



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

AUTORES: AYALA GUAYASAMÍN, PABLO SEBASTIÁN

DÍAZ CABRERA JUAN SEBASTIÁN

**TEMA: REPOTENCIACIÓN, MODERNIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
TAREAS DE ROSCADO DEL TORNO NCL 2000 DEL LABORATORIO DE
CAD/CAM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO MEDIANTE
CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO.**

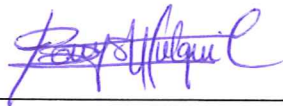
DIRECTOR: ING. CULQUI, BORYS

CODIRECTOR: ING. OLMEDO, FERNANDO

SANGOLQUÍ, ENERO 2015

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto "REPOTENCIACIÓN, MODERNIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE TAREAS DE ROSCADO DEL TORNO NCL 2000 DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO" y el artículo científico correspondiente al mismo, fueron realizado en su totalidad por Pablo Sebastián Ayala Guayasamín y Juan Sebastián Díaz Cabrera, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Mecatrónico.



Ing. Borys Culqui

DIRECTOR



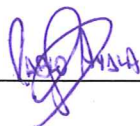
Ing. Fernando Olmedo

CODIRECTOR

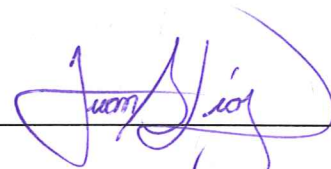
Sangolquí, 28 de Enero del 2015

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

El proyecto "REPOTENCIACIÓN, MODERNIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE TAREAS DE ROSCADO DEL TORNO NCL 2000 DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO" ELABORADO POR:

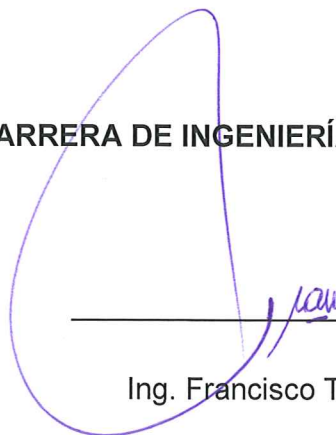


Pablo Sebastián Ayala Guayasamín



Juan Sebastián Díaz Cabrera

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA



Ing. Francisco Terneus

Director de la Carrera de Ingeniería Mecatrónica



Sangolquí, 28 de Enero del 2015

AUTORIZACIÓN

Nosotros: Pablo Sebastián Ayala Guayasamín y Juan Sebastián Díaz Cabrera

Autorizamos a la UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución del proyecto de grado titulado: “REPOTENCIACIÓN, MODERNIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE TAREAS DE ROSCADO DEL TORNO NCL 2000 DEL LABORATORIO DE CAD/CAM DE LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Pablo Sebastián Ayala Guayasamín

Juan Sebastián Díaz Cabrera

Sangolquí, 28 de Enero del 2015

DEDICATORIA

Esta tesis dedico primeramente a Dios, quien me brindó fuerzas para superar todas las adversidades que aparecieron en el camino.

También lo dedico en especial a mi familia, la cual siempre tuvo fe en mí y que ha estado apoyándome y brindándome sus fuerzas para seguir adelante y culminar con éxito este proyecto.

Pablo Sebastián Ayala Guayasamín

DEDICATORIA

El presente proyecto de grado está dedicado a mis mentores, mis guías y más que eso, mis amigos: mis queridos padres, quienes con esfuerzo y gran cariño han hecho posible que se cumpla una de las metas más importantes de mi vida.

A mis amigos quienes a lo largo de este camino han estado presentes como fuente de inspiración y apoyo incondicional.

De una manera muy especial quiero dedicar este logro a un hermano, a quien tuve el honor y la oportunidad de conocer en mi etapa universitaria, pero a quien Dios llamó antes de tiempo a su lado y sé que me ha cuidado desde entonces; para ti, mi amigo Marco Gabriel Aguilar Andrade.

Juan Sebastián Díaz Cabrera

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios infinitamente por haberme dado la fuerza de voluntad para terminar con éxito este proyecto.

Agradezco a mis padres por siempre estar conmigo en todo este caminar.

Agradezco a mi hermano por darme palabras de aliento y apoyo.

Pablo Sebastián Ayala Guayasamín

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios quien me ha dado la salud, la fortaleza y la oportunidad de poder culminar mis estudios.

También quiero agradecer a mis padres, que fueron mis primeros y más importantes maestros de vida. Para ellos y por ellos fue posible este logro tan importante. Muchas gracias de todo corazón por estar conmigo siempre y por enseñarme a ser una persona de bien y responsable.

A mis compañeros, amigos y familia en quienes tuve un ejemplo muy importante y que, de una u otra forma, fueron parte de mi educación profesional y personal.

A mi compañero Pablo Sebastián Ayala Guayasamín, un gran amigo, con el que comparto este logro y que le agradezco el apoyo y la confianza que tuvo en mí para llevar a cabo este proyecto de grado.

Muchas gracias a todos.

Juan Sebastián Díaz Cabrera

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xxii
ÍNDICE DE TABLAS	xxv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxvi
RESUMEN.....	xxvii
NOMENCLATURA.....	xxix
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO.....	5

1.3.1	SISTEMA MECÁNICO	5
1.3.2	SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO	6
1.3.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	6
1.3.4	SISTEMA DE CONTROL	7
1.4	OBJETIVOS.....	8
1.4.1	GENERAL	8
1.4.2	ESPECÍFICOS	9
1.5	METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO 2.....		11
2.	MARCO TEÓRICO	11
2.1	SISTEMAS CAD/CAM	11
2.1.1	TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN DEL CAD/CAM	11
2.2	TORNO.....	12
2.2.1	GENERALIDADES.....	12
2.2.2	MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE TORNOS	15
2.2.3	MOVIMIENTOS PRINCIPALES EN EL TORNO	15
2.2.4	OPERACIONES PRINCIPALES EN EL TORNEADO	16
2.2.4.1	Cilindrado.....	17
2.2.4.2	Refrentado	17
2.2.4.3	Roscado.....	19
2.2.4.3.1	Elementos y dimensiones fundamentales de las roscas	19
2.2.5	PARÁMETROS DEPENDIENTES DEL TORNEADO.	21
2.2.6	PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE TORNOS	22
2.3	GEOMETRÍA DE CORTE EN EL TORNEADO	22

2.3.1	VELOCIDAD DE CORTE (V_c).....	22
2.3.2	VELOCIDAD DE AVANCE (f)	23
2.3.3	PROFUNDIDAD DE PASADA (a_p).....	24
2.3.4	SECCIÓN DE VIRUTA (a)	24
2.4	CÁLCULO DEL TIEMPO DE MAQUINADO	24
2.5	HUSILLO	25
2.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO	25
2.5.2	TIPOS DE ROSCA.....	26
2.5.3	TIPOS DE HUSILLOS.....	26
2.5.3.1	Husillos de rosca trapezoidal	27
2.5.3.2	Husillos de alta frecuencia	27
2.5.3.3	Husillos de rodillos	28
2.5.3.4	Husillos a bolas:.....	30
2.6	TRANSMISIÓN FLEXIBLE	31
2.6.1	CORREA PLANA	31
2.6.2	CORREA TRAPEZOIDAL	33
2.7	ACTUADORES (MOTORES)	35
2.7.1	MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA	35
2.7.1.1	Principio de funcionamiento	36
2.7.1.2	Control de motores CC por ancho de pulso	38
2.7.1.3	Control posición	40
2.7.2	MOTOR PASO A PASO.....	41
2.7.2.1	Secuencia de funcionamiento	42
2.7.2.2	Control de las bobinas	44
2.7.2.3	Velocidad de rotación	44

2.7.2.4	Tipos de motores paso a paso	45
2.8	TARJETAS DE COMUNICACIÓN	46
2.9	INTERFACES PARA TRABAJO CNC	49
CAPÍTULO 3.....		52
3.	ANÁLISIS DEL TORNO NCL2000.....	52
3.1	SITUACIÓN INICIAL DE LA MÁQUINA.....	52
3.1.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TORNO	52
3.1.1.1	Cabezal.....	53
3.1.1.2	Contrapunto	54
3.1.1.3	Torreta	54
3.1.1.4	Carro Transversal y Carro Longitudinal	55
3.1.1.5	Bancada.....	55
3.1.2	DESCRIPCIÓN TORNO NCL2000	56
3.1.2.1	Cabezal.....	58
3.1.2.2	Torreta	59
3.1.2.3	Contrapunto	61
3.1.3	DETERMINACIÓN DE MATERIALES.....	62
3.1.3.1	Material de barra guía de soporte del Sistema Bancada	62
3.1.3.2	Material del Sistema Cabezal	63
3.1.4	ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL TORNO NCL 2000... ..	64
3.2	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA.....	66
3.2.1	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA BANCADA .	66
3.2.1.1	Diagrama de Cuerpo Libre.....	66
3.2.1.2	Modelo CAD de la Barra Guía del Portaherramientas	68

3.2.1.2.1	Ubicación de apoyos	68
3.2.1.2.2	Fuerzas y torsiones actuantes.....	69
3.2.1.2.2.1	Fuerza actuante del sistema torreta	70
3.2.1.3	Modelo CAE de la barra guía del portaherramientas	72
3.2.2	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA CABEZAL ..	74
3.2.2.1	Diagrama de Cuerpo Libre.....	74
3.2.2.2	Modelado CAD del Cabezal.....	75
3.2.2.2.1	Medidas De Apoyos	75
3.2.2.2.2	Fuerzas Actuantes.....	76
3.2.2.3	Modelado CAE del Cabezal	77
3.3	TORNILLO DE FUERZA O POTENCIA DEL CARRO	78
3.4	SELECCIÓN DE MOTORES	80
3.4.1	MOTORES CARRO PORTAHERRAMIENTAS (X y Z).....	80
3.4.2	MOTOR PARA MANDRIL	80
3.4.2.1	VELOCIDAD DE CORTE.....	81
3.4.2.2	Potencia absorbida en el trabajo de torneado.....	81
3.4.2.3	Relación avance vs profundidad para distintos materiales. ..	82
3.5	REDISEÑO DEL CABEZAL.....	84
3.5.1	MODIFICACIÓN DEL CABEZAL ACTUAL	89
3.5.2	ELABORACIÓN DE NUEVO CABEZAL	91
3.5.2.1	Modelado CAD del nuevo cabezal	91
3.5.2.2	Modelado CAE del nuevo cabezal	92
3.5.2.3	Fabricación del nuevo cabezal.....	95
3.6	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL	97
3.6.1	SELECCIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL	97

3.7	SELECCIÓN PLATAFORMA PARA PC	100
3.7.1	MACH 3.....	101
3.7.1.1	Requisitos del sistema	101
CAPÍTULO 4.....		103
4.	MONTAJE Y CALIBRACIÓN DEL TORNO NCL - 2000.....	103
4.1	MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO.....	103
4.1.1	MONTAJE DE NUEVO CABEZAL Y MANDRIL.....	103
4.2	INSTALACIÓN DEL SISTEMA DEL CONTROL.....	105
4.2.1	FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS ACTUADORES ..	105
4.2.2	FINALES DE CARRERA O SWITCH DE REFERENCIA.....	105
4.2.3	TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL	106
4.2.4	TARJETA DE CONTROL DE MOTORES A PASOS	108
4.2.4.1	DRIVERS DE CONTROL DE MOTORES A PASOS.....	108
4.2.5	TARJETA DE CONTROL DE ACTUADORES EXTERNOS ..	109
4.3	CONFIGURACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA	112
4.3.1	CONFIGURACIÓN DE MOTORES A PASOS	112
4.3.1.1	Poka yoke	114
4.3.2	CONFIGURACIÓN DE MOTOR DEL MANDRIL.....	114
4.3.3	CONFIGURACIONES DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD...	116
4.3.4	CALIBRACIÓN DE MOTORES.....	119
4.3.4.1	Calibración del motor del husillo	119
4.3.4.2	Calibración de los motores a pasos de los ejes X, Z	121
4.3.4.2.1	Ajuste de la corriente	122
4.3.4.2.2	Ajuste del modo decay	122

