



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERIA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO
MORTAJADOR CON CONTROL NUMÉRICO, ADAPTADO A UNA
MÁQUINA SIERRA LIMADORA DEL LABORATORIO DE PROCESOS
DE MANUFACTURA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS - ESPE**

AUTOR: DUQUE MARTÍNEZ, CARLOS EDUARDO

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNÁN MSc.

SANGOLQUÍ 2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN.

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO MORTAJADOR CON CONTROL NUMÉRICO A PARTIR DE UNA MÁQUINA SIERRA LIMADORA DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE.”* realizado por el señor **DUQUE MARTÍNEZ, CARLOS EDUARDO**, ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 15 de marzo del 2018

MSc. BYRON HERNAN CORTEZ PAZMIÑO

CC: 1714471081



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **DUQUE MARTÍNEZ, CARLOS EDUARDO**, con cédula de identidad N° 172176375-1 y, declaro que éste trabajo de titulación *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO MORTAJADOR CON CONTROL NUMÉRICO A PARTIR DE UNA MÁQUINA SIERRA LIMADORA DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.”* Es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciado las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 15 de marzo de 2018



CARLOS EDUARDO DUQUE MARTÍNEZ

C.C.: 172176375-1



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **DUQUE MARTÍNEZ, CARLOS EDUARDO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MECANISMO MORTAJADOR CON CONTROL NUMÉRICO A PARTIR DE UNA MÁQUINA SIERRA LIMADORA DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE.”* En el Repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 15 marzo de 2018



CARLOS EDUARDO DUQUE MARTÍNEZ
C.C.: 172176375-1

DEDICATORIA

Si en algo puedo honrarte, será siempre en dedicar lo mejor que hago, que he hecho, y que haré...

Para ti, Mi Señor, Mi Dios

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá Isabel Martínez por el apoyo, esfuerzo, no encontraría palabras para agradecerle por tanto y mucho que me ha dado, a mis hermanos Raúl, Verónica, Lorena junto a Dios y a ustedes la vida ha sabido mejor. A toda mi familia en general gracias por los todos los ánimos dados. A mis profesores y mentores que han sumado a mi vida conocimiento y experiencia.

Especialmente para ti mi Dios, por todo lo que has permitido en mi vida y por todo lo que me has dado, y por todo lo que me darás. Gracias

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
GENERALIDADES	1
ANTECEDENTES.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
ALCANCE	5
OBJETIVOS.....	7
1.5.1. General.....	7
1.5.2. Específicos	7
MARCO TEÓRICO	1
2.1. ESTUDIO DEL PROCESO POR ARRANQUE DE VIRUTA.....	1
2.1.1. Herramientas de corte	3
2.2. INTERFERENCIA MECÁNICA.....	6
2.2.1. Acoplamiento Agujero – Eje, con Interferencia.....	7
2.2.2 Esfuerzos debidos a ajustes con aprieto en cilindros huecos de espesor e.....	11
2.2.3 Distribuciones de esfuerzos.....	12

2.3. MÁQUINA SIERRA LIMADORA.....	21
2.3.1. El bastidor	23
2.3.2. La deslizadera.....	23
2.3.3. La mesa	23
2.3.4. Lubricación	24
2.3.5. Accesorios.....	24
2.4. MÁQUINA MORTAJADORA.....	24
2.4.1. Movimiento de la deslizadera	25
2.4.2. Movimiento de avance	27
2.4.3. Velocidad máxima en las limadoras con accionamiento por corredera lineal u oscilante .	29
2.4.4. Potencia para el cepillado y mortajado	30
2.5. COMPONENTES MECÁNICOS	36
2.5.1. Sistemas de Transmisión de Potencia	36
2.5.2. Elementos de fijación	38
2.6. COMPONENTES ELÉCTRICOS	39
2.6.1. Tarjetas Controladoras	40
2.6.2. Actuadores eléctricos	42
2.6.3. DRIVERS.....	44
2.6.4. Sensor Micro-switch	46
2.7. CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA	46
2.7.1. Funcionamiento de una máquina CNC	47
2.7.2. Software	48
2.7.3. Ventajas del Sistema CNC	50
2.7.4. Desventajas del Sistema CNC.....	51

DESARROLLO.....	52
3.1 ESTADO INICIAL DE LA MÁQUINA.....	52
3.1.1 Objeto y Posibilidades de la Máquina.....	52
3.1.2. Especificaciones técnicas Máquina de Sierra Limadora Rockwell.....	53
3.1.3. Especificaciones técnicas mesa de coordenadas manual (X,Y).....	57
3.1.4. Funcionamiento general.....	58
3.2. MATRIZ DE LA CALIDAD	60
3.2.1 Necesidades.....	60
3.2.2 Características Técnicas.....	61
3.2.3 QFD.....	62
3.2.4 Factibilidad y Planeación	65
3.3 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	67
3.3.1 Módulo Brazo Mortajador.....	68
3.3.2 Módulo automatización.....	74
3.3.3 Módulo Control AC o de potencia.....	86
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	89
4.1. DEFINICIÓN DEL DISEÑO.....	89
4.2. DISEÑO MECÁNICO.....	91
4.2.1. Análisis del sistema y mecanismos, Fuerza, y Velocidad.....	91
4.2.2. Módulo Prolongación Brazo	101
4.2.3. Diseño Brazo para Mortajadora.	108
4.2.4. Diseño del portaherramienta	113
DISEÑO ELÉCTRICO Y DE CONTROL.....	116
4.3.1 Módulo Automatización.....	116

4.3.2. Configuración tarjeta USBCNC de control.....	117
4.3.3. Configuración de Software USBCNC (HMI)	120
DISEÑO ELÉCTRICO	124
IMPLEMENTACIÓN.....	128
4.4.1. Mecánica	128
4.4.2. Electrónico y de control	129
4.4.3. Eléctrica	130
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	133
5.1. Control estadístico de procesos	133
5.1.1. Control estadístico de procesos Eje X.....	134
5.1.2. Control estadístico de procesos Eje Y.....	139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	144
6.1. CONCLUSIONES.....	144
6.2. RECOMENDACIONES	146
BIBLIOGRAFÍA.....	148

ÍNDICE DE FIGURAS

x

Figura 1 Estado actual de la máquina Sierra Limadora	6
Figura 2 Disposición de herramienta.	4
Figura 3 Modelo de corte ortogonal	6
Figura 4 Ensamble por interferencia, $D < d$ Fuente: (Assemblymag, 2017)	7
Figura 5 Ajuste con interferencia.....	8
Figura 6 Calidades fundamentales.	9
Figura 7 Cilindro de pared espesor t_h	12
Figura 8 Ajuste por interferencia eje macizo – agujero.....	12
Figura 9 (a) Diagrama de cuerpo (b) Distribuciones de esfuerzos (c) Estados de esfuerzo	13
Figura 10 Esfuerzos en el cilindro interno (eje) de un ajuste	14
Figura 11 Elementos internos y externos, diámetros de los cilindros de un ajuste	15
Figura 12 Prensa Hidráulica, métodos para montar y desmontar piezas con ajustes a presión... ..	18
Figura 13 Extractor de Rodamiento de 3 patas.....	18
Figura 14 Fuerzas entre dos piezas con ajuste a presión	18
Figura 15 Fuerza de fricción, y par de torsión.	19
Figura 16 Dilatación en barras.....	20
Figura 17 Dilatación térmica en cilindro hueco.....	21
Figura 18 Sistema biela manivela interior de una limadora	22
Figura 19 Accionamiento por biela interior de una limadora Hemdey	23
Figura 20 Máquina mortajadora	25
Figura 21 Accionamiento hidráulico de una mortajadora Rockford	27

Figura 22 Mecanismo Mortajadora, corredera oscilante	29
Figura 23 Parámetros y elementos presentes al momento de mortajar.....	31
Figura 24 Parámetros corte mortajadora.....	31
Figura 25 Fuerza de corte	32
Figura 26 Ball Screw Fuente: (MecParts, 2013).....	36
Figura 27 Tornillo de Potencia	37
Figura 28 Sistemas de transmisión por poleas.....	37
Figura 29 Acoplamientos Elásticos	38
Figura 30 a) Mordaza b. Mesa Giratoria c. Mordaza de sujeción d. Bridas de sujeción.....	39
Figura 31 Esquema Eléctrico Electrónico, Potencia, y Control.	40
Figura 32 Parallel CNC Breakout Board	41
Figura 33 Tarjeta USBCNC 4.0.....	42
Figura 34 Motor tipo jaula de ardilla.....	43
Figura 35 Servomotor asíncrono AC	43
Figura 36 Motor a paso Nema 17	44
Figura 37 Driver 4A.....	45
Figura 38 Variador de frecuencia VDF.	45
Figura 39 Microswitch.....	46
Figura 40 Ejemplo código G.....	47
Figura 41 GRBL Controller.....	48
Figura 42 USBCNC V.4	49

Figura 43 Pantalla de inicio MACH 3	50
Figura 44 Sistema de funcionamiento.	59
Figura 45 Matriz QFD diseño de un mecanismo mortajador de máquina sierra limadora.....	63
Figura 46 Solución aumento eje por interferencia mecánica.....	71
Figura 47 Diseño preliminar de portaherramienta ensamblado con herramienta.	74
Figura 48 Motor bipolar a pasos Nema 23	77
Figura 49 Selección mecanismo de transmisión de potencia, matrimonio love joy.....	79
Figura 50 tarjeta USBCNC controller	82
Figura 51 Fin de carrera a utilizar.....	84
Figura 52 Componentes seleccionados para el desarrollo del proyecto.	90
Figura 53 Esquema de funcionamiento.	92
Figura 54 Mecanismo de cuatro barras.....	94
Figura 55 Mecanismo 4 Barras.....	94
Figura 56 Diagrama general de la máquina mortajadora CNC	97
Figura 57 Torque proporcionada por el motor.....	99
Figura 58 Diagrama Cuerpo libre Eje mortajador	101
Figura 59 Simulación eje mortajador.....	102
Figura 60 Simulación eje mortajador.....	102
Figura 61 Ensayo de dureza eje guía.	104
Figura 62 Dureza del eje para aumento.	106
Figura 63 Diagrama de cuerpo libre del brazo mortajador	109

<i>Figura 64</i> Diagrama de cuerpo libre del brazo mortajador	109
<i>Figura 65</i> diseño brazo máquina mortajadora.....	110
<i>Figura 66</i> Diagrama de cuerpo libre portaherramientas	113
<i>Figura 67</i> Tarjeta USBCNC partes.	117
<i>Figura 68</i> conexión de fines de carrera.....	118
<i>Figura 69</i> conexión de tarjeta USBCNC.....	119
<i>Figura 70</i> configuración generales software USBCNC	120
<i>Figura 71</i> configuración velocidad de motores.....	121
<i>Figura 72</i> Configuración límites de trabajo.	122
<i>Figura 73</i> Configuración para variador de frecuencia	123
<i>Figura 74</i> Encendido de sistema	124
<i>Figura 75</i> conexión para arranque de motor AC.....	126
<i>Figura 76</i> Control de activación variador de frecuencia.....	127
<i>Figura 77</i> Sistema conjunto implementación máquina mortajadora CNC	132
<i>Figura 78</i> Modelo de referencia para control estadístico de procesos.....	133
<i>Figura 79</i> Prueba de la máquina mortajadora CNC.....	134
<i>Figura 80</i> Modelo de referencia para control estadístico de procesos.....	137
<i>Figura 81</i> Gráfica de control X media Eje X.....	138
<i>Figura 82</i> Resumen control estadístico proceso eje X.....	139
<i>Figura 83</i> Gráfica de control Y media Eje Y.....	142
<i>Figura 84</i> Resumen control estadístico proceso eje Y.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Parámetros del maquinado y su influencia y relación en los procesos y resultados</i>	2
Tabla 2 <i>Calidades de fabricación, formada a partir de criterios de Jiménez Balboa</i>	5
Tabla 3 <i>Ajustes Norma ISO recomendados</i>	9
Tabla 4 <i>Dureza aceros rápidos, fundiciones</i>	10
Tabla 5 <i>Velocidades de corte recomendadas en m/min</i>	33
Tabla 6 <i>Acabados Velocidades de desbaste y velocidad de avance</i>	35
Tabla 7 <i>Velocidad de desbaste</i>	35
Tabla 8 <i>Estado Mecánico de la máquina</i>	53
Tabla 9 <i>Estado Eléctrico de la Máquina Sierra Limadora</i>	53
Tabla 10 <i>Funcionamiento del sistema mecánica</i>	54
Tabla 11 <i>Funcionamiento del sistema eléctrico</i>	56
Tabla 12 <i>Mesa de trabajo Vertex</i>	57
Tabla 13 <i>Requerimientos del usuario</i>	60
Tabla 14 <i>Características técnicas</i>	61
Tabla 15 <i>Resultados de la matriz QFD</i>	64
Tabla 16 <i>Agrupación de subsistemas</i>	65
Tabla 17 <i>Estructura Funcional</i>	66
Tabla 18 <i>Tabla comparativa aumento eje</i>	68
Tabla 19 <i>Valoración para los subsistemas eje mortajador</i>	70
Tabla 20 <i>Tabla comparativa portaherramientas</i>	71

Tabla 21 <i>Valoración portaherramientas</i>	73
Tabla 22 <i>Comparación entre motores</i>	75
Tabla 23 <i>Valoración selección de motores</i>	76
Tabla 24 <i>Tabla comparativa del sistema de transmisión de potencia</i>	78
Tabla 25 <i>Valoración de transmisión de potencia</i>	79
Tabla 26 <i>Comparación entre tarjetas</i>	80
Tabla 27 <i>Valoración de la tarjeta de control</i>	81
Tabla 28 <i>Comparación entre sensores</i>	83
Tabla 29 <i>Ponderación entre sensores</i>	83
Tabla 30 <i>Comparación entre software</i>	85
Tabla 31 <i>Selección de software</i>	86
Tabla 32 <i>Comparación entre Variadores de frecuencia</i>	87
Tabla 33 <i>Selección de Variador de frecuencia</i>	88
Tabla 34 <i>Módulos y subsistemas seleccionados</i>	89
Tabla 35 <i>Materiales recomendados para trabajar hasta 1mm2 de espesor</i>	99
Tabla 36 <i>Tabla de convergencia diseño eje mortajador</i>	103
Tabla 37 <i>Ensayo dureza</i>	104
Tabla 38 <i>Propiedades mecánicas acero AISI 4340 (A705)</i>	105
Tabla 39 <i>Tabla de dureza</i>	105
Tabla 40 <i>Valores resultantes</i>	110
Tabla 41 <i>Diseño y simulación del brazo mortajador</i>	112

Tabla 42 <i>Tabla de aceros para construcción del portaherramientas</i>	114
Tabla 43 <i>Análisis de esfuerzo en el portaherramientas</i>	115
Tabla 44 <i>Requerimientos eléctricos</i>	125
Tabla 45 <i>Implementación mecánica</i>	128
Tabla 46 <i>Implementación electrónica y de control</i>	130
Tabla 47 <i>Implementación eléctrica</i>	131
Tabla 48 <i>Medidas experimentales para tabla de control eje X</i>	135
Tabla 49 <i>Medidas experimentales para tabla de control eje Y</i>	140

RESÚMEN

El presente trabajo de titulación ilustra la transformación, refuerzo y dimensionamiento de una máquina sierra limadora vertical, Rockwell 21105, del laboratorio de Procesos de Manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, a una máquina mortajadora CNC con movimientos programados y automáticos. El cambio de trabajo de la mencionada máquina permite sumar una operación más al Laboratorio de proceso de manufactura. La automatización da lugar a movimientos de mayor precisión, permitiendo obtener piezas finales con mayor grado de exactitud, como es el caso de chaveteros muy usados en los diferentes tipos de industrias como son metalmecánica, manufacturera, vehicular. El proceso de mortajado con esta máquina se realiza mediante un interfaz humano – máquina, permitiendo al operario programar trayectorias a conveniencia, así mismo tanto la velocidad de la herramienta vertical, como la velocidad de avance horizontal, que realiza la máquina mortajadora CNC son programables y recomendadas en tablas dependiendo del material con el que se desea mortajar. Finalmente, la capacidad de la máquina trabajar con materiales suaves hasta acero A36.

PALABRAS CLAVES

- **MORTAJADORA**
- **DESBASTE**
- **INTERFERENCIA MECÁNICA**
- **MECANISMO DE CUATRO BARRAS**
- **AVANCE**

ABSTRACT

This Graduation's work is about the upgrading into the Rockwell 21105, a vertical bandsaw machine, which is located in the Manufacturing Processes Laboratory at Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. This machine is turned in to a mortising CNC which includes automatic and programmed movements. The goal of this project is to add a new process in the Manufacturing Processes Laboratory. In general, the automation of the equipment provides more precise movements, which leads to pieces with a greater degree of accuracy such as keyways. These pieces are very popular in the metalworking, manufacturing and automotive industries. The shredding process is done by a human-machine interface. Thus, the operators can plot any trajectory. In addition, the vertical tool speed and the horizontal feed rate are programmables. A table with recommended speeds, depending upon the type of material you have chosen is provided. Finally, note that this machine was designed for soft materials, up to A36 steel.

KEYWORDS

- **MORTISING MACHINE**
- **ROUGHING**
- **MECHANICAL INTERFERENCE**
- **FOUR-BAR MECHANISM**
- **ADVANCE**

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

El presente capítulo detalla los antecedentes, la definición del problema, justificación, alcance y objetivos del proyecto. En el transcurso del capítulo se realiza una referencia sobre los trabajos realizados, en el laboratorio de procesos de manufactura, automatización mejoras y repotenciación, para impulsando el desarrollo tanto empresarial como educativo.

ANTECEDENTES

El Laboratorio de Procesos de Manufactura ubicado en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, perteneciente al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica entró en funcionamiento al servicio de los estudiantes desde 1981, año en el que fue instalada gran parte de la maquinaria que se encuentra actualmente disponible en el mismo.

Debido a la creciente demanda tecnológica y estudiantil de las últimas 2 décadas, el Laboratorio de Procesos de Manufactura se vió en la obligación de modernizar su maquinaria instalada, por lo que en el año 2006 adquiere el Torno CNC VIWA, de última generación en esos instantes y en el año 2008 se adquiere la Fresadora CNC FANUC, y dos Tornos Paralelos PBL 360Bx1000.

Con la apertura de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica perteneciente al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica en el año 2006, las máquinas y equipo del laboratorio de procesos de manufactura han sufrido más horas de trabajo a la semana, por este hecho el desgaste de estos.

Es necesario de igual manera mencionar que en el año 2009 la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, ha pasado a ser una Institución Pública, motivo por el cual el Departamento de Ciencias de la Energía y la Mecánica, carece con la capacidad de actualizar o renovar totalmente la maquinaria instalada en dicho laboratorio, y en muchos más, esto impulso la idea de repotenciar el Laboratorio de Procesos de Manufactura tiene como finalidad automatizar las Máquinas y Herramientas del DECEM.

Desde el mes de Junio de 2014 hasta la actualidad, ya se han realizado algunos proyectos que han servido para repotenciar el Laboratorio, algunos ejemplos de estos son: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ACADÉMICO DE INTERACCIÓN HOMBRE – MÁQUINA PARA CONTROL NUMÉRICO EN EL TORNO PARALELO PBL 360Bx1000 SERIE NO. 61124”, realizado por Edwin Cornelio Santillán Coello y Jair Omar Quispe Cevallos; DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL A BASE DE UNA PLATAFORMA DE SOFTWARE LIBRE PARA LA REHABILITACIÓN DE LA BALANCEADORA TIRA K300, E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECÁNICO PARA LA SEGURIDAD DE LA MISMA" realizado por Bryan Puruncajas y Carlos Sosa.

Debido a la necesidad de mejoras en los presentes equipos del Laboratorio de Procesos de Manufactura y además para que sigan siendo de utilidad y abastezcan la necesidad de los estudiantes y los docentes, se presenta a continuación el proyecto titulado como: “DISEÑO, Y CONSTRUCCION DE UN MECANISMO MORTAJADOR CON CONTROL NUMÉRICO, ADAPTADO A UNA MÁQUINA SIERRA LIMADORA DEL LABORATORIO DE PROCESOS DE MANUFACTURA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE”, al constatar la necesidad de que el proyecto sea útil para cuerpo docente y estudiantes, permitiendo la rapidez y la calidad en el proceso del desarrollo de prácticas de laboratorio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Laboratorio de Procesos de manufactura existe una máquina, sierra limadora, la cual permite un movimiento de corte por medio del desplazamiento vertical su herramienta dando lugar a realizar el trabajo de limado o de corte por sierra, han pasado cerca de cuatro décadas desde la adquisición esta máquina sierra limadora, en aquel tiempo las prestaciones de la misma fueron las mejores, y ha contribuido de la mejor manera en la formación de profesionales, en la actualidad por el tiempo transcurrido y tanto el uso prolongado, y en la actualidad la falta de utilidad de la máquina empiezan a presentar problemas en sus partes y sistemas.

En Inglaterra alrededor de los años setentas, fue fabricada la máquina sierra limadora por la empresa Rockwell Machine, y adquirida por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, debido al tiempo de uso y años de servicio que ha prestado dicha maquinaria, muchos de los componentes que la constituyen, ya no son fabricados y otros son de difícil adquisición, es por estas razones que se puede tildar a este equipo como discontinuado.

El sistema de funcionamiento de la máquina sierra limadora es completamente manual no existe una protección para la integridad del operario, ello puede incurrir en problemas de seguridad, la ausencia de un paro de emergencia para el uso de la herramienta cortante puede ser causa de diferentes accidentes.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Ampliar maquinaria disponible en el laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, permitiendo la modernización de equipo existente. La necesidad por una máquina Mortajadora para realizar procesos de maquinado interno como chaveteros ha obligado al laboratorio de procesos de manufactura, a buscar alternativas para la obtención de dicha maquinaria, en la actualidad el desarrollo de procesos de automatización son indispensable obtener en los procesos de manufactura como es un sistema CNC. Debido a su tiempo de uso desde su creación alrededor de cuatro décadas atrás, no ha existido un correcto mantenimiento a causa de la discontinuación de sus partes y piezas.

Por lo tanto, es indispensable el rediseño, repotenciación de la máquina sierra limadora para la transformación y construcción de una máquina mortajadora. El equipo de mortajadora contará con un control CNC, es decir numérico el mismo que permitirá el movimiento de la mesa en 3 ejes coordenados (x,y) , facilitando de esta manera la obtención de resultados y podrá ser usada principalmente para mecanizar ranuras, pero también se emplean para contornear levas, placas, palancas, tallar engranajes internos, etc.

Con la actualización y automatización de la máquina en cuestión se obtendrá un equipo más para la formación de los futuros profesionales en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Carrera de Ingeniería Mecánica, e Ingeniería Mecatrónica. Obteniendo así resultados de los ensayos, y logrando rapidez sobre el desarrollo de prácticas, dando lugar a la disminución de errores y lo más importante la inmersión de nueva tecnología para el servicio de los estudiantes. Se podrá reducir el tiempo de obtención de piezas con maquinado interno como ranurados y chaveteros, debido a la facilidad que tendrá en su operación y rapidez en el proceso que se requiera su utilización.

ALCANCE

Este proyecto se centra en la transformación, renovación y mejora de una máquina sierra limadora, a una máquina mortajadora con control numérico ó CNC, el mismo que permite a la máquina mover su mesa de trabajo en los 2 ejes de coordenados (x,y), en una secuencia pre-establecida, otorgando de esta forma obtener un movimiento controlado y preciso, la trayectoria fijada se podrá observar en un HMI, de igual manera el efector final o cabezal se moverá según la velocidad que el operador requiera conveniente para el tipo de trabajo, la activación de mortajadora CNC, funcionará siempre y cuando la integridad física del operador se encuentra a salvo, ya que se dispondrá de medidas de seguridad para su accionamiento.

Mesa. - Cambio total por una mesa regulable automática, con la capacidad de moverse en los 2 ejes coordenados, en secuencias programables en la cual se adaptará motores para realizar los movimientos deseados.

Avance. - Configuración de velocidad de avance en sentido horizontal, puede ser establecida en el programa o interfaz gráfica.

Velocidad de desbaste. - Frecuencia de incidencia del cabezal sobre la pieza a trabajar será posible cuando el operador desee comenzar el trabajo de mortajado y este de acuerdo con la velocidad de incidencia requerida.

Herramental. – Un refuerzo, para soportar la herramienta es necesario para evitar falla por fatiga debido a que se encuentra expuesto a esfuerzos cíclicos que cambian de magnitud al cambiar las velocidades de avance y de incisión de la herramienta.

Seguridad. - Un botón de escape permitirá a la máquina frenar su trabajo debido a que el motor AC, tiene su propia inercia este freno retarda en para el motor en 4 a 5 segundos lo cual es muy

peligroso para resguardar la integridad del operador, es necesario tener un paro de emergencia que permita frenar el motor de manera instantánea la máquina consta de un paro de emergencia instantáneo sólo para la herramienta de mortajado.

Una vista previa al estado actual de la máquina sierra limadora, sus componentes y sistema de funcionamiento se puede visualizar en la figura 1.

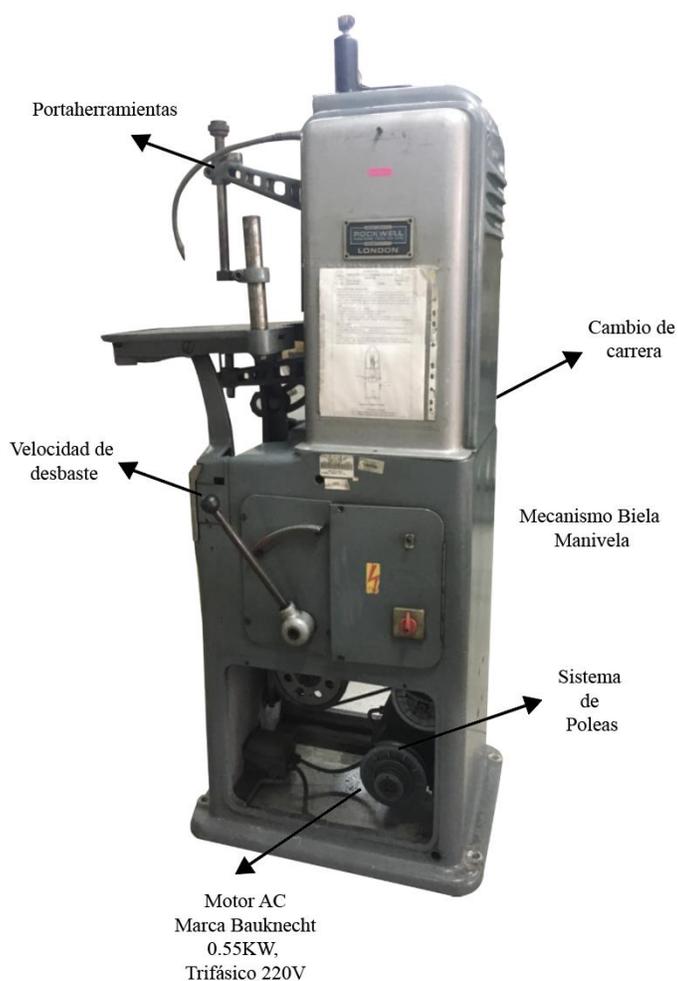


Figura 1 Estado actual de la máquina Sierra Limadora

OBJETIVOS

1.5.1 General

Diseñar y construir un mecanismo mortajador con control numérico, adaptado a una máquina sierra limadora del Laboratorio de procesos de manufactura de La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

1.5.2 Específicos

- Establecer un análisis situacional del estado actual de máquina sierra limadora, previo a la transformación, automatización, y repotenciación de sus sistemas y componentes sea su operatividad, funcionamiento y mejoras.
- Transformar los sistemas mecánicos, y eléctricos en sistemas más robustos, manipulables de manera electrónica mediante una interfaz gráfica, amigable para el operador.
- Diseñar partes de la máquina sierra limadora, mecanismos y sistemas de acople con el fin de adaptar una mesa para automatizar los movimientos en los ejes coordenados x e y.
- Elaborar un protocolo de pruebas para validar el funcionamiento de los sistemas implementados.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se encuentra toda la información acerca de la sierra limadora los principios de funcionamiento, de igual forma las máquinas mortajadoras su estructura y parámetros necesarios para realizar procesos de ranurado interno. Y por último las diferentes ventajas y desventajas de control numérico CNC, las diferentes tarjetas disponibles para su uso como también los diferentes procesos de mecanizado para realizar la transformación de una sierra limadora a una mortajadora CNC.

2.1. ESTUDIO DEL PROCESO POR ARRANQUE DE VIRUTA.

El maquinado tiene como objetivo generar la forma de la pieza de trabajo partiendo de un cuerpo sólido, o mejorar las tolerancias y el acabado superficial de una pieza de trabajo previamente formada, al retirar el material en exceso en forma de virutas. (Schey, 2002).

La formación de viruta puede comportarse de forma distinta dependiendo de las condiciones del maquinado. (Schey, 2002). En el caso ideal la zona de corte está bien definida, el corte primario ocurre en planos de corte cercanamente espaciados y se forma una viruta continua.

Bajo condiciones especiales, la viruta puede ser continua, pero presenta un cambio periódico en el espesor. Una viruta ondulada presenta variaciones casi senoidales en el espesor, que normalmente están relacionadas con el castaño (vibración) atribuible a cambios periódicos en las fuerzas de corte.

Las virutas segmentadas presentan una ondulación parecida a los dientes de una sierra. Las secciones gruesas sólo se deforman ligeramente y se unen mediante varias secciones más delgadas, severamente rasgadas.

Bajo ciertas condiciones se presenta una viruta discontinua. El maquinado es capaz de crear configuraciones geométricas, tolerancias y acabados superficiales a menudo no obtenibles por cualquier otra técnica. (Schey, 2002)

Existen múltiples parámetros que influyen directa o indirectamente en los procesos y acabados de piezas por proceso de maquinado, tales como la temperatura de la pieza, el fluido de corte (refrigerante), el tipo de herramienta que se use, la posición de la herramienta, el tipo de material a maquinar, la velocidad de corte o la profundidad de corte. Y cada uno requiere de un amplio estudio para lograr un óptimo desempeño en el proceso y para tener el resultado deseado.

Un resumen dado por (Kalpakjian & Schmid, 2008) de los factores que influyen en las operaciones de maquinado se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Parámetros del maquinado y su influencia y relación en los procesos y resultados

Parámetro	Influencia y Relación
Velocidad de corte, profundidad de corte, avance, fluidos de corte.	Fuerzas, potencia, elevación de temperatura, vida útil de la herramienta, tipo de viruta, acabado e integridad superficial.
Ángulo de la herramienta.	Influencia en la dirección de flujo de la viruta; resistencia al desgaste y astillado de la herramienta.

