



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR,
MODALIDAD DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

TEMA:

**“SISTEMA MECÁNICO DE UNA MÁQUINA AFILADORA TIPO CNC PARA
EL RECTIFICADO EN HERRAMIENTAS DE TALADRADO”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero en mecatrónica

Línea de investigación: Gestión, producción productividad, innovación y desarrollo socio económico

Autor: ROBINSON PLUTARCO VILLARREAL MIRA

Director: ING. VICTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA MSC.

Ibarra, julio 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0450061569		
APELLIDOS Y NOMBRES:	VILLARREAL MIRA ROBINSON PLUTARCO		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Dr. Cristóbal Tobar Subía y Dr. Luis Madera		
EMAIL:	rpvillarreal@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0997855413

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	SISTEMA MECÁNICO DE UNA MÁQUINA AFILADORA TIPO CNC PARA EL RECTIFICADO EN HERRAMIENTAS DE TALADRADO
AUTOR (ES):	VILLARREAL MIRA ROBINSON PLUTARCO
FECHA: DD/MM/AAAA	26/07/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> GRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. VICTOR ALFONSO ERAZO ARTEAGA MSC.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de julio de 2024

EL AUTOR:

Firma:

Nombre: Villarreal Mira Robinson Plutarco



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: "SISTEMA MECÁNICO DE UNA MÁQUINA AFILADORA TIPO CNC PARA EL RECTIFICADO EN HERRAMIENTAS DE TALADRADO", certifico, que el presente trabajo fue desarrollado por el egresado Villarreal Mira Robinson Plutarco, bajo mi supervisión.

Ing. Víctor Alfonso Erazo Arteaga Msc.

C.I. 1719188029

DIRECTOR DEL PROYECTO

I. DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis queridos padres, quienes, con profundo amor, cariño y desinterés, me brindaron su apoyo incondicional, sus innumerables sacrificios y su fe en mí han sido la base sobre la cual he construido mis logros. Ustedes me han enseñado el valor de la perseverancia, el trabajo duro y la honestidad. Su amor y dedicación me han guiado en cada paso de este camino, por lo que les estaré eternamente agradecido-

A mis hermanos y amigos, gracias por estar siempre a mi lado, compartiendo alegrías y desafíos. Su apoyo, amistad y compañía han sido invaluable durante este viaje que ha estado lleno de risas, llantos y celebraciones, y cada momento junto a ustedes ha sido una muestra de la parte buena de la vida y un recordatorio de que las cosas son mejores con la compañía adecuada.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento por ser una parte fundamental de mi vida y por ayudarme a alcanzar esta meta.

Con todo mi cariño, Villarreal Robinson.

II. AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de esta tesis.

En primer lugar, a mis padres, cuyo amor, apoyo y sacrificio han sido la piedra angular de mi educación y desarrollo personal. Su fe en mí y sus constantes palabras de aliento me han impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi tutor, a los profesores y personal administrativo de la Universidad Técnica del Norte, por su guía y por compartir sus conocimientos y experiencias. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi formación académica y para el desarrollo de este trabajo.

III. RESUMEN EJECUTIVO

Se presenta el diseño del sistema mecánico de una máquina afiladora tipo CNC para el rectificado de herramientas de taladrado que permita la recuperación adecuada de su geometría, alargando así su vida útil. Para obtener el modelo, se emplea el diseño para la calidad, principalmente la herramienta denominada casa de la calidad, la cual transforma los requerimientos del cliente en requerimientos técnicos y determina los de mayor relevancia que serán empleados para evaluar las alternativas de solución presentadas para cada función y subfunción que debe cumplir el sistema y así elegir la más adecuada. Para facilitar dicho análisis se divide el modelo en tres módulos conformados por las funciones principales de la máquina. En cuanto al modelo 3D, simulaciones, validaciones y optimizaciones se lo efectúa mediante software CAD y CAE. De este modo, la estructura se construye con perfil cuadrado, como medio abrasivo se emplea una esmeriladora de banco, para la sujeción de la herramienta se usa un portabrocas tipo prensa y para su desplazamiento en los diferentes ejes se vale de carros deslizantes lineales y tornillo de bola accionado por motores paso a paso controlados por una placa Arduino UNO. En adición, el sistema es capaz de realizar el afilado de brocas de distintos diámetros entre 3 y 12mm, pudiendo variar el ángulo de punta y destalonado. Su mayor fortaleza es su precio relativamente bajo en comparación a los de las máquinas de este tipo existentes en el mercado.

Palabras clave: Afiladora, broca helicoidal, CNC, sistema mecánico.

IV. ABSTRACT

The design of the mechanical system of a CNC-type sharpening machine for the grinding of drilling tools is presented, allowing for the proper recovery of their geometry, thus extending their useful life. To obtain the model, design for quality is employed, mainly using the tool known as the House of Quality, which transforms customer requirements into technical requirements and determines the most relevant ones to be used to evaluate the solution alternatives presented for each function and sub-function that the system must fulfill, thus choosing the most appropriate one. To facilitate this analysis, the model is divided into three modules consisting of the main functions of the machine. Regarding the 3D model, simulations, validations, and optimizations are performed using CAD and CAE software. In this way, the structure is constructed with a square profile, a bench grinder is used as the abrasive medium, a press-type drill chuck is used for tool clamping, and linear sliding carriages and a ball screw driven by stepper motors controlled by an Arduino UNO board are used for movement along different axes. Additionally, the system is capable of sharpening drills of various diameters between 3 and 12mm, with the ability to vary the point and relief angles. Its greatest strength is its relatively low cost in compared to similar machines on the market.

Keywords: Sharpener, twist drill, CNC, mechanical system.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

I.	DEDICATORIA	i
II.	AGRADECIMIENTO	ii
III.	RESUMEN EJECUTIVO	iii
IV.	ABSTRACT	iv
	CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN	1
	1.2.1 Objetivo General	2
	1.2.2 Objetivos Específicos	2
	1.3. Alcance	3
2.	CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO	6
	Operaciones de mecanizado de taladrado	6
	2.1.1. Taladrado simple	6
	2.1.2. Re taladrado	6
	2.1.3. Avellanado	6
	2.1.4. Escariado	7
	2.3.1. Partes de la broca helicoidal	8
	2.3.2. Ángulos de la broca helicoidal	9
	2.3.3. Clasificación de las brocas helicoidales	11
	2.5.1. Partes que componen una máquina CNC	14
	2.5.2. Parte operativa	14
	2.5.3. Parte de mando	14
3.	CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO	15
	3.2.1. Fase 1:	15
	3.2.2. Fase 2: Diseño del sistema mecánico de la máquina.	16
	3.2.3. Fase 3.- Construir el sistema mecánico de la máquina mediante los parámetros establecidos en el diseño	17
	3.2.4. Fase 4.- Validar el funcionamiento de la máquina.	17
4.	CAPÍTULO IV – RESULTADOS	19
	4.1.1. Voz del cliente	19
	4.1.2. Voz del ingeniero	19

4.1.3.	Conclusiones de la casa de la calidad	20
4.2.	Diseño conceptual	20
4.2.1.	Análisis funcional	21
4.2.1.	Análisis modular	23
4.2.2.	Matriz morfológica	30
4.3.1.	Evaluación de criterios ponderados módulo 1	34
4.3.2.	Evaluación de criterios ponderados módulo 2	36
4.3.3.	Evaluación de criterios ponderados módulo 5	37
4.3.4.	Soluciones finales para cada módulo.....	39
4.4.1.	Modelo CAD de la solución.	40
4.5.1.	Condiciones de contorno para la mordaza inferior portabrocas	44
5.	CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conclusiones de la matriz QFD	20
Tabla 2. Alternativas de solución del módulo 1. Manipulación y giro de broca en su eje axial .	23
Tabla 3. Alternativas de solución del módulo 2. Movimiento lineal y calibración.	25
Tabla 4. Alternativas de solución del módulo 4. Movimiento del abrasivo.	27
Tabla 5. Alternativas de solución del módulo 5. Afilado de ángulo de punta e incidencia.	27
Tabla 6. Alternativas de solución del módulo 6. Recolección y eliminación de viruta.	29
Tabla 7. Generación de alternativas de solución del módulo 1: Manipulación y giro de broca en su eje axial.....	30
Tabla 8. Generación de alternativas de solución del módulo 2. Movimiento lineal y calibración	31
Tabla 9. Generación de alternativas de solución del módulo 4. Movimiento del abrasivo	31
Tabla 10. Generación de alternativas de solución del módulo 5. Afilado de ángulo de punta e incidencia	32
Tabla 11. Generación de alternativas de solución del módulo 6. Recolección y eliminación de viruta	32
Tabla 12. Criterios ponderados de requerimientos principales.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de una broca helicoidal	9
Figura 2. Ángulo de paso	9
Figura 3. Angulo de corte	9
Figura 4. Angulo de destalonado	10
Figura 5. Angulo de la punta	10
Figura 6. Estilos y ángulos de punta de la broca helicoidal	11
Figura 7. Nivel 0 de la estructura funcional.....	21
Figura 8. Nivel 1 de la estructura funcional de la máquina.	21
Figura 9. Nivel 2 de la estructura funcional de la máquina	22
Figura 10. Modelo CAD de la solución.....	40
Figura 11. Dibujo en explosión de la solución módulo 1.	41
Figura 12. Dibujo en explosión de la solución módulo 2	41
Figura 13. Dibujo en explosión de la solución módulo 4.	42
Figura 14. Dibujo en explosión de la solución módulo 5, ajuste del ángulo de punta.	43
Figura 15. Dibujo en explosión de la solución módulo 5, ajuste del ángulo de destalonado.	43
Figura 16. Condiciones de contorno en la pieza crítica.....	44
Figura 17. Análisis estático tensiones de von Mises	45
Figura 18. Gráfico de convergencia.....	45

CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN

1.1.Planteamiento del Problema

El sector metal mecánico en el Ecuador contribuye a la riqueza del país con un aporte del 25% al Producto Bruto Interno (PBI) exceptuando el área petrolera y en cuanto a empresas metalmeccánicas, hay un aproximado de 8020, entre micros (98,02%), pequeñas (1,60%), medianas (0,14%) y grandes (0,24%) evidenciando que en su mayoría son microempresas de carácter artesanal, conocidas como carpinterías metálicas [1][2]. El taladrado forma parte de las operaciones más significativas en el proceso de mecanizado por remoción de viruta cuando de cortar metales se trata [3], en donde, la herramienta más empleada para producir agujeros es la broca helicoidal.[4] Es importante que esta herramienta posea una alta penetración y una larga vida, debido a que el taladrado es una operación violenta y durante el maquinado, todas las herramientas de corte inevitablemente sufrirán un desgaste que continuará hasta llegar al final de su vida[5], dicho desgaste es producto de la interacción entre la herramienta y la pieza, debido a la combinación de factores mecánicos, térmicos, químicos y abrasivos, que cambian la geometría de la arista de corte, es por ello que, estos factores provocan en las brocas helicoidales una pérdida de material, acortamiento de la vida útil y disminución de la eficiencia[4]. Esto demuestra la relevancia del afilado, ya que, además de otorgar a la herramienta mayor resistencia, alarga su vida útil. En ese sentido, la punta de la herramienta puede afilarse de forma manual utilizando máquinas amoladoras (esmeril), o mediante una máquina especial [6]. El método manual con uso de un esmeril requiere que el operador tenga conocimiento de la geometría de la herramienta, este método es tosco y depende de la habilidad del operador para colocar el ángulo correcto en la broca. A menudo, los dos lados de la broca se afilan en diferentes ángulos, lo que hace que perforar directamente a través de una pieza de trabajo sea una tarea difícil y, a menudo, imposible. Mientras

que, el afilado con la rectificadora de brocas puede mejorar la capacidad del ser humano para afilar la broca helicoidal fácilmente en el ángulo correcto y aumentar su vida útil, pero debe ser realizado manualmente sujetando y presionando la broca con la muela giratoria, por lo que el afilado no siempre es perfecto. Además, de que el ángulo de afilado de la punta de la broca está limitado a los valores preestablecidos [7]. Dejando como mejor opción el afilado por control numérico (CNC) que permite el rectificado de manera fácil, precisa donde no se requiere habilidad en el proceso de afilado. Pero este tipo de máquinas son más costosas y son del tipo afiladora universal lo que incrementa aún más su costo, por lo que, las empresas de carácter artesanal no tienen capacidad de adquirir una de estas máquinas y en el caso de Ecuador esto se ve agravado debido a que no existen en el mercado local. Por todo lo anterior se hace necesario diseñar un sistema mecánico para una máquina afiladora de brocas helicoidales automatizada tipo CNC que sea asequible para las empresas artesanales del Ecuador y permita obtener un afilado adecuado para reducir el desgaste de la herramienta y alargar su vida útil.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema mecánico de una máquina afiladora tipo CNC para el rectificado en herramientas de taladrado de las empresas artesanales del sector metalmeccánico en el Ecuador.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir parámetros relevantes con respecto a las brocas helicoidales, su afilado y el sistema mecánico de la máquina.
- Diseñar el sistema mecánico de la máquina y sus características.
- Construir el sistema mecánico de la máquina mediante los parámetros establecidos en el diseño.
- Validar el funcionamiento de la máquina.

