALTA DEFORMACIÓN DE CORTE. FUENTE: SEROPE KALPAKJIAN 2002	79

FIGURA 5.0.6 ALGUNOS DE LOS TIPOS BÁSICOS DE FRESAS Y OPERACIONES DE FRESADO. FUENTE: MANUFACTURA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA, SEROPE KALPAKJIAN 2002	84
FIGURA 5.0.7 RECTIFICADORA PLANA. FUENTE HTTP://WWW.DEMAQUINASYHERRAMIENTAS.COM	86
FIGURA 5.0.8 RECTIFICADORA SIN CENTROS CENTERLESS. FUENTE: HTTP://ES.MADE-IN-CHINA-COM	86
FIGURA 5.0.9 RECTIFICADORA UNIVERSAL. FUENTE: HTTP://MERCADOLIBRE.COM	87
FIGURA 5.0.10 UTILIZACIÓN DE SUJETADORES FUENTE WWW.CARRLANE.COM	88
FIGURA 5.0.11 UTILIZACIÓN DE GUÍAS FUENTE TESINA IMPORTANCIA DE LA SUJECION.....	88
FIGURA 5.0.12 FIJACIÓN MODULAR DONDE SE PUEDEN COMBINAR IDEAS Y SUJETADORES	89
FIGURA 5.0.13 PLANTILLA DE SUJECIONES. FUENTE: ENGINEERINGHUT.....	91
FIGURA 5.0.14 JIG TIPO LAMINA.....	91
FIGURA 5.0.15 JIG TIPO CANAL. FUENTE AMERICAN MACHINIST.....	92
FIGURA 5.0.16 REPRESENTACIÓN DE LOS 3 TIPOS DE POSICIONADORES PARA PODER ASÍ LOCALIZAR LA PIEZA DE TRABAJO FUENTE WWW.CARRLANE.COM	92
FIGURA 5.0.17 PINES DE SOPORTE O APOYO. FUENTE: AMERICAN MACHINIST.....	93
FIGURA 5.0.18 PIN TIPO JACK. FUENTE: AMERICAN MACHINIST	93
FIGURA 5.0.19 TORNILLOS DE SUJECIÓN. FUENTE: AMERICAN MACHINIST.....	94
FIGURA 5.0.20 PERNO TIPO GANCHO. FUENTE: AMERICAN MACHINIST.....	94
FIGURA 5.0.21 CLAMP TIPO PUENTE. FUENTE: AMERICAN MACHINIST.....	95
FIGURA 5.0.22 CLAMP TIPO TACÓN. FUENTE: AMERICAN MACHINIST.....	95
FIGURA 5.0.23 PRESS FIT WEARING BUSHES. FUENTE: AMERICAN MACHINIST	96
FIGURA 5.0.24 RENEWABLE BUSHES. FUENTE: AMERICAN MACHINIST	96
FIGURA 5.0.25 LINEAR BUSHES. FUENTE: AMERICAN MACHINIST	97
FIGURA 5.0.26 MAPA CONCEPTUAL DE FLUIDOS DE MECANIZADO	97
FIGURA 5.0.27 CLASIFICACIÓN DE TIPOS DE LUBRICANTES- REFRIGERANTES	98