4.3.4.2.3 Ajuste del paso	123
4.3.5 MANUAL DE SOFTWARE	125
4.3.6 MANUAL DE OPERACIÓN	125
CAPÍTULO 5	127
5. PRUEBAS Y RESULTADOS	127
5.1 PRUEBAS DIMENSIONALES DE LA MÁQUINA	127
5.1.1 PRUEBAS DIMENSIONALES DE CONSTRUCCIÓN.....	127
5.1.2 PRUEBAS DIMENSIONALES DE MECANIZADO	129
5.1.2.1 Cilindrado.....	129
5.1.2.2 Roscado.....	131
5.2 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA	137
5.2.1 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA: EJE Z	137
5.2.2 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA: EJE X.....	138
5.3 PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS DE LA MÁQUINA	140
CAPÍTULO 6	142
6. ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO	142
6.1 ANÁLISIS FINANCIERO.....	142
6.1.1 COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS	142
6.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA.....	145
6.1.3 COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN.....	147
6.1.3.1 Materiales indirectos	148
6.1.3.2 Mano de obra indirecta	148
6.1.4 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO	149
6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO	150

6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO	152
6.3.1 INVERSIÓN	153
6.3.2 BENEFICIO	153
6.3.3 FACTIBILIDAD	156
6.3.4 VALOR ACTUAL NETO	158
6.3.5 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	158
6.3.6 FACTOR BENEFICIO – COSTO (B/C)	158
CAPÍTULO 7	160
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
7.1 CONCLUSIONES	160
7.2 RECOMENDACIONES	162
REFERENCIAS:	163
BIBLIOGRAFÍA:	163

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Torno NCL2000 del Laboratorio CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.	3
Figura 2 Torno CNC.....	5
Figura 3 Esquema de etapas del sistema de control del proyecto.	8
Figura 4 Operaciones de torneado.....	16
Figura 5 Operación de cilindrado exterior.	17
Figura 6 Operación de refrentado.	18
Figura 7 Elementos de operación de roscado.....	20
Figura 8 Explicación de la denominación de roscas en pulgadas.	21
Figura 9 Husillo de rosca trapezoidal.	27
Figura 10 Husillo de alta frecuencia.	28
Figura 11 Husillo de rodillos con visualización de elementos internos.....	29
Figura 12 Husillo a bolas con corte para visualización de rodamientos.	30
Figura 13 Transmisión por correa.	32
Figura 14 Esquema de una correa trapezoidal.	33
Figura 15 Elementos de una correa trapezoidal.....	34
Figura 16 Esquema del funcionamiento de un motor de c.c. elemental de dos polos con una sola bobina y dos delgas en el rotor. Se muestra el motor en tres posiciones del rotor desfasadas 90° entre sí.	36

Figura 17 Representación gráfica del ciclo de trabajo por modulación de pulso.	38
Figura 18 Circuito PWM para cargas elevadas.	39
Figura 19 Circuito PWM para cargas bajas.	39
Figura 20 Esquema básico de montaje de encoder.	40
Figura 21 Esquema de partes principales de un torno mecánico.	52
Figura 22 Tipos de mandril para torno. a) Mandril universal de tres mordazas. b) Mandril de cuatro mordazas independientes. c) Detalle de mandril.	53
Figura 23 Contrapunto: 1. Barril, 2. Tornillo de avance, 3. Tuerca, 4. Manija, 5. Tuerca de sujeción, 6. Punto fijo, 7. Bancada, 8. Placa de sujeción.	54
Figura 24 Portaherramientas utilizados en el torno.	54
Figura 25 Carro del torno: a) Carro, b) Carro transversal, c) Corredera compuesta, d) Portaherramientas, e) Caja del tablero, f) Manija manual del carro, g) Palanca de avance mecánico, h) Media tuerca, i) Palanca de cambio de avance, j) Cremallera, k) Placa giratoria, l) Tornillo de avance.	55
Figura 26 Bancada de torno y sus guías.	56
Figura 27 Torno NCL 2000.	56
Figura 28 Partes del cabezal del Torno NCL 2000.	58
Figura 29 Partes de la torreta del Torno NCL 2000.	60
Figura 30 Componentes del contrapunto del Torno NCL 2000.	61

Figura 31 Diagrama de cuerpo libre de la herramienta en la operación de torneado.....	67
Figura 32 Diagrama de cuerpo libre de la barra de soporte y guía del carro portaherramientas. a) Reacción en Y del peso del sistema torreta y la fuerza de corte. b) Torsión 1. c) Torsión 2.	68
Figura 33 Ubicación de apoyos de la barra guía del portaherramientas.	68
Figura 34 Ubicación de fuerzas y torsiones en la barra guía del portaherramientas. a) Reacción del peso y la fuerza de corte. b) Torsión generada en el eje Z. c) Torsión generada en el eje Y.....	70
Figura 35 Ubicación de la fuerza actuante del sistema torreta.....	70
Figura 36 Medida de la superficie de contacto del sistema torreta.	71
Figura 37 Peso en conjunto del sistema torreta.	72
Figura 38 Estudio 6 de la barra guía mediante software CAD.	73
Figura 39 Diagrama de cuerpo libre del cabezal.....	75
Figura 40 Ubicación de puntos fijos del cabezal.	76
Figura 41 Ubicación de fuerzas actuantes en el cabezal.	77
Figura 42 Estudio del cabezal mediante software CAD.	78
Figura 43 Imagen del paquete completo de motor, soporte y mandril.	85
Figura 44 Dimensiones generales del soporte del mandril.	86
Figura 45 Modelado del soporte del mandril.	87
Figura 46 Vista frontal del soporte con las fuerzas ejercidas y las sujeciones.	87

Figura 47 Modelo del cabezal modificado.	89
Figura 48 a) Vista frontal del cabezal modificado con las fuerzas ejercidas y las sujeciones, b) Vista auxiliar del cabezal modificado con las fuerzas ejercidas y las sujeciones.	90
Figura 49 Estudio realizado sobre el cabezal modificado.	90
Figura 50 Vista de detalle de la parte más crítica del estudio.	91
Figura 51 Estudio realizado sobre el cabezal modificado con acero AISI 1045.	92
Figura 52 Estudio de nuevo cabezal mediante software CAD a) Sin deformación b) Deformada.	93
Figura 53 Comparativo de cabezales a) Antiguo cabezal b) Nuevo cabezal.	94
Figura 55 Diagrama de bloques del sistema de control.	97
Figura 56 CNC TB6560 Tarjeta Controladora y Driver de Motor a Pasos... ..	99
Figura 57 Tarjeta de Puerto Paralelo Breakout.	100
Figura 58 Pantalla principal software MACH3 CNC CONTROLLER.....	102
Figura 59 Montaje a) Nuevo cabezal sobre el sistema bancada, b) nuevo cabezal con barra guía del portaherramientas.	104
Figura 60 Montaje del nuevo mandril en el torno.	104
Figura 61 Interruptores de final de carrera.	106
Figura 62 Tablero de control principal del torno NCL2000.	107
Figura 63 Esquema de conexión de la tarjeta TB6560.	108

Figura 64 Ubicación driver de control en la tarjeta TB6560.	109
Figura 65 Esquema de conexión de la tarjeta de puerto paralelo Breakout.....	110
Figura 66 Esquema general de conexión de elementos eléctricos	112
Figura 67 a) Configuración mediante del motor outputs b) Encoder en eje del husillo.	115
Figura 68 Configuración de señales de entrada en el Mach3: finales de carrera, botón de emergencia, etc.	116
Figura 69 Pantalla de diagnóstico para el desbloqueo mediante el botón de Auto Limit OverRide.	117
Figura 70 Ventana de configuración de Soft Limits.....	118
Figura 71 Configuración de señales de salida en el Mach3.....	118
Figura 72 Datos de lectura de PWM Vs. Velocidad.	120
Figura 73 Calibración de las constantes del control PID.....	120
Figura 74 Configuración de pulley para motor del husillo.	121
Figura 75 Pantalla del motor tuning en el Mach3.	124
Figura 76 Dimensiones de partes del cabezal modificado.	127
Figura 77 Dimensiones de prueba de cilindrado.	129
Figura 78 Esquema de rosca paso 1mm.	132
Figura 79 Dibujo de perfil de rosca paso 1mm.....	134
Figura 80 Esquema de rosca paso 1.5mm.	135
Figura 81 Dibujo de perfil de rosca paso 1.5mm.....	137

Figura 82 Torno CNC PC1 151

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Especificaciones técnicas Torno NCL- 2000.	7
Cuadro 2 Perfiles normalizados correa trapezoidal.....	34
Cuadro 3 Orden de fases. En este caso concreto el motor tendrá un paso angular de 90° y un semipaso de 45° (al excitarse más de una bobina).	42
Cuadro 4 Clasificación en sistemas de las partes del torno NCL 2000.	57
Cuadro 5 Materiales de acuerdo a los sistemas del Torno NCL 2000.	62
Cuadro 6 Propiedades mecánicas del acero AISI 1045.	63
Cuadro 7 Pruebas y resultados de partes relevantes del Torno NCL 2000.	64
Cuadro 8 Valores de fuerzas sobre barra guía del carro portaherramientas.	73
Cuadro 9 Características generales motor a pasos.	80
Cuadro 10 Características generales motor a pasos para mandril.	82
Cuadro 11 Valores de Presión Específica de Corte para distintos materiales.	83
Cuadro 13 Especificaciones técnicas de arreglo de motor de husillo.	85
Cuadro 14 Reporte de resultados del estudio del soporte de mandril.....	88
Cuadro 15 Nuevas partes del sistema Cabezal.	96
Cuadro 16 Funciones y opciones restringidas por la Tarjeta de Comunicación USB.	98

Cuadro 17 Terminales de conexión de la tarjeta Breakout a) Señales de entrada. b) Señales de salida.	110
Cuadro 18 Valores reales a ingresar en el motor tuning.	125
Cuadro 19 Especificaciones técnicas Torno CNC NCL2000	126
Cuadro 20 Resultados de medidas de elementos de nuevo cabezal.....	128
Cuadro 21 Resultados de medidas en base de cabezal luego de corrección.	129
Cuadro 22 Resultados de prueba de cilindrado.	130
Cuadro 23 Resultados de prueba de cilindrado después de calibración empírica.	131
Cuadro 24 Parámetros utilizados en prueba de rosca de paso 1mm.....	132
Cuadro 25 Resultados de prueba de medidas de roscado paso 1mm.....	133
Cuadro 26 Parámetros utilizados en prueba de rosca de paso 1.5mm.....	135
Cuadro 27 Resultados de prueba de medidas de roscado paso 1.5mm...	136
Cuadro 28 Resultados de pruebas funcionales eje Z: velocidad de avance.	137
Cuadro 29 Resultados de pruebas funcionales eje X: velocidad de avance.	139
Cuadro 30 Resultados de pruebas de velocidad de mandril.	139
Cuadro 31 Resultados de pruebas de elementos eléctricos y electrónicos.....	140
Cuadro 32 Costos de elementos mecánicos.....	142

Cuadro 33 Costos de elementos eléctricos y electrónicos.....	143
Cuadro 34 Costos de elementos neumáticos.	144
Cuadro 35 Costos de elementos para carcasa.	144
Cuadro 36 Costos totales de materiales directos.....	145
Cuadro 37 Desglose de actividades de mano de obra directa.	145
Cuadro 38 Costo total de mano de obra directa.....	146
Cuadro 39 Costo de máquinas – herramientas para fabricación	147
Cuadro 40 Costo total de costos directos de producción.	147
Cuadro 41 Desglose de costo de instalaciones del taller.....	148
Cuadro 42 Costo de mano de obra indirecta.	149
Cuadro 43 Costo total de costos indirectos de producción.	149
Cuadro 44 Costo total del proyecto.....	150
Cuadro 45 Datos del torno NCL 2000 para cálculo de costo por hora.	153
Cuadro 46 Costo de consumo de energía.	154
Cuadro 47 Costo de mano de obra.	154
Cuadro 48 Costo de depreciación.....	154
Cuadro 49 Vida útil de activos fijos.	155
Cuadro 50 Costo por hora del torno NCL2000.....	155
Cuadro 51 Costo de torno NCL2000 mensual.	156
Cuadro 52 Resultado del análisis económico financiero.....	159