1.3. Alcance

El presente trabajo se enmarca en la recuperación de la geometría de las brocas helicoidales de hasta 12 mm de diámetro que han sufrido desgaste, por medio de una máquina afiladora de tipo CNC. Se realizará únicamente el diseño y construcción del sistema mecánico de la máquina, la parte electrónica y de control no será abordada.

1.4. Justificación

El afilado de las brocas helicoidales es de suma importancia en las empresas metalmecánicas debido a que permite aumentar la eficiencia, vida útil y recuperar la geometría de una de las herramientas más empleadas en este sector. Pero, para obtener un rectificado adecuado es necesario que las superficies de las caras de la punta sean perfectamente simétricas y posean ángulos adecuados [7], para lo cual, la mejor manera de lograrlo es mediante el uso de una rectificadora por control numérico. A pesar de la existencia de máquinas de este tipo para el rectificado de herramientas de corte, no existen aquellas enfocadas únicamente a brocas helicoidales, sino que se tratan de afiladoras universales, aumentando su complejidad y por ende su costo volviéndolas inaccesibles para aquellas empresas metalmecánicas de carácter artesanal. Esto cobra mayor relevancia en casos como el de Ecuador donde el 98,02% de las empresas metal mecánicas son de carácter artesanal, y si a esto se le suma el hecho de que no existen este tipo de máquinas en el mercado local, se vuelve necesario el diseño de una máquina afiladora de brocas helicoidales automática tipo CNC que sea asequible para este tipo de sector. Una máquina de este tipo permitirá el rectificado de brocas helicoidales con precisión, reduciendo los costos de fabricación de cualquier pieza mecanizada, y por ende aumentando la competitividad de la empresa.

1.5.Contexto

En el trabajo de Pérez, se realizó la automatización e implementación de un sistema CNC de una fresadora vertical tipo torreta de control manual, para automatizar máquinas herramientas de este tipo, existentes en los talleres de mecanizado de Quito y así aumentar su competitividad. Haciendo uso de la herramienta QFD, pudo identificar los requerimientos del cliente, en conjunto con la solución del diseño, así como la elección del controlador CNC. El sistema se lo ensambló en una fresadora Anayak FTV-2 y se realizaron pruebas con los requerimientos de esta, con las que se llegó a la conclusión de que, el sistema CNC implementado a una máquina herramienta mejora los tiempos de producción, controla más eficientemente las dimensiones y geometría de la pieza mecanizada. Este sistema es aplicable para toda máquina herramienta funcional y aumenta su vida útil[8]. En el trabajo realizado por Morera et al., se diseñó y construyó un torno de control numérico para brindar una opción más económica a los dueños de talleres metalmecánicos que deseen automatizar sus procesos a mediano plazo. Para llevar a cabo este proyecto, se diseñó una unidad de control electrónica utilizando microcontroladores. Esta unidad se comunica con un computador que transmite la operación de forma secuencial al controlador y recibe información del sistema. Además, incluye una interfaz hombre máquina que facilita la edición de programas desarrollados con código M y G. Se realizaron cálculos detallados para los componentes del torno, así como estudios de análisis tanto de esfuerzos como de deflexiones. Los resultados fueron verificados utilizando el software Inventor, que se empleó en el diseño del proyecto. Se validó el funcionamiento completo del sistema, compilando y ejecutando un programa realizado con código GM, asegurando que la retroalimentación de la posición de los motores se reporte adecuadamente. Esto demostró la precisión de los motores para seguir la figura planteada reproduciéndola correctamente[9].

López y Parra, realizaron el diseño de un prototipo de máquina Fresadora Router CNC, para madera de bajo relieve y plástico, para la producción de piezas con un grado de precisión aceptable, adaptado a la realidad de costo del mercado nacional. Para llevar a cabo este proyecto, se aplicó una metodología estructurada que incluyó cálculos detallados para el diseño y elección de componentes, estableciendo así aquellos parámetros de operación que debe cumplir la máquina CNC. Para la elección del sistema de control se partió del diseño preliminar, el cual debe cumplir con los requisitos de la fresadora CNC. En este caso, se utilizaron las tarjetas el Shield CNC, Arduino, en conjunto con el driver Pololu A4988. Con todo esto, se determinó que fresadora CNC posee una precisión que entran en los valores aceptables y que cumple con velocidades de producción adecuados, y que su costo de producción es reducido, lo cual la hace accesible para adquirirla localmente en comparación con sus contrapartes importadas disponibles en el país[10].

2. CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1.El taladrado

Dentro del mecanizado de piezas, una de las operaciones más comunes y sencillas es el taladrado, el cual consiste en el arranque de viruta para la obtención de un orificio cilíndrico. Este proceso se realiza mediante una máquina-herramienta denominada taladradora o taladro cuya función es accionar y hacer girar longitudinalmente una herramienta de corte llamada broca, de esta manera logra perforar el material deseado [1]. Es decir que, tanto la profundidad de corte como el avance se producen sobre el eje 'Z', que es el mismo de la broca.

En muchas ocasiones esta operación no es más que una inicial, puesto que seguida de esta se realizan otras complementarias como son: el escariado, roscado, avellanado, fresado, etc. [2].

Operaciones de mecanizado de taladrado

2.1.1. *Taladrado simple*

Mediante la operación de taladrado se mecanizan agujeros de forma circular, pasantes o ciegos, empleando herramientas giratorias que poseen en sus extremos filos cortantes y se caracteriza por la ausencia de un agujero previo [3].

Existen dos tipos de taladrados:

- Taladrados ciegos, si el taladrado profundiza hasta una medida determinada sin atravesar completamente la pieza
- Taladrados pasantes, si el taladrado atraviesa totalmente la superficie (Fenoll, 2011; Gallardo, 2012).

2.1.2. *Re taladrado*

Consiste en mecanizar un agujero a partir de otro, previamente existente, de menor diámetro [1].

2.1.3. *Avellanado*

consiste en mecanizar un agujero a partir de otro, previamente existente, de menor diámetro [1].

Las herramientas de avellanado están disponibles para producir avellanados de 82°, 90° y 100° y otros ángulos especiales [2]

2.1.4. Escariado

Esta operación busca otorgar la correcta precisión y redondez a un agujero ya existente, mediante el ensanchamiento de su diámetro. También empleada para compensar agujeros no concéntricos [3].

2.2. Condiciones del taladrado

Los factores por tomar en cuenta para la ejecución de un correcto taladrado son los siguientes:

- Longitud y diámetro del orificio
- El material que compone la pieza a trabajar.
- El número de agujeros a realizar
- Las condiciones tecnológicas en el proceso de mecanizado
- El material de fabricación de la herramienta a trabajar [4].

2.3. La broca

La broca es un tipo de herramienta de corte con forma cilíndrica destinada a crear orificios en diferentes materiales [4].

En cuanto al proceso de taladrado, se encuentra una gran variedad de brocas que cumplen con este propósito, cada una de ellas diseñadas para realizar un trabajo en específico. Entre las más comunes tenemos a las diseñadas para taladrar piedra, madera y metal. Las más empleadas suelen ser las brocas helicoidales, que cuenta con ranuras helicoidales cuyo propósito es proporcionar una guía de evacuación a las virutas arrancadas, por lo general son enterizas (fabricadas en una sola pieza) debido a que favorecen la evacuación de viruta.

En cuanto a las brocas no helicoidales suelen ser de plaquitas soldadas o intercambiables, su ventaja radica en la extracción de viruta ya que al cortar el material mediante varias plaquitas la viruta generada es de menor anchura [3].

2.3.1. Partes de la broca helicoidal

La broca helicoidal posee diferentes partes entre las que tenemos:

Mango. - Es la parte por donde la máquina taladradora sujeta y fija a la broca mediante un elemento llamado portabrocas. Pueden ser cilíndricos o cónicos:

El mango cilíndrico suele emplearse para brocas menores de 16 mm de diámetro. Estos mangos tienen el mismo diámetro que la broca.

El mango cónico presenta dimensiones estandarizadas y cuya forma es la de un tronco de cono. Se denomina cono Morse. La mecha es un rebaje que llevan los mangos cónicos para ajustar correctamente su sujeción a la taladradora.

Cuerpo. - Es la parte central de la broca helicoidal. Se encuentra situado entre la punta y el mango.

Los elementos siguientes son los que componen el cuerpo de la broca:

Ranuras: tienen como objeto la evacuación de la viruta metálica que se genera por el corte del material durante el taladrado. Van talladas a lo largo de la broca helicoidal.

Núcleo: tiene como objeto dar robustez a la broca. Su material suele ser acero de alta resistencia.

Guía: es la periferia del cuerpo de la broca.

Punta. - Es la parte principal de la broca, ya que es donde se inicia el taladro y va abriendo camino sobre el material. El ángulo de la punta es muy importante para distinguir las diferentes brocas y su uso ya que, cuanto menor sea este ángulo, más blando será el material sobre el que deberá actuar la broca [4].

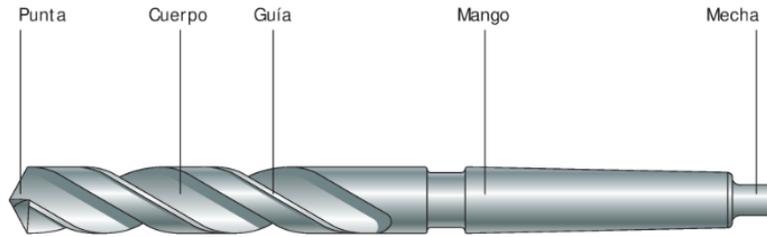


Figura 1. Partes de una broca helicoidal [4]

2.3.2. Ángulos de la broca helicoidal

Angulo de paso (χ). Es el ángulo de inclinación del eje de la broca con respecto a su filo helicoidal. y depende del material a cortar cuyo valor es establecido por normas técnicas. [5].

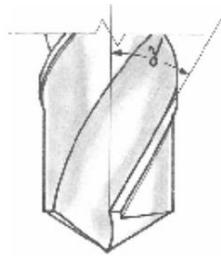


Figura 2. Ángulo de paso [5]

Angulo de corte (β). Es el grado que existe entre la superficie destalonada y la arista del bisel. Está diseñado para resistir las elevadas fuerzas de corte generadas al perforar materiales duros. [5].