CONTINÚA 

Temperatura	La elevación en la temperatura influye en la vida útil de la herramienta en particular en la precisión dimensional de la pieza de trabajo.
Desgaste de la herramienta	Influye en el acabado e integridad superficial, la precisión dimensional, la elevación de la temperatura, las fuerzas y la potencia.
Maquinabilidad	Relacionada con la vida útil de la herramienta, el acabado superficial, las fuerzas y la potencia y el tipo de viruta.

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2008)

2.1.1. Herramientas de corte

Para la operación de mortajado es necesario utilizar herramientas que se diferencian de las cepilladoras y limadoras, en la posición conveniente al filo respecto al eje de la cavidad que se va a cortar.

El sentido de la herramienta su filo debe ser orientado respecto al corte deseado es decir los grandes esfuerzos en el corte serán absorbidos en su totalidad por la herramienta, es por esta razón que la punta tiene que ser mucho más robusta que las otras herramientas.

En la Figura 2, se puede observar como la herramienta debe ir dispuesta al momento de desbastar a la pieza.

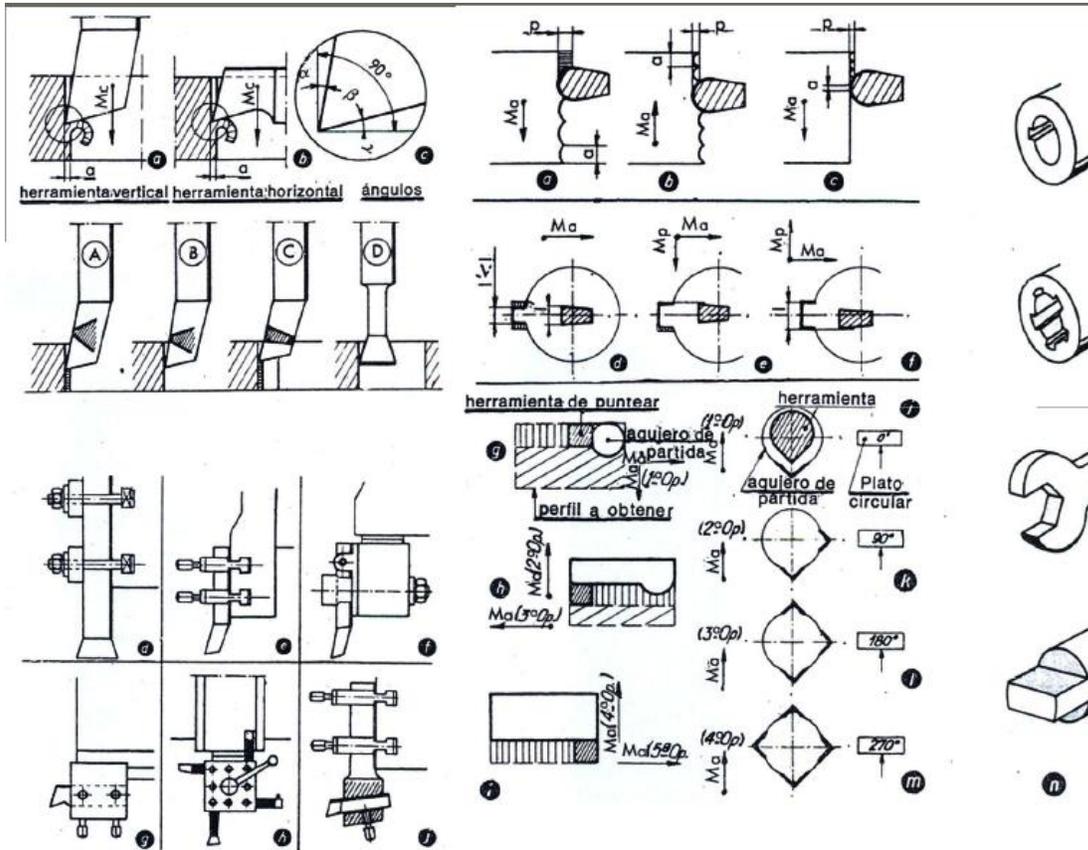


Figura 2 Disposición de herramienta.

Fuente: (Castro Guillermo, 2011)

Para los datos de la Figura 2, se tiene:

- A: desbaste
- B: retoque C: ranurado D: punteado
- d/e: soporte con estribos sobre el cabezal
- f: de borna sobre el cabezal g: bloque de mortajar bajo el cabezal
- h: torreta bajo el cabezal
- i: porta plaquetas bajo el cabezal

Los valores de los ángulos de corte y despulla se pueden obtener de la Tabla 2, que corresponden a herramientas de acero rápido, según (Ortuño, 1975)

Tabla 2
Dureza aceros rápidos, fundiciones.

Material a arrancar	Dureza HB. Brinell HS. Shore	Carga rotura Resistencia en mm ²	α	β	γ
Fundición en coquilla	HS 75÷80	-----	1°÷0°	87°÷88°	2°
Fundición al silicio (15%)	-----	-----	2°÷1°	85°÷87°	3°÷2°
Acero Fundido	HB 120÷280	50÷100	15°÷10°	67°÷75°	8°÷5°
Fundición Gris	HB hasta 400	-----	15°÷10°	67°÷75°	8°÷5°
Acero duro	HB 200÷250	65÷140	10÷12	72÷85	8÷3
Acero semiduro	HB 135÷180	45÷65	20÷15	62÷70	8÷5
Acero dulce	HB 130	40÷45	25÷20	55÷64	10÷6
Bronce, Latón duro	HB 90÷180	20÷80	10÷0	74÷87	6÷3
aleaciones ligeras	HB 25÷150	10÷25	48÷30	30÷55	12÷5
Los dobles valores de los ángulos corresponden, para cada clase de material respectivamente, a los mínimos y máximos de dureza y resistencia					

Fuente: (Ortuño, 1975)

2.1.1.1. Corte ortogonal

En la mayoría de operaciones de mecanizado el análisis geométrico real resulta ser muy complejo, por esta razón se recurre a modelos simplificados de mecanizado, el corte ortogonal se

toma en cuenta que existe una herramienta forma de cuña, en la cual el borde cortante es perpendicular a la dirección de la velocidad de corte.

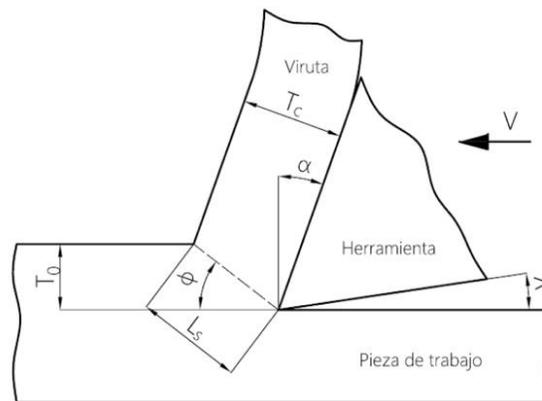


Figura 3 Modelo de corte ortogonal
Fuente: (Torres & López M., 2016)

- V es la velocidad de corte T_0 y T_c espesor de viruta
- α es el ángulo de desprendimiento.
- ϕ ángulo de cizallamiento
- λ ángulo de incidencia
- L_s relación entre ángulos de desprendimiento y cizallamiento.

Durante el corte, el borde cortante de la herramienta se coloca a cierta distancia por debajo de la superficie original del trabajo. Ésta corresponde al espesor de la viruta antes de su formación t_0 . Al formarse la viruta a lo largo del plano de corte, incrementa su espesor a t_c . La relación de t_0 a t_c .

2.2. INTERFERENCIA MECÁNICA.

Los ajustes de interferencia eje-agujero, agujero (masa)- eje, son conocidos también como ajustes a presión, esto quiere decir que es una unión que se realiza cuando el diámetro del eje es más grande que el diámetro del agujero, que crea de esta manera una unión rígida mediante la

fricción entre las paredes de las dos piezas a unir, este proceso impide el movimiento entre ambas piezas, un claro ejemplo se puede visualizar en la Figura 4.

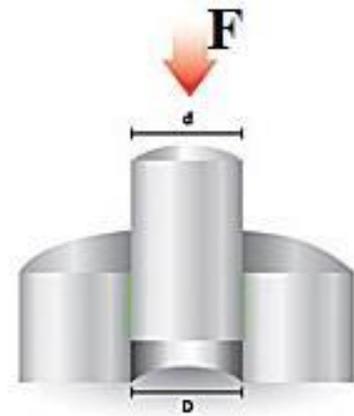


Figura 4 Ensamble por interferencia, $D < d$

Fuente: (Assemblymag, 2017)

Como se puede apreciar en la Figura 4, la diferencia entre los valores de D (agujero) y d (eje), dicho valor resulta ser siempre negativo. Al realizar el acople entre el eje y el agujero se absorbe una interferencia dimensional que es la que se define como apriete.

2.2.1. Acoplamiento Agujero – Eje, con Interferencia.

Este tipo de acoplamiento se prevé con interferencia como se pudo mostrar en la Figura 4, donde $D > d$ la manera de representar un ajuste con interferencia se puede observar en la Figura 5.

Este tipo de tolerancia será enfocada para la realización de este proyecto, todos los componentes, nomenclatura y representaciones se citan a continuación.

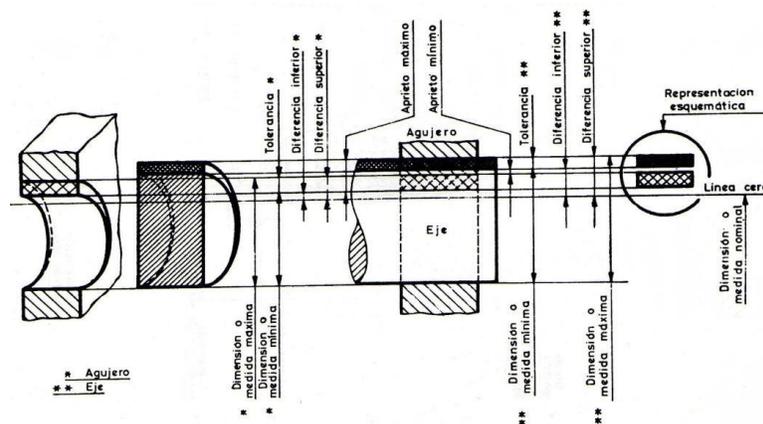


Figura 5 Ajuste con interferencia

Fuente: (Jiménez Balboa, 1996)

Muchos son los términos usados para describir las características de las relaciones dimensionales entre las partes acopladas. A continuación, definiremos la terminología general del sistema de ajustes y tolerancias

Ajuste. Es el acople de dos piezas de diferentes dimensiones, los contactos para cada una de ellas es interior y exterior para otra.

Eje. Son las partes que constituyen una pieza, generalmente toda la dimensión que exterior que sobresale de un ajuste o ensamble se le conoce como eje.

2.2.1.1 Calidad

El sistema ISO, estableció un número determinado de calidades de fabricación, designadas por siglas y números de la siguiente manera:

IT-01, IT-0, IT1, IT2, IT16

La Tabla 3, es recopilada de múltiples criterios de diferentes autores, pero en su mayoría de Jiménez Balboa, sobre la aplicación general de las calidades.

Tabla 3

Calidades de fabricación, formada a partir de criterios de Jiménez Balboa

CALIDADES	APLICACIONES
IT-01 A IT-5	Construcción de calibres de control y en mecánica de alta precisión.
IT-6 A IT-11	En mecánica de precisión y para piezas que ajusten entre sí.
IT-11 A IT-16	En trabajos de fabricación basta.

Fuente: (Jiménez Balboa, 1996)

Existen valores numéricos fundamentales para las tolerancias.

Grupos de diámetros (mm.)	CALIDADES																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
$d \leq 3$	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
$3 < d \leq 6$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
$6 < d \leq 10$	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
$10 < d \leq 18$	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
$18 < d \leq 30$	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
$30 < d \leq 50$	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
$50 < d \leq 80$	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
$80 < d \leq 120$	1	1.5	2.5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
$120 < d \leq 180$	1.2	2	3.5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
$180 < d \leq 250$	2	3	4.5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
$250 < d \leq 315$	2.5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
$315 < d \leq 400$	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
$400 < d \leq 500$	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000
	Ultraprecisión		Calibre y piezas de gran precisión			Piezas o elementos destinados a ajustar						Piezas o elementos que no han de ajustar						

Figura 6 Calidades fundamentales.

Fuente: (Universidad Politécnica de Madrid, 2015)

Ajustes recomendados ISO. Una breve observación de todos los ajustes requeridos, resumidos o estandarizados, se pueden observar en la Tabla 4. Obtenidos gracias a la norma ISO

Tabla 4.*Ajustes Norma ISO recomendados.*

Agujero único		Eje único		Características del asiento	Ejemplos
H8	x8			Prensado duro. Montaje a prensa. No necesita seguro	Coronas de bronce, ruedas
H8	u8				
H7	s6			Prensado Montaje a prensa	Piñon motor
H7	r6			Prensado ligero. Necesita seguro	Engranajes de máquinas
H7	n6			Muy forzado. Montaje a martillo	Casquillos especiales
H7	k6			Forzado. Montaje a martillo	Rodamientos a bolas
H7	j6			Forzado ligero. Montaje a mazo	Rodamientos a bolas
H7	h6			Deslizante con lubricación	Ejes de lira
H8	h9			Deslizante sin lubricación	Ejes de contrapunto
H11	h9			Deslizante. Ajuste corriente	Ejes de colocaciones
H11	h11			Deslizante. Ajuste ordinario	Ejes-guías atados
H7	g6	G7	h6	Giratorio sin juego apreciable	Émbolos de freno
H7	f7	F8	h6	Giratorio con poco juego	Bielas, cojinetes

CONTINÚA 

H8	f7	F8	h9	Giratorio con juego	Bielas, cojinetes
H8	e8	E9	h9	Giratorio con gran juego	Cojinetes corrientes
H8	d9	D10	h9	Giratorio con mucho juego	Soportes múltiples
H11	c11	C11	h9	Libre (con holgura)	Cojinetes de máquinas agrícolas
H11	a11	A11	h11	Muy libre	Avellanados, taladros de tornillos

Fuente: (Equiza, 2012)

2.2.2 Esfuerzos debidos a ajustes con aprieto en cilindros huecos de espesor e.

A partir de las fórmulas para cilindros de pared gruesa o delgada, es muy sencillo conocer qué tipo de cálculo se va a realizar, gracias a la formulación que se muestra a continuación:

Tomando en cuenta que:

$$\frac{d_i}{t_h} > 40 \text{ (Pared gruesa)} \quad (1)$$

$$\frac{D_I}{T_H} < 40 \text{ (Pared delgada)} \quad (2)$$

De las ecuaciones (1) y (2), para la representación de los valores de d_i y t_h se pueden visualizar en la Figura 7.

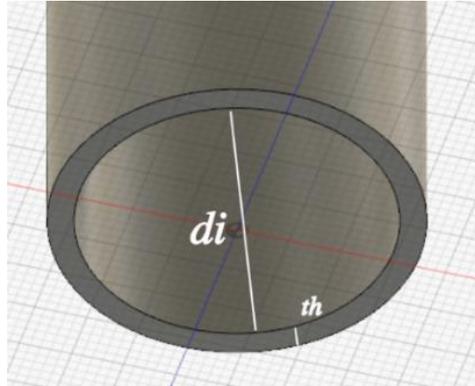


Figura 7 Cilindro de pared espesor th .

El caso de estudio que se describirá será el ajuste entre dos cilindros el uno hueco y el otro macizo, como se describe a continuación Figura 8.

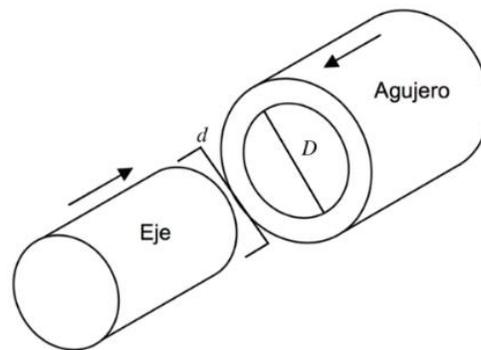


Figura 8 Ajuste por interferencia eje macizo – agujero

2.2.3 Distribuciones de esfuerzos

Si se realiza un corte longitudinal, en el cilindro externo o agujero, para visualizar el diagrama de cuerpo libre como se muestra en la Figura 9, claramente se puede apreciar la fuerza de empuje producida por el cilindro que será insertado, de igual manera dos reacciones R_1 y R_2 , que garantizan el equilibrio.

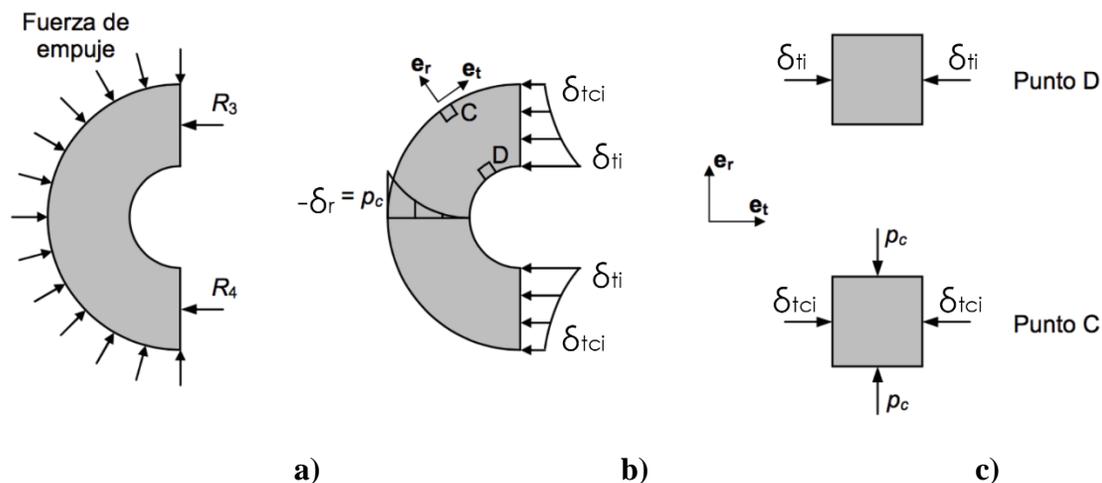


Figura 9 (a) Diagrama de cuerpo libre del agujero (b) Distribuciones de esfuerzos (c) Estados de esfuerzo

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

Las fuerzas R_1 y R_2 se distribuyen a través de una fuerza de empuje, en los puntos interiores del cilindro, se puede considerar como la suma de un número infinito de cilindros de espesor infinitesimal, que permite obtener las ecuaciones de equilibrio, y el estado de esfuerzo en cualquier punto.

El esfuerzo radial máximo de compresión se representa por $\delta_r = -p_c$, este esfuerzo en las fronteras exteriores se reduce hasta el valor de cero.

El esfuerzo tangencial máximo definido por δ_{tci} varía en los interiores hasta un mínimo δ_{tco} en los exteriores.

El análisis para el elemento interno o eje de ajuste es similar. La Figura 10, muestra todos los esfuerzos tangenciales y radiales de igual manera los estados de esfuerzos en las superficie interna y externa son iguales al agujero.

Los esfuerzos en el eje son de compresión, en diferencia al del agujero que son de tracción.

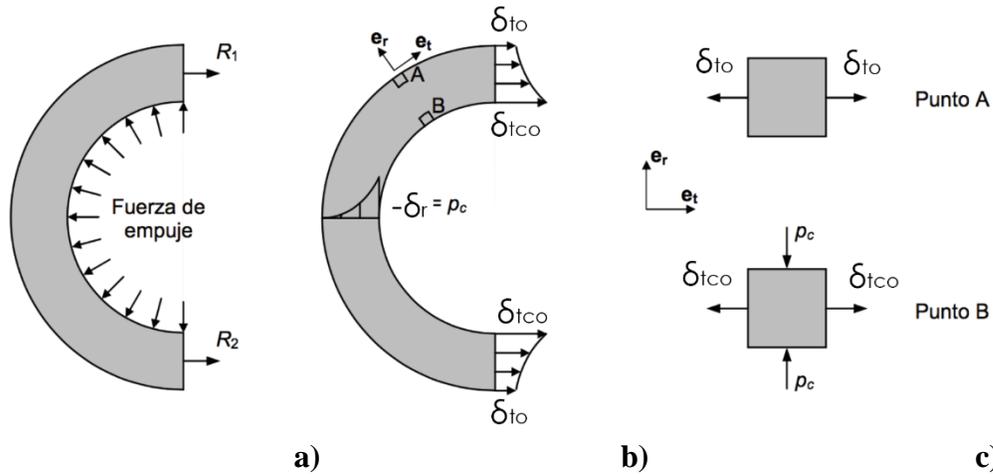


Figura 10 Esfuerzos en el cilindro interno (eje) de un ajuste

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

2.2.3.1 Ecuaciones para el cálculo de los esfuerzos

En un ajuste los elementos sea eje o agujero están sometidos a diferentes esfuerzos normales en la dirección radial y tangencial, la Figura 9 y Figura 10, ilustra claramente la representación de estos esfuerzos de la siguiente manera:

- p_c : presión en la superficie de contacto
- δ_r : esfuerzo radial de compresión en la superficie de contacto ($p_c = -\delta_r$, donde p_c se toma positivo)
- δ_{to} : esfuerzo tangencial en la superficie externa del elemento externo
- δ_{tco} : esfuerzo tangencial en la superficie de contacto del elemento externo
- δ_{tci} : esfuerzo tangencial en la superficie de contacto del elemento interno
- δ_{ti} : esfuerzo tangencial en la superficie interna del elemento interno

Presión en la superficie de contacto:

$$p_c = \frac{A_{pr}}{\left(d_c \left[\left(\frac{d_c^2 + d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} \right) + \left(\frac{d_0^2 + d_c^2}{E_0(d_0^2 - d_c^2)} \right) - \frac{v_i}{E_i} + \frac{v_0}{E_0} \right] \right)} \quad (3)$$

De donde se tiene que:

- A_{pr} : aprieto o interferencia total del ajuste.
- d_i : diámetro interior del elemento interno (eje).
- d_c : diámetro de la superficie de contacto (dimensión básica).
- d_o : diámetro exterior del elemento externo (agujero)
- ν_o : relación de Poisson del agujero.
- ν_i : relación de Poisson del eje.
- E_o : módulo de elasticidad del agujero.
- E_i : módulo de elasticidad del eje.

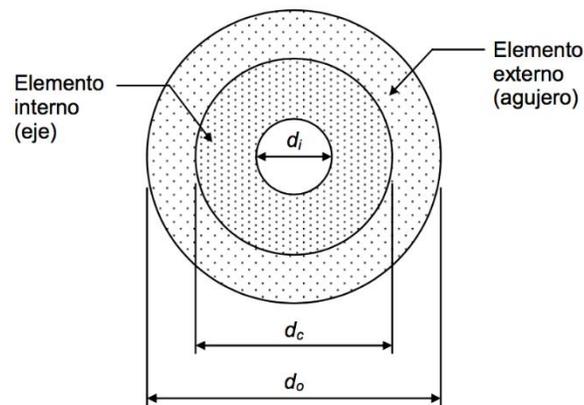


Figura 11 Elementos internos y externos, diámetros de los cilindros de un ajuste

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

Si el eje y agujero son conformados del mismo material, o si $E_o = E_i = E$ y $\nu_i = \nu_o$, la ecuación (3) puede expresarse de la siguiente manera.

$$p_c = \frac{A_{pr} E (d_c^2 - d_i^2) (d_o^2 - d_c^2)}{2 d_c^3 (d_o^2 - d_i^2)} \quad (4)$$

Una vez calculada la presión en la superficie de contacto, es posible encontrar los esfuerzos tangenciales, que son los esfuerzos normales de tracción o compresión, en la superficie de contacto

entre el eje y el agujero, se menciona conjuntamente dos ecuaciones de Lamé y Birnie, usados conjuntamente en la teoría de falla.

Las ecuaciones del matemático Lamé son usadas juntamente con la teoría de falla por cortante máximo.

$$S_{to} = \frac{2p_c dc^2}{do^2 - dc^2} \quad (5)$$

$$S_{tco} = pc \left(\frac{do^2 + dc^2}{do^2 - dc^2} \right) \quad (6)$$

$$S_{tci} = -pc \left(\frac{dc^2 + di^2}{dc^2 - di^2} \right) \quad (7)$$

$$S_{ti} = \frac{-2p_c dc^2}{dc^2 - di^2} \quad (8)$$

Las ecuaciones de Birnie son utilizadas juntamente con la teoría de falla, en cambio por deformación máxima.

$$S_{to} = \frac{2p_c dc^2}{do^2 - dc^2} \quad (9)$$

$$S_{tco} = pc \left(\frac{do^2 + dc^2}{do^2 - dc^2} \right) \quad (10)$$

$$S_{tci} = -pc \left(\frac{dc^2 + di^2}{dc^2 - di^2} - v_i \right) \quad (11)$$

$$S_{ti} = \frac{-2p_c dc^2}{dc^2 - di^2} \quad (12)$$

2.2.3.2 Fuerza axial para montaje o desmontaje en ajustes con aprieto

Fuerza axial, es un tipo de fuerza que se aplica sobre el centro axial de un objeto en la misma dirección de eje longitudinal, este tipo de fuerza se usa en el montaje y desmontaje de piezas con ajuste, suele realizarse con algún tipo de maquinaria o herramienta especial, antiguamente se realizaba mediante impactos repetidos.

La fuerza axial F_a se expresada por la siguiente ecuación:

$$F_a = F_f = f * F_n \text{ donde } F_n = p_c A = p_c \pi d_c L \text{ entonces}$$

$$F_a = f \times p_c \times \pi \times d_c \times L \quad (13)$$

De donde se tiene:

- F_f Fuerza de fricción
- f coeficiente de fricción
- F_n fuerza normal
- P_c presión en la superficie de contacto
- D_c diámetro de la superficie de contacto.
- L longitud de la superficie de contacto de los cilindros

La fuerza axial F_a , varía aumenta a medida que la superficie de contacto aumenta, al momento de realizar el montaje y disminuye durante el desmontaje, esta es la fuerza máxima que soporta el ajuste sin deslizarse axialmente, algunos elementos o equipos son usados para montar o desmontar piezas con un ajuste a presión, requerido esto es fácilmente visible en las Figura 12 y Figura 13 mostradas a continuación.



Figura 12 Prensa Hidráulica, métodos para montar y desmontar piezas con ajustes a presión
Fuente a (Makielezzo, 2009)



Figura 13 Extractor de Rodamiento de 3 patas
Fuente: (DirectIndustry, 2009)

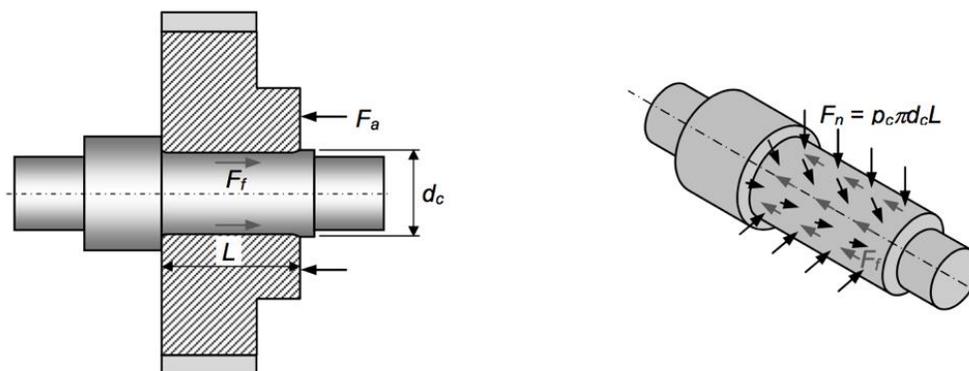


Figura 14 Fuerzas entre dos piezas con ajuste a presión
Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

2.2.3.3 Momento de torsión resistente de un ajuste a presión

Si es necesario producir una rotación relativa entre los cilindros que se montan con interferencia, es indispensable vencer la fuerza de fricción mediante cierto par de torsión T , el mismo que se puede transmitir con el ajuste sin que exista deslizamiento de las superficies.

$$T = Ff \left(\frac{dc}{2} \right) = 0.5 \times fp_c \times \pi \times d_c^2 \times L \quad (14)$$

El par de torsión expresa una ecuación que es igual a la fuerza de fricción, multiplicado por el radio de la superficie de contacto.

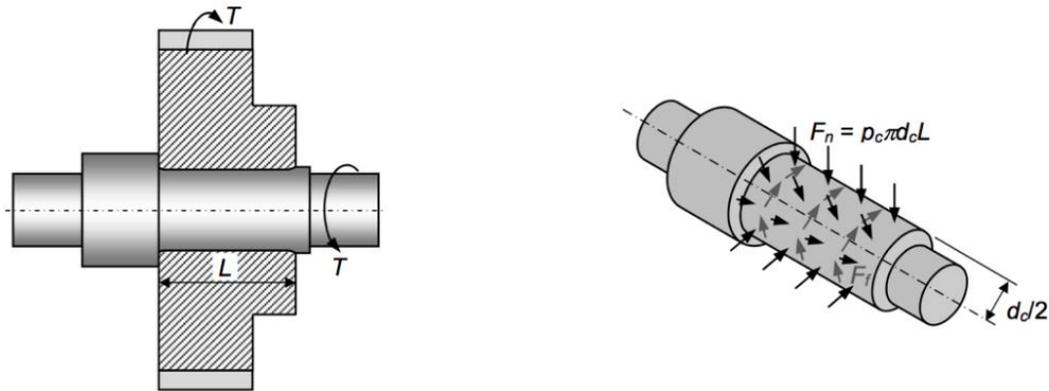


Figura 15 Fuerza de fricción, y par de torsión.

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

2.2.3.4 Montaje por diferencial de temperatura eje agujero.

Si se deseara disminuir la fuerza axial o prescindir de esta fuerza, en un montaje por interferencia, se puede calentar el agujero o enfriar el eje, también es válido cualquiera de los dos métodos de manera independiente. Al calentar la pieza externa, ésta se dilata (aumenta de tamaño).

Para encontrar el cambio de temperatura, $\Delta Temp$, al que se debe someter el eje o el agujero, para eliminar el aprieto, o disminuirlo cualquiera sea el caso requerido, considere la barra recta de la Figura 16 Dilatación en barras.. La dilatación (alargamiento) está dada por:

$$\delta = \alpha T L \Delta \text{Temp} \quad (15)$$

- αT Coeficiente de dilatación térmica.
- ($\alpha T = 0.0000126/^{\circ}\text{C}$ para el acero)
- L es la longitud (inicial)
- ΔTemp es el incremento de temperatura.