FIGURA 5.0.28 GRÁFICA DE CAPACIDAD REFRIGERANTE VS CAPACIDAD LUBRICANTE	99
FIGURA 5.0.29 PROCESO DE SELECCIÓN PARA EL MEJOR FLUIDO DE CORTE.	99
FIGURA 5.0.30 CUADRO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES DE LOS REFRIGERANTES. FUENTE WWW.FUCHS.ES.....	100
FIGURA 5.0.31 DIAGRAMA DE FRESADO	100
FIGURA 5.0.32 DIAGRAMA DE LA INTERFACE DISEÑO MANUFACTURA DEL PRODUCTO.....	101
FIGURA 5.0.33 PLANO DE MANUFACTURA DE LA MESA PARA LA MAQUINA FRESADORA CNC.....	103
FIGURA 5.0.34 PLACA DE ACERO A36	104
FIGURA 5.0.35 FRESADORA CINCINNATI 500 DE LA ESIME U.TICOMAN.....	104
FIGURA 5.0.36 UTILIZACIÓN DEL INDICADOR DE CARATULA PARA ALINEAR LA PLACA DE ACERO A36.....	106
FIGURA 5.0.37 UTILIZACIÓN DEL CENTRADOR DE LUZ PARA CENTRAR EN EJE X	106
FIGURA 5.0.38 VERIFICACIÓN DE PERPENDICULARIDAD CON EL INDICADOR DE CARATULA.	107
FIGURA 5.0.39 PALPADOR SOBRE LA CARA SUPERIOR PARA VERIFICAR LA VARIACIÓN GENERADA POR CALZARLA SOBRE LAS CALZAS DE ALUMINIO SOBRE EL EJE Y.....	107
FIGURA 5.0.40 PALPADOR SOBRE LA CARA SUPERIOR PARA VERIFICAR LA VARIACIÓN GENERADA POR CALZARLA SOBRE LAS CALZAS DE ALUMINIO SOBRE EL EJE X.....	108
<i>FIGURA 5.0.41 PLACA DE ACERO MONTADA, CENTRADA Y ALINEADA EN LA FRESADORA CNC CON SUS RESPECTIVOS SUJETADORES LISTA PARA EMPEZAR EL MAQUINADO.</i>	<i>109</i>
FIGURA 5.0.42 TRAYECTORIAS DE CORTE DE LA MESA AQUÍ SE OBSERVA COMO NO HABRÁ CONTACTO ENTRE LOS DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN Y EL PORTA HERRAMIENTAS	109
FIGURA 5.0.43 CREACIÓN DE LOS BARRENOS EN LA MESA DE LA FRESADORA CNC.....	112
FIGURA 5.0.44 APLICACIÓN DEL FLUIDO DE MECANIZADO EN EL DESBASTE PARA LA RANURA DE LA MESA.	112
FIGURA 5.0.45 POSICIÓN DE MESA PARA MAQUINAR.....	116