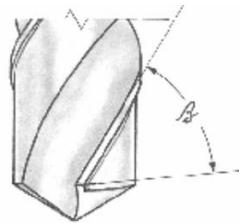


Figura 3. Angulo de corte [5]

Angulo de destalonado (α). Es el grado de desplazamiento de la superficie cónica de la punta de la broca hacia atrás en comparación con las aristas cortantes. [5].

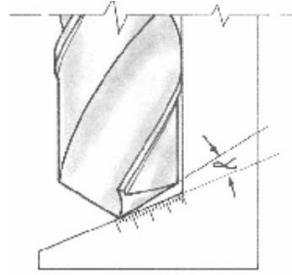


Figura 4. *Angulo de destalonado [5]*

Angulo de la punta (ϵ). Formado por la inclinación de los filos cortantes principales de la broca, varía según el material a perforar. Cuando la broca se encuentra correctamente afilada, se forma una recta entre las dos aristas cortantes principales. [5].

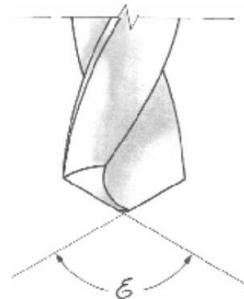


Figura 5. *Angulo de la punta [5]*

En la Figura 6 se muestran los ángulos de punta recomendados para usos generales de perforación.

Usos típicos

A Cobre y aleaciones de cobre de medianas a blandas

B Plásticos moldeados, baquelita, etc.

C Latones y bronces blandos

D Alternativa para G, hierro fundido, fundición a presión y aluminio

E Cigüeñales y agujeros profundos

F Acero al manganeso y aleaciones duras (ángulo de punta de 125 a 135°)

G Madera, fibra, hule duro y aluminio

H Aceros tratados térmicamente y piezas forjadas

I Punto de división, punto de 118° o 135° , auto centrado (aplicaciones CNC)

J Para agujeros precisos y profundos y corte rápido

K Adelgazamiento de la red (adelgaza la red a medida que la broca se desgasta al volver a afilarla; esto restaura la punta del cincel a su longitud adecuada) [2]

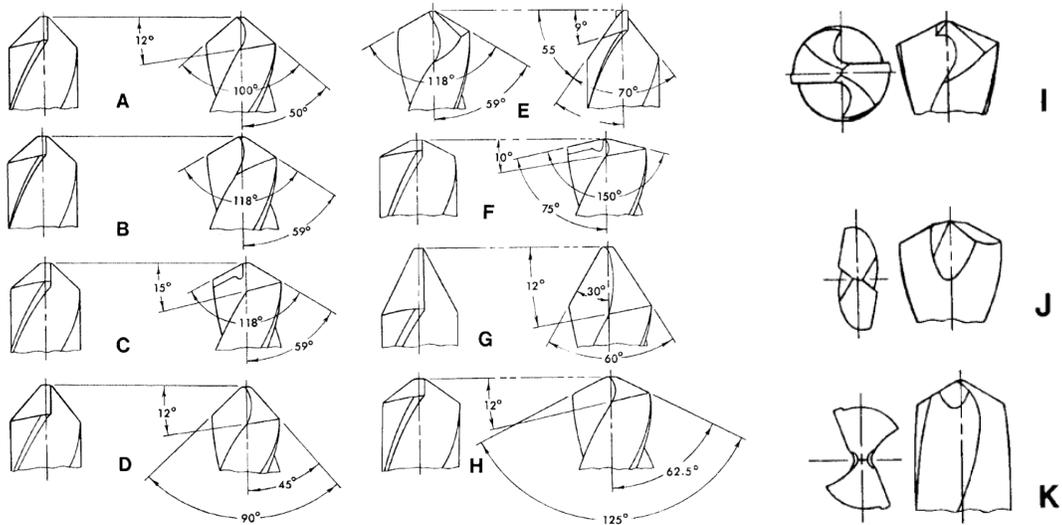


Figura 6. Estilos y ángulos de punta de la broca helicoidal [2].

2.3.3. Clasificación de las brocas helicoidales

Se clasifican, según su forma:

Atendiendo al mango:

- Serie extra corta.
- Serie corta.
- Serie larga.

Según su ángulo de afilado:

- Elaboración N: aceros y fundiciones de hierro.
- Elaboración W: materiales blandos, aluminio y sus aleaciones.
- Elaboración H: latón y similares.

Según la calidad del acero de la broca:

- Brocas CV: aceros al carbono que pueden ser de Fe (hierro), Cr (cromo) y W (wolframio).
- Brocas HSS: aceros al carbono aleado (que se llaman brocas de acero rápido) que pueden ser de Fe, Cr, W, V (vanadio) y Mo (molibdeno).
- Brocas HSS CO: acero al carbono con cobalto (llamadas brocas de acero super rápido).
Son las mismas que las HSS más el Co (cobalto) [6].

2.4.Afilado manual de las brocas helicoidales

El afilado de las brocas es muy común debido a su frecuente uso. Esta operación se suele llevar a cabo con una muela abrasiva y no resulta especialmente sencilla. Para la realización correcta del afilado de una broca se deben seguir los siguientes pasos:

- Apoyar la broca inclinada lateralmente contra el abrasivo, manteniendo el ángulo de punta original, sin llevar a cabo mucha presión.
- Ejecutar movimientos de elevación y rotación de la punta de la herramienta de forma similar para obtener una superficie de corte con destalonado.

Una vez realizada la operación de afilado de la broca, deberemos tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Los dos filos tienen que ser iguales.
- Ambos filos de corte deben guardar el mismo ángulo de corte respecto al eje de la broca.
- La broca debe contar con una punta destalonada correctamente [4].

La práctica de rectificar las puntas de las brocas a mano y al ojo es antigua por lo que, resulta ineficaz con las brocas y materiales modernos de hoy. Para que una broca funcione con precisión y eficientemente, requiere modernas máquinas rectificadoras de taladros como lo son las máquinas semiautomáticas y automáticas CNC [2].

2.5. Máquinas herramienta de control numérico computarizado (CNC)

El descenso en los costos de sistemas computarizados está cambiando la perspectiva del proceso de fabricación. Aunque la aplicación de computadoras en la manufactura ha sido de alguna forma lenta, pueden observarse distintos giros. Esto incluye un incremento constante en el uso de máquinas herramienta con controles computarizados [7].

Una máquina herramienta de control numérico computarizado CNC funciona de forma desatendida siguiendo instrucciones codificadas grabadas en la memoria de su control. En este tipo de máquinas, la intervención del operario se limita a operaciones de preparación, manutención y supervisión. Es decir, todo el proceso de maquinado necesario para la elaboración de la pieza puede realizarse de forma completamente desatendida [1].

En conclusión, las máquinas herramienta con control numérico tienen las siguientes ventajas en comparación con otros métodos de maquinado:

- Gran flexibilidad; sólo se requiere un programa para producir una nueva parte.
- La exactitud se mantiene a través de todo el rango de velocidades y profundidades, lo que da como resultado mayor intercambiabilidad de piezas.
- Menor tiempo de producción.
- Permite mecanizar piezas de geometría compleja
- Configuración de la máquina sencilla, permitiendo el ahorro de tiempo en comparación con otros métodos de fabricación.
- Libera tiempo al operador, el cual puede emplear en la supervisión de la operación de otra maquinaria.
- Reducido desperdicio de material. Menores errores e interrupciones debido a la fatiga del operador.

- Requerimiento de espacio reducido, ya que se utiliza una cantidad menor de máquinas y accesorios que reducen los requerimientos reales de almacenaje.
- Menores costos de herramientas, ya que hay menos necesidad de dispositivos y accesorios complejos.
- Corto tiempo de amortización como resultado de los reducidos costos de herramientas [7].

2.5.1. Partes que componen una máquina CNC

Para que una máquina herramienta sea automatizada requiere de dos partes fundamentales: Parte operativa y Parte de mando.

2.5.2. Parte operativa

Está constituida por todos los elementos que actúan sobre el proceso y está comprendido por:

- Los diversos medios y útiles que se emplean en el proceso. Entre ellos: bombas, herramientas de corte, bandas transportadoras, entre otros.
- Los actuadores designados a mover algún proceso automático. Por ejemplo, el actuador neumático para mover un cabezal de alguna máquina, el motor de una bomba, etc. [7].

2.5.3. Parte de mando

Es la encargada de emitir órdenes a la parte operativa, coordinando sus acciones mediante la retroalimentación de señales. Es cada vez más común que se implemente con tecnologías de tratamiento programable y que se usen con computadoras [7].

3. CAPÍTULO III – MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

En el presente trabajo de grado, se empleó la investigación aplicada, ya que esta metodología está centrada en la resolución de problemas, optimización, mejoramiento o perfeccionamiento de los procesos productivos o de otras tecnologías presentes en la sociedad [11]. En este caso en concreto, se buscó optimizar el proceso de afilado de brocas helicoidales mediante el desarrollo del sistema mecánico de una máquina de tipo CNC, reduciendo así la intervención humana en este proceso y con ello también los errores producto de dicha interacción.

La investigación es documental debido a que se realizó una recopilación de datos relacionados con el tema de estudio de diversas fuentes como lo son: libros, artículos científicos, sistemas de información computarizada, catálogos, entre otros[12]. Del mismo modo, la investigación desarrollada es descriptiva puesto que, fue necesario detallar las características que posee el sistema mecánico desarrollado, así como explicar su funcionamiento [13].

Finalmente se trata de una investigación de campo, ya que se aplicaron una serie de pruebas al sistema mecánico, para evaluar su funcionamiento, recogiendo de forma ordenadas los datos relevantes al tema de estudio y llevando un registro de ellos, siendo la observación y la interrogación las técnicas principales que se emplearon [12].

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. *Fase 1: Definición de parámetros con respecto a las brocas helicoidales, su afilado y el sistema mecánico de la máquina.*

En esta fase se revisa la información necesaria acerca de investigaciones relacionadas con las brocas helicoidales y su afilado, destacando aquellos datos relevantes que permitan el desarrollo del sistema mecánico a desarrollar.

Actividad 1: “Revisión bibliográfica”; en esta actividad se pretende buscar información relevante relacionados con trabajos sobre el taladrado, brocas helicoidales, proceso de afilado de este tipo de herramientas y máquinas CNC.

Actividad 2: “Definición de parámetros de la broca helicoidal”; se detalla las características relevantes de las brocas helicoidales como lo son: sus geometrías, materiales, desgaste, presentaciones, etc. Con la finalidad de tomarlas en cuenta al momento de desarrollar el diseño del sistema mecánico.

Actividad 3: “Definición del proceso de afilado de la broca helicoidal”; se enlistan las diferentes maneras de afilado de estas herramientas de corte, denotando veneficios y desventajas de cada método.

Actividad 4: “Definición de máquinas y mecanismos CNC”; se establecen características y componentes principales que deben poseer las máquinas de tipo CNC, así como su funcionamiento.

3.2.2. Fase 2: Diseño del sistema mecánico de la máquina.

En esta fase, se diseña el sistema mecánico de la máquina afiladora de brocas helicoidales aplicando la metodología del diseño mecánico, la cual debe satisfacer los requerimientos impuestos por los usuarios.

Actividad 1: “Aplicación de encuestas”; en esta actividad se realiza una serie de encuesta a diferentes empresas metalmecánicas con el objetivo de determinar los requerimientos del usuario, los mismos que debe poseer la máquina afiladora de brocas.

Actividad 2: “Realización de la matriz QFD”; se determinan los requerimientos técnicos a partir de los requerimientos del usuario obtenidos mediante las encuestas, por medio de la casa de la calidad, con los cuales, se seleccionan aquellos con mayor relevancia a considerar a la hora de diseñar el sistema mecánico de la máquina.

Actividad 3: “Establecimiento de mecanismos a usar”; en base a los dispositivos de afilado existentes, se presentan los posibles componentes y mecanismos que formarán parte del sistema mecánico a desarrollar. Para lograrlo se divide el sistema en módulos en base a las diferentes funciones que debe cumplir y se plantean una serie de alternativas que satisfagan dicha función.