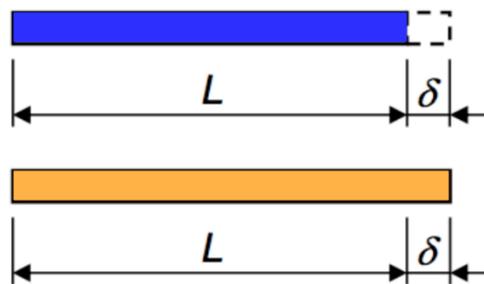


Figura 16 Dilatación en barras.

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

De la misma manera en cilindros, se puede asumir que es la unión de un número infinito de cilindros huecos de espesor infinitesimal, cada uno se dilata en orden a la ecuación (15). El cilindro mostrado en la Figura 17, tiene una longitud inicial dada por $L = \pi d$ y la longitud final expresada por:

$$L_f = \pi(d + \Delta d) \quad (16)$$

De la ecuación (15):

$$\delta = \alpha T (\pi d) \Delta \text{Temp}. \quad (17)$$

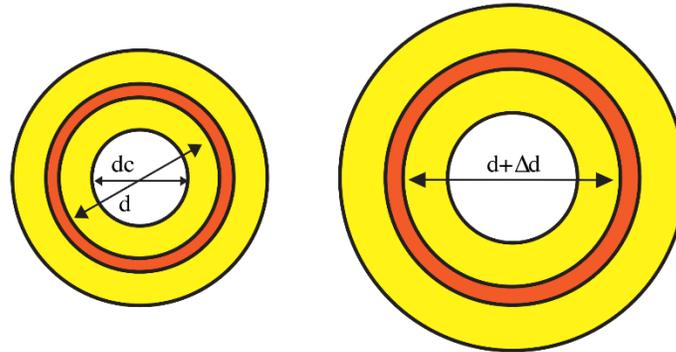


Figura 17 Dilatación térmica en cilindro hueco

Fuente: (Vanegas Useche Libardo, 2011)

Realizando relaciones y eliminando términos se tiene como expresión final:

$$\Delta T_{emp} \geq A_{pr} / (\alpha_T d_c) \quad (18)$$

Por lo tanto, para realizar un montaje sin requerir fuerza axial, se debe calentar el elemento externo o enfriar el elemento interno una cantidad ΔT_{emp} . Cuando se realiza el ajuste por interferencia, usando el método por diferencial de temperatura, al momento que el agujero y el eje lleguen a un estado de equilibrio térmico con la temperatura ambiente, el apriete obtenido no es deslizante, se asume que la unión en la superficie de contacto es aparentemente soldada.

2.3. MÁQUINA SIERRA LIMADORA.

La Limadora es una máquina herramienta para realizar procesos de maquinado por arranque de viruta donde el movimiento principal de corte se obtiene por desplazamiento de la herramienta, siendo conseguido el avance por el desplazamiento lateral de la pieza. (Steigert, 1964)

Una limadora consta esencialmente de los siguientes elementos: Un deslizadero portaherramientas animada de un movimiento rectilíneo alternativo, y una mesa de soporte de la pieza animada de un movimiento transversal horizontal de avance Figura 18. (Steigert, 1964)

La profundidad de pasada se obtiene por desplazamiento vertical de la herramienta, este desplazamiento puede utilizarse para el cepillado lateral, vertical u oblicuo, mediante la inclinación del portaherramienta. (Steigert, 1964). En la Figura 19, se puede observar el accionamiento por viene interior

El posicionamiento en altura, de acuerdo con las dimensiones de la pieza, se obtiene por el movimiento vertical de la mesa, accionado generalmente a mano. (Steigert, 1964)

La deslizadera se puede accionar de tres formas distintas:

- a) Por cremallera
- b) Por biela de retroceso rápido

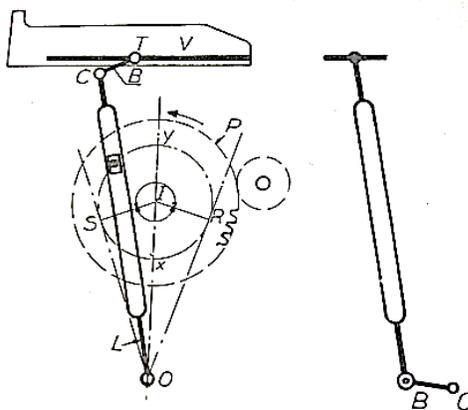


Figura 18. Sistema biela manivela interior de una limadora

Fuente: (Steigert, 1964)

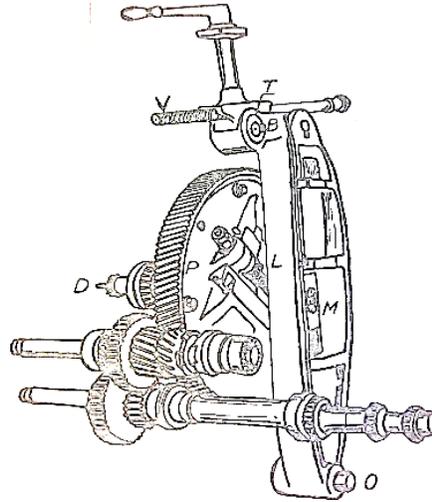


Figura 19 Accionamiento por biela interior de una limadora Hemdey

Fuente: (Steigert, 1964)

Los órganos principales de una limadora son:

2.3.1. El bastidor

Encierra en su interior los órganos de accionamiento y recibe en su parte superior la deslizadera portaherramientas y en su cara anterior la mesa y sus soportes correspondientes. (Steigert, 1964).

2.3.2. La deslizadera

Su movimiento rectilíneo sobre el bastidor está asegurado generalmente por guías en forma de cola de milano en las que se han previsto dispositivos de reajuste del juego. Lleva en su parte anterior el cabezal portaherramientas formado por una guía inclinable alrededor de un eje horizontal, un carro accionado por medio de husillo y tuerca, una placa intermedia que puede pivotar sobre este carro y permitir la separación de la herramienta durante el retroceso, una placa articulada sobre la que se fija la herramienta. (Steigert, 1964)

2.3.3. La mesa

La parte anterior del bastidor está provista de dos guías verticales sobre las que se ajusta una deslizadera que contiene a su vez una guía horizontal. Esta puede soportar directamente la mesa o bien una pieza intermedia deslizante de forma muy rígida llamada a veces coraza y sobre la cual se fija la mesa. (Steigert, 1964)

2.3.4. Lubricación

El engrase de las partes de la deslizadera que soportan esfuerzos de rozamiento se realiza por medio de una bomba provista de conductores necesarios para hacer llegar el aceite a los diferentes puntos de engrase. (Steigert, 1964)

2.3.5. Accesorios

Las piezas que mecanizar pueden fijarse directamente sobre la mesa con el uso de accesorios adicionales, como mordazas. (Steigert, 1964).

2.4. MÁQUINA MORTAJADORA.

El sistema de trabajo de estas máquinas es fundamentalmente el mismo que el de las limadoras; el movimiento de corte se obtiene por desplazamiento rectilíneo alternativo de la herramienta. Pero el desplazamiento en este tipo de máquinas es vertical, pudiendo ser incluso ligeramente oblicuo. Todos los otros movimientos: avances y profundidad de pasada, son dados exclusivamente a la pieza que se presenta en posición frontal a la herramienta. (Steigert, 1964) Ver Figura 20.

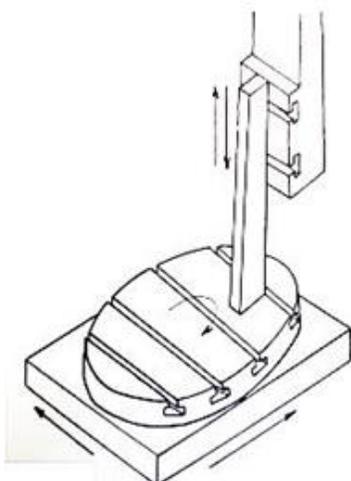


Figura 20 Máquina mortajadora

Fuente: (Steigert, 1964)

La pieza puede desplazarse en dos direcciones perpendiculares entre sí y puede igualmente girar alrededor de un eje vertical. Estos tres movimientos pueden obtenerse de forma mecánica o manual. (Steigert, 1964), como se pudo apreciar en la Figura 20.

2.4.1. Movimiento de la deslizadera

Se utilizan sistemas de biela interior, sistemas de cremallera y motor reversible y sistemas hidráulicos. (Steigert, 1964)

a) Accionamiento por biela. - Durante largo tiempo el accionamiento de la deslizadera se hizo exclusivamente por medio de rueda manivela a radio variable que imprimía el movimiento debido a la deslizadera a través de una biela intermedia. Sin embargo, al aumentar la cantidad de viruta producida que se exige en las mortajadoras modernas, éstas imponen un tipo movimiento de retroceso rápido, basado en las limadoras accionadas por biela interior. (Steigert, 1964)

b) Accionamiento por cremallera. - Este sistema se emplea en las mortajas de gran capacidad, tanto en longitud de carrera como en sección de viruta. (Steigert, 1964)

c) Accionamiento hidráulico. - Permite obtener velocidades de corte constantes durante la totalidad de la carrera, una variación continua de esta velocidad entre los límites extremos, y una regulación muy rápida de la longitud de la carrera por simples topes. (Steigert, 1964)

En la Figura 21, se pueden apreciar los elementos que componen una mortajadora marca Rockford.

- 1) Motor a velocidad constante.
- 2) Bomba hidráulica de caudal variable con regulación independiente para la carrera de trabajo y el retroceso.
- 3) Bomba de lubricación.
- 4) Depósito de aceite.
- 5) Válvula de control, accionada por válvula auxiliar y topes de la deslizadera o cabezal.
- 6) Cilindro solitario del bastidor.
- 7) Deslizadera.
- 8) Pistón solidario de la deslizadera.
- 9) Vástago del pistón.
- 10) Sujeción del vástago.
- 11) Cilindro de accionamiento de avances, el aceite a presión llega al cilindro en cada fin de carrera.
- 12) Manilla de regulación de avances.

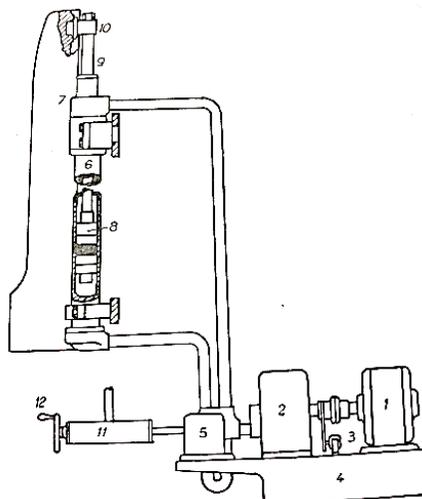


Figura 21 Accionamiento hidráulico de una mortajadora Rockford

Fuente: (Steigert, 1964)

2.4.2. Movimiento de avance

Se pueden conseguir tres movimientos de avance: dos movimientos perpendiculares entre sí en un plano horizontal y el movimiento de rotación de la mesa. Los dos primeros se obtienen mediante el sistema de husillo tuerca mientras que la rotación de la mesa por medio de rueda y tornillo sin fin. (Steigert, 1964)

Los órganos principales de una mortajadora son

El bastidor. - Frecuentemente formado por dos partes: bancada y montante.

La bancada. - provista de guías longitudinales, soporta un carro transversal, sobre el que desliza transversalmente el soporte de la mesa, pudiendo girar esta última sobre dicho soporte. El montaje de la mesa es análogo al de cualquier plato circular de una fresadora. (Steigert, 1964).

El montante. - soporta y guía la deslizadera. Su forma es de cuello de cisne a fin de permitir el paso de piezas de gran diámetro, que han de ser mecanizadas en su parte central. Las guías de la deslizadera tienen una longitud mayor, y esta última no trabaja nunca en voladizo. (Steigert, 1964)

Otras de las características de la máquina que se mencionan son:

- Carrera máxima: 160 mm.
- Reglaje vertical: 160 mm.
- Reglaje angular: 0 a 5° hacia adelante.
- Golpes por minuto: 42–58–87–126–186–270.
- 15 avances de 0.05 en 0.05 mm hasta 1 mm.
- Altura entre la mesa circular y el portaútil: 220 mm.
- Altura entre la mesa rectangular y el portaútil: 270 mm.
- Distancia entre la cara anterior del portaútil al montaje: 335 mm.
- Carrera longitudinal de la mesa: 295 mm.
- Carrera transversal de la mesa: 300 mm.
- Diámetro del plato circular: 320 mm.
- Sección máxima de los útiles: 16x20 mm.
- Relación entre la rueda y el sinfín del plato: 1/36

Estas características varían según el tipo de máquina, las características previamente mencionadas son de una máquina mortajadora estándar.

Deslizadera

Que puede presentar los siguientes aspectos:

- Deslizadera de guiado fijo, cuyo movimiento permanece siempre perpendicular a la mesa.
- Deslizadera con inclinación hacia adelante, que permite el mecanizado de superficies ligeramente oblicuas.
- Deslizadera inclinable lateralmente.

- Deslizadera fija o inclinable con giro del portaherramientas, que permite el cepillado circular.

2.4.3. Velocidad máxima en las limadoras con accionamiento por corredera lineal u oscilante

La velocidad se puede observar en la Figura 22 siendo en los puntos C y C1 la velocidad nula, y en el punto B la velocidad máxima, en la carrera de trabajo, o en el retroceso. En el punto A, la velocidad es uniforme.

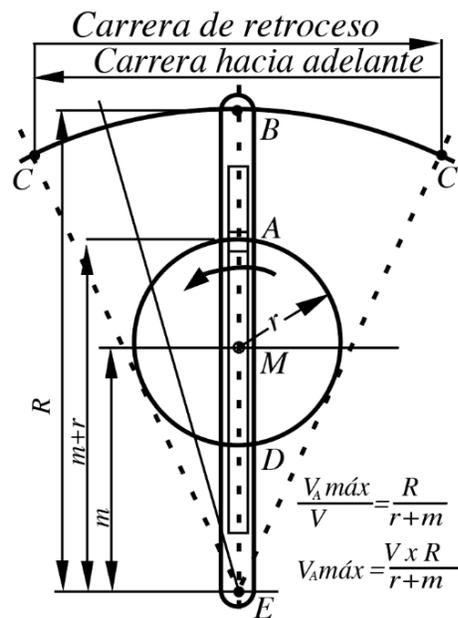


Figura 22 Mecanismo Mortajadora, corredera oscilante
Fuente: (Bartsch Walter)

Para la velocidad en el punto A.

$$v = \frac{2 \times r \times \pi \times n_D}{1000} \quad (19)$$

En la Figura 22, se observa las ecuaciones de velocidad, tomando la ley de proporcionalidad se obtiene:

$$\frac{v_{Amax}}{v} = \frac{R}{m+r} \qquad v_{Amax} = \frac{v \times R}{m+r} \qquad (20)$$

2.4.4. Potencia para el cepillado y mortajado

Tanto en el cepillado como en la mortajado las fuerzas y la potencia para arranque de viruta es el mismo, de igual manera las velocidades a utilizar, la ecuación para calcular la potencia requerida o necesaria está dada por la fórmula (21) tomadas de (Bartsch, 1978):

Se puede escribir de la siguiente manera:

$$P_{KW} = \frac{A \times k_s \times v}{102 \times 60 \times \eta} \qquad (21)$$

De donde:

- A es la sección de viruta en mm²
- k_s esfuerzo de corte específico en Kp o Mpa.
- v velocidad de corte en m/min
- η es el rendimiento para máquinas mortajadoras y cepilladoras siendo.
- Según (Bartsch, 1978) el rendimiento para máquinas mortajadoras y cepilladoras es el mismo que varía desde 0.65 a 0.85.

2.4.4.1. Fuerza de corte

Es la fuerza necesaria que la máquina necesita suministrar a la herramienta, para realizar cortes sobre la pieza a desbastar, permitiendo la operación de mortajado, una breve ilustración es apreciable en la Figura 23.

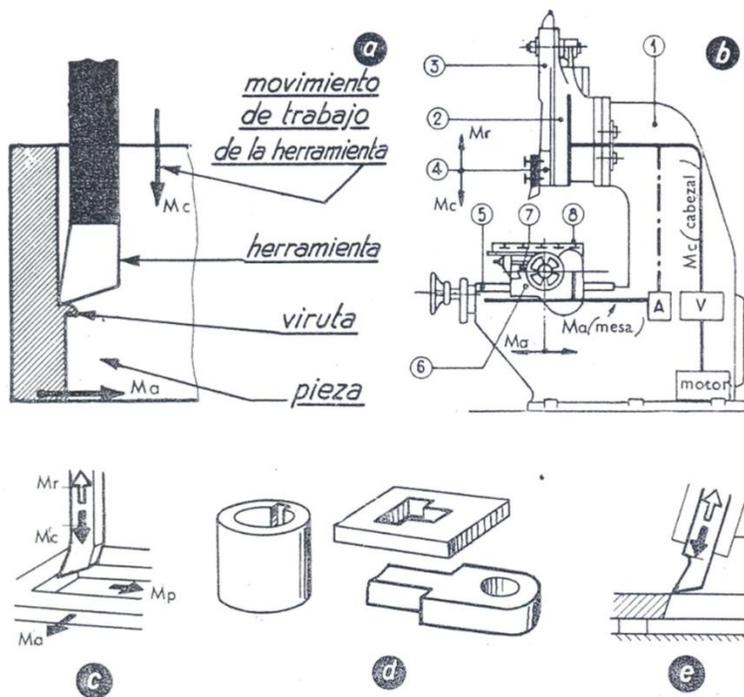


Figura 23 Parámetros y elementos presentes al momento de mortajar
Fuente: (Bartsch, 1978)

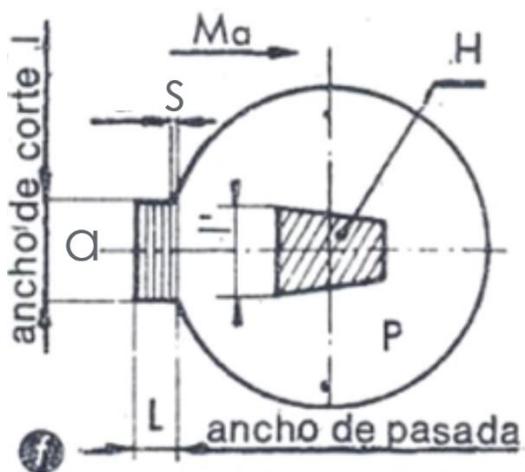


Figura 24 Parámetros corte mortajadora
Fuente: (Bartsch, 1978)

Esta fuerza de corte esta expresada por la siguiente ecuación:

$$F_{corte} = A \times k_s \quad (22)$$

- A es la sección de viruta en mm^2
- k_s esfuerzo de corte específico en Kp/mm^2 , o Mpa .

En la Figura 25 se puede observar la fuerza de corte que se opone al movimiento de la herramienta, esta fuerza es la magnitud que la máquina necesita vencer para desbastar el material, depende del área deseada de corte, y el esfuerzo de corte específico o esfuerzo a la tracción del material a desbastar, este dato está asociado con las propiedades mecánicas del material.

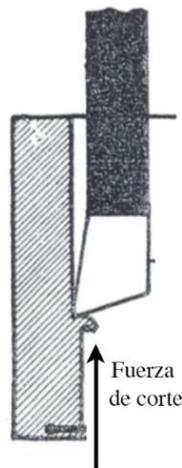


Figura 25 Fuerza de corte

El área de corte también conocido como sección de viruta viene expresado por la siguiente ecuación:

$$A = s \times a \quad (23)$$

- s =avance longitudinal.
- a = profundidad de corte

Al reemplazar la ecuación (23) en la ecuación (22) se puede obtener una expresión más general en función del avance y la profundidad de corte.

$$F_{corte} = s \times a \times k_s \quad (24)$$

Tanto los valores de avance (s), como de profundidad (a), tienen recomendaciones fundamentadas en investigaciones para poder realizar la operación de mortajado.

2.4.4.2. Esfuerzo de corte específico

El factor k_s , factor de corte específico se obtiene dependiendo del tipo de material, existen diferentes tipos de tablas, en el Anexo 1 se cita una tabla de donde se obtuvo valores de K_s dependiendo de la dureza del material a utilizar.

2.4.4.3. Velocidad de desbaste

Es la tasa de incremento de la carrera vertical u horizontal dependiendo del tipo de mortajadora con respecto al tiempo en minutos. En la Tabla 5 se mencionan las velocidades de desbaste recomendadas.

Tabla 5
Velocidades de corte recomendadas en m/min

VELOCIDADES DE CORTE EN M/MIN.			
MATERIAL A TRABAJAR	MATERIAL DE LA HERRAMIENTA		
	ACERO AL CARBONO	ACERO RÁPIDO	METAL DURO
Fundición	5 a 10	14	15 a 70
Fundición maleable		10	10 a 60

CONTINÚA 

Acero dulce (Kz=35 a 60 k/mm ²)	6 a 12	14	20 a 100
Acero semiduro			15 a 80
Acero moldeado	5 a 10	-----	-----
Acero duro (Kz=65 a 90 k/mm ²)	-----	10 a 12	10 a 60
Acero muy duro (Kz=90 a 120 k/mm ²)		8	
Bronce - Latón	10 a 20	-----	-----
Bronce	-----	-----	50 a 200
Latón - Cobre	-----	-----	50 a 350

Fuente: (Castro Guillermo, 2011)

2.4.4.4. Velocidad de Avance

De la experiencia de distintos autores, se mencionan que la velocidad de avance es importante en el trabajo de mortajado, debido a que del avance y de la velocidad de desbaste depende la fuerza

de corte, este tipo de velocidad se realiza de una manera arbitraria, está ligada al criterio del operador de la máquina, es necesario tomar en cuenta ciertos factores que se muestran a continuación, en la Tabla 6.

Tabla 6
Acabados Velocidades de desbaste y velocidad de avance

Fase de trabajo	v m/min	s mm/DH	n DH /min
Desbaste con ISO 1 Pasadas 1 y 2	18	0.6	90
Acabado con ISO 3	25	0.25	125
Acabado con ISO 5	22	0.25	110

Fuente: (Hons Appold, 1982)

Existe una relación entre la velocidad de avance y la velocidad de desbaste, esta relación se encuentra resumida en la Tabla 7.

Tabla 7
Velocidad de desbaste, velocidad de avance

Fase de trabajo	v m/min	s mm/DH	n DH /min
Una pasada de acabado cada una ISO 5	25	0.25	125

Fuente: (Hons Appold, 1982)

La Tabla 7 da una breve reseña de la forma de configurar tanto la carrera del herramental como el avance de la pieza, esta tabla es útil para limadoras y mortajadoras, es decir si la herramienta es de acero rápido, la configuración de una carrera de 25m/min y un avance de 0.25mm/DH es adecuada, la profundidad de corte varía según los requerimientos del operador.

2.5. COMPONENTES MECÁNICOS

2.5.1. Sistemas de Transmisión de Potencia

2.5.1.1. Tornillo de Bolas

Un tornillo de bolas o ball screw, es un componente mecánico que se le puede denominar como actuador lineal mecánico, el cual permite convertir un movimiento de rotación en movimiento lineal con poca fricción, permitiendo de esta manera un resultado de avance más preciso y exacto que un sistema tornillo-tuerca, un ejemplo se puede observar en la Figura 26.



Figura 26 Ball Screw
Fuente: (MecParts, 2013)

2.5.1.2. Tornillo de Potencia

Utilizado para convertir un movimiento rotacional a su proporcional lineal debido a una fuente manual o un motor como se puede apreciar en la Figura 27.



Figura 27 Tornillo de Potencia

Fuente: (Rolled Threads Unlimited, 2014)

2.5.1.3. Sistemas de banda de transmisión

Los sistemas de transmisión por poleas algunas de sus principales funciones son: la reducción o el incremento de velocidad, entre el motor y la pieza conducida.

Es uno de los más económicos sistemas de transmisión. Aunque su eficiencia depende de la tensión; alineación; longitud.



Figura 28 Sistemas de transmisión por poleas

Fuente: (García & Vanegas Useche, 2010)

2.5.1.4. Acoplamientos

Los acoplamientos mecanismos de transmisión de potencia puede realizar entre un eje motriz concéntrico. Elementos de máquinas generalmente se utilizan también como prolongaciones de

líneas de transmisión, conectar tramos de diferentes ejes, en planos diferentes o con dirección paralela, para transmitir energía.



Figura 29 Acoplamientos Elásticos

Fuente: (Lovejoy, 2014)

2.5.2. Elementos de fijación

Tanto la mortajadora como el elemento que se va a desbastar se encuentran sometidos a diferentes fuerzas durante el proceso de mecanizado, es por esta razón que es necesario y vital garantizar un óptimo sistema de fijación. Estas partes cumplen con normas internacionales, como por ejemplo, las normas ANSI (American National Standards Institute) y DIN (Deutsches Institut für Normung) para los pernos y roscas, entre otras.

Las sujeciones están garantizadas por elementos que impiden el movimiento de la pieza respecto de el bando de trabajo mediante del aplastamiento, fricción, aplastamiento, etc.

Para la operación de mortajado el uso frecuente de sujeción son los siguientes:

- Mordaza de sujeción.
- Bridas de sujeción.
- Aparato divisor.
- Mesa giratoria.

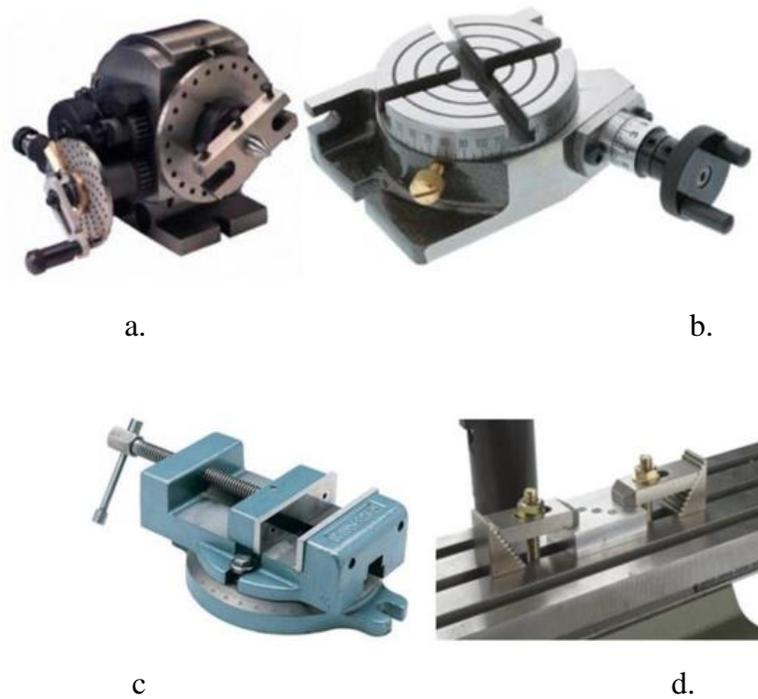


Figura 30 a) Mordaza de sujeción b. Mesa Giratoria c. Mordaza de sujeción d. Bridas de sujeción
Fuente: (DMYH, 2014)

2.6. COMPONENTES ELÉCTRICOS

Los componentes eléctricos que serán necesarios para el correcto funcionamiento del presente proyecto se pueden apreciar en la Figura 31 un esquema del proyecto:

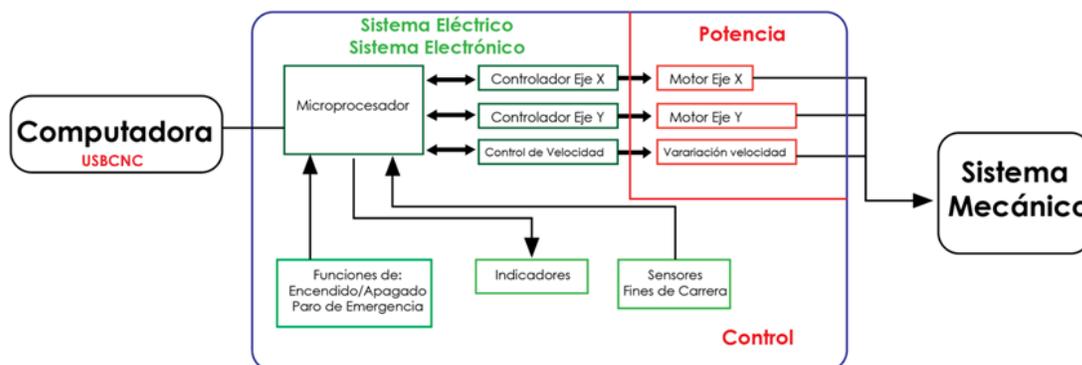


Figura 31 Esquema Eléctrico Electrónico, Potencia, y Control.

2.6.1. Tarjetas Controladoras

Este tipo de tarjetas constituyen un medio de comunicación entre el computador y todos los elementos eléctricos, electrónicos y de potencia de la máquina CNC, debido a realizar tareas de interfaz entre el computador y los sistemas eléctricos electrónicos, permite traducir el lenguaje del computador en señales de control, de la misma forma permite aislar todo el sistema de la computadora de cualquier problema eléctrico que puede incurrir en daños graves al sistema de la PC.

2.6.1.1. Parallel CNC Breakout Board

Son de las primeras versiones de las tarjetas de este tipo se usan generalmente con puerto paralelo, en la actualidad la mayoría inclusive todas las computadoras de fábrica ya no se produce el puerto paralelo, debido a que todo se transmite por el puerto USB, una tarjeta de este tipo usa el puerto paralelo de la PC como el medio para transformar o convertir la información que envía la computadora en señales para el sistema de accionamiento de máquina sean estas acciones como movimientos paros de emergencia, o movimientos automáticos. Figura 32 Parallel CNC Breakout Board Este tipo de tarjeta es fácil de adquirir de la misma manera es conveniente en su precio.