FIGURA 5.0.46 DISPOSICIÓN DE SUJECIÓN VISTA ISOMÉTRICA.....	117
FIGURA 5.0.47 DISPOSICIÓN DE SUJECIÓN VISTA DE PLANTA.....	117
FIGURA 5.0.48 TRAYECTORIA EN POCKET DE RANURAS LATERALES.....	117
FIGURA 5.0.49 TRAYECTORIA EN CONTOUR RANURAS LATERALES.....	118
FIGURA 5.0.50 TRAYECTORIA EN CONTOUR DE RANURAS TRANSVERSALES.	118
FIGURA 5.0.51 POSICIONES DE LA HERRAMIENTA DURANTE EL MAQUINADO.....	119
FIGURA 5.0.52 INICIO DE LA RANURA ENTRANDO EN VACÍO PARA EVITAR UN PROCESOS RAMPEADO YA REDUCIR EL TIEMPO DE MAQUINADO.....	120
FIGURA 5.0.53 PRIMERA OPERACIÓN TERMINADA. RANURADO LONGITUDINAL CON CORTADOR $\varnothing \frac{1}{2}$ "	120
FIGURA 5.0.54 OPERACIÓN DE RANURADO TRANSVERSAL PARA LA MESA DE LA MÁQUINA CNC	121
FIGURA 5.0.55 OPERACIÓN DE BARRENADO Y DIFERENTE POSICIONAMIENTO DE BRIDAS, ESTO PARA EVITAR DAÑOS A LA HERRAMIENTA, AL HOLDER O LOS SISTEMAS DE SUJECION.	121
FIGURA 5.0.56 POSICION Y SUJECION DE LA PIEZA SOPORTE Z PUENTE	123
FIGURA 5.0.57 TRAYECTORIAS DE CORTE PARA EL SOPORTE Z PUENTE.....	123
FIGURA 5.0.58 SUJECION DE LA PIEZA DIFERENTE PARA REALIZAR EL PERFIL SIN DAÑAR LOS DISPOSITIVOS DE SUJECION, LA HERRAMIENTA O EL HOLDER.....	124
FIGURA 5.0.59 TRAYECTORIAS DE CORTE PARA REALIZAR EL ÁNGULO QUE GARANTICE EL FUNCIONAMIENTO DEL PUENTE Z.....	124
FIGURA 5.0.60 PLANO DEL COMPONENTE SOPORTE PORTA HERRAMIENTAS NECESARIO PARA EL PLAN DE MANUFACTURA.....	125
FIGURA 5.0.61 COLOCACION Y SUJECION DEL COMPONENTE PORTAHERRAMIENTA	126
FIGURA 5.0.62 TRAYECTORIAS DE CORTE PARA LA REALIZACIÓN DE LOS BARRENOS	126
FIGURA 5.0.63 VERIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN 10 (RANURADO) DE LA LISTA DE INSPECCIÓN 1 CON EL INSTRUMENTO VERNIER	128
FIGURA 5.0.64 CORTADORES UTILIZADOS EN EL MAQUINADO DE LA MESA	131
FIGURA 6.0.1 RECIBO DONDE SE PUEDE OBSERVAR EL SUELDO POR DÍA DE UN OPERADOR DE ESTA EMPRESA.....	133