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Calibración del driver de la tarjeta de control TB6560. a) Calibración de corriente. b) Calibración de las bobinas del motor. c) Calibración del paso.	113
Tabla 2 Configuración de corriente.....	122
Tabla 3 Configuración del modo decay.	123
Tabla 4 Configuración de pulsos por paso de motor.	123
Tabla 5 Características técnicas del torno comercial PC1.	151
Tabla 6 Características técnicas del torno NCL 2000.....	151
Tabla 7 Descripción de inversión realizada.	153
Tabla 8 Costo anual del torno NCL 2000.	156
Tabla 9 Flujo de caja proyectado a 10 años.....	157

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Propiedades físico - químicas acero AISI 1045. Propiedades físico - químicas de aleaciones de aluminio - cobre 2017A y 2024.....	168
ANEXO B: Tabla avance vs profundidad para diferentes materiales	169
ANEXO C: Hojas de procesos para fabricación de nuevo cabezal y placa de acople de motor.....	170
ANEXO D: Planteamiento de solución para limitación de rango de velocidades de mandril	171
ANEXO E: Manual de software	172
ANEXO F: Manual de operación	173
ANEXO G: Planos mecánicos	174
ANEXO H: Planos eléctricos	175

RESUMEN

El presente proyecto de grado se basa en la repotenciación y modernización del torno NCL2000 mediante control numérico computarizado del laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, el cual ha cumplido con su utilidad como herramienta de aprendizaje frente a las nuevas tecnologías en cuanto a las máquinas – herramientas. La repotenciación y modernización se realiza en varias etapas: la primera, es el análisis de las condiciones de funcionamiento existentes para así, poder identificar los elementos más críticos a ser modificados o reemplazados. La segunda etapa es la de evaluar las capacidades de resistencia mecánica de la máquina y conocer los límites a los que se puede llegar en las tareas de mecanizado. La tercera etapa es la del diseño de los elementos mecánicos necesarios para la modernización de la máquina, así como, el diseño, dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos, electrónicos y de control necesarios. La cuarta etapa constituye la selección y configuración de la interfaz computacional de comunicación y control que cumpla con los requerimientos deseados. Una vez realizado esto, el proyecto se enfoca en la implementación de las tareas de roscado, las configuraciones especiales necesarias y las pruebas del correcto funcionamiento de todo el sistema; se identifican limitaciones tanto de sensores, actuadores y del sistema de control y se plantean posibles soluciones a los problemas encontrados.

PALABRAS CLAVE:

- **TORNO CNC**
- **ROSCADO**
- **MODERNIZACIÓN**
- **REPOTENCIACIÓN**
- **MACH3**
- **CONTROL DE MOTORES A PASO**

ABSTRACT

This project is based on the upgrading and modernization of NCL2000 lathe using computerized numerical control from CAD / CAM laboratory at the University of the Armed Forces - ESPE, which has fulfilled its usefulness as a learning tool against new technologies in CNC field. The upgrading and modernization takes place in several stages: the first is the analysis of the existing conditions of operation in order to be able to identify the most critical elements to be modified or replaced. The second step is to assess the capabilities of mechanical strength of the machine and know the limits that can be reached by machining tasks. The third stage is the design of mechanical elements necessary for the modernization of the machine as well as the design, sizing and selection of electrical, electronics and control elements. The fourth stage is the selection and configuration of computer communication and control interface that meets the desired requirements. Once this is done, the project focuses on implementing threading tasks, the special configurations and tests than confirm the correct operation of the system; limitations of sensors, actuators and control system are identified and possible solutions to problems encountered arise.

KEYWORDS:

- **CNC LATHE**
- **THREADING**
- **UPGRADE**
- **REPOWERING**
- **STEP MOTOR CONTROL**
- **MACH3**

NOMENCLATURA

Símbolo

V_c : Velocidad de corte

f : Velocidad de avance o solamente avance

a_p : Profundidad de pasada

b : Ancho de corte

a_c : Espesor de viruta sin deformada

A_c : Sección de viruta sin deformada

k_r : Ángulo de posición

N : Velocidad de rotación

D_i : Diámetro inicial

D_f : Diámetro final

D_{int} : Diámetro interior

D_{ext} : Diámetro exterior

D_{med} : Diámetro medio

D : Diámetro nominal

α : Ángulo de flancos

h : Profundidad o altura

p : Paso

F_c : Fuerza de corte

F_l : Fuerza longitudinal

F_r : Fuerza radial

ϵ : Deformación

T : Torque

F_{CA} : Peso portaherramientas

F_M : Peso de motor

F_A : Fuerza que ejerce el carro portaherramientas

μ : Coeficiente de fricción

P: Potencia

k_s : Presión específica de corte

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los sistemas CAD abarcan todas las áreas de la producción y servicios industriales (mecánica, diseño, electrónica); por esta razón los hace idóneos para su utilización en las áreas CAM (Fabricación Asistida por Computador) que utilizan las máquinas CNC, que no son más que sistemas por medio de los cuales la geometría de un modelo diseñado con CAD se pasa a otro programa o módulo capaz de manejar máquinas de mecanizado automatizado; además, los sistemas CAM permiten introducir las condiciones de fabricación (tipo de máquina, velocidades de avance y corte, características y dirección de movimiento de las herramientas).

La facilidad de programar hace de los sistemas CAM una herramienta para reducir tiempos y disminuir errores, además de posibilitar la realización de piezas complejas inviables sin esta tecnología, especialmente cuando se trata de superficies NURBS (non-uniform rational B-spline) y máquinas de 5 ejes.

Aunque los primeros pasos en el mundo del control numérico se dieron en el año 1942, con la primera máquina experimental que facilitaba el movimiento de la herramienta por una trayectoria punto a punto, no es hasta que el MIT en 1953 acuña el término Numerical Control cuando empieza su verdadero desarrollo. (Sanz & Blanco, 2002)

La necesidad de mecanizar piezas cada vez más complicadas obligó a los creadores de software a diseñar herramientas que pudieran ser empleadas por los usuarios de CN. Paralelamente al desarrollo del CAD 2D, y aprovechando sus diseños, nacen las técnicas CAM de mecanizado en 2 ejes. Por otra parte a partir del año 1975, comienzan las investigaciones

para el modelado de superficies y la generación de geometrías CAD 3D, que no son incorporadas masivamente hasta finales de los 80 y principios de los 90 por la industria del sector. (Sanz & Blanco, 2002)

El diseñador generalmente usa un programa o programas de diseño asistido por computadora o fabricación asistida por computadora (CAD / CAM). La salida de éste es un programa y una parte del mismo usualmente es un "código G" que es transferido por una red, por un disco o unidad de almacenamiento externa a la máquina controladora. El controlador es responsable de interpretar esta parte de programa para controlar la herramienta que cortará la pieza de trabajo. Los ejes de la máquina son movidos por tornillos, cremalleras o correas que son impulsados por los motores servo o motores paso a paso. Las señales de la máquina controladora son amplificadas por los drivers de modo que ellos son bastante y convenientemente poderosos para hacer funcionar los motores. (Sanz & Blanco, 2002)

El torno NCL2000, mostrado en la **Figura 1**, es parte del equipamiento de laboratorio de CAD/CAM/CAE. A lo largo de los años ha servido como parte fundamental en el aprendizaje de los estudiantes; sin embargo, por el mismo uso dado a este equipo, ha sufrido daños en los sistemas de movimientos. A esto se suma el hecho de que por la adquisición de equipos nuevos, modernos y de mayor tamaño, se ha descuidado la reparación y modernización del mismo.

Actualmente, se considera que sería de gran utilidad la modernización de este equipo para el aprendizaje de los estudiantes, debido a que los equipos nuevos son utilizados por todo el cuerpo estudiantil, y muchas veces estos no dan abasto para el gran número de estudiantes.



Figura 1 Torno NCL2000 del Laboratorio CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la tecnología ha ido en crecimiento, y han surgido muchos cambios tanto en el orden económico como político. En nuestro país el aspecto financiero inhibe el surgimiento de soluciones propias para nuestros problemas más fundamentales en el ámbito industrial. De igual forma se han desarrollado nuevas políticas mundiales de mercados abiertos lo cual permite una mayor facilidad para la competencia a nivel internacional y surge la necesidad de adecuar nuestras industrias a fin que puedan satisfacer los nuevos retos que se puedan ir presentando en un futuro no muy lejano.

Una alternativa frente a esto es la reconversión de nuestras industrias introduciendo el elemento de la automatización; sin embargo debe hacerse de la forma más adecuada de tal modo que se pueda insertar gradualmente la nueva tecnología en un tiempo adecuado sin que los cambios causen un impacto económico en las industrias; esta situación antes mencionada se la puede comparar con lo que está pasando actualmente con la máquina

NCL2000 del laboratorio, ya que en muchos talleres del país han modernizado una máquina CNC antigua que compraron en buen estado mecánico desechando el control antiguo e instalando un control numérico nuevo.

La preparación universitaria que brinda la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE busca crear un amplio campo de aplicación y universalidad en los conocimientos técnicos; además, orientar adecuadamente a sus egresados que pretenden iniciarse en el mundo laboral e industrial, por lo que el presente trabajo se vuelve preponderante debido a que se puede otorgar una nueva herramienta de aprendizaje en el campo de CAD/CAM además de las ya existentes en el laboratorio de Procesos de Manufactura.

Las Máquinas - Herramientas de control numérico computarizado brindan algunas ventajas adicionales que debemos considerar: reducción de tiempos de producción, reducción de errores en producción (simulación previa al maquinado), etc. lo que hace importante el aprendizaje profundo del funcionamiento de las máquinas CNC (como por ejemplo el torno CNC mostrado en la **Figura 2**); por lo que la manipulación de las mismas, que se encuentran en el Laboratorio de Procesos de Manufactura, por parte de los alumnos resulta vital en la formación profesional de los mismos. Consideramos importante entonces, aprovechar la inutilización de la máquina NCL2000, a través de su modernización y repotenciación, para dar un mayor valor al Laboratorio de Procesos de Manufactura, contando con una CNC didáctica para la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo del aprendizaje.



Figura 2 Torno CNC.

Fuente: (s/a, La mecánica por un estudiante de ingeniería, 2011)

La máquina NCL2000 fue implementada en el año 1994 y funcionaba bajo los principios fundamentales de las máquinas - herramientas, lo cual la convierte en operativa; sin embargo presenta como única desventaja la utilización del software original de la máquina, y frente a las nuevas herramientas computacionales existentes se lo considera obsoleto.

De esta manera se justifica la realización de este proyecto, ya que la puesta en marcha de la máquina NCL2000 será de gran ayuda para el laboratorio de CAD/CAM en su tarea de enseñar a los nuevos estudiantes el uso de los sistemas CNC; además, es de mucha importancia el costo que tendrá el proyecto ya que no se tendrá que adquirir licencias de uso de software, siendo responsables los mismos estudiantes que lo realizan en conjunto con la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

1.3.1 SISTEMA MECÁNICO

- Modelamiento del sistema mecánico existente para determinar la resistencia máxima de la máquina.
- Rediseño e instalación de sistema de tornillo sinfín para el carro portaherramientas.

- Selección e instalación de actuadores para el movimiento de los ejes X y Z.
- Análisis de los parámetros de corte máximos capaces de ser soportados por el sistema: velocidad de corte, velocidad de giro de la herramienta, velocidad de avance, profundidad de pasada, anchura de corte.