Actividad 4: “Selección de componentes”; mediante la técnica de criterios ponderados, se selecciona la alternativa más adecuada para cada función de los módulos planteados.

Actividad 5: “Realización del modelo CAD”; en base a las alternativas seleccionadas para cada módulo, se realiza el diseño con ayuda del software SolidWorks para cada una de las piezas.

Actividad 6: “Realización de planos mecánicos”; con ayuda del el software SolidWorks se realizan los planos de conjunto para todo el sistema mecánico diseñado así como los planos de detalla para cada una de las piezas que lo componen.

3.2.3. Fase 3.- Construir el sistema mecánico de la máquina mediante los parámetros establecidos en el diseño.

En esta fase se procede a la elaboración de cada uno de los componentes establecidos en el diseño, así como su ensamblaje.

Actividad 1: “Adquisición de piezas existentes”; se seleccionan de catálogos comerciales aquellos componentes estandarizados que se pueden adquirir en el mercado local.

Actividad 2: “Construcción piezas mecánicas”; aquellas piezas que no se encuentran estandarizadas, se las construye en base a las especificaciones de los planos.

Actividad 3: “Ensamble de la estructura mecánica”; se ensamblan cada uno de los módulos del sistema mecánico según se indique en los planos.

3.2.4. Fase 4.- Validar el funcionamiento de la máquina.

En esta fase se ejecutan pruebas de funcionamiento para todos los módulos del sistema mecánico para garantizar que cumplan su cometido.

Actividad 1: “Pruebas de funcionamiento de la máquina”; se realizan pruebas de movimiento para cada uno de los módulos del sistema mecánico para garantizar que se cumplan todas las funciones especificadas anteriormente. Se realizan afilados de brocas helicoidales a distintos diámetros y con diferentes ángulos de punta y destalonado.

Actividad 2: “Pruebas de taladrado”; se realizan pruebas de taladrado con las diferentes brocas afiladas en las pruebas anteriores para garantizar que el proceso de afilado sea el adecuado.

4. CAPÍTULO IV – RESULTADOS

En cuanto al diseño de la máquina se emplea del diseño para la manufactura y ensamble junto con la Ingeniería concurrente que es la una forma de concebir el diseño y desarrollo de productos.

4.1. Casa de la calidad matriz QFD

Para establecer las especificaciones técnicas necesarias para la máquina, es esencial utilizar la herramienta QFD (despliegue de la función de calidad), conocida como la casa de la calidad. Su propósito principal es transformar los deseos y necesidades del cliente en requisitos técnicos, que luego serán evaluados para identificar cuáles son los más importantes. [8]

4.1.1. *Voz del cliente*

Para determinar los requerimientos del cliente se realizó una encuesta (anexo 1) a diferentes empresas metalmecánicas de la ciudad Ibarra en donde se obtuvieron los siguientes requerimientos:

- Automática
- Económico
- Portable
- Fácil manejo
- Afilado para diferentes tamaños
- Afilado para diferentes operaciones
- Fácil mantenimiento
- Bajo consumo energético
- Calidad del afilado
- Segura

4.1.2. *Voz del ingeniero*

Examina los deseos y requerimientos del cliente y los convierte en especificaciones técnicas:

- Costo
- Peso
- Energía eléctrica
- Ángulos variables
- Dímetros variables
- Elementos de seguridad
- Consumo eléctrico
- Tiempo de proceso de afilado
- Exactitud del afilado
- Dimensiones

4.1.3. Conclusiones de la casa de la calidad

Los resultados obtenidos de la matriz QFD indican la importancia de los requerimientos técnicos y se encuentran plasmados en la tabla 1.

Tabla 1. Conclusiones de la matriz QFD

PARÁMETROS TÉCNICOS	VALOR %
COSTO	22,71%
PESO	10,87%
EXACTITUD DEL AFILADO	9,78%
ÁNGULOS VARIABLES	9,44%
ELEMENTOS DE SEGURIDAD	9,15%
ENERGÍA ELÉCTRICA	8,88%
DIÁMETROS VARIABLES	8,68%
ENERGÍA ELÉCTRICA	8,00%
DIMENSIONES	7,84%
TIEMPO DE PROCESO DE AFILADO	4,65%

4.2. Diseño conceptual

En base a los requisitos técnicos, se generan varias alternativas de solución que posteriormente son evaluadas para seleccionar la más apropiada [8].

4.2.1. Análisis funcional

La estructura funcional es una herramienta crucial para definir la estructura en módulos de un sistema o producto. La representación de las distintas funciones interconectadas por diferentes flujos crea un marco de referencia el cual debe ser cumplido por las solución contempladas en la estructura modular [8].

La figura 7 muestra la estructura funcional de nivel 0, que cuenta con una función principal que es “rectificado de broca”, donde ingresa la herramienta desafilada, energía eléctrica y manual junto con un control del operador. Para obtener a la salida viruta junto con la broca afilada.

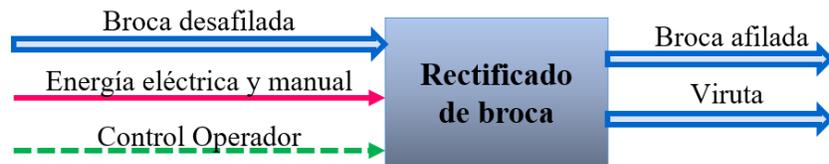


Figura 7. Nivel 0 de la estructura funcional

En la figura 8 se encuentra plasmado el nivel 1 de la estructura funcional, donde se logra observar las cuatro funciones principales que debe cumplir la máquina, estas son: colocación de la broca, calibración y parametrización, ejecución del afilado y finalmente extracción de la broca.

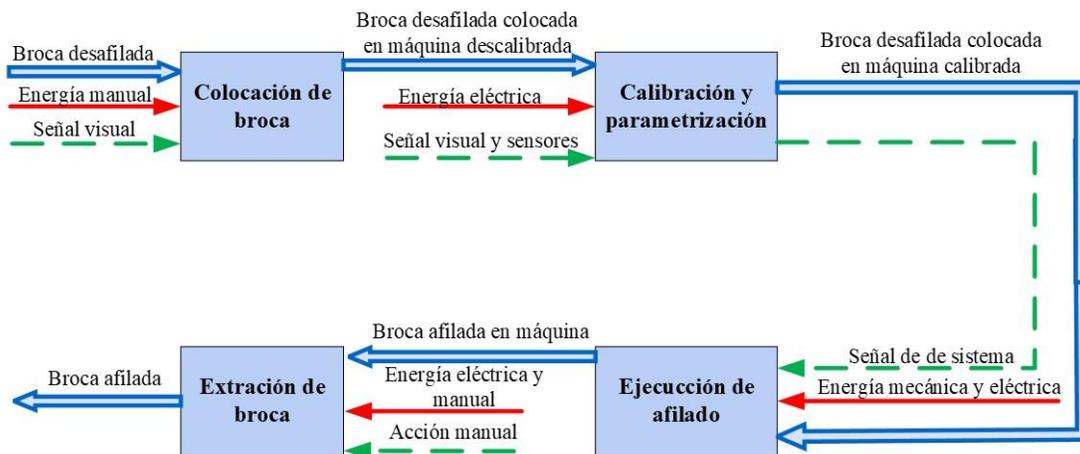


Figura 8. Nivel 1 de la estructura funcional de la máquina.

La figura 9 representa de forma detallada todas las subfunciones en las que se dividen las cuatro principales del nivel 1, dejando en claro toda la secuencia que debe cumplir el sistema mecánico además de dividir las en módulos mediante cuadros de colores, esto para facilitar su análisis.

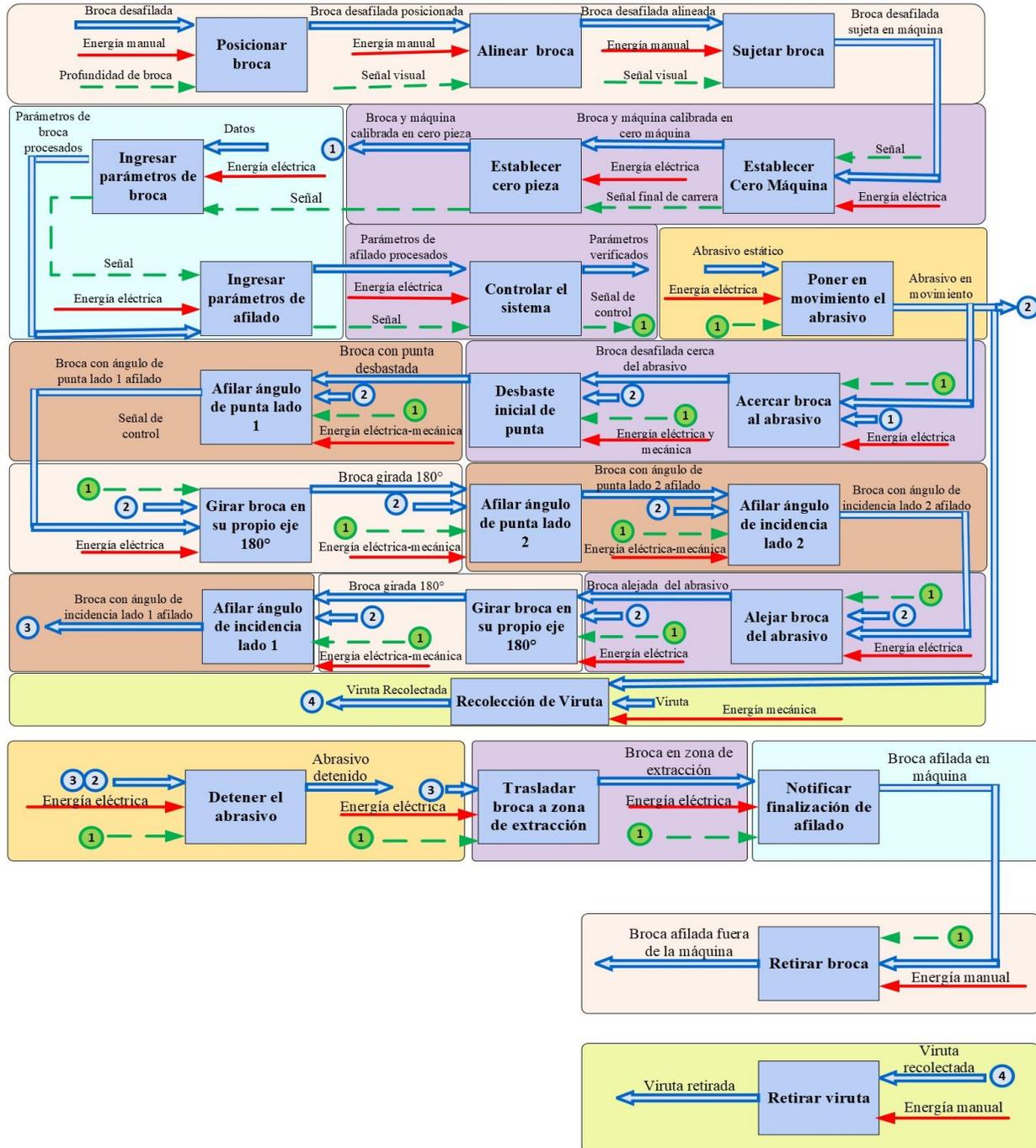
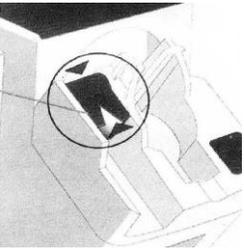


Figura 9. Nivel 2 de la estructura funcional de la máquina

4.2.1. Análisis modular

Tabla 2. Alternativas de solución del módulo 1. Manipulación y giro de broca en su eje axial

N°	FUNCIONES	SOLUCIONES	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Posicionar broca	Manualmente 	Mediante el uso de un instrumento de medida, colocar la broca con la punta sobresaliendo una cantidad tal que no interfiera con el afilado y al mismo tiempo no trabaje en voladizo.	No requiere de modificaciones extra. Fácil y sencillo. No representa costos extra.	Requiere de un instrumento de medida ajeno a la máquina.
		Tope físico o galga 	Permite colocar la broca a la profundidad adecuada al comparar su punta con un tope físico ubicado en el portaherramientas.	De operación fácil y sencilla. No requiere de instrumentos ajenos a la máquina	Representa un costo adicional. Puede ocasionar interferencias a la hora del afilado.
2	Alinear broca	Soporte guía 	Mediante un canal en un soporte alinea la broca de forma correcta para el afilado.	Buena precisión. Rápido uso. Fácil de manejar.	Requiere que el portabrocas o el soporte sea extraíble. Incrementa los costos.