Lista de tablas

TABLA 2.0.1 ORGANIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS PARA LOS 3 TALLERES ENCUESTADOS.....	19
TABLA 2.0.2 MATRIZ DE PONDERACIÓN.	19
TABLA 2.0.3 GRADO DE IMPORTANCIA DE LOS REQUERIMIENTOS DESEABLES DEL CLIENTE.....	20
TABLA 2.0.4 COMPARACIÓN DE LA COMPETENCIA CON RESPECTO A LOS REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE.	21
TABLA 3.0.1 SECUENCIA NORMAL DE UN MOTOR A PASOS	27
TABLA 3.0.2 SECUENCIA DE UN MOTOR A PASOS TIPO WAVE DRIVE.....	28
TABLA 3.0.3 SECUENCIA DEL TIPO MEDIO PASO.....	29
TABLA 4.0.1 CONSTANTES DE POTENCIA (Kp) PARA DISTINTOS MATERIALES, FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	36
TABLA 4.0.2 AVANCES Y VELOCIDADES DE CORTE PARA CORTADORES DE CARBURO SÓLIDO PARA ALUMINIO Y MAGNESIO, FUENTE: CATÁLOGO TOOLMEX	36
TABLA 4.0.3 FACTORES DE AVANCE PARA PROCESOS DE TORNEADO, FRESADO, Y RECTIFICADO Y BROCHADO, FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	37
TABLA 4.0.4 FÓRMULAS PARA CALCULAR LA TASA DE CORTE DE MATERIAL. FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION ..	37
TABLA 4.0.5 FACTORES DE DESGASTE DE HERRAMIENTA PARA DISTINTAS OPERACIONES, FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	39
TABLA 4.0.6 FACTORES DE EFICIENCIA MÁQUINA HERRAMIENTA .FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	39
TABLA 4.0.7 FACTORES DE TRABAJO DE MATERIAL PARA BARRENADO (Kd). FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION..	41
TABLA 4.0.8 FACTORES DE AVANCE Ff.. FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	41
TABLA 4.0.9 AVANCES Y VELOCIDADES DE CORTE PARA DIFERENTES MATERIALES. FUENTE CATÁLOGO DE BROCAS DORMER.	42
TABLA 4.0.10 FACTORES DE PUNTA DE BROCA. FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION.....	43
TABLA 4.0.11 FACTORES DE DIÁMETRO DE BROCA PARA TORQUE Y EMPUJE DE BARRENADO. FUENTE: MACHINERÝS HANDBOOK 27 TH EDITION	44
TABLA 4.0.12 PARTES DEL PROTOTIPO DE FRESADORA CNC.....	58
TABLA 4.0.13 SELECCIÓN DE HUSILLO. FUENTE CATÁLOGO DE MARCAS BARMEX.	64
TABLA 4.0.14 SELECCIÓN DE TUERCA EMBALADA. FUENTE CATÁLOGO ROLLCO.	65
TABLA 4.0.15 SELECCIÓN DE CARRO Y GUÍAS. FUENTE CATÁLOGO LINEAR TB.	65
TABLA 4.0.16 SELECCIÓN DEL SOPORTE RÍGIDO PARA LOS HUSILLOS FUENTE: FUENTE CATÁLOGO ROLLCO.....	66
TABLA 4.0.17 SELECCIÓN DEL SOPORTE FLOTANTE PARA LOS HUSILLOS. FUENTE: FUENTE CATÁLOGO ROLLCO.....	67
TABLA 5.0.1 FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL PROCESO DE CORTE	76
TABLA 5.0.3 VELOCIDADES DE CORTE (v), AVANCE (s) Y REFRIGERACIÓN PARA BROCAS DE ACERO SS (CONTINUACIÓN). FUENTE: GERLING, ALREDEDOR DE LAS MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS, 2002.....	111
TABLA 5.0.4 FORMATO DE HOJA DE RUTA LA CUAL NOS MUESTRA LAS OPERACIONES DE MAQUINADO Y LA HERRAMIENTA CON LA QUE SE REALIZARA DICHA TAREA.....	113
TABLA 5.0.5 FORMATO LISTA DE OPERACIONES.....	115
TABLA 5.0.6 FORMATO DE INSPECCIÓN PARA CUALQUIER PIEZA A MAQUINAR	127
TABLA 6.0.1 COTIZACIÓN DE COMPONENTES EXISTENTES EN EL MERCADO.....	132
TABLA 6.0.2COTIZACION DEL MATERIAL NECESARIO PARA LA FRESADORA CNC	133