1.3.2 SISTEMA ELÉCTRICO/ELECTRÓNICO

- Análisis, selección e instalación de motores a pasos para el control y posicionamiento correcto del carro portaherramientas, que tendrán como características principales:
 - Rotación continua.
 - Torque necesario.
 - Costo.
- Diseño, selección e instalación del motor que será usado para el movimiento del husillo tomando en cuenta los siguientes parámetros:
 - Características físicas
 - Torque requerido del sistema.
 - Voltaje y Potencia.
 - Disponibilidad en el país
 - Tipo de motor
- Diseño y selección de la tarjeta de interfaz de comunicación (circuito electrónico) adaptable tanto al software seleccionado como a los drivers de motores para el manejo de la dirección y movimiento en los ejes X y Z.

1.3.3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

La máquina posee las especificaciones técnicas mostradas a continuación en el **Cuadro 1**:

Cuadro 1 Especificaciones técnicas Torno NCL- 2000.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TORNO NCL-2000	
Velocidades del husillo principal	2000 RPM
Cambio de herramienta	Manual
Potencia Nominal	250 W
Voltaje de entrada	220 V , 50 Hz
Peso	45 Kg

Fuente: (s/a, Unitech, s/n)

No se pudo obtener información del distribuidor DEGEM SYSTEMS que es la empresa que se encargó de la instalación del torno NCL2000 (Modelo SAUPE SD300). Sin embargo se logró recopilar información técnica en alemán del sitio web de la empresa fabricante; es por esta razón que para este proyecto se realizara manuales de usuario ya que la máquina salió del mercado hace varios años.

1.3.4 SISTEMA DE CONTROL

- Manejo y selección de la interfaz humano - máquina que se usara para la generación de código G mediante la comunicación con una computadora.
- Implementación de sensores para ubicar el punto de coordenadas (0,0) o home de la máquina.
- Instalación de finales de carrera que se utilizarán para determinar las posiciones finales del carro portaherramientas como medida de seguridad.
- El sistema de control está dado por las etapas indicadas en la **Figura 3**.



Figura 3 Esquema de etapas del sistema de control del proyecto.

- El usuario ingresará el programa en código G mediante el HMI designado.
- El HMI se comunicará con el controlador mediante el protocolo de comunicación que se instale.
- El controlador interpretará el código G ingresado y lo transformará en señales que entiendan los drivers de los motores.
- Mediante los sensores y actuadores se realizará y supervisará la operación programada por el usuario.
- El maquinado lo ejecutará la Máquina - Herramienta que estamos utilizando.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

Repotenciar y modernizar el torno NCL2000 del laboratorio de CAD/CAM de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE mediante el control numérico computarizado, para el uso de los estudiantes de las carreras de Ingeniería Mecánica y Mecatrónica.

1.4.2 ESPECÍFICOS

1. Analizar y modelar la máquina NCL2000 del Laboratorio de CAD/CAM para obtener las capacidades mecánicas del sistema con el que vamos a trabajar.
2. Diseñar, dimensionar y seleccionar los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos apropiados que permitirán el movimiento del husillo y carro portaherramientas.
3. Implementar el sistema de control computarizado a la máquina NCL2000.
4. Seleccionar y manejar el sistema de interfaz computacional de bajo costo, amigable con el usuario, capaz de generar el código G para la máquina NCL2000.
5. Realizar las pruebas de funcionamiento adecuadas para la verificación del correcto funcionamiento de todos los sistemas implementados y repotenciados.
6. Analizar el costo final del proyecto y comparar con el precio de máquinas similares existentes en el mercado.

1.5 METODOLOGÍA

Para poder alcanzar los objetivos planteados del proyecto se empleará la metodología científica que está basada en las etapas de análisis, diseño, implementación y evaluación.

En la primera etapa se pretende estudiar las posibles alternativas para el sistema, así como las configuraciones, componentes y limitaciones de cada una, se escogerá la que mejor rendimiento y prestaciones ofrezca; en la segunda etapa, la de diseño, se hará el respectivo dimensionamiento de todas las partes mecánicas, eléctricas y electrónicas que conformaran al sistema. Una vez culminada la etapa de diseño, en la implementación, se ensamblarán los diferentes elementos de la máquina, así como, se realizarán las diferentes instalaciones de los sistemas eléctricos y electrónicos.

Finalmente, se evaluará el comportamiento del sistema en conjunto mediante la caracterización básica de un torno CNC.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS CAD/CAM

CAD/CAM es una disciplina en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Esta disciplina se ha convertido en un requisito necesario para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costos y reducir los tiempos de diseño y producción.

El CAD/CAM se utiliza de distintas formas, para producción de dibujos y de diseño de documentos, animación por computador, análisis de ingeniería, control de procesos, control de calidad, etc.

El Diseño Asistido por Computador puede utilizarse para generar modelos con muchas de las características de un determinado producto. Estas características pueden ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente.

De esta manera los sistemas CAD abarcan todas las áreas de la producción y servicios industriales (mecánica, diseño, electrónica), y por esta razón los hace idóneos para su utilización en las áreas CAM (Fabricación Asistida por Computador). (Sanz & Blanco, 2002)

2.1.1 TÉCNICA DE VISUALIZACIÓN DEL CAD/CAM

Es esencial para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo, implicando desde simples técnicas de dibujo 2D para el esquema del producto final. Además es frecuente utilizar técnicas definidas para la generación de modelos complejos de la

aplicación, como por ejemplo: curvas, secciones o representación de funciones sobre sólidos o superficies.

2.2 TORNO

El torno es el precursor de todas las máquinas herramientas, siendo así, uno de los elementos más importantes utilizado en cualquier taller.

El torno retira el material girando la pieza de trabajo contra una herramienta de corte de un solo punto. Las partes a maquinar se pueden sujetar entre dos soportes rígidos llamados puntos o centros, o mediante algún otro dispositivo como un plato o mandril universal que se atornilla al extremo del husillo. (Bawa, 2007)

2.2.1 GENERALIDADES

El torno es una máquina herramienta diseñada para producir superficies cilíndricas, cónicas, planas y posee una variedad de componentes y accesorios.

Los componentes básicos de un torno común son los siguientes:

- **Carro**

El conjunto del carro se desliza por las correderas y está formado por un conjunto de corredera transversal, el portaherramientas y el tablero.

La herramienta de corte se monta en el portaherramientas con un apoyo compuesto que gira para posicionar y ajustar la herramienta. El carro transversal se mueve hacia dentro y hacia afuera, radialmente.

El tablero tiene mecanismos para movimiento tanto manual como automático; este último realiza el movimiento del carro longitudinal y transversal mediante tornillos de avance. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

- **Bancada**

Este componente sostiene todos los demás componentes principales del torno. Las bancadas tienen masas grandes y son de construcción rígida (hierro colado gris o nodular). La parte superior de la bancada tiene dos correderas con diversas secciones transversales endurecidas y maquinadas para que tengan gran resistencia al desgaste durante su uso.

- **Cabezal**

Esta fijo en la bancada y tiene motores, poleas y bandas que suministran potencia al husillo a varias velocidades de giro.

- **Carro de contrapunto**

Puede deslizarse por las correderas y se puede sujetar en cualquier posición. Tiene un contrapunto que puede ser fijo o que gira junto con la pieza (contrapunto vivo).

- **Barra de avance y tornillo guía**

La barra de avance es accionada por un conjunto de acoples en el cabezal y gira durante el funcionamiento del torno. Esta barra pasa el movimiento al carro longitudinal y al carro transversal mediante engranes o tornillos. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

Los tornos de mecanizado pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Por la disposición espacial de la pieza a trabajar:

Horizontales: Son los más comunes y se les utiliza en todos los talleres metal-mecánicos. La pieza es colocada paralelamente al piso y su tamaño está restringido por la capacidad del torno y el pandeo existente por la acción de la gravedad, por lo que su longitud no excede, en la mayoría de los casos, de tres metros.

Verticales: Aquí no existe pandeo, pero se necesitan aditamentos más robustos para proveer de giro a la pieza. Se les utiliza en

astilleros para la elaboración de ejes para motores y transmisores de potencia de gran tamaño. La disposición de la pieza es perpendicular al piso.

- Por la forma de proveer la propulsión:

Humana: La pieza gira por acción del hombre sobre la máquina, es decir, el torno está dispuesto como una máquina de coser. Se necesitará actuar sobre un pedal para mover un cigüeñal y transmitir el movimiento.

Motor: Un motor eléctrico y, raramente de combustión interna, es colocado en línea con las mordazas con un sistema de transmisión y relación de transmisión.

- Por su operación:

Automáticos: Ejemplo de estos son los tornos computarizados con asistencia por brazos mecánicos. En las operaciones, el humano no tiene contacto sobre la máquina y esta realiza sus funciones indefinidamente hasta que se indique lo contrario. Se obtienen grandes volúmenes de producción y los productos obtenidos tienen un mejor acabado.

Semiautomáticos: Son los tornos computarizados (CNC) en los que el humano por lo menos coloca la pieza a trabajar en las mordazas. Proveen un alto sentido de exactitud en la maquinación de la pieza, pero esta sólo es elaborada las veces que el humano lo indique bajo su supervisión y asistencia.

Manuales: El torno no contiene sistemas computacionales de control en su estructura ni fuera de la misma. El mismo proceso de torneado y la colocación de las piezas es realizado por el humano.

2.2.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE TORNOS

El diseño de las estructuras de soporte o armazón de la bancada de las maquinas - herramientas requiere de un conocimiento detallado de los materiales disponibles para su construcción, sus formas, propiedades, de la dinámica del proceso de maquinado en particular, de la magnitud y naturaleza de las fuerzas que intervienen y de la dilatación térmica de cada máquina.

Los materiales más comunes para estructuras de soporte o armazón de la bancada son:

- Hierro colado o fundado gris, dúctil o nodular
- Acero forjado
- Concreto de polímero

Entre los desarrollos más recientes se incluye el uso de cerámicos, compuestos de granito y epóxico. (Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.2.3 MOVIMIENTOS PRINCIPALES EN EL TORNO

Un torno es un dispositivo en el cual se hace girar una pieza de trabajo contra una herramienta cortante. Es una de las máquinas - herramientas más utilizadas el cual nos permite obtener piezas de revolución, aunque también es posible obtener superficies planas mediante ciertas operaciones. (Garavito, 2007)

El movimiento principal en el torneado es de rotación y lo lleva la pieza, mientras que los movimientos de avance y penetración generalmente son rectilíneos. (Garavito, 2007)

El eje de rotación de la pieza se denomina como eje Z, el eje perpendicular al eje de rotación se denomina como eje X. (Garavito, 2007)

2.2.4 OPERACIONES PRINCIPALES EN EL TORNEADO

Entre las principales operaciones a realizar en un torno se tiene las siguientes y se esquematizan en la **Figura 4**:

- Cilindrado (a): Produce un corte recto sobre el radio exterior de una pieza.
- Refrentado (b): La cara de la pieza perpendicular al eje es cortada para desbastar (definir longitud) o mejorar el acabado.
- Roscado (c): La herramienta de corte es movida longitudinalmente en forma coordinada con la velocidad de giro de la pieza, para conformar una rosca.
- Ranurado (d): Un corte a profundidad constante dejará la forma ranurada o acanalada.
- Tronzado (e): La herramienta es movida radialmente (transversalmente) de afuera hacia adentro de la pieza de trabajo para cortar o tronzar la misma.
- Taladrado (f): permite la obtención de taladros coaxiales con el eje de rotación de la pieza.
- Moleteado (g): permite el marcado de la superficie cilíndrica de la pieza a fin de facilitar la rotación manual de la misma.