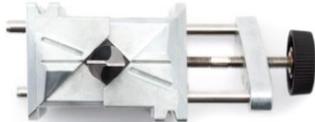
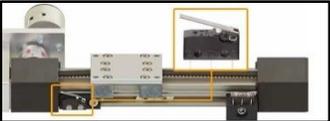
		<p>Marca visual</p> 	<p>Permite alinear las aristas de corte de la broca al compararlas con una marca visual con la que debe ser colineal.</p>	<p>Bajo costo.</p> <p>No requiere de implementos adicionales.</p> <p>Fácil de implementar.</p>	<p>Su precisión depende del operador.</p>
3	<p>Ajustar broca</p>	<p>Portabrocas tipo prensa</p> 	<p>Permite una buena sujeción de la broca al girar un tornillo que aprieta dos mordazas contrapuestas.</p>	<p>Fácil uso.</p> <p>Buen agarre.</p> <p>Bajo costo.</p>	<p>Mecanismo con complejidad moderada.</p>
4	<p>Girar broca en su propio eje 180°</p>	<p>Mecanismo con tornillo sin fin-corona y actuador</p> 	<p>Actuador con caja de engranajes de tornillo sin fin corona que permiten girar al portaherramientas en conjunto con la broca alrededor de su eje axial.</p>	<p>Ofrece autobloqueo.</p> <p>Alto par.</p> <p>Fácil de controlar.</p>	<p>Costo moderado.</p> <p>Velocidades moderadas.</p>
5	<p>Extraer broca</p>	<p>Manual</p> 	<p>La extracción de la broca se la realiza de forma manual por parte del usuario.</p>	<p>Bajo costo.</p> <p>Fácil de realizar.</p> <p>Reduce la complejidad de la máquina</p>	<p>Requiere de la intervención del operador.</p>

Tabla 3. Alternativas de solución del módulo 2. Movimiento lineal y calibración.

N°	FUNCIONES	SOLUCIONES	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Establecer cero máquinas	Final de carrera y actuador lineal 	Carro de desplazamiento lineal con actuador, que al activar el final de carrera ubicado al inicio o final del recorrido de la plataforma móvil establece el cero máquina.	Módulos comerciales. Control sencillo.	Costo moderado. Es necesario establecer el cero máquina al inicio de cada proceso de afilado.
2	Establecer cero piezas	Manualmente 	Se lo realiza mediante el desplazamiento manual del portabrocas a través de los diferentes ejes móviles hasta que la broca entre en contacto con la muela abrasiva	Costo cero. De fácil implementación.	Requiere de la intervención del operador. Puede ser tardado.
		Palpador 	El cero pieza de la broca lo realiza al entrar con un sensor palpador que determina las coordenadas de la herramienta.	Alta precisión. Tiempos de operación reducidos.	Elevado costo. Implementación de control complicada.

3	Movimiento lineal en plano paralelo a la base	<p>Actuador lineal y husillo</p> 	Realiza el movimiento lineal mediante la activación de un actuador que gira un tornillo de potencia con su respectivo usillo.	Alta robustez. Auto bloqueante. Fácil control.	Costo moderado a alto.
		<p>Actuador lineal y correa</p> 	Realiza el movimiento lineal mediante la activación de un actuador que mueve una banda conectada a la placa de desplazamiento.	Fácil control.	Costo moderado a alto. No es auto bloqueante Puede perder pasos
		<p>Actuador lineal y cremallera</p> 	Consigue el movimiento lineal de la placa base al activar un actuador con corona que le permite desplazarse a lo largo de una cremallera.	Fácil control.	Costo moderado a alto. No es auto bloqueante. Puede perder pasos

Tabla 4. Alternativas de solución del módulo 4. Movimiento del abrasivo.

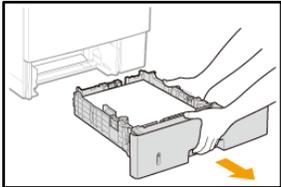
Nº	FUNCIONES	SOLUCIONES	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Movimiento del abrasivo	<p>Esmeril de banco</p> 	Se basa en un motor eléctrico acoplado a un eje en cuyos extremos se montan dos discos abrasivos	<p>Permite la realización de varios trabajos como afilado, pulido, acabados, etc.</p> <p>Permite el cambio de diferentes tipos de muelas abrasivas.</p> <p>Disponibles en diferentes tamaños.</p> <p>Robusta</p>	<p>Costo medio</p> <p>Rpm fijos.</p> <p>Peso considerable.</p> <p>Genera vibraciones.</p>

Tabla 5. Alternativas de solución del módulo 5. Afilado de ángulo de punta e incidencia.

Nº	FUNCIONES	SOLUCIONES	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Afilado de ángulo de punta (lado 1 y 2)	Plataforma inclinable vertical con actuador y tornillo sin fin	Plataforma inclinable con ángulo ajustable mediante un sistema de barras y un tornillo de potencia.	<p>Robusto.</p> <p>Ángulos ajustables.</p>	Costo de moderado a elevado.

				Auto bloqueante	
		<p>Mecanismo de giro horizontal con actuador y tornillo sin fin corona.</p> 	Actuador con caja de engranajes de tornillo sin fin corona que permiten girar realizar giros de 360°.	<p>Ofrece autobloqueo.</p> <p>Alto par.</p> <p>Fácil de controlar.</p>	<p>Costo moderado.</p> <p>Velocidades moderadas.</p>
2	Afilan ángulo de incidencia (lado 1 y 2)	<p>Mecanismo de giro vertical con actuador y tornillo sin fin corona.</p> 	Actuador con caja de engranajes de tornillo sin fin corona que permiten realizar giros verticales de 360°.	<p>Ofrece autobloqueo.</p> <p>Alto par.</p> <p>Fácil de controlar.</p>	<p>Costo moderado.</p> <p>Velocidades moderadas.</p>
		<p>Mecanismo de giro horizontal con actuador y tornillo sin fin corona.</p> 	Actuador con caja de engranajes de tornillo sin fin corona que permiten realizar giros horizontales de 360°.	<p>Ofrece autobloqueo.</p> <p>Alto par.</p> <p>Fácil de controlar.</p>	<p>Costo moderado.</p> <p>Velocidades moderadas.</p>

Tabla 6. Alternativas de solución del módulo 6. Recolección y eliminación de viruta.

Nº	FUNCIONES	SOLUCIONES	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1	Recolección de viruta	<p>Bandeja de recolección</p> 	Bandeja que permite la recolección de viruta proveniente del mecanizado.	Fácil de implementar. Bajo costo.	Requiere de la intervención del operario.
2	Retirar viruta	<p>Manualmente</p> 	La extracción de la bandeja de recolección se la realiza de forma manual.	No tiene costo. Fácil de realizar.	Requiere de la intervención del operario.

4.2.2. Matriz morfológica

En las tablas 7, 8, 9, 10 y 11 que se muestran a continuación se presentan las combinaciones de las alternativas de solución para cada una de las funciones de los diferentes módulos establecidos anteriormente.

Tabla 7. Generación de alternativas de solución del módulo 1: Manipulación y giro de broca en su eje axial

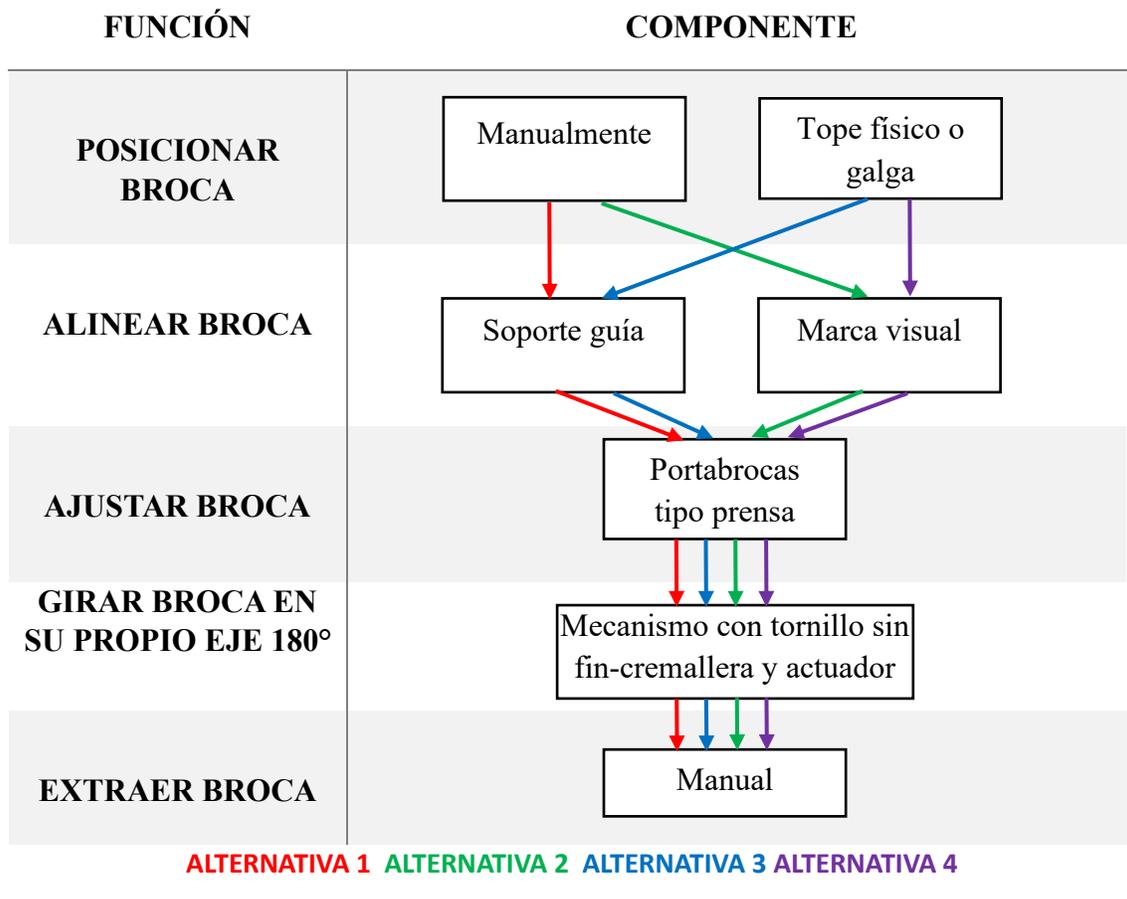


Tabla 8. Generación de alternativas de solución del módulo 2. Movimiento lineal y calibración