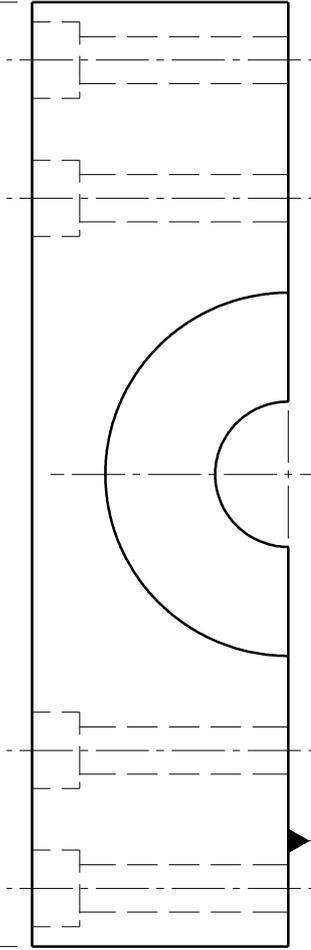
APENDICE A

DIBUJOS DE

DETALLE GD&T

130

- D -



35

- B -

- C -

57

6

38

12

4X Ø 6.5

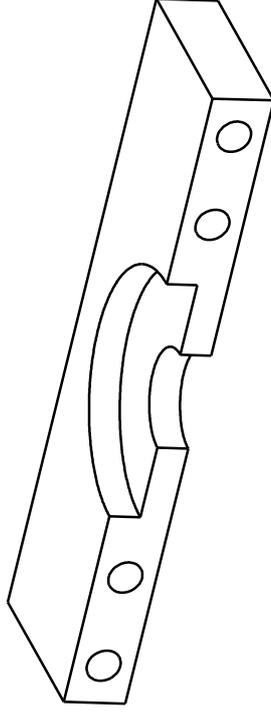
⊕ Ø0.09 | M | A | D
⊥ | Ø0.3 | B

⊕ Ø 20 ^{+0.12} | 0

⊕ Ø0.08 | D | C

⊕ Ø 50 ^{+0.02} | 0

⊕ Ø0.01 | D | C



4

3

2

1

4

3

2

1

A

B

C

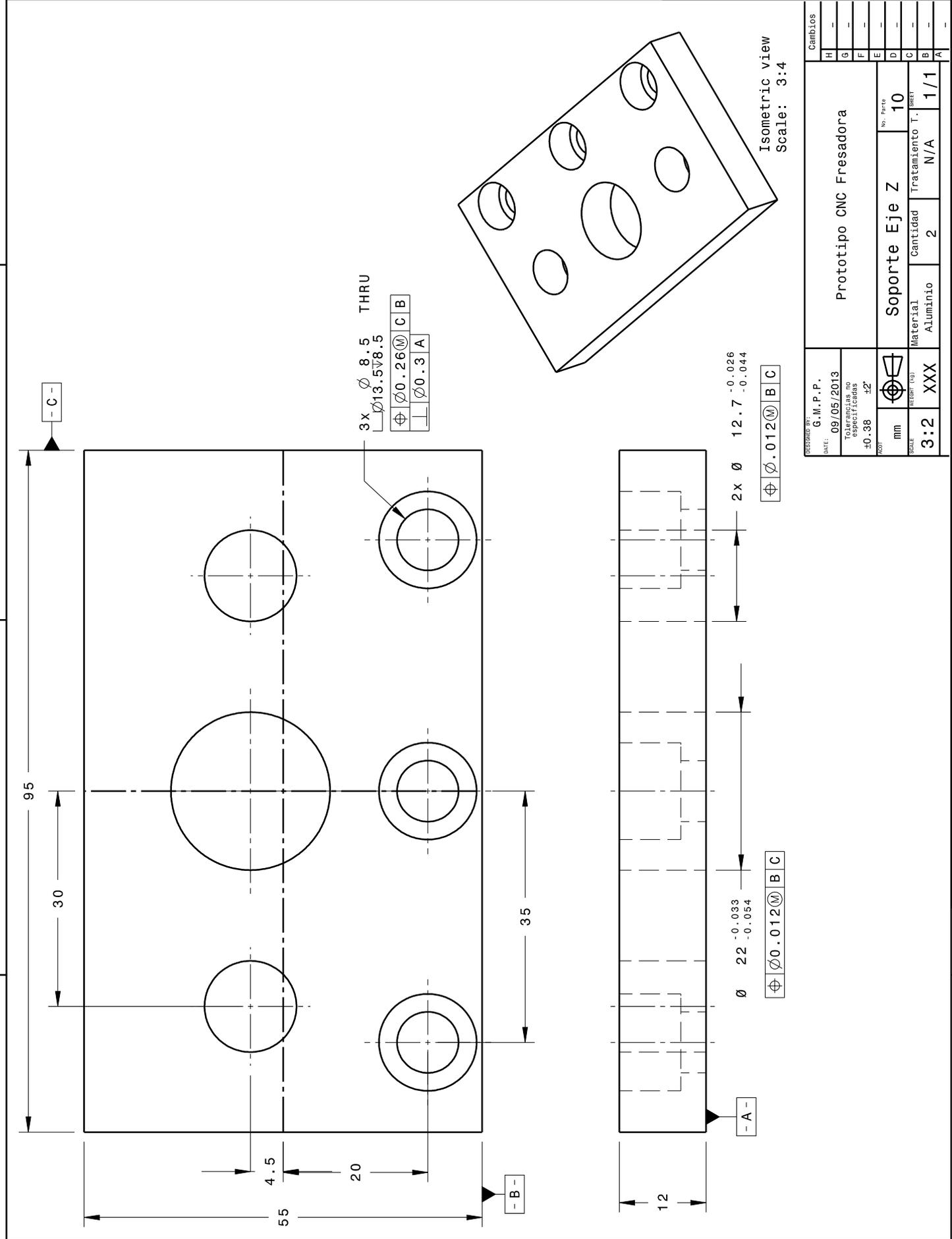
D

A

D

DESIGNER BY:	G.M.P.P.	Prototipo CNC Fresadora		Cambios	
DATE:	09/05/2013			H	-
TITULO:	OPORTUNIDAD DE EMPLEO EN EMPRESAS FRESADORAS			G	-
TOLERANCIAS:	±0.38 ±2°			F	-
UNIDAD:	mm			E	-
ESCALA:	1:1			D	-
PROYECTO:	XXX			C	-
MATERIAL:	Aluminio			B	-
TRATAMIENTO T.:	N/A			A	-
CANTIDAD:	1				
NO. PARTE:	14				
				1/1	

4 3 2 1 A



3x $\varnothing 8.5$ THRU
 $\varnothing 13.5 \nabla 8.5$
 $\varnothing 0.26 \text{ (M) C B}$
 $\varnothing 0.3 \text{ A}$

Isometric view
 Scale: 3:4

DESIGNED BY:	G.M.P.P.		
DATE:	09/05/2013		
TITULO:	Soporte eje Z para fresadora		
TOLERANCIAS:	según especificaciones		
±0.38	±2'		
mm			
SCALE:	3:2	FRONT (1:1)	Isometric (3:4)
Prototipo CNC Fresadora		Cambiaos	
		H	-
		G	-
		F	-
		E	-
		D	-
		C	-
		B	-
		A	-