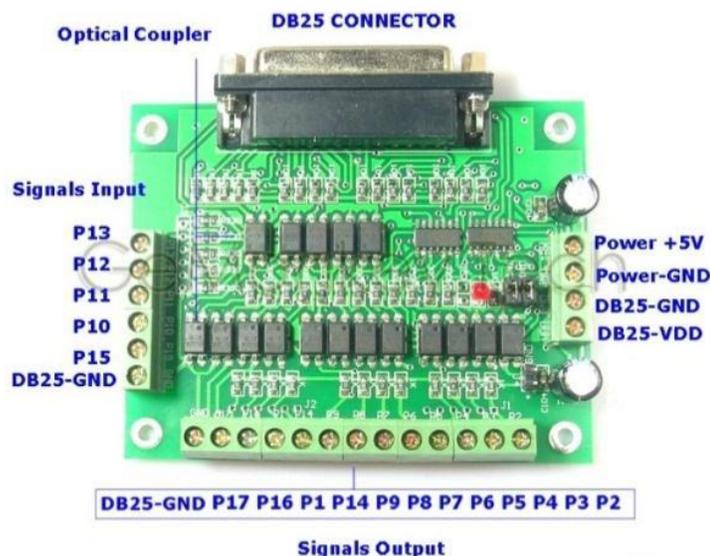


Figura 32 Parallel CNC Breakout Board

Fuente: (Digital Playground, 2013)

Debido a ser unas de las primeras versiones lanzadas al mercado, presenta algunos tipos de limitaciones, como velocidad de transmisión, número de salidas, número de entradas, control PWM, para el buen desarrollo del proyecto existen en el mercado actual mejores versiones de la tarjeta mencionada, las cuales satisfacen ciertas carencias mencionadas previamente.

2.6.1.2.CNC USBCNCV4.0 Controller

USBCNCV4.0 es una tarjeta de alto rendimiento, la cual permite el control de movimiento que basa en el software de PC, este sistema puede completar la conversión del código G, permitiendo de esta manera enviar las señales de control del movimiento del motor sin necesidad de ningún hardware o software adicional. Este tipo de tarjeta de control es muy amigable ya que es compatible con la mayoría de motores sean paso a paso o servos.

La USBCNCV4.0 tiene su propio HMI, el mismo que permite utilizar las funcionalidades de la tarjeta, así mismo esta tarjeta es compatible con otros tipos de software como es Mach.

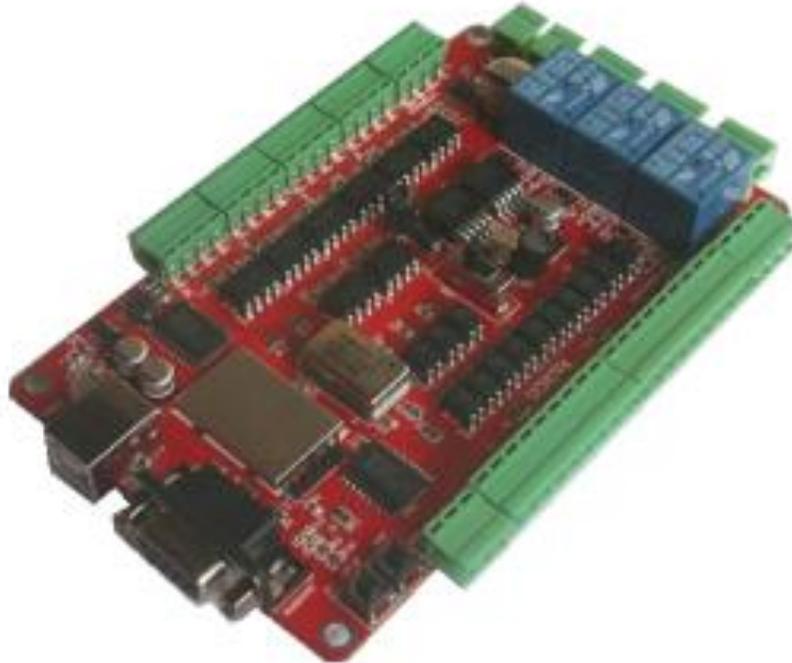


Figura 33 Tarjeta USBCNC 4.0
Fuente: (Changzhou RATT Motor Co., 2013)

2.6.2. Actuadores eléctricos

Son aquellos actuadores que utilizan una fuente eléctrica para realizar un trabajo mecánico. Existen muchas aplicaciones en las cuales se utilizan este tipo de actuadores, debido a su controlabilidad.

2.6.2.1.MOTORES AC:

También conocidos como jaula de ardilla, son motores de inducción, ya que funcionan a través de un campo magnético que se produce e induce el estator, debido a una corriente de carga trifásica, esta corriente se calcula como se puede observar en la ecuación (25). La relación entre la velocidad real y la velocidad de sincronismo es conocida como deslizamiento.

Estos motores son muy usados en la industria debido a su variedad en el mercado, gran potencia, fácil obtención, y sencillo mantenimiento.

$$n_{sinc} = 120 \times \frac{f}{p} \quad (25)$$

$$n = (1 - s) \times N_{sinc} \quad (26)$$



Figura 34 Motor tipo jaula de ardilla

Fuente: (Irvin System, 2016)

2.6.2.2. Servomotor

Conocido también como servo, este tipo de motor tiene la capacidad de ubicarse en una posición determinada, dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en la posición indicada, tiene la posibilidad de ser controlado por tanto en posición como en la velocidad



Figura 35 Servomotor asíncrono AC

Fuente: (Kollormorgen, 2013)

2.6.2.3.Motores paso a paso.

Este tipo de motores son muy usados en la construcción de mecanismos en los cuales se requieran movimientos precisos. La principal característica de este tipo de motores es poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Si se agrega más características de este tipo de motor es que el mismo tiene la capacidad de quedar enclavados en la posición requerida o bien totalmente libres. Cuando existe una corriente circulando por una o más bobinas en el motor este quedará enclavado, y si no existiere una energización de bobinas en el motor este se encuentra libre.



Figura 36 Motor a paso Nema 17
Fuente: (Automation Technologies, 2012)

2.6.3. DRIVERS

2.6.3.1.STTEPER CONTROLLER

Es un tipo de controlador el cual por medio de la regulación de micropulsos permite controlar la velocidad de un motor a pasos. Debido a que este tipo de driver permiten controlar o regular la corriente que entrega al motor. Las máquinas industriales generan el requerimiento de altas cantidades de amperios la máquina propuesta requiere alrededor de 4A-5A, el driver propuesto se puede apreciar en la Figura 37 Driver 4A.



Figura 37 Driver 4A

Fuente: (Automation Technologies, 2012)

A menudo las entradas de este driver son señales de 0 a 20mA que son generadas por la placa previamente mencionada la misma que realizará las diferentes operaciones de control.

Es importante tomar en cuenta que, para seleccionar un driver, se debe tomar en cuenta la corriente del motor que se pretende controlar.

2.6.3.2. Variador de Frecuencia.

Conocido como VDF por sus siglas, destinado al manejo de motores de corriente alterna.



Figura 38 Variador de frecuencia VDF.

Fuente: (Schneider-Electric, 2016)

2.6.4. Sensor Micro-switch

También conocido como final de carrera, este tipo de sensores son de precisión, internamente conformados por un resorte y un set de contactos que convierten la energía mecánica por la compresión del resorte en señales eléctricas de activación o desactivación dependiendo del uso.

Comúnmente son muy usados debido a tres características muy comunes en el mercado, bajo costo, y alta resistencia y durabilidad.



Figura 39 Microswitch

Fuente: (Honeywell, 2014)

2.7. CONTROL NUMÉRICO POR COMPUTADORA

Control Numérico por Computadora, CNC por sus siglas en inglés (Computer numerical control), es un sistema de automatización de maquinaria que tiene una diferencia con el manejo de máquinas de manera convencional o manual, un sistema computacional controla la velocidad, posición de motores que regulan los ejes de una determinada máquina. Permitiendo de esta manera, realizar movimientos con tal precisión que manualmente es muy difícil hasta imposible en ciertos casos, como son: líneas diagonales, círculos, figuras complejas tridimensionales.

Una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo, de una manera autónoma, una vez realizado la programación, o la secuencia de instrucciones, las operaciones se

ejecuten con una necesidad parcial o nula de un operador, dando cabida a mejor exactitud y mejor aprovechamiento del tiempo, abriendo campo a procesos más productivos, un ejemplo de control número se puede observar en la Figura 40.

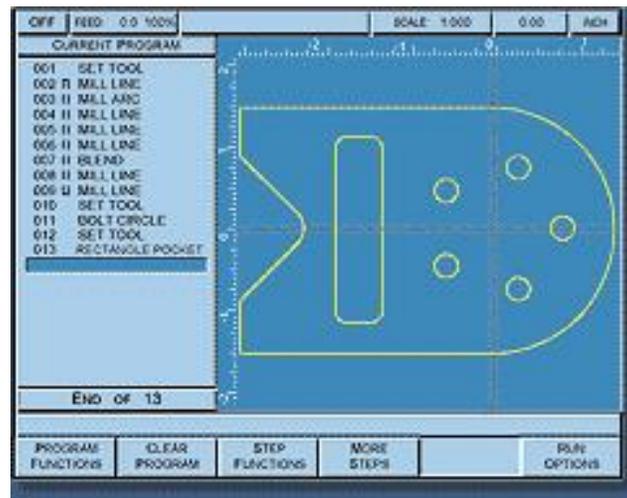


Figura 40 Ejemplo código G.

Fuente: (Escalona, (2015))

Un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar desde una simple ranura hasta complejas estructuras geométricas en tres dimensiones.

El término "control numérico" quiere decir que las órdenes dadas a la máquina son realizadas a través de códigos numéricos, o los bien llamados códigos G.

2.7.1. Funcionamiento de una máquina CNC

Debido al movimiento relativo de entre el material a mecanizar y la herramienta de corte es posible el proceso de arranque de viruta. Los sistemas CNC fueron y están diseñados para ejecutar acciones de control sobre movimientos entre la herramienta de corte y el material a desbastar, estas instrucciones son realizadas por una computadora mediante un software informático, el cual

interpreta un número determinado de líneas de código para transformarle en secuencia de movimiento a los motores, es por este motivo que se denomina CNC al control numérico por computador, en sus siglas en inglés (Computer Numerical Control).

2.7.2. Software

2.7.2.1. Controlador GRLB

Es un software de código G para maquinaria CNC, de poca presencia en la industria, de bajo desarrollo, carece de muchas características deseadas. Su interfaz gráfica es amigable con el usuario debido a su sencillez, en la Figura 41, se puede observar.

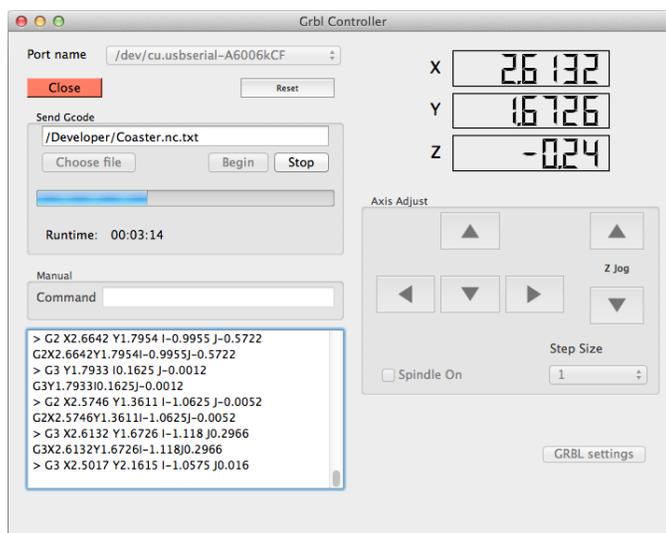


Figura 41 GRBL Controller

Fuente: (Zampaker, 2013)

2.7.2.2. USBCNC Controller

Mediamente usado en la industria, muy versátil y fácil de utilizar debido a que su interfaz no es compleja, presenta ayuda para el usuario, a cada momento en ejecutar el programa.

Existe dos maneras de trabajar, programación manual y automática, lee archivos en distintas extensiones como: DXF, BMP, JPG, permitiendo al usuario realizar la pieza de manera automática

a partir del dibujo de la pieza a realizar, así mismo el usuario puede ingresar sentencia de programación de manera manual.

Tiene su propia tarjeta del mismo nombre USBCNC sirve de enlace o comunicación entre el sistema a controlar y la PC. Muy accesible y fácil de conseguir, visible en la Figura 42.

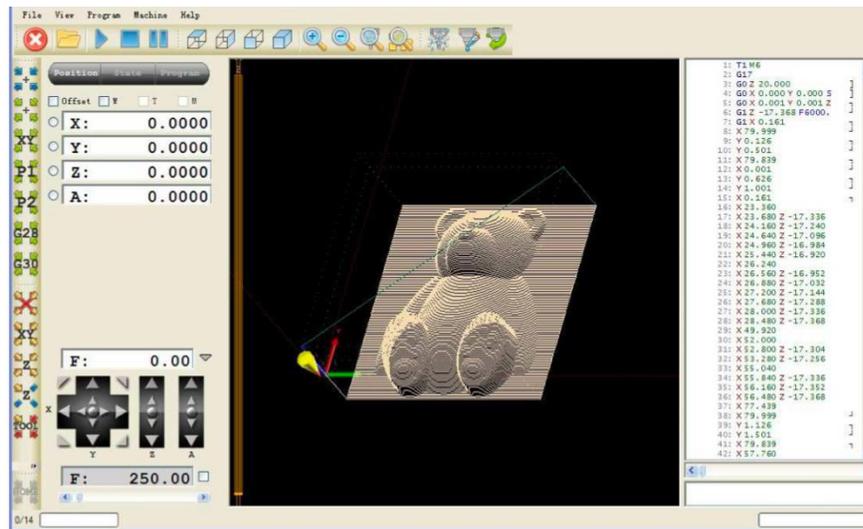


Figura 42 USBCNC V.4

Fuente: (Changzhou RATT Motor Co., 2013, pág. 30)

2.7.2.3.Mach3

Uno de los más completos de los softwares de código G, que existente en el mercado es MACH3 este software permite la comunicación y el control de una máquina CNC mediante una computadora de escritorio o personal.

Entre sus características existen herramientas avanzadas de configuración como es la velocidad y aceleración máxima de cada motor es decir independiente uno del otro, da cabida también a la importación de archivos tipo DXF, BMP, JPG, por esta razón es muy usada en la industria y en proyectos de investigación como es este caso., un ejemplo de cómo se observa su interfaz se puede verificar a continuación en la Figura 43.

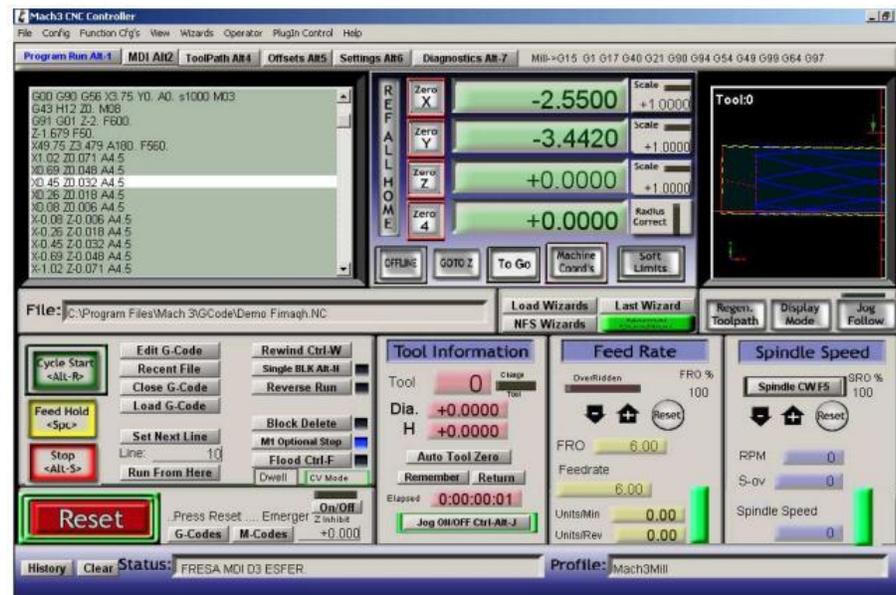


Figura 43 Pantalla de inicio MACH 3

Fuente: (Aerobarbarians Group, 2008)

2.7.3. Ventajas del Sistema CNC

En la actualidad las ventajas de las máquinas CNC en comparación a las convenciones son muchas, debido a la automatización del sector industrial, algunas de ellas y las más importantes se pueden mencionar a continuación.

- Reducción de tiempo de ciclos de operación.
- Ahorro en costos de preparación.
- Reducción de porcentaje de piezas defectuosas.
- Mayor seguridad del operador.
- Disminución de costos por desgaste de la herramienta.
- Mayor productividad.
- Menores márgenes de error.

- Menor desperdicio de material.
- Mejor acabado.

2.7.4. Desventajas del Sistema CNC

- Máquinas sumamente costosas.
- Conocimiento de herramientas CAD y CAM.
- Mayores costos de mantenimiento.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO

En el presente capítulo se presenta y detalla el estado inicial de la máquina sierra limadora perteneciente al laboratorio de procesos de manufactura de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, se numera tanto el sistema eléctrico como mecánico, de igual manera las descripciones técnicas, dadas por el fabricante. También se explica el proceso de obtención de la matriz de la calidad, la cual es de vital importancia para poder establecer las necesidades del usuario y poder fijarlas de manera secuencial. Con los valores obtenidos se presentan las prioridades de diseño para poder dar una solución óptima a cada requerimiento.

3.1 ESTADO INICIAL DE LA MÁQUINA

3.1.1 Objeto y Posibilidades de la Máquina

La máquina Sierra Limadora Rockwell N.º 21105, creada en Inglaterra alrededor del año 1970, actualmente se encuentra descontinuada, tanto el sistema eléctrico como el sistema mecánico, se muestra una breve descripción del funcionamiento en la Figura 1, dichas funciones se mencionan a continuación.

- Encendido principal por perilla.
- Encendido y apagado de emergencia de pedal.
- Mesa mecánica.

3.1.2. Especificaciones técnicas Máquina de Sierra Limadora Rockwell.

En la Tabla 8 y la **Tabla 9**, se detallan las especificaciones técnicas de la máquina sierra limadora, obtenidas previo a una inspección visual de todos los componentes que la conforman, dichas especificaciones son separadas en subsistemas tanto mecánico como eléctrico.

Tabla 8

Estado Mecánico de la Máquina Sierra Limadora

SISTEMA MECÁNICO	
TRANSMISIÓN	Poleas por correas
TRANSFORMACIÓN MOVIMIENTO	Cuatro Barras a movimiento lineal
CORTE	Eje guía, porta herramientas para cuchillas
BANCADA	Fija
CAMBIO DE VELOCIDADES	Palanca que cambia la carrera entre 100m/min a 70m/min
CAMBIO DE CARRERA	Carrera máxima 4 pulg. (101.6mm) carrera mínima 0.25 pulg (6.35mm)

Tabla 9

Estado Eléctrico de la Máquina Sierra Limadora

SISTEMA ELÉCTRICO	
VOLTAJE	220-380 [V] trifásico
PUESTA EN MARCHA	Switch trifásico 220V. de 2 estados

CONTINÚA 

MOTOR MARCA MODELO	Bauknecht VDE0530/72
POTENCIA DEL MOTOR	0,55 Kw-0.75HP.
FRECUENCIA	60-50 [Hz]
VELOCIDAD	920 RPM

Previo a la obtención de la Tabla 8 y la Tabla 9, a continuación, se muestra un detalle visual del estado actual de la máquina sierra limadora, describiendo tanto el sistema mecánico como eléctrico.

3.1.2.1 Parte Mecánica

En la Tabla 10, se define el sistema mecánico actual de la máquina sierra limadora, sus componentes y el mecanismo que gobierna el movimiento de la máquina.

Tabla 10

Funcionamiento del sistema mecánico

Número	Descripción	Función
1	Poleas 	Transmisión de Movimiento del motor a mecanismo principal, a través de un sistema de poleas.

CONTINÚA 

2	<p>Palanca de cambio de altura y Volante de inercia.</p> 	<p>Palanca para cambio de longitud de carrera variable a criterio del operador, volante de inercia.</p>
3	<p>Mecanismo de cuatro barras</p> 	<p>Sistema de cuatro barras cambio de movimiento rotacional a lineal</p>
4	<p>Cambio de velocidad</p>  	<p>Variación de velocidad por palanca, que modifica la relación de transmisión del motor al sistema de poleas debido a un resorte colocado en el eje de la polea uno.</p>

CONTINÚA 

5	<p>Brazo para limado</p> 	<p>Brazo para limar o realizar el trabajo de corte de madera.</p>
---	--	---

3.1.2.2 Parte Eléctrica

De igual manera como se realizó con la parte mecánica en la Tabla 11 se describe todos los componentes eléctricos que conforman parte del funcionamiento de la máquina sierra limadora, el accionamiento eléctrico permite la puesta en marcha general de dicha máquina.

Tabla 11
Funcionamiento del sistema eléctrico

Número	Descripción	Función
1	<p>Switch.</p> 	<p>Encendido general switch trifásico de dos estados, conectado a borneras y a transformador 220 a 550V.</p>

CONTINÚA 

2	<p>Pedal.</p> 	<p>Un pedal de cambio de conexión estrella a delta, para encendido o apagado del motor, funciona también como paro de emergencia.</p>
3	<p>Motor trifásico 220 V AC</p> 	<p>Configuración para la Conexión de motor y estado del motor.</p>

3.1.3. Especificaciones técnicas mesa de coordenadas manual (X,Y).

Es importante verificar las características de la mesa de trabajo existente en el laboratorio de procesos de manufactura, en la Tabla 12, se puede observar los atributos de la mesa.

Tabla 12

Mesa de trabajo Vertex

PARÁMETRO	CARACTERÍSTICA
MÁXIMO ALCANCE (X)	400 mm
MÁXIMO ALCANCE (Y)	600 mm
APRECIACIÓN	0.05 mm

CONTINÚA 

MEDIDAS	500x650x230 (mm)
Material	Hierro Fundido

Debido a que se proporciona la mesa de trabajo por el mismo laboratorio, es necesario verificar, si existe la posibilidad de adecuar a la bancada de la máquina sierra limadora y establecer parámetros u operaciones de adecuación.

3.1.4. Funcionamiento general

Una vez realizada la inspección visual completa de la máquina sierra limadora, se pudo tabular cada uno de sus componentes y la función que cumplen, con la información obtenido se realiza un esquema completo del funcionamiento general de la máquina sierra limadora, véase en la Figura 44.

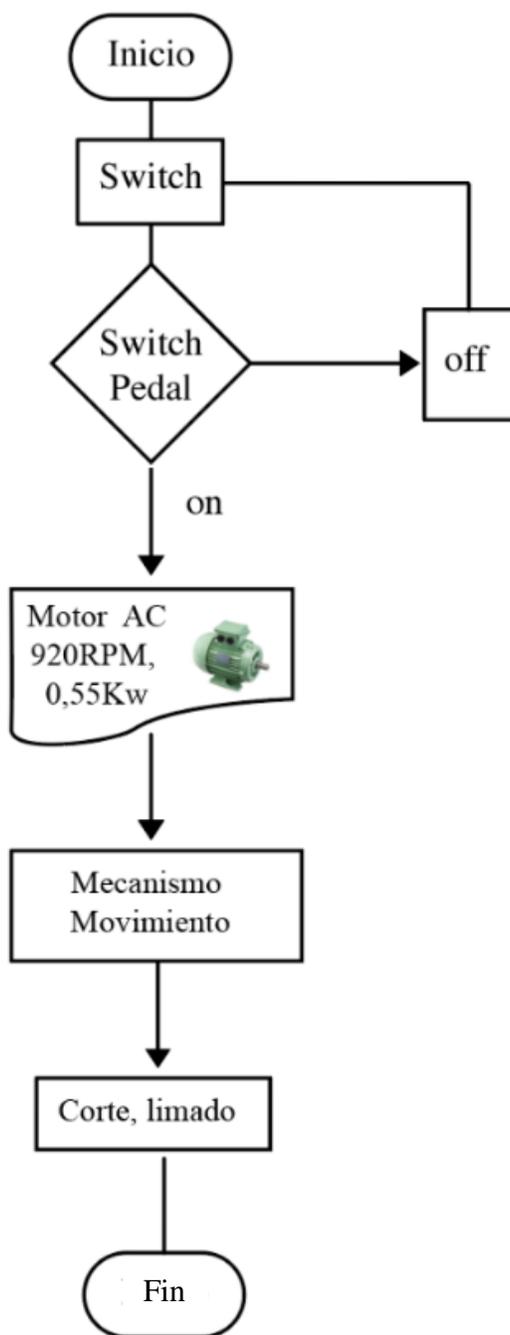


Figura 44 Sistema de funcionamiento.

3.2. MATRIZ DE LA CALIDAD

Es una matriz que permite convertir los requerimientos del usuario en características técnicas de diseño, cuantificables para el ejecutor de un proyecto determinado. La matriz de calidad da lugar al desarrollo de una metodología, para la resolución del problema, permitiendo que los resultados se puedan ponderar para establecer prioridades.

3.2.1 Necesidades

Las necesidades son los requerimientos del usuario o el cliente que generalmente son expresados en forma de criterios subjetivos, los mismos son importantes para iniciar con la matriz de calidad, para más adelante identificar todas las especificaciones funcionales que el sistema, equipo o servicio debe cumplir. Las necesidades para el desarrollo del presente proyecto se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13

Requerimientos del usuario.

N.º	REQUERIMIENTOS
1	Transformar de máquina sierra limadora a mortajadora CNC.
2	Aumento de la altura de trabajo para herramienta de mortajar, en 200 mm.
3	Fácil cambio de herramienta.
4	Cambio de mesa con movimientos automáticos
5	Avance regulable
6	Medir el área de trabajo óptimo, con la mesa establecida

CONTINÚA 

7	Precisión
8	Visualizar movimientos
9	Velocidad de desbaste controlable

3.2.2 Características Técnicas

Previo a la obtención de las necesidades del usuario, las mismas que permiten obtener las características técnicas, son la traducción de dichas necesidades en criterios más formales y objetivos, dando la posibilidad de ser cuantificados y correlacionados, para de esta manera elaborar un correcto y eficiente diseño.

En la siguiente Tabla 14, se menciona las características técnicas del presente proyecto.

Tabla 14
Características Técnicas

N.º	REQUERIMIENTOS
1	Diseñar sistema mortajadora a partir de una máquina sierra limadora.
2	Aumentar tamaño de eje principal en 200mm, y refuerzo de brazo mortajadora
3	Portaherramienta y herramienta de fácil manejo y cambio
4	Mesa automática movimientos pre programados en los ejes x e y
5	Avance velocidad de ejes x e y, regulables desde un computador
6	Disponer el área útil de trabajo, sensorizar y delimitar los alcances máximos en el eje x e y.

CONTINÚA 

7	Precisión nominal de 0.1mm, chaveteros de 5mm a 25.4mm
8	Visualización de todos los parámetros de corte trayectoria y velocidad en un HMI (pantalla de computador)
9	Control eléctrico, variar velocidad de mortajado desde computador.

3.2.3 QFD.

El despliegue de la función de calidad (o QFD, por sus siglas inglesas) es un método de diseño de productos y servicios, que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce en pasos sucesivos, a características técnicas y operativas satisfactorias (Yacuzzi & Martín, 2004).

En la figura Figura 45, se observa el resultado de la elaboración de la matriz QFD, para el presente proyecto y en la Tabla 15, se tabulan los datos obtenidos de la matriz de calidad para un mejor entendimiento de los mismos, con estos datos y resultados se puede establecer un orden dependiendo de la importancia de cada requisito para de esta manera facilitar la planeación y resolución del proyecto.

Título: LA CASA DE LA CALIDAD
 Autor: CARLOS EDUARDO DUQUE MARTINEZ
 Fecha: 24/12/2017

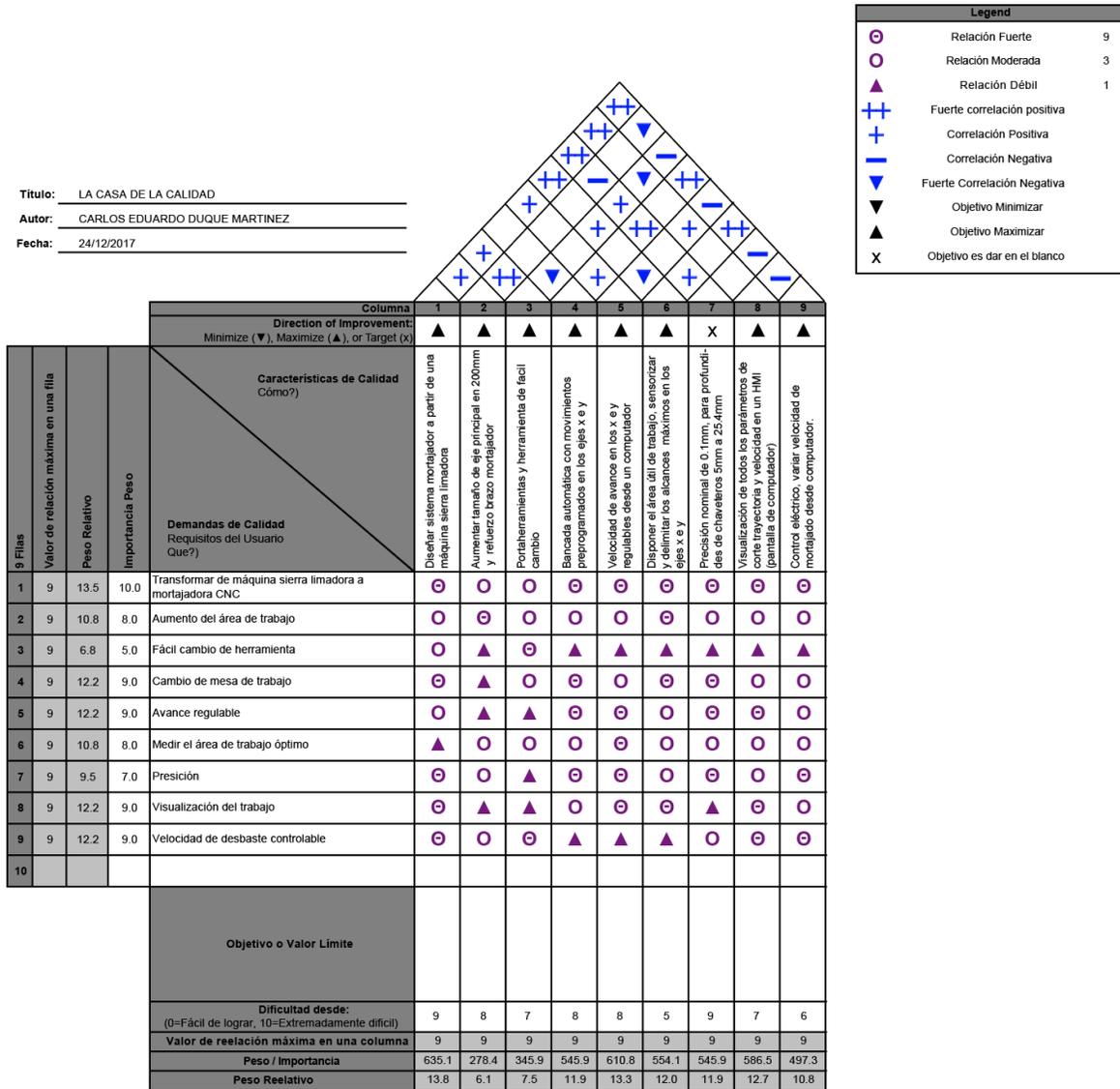


Figura 45 Matriz QFD para el diseño de un mecanismo mortajador a partir de una máquina sierra limadora

Tabla 15*Resultados de la matriz QFD.*

REQUISITOS		PONDERACIÓN PORCENTUAL
1	Diseñar un sistema mortajador a partir de una máquina sierra limadora	13.8
2	Velocidad de avance en los x e y regulables desde un computador	13.3
3	Velocidad de avance en los x e y regulables desde un computador	12.7
4	Disponer el área útil de trabajo, delimitar los alcances máximos en los ejes x e y colocar sensores finales.	12
5	Mesa automática con movimientos preprogramados en los ejes x e y	11.9
6	Precisión nominal de 0.1mm, chaveteros de 10mm a 25.4mm profundidad	11.9
7	Control eléctrico, variar velocidad de mortajado desde computador.	10.8
8	Portaherramientas y herramienta de fácil cambio	7.5
9	Aumentar tamaño de eje principal y refuerzo brazo mortajador	6.1

3.2.4 Factibilidad y Planeación

Los resultados de la matriz QFD, se unirán las características técnicas de operabilidad de tal manera que cumplan una función en común, dando lugar a la estructura funcional del presente proyecto esto permitirá cumplir y satisfacer todos los requerimientos del usuario, en la Tabla 16 se puede observar dicha agrupación.