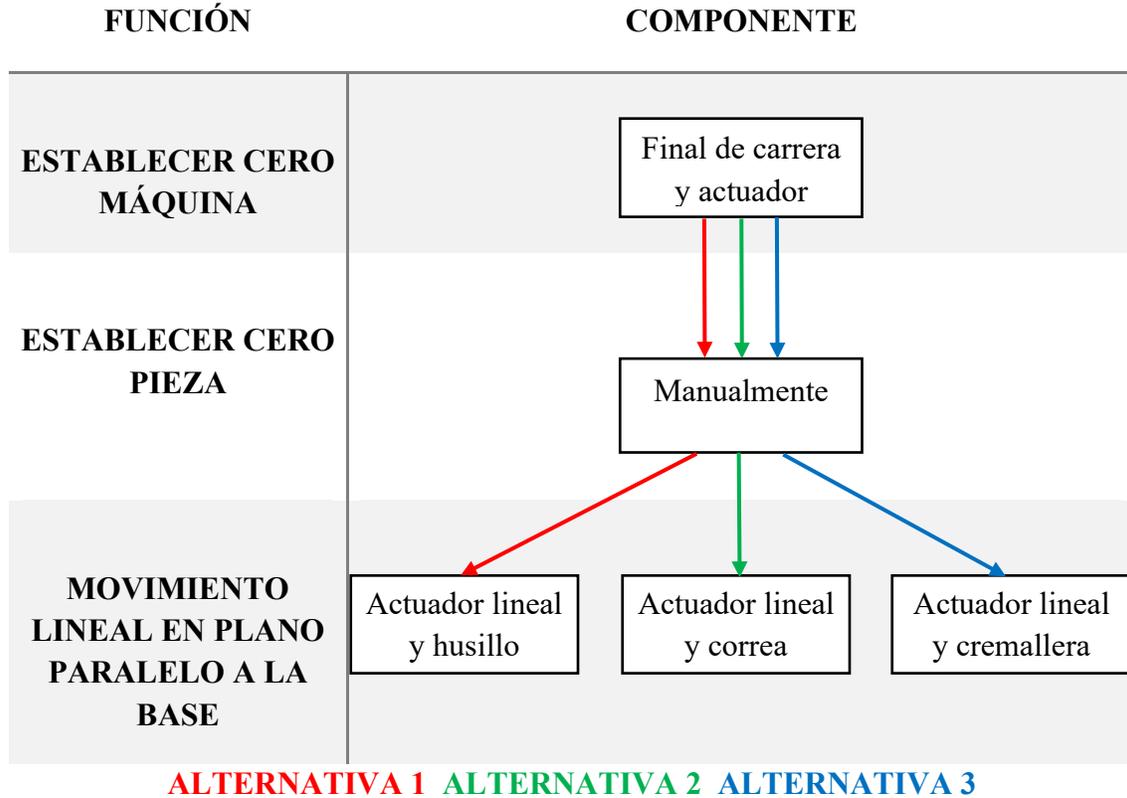


Tabla 9. Generación de alternativas de solución del módulo 4. Movimiento del abrasivo

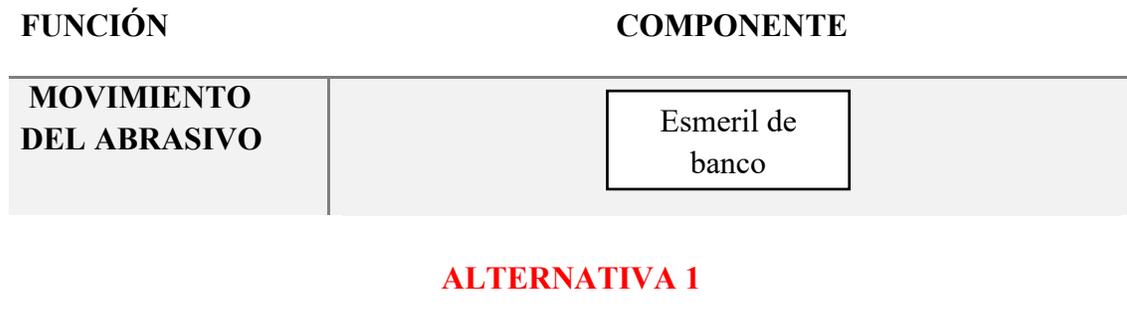


Tabla 10. Generación de alternativas de solución del módulo 5. Afilado de ángulo de punta e incidencia

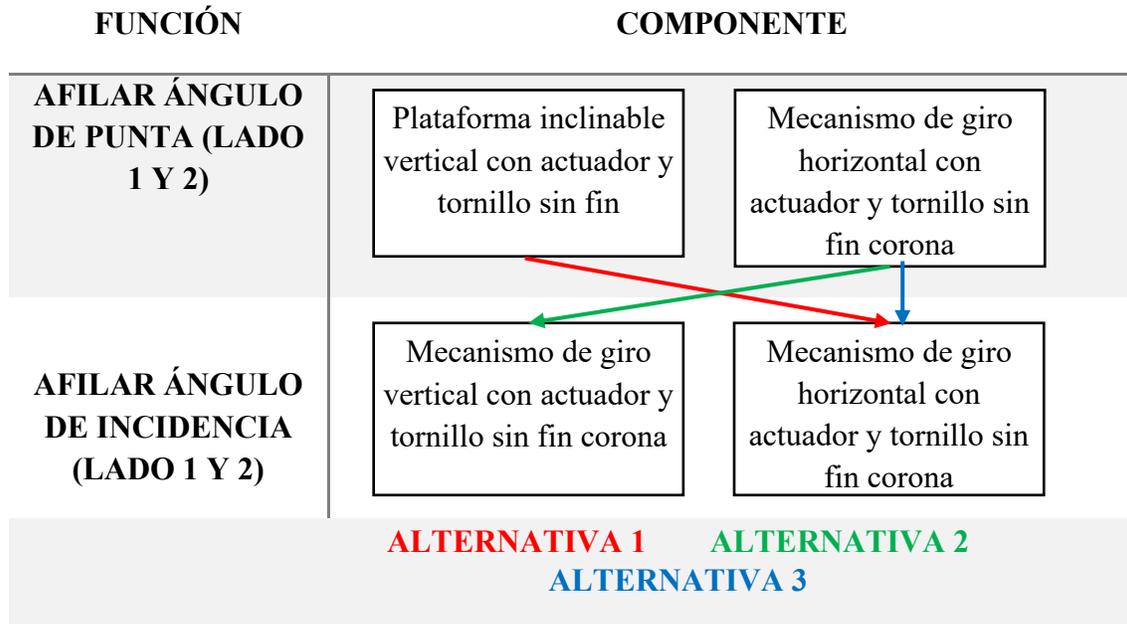
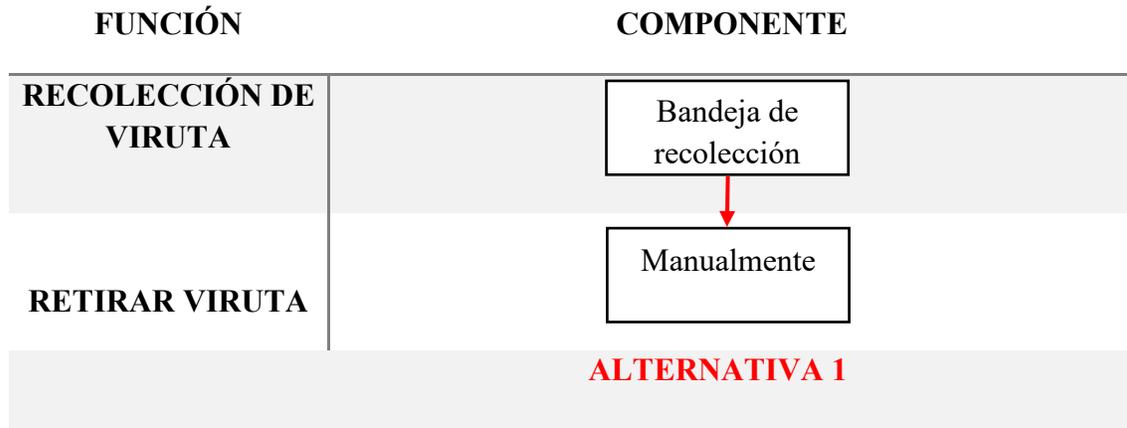


Tabla 11. Generación de alternativas de solución del módulo 6. Recolección y eliminación de viruta



4.3. Selección de alternativas

Se utiliza el método de criterios ponderados para seleccionar entre las alternativas. el cual utiliza tablas para evaluar de manera global la importancia de diferentes criterios y soluciones para decidir

la alternativa más adecuada. Confronta cada criterio con los restantes y posteriormente las soluciones con cada uno de los criterios de la fila evaluada asignando un 1 si es mejor que el de la columna, si son de igual relevancia se le otorga un valor de 0,5 y 0 si es inferior. Luego, se suman los valores obtenidos por fila y se le añade una unidad para evitar que el criterio o solución más desfavorable valga cero, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio 6y solución [8].

Para la evaluación total de cada solución se suma los productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio [8].

Los criterios para trabajar en esta situación son los 4 requerimientos técnicos más importantes obtenidos de la matriz QFD: costo, peso, exactitud del afilado y ángulos variables. La tabla 4 muestra la aplicación de este método para los requerimientos antes mencionados [8].

Tabla 12. *Criterios ponderados de requerimientos principales*

ORDEN IMPORTANCIA	CRITERIOS MATRIZ QFD
1	Costo
2	Peso
3	Exactitud del afilado
4	Ángulos variables

4.3.1. Evaluación de criterios ponderados módulo 1

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIOS	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Costo		1	1	1	4	0,40
Peso	0		1	1	3	0,30
Exactitud del afilado	0	0		1	2	0,20
Ángulos variables	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1

2. Evaluación del peso específico del criterio

Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0	1	0,5	2,5	0,25
Alternativa 2	1		1	1	4	0,40
Alternativa 3	0	0		0	1	0,10
Alternativa 4	0,5	0	1		2,5	0,25
				SUMA	10	1,00

3. Evaluación del peso específico del criterio

Peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0	1	0,5	2,5	0,250
Alternativa 2	1		1	1	4	0,400
Alternativa 3	0	0		0	1	0,100
Alternativa 4	0,5	0	1		2,5	0,250
				SUMA	10	1

4. Evaluación del peso específico del criterio

Exactitud del
afilado

Exactitud del afilado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	0	0	2	0,200
Alternativa 2	0		0	0	1	0,100
Alternativa 3	1	1		1	4	0,400
Alternativa 4	1	1	0		3	0,300
SUMA					10	1

5. Evaluación del peso específico del criterio

Ángulos variables

Ángulos variables	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Alternativa 3	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Alternativa 4	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
SUMA					10	1

6. Tabla de conclusiones

Conclusión	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	Σ	PRIORIDAD
Alternativa 1	0,10	0,08	0,04	0,03	0,24	3
Alternativa 2	0,16	0,12	0,02	0,03	0,33	1
Alternativa 3	0,04	0,03	0,08	0,03	0,18	4
Alternativa 4	0,10	0,08	0,06	0,03	0,26	2

4.3.2. Evaluación de criterios ponderados módulo 2

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIOS	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Costo		1	1	1	4	0,40
Peso	0		1	1	3	0,30
Exactitud del afilado	0	0		1	2	0,20
Ángulos variables	0	0	0		1	0,10
SUMA					10	1

2. Evaluación del peso específico del criterio

Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
SUMA				6	1

3. Evaluación del peso específico del criterio

Peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0	1	2	0,333
Alternativa 2	1		1	3	0,500
Alternativa 3	0	0		1	0,167
SUMA				6	1

4. Evaluación del peso específico del criterio

Exactitud del afilado

Exactitud del afilado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		0	1	0,167
Alternativa 3	0	1		2	0,333
SUMA				6	1

5. Evaluación del peso específico del criterio

Ángulos variables

Ángulos variables	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,33
SUMA				6	1

6. Tabla de conclusiones

Conclusión	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	Σ	PRIORIDAD
Alternativa 1	0,20	0,10	0,10	0,03	0,43	1
Alternativa 2	0,13	0,15	0,03	0,03	0,35	2
Alternativa 3	0,07	0,05	0,07	0,03	0,22	3