4 3 2 1 A

D

A

B

C

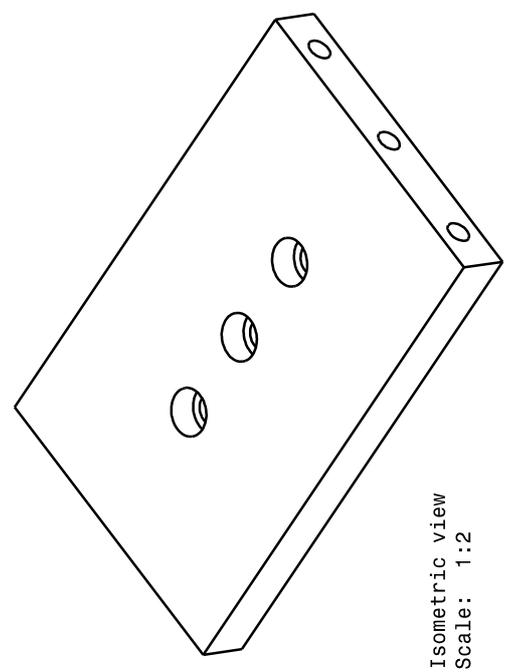
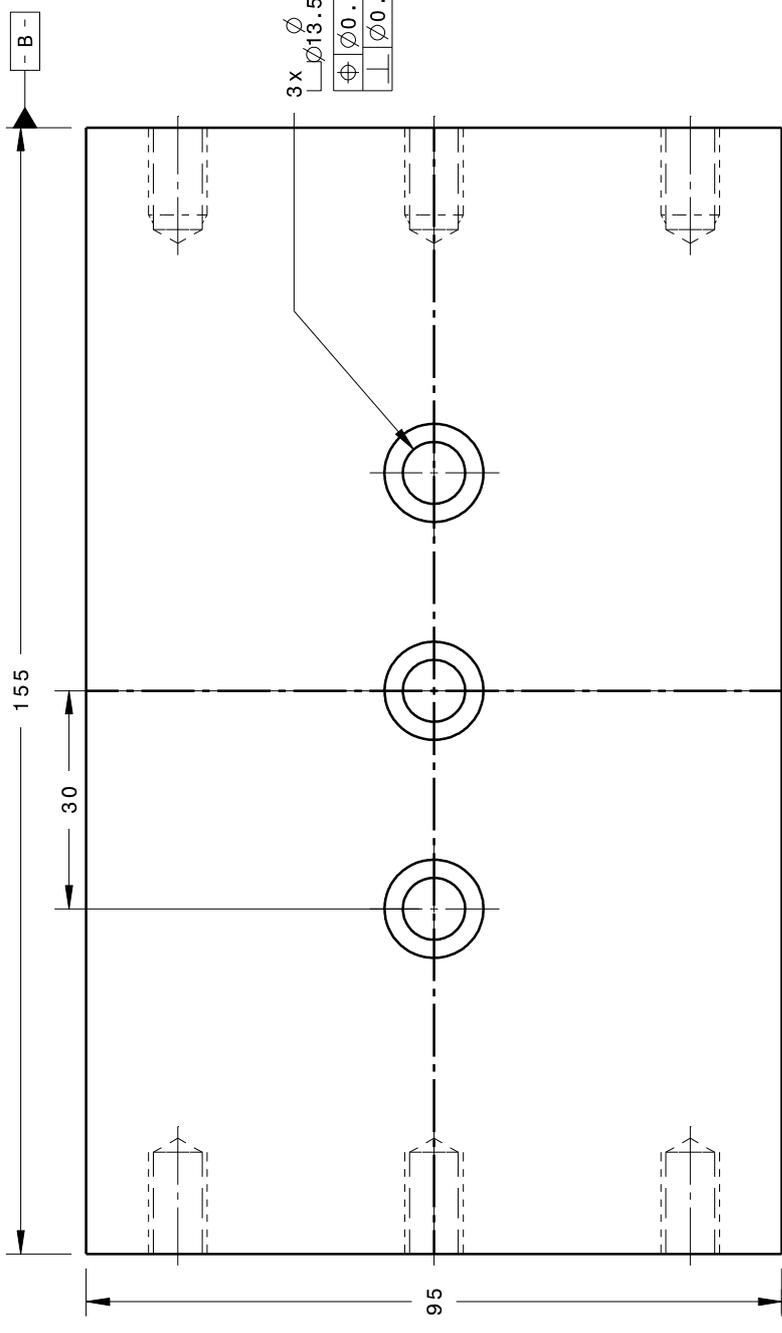
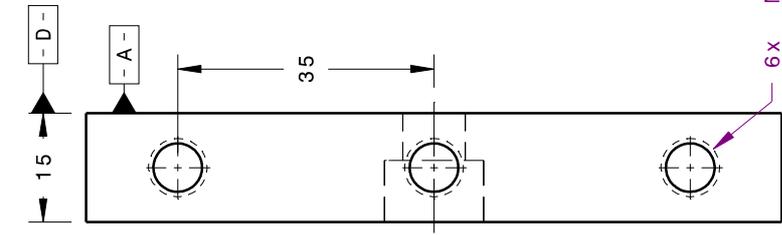
D