Tabla 16
Agrupación de Subsistemas

SUBSISTEMAS O MÓDULOS		FUNCIONES		HITOS POR CUMPLIR
1	Brazo mortajador	Dimensionamiento de fuerzas disponibles en la máquina sierra limadora, prolongación del brazo para aumentar el área de trabajo de mortajado, reforzar brazo mortajador, diseño de portaherramienta de fácil manejo y versátil cambio de herramienta, dimensionamiento de la máquina mortajadora CNC.		8, 9, 4
2	Automatización	Control de velocidad y posición en los ejes x e y, dimensionamiento de motores y acoples, implementar control CNC, selección de tarjeta a ocupar, selección de software con HMI amigable con el		1,2,3,5,6

CONTINÚA 

		usuario para observar los parámetros en el trabajo, precisión, área útil de trabajo	
3	Control de Potencia	Circuito de potencia Sistema de potencia AC, control de velocidad del motor trifásico.	7

3.2.4.1 Estructura Funcional

La estructura funcional del sistema parte de los requerimientos del usuario y de las especificaciones técnicas, como se pudo apreciar a partir de la Tabla 16, se puede resumir en una tabla final como estructura funcional para el presente proyecto, en la Tabla 17.

Tabla 17

Estructura Funcional

Módulo	Funciones
Brazo mortajador	Dimensionar máquina, Aumentar área de incidencia, reforzar brazo mortajador, diseño versátil y flexible de porta herramienta
Automatización	Dimensionamiento motores DC, acoples, selección tarjeta de control, selección software e interfaz gráfica HMI, control de velocidad y de posicionamiento.
Control AC o de potencia	Control de encendido general del sistema, control de velocidad del motor trifásico AC,

CONTINÚA 

	comunicación entre sistema electrónico y eléctrico.
--	---

3.3 DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Una vez obtenido la estructura funcional se procede con el diseño preliminar, para lo cual es importante tomar en cuenta los sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos, que conformarán parte del diseño final, para lo cual se elabora cuadros comparativos y tablas de valoración, para establecer una correcta decisión, que permita la transformación de una máquina sierra limadora a una máquina mortajadora CNC.

Las tablas de valoración son realizadas a partir de una comparación entre las diferentes opciones de diseño. Estas tablas comparativas mencionan diferentes características a tomar en cuenta dependiendo de la función que cumplan, posteriormente dichos parámetros se tabulan en una tabla de valoración que nos permite realizar una ponderación, teniendo como máximo un valor del 100% y mínimo 0% la suma individual de cada parámetro en total es 100%, el valor tiene una escala de prioridad del 1 al 10 siendo 1 el mínimo de prioridad y 10 máximo de prioridad, el valor porcentual es la multiplicación de la ponderación por el valor de cada parámetro:

Ponderación:

$$\sum_{i=1}^n 1 = n \quad (27)$$

Para cada valor de i una ponderación, si la suma total n será 100%.

Valor.

El valor tiene un rango de 1 al 10.

Valor 1 al 4 Baja.

Valor de 5 a 7 Media

Valor de 8 a 10 Alta

Valor Porcentual

La manera de cómo obtener el valor porcentual se menciona a continuación.

$$\text{Valor porcentual} = \frac{\text{Ponderación} \times \text{Valor}}{100} \quad (28)$$

3.3.1 Módulo Brazo Mortajador

3.3.1.1 Sistemas aumento de altura eje.

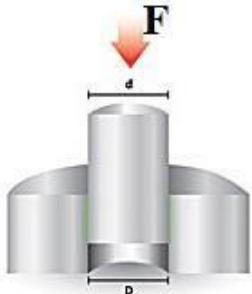
Existen diferentes métodos que permiten realizar el aumento longitudinal al eje mortajador, estos métodos se mencionan en la Tabla 18, dicha tabla permite hacer una comparación entre los distintos parámetros de cada método.

Tabla 18

Tabla comparativa aumento eje

	SOLDADURA	INTERFERENCIA MECÁNICA, UR
Parámetros		
Metodología	Cordones de soldadura a tope, bisel mínimo entre puntas de cada eje a soldar,	Ajuste a presión, es un tipo de unión entre el diámetro de un eje mayor a un diámetro de un agujero

CONTINÚA 

	<p>el material ocupa. Tipo de soldadura no completa.</p>  <p>En doble V</p> <p>Se realiza con diferentes tipos de soldadura dependiendo del material a soldar, la complejidad y la mano de obra calificado hace a este método para extender ejes, costoso y complicado.</p>	<p>menor, esta unión se realiza a través de una fricción, dicha fricción puede ser realizada por contracción y expansión.</p>  <p>Este tipo proceso a diferencia de soldadura no requiere de máquinas y herramientas especializadas incurriendo en costos menores a otros métodos de acoplamiento entre ejes.</p>
Tolerancia.	<p>Depende mucho de la experiencia del soldador y de la metodología de suelda, en nuestro caso al ser un acero A705, se utilizó, la tolerancia baja o es disminuida debido a que la pieza o eje tiene que ser rectificado</p>	<p>Debido que el proceso no es tan complicado, una prensa de precisión y el proceso de diferencial de temperatura permite el correcto ensamble. Vale recalcar que al igual forma de que</p>

CONTINÚA 

		el proceso de soldadura es necesario rectificar
Costo	Debido a que se requiere de mano de obra y de equipo especializado su costo es muy alto, y también el riesgo de no obtener la excentricidad requerida.	Los equipos necesarios son una prensa hidráulica y equipo de medición, de costo relativamente bajo en comparación con el método por soldadura.

Luego de identificar los parámetros para extender la longitud del eje mortajador, se procede a realizar la valoración, para escoger de forma adecuada el proceso que se adapte a sus características técnicas precisión, exactitud y de costos menores, tal como se observa en la tabla 20.

Tabla 19

Valoración de los sistemas para aumento de eje mortajador.

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	SOLDADURA		INTERFERENCIA MECÁNICA	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Precisión	40	6	2.4	10	4
Tolerancia	20	9	1.8	10	2
Costo	40	9	3.6	6	2.4
Total	100		7.8		8.4

De los datos obtenidos de la Tabla 19, el sistema que más se acopla a nuestros requerimientos en eficiencia, precisión y costo, es el método de acople por interferencia mecánica.



Figura 46 Solución aumento eje por interferencia mecánica

3.3.1.2 Portaherramienta

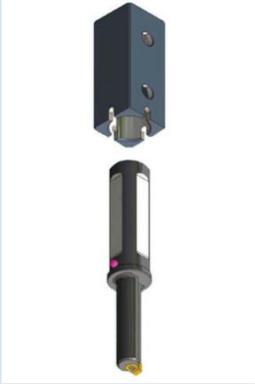
Entre las diferentes opciones para portaherramientas de la máquina mortajadora CNC, se presenta las alternativas en la Tabla 20, como son la adquisición o compra directa del portaherramientas o el diseño y fabricación desde cero, se mencionan los parámetros para cada método.

Tabla 20

Tabla comparativa portaherramientas

PORTA HERRAMIENTA TIPO VÁSTAGO	PORTA CILÍNDRICA CONEXIÓN DIRECTA A HUSILLO.	HERRAMIENTA CONEXIÓN DIRECTA
-----------------------------------	---	---------------------------------

CONTINÚA 

Parámetros	 <p>(Directindustry, 2016)</p>	 <p>(Arsenalomeya, 2005)</p>
Implementación	<p>De sencilla implementación siempre y cuando se disponga del husillo estándar para el montaje del presente portaherramienta por vástago.</p>	<p>Según (Arsenalomeya, 2005) la manufactura de este tipo de portaherramientas es sencilla, depende mucho las longitudes del tipo de sujeción o husillo al que va montado, vale recalcar que se puede manufacturar más de un portaherramienta, de pendiendo de los requerimientos del usuario.</p>
Flexibilidad	<p>De fácil manejo y cambio de herramienta que la cuchilla de corte es gracias a un inserto.</p>	<p>La ranura que se realiza es para un tipo de cuchilla determinada, no es flexible.</p>
Costo	<p>Al no encontrarse un proveedor o un representante</p>	<p>El correcto diseño del portaherramienta requerido, implica en costos bajos de</p>

	<p>en el país de la Direct Industry que son los fabricantes de este tipo de porta herramientas, la importación es requerida esto implica altos costos, y largos tiempos de espera.</p>	<p>manufactura lo cual permite una rentabilidad ya que el diseño se adapta al husillo que se tiene.</p>
--	--	---

Una vez realizada la tabulación de los parámetros para seleccionar un portaherramientas que se ajuste a los requerimientos del presente proyecto, en la Tabla 21 se realiza la ponderación de cada parámetro, que permitirá seleccionar el proceso más adecuado y viable.

Tabla 21

Valoración de los sistemas para selección de portaherramientas.

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	PORTAHERRAMIENTA TIPO VÁSTAGO		PORTAHERRAMIENTA CONEXIÓN DIRECTA A HUSILLO.	
Implementación	40	Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
		8	3.2	8	3.2
Flexibilidad	20	8	1.6	6	1.2
Costo	40	4	1.6	8	3.2
Total	100		6.2		7.6

Al analizar los resultados en la Tabla 21, se puede observar que el diseño más óptimo es un portaherramienta conexión directa a husillo, el mismo que se acopla y ajusta a los requerimientos como implementación, flexibilidad y costo, un diseño preliminar se puede observar en la Figura 47.

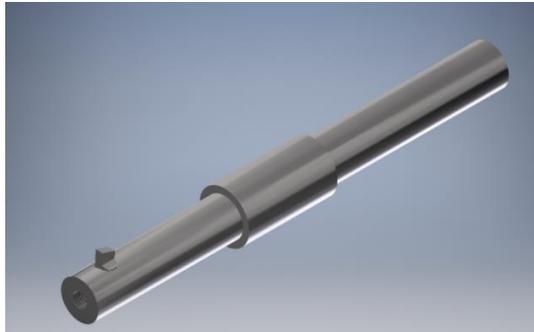


Figura 47 Diseño preliminar de portaherramienta ensamblado con herramienta.

Una vez obtenido el diseño preliminar del portaherramientas, se utiliza una herramienta tipo HSS, ya que esta es la más recomendable para el trabajo de mortajado.

3.3.2 Módulo automatización

El presente módulo da solución a los requerimientos electrónicos, de control y de comunicación que formarán parte de la máquina mortajadora CNC, a continuación, se detalla las diferentes opciones:

- Motores DC a utilizar,
- Acoples,
- Tarjeta de control,
- Controlador entre la interfaz gráfica y la planta o sistema a controlar,
- Software e interfaz gráfica HMI,

- Sensores para delimitar el área de trabajo de la maquina mortajadora CNC.

3.3.2.1 Motores

Los servomotores y los motores a pasos son utilizados para la automatización tanto de maquinarias como de herramientas, de los cuales es posible el análisis de características como: precisión, funcionamiento, torque y costo. Al ejecutar una comparación entre dichas características se plantea la Tabla 22.

Tabla 22

Comparación entre motores

	SERVOMOTOR	MOTOR A PASOS
Parámetros		
Precisión	Para alcanzar un mayor grado de precisión es necesario un circuito de retroalimentación con un encoder esto permite alcanzar alta precisión.	Debido a su construcción (incluye un mayor número de polos que el servomotor), es considerado como más preciso.
Funcionamiento	Actúa con la corriente necesaria para poder moverse de una posición determinada a otra. (Advanced Micro	Corriente constante en un sistema de lazo abierto, esto suele incurrir en problemas

CONTINÚA 

	Controls, 2014)	como el calentamiento del motor. (Advanced Micro Controls, 2014)
Torque	En altas velocidades su torque es constante. (Burriss M, 2014)	Alto torque, pero se ve reducido al realizar altas velocidades. (Burriss M, 2014)
Vida útil	Funcionan correctamente alrededor de unas 2000 horas, previo a este tiempo se requiere mantenimiento. (Anaheim Automation, 2011)	Un correcto manejo de las condiciones de trabajo del motor podría garantizar un tiempo de vida hasta de 10000 horas. (Anaheim Automation, 2011)
Costo	Costo Elevado.	Costo medio

Una vez realizada la comparación de los distintos parámetros para la óptima selección del tipo de motor, se ejecuta la respectiva tabla valorativa presentada en la Tabla 23.

Tabla 23

Valoración para la selección de motores.

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	SERVOMOTOR		MOTOR PASO A PASO	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Precisión	25	7	1.75	10	2.5
Funcionamiento	15	8	1.2	6	0.9

CONTINÚA 

Torque	20	8	1.6	8	1.6
Vida útil	20	8	1.6	10	2.0
Costo	20	5	1.0	8	1.6
Total	100		7.15		8.6

Al valorar los parámetros de los servomotores y los motores paso a paso, en la Tabla 23, se obtuvo como resultado que la mejor opción para el desarrollo del presente proyecto es sin duda alguna los motores a pasos. En la Figura 48, se puede observar el tipo de motor elegido.

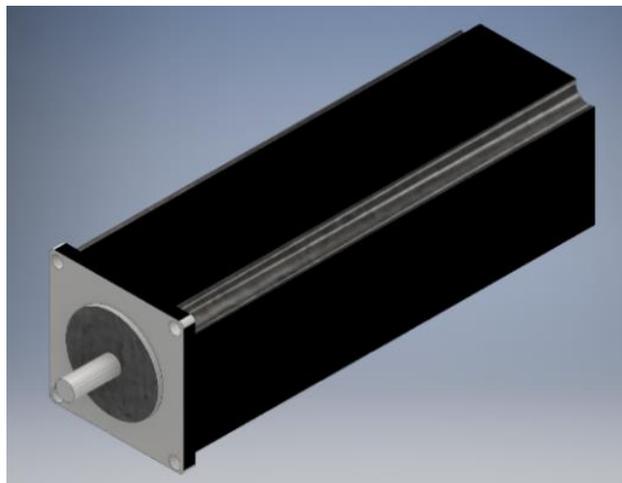


Figura 48 Motor bipolar a pasos Nema 23

3.3.2.2 Sistema de transmisión de potencia

Existen distintas alternativas para la transmisión de potencia, desde los motores a los ejes x e y, para automatizar la mesa de la máquina mortajadora CNC, a continuación, se puede observar en la Tabla 24, una comparación entre los diferentes sistemas de transmisión de potencia.

Tabla 24

Tabla comparativa del sistema de transmisión de potencia.

	ACOPLES	ENGRANES
Parámetros		
Implementación	Su unión directa entre el eje que entrega el trabajo mecánico y el eje encargado del movimiento de la máquina, se denomina como un sistema de fácil implementación.	Dependiendo del tipo de engranes puede ser sencillo o difícil ya que existe engranes que para su colocación es necesario mano de obra calificada.
Eficiencia	Debido a que la transmisión de movimiento es directa su eficiencia es alta.	Tiene una alta eficiencia ciertas pérdidas de calor que pueden ser compensadas por la refrigeración del sistema.
Costo	Bajo costo y fácil de encontrar en el mercado.	De alto costo, si no se encuentra en el mercado ya que su fabricación es por personal calificado.

Tabla 25*Valoración del sistema de potencia*

	Ponderación	Acoples		Engranés	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Implementación	40	9	3.8	6	2.4
Eficiencia	30	9	2.7	9	2.7
Costo	30	8	2.4	2	0.6
Total	100		8.9		5.7

Una vez obtenidos los valores de la Tabla 25, se puede asumir que la mejor opción para el sistema de transmisión de potencia, son los acoples de unión directa por la facilidad de implementación, y su costo en la Figura 49, se puede observar un diseño preliminar del acople la transmisión de potencia.

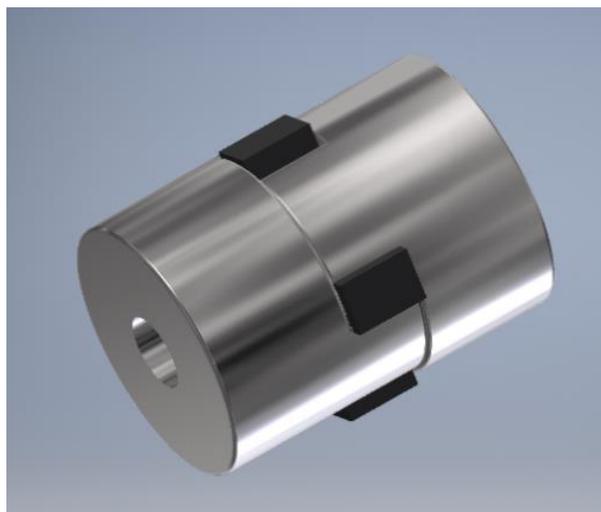
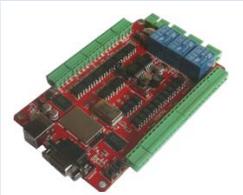


Figura 49 Selección mecanismo de transmisión de potencia, matrimonio love joy.

3.3.2.3 Tarjeta de control

En el mercado existen diferentes tipos de tarjetas de control, que son amigables con el usuario y de fácil configuración, los parámetros que se utilizarán para la selección del tipo de tarjeta son: transmisión de datos, conectividad y costo, en la Tabla 26 se tabulan los parámetros para la correcta selección de la tarjeta de control a utilizar.

Tabla 26
Comparación entre las tarjetas de control

		PARALLEL CNC BREAKOUT BOARD	USBCNC V4.0
Parámetros			
Transmisión de Datos	de	Se conecta a la PC mediante puerto paralelo, lo que limita su utilización a computadoras de escritorio antiguas, o adaptadas con tarjetas PCI-Puerto Paralelo. (Warfield B, 2010)	Se conecta a la PC, mediante conexión USB directa es decir puede conectarse con cualquier computadora de manera sencilla.
Conectividad		En la salida dispone de 12 pines los mismo que se encuentran distribuidos permitiendo controlar hasta 6 ejes, y como entrada	Dispone como salida de 8 pines, distribuidas en parejas (pulso y dirección) para el número de ejes requeridos en para el presente

CONTINÚA 

	dispone de 5 pines. (Global Motion Technology, 2014)	caso: X,Y,Z y A. Y como salida posee 8 pines, 3 para el control de la herramienta mediante PWM y 16 de entradas de propósito general. (Global Motion Technology, 2014)
Costo	Bajo costo	Costo Medio

Tabla 27*Valoración tarjeta de control*

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	PARALLEL CNC USBCNC V4.0 BREAKOUT BOARD			
		Valor	Valor P.	Valor P.	Valor
Transmisión de Datos	50	6	3.0	8	4.0
Conectividad	30	5	1.5	9	2.7
Costo	20	8	1.6	7	1.4
Total	100		6.1		8.1

Una vez obtenidas las ponderaciones para la selección de la tarjeta de control, se puede apreciar que la tarjeta USBCNC 4.0 es la mejor opción para el desarrollo del proyecto, muestra facilidad de conexión, velocidad de transmisión de datos, y costos adecuados.

Se elige, la tarjeta USBCNC 4.0, ya que mantiene una conexión digital incluso con laptops, además de poseer múltiples salidas para conectar indicadores, señales de control digital, control análogo, variadores de frecuencia. En la Figura 50, se puede observar la tarjeta seleccionada.

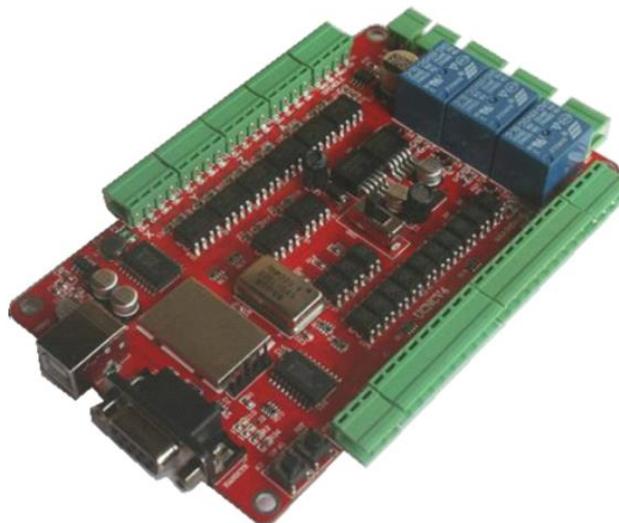


Figura 50 tarjeta USBCNC controller

3.3.2.4 Sensores de Posición

Existen diferentes tipos de sensores en el mercado que, se clasifican por su aplicación y utilidad, para el desarrollo de la máquina mortajadora CNC, los sensores que se ajustan al requerimiento del sistema son los sensores inductivos y los sensores fines de carrera, estos dispositivos permitirán delimitar el área de trabajo, en la Tabla 28, se realiza una comparación de estos dos tipos de sensores.

Tabla 28*Comparación de sensores.*

MICRO SWITCH		INDUCTIVO	
Parámetros			
Sensibilidad	Sensible a cualquier tipo de material debido a que su funcionamiento es por un contacto mecánico.	Sensible sólo a materiales ferromagnéticos, carece de contactos mecánicos.	
Vida útil	Su vida útil está muy ligada al mantenimiento de las partes mecánicas de su sistema de accionamiento.	Por la carencia de contactos mecánicos su vida útil es prolongada.	
Costo	Bajo Costo	Alto Costo	

A continuación, en la Tabla 28, se verifica la ponderación que de los diferentes tipos de sensores para su selección correcta.

Tabla 29*Ponderación para la selección de sensores*

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	MICRO SWITCH BREAKOUT BOARD	INDUCTIVO.
Sensibilidad	35	Valor 10	Valor P. 3.5
		Valor	Valor P.
		7	2.45

CONTINÚA 

Vida Útil	35	5	1.75	10	3.5
Costo	30	9	2.7	6	1.8
Total	100		7.95		7.75

Por su mayor sensibilidad, vida útil y por el costo, la mejor opción a escoger es el sensor fin de carrera. Un diseño preliminar se puede observar en la Figura 51

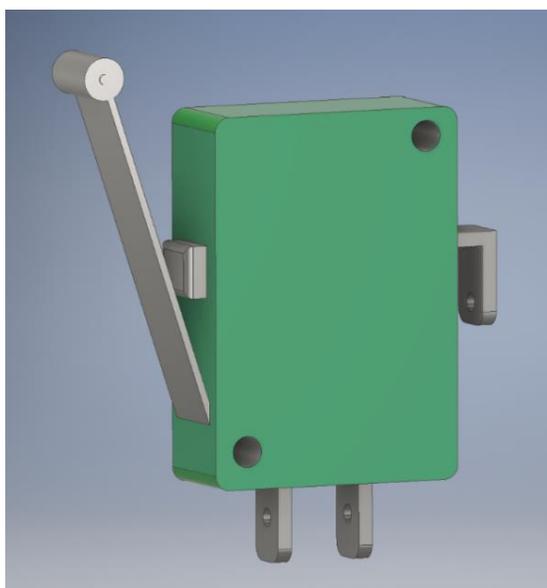


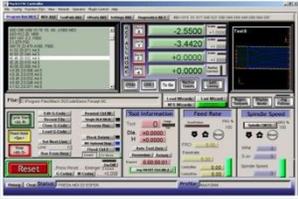
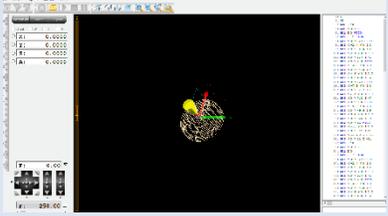
Figura 51 Fin de carrera a utilizar.

3.3.2.5 Software de comunicación HMI

Existen diferentes tipos de tarjetas de comunicación y de control numérico, de igual manera existen diferentes programas de control para dichas tarjetas, muchos son compatibles dependiendo del fabricante y desarrollador del software, para la selección del software correcto a implementar en el proyecto, se toma diferentes aspecto como son: la aplicación, la flexibilidad y facilidad de

manejo y por último el tipo de licencia, en la Tabla 30 se realiza una comparación entre los sistemas HMI más utilizados.

Tabla 30
Comparación software

	MACH 3	USBCNC V4.0
Parámetros		
Aplicaciones	Es uno de los más usados en la industria, debido a diversas aplicaciones como el control de velocidad de motores DC y AC.	Usado medianamente en la industria debido a su poca difusión tiene muchas características que le hacen muy versátil y amigable con el usuario.
Flexibilidad	Utilizado en sistemas de torneado, fresado, plasma, corte laser, etc.	Utilizado en su mayoría para sistema de torneado, pero es compatible con sistemas de fresado, plasma, mortajado, corte laser, etc.
Costo	Costo medio	Gratuito a partir de la compra de la tarjeta.

Es importante realizar una valoración de los diferentes parámetros para la selección adecuada del software, a través de una tabla de ponderación se podrá tener una idea más amplia para la correcta selección del tipo de tarjeta de control a utilizar, la Tabla 31 muestra la valoración de los diferentes tipos de software a utilizar.

Tabla 31

Tabla de Valoración de Software

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	MACH 3		USBCNC V4.0	
		Valor	Valor P.	Valor	Valor P.
Aplicaciones	30	10	3.0	7	2.1
Flexibilidad	30	10	3.0	9	2.7
Costo	40	5	2.0	9	3.2
Total	100		7.00		8.0

Por su aplicación, flexibilidad, y costo la mejor opción para el desarrollo del sistema, se escoge el software USBCNC V.4, vale recalcar que una vez establecido la selección de la tarjeta de control, el software seleccionado es compatible con todos los módulos y funciones de dicha tarjeta.

3.3.3 Módulo Control AC o de potencia

Es importante realizar una correcta selección de todos los componentes que forman parte de sistema de potencia del proyecto, la correcta selección de un componente eléctrico-electrónico permite identificar la mejor opción en cuanto a la velocidad del brazo mortajador, además del

control el motor que gobierna el movimiento general de la máquina, también será posible tener un sistema automatizado de la máquina mortajadora CNC.

Para lo cual se ha escogido como alternativa los variadores de frecuencia, los mismos que tienen mayor representación en el país. En la Tabla 32, se tabulan diferentes aspectos como son: comunicación, alimentación y costo.

Tabla 32
Comparación entre distintos variadores de frecuencia

	SIEMENS SIMATIC	HUANYANG INVERTER
Parámetros		
Comunicación	Protocolo de comunicación RS-485 y ethernet, sólo se puede comunicar con modelos siemens	Comunicación RS-485, compatible con tarjetas de control CNC
Alimentación	380 V clase: 380 V (+/-15%);	220 V clase: 220 V (+/-15%)
Costo	Gama alta costo alto	Gama media costo medio

Encontrar la mejor opción del tipo de variador de frecuencia permitirá reducir gastos y costos innecesarios, es importante realizar una tabla de valoración, en la Tabla 33, es posible apreciar la comparación y valoración de los distintos parámetros de cada variador citado.

Tabla 33

Tabla de Valoración de Variador de frecuencia.

PARÁMETROS	PONDERACIÓN	SIEMENS SIMATIC	HUANYANG INVERTER
Comunicación	40	Valor 8	Valor P. 3.2
Alimentación	20	10	2.0
Costo	40	7	2.8
Total	100		8.00

Debido al tipo de comunicación, facilidad de alimentación, costo y compatibilidad con la tarjeta de control seleccionada USBCNC, se escoge el variador de frecuencia Huanyang Inverter, de 1.5Kw a 220V.

CAPÍTULO 4

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se da a conocer la parte de diseño, y se calcula toda la fuerza proporcionada por la máquina sierra limadora para lograr el correcto dimensionamiento de la máquina mortajadora CNC; además se resume todos los parámetros de trabajo como son: la velocidad de avance, velocidad de desbaste, tipos de cuchillas a utilizar, recomendadas para el trabajo óptimo del sistema.

4.1. DEFINICIÓN DEL DISEÑO

En el anterior capítulo se mencionaron los subsistemas que van a ser ejecutados, previa su valoración y ponderación, los cuales disponen de una sustentación técnica, que ha sido utilizada en experimentos y experiencias previas, a continuación, en la tabla 35 se visualiza un resumen de los parámetros de módulos, mientras que en la figura 50 se muestran los componentes seleccionados para el desarrollo del proyecto.