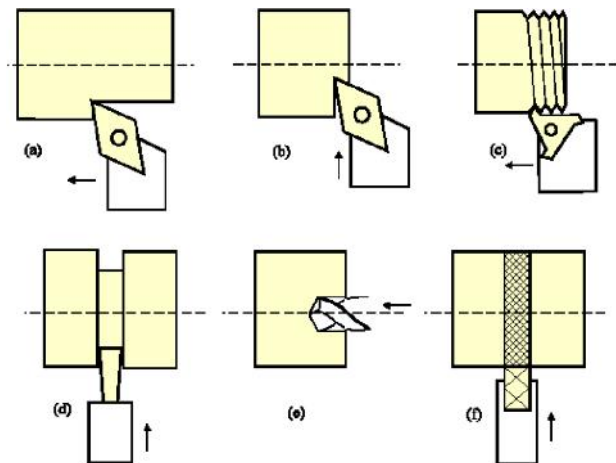


Figura 4 Operaciones de torneado.

Fuente: (Lema Cristhian, 2007)

2.2.4.1 Cilindrado

Tanto en variante de exteriores como en la de interiores, es la situación más frecuente la operación de cilindrado, es decir es la de modificar (reducir en exteriores e incrementar en interiores) el diámetro de una pieza. El movimiento de avance es paralelo al eje z.

En la **Figura 5** se representa una sección normal a la velocidad de corte (V_c) en una operación de cilindrado exterior, puede apreciarse el avance (f), la profundidad de pasada (a_p), el ancho de corte (b), el espesor de la viruta indeformada (a_c), la sección de viruta indeformada (A_c), el ángulo de posición (k_r), la velocidad de rotación (N), el diámetro inicial (D_i) y el diámetro final (D_f).

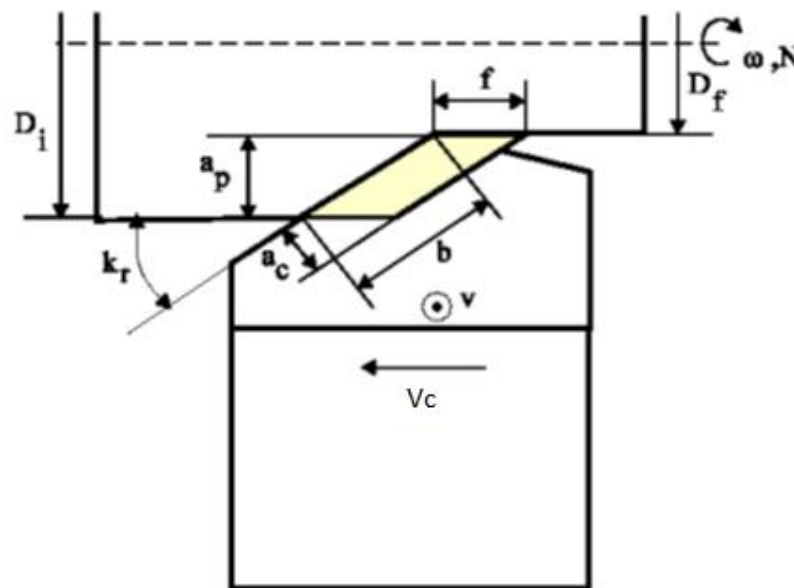


Figura 5 Operación de cilindrado exterior.

Fuente: (Lema Cristhian, 2007)

2.2.4.2 Refrentado

La operación de refrentado permite la obtención de una superficie plana perpendicular al eje de rotación de la pieza. El movimiento de la herramienta es, por tanto, transversal, es decir, perpendicular al eje z y paralelo al eje x.

A diferencia del cilindrado, el refrentado en el supuesto de realizarse a velocidad de rotación constante, no presenta una velocidad de corte constante, siendo ésta mayor a medida que la herramienta se aleja del eje de rotación de la pieza.

Es por esta razón que en el refrentado tampoco es constante la potencia de corte, alcanzando el valor máximo en el punto de contacto pieza-herramienta más alejada del eje de rotación.

En la **Figura 6** se esquematiza un proceso de refrentado, en el que está representado el avance (f), la profundidad pasada (a_p), el ancho de corte (b), el espesor de viruta indeformada (a_c), la sección de viruta indeformada (A_c), el ángulo de posición (k_r), la velocidad de corte (V_c), la velocidad de rotación (N), el diámetro interior (D_{int}) y el diámetro exterior (D_{ext}).

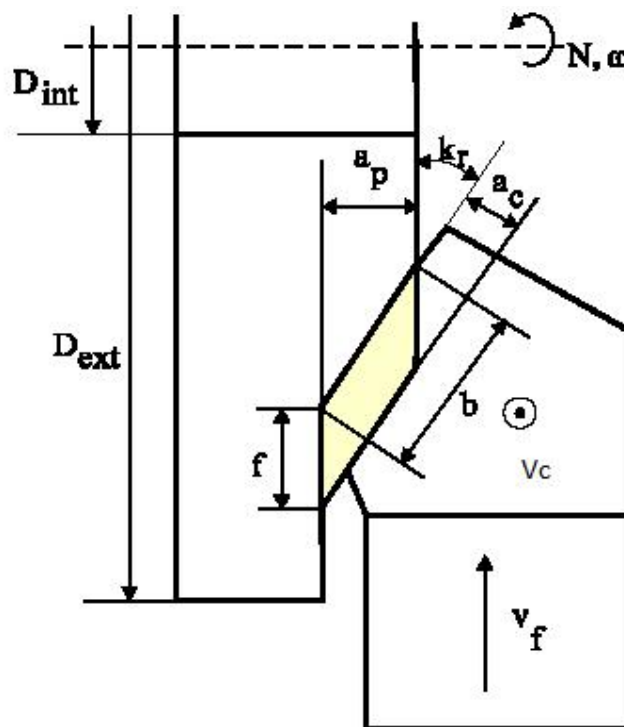


Figura 6 Operación de refrentado.

Fuente: (Lema Cristhian, 2007)

2.2.4.3 Roscado

Un roscado o rosca es una superficie cuyo eje está contenido en el plano YZ y en torno a él describe una trayectoria helicoidal cilíndrica.

El roscado puede ser realizado con herramientas manuales o máquinas herramientas como taladros, fresadoras y tornos. Para el roscado manual se utilizan machos y terrajas, que son herramientas de corte usadas para crear las roscas de tornillos y tuercas en metales, madera y plástico. El macho se utiliza para roscar la parte hembra mientras que la terraja se utiliza para roscar la porción macho del par de acoplamiento. El macho también puede utilizarse para roscado a máquina.

El torneado de roscas se realiza frecuentemente en tornos CNC, con herramientas de metal duro con plaquita intercambiable que ya tienen adaptado el perfil de la rosca que se trate de mecanizar.

Los intervalos de avance de la máquina deben coincidir con el paso de las mismas, lo que se logra con la programación de los tornos CNC. El torneado con plaquitas intercambiables se realiza haciendo varias pasadas de corte a lo largo de toda la longitud de la rosca, dividiendo la profundidad total de la rosca en pequeñas pasadas. (Millán Gómez, 2006)

2.2.4.3.1 Elementos y dimensiones fundamentales de las roscas

Los elementos fundamentales de las roscas se describen a continuación y se esquematizan en la **Figura 7**:

- HILO O FILETE: superficie prismática en forma de hélice constitutiva de la rosca.
- FLANCOS: caras laterales de los filetes.
- CRESTA: unión de los flancos por la parte exterior.
- FONDO: unión de los flancos por la parte interior.
- VANO: espacio vacío entre dos flancos consecutivos.
- NUCLEO: volumen ideal sobre el que se encuentra la rosca.

- BASE: línea imaginaria donde el filete se apoya en el núcleo.
- DIAMETRO EXTERIOR (D_{ext}): diámetro mayor de la rosca.
- DIAMETRO INTERIOR (D_{int}): diámetro menor de la rosca.
- DIAMETRO MEDIO (D_{med}): aquel que da lugar a un ancho de filete igual al del vano.
- DIAMETRO NOMINAL (D): diámetro utilizado para identificar la rosca. Suele ser el diámetro mayor de la rosca.
- ANGULO DE FLANCOS (α): ángulo que forman los flancos según un plano axial.
- PROFUNDIDAD O ALTURA (h): es la distancia entre la cresta y la base de la rosca.
- PASO (p): distancia entre dos crestas consecutivas medida en dirección axial.

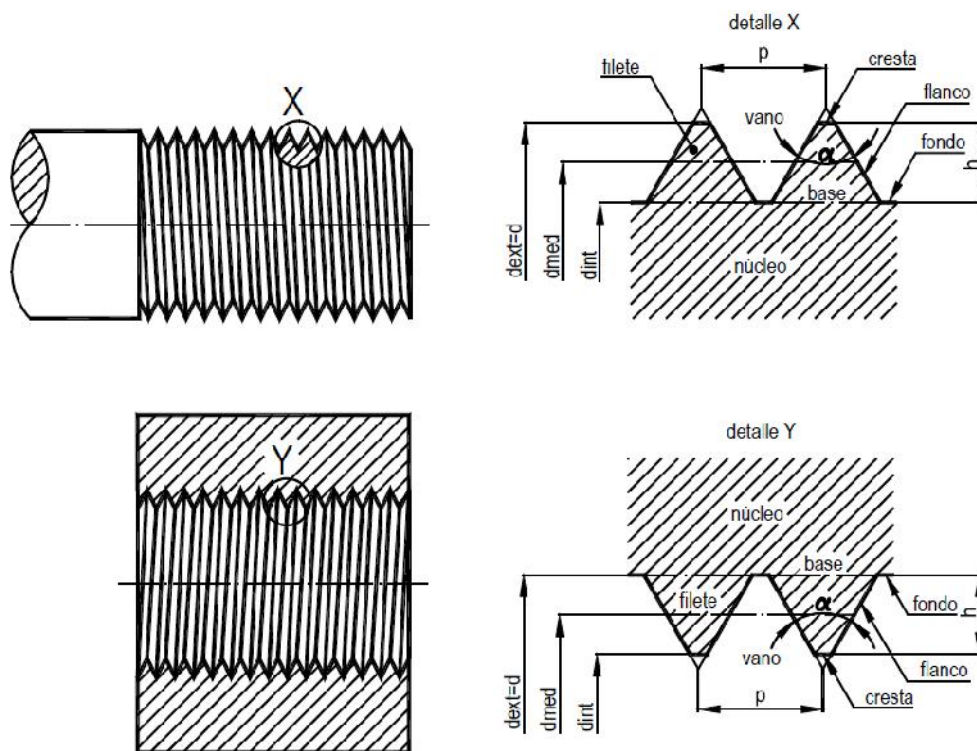


Figura 7 Elementos de operación de roscado.

Fuente: (Millán Gómez, 2006)

En roscas cuyas dimensiones se expresan en pulgadas, se suele indicar el paso por el número de hilos o filetes que entran en una pulgada de longitud. Así, por ejemplo, una rosca de paso 1/8", se dice que tiene un paso de 8 hilos por pulgada.

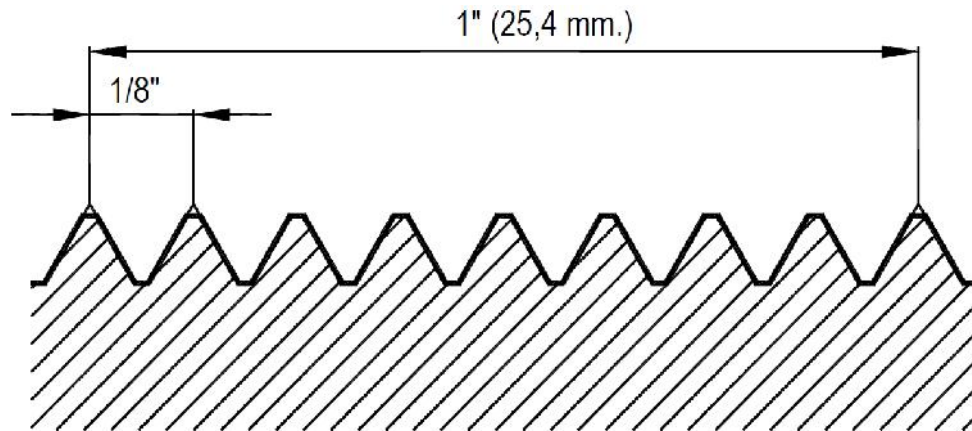


Figura 8 Explicación de la denominación de roscas en pulgadas.