4

3

2

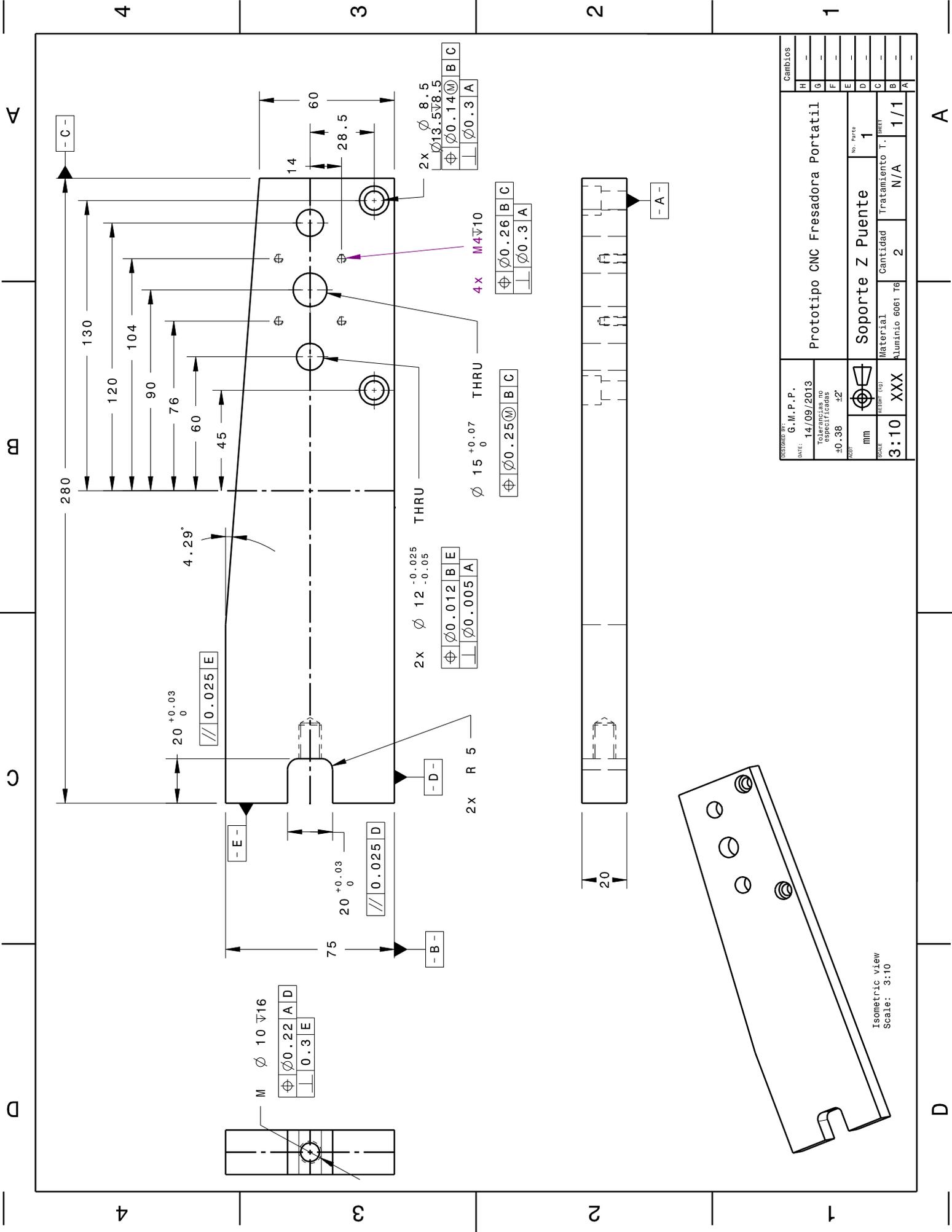
1



DESIGNED BY: G.M.P.P.		DATE: 09/05/2013		Cambios	
TITULO: Soporte eje X		No. Parte: 10		H	-
DESCRIPCION: Soporte eje X para fresadora		Material: Aluminio		G	-
TOLERANCIAS: ±0.38 ±2°		Cantidad: 2		F	-
Escala: 1:1		Tratamiento T. Superficial: N/A		E	-
MATERIAL: Aluminio		Cantidad: 2		D	-
MATERIAL: Aluminio		Tratamiento T. Superficial: N/A		C	-
Escala: 1:1		Cantidad: 2		B	-
Escala: 1:1		Cantidad: 2		A	-

A

D



DESIGNED BY:	G.M.P.P.	DATE:	14/09/2013	Cambios	
TÍTULO:	Prototipo CNC Fresadora Portatil	TOLERANCIAS:	según especificaciones	H	-
ESCALA:	3:10	PROYECTO:	XXX	G	-
UNIDAD:	mm	FECHA:	±2°	F	-
PROYECTO:	Soporte Z Punteo	Material:	Aluminio 6061 T6	E	-
FECHA:	1/1	Cantidad:	2	D	-
TRATAMIENTO:	N/A	Tratamiento T.:		C	-
TRATAMIENTO:		Tratamiento T.:		B	-
TRATAMIENTO:		Tratamiento T.:		A	-

Isometric view
Scale: 3:10