Tabla 34

Módulos y sistemas seleccionados

MÓDULO	DEFINICIÓN	SELECCIÓN
Brazo Mortajador	Prolongación Brazo	Interferencia mecánica, diseño de porta herramienta
Automatización	Movilidad	Motores paso a paso, tarjeta USB CNC, software USBCNC controller, Sensores fines de carrera, acoples matrimonio, acoples de Unión directa

CONTINÚA 

Control AC	Circuito de control AC, variación de velocidad motor trifásico AC	Variador de frecuencia, 1.5Kw a 220V.
-------------------	---	---------------------------------------

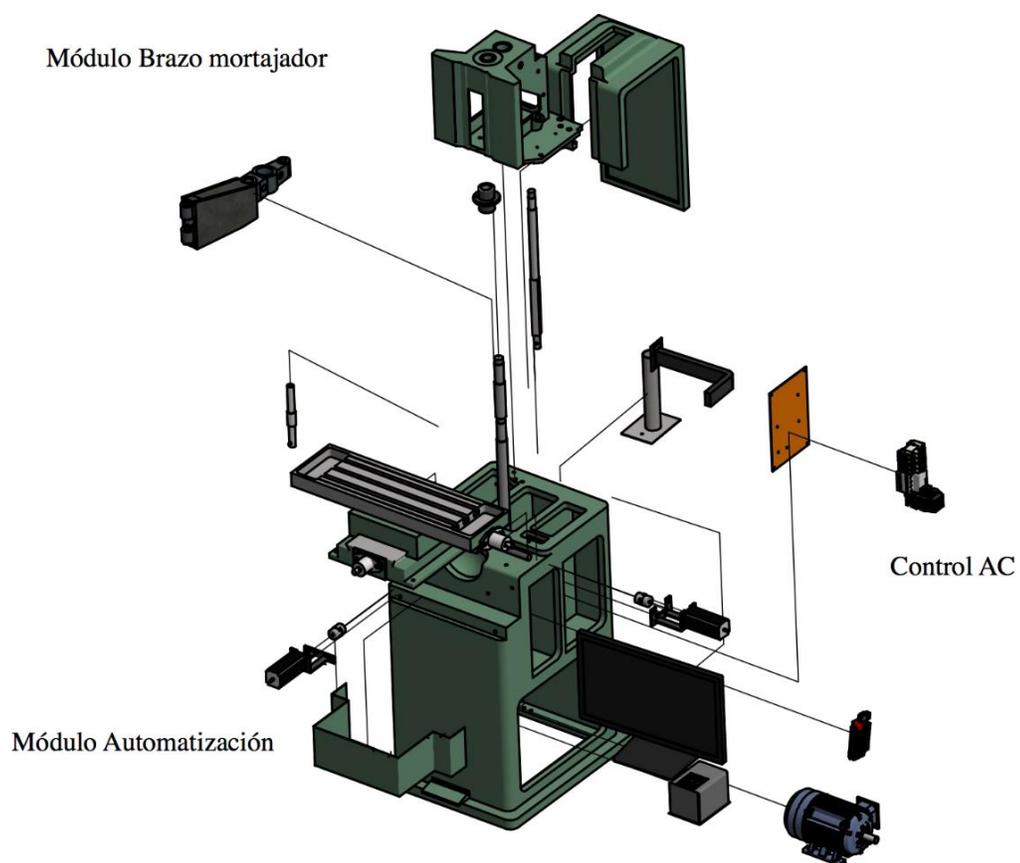


Figura 52 Componentes seleccionados para el desarrollo del proyecto

4.2. DISEÑO MECÁNICO.

Como se pudo observar en la Figura 1, se mostró el diagrama general del estado inicial de la máquina sierra limadora, donde es posible visualizar los mecanismos, su velocidad, torque y fuerza, para con ello determinar si es factible la transformación de una máquina sierra limadora a una máquina mortajadora.

4.2.1. Análisis del sistema y mecanismos, Fuerza, y Velocidad

Se debe realizar un análisis cinemático y dinámico del sistema mecánico de la máquina mortajadora CNC, lo cual permitirá determinar los diferentes materiales con los que se puedan trabajar.

La Figura 53, muestra el esquema de funcionamiento de la máquina sierra limadora, constituida por un motor AC trifásico que acciona un sistema de poleas mediante el movimiento de bandas, las mismas que transfieren el movimiento a un mecanismo de cuatro barras, transformando el movimiento rotacional en movimiento lineal.

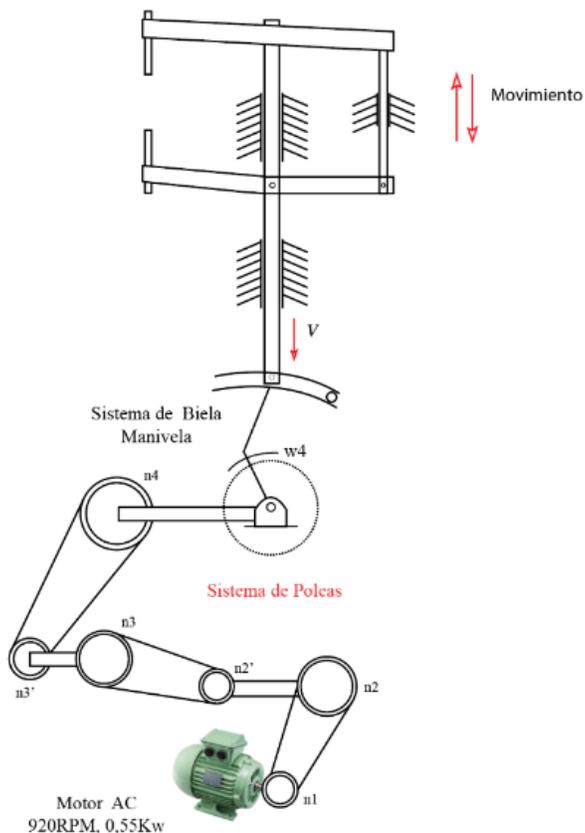


Figura 53 Esquema de funcionamiento.

De la ecuación (29) que describe la fórmula de relación de movimiento, la cual permite obtener parámetros iniciales del sistema o mecanismo.

$$n1 \times d1 = n2 \times d2 \quad (29)$$

Los datos obtenidos de la máquina sierra limadora, se detallan a continuación, con estos datos reemplazando en la ecuación (29), se puede tener el valor de la velocidad angular con la que se mueve el mecanismo de cuatro barras.

Siendo:

- $n1 = 920$ Velocidad del motor
- $d1 = 96$

- $d2 = 157$
- $d21 = 75$
- $d3 = 220$
- $d31 = 75$
- $d4 = 187$

Una vez realizando la operación de eslabón en eslabón se llegó a la ecuación general de movimiento:

$$n4 = \left(\frac{d31}{d4}\right) * \left(\frac{d21}{d3}\right) * \left(\frac{d1}{d2}\right) * n1 \quad (30)$$

Reemplazando los datos en la ecuación (30), se tiene una velocidad angular en el mecanismo biela manivela:

$$n4 = 76.91 \text{ RPM}$$

4.2.1.1. Análisis cinemático del mecanismo de cuatro barras.

La máquina sierra limadora transforma el movimiento rotacional del motor, a un movimiento lineal, por medio de un mecanismo de cuatro barras, el análisis del mecanismo mencionado permite obtener parámetros como velocidades, y fuerzas, con dichos parámetros se puede establecer las características de la máquina mortajadora CNC. Las ecuaciones su correspondiente estudio parten del análisis de la Figura 54, que se observa a continuación:

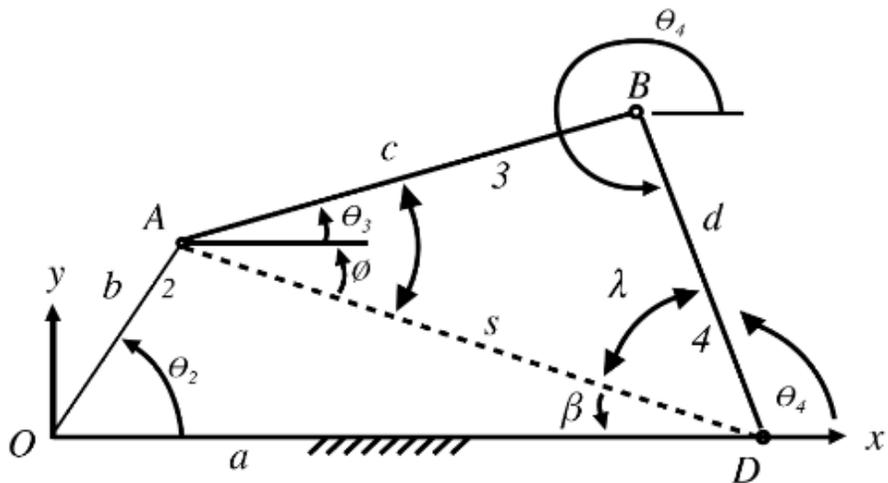


Figura 54 Mecanismo de cuatro barras



Figura 55 Mecanismo 4 Barras

En la Figura 54, se muestran los ángulos θ_3 y θ_4 , los mismos que se calculan con funciones trigonométricas, en primer lugar considerando el triángulo OAD .

$$s = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta_2} \quad (31)$$

Para β

$$\beta = \arcsen \left(\frac{b}{s} \sen \theta_2 \right) \quad (32)$$

Triangulo ABD

$$\psi = \arccos \left(\frac{c^2 + s^2 - d^2}{2cs} \right) \quad (33)$$

Para calcular λ

$$\lambda = \arcsen \left(\frac{c}{d} \sen \psi \right) \quad (34)$$

Debido a las ecuaciones se puede obtener los valores de θ_3 y θ_4 de la forma:

$$\theta_3 = \psi - \beta \quad (35)$$

$$\theta_4 = 360 - (\lambda + \beta) \quad (36)$$

Para hallar la ecuación de la velocidad se debe encontrar la relación de lazo vectorial o circuito vectorial, para lo cual se muestra como resultado la ecuación (37).

$$\bar{b} + \bar{c} + \bar{d} = \bar{a} \quad (37)$$

A partir de los números de Euler se tiene que:

$$\bar{a} = a e^{i\theta_1}$$

$$\bar{b} = b e^{i\theta_2}$$

$$\bar{c} = c e^{i\theta_3}$$

$$\bar{d} = d e^{i\theta_4}$$

Se sustituye:

$$(be^{i\theta_2} + ce^{i\theta_3} + de^{i\theta_4} = a) \quad (38)$$

A partir del uso de la primera derivada de la ecuación (38), que expresa la definición del lazo vectorial, se obtiene la ecuación de velocidad, en el anexo c se muestra el análisis cinemático y dinámico para la obtención de las siguientes ecuaciones:

$$v_2 = b \omega_2 (-\text{sen}\theta_2 + \text{cos}\theta_2) \quad (39)$$

$$v_3 = c \omega_3 (-\text{sen}\theta_3 + \text{cos}\theta_3) \quad (40)$$

$$v_4 = d \omega_4 (-\text{sen}\theta_4 + \text{cos}\theta_4) \quad (41)$$

Una vez obtenido el análisis cinemático, se procede a realizar el análisis dinámico utilizando la ley de Newton que se expresa en la ecuación (42) para sistemas de translación, y la ecuación (43) para sistemas de rotación.

$$F = m \times a \quad (42)$$

$$T = I \times \alpha \quad (43)$$

En la Figura 56, se muestran el diagrama general de cuerpo libre para todos los eslabones, con las fuerzas que actúan sobre ellos, donde se observan una fuerza externa F y un torque externo T_4 , esta fuerza viene expresada en términos de la ecuación (22), es importante tomar en cuenta que para el movimiento del mecanismo, la cual se obtiene mediante las cargas que entre el eslabón 3 y 4 para la operación de mortajado. Cabe mencionar además que, el motor tiene que vencer una inercia dada por la suma de masas del eje, brazo y portaherramienta de la máquina mortajadora.

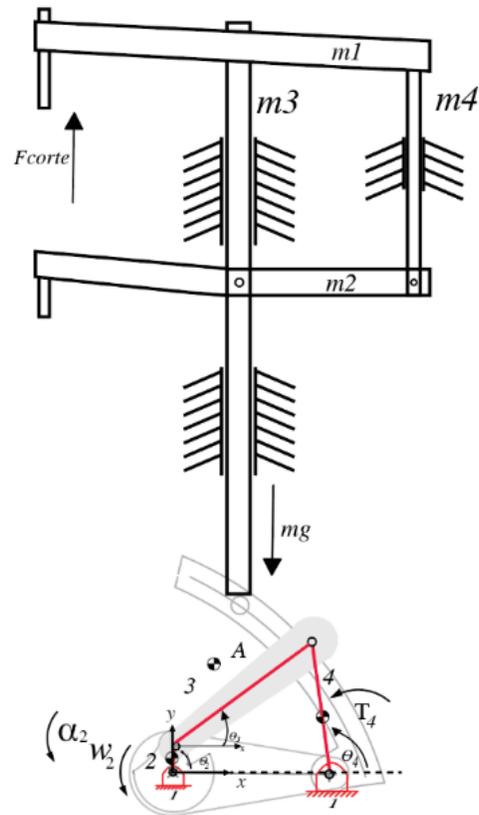


Figura 56 Diagrama general de la máquina mortajadora CNC

Se realizará la sumatoria de fuerzas en el eje (y) para calcular la fuerza necesaria de corte y de esta manera realizar una lista de materiales para trabajar.

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{corte} + F - (m_1 + m_2 + m_3 + m_4) * g = 0$$

$$F = -(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) * g + F_{corte} \quad (44)$$

A partir de la sumatoria de fuerzas en el eje (y), la fuerza resultante F se encuentra expresada en función de la masa del sistema mortajador y la fuerza de corte Fc, la cual depende del material a desbastar. La fuerza de corte está expresada por la ecuación (22) y puede ser reemplazada en la

ecuación (44), para dejar la expresión en función del área de corte y el esfuerzo de corte específico, de igual manera los datos para las masas son los siguientes:

$$m_1 = 1.78\text{Kg}$$

$$m_2 = 1.79\text{Kg}$$

$$m_3 = 1.5\text{Kg}$$

$$m_4 = 1.3\text{Kg}$$

$$F_{\text{corte}} = A * k_s$$

$$F = A * k_s - (1.78 + 1.79 + 1.5 + 1.3) * 9.8 \quad \text{Cuando corta.}$$

$$F = (6.37) * 9.8 \quad \text{Cuando no corta y sube.}$$

Siendo

$$A = s \times a \quad (\text{avance por profundidad de corte}).$$

Se realizó el análisis dinámico del mecanismo de cuatro barras, incluyendo todos los parámetros y componentes descritos en la Figura 56, con la ayuda de un software CAD que permite obtener resultados de simulación, dando comprobación del torque necesario para diferentes materiales a mortajar, el dimensionamiento del motor se muestra de la siguiente manera en la Figura 57.

Los resultados del análisis, tomando en cuenta la masa propia del mecanismo, de eje y el brazo mortajador, da como resultado el dimensionamiento de la máquina, la potencia que proporciona el motor con una fuerza de corte de 500N, es 415W, esta fuerza permitirá descomponer la fuerza F_c en términos de avance y profundidad.

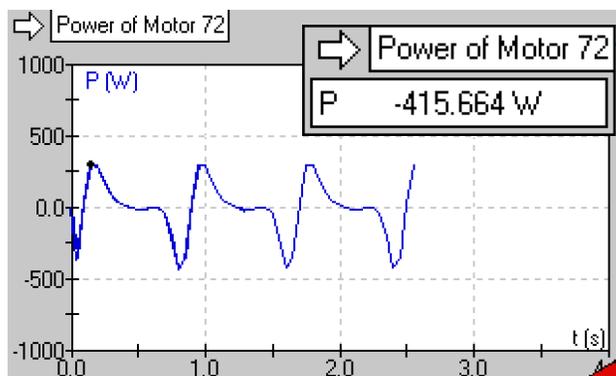


Figura 57 Torque proporcionada por el motor.

Los requerimientos del usuario la profundidad de chaveteros varía entre 5mm a 25.4mm, el tipo de cuchilla a utilizar tiene espesor de 5 mm este es el dato el valor de a que se observa en la Figura 24, la ecuación (44) queda expresada en términos del avance y la fuerza específica de corte que depende del material a desbastar. Con respecto al valor de K_s , según (Bartsch, 1978): Cuando únicamente se conoce la resistencia a la tracción hasta 1mm² de sección de la viruta cortada K_s es aproximadamente el quíntuplo de la resistencia a la tracción.

Este análisis permite dimensionar la máquina mortajadora CNC, gracias a la ecuación (21) se menciona que los materiales permitidos serán aquellos con menor coeficiente último de tracción a 640 Mpa, para mencionar los materiales recomendados a trabajar, en la Tabla 35 se numera las características de los materiales a trabajar, con avances de 0.05mm y velocidad de carrera de 15 m/min.

Tabla 35

Materiales recomendados a trabajar hasta 1mm² de espesor de viruta

MATERIAL	Coficiente último a la tracción N/mm ²	K_s Fuer. específica C.
Fundición gris	152	760

CONTINÚA 

Aluminio	250	1250
Bronce	265	1325
Aleaciones de Aluminio	280	1400
Aleaciones de cobre	290	1450
Acero blando	420	2100

Los cálculos se mencionan en el anexo de cálculo dinámico y cinemático, los mismos como que se realizaron dando lugar a estipular dichos materiales mencionados en la Tabla 35. En la parte de anexos se mencionan la configuración ideal de la máquina mortajadora CNC, para distintos tipos de materiales, así como las velocidades, avances recomendados. Para poder verificar la fuerza máxima que soportará la máquina de la ecuación (22) tenemos:

- $K_s=2100 \text{ N/mm}^2$ (máxima fuerza específica permitida para la máquina mortajadora CNC)
- $A= 1\text{mm}^2$ (sección de viruta)

$$F = 2100 \frac{N}{\text{mm}^2} * 1\text{mm}^2 = 2100 \text{ N}$$

Se multiplica por un factor de compensación que permitirá sobre dimensionar en un 5% los diseños que se realizarán

$$F = 1.05 * 2100 = 2200\text{N}$$

4.2.2. Módulo Prolongación Brazo

De los requerimientos del usuario, se desea aumentar la altura del eje principal en 200 mm, debido a que permite, consigo aumentar el area de trabajo del brazo mortajador, es necesario verificar los esfuerzos presentes que se tendrán en el eje y si es factible realizar este aumento y que especificaciones de ajuste utilizar.

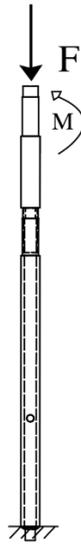


Figura 58 Diagrama Cuerpo libre Eje mortajador

El eje mortajador es tratado como una columna larga que según la teoría falla por pandeo y no por aplastamiento, conociendo esto se puede tomar de mano de un software CAE para realizar una simulación numérica del modelo.



Figura 59 Simulación eje mortajador.

El momento de inercia que genera la fuerza de corte, puede contribuir en fallas, o desplazamiento no deseados, presentando errores en los chaveteros, a continuación, en la Tabla 36 se presenta la convergencia de los resultados respecto al desplazamiento que se tendrá al momento de aumentar el tamaño de eje.

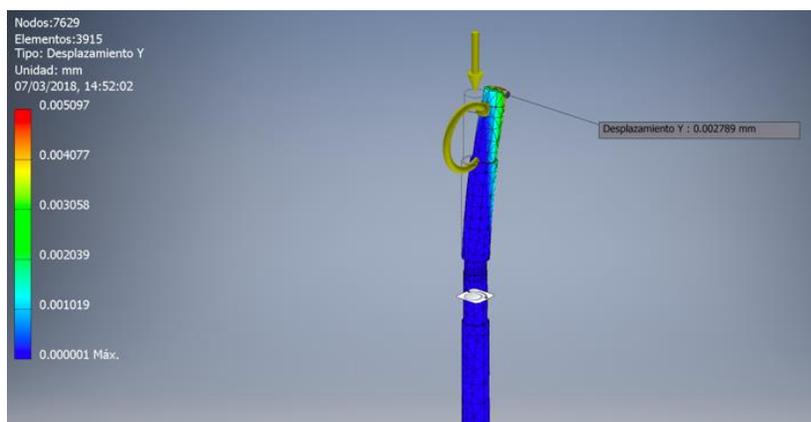


Figura 60 Simulación eje mortajador

Tabla 36*Tabla de convergencia simulación eje.*

Tamaño del elemento	Desplazamiento (mm)
0,1	0,0027
0,05	0,002789
0,025	0,002759
0,0125	0,002759

Debido a que el desplazamiento es mínimo de 0,002759 mm, no presenta mayor inconveniente, se puede continuar con el proceso de aumento para el eje mortajador.

Ajustes o interferencia mecánica. En este módulo se establecerá todos los parámetros y cálculos del proceso de interferencia mecánica, que sirve para realizar el aumento del eje. Se lleva a cabo un ensayo de dureza para determinar el tipo de material aproximado del eje original. Se requiere realizar aumento en la altura a 20 cm del eje. Este aumento tendrá las mismas medidas en diámetros paso de rosca, profundidad, así mismo las características mecánicas serán muy similares al eje original, teniendo como consideración que se requiere realizar el ajuste agujero base sin deslizamiento, ajuste forzado que se puede observar en la Tabla 4 de ajustes estándares según norma ISO.

4.2.2.1. Ajuste por interferencia eje agujero.

Se realiza un análisis del eje guía, ya que no existe una información del material que conforma dicho eje, se realizará un ensayo de dureza, punta de diamante escala Rockwell B, a 100 Kg.

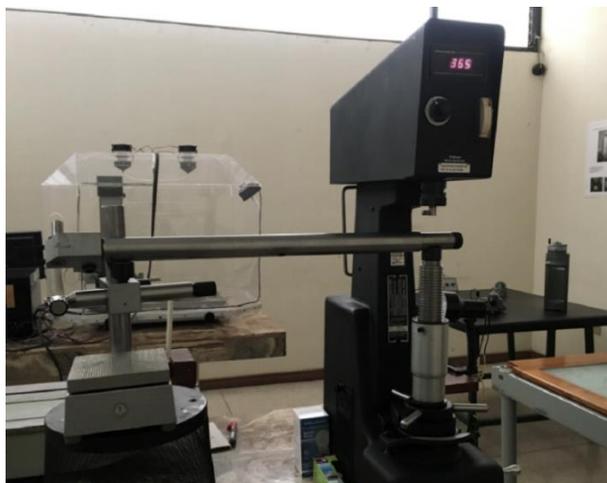


Figura 61 Ensayo de dureza eje guía.

En la Tabla 37, se tabulan las 3 tomas de datos para obtener una mayor certeza de la medida de dureza.

Tabla 37

Ensayo de dureza

Número	Valor Escala Rockwell B 100 Kg.
Medida 1	365
Medida 2	363.2
Medida 2	364.5
Promedio	364.23

Con el valor promedio obtenido de la Tabla 37, se busca un acero comercial el cual posea las mismas características mecánicas. El acero AISI 4340 ó A705, se realiza el aumento de eje mortajador.

Calidad: AISI 4340 (705)

Descripción: Es un acero bonificado al cromo, níquel, molibdeno, altamente resistente a la tracción, torsión y a cambios de flexión. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y libre de propensión a la fragilidad del revenido.

Aplicaciones: Partes de maquinarias sometidas a altos esfuerzos, brazo de dirección, cigüeñales, árboles de leva, barras de torsión, embragues, piñones, barras de cardán, ejes de bombas, ejes para aviones, muñones, pernos de alto grado de tensión, rodillos de transportadora, etc.

Tabla 38

Propiedades mecánicas acero AISI 4340 (A705)

Propiedades Mecánicas				
Diámetro (mm)	Resistencia Mecánica (N/mm ²)	Punto de Fluencia (N/mm ²)	Elongación % Min.	Dureza ROKWELL B
16 o menos	1200 - 1400	1000	9	240 - 380
16 - 40	1100 - 1300	900	10	240 - 380
41 - 100	1000 - 1200	800	11	240 - 380

Comprobación dureza, punta de diamante escala Rockwell B, a100 Kg.

Tabla 39

Tabla de dureza

Número	Valor Escala Rockwell B 100 Kg.
Medida 1	355
Medida 2	354.2
Medida 2	355.5
Promedio	354.9



Figura 62 Dureza del eje para aumento.

Con los datos de dureza asumimos que va a existir una unión uniforme debido a la resistencia última a la tracción de los dos materiales descritos en la Tabla 38, los diámetros están entre 16 y 40 mm, la resistencia última a la tracción es 1100-1300 Mpa.

4.2.2.2. Calidad de fabricación

La fabricación del aumento para eje mortajador, se realizó en la máquina torno VIWA CNC, la calidad de fabricación mencionada en la Tabla 3, se escoge una calidad de IT-6. El ajuste requerido es H8/x8, este tipo de ajuste se obtiene gracias al proceso de interferencia mecánica, dicho ajuste se encuentra especificado en la Tabla 4 ajustes ISO.

De la ecuación (4), la presión en la superficie de contacto está dada por:

$$p_c = \frac{A_{pr} E (dc^2 - di^2) (do^2 - dc^2)}{2dc^3 (do^2 - di^2)}$$

Datos para calcular

- $A_{pr} = 0.087$
- $di = 0$
- $dc := 18.35$
- $do = 35$
- $E = 206.86e9$

El agujero se dilatará hasta un espesor de $dc=18.38$, para disminuir la fuerza axial necesaria para realizar dicho apriete, se tiene la ecuación (18)

$$\Delta T_{emp} \geq A_{pr} / (\alpha_T d_c)$$

$$\Delta T_{emp} \geq \frac{0.075}{0.000012 * 18.38} = 340.60^\circ\text{C}$$

Es decir, el agujero tiene que estar 340.60°C más caliente que el eje, si se tomara como una temperatura ambiente en el Valle de Sangolquí de 20°C , es decir la temperatura que se medirá por el termómetro será: $340.60^\circ\text{C} \cong 360^\circ\text{C}$

Recalculando la presión en la superficie de contacto:

$$p_c = \frac{0.087m(206.86e9)(18.38^2 - 0^2)(30^2 - 18.38^2)}{2 * 18.35^3(30^2 - 0^2)}$$

$$p_c = 307.3110 \text{ Mpas } \text{ ó } 3.13 \frac{Tn}{cm_2}$$

Fuerza axial necesaria para realizar el montaje, se obtiene a partir de la ecuación (13), a continuación, se reemplaza los valores., siendo $f = 0.18$ para aceros. (Universidad del País Vasco, 2011)

$$Fa = 0.18 * 422.7384 * \pi * 18.35 * 120$$

$$Fa = 382.66KN \text{ ó } 39.4 \text{ tnf}$$

Siendo Fa la fuerza que debe suministrar la prensa hidráulica para realizar el montaje por interferencia mecánica. Tomando de la Tabla 4 un ajuste estándar según la norma ISO, se requiere un tipo de ajuste forzado que no requiera algún tipo de seguridad o pasador, debido a la diferencia de temperatura en el momento del montaje, se asume que tanto el eje como el agujero cuando lleguen al equilibrio térmico, este ajuste sellado queda soldado, denominación de ajuste requerido es, H8x8.

Resumen parámetros:

- Eje Aumento: 18.40
- Eje Agujero: 18.35 a 18.38 aumento de temperatura 360,00 °C
- Fuerza de Prensa 39.4 Tnf

4.2.3. Diseño Brazo para Mortajadora.

El brazo mortajador que soporta el portaherramienta y la cuchilla de corte se encuentra expuesto a distintos esfuerzos, es importante realizar un diseño para que dicho brazo permita realizar el trabajo de mortajado en un número determinado de ciclos. A partir del diagrama de cuerpo libre que se puede observar en la Figura 63.

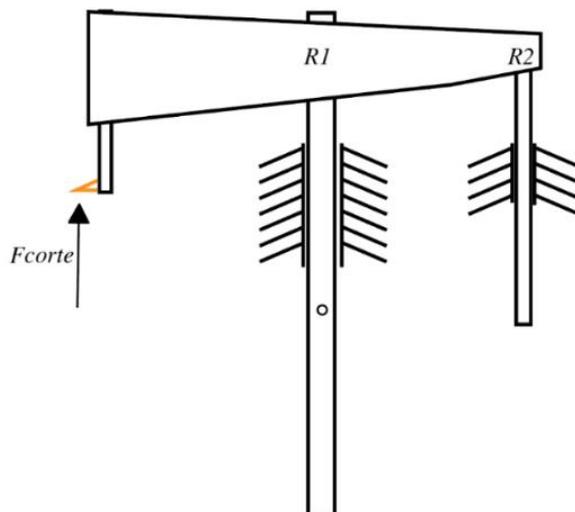


Figura 63 Diagrama de cuerpo libre del brazo mortajador.

Simplificando la notación, para este tipo de trabajo se recomienda realizar cortes ortogonales esto quiere decir que la fuerza de corte es completa en la componente Y que es perpendicular al plano de corte.

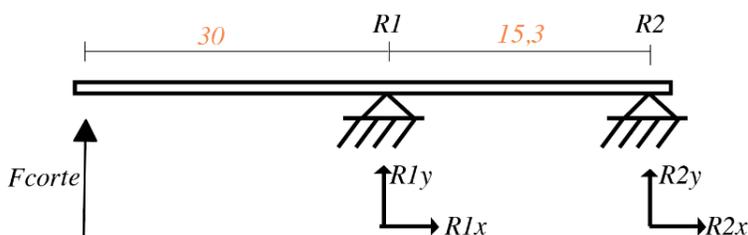


Figura 64 Diagrama de cuerpo libre del brazo mortajador

Todos los cálculos se mencionan en el anexo de cálculo de refuerzo de brazo, tomando en cuenta que se realiza el cálculo estático y el análisis a la fatiga del elemento a continuación se describe en la Tabla 40, los valores obtenidos se toma el criterio de Goodman, debido a que es el criterio más usado por los diseñadores, es un criterio medio entre conservador y optimista para el presente caso

es el mejor. Los valores obtenidos se pueden observar en la se puede observar un resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 40

Valores resultantes

Momento M	Esfuerzo Máximo $\sigma_{max} = \frac{MC}{I}$	Esfuerzo Alternante y Esfuerzo Medio $\sigma_a \quad \sigma_m$	Criterio de Goodman $\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{\delta e} + \frac{\sigma_m}{\delta ut}$
660 Nm	25.58 Mpa	$\sigma_a = 12.79MPa$ $\sigma_m = 12.79MPa$	$n = 1.7999$

Con la ayuda de un Software CAE, se realiza el análisis a fatiga del brazo mortajador, para comparar con los datos obtenidos de la Tabla 40, debido a que el elemento se encuentra expuesto a cargas cíclicas, en la Figura 65 se observar el diseño preliminar para el desarrollo del mencionado brazo mortajador.