4.3.3. Evaluación de criterios ponderados módulo 5

1. Evaluación del peso específico de cada criterio

CRITERIOS	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Costo		1	1	1	4	0,40
Peso	0		1	1	3	0,30
Exactitud del afilado	0	0		1	2	0,20
Ángulos variables	0	0	0		1	0,10
SUMA					10	1

2. Evaluación del peso específico del criterio

Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
SUMA				6	1

3. Evaluación del peso específico del criterio

Peso

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		1	1	3	0,500
Alternativa 2	0		1	2	0,333
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			SUMA	6	1

4. Evaluación del peso específico del criterio

Exactitud del afilado

Exactitud del afilado	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,417
Alternativa 3	0	0		1	0,167
			SUMA	6	1

5. Evaluación del peso específico del criterio

Ángulos variables

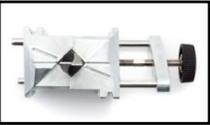
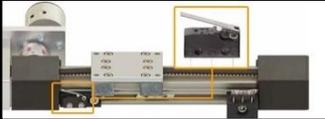
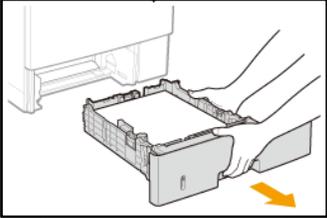
Ángulos variables	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	PONDERACIÓN
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,33
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,33
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,33
			SUMA	6	1

6. Tabla de conclusiones

Conclusión	Costo	Peso	Exactitud del afilado	Ángulos variables	Σ	PRIORIDAD
Alternativa 1	0,20	0,15	0,08	0,03	0,47	1
Alternativa 2	0,13	0,10	0,08	0,03	0,35	2
Alternativa 3	0,07	0,05	0,03	0,03	0,18	3

Solución final para cada módulo

4.3.4. Soluciones finales para cada módulo.

MÓDULO 1	MÓDULO 2	MÓDULO 4	MÓDULO 5	MÓDULO 6
 <p>Manualmente</p>  <p>Marca visual</p>  <p>Portabrocas tipo prensa</p>  <p>Mecanismo con tornillo sin fin-cremallera y actuador</p>  <p>Manualmente</p>	 <p>Final de carrera y actuador</p>  <p>Manualmente</p>  <p>Actuador lineal y husillo</p>	 <p>Esmeril de banco</p>	 <p>Mecanismo de giro vertical con actuador y tornillo sin fin corona</p>  <p>Mecanismo de giro horizontal con actuador y tornillo sin fin corona</p>	 <p>Bandeja de recolección</p>  <p>Manualmente</p>

4.4.ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA A DISEÑAR:

4.4.1. Modelo CAD de la solución.

En la figura 10 se muestra el modelo CAD de la solución obtenida de los criterios ponderados, resaltando los módulos que lo componen.

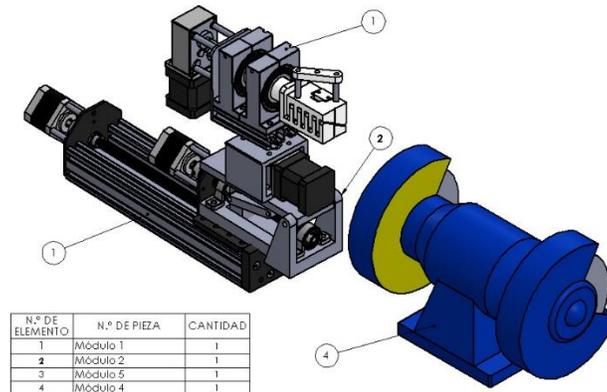


Figura 10. Modelo CAD de la solución.

El módulo 1. Manipulación y giro de broca en su eje axial

El cual cuenta con un sistema de prensa con mordazas (4) y (5) que le permiten posicionar, alinear y sujetar la broca.

La mordaza inferior (5) cuenta con un eje que se acopla a un par de rodamientos (3) en conjunto con sus soportes que le permiten girar en su eje axial. El giro se produce mediante un actuador con una caja reductora de tornillo sin fin corona (10) que sirve además como sistema de autobloqueo.

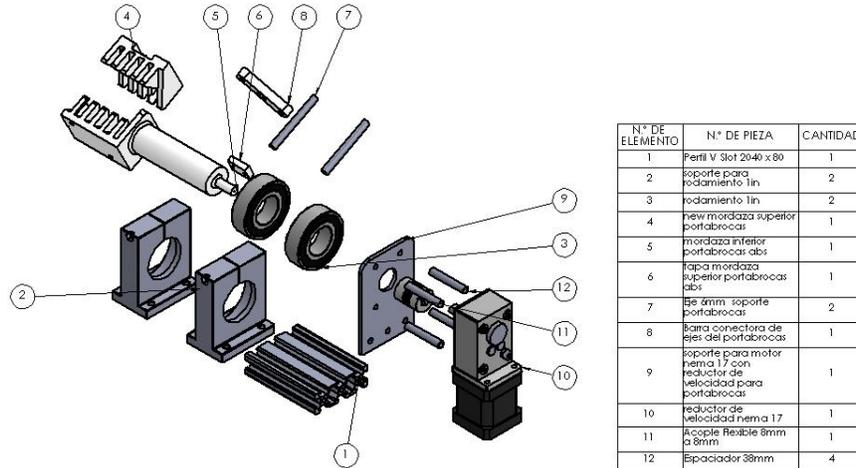


Figura 11. Dibujo en explosión de la solución módulo 1.

Módulo 2. Movimiento lineal y calibración

La figura 12 muestra la solución del módulo 2, el cual permite a la broca acercarse y alejarse del abrasivo con movimientos lineales, para ello cuenta con una base (12) que es un perfil de aluminio adecuado para montar un sistema de movimiento lineal donde se ubica un tornillo de potencia (15) que al girar mueve un bloque de tuerca (9) acoplado a una placa (1) que es la que realiza el movimiento deseado en conjunto con los demás componentes que habilitan su deslizamiento y sujeción. Un actuador (16) es el encargado de transmitir el movimiento al tornillo de potencia.

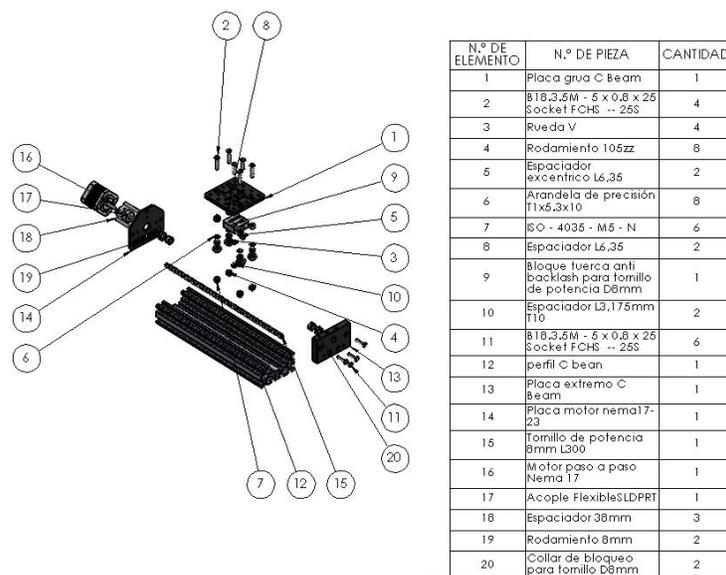
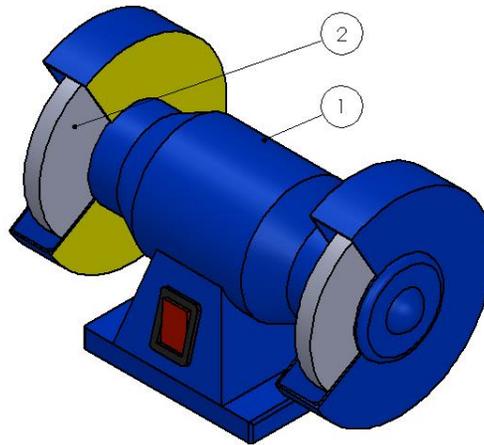


Figura 12. Dibujo en explosión de la solución módulo 2

Módulo 4. Movimiento del abrasivo

En la figura 13 se evidencia la solución del módulo 4, el mismo que emplea un esmeril de banco (1) para el desbaste del material al hace girar una muela abrasiva (2) la cual entra en contacto con la broca para realiza el mecanizado, en este caso, el esmeril se lo ubica de tal manera que permita realizar un rectificado frontal.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Esmeril de banco 0.25HP	1
2	Muela abrasiva	2

Figura 13. Dibujo en explosión de la solución módulo 4.

Módulo 5. Afilado de ángulo de punta e incidencia

Para ejecutar el afilado del ángulo de punta de la broca se emplea una plataforma inclinable, la cual cuenta con una base (1), que permite el acople de otra superior (10), mediante un par de pasadores, dicha base superior es la encargada de inclinarse para posicionar a la broca en el ángulo adecuado, esto lo logra al ser empujada por dos barras de unión (11) sujetas a un soporte con tuerca (5), este último realiza movimientos lineales a través de un canal en la base (1), que es accionado por un tornillo de potencia 3 acoplado a un actuador 8.

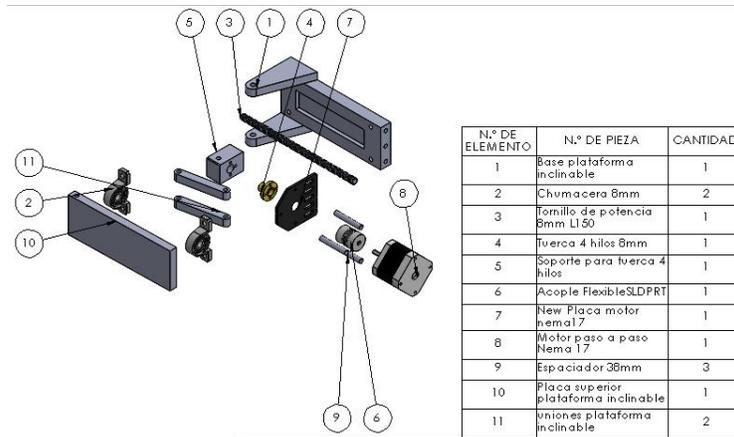


Figura 14. Dibujo en explosión de la solución módulo 5, ajuste del ángulo de punta.

Para realizar el afilado del ángulo de destalonado de la broca, este módulo emplea un actuador con caja de engranajes tornillo sin fin corona 1 que permite realizar el giro según se requiera el ángulo además de proporcionar un autobloqueo evitando así movimientos indeseados. Para acoplarse a la base inclinable emplea un soporte 2 y cuenta con una brida de sujeción 3 para hacer lo propio con el módulo portabrocas.

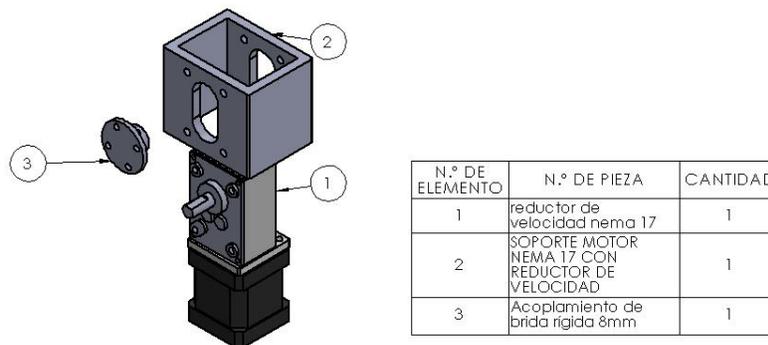


Figura 15. Dibujo en explosión de la solución módulo 5, ajuste del ángulo de destalonado.