Fuente: (Millán Gómez, 2006)

2.2.5 PARÁMETROS DEPENDIENTES DEL TORNEADO.

Las fuerzas de corte sobre la herramienta dependen de los siguientes parámetros:

- A mayor avance mayores fuerzas.
- Un cambio en la velocidad de corte no afecta a la fuerza.
- A mayor profundidad de corte mayores fuerzas.
- La fuerza de corte aumenta con el tamaño de la viruta.
- Un fluido refrigerante reduce ligeramente las fuerzas pero aumenta considerablemente la vida de la herramienta.
- La fuerza de corte disminuye al aumentar el ángulo de ataque.

2.2.6 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE TORNOS

Para el diseño de la máquina, la selección adecuada del motor y de la herramienta es necesario determinar las siguientes fuerzas:

- Fuerza de corte la cual consume el 99% de potencia (F_c)
- Fuerza longitudinal, la cual consume el 40% de la fuerza de corte (F_l)
- Fuerza radial, la cual en nuestro caso es despreciable (F_r)
- Potencia absorbida en el trabajo del torneado

2.3 GEOMETRÍA DE CORTE EN EL TORNEADO

El rendimiento de una herramienta de corte depende de varios factores. De ellos, hay algunos que el operario no puede modificar, como la potencia de la máquina, el material de la herramienta, el material de la pieza, etc. (Velocidades y avances de corte , s/n)

Pero sin embargo hay otros que si se pueden modificar:

- La velocidad de corte.
- La velocidad de avance.
- La profundidad de pasada.

2.3.1 VELOCIDAD DE CORTE (V_c)

La velocidad de corte es la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza en el punto de máximo recorrido en que se separa la viruta.

Se expresa en metros por minuto (m/min.), excepto para las muelas abrasivas que se hace en metros por segundo. **Ecuación 1**

Al momento de revisar la velocidad de corte se debe tener en cuenta si el movimiento de corte es circular o rectilíneo.

Ecuación 1

$$V_c = \frac{\text{Espacio recorrido (m)}}{\text{Tiempo empleado (min)}}$$

(Kalpakjian & Schmid, 2002)

En las máquinas de movimiento circular, la velocidad de corte es igual al producto de la longitud de la circunferencia mayor de la herramienta por el número de vueltas en que gira por unidad de tiempo. De esta manera, en las máquinas-herramientas como el torno, taladro, fresadora y otras, la velocidad de corte viene dada la **Ecuación 2**.

Ecuación 2

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

(Kalpakjian & Schmid, 2002)

Siendo:

V_c= Velocidad de corte (m/min).

D= Diámetro de pieza.

N= Velocidad de giro (rpm).

2.3.2 VELOCIDAD DE AVANCE (f)

La velocidad con que se desplaza el punto de aplicación de la herramienta respecto a la pieza. Se expresa en milímetros por vuelta para unas máquinas, en milímetros por minuto para otras y, en las de movimiento rectilíneo alternativo suele hacerse en milímetros por minuto o en milímetros por carrera útil.

2.3.3 PROFUNDIDAD DE PASADA (a_p)

Se le denomina también profundidad de corte, pasada simplemente o carga. Se expresa en milímetros de desplazamiento de la herramienta o de la pieza.

2.3.4 SECCIÓN DE VIRUTA (a)

Es la superficie de la sección transversal de la viruta. Se expresa en mm y se calcula mediante la **Ecuación 3**.

Ecuación 3

$$A_c = f * a_p$$

(Kalpakjian & Schmid, 2002)

Siendo:

f = Avance.

a_p = profundidad de pasada.

2.4 CÁLCULO DEL TIEMPO DE MAQUINADO

A fin de calcular el tiempo requerido para maquinar cualquier pieza de trabajo, se deben tener en cuenta factores tales como velocidad, avance y profundidad del corte. El tiempo requerido se puede calcular por medio de la **Ecuación 4**.

Ecuación 4

$$Tiempo\ requerido = \frac{longitud\ del\ corte}{avance * rpm}$$

(Kalpakjian & Schmid, 2002)

2.5 HUSILLO

Un husillo es un tipo de tornillo largo y de gran diámetro, utilizado para accionar los elementos de apriete tales como prensas o mordazas así como para producir el desplazamiento lineal de los diferentes carros de fresadoras y tornos o en compuertas hidráulicas. Puede ser de metal (el material más utilizado es acero templado), de madera o PVC. En ocasiones se le menciona como tornillo sin fin.

La tuerca husillo es un tipo de mecanismo que está constituido por un tornillo (husillo) que al girar produce el desplazamiento longitudinal de la tuerca en la que va enroscado (movimiento rectilíneo).

2.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL HUSILLO

El husillo posee un número de entradas (z) o filetes de rosca característicos, que es el número de hélices que se enroscan en paralelo sobre el núcleo del tornillo. Generalmente es 1, 2 o 3.

El paso de rosca (p) Es la distancia entre dos filetes consecutivos de una misma hélice. Habitualmente se mide en milímetros (mm). El paso de rosca es igual a la longitud que avanza el husillo en cada vuelta. La longitud (L) que avanza la tuerca al girar el husillo es:

Ecuación 5

$$L = p * N$$

(Groover P, 1997)

Donde N es el número de vueltas que gira el husillo.

El avance o velocidad de avance se expresa, especialmente en máquinas herramientas, en milímetros por minuto (mm/min) y se calcula multiplicando el paso de rosca p (en mm/rev) por la velocidad de giro n (en rev/min o rpm).

Ecuación 6

$$f = p * N$$

(Groover P, 1997)

La longitud L es independiente del número de entradas (z), porque el paso de rosca (p) ya indica los mm que avanza la tuerca por cada revolución del husillo.

2.5.2 TIPOS DE ROSCA

Existen diferentes tipos de rosca en función: de la forma del perfil del filete, del número de filetes que tenga, del paso de la propia rosca y del sentido de giro de avance del tornillo. Generalmente el perfil de una rosca suele ser de forma triangular, si bien también existen roscas de perfil cuadrado, trapecial, y en diente de sierra o redondo. En cuanto al sentido de giro de la rosca, normalmente el avance se produce girando la rosca a la derecha, mientras que el retorno se produce girando la rosca a la izquierda. También existen tornillos y tuercas que funcionan en sentido inverso.

2.5.3 TIPOS DE HUSILLOS

El tipo de husillos depende de la rosca que este tenga y es diferente a la de los tornillos normales, porque además de tener un paso muy grande su perfil puede ser una rosca redonda rectificada (utilizada en las máquinas herramientas CNC para el desplazamiento de los carros y mesas de trabajo), cuadrada (utilizada para regular el apriete de elementos pequeños, tales como tornillos de banco, mordazas, etc.) o rosca trapecial ACME (la más utilizada, sobre todo en máquinas que tengan que soportar grandes esfuerzos, como prensas, máquinas - herramientas, etc.)

2.5.3.1 Husillos de rosca trapezoidal

Los husillos de rosca trapezoidal (**Figura 9**) son dispositivos para cambiar movimiento angular por lineal, usualmente para transmitir potencia. Se utilizan para:

- Obtener una ventaja mecánica mayor, con el objeto de levantar pesos (gato de automóvil).
- Para ejercer fuerzas de gran magnitud; como en los casos de compactadores o prensas.
- Para obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial, como en el tornillo de un micrómetro o en el tornillo de avance de un torno.



Figura 9 Husillo de rosca trapezoidal.

Fuente: (Maquinarias para roscas, s/n)

2.5.3.2 Husillos de alta frecuencia

Los husillos de alta frecuencia (**Figura 10**) son también elementos que transmiten potencia, transformando el movimiento angular en lineal. Sus principales características son:

- Altos valores de par y potencia,
- Alta velocidad de rotación,
- Muy altos valores de resistencia axial y radial,
- Diseño compacto.

Poseen sensores de posición angular, control de velocidad y temperatura ya que funcionan a un régimen de vueltas alto. (Larburu, 2004)



Figura 10 Husillo de alta frecuencia.

Fuente: (Direct Industry, 2014)

2.5.3.3 Husillos de rodillos

Los husillos a rodillos (**Figura 11**) llevan rodillos colocados entre la tuerca y el eje roscado. La carga se transmite de la tuerca al eje roscado mediante una serie de rodillos roscados o rodillos ranurados. El mayor número de puntos de contacto resultante garantiza una capacidad de carga más elevada que la de un husillo a bolas de tamaño similar. Los rodillos transmiten la carga con una fricción muy baja, mientras que los husillos de fricción (Acme) típicamente constan de un eje de acero con una rosca trapezoidal y una tuerca de bronce. Al reemplazar la fricción de

deslizamiento con fricción por rodadura, la eficiencia del husillo aumenta del ~30 al ~90%.

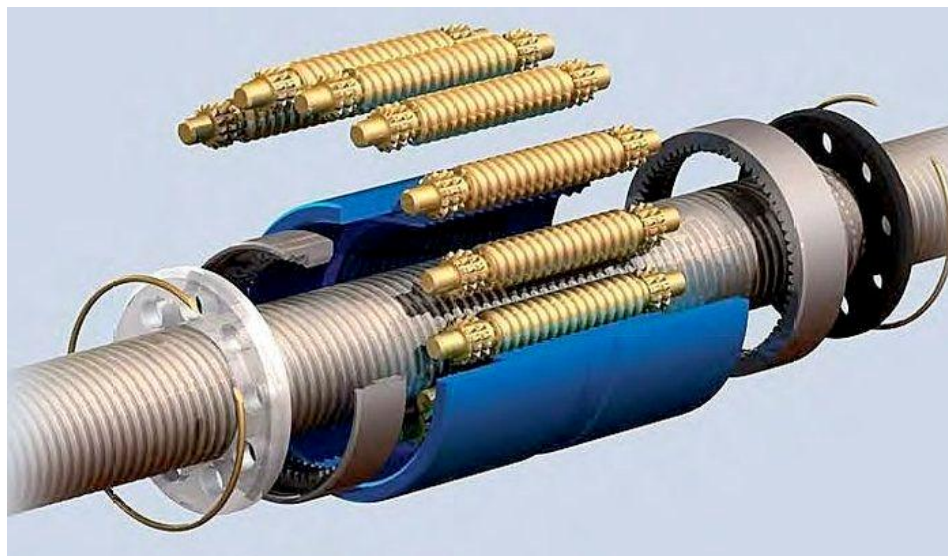


Figura 11 Husillo de rodillos con visualización de elementos internos.

Fuente: (Direct Industry, 2014)

A diferencia de los husillos trapecoidales o a bolas, los husillos de rodillos son capaces de soportar cargas altas durante miles de horas y en las más arduas condiciones. El aumento en rendimiento se logra por mantener la alta eficacia de los elementos rodantes, - similar a un husillo de bolas - incrementando los puntos de contacto de la rosca; es lo que hace de los husillos de rodillos una opción ideal para entornos de carga continua y exigentes.

Comparados con husillos de bolas, los husillos de rodillos deparan las siguientes ventajas: (Larburu, 2004)

- Mayor capacidad dinámica de carga.
- Diámetros mayores y pasos más largos.
- Duración más larga.
- Mayor rigidez.

- Mayores velocidades rotacionales.
- Valores mayores de aceleración y deceleración.
- Capacidad de funcionamiento en entornos severos.
- Posibilidad de desmontar la tuerca sin perder los rodillos.
- Menor fatiga y más robustos a cargas de choque.
- No existe contacto entre los elementos de rodillos.
- Poco mantenimiento

2.5.3.4 Husillos a bolas:

Un husillo de bola (**Figura 12**) es un actuador lineal mecánico que convierte el movimiento de rotación en movimiento lineal con pocas pérdidas por fricción.