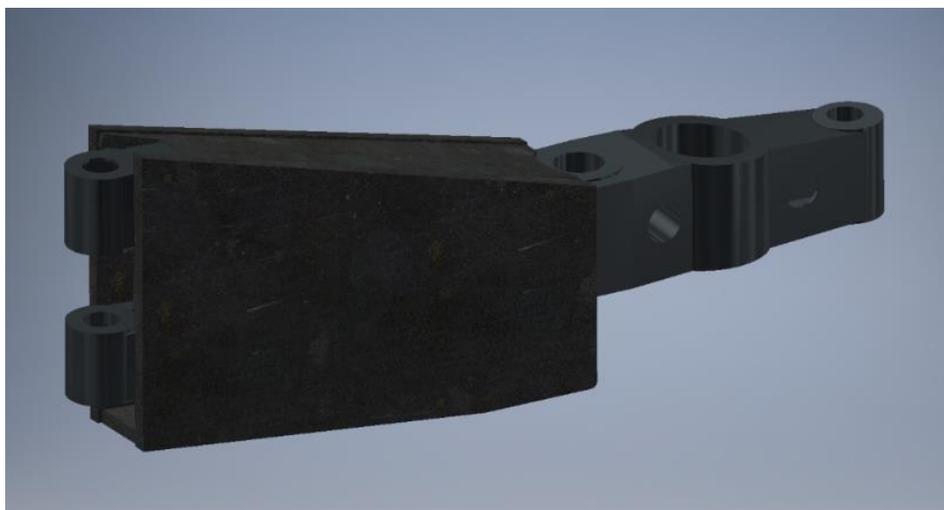
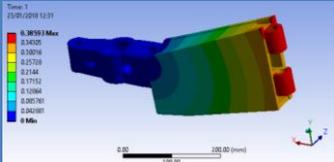
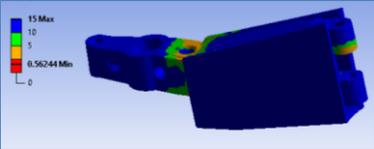
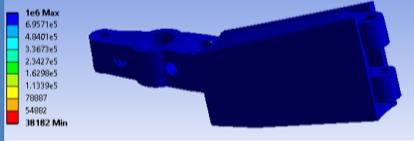


Figura 65 Diseño brazo máquina mortajadora.

En la Tabla 41, se puede observar los resultados, utilizando el criterio de Goodman en un software CAE, tomando en cuenta que la fuerza de corte es 2200 Newton, en el anexo de Análisis de Fatiga se puede observar el desarrollo por el cual se utiliza la fuerza previamente citada.

Tabla 41
Diseño y simulación brazo mortajador

Fuerza en el eje Z (Newton)	Deformación (mm) 	Factor de seguridad 	Vida (ciclos) 
4000	0.389	0.5624	38182
3000	0.256	0.74992	1.53x10 ⁵
2200	0.198	1.726	1x10 ⁶
500	0.01	1.50	1x10 ⁶

Se puede asumir que el brazo mortajador tiene vida infinita para esfuerzos menores a 2000 Newton, esta declaración es válida ya que los esfuerzos reales que se tendrán en la máquina mortajadora CNC, es como máximo 500 Newton.

4.2.4. Diseño del portaherramienta

Las fuerzas que se encuentran presentes en el brazo mortajador, son las mismas que actúan en el portaherramientas entonces para la fabricación del portaherramientas es indispensable utilizar un material que brindes las facilidades de resistencia y tenacidad, se utiliza un software CAE como en los casos anteriores, para realizar el análisis la Figura 66 se muestra el diagrama de cuerpo libre del portaherramienta y cuchilla.

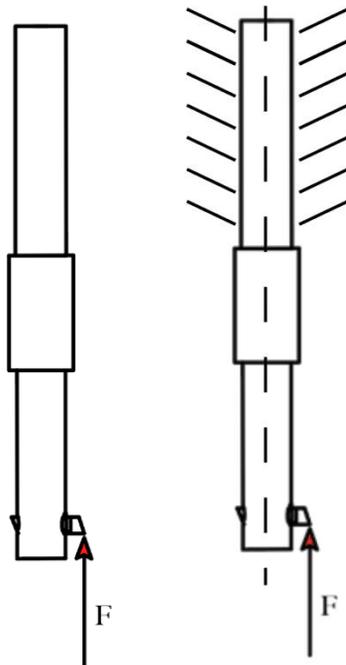


Figura 66 Diagrama de cuerpo libre portaherramientas

Debido a que el corte es ortogonal, la cuchilla esta afilada de tal manera que sólo presenta una fuerza en el eje Y, de la Figura 66 se obtiene la siguiente ecuación de la sumatoria de fuerzas en el punto de sugesión.

$$\sum M = F * \left(\frac{\phi}{2} + x\right) \quad (45)$$

$$M = 2200 N * \left(\frac{\phi}{2} + 5mm\right) \quad (46)$$

Depende del diámetro del portaherramientas ϕ , que se realiza a continuación se realiza una tabulación, de diámetros para con el momento encontrado verificar el material más adecuado con el que se puede fabricar el portaherramientas. Se aprovecha un diámetro para la sugesión en el mandril de 220 mm. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar l a tabulación de datos de los momentos con respecto al rádio del portaherramientas, para verificar el tipo de material para fabricar, se toma un diámetro del portaherramientas de 30mm, teniendo un momento de 440 Nm.

A continuación se realiza el cálculo a flexión, y en la Tabla 42 se tabulan los distintos tipos de materiales admisibles para el esfuerzo calculado.

$$\sigma = \frac{MC}{I} = 440 * \frac{0.005 + 0.015}{\pi * 0.015^4} = 55.31Mpa$$

Tabla 42

Tabla de aceros para construcción portaherramientas

TIPO DE ACERO	σ admisible
ASTM A6	300 Mpa
ASTM A36	400 Mpa
AISI 1018 (transmisión)	425 Mpa

El material usado para la elaboración del diseño es el acero AISI 1018 o Acero de transmisión, sus propiedades mecánicas brindan buenas características para ser usados en el desarrollo de máquinas y herramientas, a continuación, en la Tabla 43 se realiza una simulación y tabulación de datos verificando la deformación existente del material, con este procedimiento se validan los datos previamente obtenidos.

Tabla 43
Análisis de esfuerzos en portaherramientas

Modelo 	Fuerza en el eje Z (Newton)	Deformación (mm)	Factor de seguridad
0.1	2200	0.00065	1.231
0.05	2200	0.00074	1.308
0.025	2200	0.00074	1.328
0.0125	2200	0.00074	1.328

El modelo validado posee buenas características ya que, por medio de los observados previamente, se podría asumir que hasta se encuentra sobredimensionado, y con un factor de seguridad de 1.328.

DISEÑO ELÉCTRÓNICO Y DE CONTROL

4.3.1 Módulo Automatización

La automatización del presente proyecto es importante, los motores a paso son los responsables de mover la bancada en las direcciones x e y, entonces es necesario realizar un dimensionamiento correcto del torque necesario para realizar dicha movilidad, la correcta selección de los motores dependerá de la fuerza necesaria para mover la mesa.

Fuerza en el eje Z, básicamente es el peso de la bancada que se obtiene de como dato del modelamiento 3D.

$$F_z = 83.33\text{Kg} \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_z = 816.639 \text{ N}$$

Con esta fuerza calculada previamente se obtiene el momento con la siguiente fórmula (OrientalMotors, 2016).

$$T_r = F_z \times \left[\frac{h}{2 \times \pi \times n} + r_b \times \mu_b \right] \times \frac{1}{i} \text{ Nmm} \quad (47)$$

Donde:

- F : Fuerza total.
- h : paso del tornillo de potencia.
- r_b : radio del tornillo de potencia.
- μ_b : coeficiente de fricción del tornillo de potencia.
- i : relación de transmisión.

Para los aceros, el coeficiente U_b es 0,15 coeficiente de fricción entre tornillo acero/bronce, resolviendo la ecuación (47).

$$T_r = 816.639 \times \left[\frac{2.5}{2 \times \pi \times 0.3} + 22 \times 0.15 \right] \times \frac{1}{2.25} \text{ Nmm}$$

$$T_r = 1774,8\text{Nmm} = 1.7748\text{Nm}$$

El motor que se seleccionará para el desarrollo del proyecto tendrá un torque mayor a 1.7748 Nm, es conveniente trabajar con un factor de seguridad, que por experiencias de autores previos toma el 10%, siendo el torque final.

$$T_r = 1.7748\text{Nm} \times 1.10 = 1.95\text{Nm} \sim 2\text{Nm}$$

4.3.2. Configuración tarjeta USBCNC de control.

Previamente seleccionada la tarjeta USBCNC, los componentes de la mencionada tarjeta se pueden apreciar en la Figura 67, sus partes y componentes donde se podrán conectar.

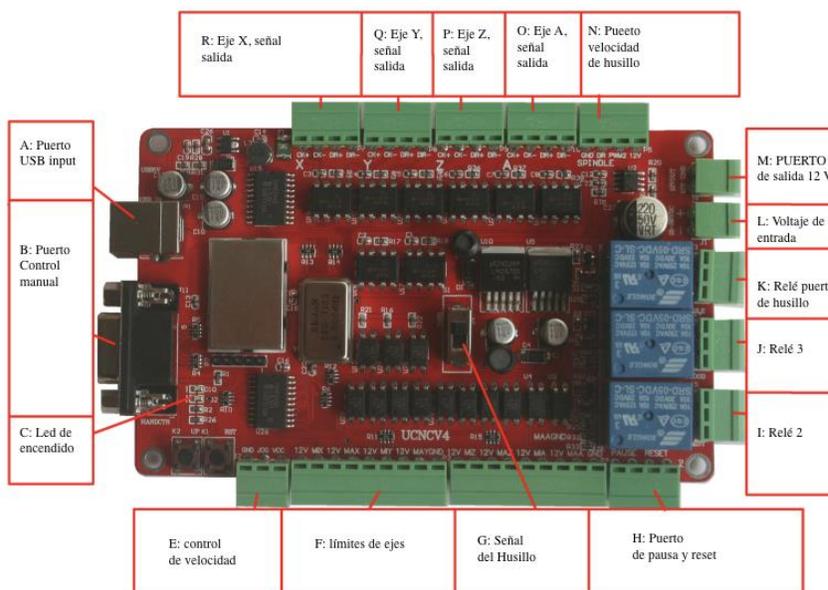


Figura 67 Tarjeta USBCNC partes.

Conexión de sensores que limitarán el área de trabajo de la máquina mortajadora CNC, es sencilla se puede observar a continuación en la Figura 68.

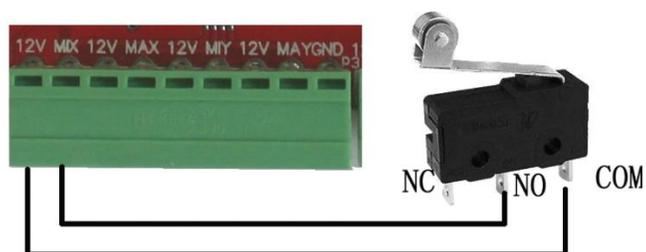


Figura 68 Conexión de fines de carrera

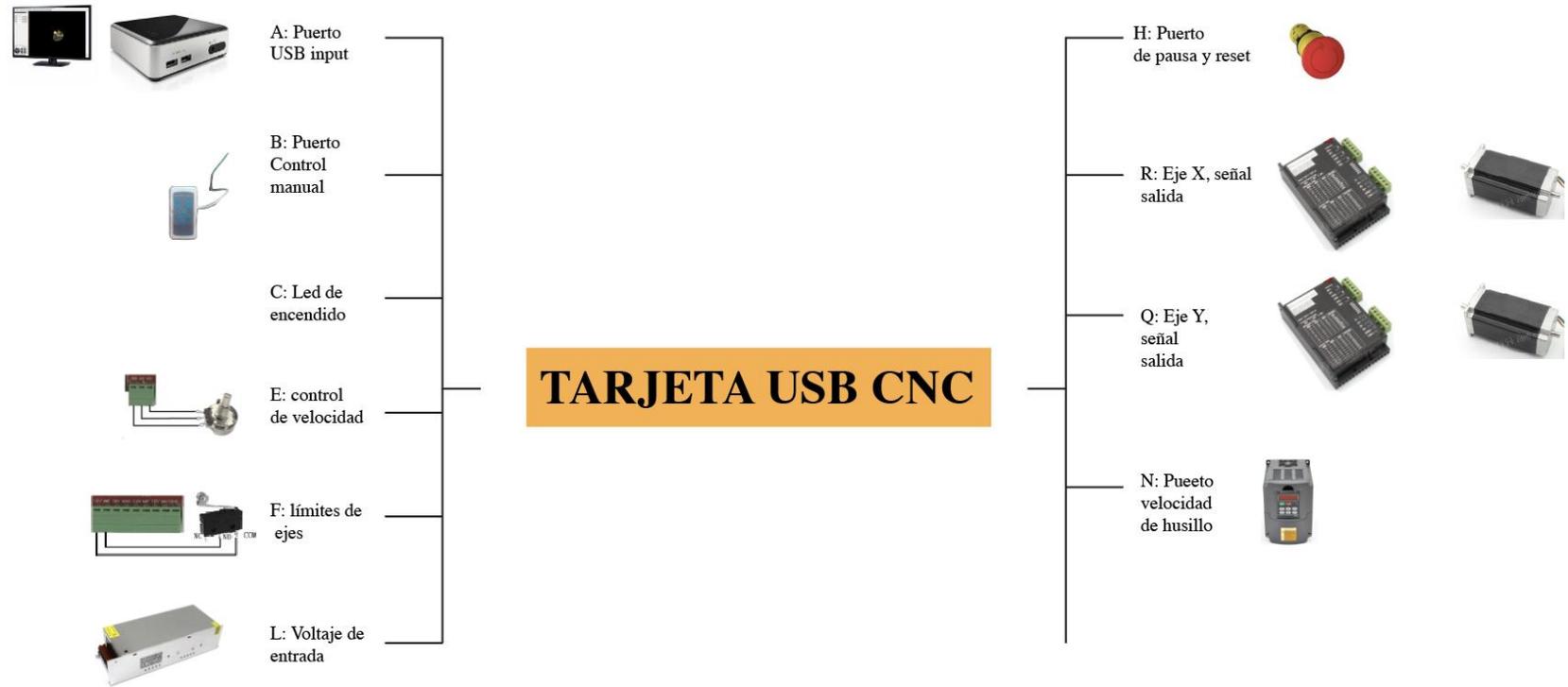


Figura 69 Conexión de tarjeta USBCNC

4.3.3. Configuración de Software USBCNC (HMI)

Es importante establecer todos los parámetros para un correcto desarrollo de todos los componentes del sistema, una vez establecido y determinado el software de control a utilizar, se realiza un correcto diseño de todos los parámetros de control a tomar en cuenta, mencionados a continuación.

4.3.3.1. Generales.

Configuración de unidades y número de ejes a controlar, desplegando la pestaña archivos, y seleccionado opciones desplegar una ventana con la primera opción en generales, se observa en la Figura 70.

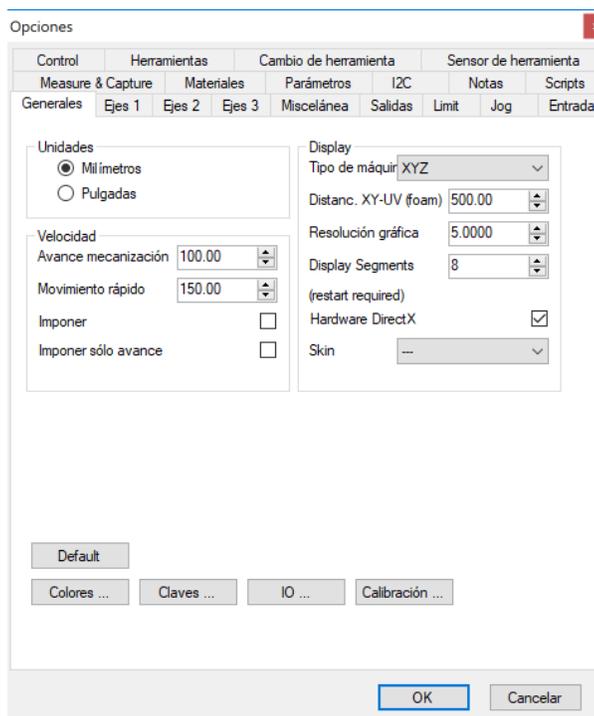


Figura 70 Configuración generales software USBCNC

4.3.3.2. Velocidad de motores

La configuración motores, este tipo de avance y velocidad son establecidos previo al análisis del tipo del motor seleccionado, los parámetros seleccionados permiten realizar la operación de mortajado, en la f se especifica dichos parámetros.

Opciones ✕

Control	Herramientas			Cambio de herramienta		Sensor de herramienta		
Measure & Capture	Materiales		Parámetros		I2C	Notas	Scripts	
Generales	Ejes 1	Ejes 2	Ejes 3	Miscelánea	Salidas	Limit	Jog	Entrada
	X	Y	Z	A				
Ejes								
Pasos/pulso	600.000	600.000	600.000	200.000				
Invertir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Invertir Pulso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Aceleración								
Velocidad inicial	100.00	100.00	100.00	100.00				
Velocidad máx.	0.00	0.00	0.00	0.00				
Aceleración	15.000	15.000	15.000	15.000				
Juegos mecánicos (Backlash)								
Juegos	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000				
Posiciones de estacionamiento								
Posición 1	0.00	0.00	0.00	0.00				
Posición 2	0.00	0.00	0.00	0.00				

OK Cancelar

Figura 71 Configuración velocidad de motores.

4.3.3.3. Interruptores fines de carrera

Los sensores fines de carrera delimitan el área de trabajo óptima de la máquina, es de vital importancia establecer que si la mesa de trabajo, topa uno de estos sensores se interrumpa el paso de corriente a los motores, y también que el herramental se detenga automáticamente, esta decisión

del sistema evitará daños a largo y corto plazo de los sistemas de la máquina mortajadora CNC, véase la Figura 72.

Opciones

Control	Herramientas			Cambio de herramienta			Sensor de herramienta		
Measure & Capture	Materiales			Parámetros			I2C		
Generales	Ejes 1	Ejes 2	Ejes 3	Miscelánea	Salidas	Limit	Jog	Entrada	Scripts
	X	Y	Z	A					
Límites máquina									
Interruptor límite	<input checked="" type="checkbox"/> - <input checked="" type="checkbox"/> +	<input checked="" type="checkbox"/> - <input checked="" type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +	<input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> +
Límite inferior	200.00	150.00	0.00	0.00					
Límite superior	200.00	200.00	0.00	0.00					
Soft Limits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Retorno (Homing)									
Activar	<input type="checkbox"/>								
Secuencia	2	2	1	---					
Velocidad	0.00	0.00	0.00	0.00					
Dirección	<input checked="" type="radio"/> - <input type="radio"/> +	<input checked="" type="radio"/> - <input type="radio"/> +	<input type="radio"/> - <input checked="" type="radio"/> +	<input checked="" type="radio"/> - <input type="radio"/> +					
Definir posición	-10.00	-10.00	100.00	0.00					
Ir a	0.00	0.00	50.00	0.00					
Return Distance	5.0000								
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancelar"/>									

Figura 72 Configuración límites de trabajo.

4.3.3.4. Velocidad del Brazo mortajador.

La velocidad de destaje de la herramienta sobre la pieza a trabajar, es proporcionada por un motor AC, esta velocidad se controla mediante un variador de frecuencia previamente seleccionado, dicho variador de frecuencia esta conectado mediante un puerto RS485 a la tarjeta USB CNC, que controla los datos enviados al variador mediante una señal PWM, es importante establecer los correctos parámetros en el software para la correcta comunicación entre la tarjeta

USBCNC y el variador de frecuencia esto permite al usuario seleccionar la velocidad deseada, véase Figura 73.

Opciones ✕

Control		Herramientas		Cambio de herramienta		Sensor de herramienta	
Measure & Capture		Materiales		Parámetros		I2C	
Notas		Scripts		Limit		Jog	
Entrada		Salidas		Miscelánea		Limit	
Generales		Ejes 1		Ejes 2		Ejes 3	
Miscelánea		Salidas		Limit		Jog	

M3, M4, M5 (Cabezal)

Pin apagado/encendido 1 ▾

Pin dirección --- ▾

Pin velocidad 3 ▾

Min. Máx.

Pausa

Retraso

CW On Off

CCW On Off

Use RC Controller

Lo Hi

M7, M8, M9 (Refrigerante)

Pin refrigerante (M8) 2 ▾

Pin pulverización (M7) 3 ▾

Pause

Output pin --- ▾

Activar motores (E-Stop)

Pin de salida --- ▾

On Exit

M62, M63 Pout Qval

Pin de salida

M64, M65 Pout Qval

Pin de salida

Invertir

Invertir salida 1

Invertir salida 2

Invertir salida 3

Invertir salida 4

Invertir salida 5

Invertir salida 6

Invertir salida 7

Invert Motor Enable

Figura 73 Configuración para variador de frecuencia

DISEÑO ELÉCTRICO

Al verificar el tipo de accionamiento y el estado inicial de la máquina sierra limadora, se pudo realizar un breve bosquejo de la conexión de la máquina que se muestra en la Figura 74

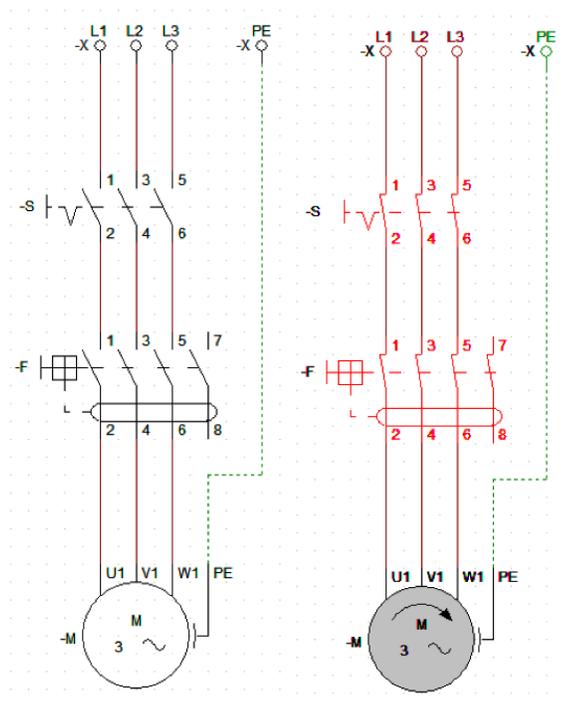


Figura 74 Encendido de sistema

En la Figura 74, se observa el sistema eléctrico y de encendido de la máquina sierra limadora constituido por S un interruptor trifásico, y F un Switch de pedal enclavado y desenclavado al pisar el pedal, y cuando se encuentra S en 1 existe un encendido del sistema. Para el desarrollo del presente proyecto se tomará en cuenta todas las normas de seguridad para precautelar la vida del usuario y el bienestar de todo el Laboratorio de procesos de Manufactura.

Tabla 44
Requerimientos eléctricos

Número	Parámetro	Voltaje AC	Voltaje DC	Amperaje (A)	Cable calibre	Potencia W
1	Computadora	110		1.5	14 AWG	165
2	Pantalla Computadora	110		0.75	14 AWG	82.5
3	Fuente DC		36	10	14 AWG	360
4	Tarjeta USB CNC		5	0.75	18 AWG	3.75
5	Tarjeta USB CNC		36	1	18 AWG	36
6	Motor principal	220 (3~)		2	14 AWG	440
					Total potencia AC	687.5
					Total potencia DC	399.75
					Total, suponiendo todos resistivo y $\alpha=1$, totalmente resistivos	1087.25 W

Previo a los requerimientos eléctricos del sistema y tomando en cuenta que es necesario colocar seguridades en el accionamiento del motor ya que como se apreció en el capítulo de Estado Inicial de la máquina, la máquina sierra limadora carece de seguridades eléctricas ahora es importante desarrollar todas las seguridades para resguardar la integridad del operados y del conjunto de componentes. En la Figura 75, se toma en cuenta todos los sistemas de seguridad según la Norma IEC/EN60947-4-1.

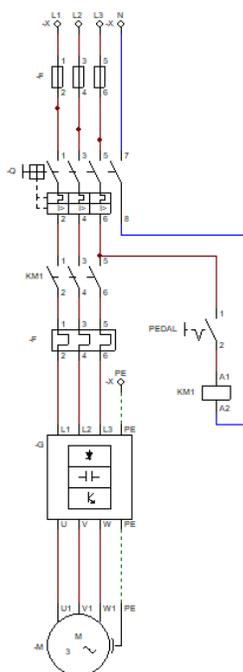


Figura 75 conexión para arranque de motor AC.

De la Figura 75, se especifica los componentes:

- Q un disyuntor magnetotérmico de 4 líneas.
- KM1 un contactor de 110V, pilotado por un pedal (paro de emergencia).
- F relé térmico.
- G un variador de frecuencia.

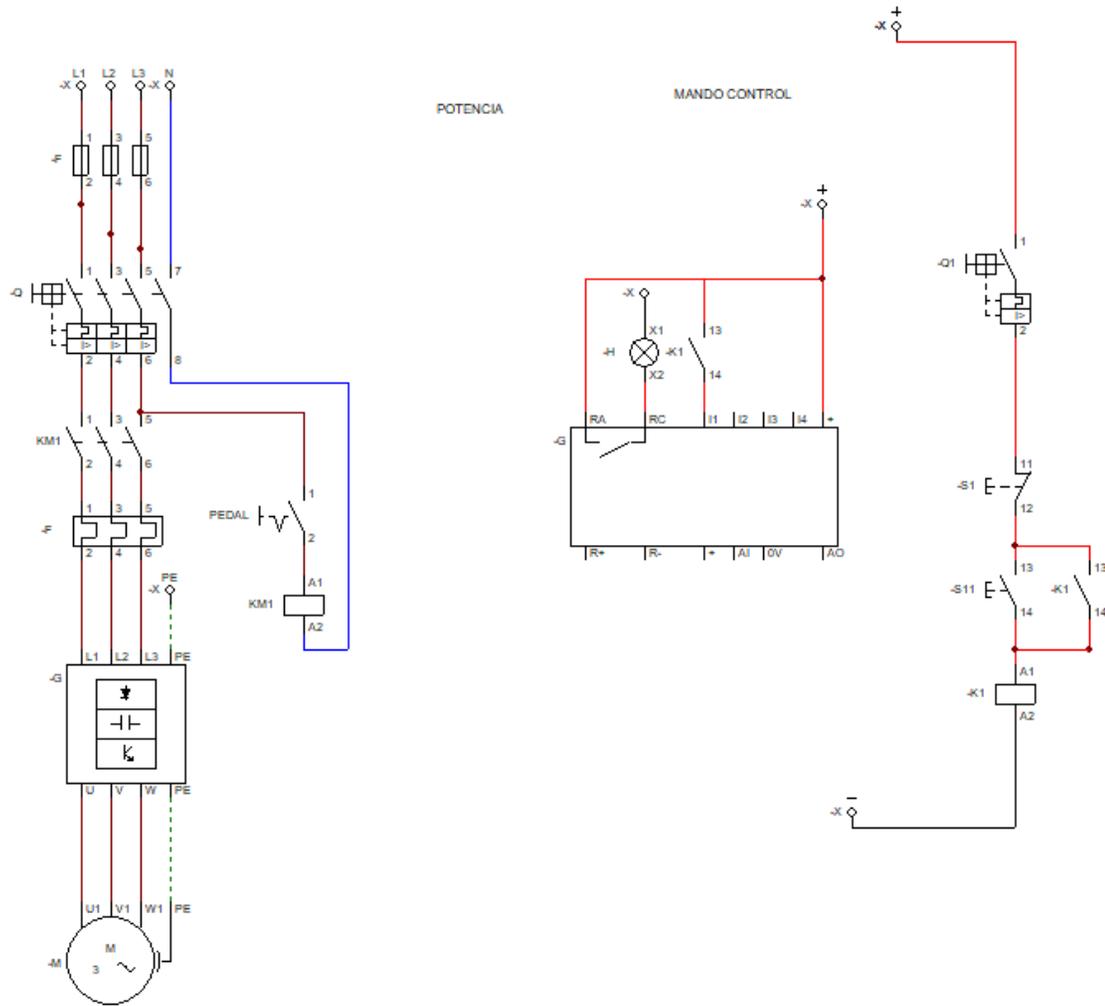


Figura 76 Control de activación variador de frecuencia

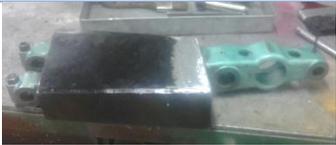
IMPLEMENTACIÓN

Previo al desarrollo y a la definición de todos los parámetros de diseño, la implementación se desarrolla de igual manera separando el diseño mecánico, diseño electrónico y diseño eléctrico, para establecer los módulos definidos previamente, este tipo de implementación permite corregir errores y disminuirlos considerablemente.

4.4.1. Mecánica

La implementación mecánica, se obtiene previo al desarrollo de un diseño final, a continuación, en la Tabla 45, se puede observar cómo se realiza la implementación de los parámetros de diseño obtenidos.

Tabla 45
Implementación mecánica

Diseño	Método	Equipos Maquinaria	Resultados
Prolongación de brazo	Ajuste por interferencia	Prensa hidráulica, termómetro de precisión, rectificadora.	
Brazo mortajadora	Soldadura	Soldadora GMAW, esmeril.	

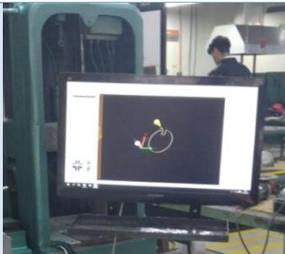
CONTINÚA 

Portaherramienta	Maquinado	Torno, Fresa, calibrador	
Adaptación mesa de trabajo.	Maquinado	Esmeril, taladro, amoladora	

4.4.2. Electrónico y de control

Establecidos todos los parámetros del diseño electrónico y de control, el siguiente paso para la ejecución del proyecto es la implementación, en la Tabla 46, se puede observar los detalles del diseño implementado.

Tabla 46
Implementación electrónica y de control

Diseño	Método	Equipos Maquinaria	Resultados
Automatización	Matrimonio Love Joy	Fresadora, escariador	
Tarjeta USBCNC	Configuración	Tarjeta, drivers, motores	
Software HMI	Configuración	Computadora, Pantalla y CPU	

4.4.3. Eléctrica

De igual manera que en las previas implementaciones mecánica, electrónica y de control, se realiza la implementación para el control de velocidad del motor y para suplir todos los requerimientos eléctricos del sistema que se puede observar en la Tabla 47.

Tabla 47
Implementación eléctrica

Diseño	Método	Equipos Maquinaria	Resultados
Arranque motor y protección	Norma de seguridad eléctrica	Taladro, guías, contactores, relés, magnetotérmicos	

La implementación final del proyecto se puede apreciar a continuación, en la Figura 77 se puede observar todas las partes y subconjuntos unidos, para la conformación final del presente proyecto.



Figura 77 Sistema conjunto implementación máquina mortajadora CNC

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo presenta la validación de pruebas y resultados tomando un caso particular como ejemplo para ser analizado. Se realiza un análisis de control estadístico de procesos, en los ejes x e y respectivamente.

5.1. Control estadístico de procesos

Es importante realizar un control estadístico de las dimensiones de ranurado interno de chaveteros. El comando enviado a la máquina mortajadora CNC, es a través de una codificación de coordenadas x, y, z. En la figura se puede observar la longitud de chavetero requerida.