4.5.DISEÑO MECÁNICO DEL ELEMENTO PRINCIPAL:

Del dibujo en explosión mostrado en la figura 11, se puede observar que el elemento 5 (mordaza inferior portabrocas) corresponde a la pieza crítica, debido a las elevadas cargas presentes ya que es quien soporta a la broca, así como la complejidad de su geometría. De igual manera, por la

longitud presente desde el punto de apoyo hasta el extremo de la broca, se puede apreciar que tiene un comportamiento de una viga en voladizo. Por lo tanto, se recomienda realizar un análisis numérico basado en el método de los elementos finitos. Para ello se usa el programa computacional SolidWorks.

4.5.1. Condiciones de contorno para la mordaza inferior portabrocas

Se procede a colocar el apoyo tipo bisagra en el lugar donde están los rodamientos de la pieza.

Asimismo, se colocan las cargas de corte presentes en el extremo de la broca, las cuales consisten en 4,5N con dirección “z” correspondiente al corte existente entre la muela abrasiva y la pieza a pulir y 5N con dirección “x” referente a la fuerza de empuje hacia el esmeril.

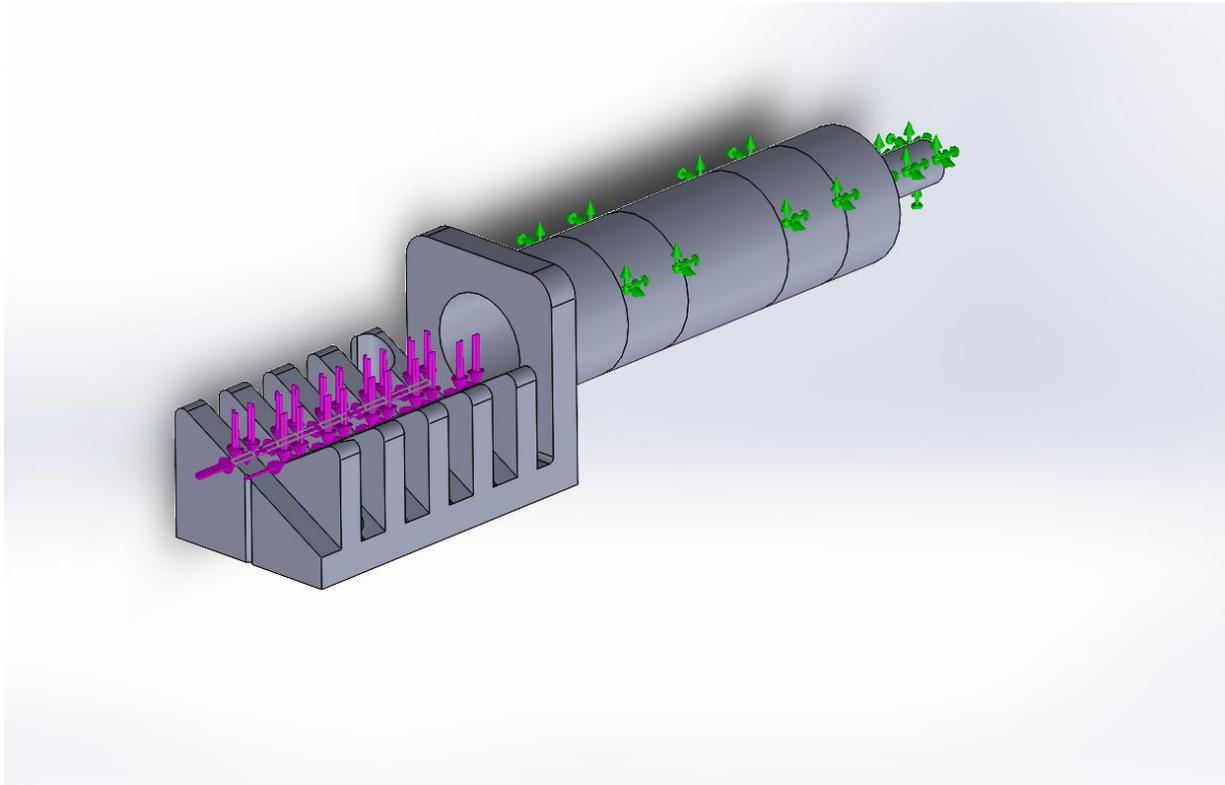


Figura 16. Condiciones de contorno en la pieza crítica

La figura 17 muestra los resultados del análisis estático de las tensiones de von Mises, donde se evidencia que el mayor esfuerzo presente en la pieza es de 1,55MPa.

Nombre del modelo: mordaza inferior portabrocas abs
 Nombre de estudio: Análisis estático portabrocas mordaza inferior(-mordaza inferior analisis estático-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 56993

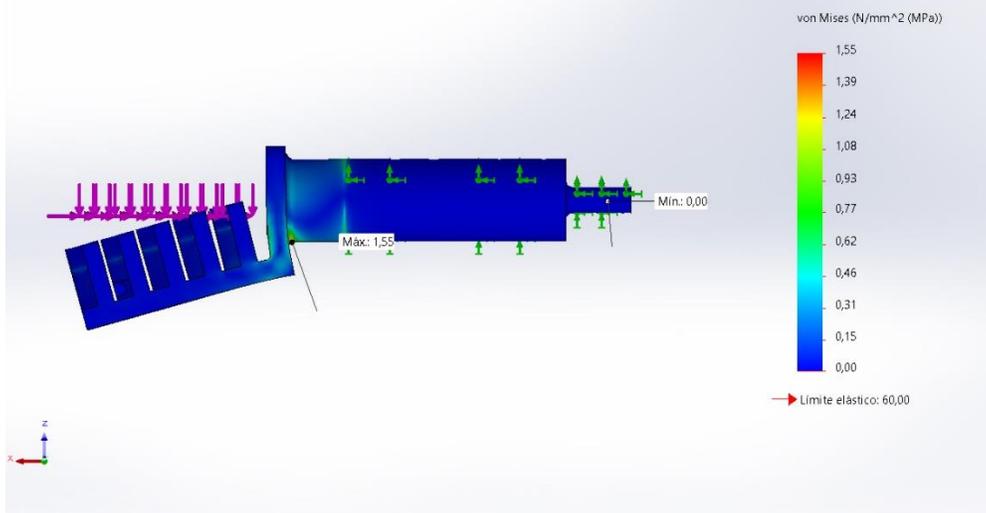


Figura 17. Análisis estático tensiones de von Mises

Para validar los resultados obtenidos en el análisis estático de tensiones de von Mises se realiza un gráfico de convergencia con 5 iteraciones de diferentes mallados. Cuyos resultados se evidencia en la figura 18 , y puesto que los resultados de desplazamientos y de tensiones se estabilizan en las últimas iteraciones el valor obtenido de 1,55MPa se considera fiable.

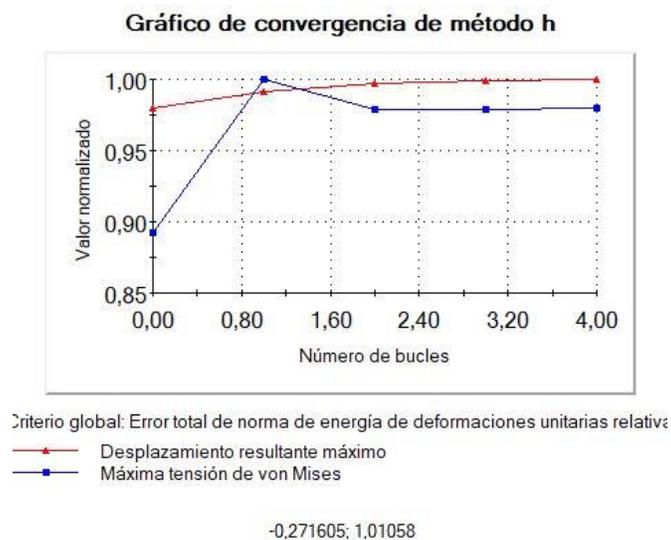


Figura 18. Gráfico de convergencia.

5. CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La investigación acerca de las brocas helicoidales, su geometría, materiales, usos y operaciones que se realizan con ellas, permiten determinar los rangos de los ángulos de afilado de las brocas que debe manejar el sistema mecánico de la máquina rectificadora, donde los valores del ángulo de punta están comprendidos entre los 60° y los 150°, mientras que los del ángulo de destalonado pueden variar entre los 7° y 20°.
- El empleo del diseño para la calidad y la matriz QFD resulta crucial al momento de diseñar el sistema mecánico, debido a que permite tomar los requerimientos del usuario y transformarlos en requerimientos técnicos, a su vez, les asigna una valoración de acuerdo a su importancia, esto permite centrarse en aquellas características con mayor relevancia para el usuario y descartar aquellas que no tienen mayor impacto en la calidad del producto, consiguiendo así un diseño más simplificado y con menor uso de recursos.
- Haciendo empleo de simulaciones y cálculos analíticos de esfuerzos máximos y el factor de seguridad se logran validar los diferentes componentes mecánicos del sistema con un error del -.
- Se seleccionan materiales del mercado local para el diseño del sistema mecánico con el objetivo de facilitar su fabricación y futuros procesos de mantenimiento, esto influye positivamente en el precio total que ronda los 1000 dólares, representando una enorme ventaja frente a los 40000 que puede costar una máquina profesional de este tipo.

5.2. Recomendaciones

- Es importante identificar adecuadamente aquellos requerimientos del usuario que son necesarios de aquellos que son simples deseos puesto que de esto depende la complejidad y el precio del producto a desarrollar.
- Como continuación de esta investigación se puede realizar una ampliación en el rango admisible de los diámetros de las brocas helicoidales, hasta los 25mm que es un valor que sigue siendo muy empleado en las empresas metalmecánicas.
- Debido a que se trata de una máquina CNC puede aprovecharse aun más su potencial expandiendo las herramientas a afilar a otras comunes en un taller metalmecánico que se rectifican por medios similares.

Referencias

- [1] W. D. Quezada Torres, G. Hernández Pérez, y W. F. Quezada Moreno, "REALIDAD DE LA INDUSTRIA METALMECÁNICA ECUATORIANA: CUESTIÓN DE GESTIÓN, NORMAS O INFORMALIDAD", Bucaramanga, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/309837557>
- [2] W. D. Quezada Torres, G. Hernández Pérez, y W. F. Quezada Moreno, "Modelo de gestión tecnológica para la intensificación de la industria metalmecánica en el Ecuador: una solución conceptual.", Bucaramanga, 2015.
- [3] D. Krahmer, D. Russo, D. Egidi, M. Traverso, P. Corengia, y A. Cabo, "Rendimiento de brocas helicoidales de acero AISI M2 nitruradas por plasma DC-pulsado", 2003, [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237470913>
- [4] M. González Pardo, "ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE BROCAS HELICOIDALES POR MEDIO DE TÉCNICAS ADIMENSIONALES", Universidad de los Andes, Bogotá, 2006.
- [5] C. Rodríguez y G. de Souza, "Análisis de confiabilidad para herramientas de corte aplicado al proceso de taladrado", *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 2006.
- [6] L. Castro, "Utilice correctamente las brocas helicoidales", *Metal Actual*, 2009.
- [7] M. Bin, "THE DRILL BIT SHARPENING DEVICE", *Journal of Mechanical Manufacturing*, 2014.
- [8] "Automatización e implementación de un sistema CNC de una fresadora vertical tipo torreta", Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, 2015.

- [9] A. Morera, C. Badilla, M. Mata, y I. Hasbum, “Diseño y construcción de un torno de control numérico”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2008.
- [10] Á. López y P. Parra, “Diseño de una Fresadora Router CNC”, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL, GUAYAQUIL.
- [11] E. Nicomedes, “Tipos de Investigación”, 2018.
- [12] G. Baena, *Metodología de la investigación*, 3ª ed. México, 2017.
- [13] M. Namakforoosh, “Metodología de la investigación”, en *Metodología de la investigación*, 2ª ed., México: Limusa, 2005.