Figura 12 Husillo a bolas con corte para visualización de rodamientos.

Fuente (Direct Industry, 2014)

Un eje roscado proporciona un camino de rodadura helicoidal a unos rodamientos de bolas que actúan como un tornillo de precisión. Como el movimiento se realiza por rotación, no por deslizamiento, el rozamiento es menor, por lo tanto la fricción del conjunto es baja. Y como el esfuerzo se reparte entre varias bolas, es capaz de aplicar o resistir altas cargas de empuje. Se pueden fabricar con unas tolerancias estrechas y por tanto son adecuados para su empleo donde se necesita una alta precisión. El conjunto de bolas actúa como la tuerca mientras el eje roscado es el tornillo. En contraste con los husillos convencionales, los husillos a bolas tienden a ser

bastante voluminoso, debido a la necesidad de disponer un espacio en el mecanismo para recircular las bolas. (Budynas, 2012)

2.6 TRANSMISIÓN FLEXIBLE

Se le llama transmisión al conjunto de bandas cadenas o engranes que sirven para comunicar fuerza y movimiento desde un motor hasta su punto de aplicación.

Las principales uniones flexibles usadas para transmitir movimientos son las correas, cuerdas y cadenas.

2.6.1 CORREA PLANA

Las poleas del tipo plano están constituidas por una banda continua cuya sección transversal es rectangular, fabricadas de distintos materiales siendo los más empleados:

- Cuero de 4 a 6 mm de espesor: Para bandas de más espesor se unen capas sucesivas de cuero mediante adhesivos, construyéndose bandas de dos capas y bandas de tres capas.

Según su capacidad se pueden clasificar en tres grupos:

- Clase I: $\text{permisible} = 25 \text{ Kg/cm}^2$ y velocidad máxima de hasta 12 m/s.
- Clase II: $\text{permisible} = 29 \text{ Kg/cm}^2$ y velocidad máxima de hasta 24 m/s.
- Clase III: $\text{permisible} = 33 \text{ Kg/cm}^2$ y velocidad máxima de hasta 45 m/s.

- Tejido de algodón o banda de nylon: Se construye con varias capas de tejido, normalmente recubiertas de caucho o plástico para su protección y mayor duración.

Su tensión permisible varía entre los 125 y 250 Kg/cm^2 y su velocidad lineal máxima es de hasta unos 40 m/s.

Hay un concepto muy utilizado en las transmisiones por correa que es el de relación de transmisión.

Sea d_1 el diámetro de la p Polea motriz y d_2 el de la p Polea arrastrada:

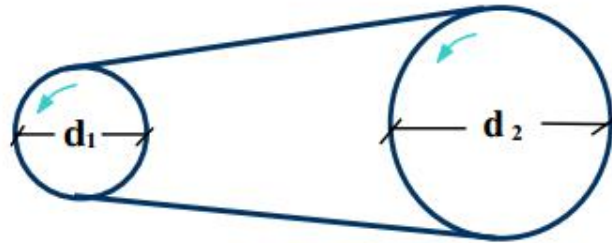


Figura 13 Transmisión por correa.

Fuente (Tema 5: Correas, s/n)

Es evidente que por ser la correa una banda continua la velocidad lineal en cualquiera de sus puntos tiene el mismo módulo. Por tanto si V es la velocidad lineal se cumplirá (despreciando el deslizamiento) que:

Ecuación 7

$$V = \omega_1 * r_1 = \omega_2 * r_2$$

(Tema 5: Correas, s/n)

Como:

Ecuación 8

$$\omega_1 * r_1 = \omega_2 * r_2$$

(Tema 5: Correas, s/n)

Se tiene que:

Ecuación 9

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2 \Rightarrow \frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

(Tema 5: Correas, s/n)

La relación de transmisión es:

Ecuación 10

$$r = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\text{diámetro polea motriz}}{\text{diámetro polea arrastrada}}$$

(Tema 5: Correas, s/n)

2.6.2 CORREA TRAPEZOIDAL

Las correas trapezoidales o correas en "V" trabajan a partir del contacto que se establece entre los flancos laterales de la correa y las paredes del canal de la polea.

Según las normas ISO las correas trapezoidales se dividen en dos grandes grupos: las correas de secciones con los perfiles clásicos Z, A, B, C, D y E, y las correas estrechas de secciones SPZ, SPA, SPB Y SPC. En la **Figura 14** adjunta se representa esquemáticamente una sección tipo de correa trapezoidal o correa en "V":

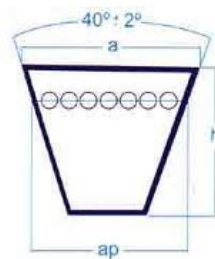


Figura 14 Esquema de una correa trapezoidal.

Fuente: (Hermenegildo, 2014)

Donde:

- a, es el ancho de la cara superior de la correa;
- h, es la altura o espesor de la correa;
- ap, es el denominado ancho primitivo de la correa.

En el siguiente cuadro se muestran los valores de los parámetros anteriores según el perfil de correa:

Cuadro 2 Perfiles normalizados correa trapezoidal.

SECCIÓN	a (mm)	h (mm)	ap (mm)
Z	10	6	8.5
A	13	8	11
B	17	11	14
C	22	14	19
D	32	19	27
E	38	25	32

Fuente: (Hermenegildo, 2014)

Las correas trapezoidales o en "V" trabajan en condiciones óptimas cuando lo hacen a velocidades lineales dentro del rango de los 20 - 22 m/s. Las correas en "V" no deben trabajar a velocidades superiores de los 30 m/s, dado que la elevada fuerza centrífuga que se genera terminaría sacando la correa de la ranura de la polea. Por otro lado, si funcionasen a velocidades más bajas también necesitarían un proceso de equilibrado estático para conseguir un trabajo más óptimo.

La **Figura 15** muestra una sección tipo de una correa trapezoidal, así como las partes principales que la componen:



Figura 15 Elementos de una correa trapezoidal.

Fuente: (Hermenegildo, 2014)

Donde:

- 1, es el núcleo;
- 2, tensores o fibras resistentes;
- 3, recubrimiento.

2.7 ACTUADORES (MOTORES)

2.7.1 MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, provocando un movimiento rotatorio. En algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales; su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes: un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas.

También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales.

2.7.1.1 Principio de funcionamiento

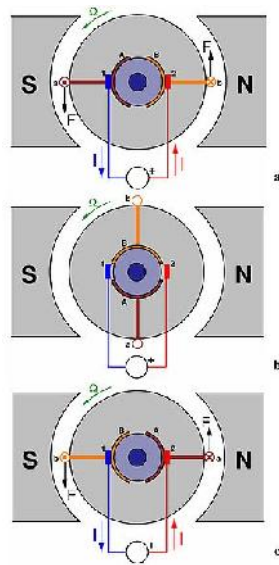


Figura 16 Esquema del funcionamiento de un motor de c.c. elemental de dos polos con una sola bobina y dos delgas en el rotor. Se muestra el motor en tres posiciones del rotor desfasadas 90° entre sí.

Fuente: (Gottlieb, 1994)

Donde:

- 1, 2: Escobillas;
- A, B: Delgas;
- a, b: Lados de la bobina conectados respectivamente a las delgas A y B.

Según la ley de Fuerza de Lorentz simplificada, cuando un conductor por el que pasa una corriente eléctrica se sumerge en un campo magnético, el conductor sufre una fuerza perpendicular al plano formado por el campo magnético y la corriente, siguiendo la regla de la mano derecha.

Ecuación 11

$$F = B * l * I$$

(Gottlieb, 1994)

Donde:

F: Fuerza en Newton

I: Intensidad que recorre el conductor en amperios

l: Longitud del conductor en metros

B: Densidad de campo magnético o densidad de flujo teslas

El rotor tiene varios devanados repartidos por la periferia. A medida que gira, la corriente se activa en el conductor apropiado.

Normalmente se aplica una corriente con sentido contrario en el extremo opuesto del rotor, para compensar la fuerza neta y aumentar el momento. (Gottlieb, 1994)

Número de escobillas: Las escobillas deben poner en cortocircuito a todas las bobinas situadas en la zona neutra. Si la máquina tiene dos polos, tenemos también dos zonas neutras. En consecuencia, el número total de escobillas es igual al número de polos de la máquina. En cuanto a su posición, será coincidente con las líneas neutras de los polos.

Sentido de giro: El sentido de giro de un motor de corriente continua depende del sentido relativo de las corrientes circulantes por los devanados inductor e inducido.

La inversión del sentido de giro del motor de corriente continua se consigue invirtiendo el sentido del campo magnético o de la corriente del inducido.

Si se permuta la polaridad en ambos bobinados, el eje del motor gira en el mismo sentido.

Los cambios de polaridad de los bobinados, tanto en el inductor como en el inducido, se realizarán en la caja de bornes de la máquina, y además el ciclo combinado producido por el rotor produce la fuerza magneto motriz.

El sentido de giro lo podemos determinar con la regla de la mano derecha, la cual nos va a mostrar el sentido de la fuerza. La regla de la mano

derecha es de la siguiente manera: el pulgar nos muestra hacia dónde va la corriente, el dedo índice apunta en la dirección en la cual se dirige el flujo del campo magnético, y el dedo medio hacia dónde va dirigida la fuerza resultante y por lo tanto el sentido de giro.

Motores de imán permanente: Los motores de imán permanente tienen algunas ventajas de rendimiento frente a los motores síncronos de corriente continua de tipo excitado y han llegado a ser el predominante en las aplicaciones de potencia fraccionaria. Son más pequeños, más ligeros, más eficaces y fiables que otras máquinas eléctricas alimentadas individualmente.

2.7.1.2 Control de motores CC por ancho de pulso

La Regulación por Ancho de Pulso de un motor de CC está basada en el hecho de que si se recorta la CC de alimentación en forma de una onda cuadrada, la energía que recibe el motor disminuirá de manera proporcional a la relación entre la parte alta (habilitada corriente) y baja (cero corriente) del ciclo de la onda cuadrada. Controlando esta relación se logra variar la velocidad del motor de una manera bastante aceptable.

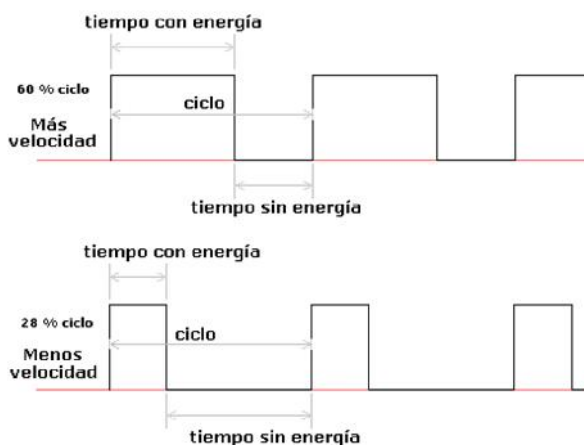


Figura 17 Representación gráfica del ciclo de trabajo por modulación de pulso.

Fuente: (Muhammad H, 1993)

El circuito que se ve a continuación es un ejemplo de un control de Regulación de Ancho de Pulso (PWM, Pulse-Width-Modulated en inglés), que se podría adaptar al circuito del Puentes H que es un circuito para controlar motores de corriente continua. El nombre se refiere a la posición en que quedan los transistores en el diagrama del circuito.

El primer circuito (**Figura 18**) — con el MOSFET de potencia BUZ11 — permite controlar motores medianos y grandes, de hasta 10 A corriente. El segundo circuito (**Figura 19**) — con el transistor 2N2222A— es para motores pequeños, que produzcan una carga de hasta 800 mA.