Figura 78 Modelo de referencia para control estadístico de procesos

La Figura 79 ilustra el trabajo de la máquina mortajadora CNC, con todos los parámetros de diseño implementados. Los parámetros para la realización de dicho chavetero son los siguientes:

- Velocidad de avance para corte: 0.25 [mm/min]
- Velocidad de desbaste o carrera: 15 [mm/min]
- Profundidad de chaveta: 25 [mm]
- Material Bronce y Aluminio.
- Corte de la herramienta ortogonal 5mm de espesor



Figura 79 Prueba de la máquina mortajadora CNC

5.1.1. Control estadístico de procesos Eje X

La medida teórica o requerida es de 6 mm, mientras que las medidas experimentales son las que se muestran en la Tabla 48:

Tabla 48*Medidas experimentales para carta de control eje X*

PRUEBA	M1	M2	M3	M4	M5	X media	s (D. ESTÁNDAR)
1	6.01	6.02	6.01	6.03	6.05	6.02	0.017
2	6.02	6.06	6.01	6.03	6.07	6.04	0.026
3	6.03	6.06	6.05	6.03	6.05	6.04	0.013
4	6.07	6.02	6.04	6.03	6.04	6.04	0.019
5	6.03	6.07	6.03	6.04	6.03	6.04	0.017
6	6.03	6.01	6.03	6.06	6.09	6.04	0.031
7	6.02	6.02	6.03	6.06	6.10	6.05	0.034
8	6.07	6.06	6.04	6.06	6.04	6.05	0.013
9	6.01	6.02	6.06	6.07	6.06	6.04	0.027
10	6.02	6.07	6.06	6.08	6.10	6.07	0.030
11	6.01	6.01	6.06	6.09	6.06	6.05	0.035
12	6.02	6.02	6.06	6.03	6.11	6.05	0.038
13	6.03	6.07	6.02	6.06	6.03	6.04	0.022
14	6.03	6.01	6.03	6.07	6.02	6.03	0.023
15	6.01	6.01	6.03	6.08	6.05	6.04	0.030
16	6.04	6.02	6.04	6.09	6.01	6.04	0.031
17	6.04	6.03	6.06	6.05	6.02	6.04	0.016
18	6.03	6.07	6.06	6.06	6.03	6.05	0.019
19	6.03	6.03	6.07	6.07	6.03	6.05	0.022
20	6.03	6.03	6.03	6.05	6.04	6.04	0.009

CONTINÚA

21	6.03	6.02	6.03	6.09	6.01	6.04	0.031
22	6.03	6.01	6.02	6.04	6.02	6.02	0.011
23	6.03	6.02	6.01	6.06	6.02	6.03	0.019
24	6.03	6.02	6.07	6.07	6.06	6.05	0.023
25	6.03	6.02	6.03	6.05	6.01	6.03	0.015
						6.04	0.023

De la Tabla 48, se puede observar un promedio de longitud de chavetero (\bar{X}) y el promedio de la desviación estándar:

$$\bar{X} = 6,040 [mm]$$

$$\bar{s} = 0.023 [mm]$$

Las constantes para desarrollo de las cartas de control se seleccionaron de la Figura 80, en cuenta que las mediciones se realizaron en grupos de 5. De donde dichas constantes son las siguientes:

- A_3 : 1.427 (Factor para límites de control de la Media)
- C_4 : 0.94 (Divisor para la estimación de la desviación estándar)
- B_3 : 0 (Factor para límites de control de la desviación estándar)
- B_4 : 2.089 (Factor para límites de control de la desviación estándar)

\bar{X} and s Charts*				
Subgroup Size	Chart for Averages (X)	Charts for Standard Deviations (s)		
	Factors for Control Limits	Divisors for Estimate of Standard Deviation	Factors for Control Limits	
n	A_3	c_4	B_3	B_4
2	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.954	0.8862	-	2.568
4	1.628	0.9213	-	2.266
5	1.427	0.9400	-	2.089
6	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.975	0.9727	0.284	1.716

Figura 80 Modelo de referencia para control estadístico de procesos

Fuente: (CABERO, 2011)

Con estas constantes seleccionadas, se procede a calcular los límites de control para con ello realizar las cartas de control, con las ecuaciones (48) y (49), se calcula de la siguiente manera:

$$LCS_x = \bar{X} + (A_3 * \bar{s}) = 6,040 + (1.427 * 0,023) = 6.070 \quad (48)$$

$$LCI_x = \bar{X} - (A_3 * \bar{s}) = 6,040 - (1.427 * 0,023) = 6.010 \quad (49)$$

$$LCS_s = B_4 * \bar{s} = 2.089 * 0.023 = 0.048 \quad (50)$$

$$LCI_s = B_3 * \bar{s} = 0 * 0.023 = 0 \quad (51)$$

De los cálculos realizados se obtienen las siguientes gráficas mostrada en la Figura 81 que corresponden a la carta de control de media y de la desviación estándar del eje (X).

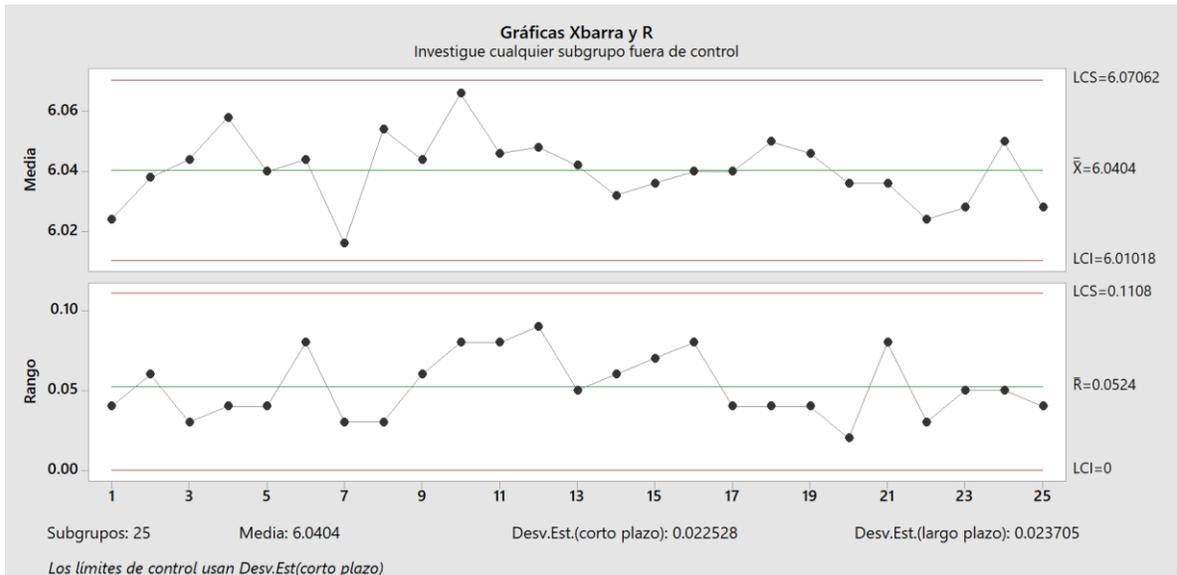


Figura 81 Gráfica de control X media Eje X

En la Figura 81, se observa la línea de dispersión de datos experimentales los mismos que se encuentran dentro de sus límites de control previamente establecidos, con esta información se puede asumir que el proceso se encuentra en control estadístico.

Un histograma de capacidad permite observar los datos de las muestras tomadas, dichos datos se encuentran dispersos en una distribución no Normal como se puede observar en la Figura 82.

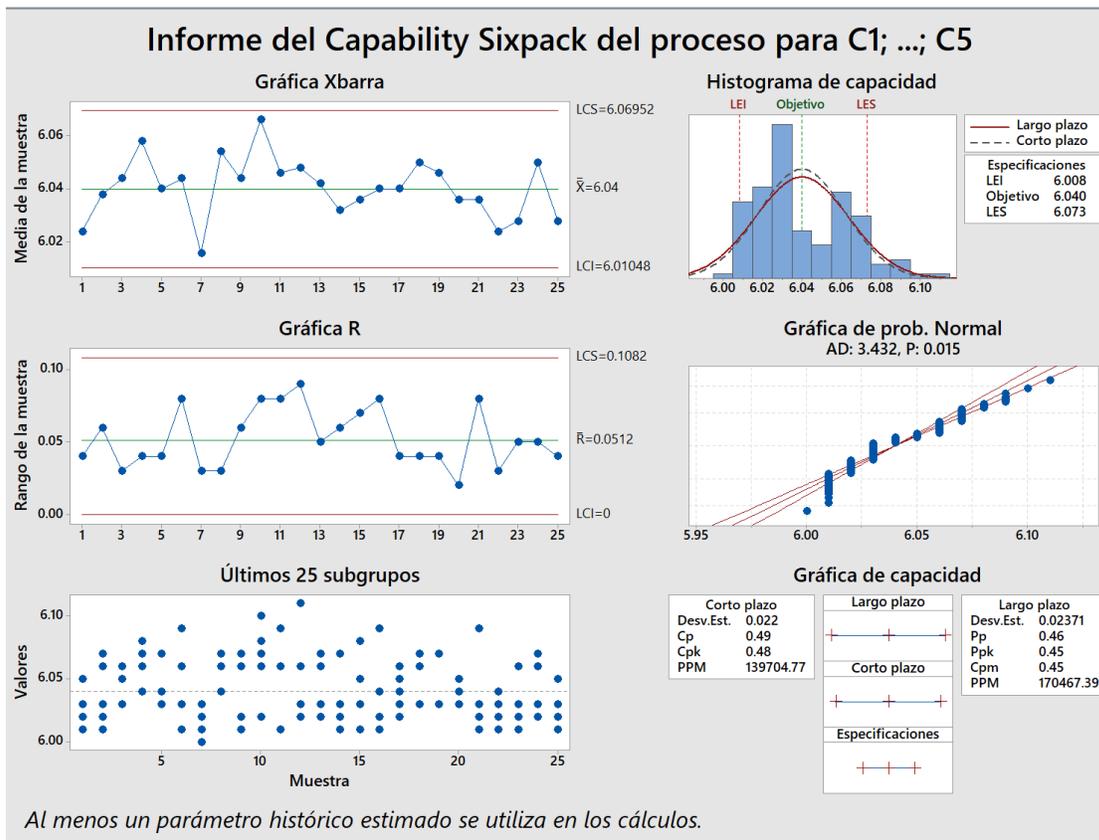


Figura 82 Resumen control estadístico proceso eje X.

De acuerdo con la gráfica de la probabilidad normal, la distribución de los datos no se asemeja a una gráfica con normalidad. Existen algunas causas por las cuales sucede este hecho, como y la más probable es, que el operador de la máquina ajuste repetidamente el proceso al momento en que la máquina se encuentra en marcha, no permitiendo tener una repetitividad óptima del proceso.

5.1.2. Control estadístico de procesos Eje Y

Una vez obtenido el control estadístico del proceso de ranurado interno chavetero para el eje X, se realiza de igual manera para el eje Y tomando en cuenta que se tiene como medida teórica o medida base 7mm, en la Tabla 49 se muestran las medidas experimentales obtenidas.

Tabla 49*Medidas experimentales para carta de control eje Y*

PRUEBA	M1	M2	M3	M4	M5	X media	s (D. ESTÁNDAR)
1	6.99	6.98	7.01	7.04	7.02	7.01	0.017
2	7.03	7.00	7.02	7.00	7.04	7.02	0.026
3	7.01	7.06	7.03	7.06	7.02	7.04	0.013
4	7.02	7.03	6.96	7.03	6.98	7.00	0.019
5	7.04	7.02	6.98	7.01	7.01	7.01	0.017
6	6.97	7.01	6.97	6.98	7.00	6.99	0.031
7	7.03	7.02	7.00	7.00	7.02	7.01	0.034
8	6.98	7.05	7.05	7.01	7.04	7.03	0.013
9	7.05	7.00	7.06	7.03	6.95	7.02	0.027
10	6.99	7.00	7.03	7.00	7.03	7.01	0.030
11	7.06	7.02	7.05	6.99	7.01	7.03	0.035
12	7.03	7.03	7.00	7.04	6.95	7.01	0.038
13	6.97	7.01	7.04	7.00	7.02	7.01	0.022
14	7.05	6.99	7.01	7.01	7.00	7.01	0.023
15	7.00	7.00	6.99	7.00	6.97	6.99	0.030
16	6.98	7.01	6.99	7.02	7.00	7.00	0.031
17	7.01	7.03	7.01	7.04	7.01	7.02	0.016
18	7.02	7.02	7.02	7.03	7.02	7.02	0.019
19	7.01	7.00	7.01	6.99	7.00	7.00	0.022
20	7.00	7.03	7.02	7.00	7.05	7.02	0.009

CONTINÚA



21	7.03	6.99	7.07	6.97	7.04	7.02	0.031
22	7.07	7.00	7.04	6.95	7.02	7.02	0.011
23	7.01	6.96	7.02	6.99	7.04	7.00	0.019
24	7.02	6.98	7.03	6.99	7.06	7.02	0.023
25	6.99	6.99	7.05	7.06	7.00	7.02	0.015
						7.01	0.023

De la Tabla 49, se puede observar el promedio de la medida de Y, y el promedio de la desviación estándar.

$$\bar{Y} = 7,010 [mm]$$

$$\bar{s} = 0.023 [mm]$$

Las mediciones se realizaron en grupos de 5, de igual manera que en el caso anterior, esto quiere decir que los valores de las constantes para el desarrollo de cartas de control son los mismos, y de las ecuaciones (48) y (49) se reemplaza los nuevos valores de Y media (\bar{Y}), y desviación estándar (\bar{s}) teniendo.

$$LCS_y = \bar{Y} + (A_3 * \bar{s}) = 7,010 + (1.427 * 0.023) = 7,047 \quad (52)$$

$$LCI_y = \bar{Y} - (A_3 * \bar{s}) = 7,010 - (1.427 * 0.023) = 6,978 \quad (53)$$

$$LCS_s = B_4 * \bar{s} = 2.089 * 0.023 = 0.048 \quad (54)$$

$$LCI_s = B_3 * \bar{s} = 0 * 0.023 = 0 \quad (55)$$

La gráfica para las cartas de control se obtiene a partir de la media y la desviación estándar del eje Y, en la **Figura 83** se puede observar.

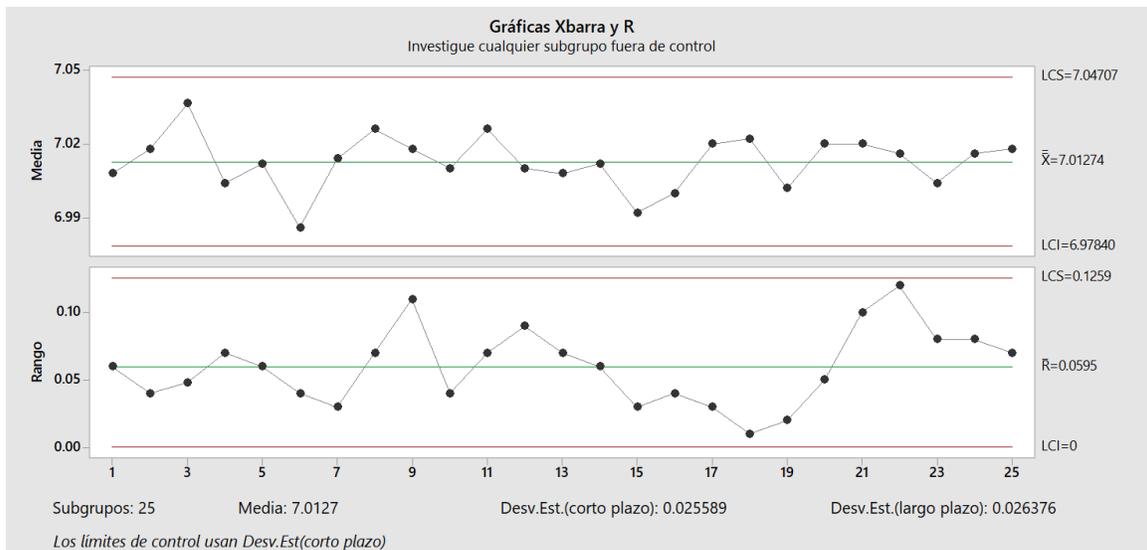


Figura 83 Gráfica de control Y media Eje Y

La dispersión de los datos experimentales se puede apreciar en la Figura 83, los cuales se encuentran dentro de sus límites de control de igual manera que en el caso del eje X, se puede asumir que el proceso se encuentra dentro de control estadístico. Se muestra a continuación un histograma de capacidad que muestra los datos de la Tabla 49, dichos datos se encuentran dispersos en una distribución aparentemente normal como se puede observar en la Figura 82.

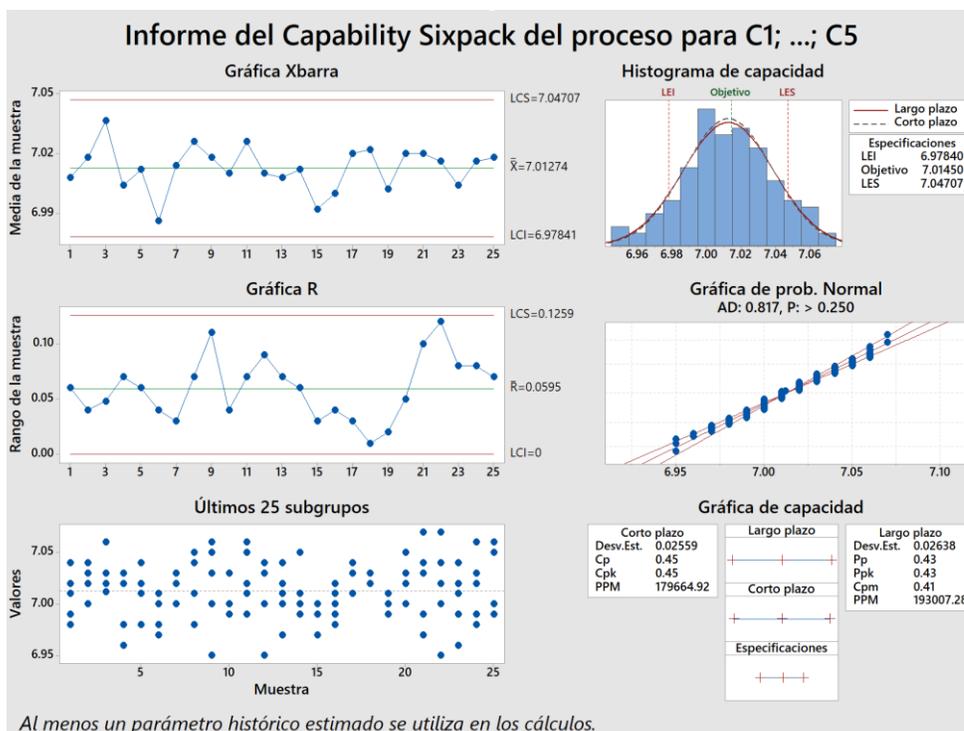


Figura 84 Resumen control estadístico proceso eje Y.

El histograma de capacidad para el eje Y, la distribución de datos se encuentra dentro de los límites de control, se refiere a que el proceso se encuentra dentro de sus especificaciones, dicho histograma posee una gráfica que se asemeja a la campana de Gauss, es decir que tiene una distribución aproximadamente normal.

Planes de acción:

- Calibración correcta del equipo y el proceso.
- Capacitar al Obrero
- Mejorar sistema de sujeción

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un mecanismo mortajador con control numérico, sobre una máquina sierra limadora, el mismo que consta de una mesa de trabajo automática, que se moviliza a través de los ejes x e y, con lo cual se acopló motores a pasos. El movimiento de la coordenada del eje z permite la operación de mortajado, ya que moviliza un brazo y a su vez una cuchilla sobre la pieza a trabajar, y es controlado por un variador de frecuencia, que regula la velocidad de la carrera o la velocidad de corte. Todos los movimientos mencionados son controlados por el usuario a través de una interfaz gráfica HMI. Culminando con la selección de materiales apropiados.
- Se estableció un análisis situacional de la máquina sierra limadora, en la Tabla 10 y Tabla 11 se puede observar el estado actual de sus componentes tanto mecánicos como eléctricos. Este análisis permitió establecer módulos para la ejecución del presente proyecto, todos los subsistemas que conformarán parte de la máquina mortajadora CNC.
- Se aumentó la longitud del eje principal y se refuerza el brazo mortajador, también se incluye un portaherramientas con una herramienta de corte de fácil manejo y cambio, se requiere por otro lado implementar una mesa automática de movimientos pre programados en los ejes x e

y. se cumple con los requerimientos del usuario de obtener una precisión nominal de 0.1 mm, en chaveteros de 5 mm a 25.4 mm de profundidad.

- Se modificó la bancada de la máquina sierra limadora, con el fin de obtener movimientos secuenciales en los ejes coordenados, sustituyendo la mesa original por una mesa automática previamente alterada con un sistema de acoples, los cuales permiten transferir el movimiento de los motores previamente dimensionados a cada uno de los correspondientes ejes coordenados.
- El análisis de control estadístico permitió observar si el trabajo de la máquina mortajadora CNC, se encuentra dentro de los límites de control y si existe una distribución normal en la dispersión de los datos obtenidos, teniendo como resultado que en el eje X, los datos se encuentra en control estadístico pero la gráfica de distribución normal no se asemeja a una campana de Gauss, se puede asumir que el proceso se encuentra fuera de su objetivo.

6.2. RECOMENDACIONES

- Basado en la metodología usada en el presente proyecto, se recomienda futuros trabajos que sigan la misma línea de investigación con el fin de rehabilitar maquinarias en mal estado u obsoletas.
- El diseño de la máquina mortajadora CNC abre la posibilidad de añadir un cuarto eje en el plato divisor que sujeta la pieza de trabajo, para aumentar un grado de libertad adicional a la máquina.
- Si se desea trabajar con materiales de alto contenido de carbono, se recomienda redimensionar el motor con uno de mayor potencia de 1.5HP.
- Implementar un cambio automático para la variación de la carrera del brazo mortajador.
- Para obtener repetibilidad en el desarrollo de chaveteros se recomienda que el sistema se encuentre calibrado a las velocidades óptimas de trabajo, los ángulos de corte en la cuchilla deben ser los apropiados para obtener un mejor acabado al momento de realizar la operación de mortajado, así mismo la sujeción del portaherramientas en el brazo mortajador debe ser la mejor, debido a que en el análisis de control estadístico a pesar que los datos obtenidos se encuentran dentro de los límites de control, el histograma de capacidad no tiene una distribución normal, en el eje (X), en el eje (Y) no presenta mayor dificultades, para solucionar mencionado

problema en el eje (X) se debe tener en cuenta que exista una buena la sujeción de la
cuchilla en el portaherramienta.

BIBLIOGRAFÍA

- Schey, J. A. (2002). *Procesos de Manufactura*. México: McGraw-Hill.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson Prentice Hall.
- Steigert, A. (1964). *Tecnología Mecánica Cepillado y Mortajado*. España: Urmo.
- Carvajal, J. (2005). Automatización y mecatrónica en la educación. *Revista de la Universidad de La Salle*, 45-58.
- Bolton, W. (2001). *Mecatrónica Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A.
- Groover, M. (2000). *Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing*. Prentice Hall.
- Amendola, L. (s.f.). Indicadores de Confiabilidad Propulsores en la Gestión del Mantenimiento. Valencia, España: Universidad Politécnica Valencia España - Dpto. Proyectos de Ingeniería.
- Escalona. ((2015)). *Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas (Vol. I. I.)*.
- HepcoMotion, I. (s.f.). *Soluciones Lineales Avanzadas*. Obtenido de <http://www.hepcotion.com/es/ejes-de-precision-en-acero-y-en-aluminio-catalogos-pg-16-get-408>.
- Assemblymag. (13 de 11 de 2017). *www.assemblymag.com*. Obtenido de [www.assemblymag.com: http://www.assemblymag.com/articles/91576-increasing-strength-and-reliability-of-interference-fits](http://www.assemblymag.com/articles/91576-increasing-strength-and-reliability-of-interference-fits).
- Estrada López, U. (2017). *Estudios sobre ensambles mecánicos por interferencia*. Programa de Maestría y Doctorados en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

- Jiménez Balboa, L. (1996). *Prontuario de Ajustes y Tolerancia*. (s/n, Ed.) *Alfaomega Marcombo*.
- Makilezzo, S. (25 de Marzo de 2009). *Maquinaria Industrial*. Obtenido de http://www.makilezzo.com/e_prensa.htm
- DirectIndustry. (25 de Marzo de 2009). *www.directindustry.com*. Obtenido de <http://www.directindustry.com/prod/fag-industrial-services/three-arm-hydraulic-bearing-puller-31089-354590.html>
- Luzadder, W., & Duff, J. (1986). *Fundamentos de Dibujo en Ingeniería* (0na. ed.). Mexico: Prentice Hall.
- Lovejoy, I. (2014). *Lovejoy INC*. Obtenido de <http://www.lovejoy-inc.com>
- DMYH. (2014). *De Maquinas y Herramientas*. Obtenido de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado>
- Global Motion Technology, I. (2014). *Motiontek*. Obtenido de <http://www.motiontek.ca/>
- Changzhou RATT Motor Co., L. (2013). *4 Axis USBCNC Breakout Board User Manual*. Obtenido de <http://www.globalsources.com/si/AS/Changzhou-RATTM/6008835198477>
- Schneider-Electric. (2016 de Abril de 2016). *Schneider-Electric*. Obtenido de Schneider-Electric Life is On: <http://www.schneider-electric.com/>
- Honeywell, I. I. (2014). *Honeywell Sensing and Control*. Obtenido de <http://sensing.honeywell.com>
- Irvin System. (11 de Abril de 2016). *Irvin Systems*. Obtenido de <http://www.irvinsystems.com/>
- Kollormorgen. (2013). *Kollormorgen*. Obtenido de <http://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/akm-series-ac-synchronous-motors/ac-synchronous-servo-motors/>
- Automation Technologies. (12 de Noviembre de 2012). *Automation Technologies INC*. Obtenido de <http://www.automationtechnologiesinc.com/wp-content/uploads/downloads/2012/11/USB-Motion-Card-AKZ250-Manual-v1.17-EN.pdf>

- Warfield B. (2010). *Cookbook*. Obtenido de <http://www.cnccookbook.com/CCBreakoutBoards.htm>
- Inc, A. M. (s.f.). *Advanced Micro Controls, Inc.* Obtenido de <http://www.amci.com/tutorials/tutorials-stepper-vs-servo.asp>
- Advanced Micro Controls, I. (2014). *Advanced Micro Controls, Inc.* . Obtenido de <http://www.amci.com/tutorials/tutorials-stepper-vs-servo.asp>
- Burris M. (2014). *About Technology*. Obtenido de <http://components.about.com/od/Components/a/Stepper-Motors-Vs-Servo-Motors-Selecting-A-Motor.htm>
- Anaheim Automation. (2011). *Anaheim Automation*. Obtenido de [http://www.anaheimautomation.com/images/servo/specifications/Stepper%20Motor%20vs.%20Servo%20Motor%20\(800x682\).png](http://www.anaheimautomation.com/images/servo/specifications/Stepper%20Motor%20vs.%20Servo%20Motor%20(800x682).png)
- Castro Guillermo, O. (2011). *Universidad de Buenos Aires*. Obtenido de http://materias.fi.uba.ar/6715/Material_archivos/Apuntes%20Ing.%20Castro/67.15%20Unidad%202.pdf
- Corbella Albiñana, E. (1962). Herramientas de Cortes para Metales. En C. A. Enrique.
- Norton, R. L. (1992). Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos. En R. L. Norton, *Diseño de maquinaria* (pág. 747). México, D.F.: The McGraw-Hill.
- Hons Appold. (1982). Technologie Metall für maschinentechnische Befure. En A. R. Kurl Feiler, *Tecnología de los metales para profesionales técnicos-mecánicos* (pág. 405). Hamburg: Editorial reverté, S. A., Barcetona.
- Universidad Politécnica de Madrid. (2015). *OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de OpenCourseWare de la Universidad Politécnica de Madrid: <http://ocw.upm.es/ingenieria-mecanica/especificacion-de-dimensiones-y-tolerancias-gd-t/02-toldim/0201-toldim.pdf>

- Exponent. (02 de Junio de 2017). *Engineering and Scientific Consulting Marcbot*. Obtenido de <http://www.exponent.com/experience/marcbot/?pageSize=NaN&pageNum=0&loadAllByPageSize=true>
- Equiza, J. D. (01 de 02 de 2012). Selección de ajustes iso en función de las condiciones límite. *ARISTA DIGITAL*, 30. Obtenido de <http://www.afapna.es/web/aristadigital>
- Instituto Superior Técnico. (Marzo de 2002). *Institute for Systems and Robotics of Lisboa*. Obtenido de <http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/cadeiras/robmovel/Introduction.pdf>
- Vanegas Useche Libardo, V. (08 de 2011). *Facultad de Ingeniería Mecánica*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira: <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap10.pdf>
- Ortuño, M. (1975). Trabajos de limado, cepillado, mortajado y brochado. En Ortuño Modesto, *Maquinas y Herramientas*.
- Bartsch, W. (1978). Mortajadora. En M. Bartsch Walter, *Herramientas Máquinas Trabajo* (pág. 122). Barcelona: Reverté Encarnación.
- García, L. C., & Vanegas Useche, L. (22 de Febrero de 2010). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de Facultad de Ingeniería Mecánica: <http://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2011/08/Cap-3-Transm-por-correas.pdf>
- OrientalMotors. (2016). Technical Reference. En G. T. Reference.
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (Diciembre de 2004). *Universidad del CEMA*. Obtenido de QFD: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos: <https://www.ucema.edu.ar/publicaciones/documentos/234.pdf>
- Directindustry. (2016). *directindustry.es*. Obtenido de http://www.directindustry.es/prod/cams/product-27795-374804.html#product-item_1857930
- Arsenalomeya. (2005). *Arsena Lomeya*. Obtenido de Herramienta Mortajadora: http://www.arsenalomeya.com/?page_id=603

Universidad del País Vasco. (2011). *Ehusfera*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento.htm>

Cabero, M. T. (05 de 04 de 2011). *Universidad de Salamanca*. Obtenido de Control Estadístico de Proceso: http://ocw.usal.es/ciencias-sociales-1/control-estadistico-de-la-calidad/contenido/ocw_cabero/03_tablas/tablas_CC.pdf

Torres, J. L., & López M., A. (2016). Manual de Prácticas de Manufactura. En *Manual de Prácticas de Manufactura* (pág. 101). Almería: Editorial Almería.