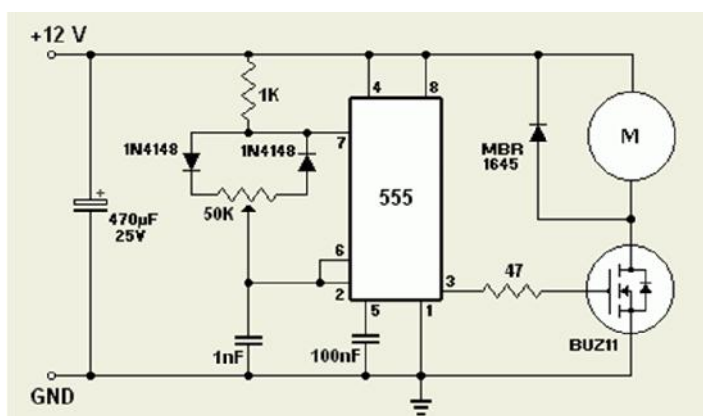


Figura 18 Circuito PWM para cargas elevadas.

Fuente: (Muhammad H, 1993)

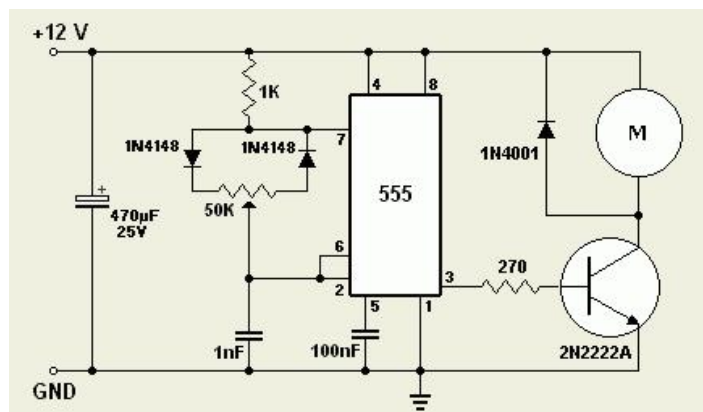


Figura 19 Circuito PWM para cargas bajas.

Fuente: (Muhammad H, 1993)

2.7.1.3 Control posición

Cuando se trabaja con motores de corriente continua, un codificador de eje común es la forma más precisa y fácil de proporcionar retroalimentación al controlador. El codificador del eje viene en muchas formas y tamaños, pero todos ellos dependen del mismo principio.

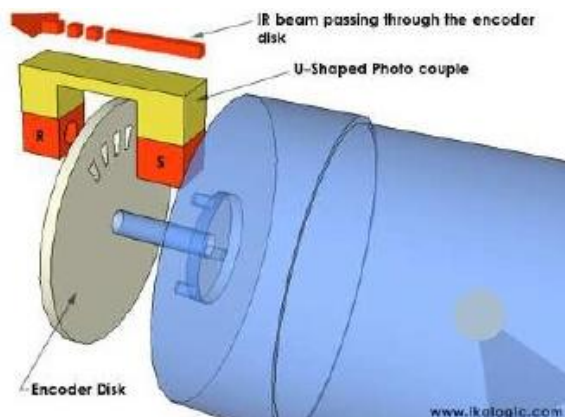


Figura 20 Esquema básico de montaje de encoder.

Fuente: (Dewi, 2010)

El montaje de los encoders se muestra en la **Figura 20**. Un Infra-rojo remitente y un receptor de juego se colocan de cierta manera para que el haz de luz infrarroja pase a través de una de las pequeñas aberturas en el disco codificador. Cualquier pareja emisor receptor tiene 4 pistas, dos para el emisor, que suele ser un LED infrarrojo, y los otros dos son para el receptor, que suele ser un transistor de luz. El disco codificador está conectado firmemente a la parte trasera de eje del motor, por lo que tanto el eje y el disco codificador giran a la misma velocidad; la rotación del motor hace que el haz de luz pase periódicamente por los elementos sólidos del disco codificador generando una secuencia de pulsos de luz, que se traducirán por el receptor en pulsos de electricidad. Los pulsos de electricidad contienen toda la información que se necesita para implementar un control de lazo cerrado. La frecuencia de los pulsos es directamente proporcional a la

velocidad de rotación del eje (RPM) y el número de los pulsos corresponden al desplazamiento angular del eje. (Chapman, 2005)

Cuanto mayor sea el número de agujeros en un disco codificador, mayor será la resolución (el menor desplazamiento angular que puede ser detectado). Un factor importante que afecta al rendimiento del codificador del eje y por lo tanto el rendimiento global de un sistema de circuito cerrado de control, es la posición del disco codificador. La mayoría de los motores se utilizan con una caja de cambios diseñados para reducir el número de revoluciones al tiempo que aumenta el par de salida. Por lo tanto, el motor se puede girar a 4400 RPM por ejemplo, conducir a una caja de cambios, dividiendo el número de revoluciones por 40, dando una velocidad final de salida de 110 RPM. Se puede tomar una gran ventaja de esto para llegar a altos grados de precisión conectando el disco codificador en el eje posterior del motor (que es el que gira a 4400 RPM en el ejemplo). De esta forma, cada vuelta del eje de salida final de la caja de cambios se corresponden a 40 vueltas del codificador del eje, y si el disco codificador tiene 30 agujeros en su circunferencia, una sola vuelta en el eje de salida final corresponderá a 1200 pulsos, alcanzando una precisión teórica de 0,3 grados (es decir, cada pulso corresponde a 0,3 grados de rotación del eje de salida final). Dependiendo del tipo de motor y caja de cambios, puede ser difícil de alcanzar exactamente que la precisión teórica.

2.7.2 MOTOR PASO A PASO

El motor paso a paso es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un conversor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos.

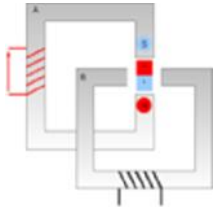
Este motor presenta las ventajas de tener alta precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus principales aplicaciones destacan: como motor de frecuencia variable, motor de corriente continua sin escobillas, servomotores y motores controlados digitalmente.

Existen 3 tipos fundamentales de motores paso a paso: el motor de reluctancia variable, el motor de magnetización permanente, y el motor paso a paso híbrido.

2.7.2.1 Secuencia de funcionamiento

Obsérvese cómo la variación de la dirección del campo magnético creado en el estator producirá movimiento de seguimiento por parte del rotor de imán permanente, el cual intentará alinearse con el campo magnético inducido por las bobinas que excitan los electroimanes (en este caso A y B) como se muestra en el **Cuadro 3**. Vcc es la alimentación de corriente continua (por ejemplo 5V, 12V, 24V...).

Cuadro 3 Orden de fases. En este caso concreto el motor tendrá un paso angular de 90° y un semipaso de 45° (al excitarse más de una bobina).

PASO	TERMINAL 1 BOBINA A	TERMINAL 2 BOBINA A	TERMINAL 1 BOBINA B	TERMINAL 2 BOBINA B	IMAGEN
Paso 1	+Vcc	-Vcc			

Continua 



Continua

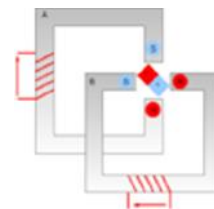
**Semi
Paso 8**

+Vcc

-Vcc

-Vcc

+Vcc



Fuente: Propia

2.7.2.2 Control de las bobinas

Para el control del motor paso a paso de este tipo (bipolar), se establece el principio de "Puente H", si se activan T1 y T4, permiten la alimentación en un sentido; si cambiamos el sentido de la alimentación activando T2 y T3, cambiaremos el sentido de alimentación y el sentido de la corriente.

2.7.2.3 Velocidad de rotación

La velocidad de rotación viene definida por la ecuación:

Ecuación 12

$$N = 60 * \frac{f}{n}$$

(Kalpakjian & Schmid, 2002)

Donde:

f: frecuencia del tren de impulsos

n: n° de polos que forman el motor

Si bien hay que decir que para estos motores, la máxima frecuencia admisible suele estar alrededor de los 625 Hz, en caso de que la frecuencia de pulsos sea demasiado elevada, el motor puede reaccionar en alguna de las siguientes maneras:

- No realizar ningún movimiento en absoluto.
- Comenzar a vibrar pero sin llegar a girar.

- Girar erráticamente.
- Girar en sentido opuesto.
- Perder potencia

Como ayuda es recomendable que también se coloque a disposición un simulador o circuito para probar estos motores paso a paso para descartar fallas en ello.

2.7.2.4 Tipos de motores paso a paso

El motor de paso de rotor de imán permanente: Permite mantener un par diferente de cero cuando el motor no está energizado. Dependiendo de la construcción del motor, es típicamente posible obtener pasos angulares de 7.5, 11.25, 15, 18, 45 o 90°. El ángulo de rotación se determina por el número de polos en el estator.

El motor de paso de reluctancia variable (VR): Tiene un rotor multipolar de hierro y un estator devanado laminado, y rota cuando los dientes del rotor son atraídos a los dientes del estator electromagnéticamente energizados. La inercia del rotor de un motor de paso de reluctancia variable es pequeña y la respuesta es muy rápida, pero la inercia permitida de la carga es pequeña. Cuando los devanados no están energizados, el par estático de este tipo de motor es cero. Generalmente, el paso angular de este motor de paso de reluctancia variable es de 15°.

El motor híbrido de paso: Se caracteriza por tener varios dientes en el estator y en el rotor, el rotor con un imán concéntrico magnetizado axialmente alrededor de su eje. Se puede ver que esta configuración es una mezcla de los tipos de reluctancia variable e imán permanente. Este tipo de motor tiene una alta precisión y alto par y se puede configurar para suministrar un paso angular tan pequeño como 1.8°.

Motores paso a paso Bipolares: Estos tienen generalmente 4 cables de salida. Necesitan ciertos trucos para ser controlados debido a que requieren

del cambio de dirección de flujo de corriente a través de las bobinas en la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

Motores paso a paso unipolares: estos motores suelen tener 5 o 6 cables de salida dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar, estos utilizan un cable común a la fuente de alimentación y posteriormente se van colocando las otras líneas a tierra en un orden específico para generar cada paso, si tienen 6 cables es porque cada par de bobinas tiene un común separado, si tiene 5 cables es porque las cuatro bobinas tiene un solo común; un motor unipolar de 6 cables puede ser usado como un motor bipolar si se deja las líneas del común al aire. (Pérez París, 2000)

2.8 TARJETAS DE COMUNICACIÓN

Para poder realizar el control de la máquina a través de una computadora, es necesario tener una comunicación entre estos elementos mediante el uso de los puertos I/O (paralelo, USB, red, etc.) propios de cada computadora. Puesto que son vías de comunicación bastante comunes, existen en el mercado diferentes opciones de tarjetas que realizan la comunicación y que, al ser de producción en serie, son de fácil adquisición y costo aceptable haciendo la mejor opción en lugar de pensar en una fabricación de la tarjeta. Entre las tarjetas más usadas en el mercado tenemos las siguientes:

- **Tarjeta de Puerto Paralelo Breakout**

Este tipo de tarjetas son las más simples y proporcionan una comunicación a través del puerto paralelo mediante optoacopladores en cada pin del puerto. Las principales características son:

- Doce salidas OC (modo colector abierto), entrada Rd mediante aislamiento óptico y GND común.

- Fuente de alimentación dual, una fácil conexión de fuente de alimentación aislada del circuito de aislamiento óptico para proporcionar una fuente de alimentación independiente, de GND no común para lograr un aislamiento completo. El terminal de voltaje aislado de 5 - 12 VDC.
- Puede utilizar una sola fuente de alimentación +5 V; sin salida de potencia.
- Señal de salida del puerto paralelo de la computadora a través de un Schmitt Trigger en todo el plástico para disminuir la interferencia en la transmisión de señales digitales.
- Se puede utilizar con el software de control del puerto paralelo para aplicaciones de control industrial.
- Soporte KCAM4, MACH, EMC y otra clase de software de control CNC mediante puerto paralelo; soporta hasta 6 ejes.
- Soporta el uso de servo drives mediante señales de pulso y dirección.
- Entrada para un interruptor externo mecánico, sensores de proximidad, etc.
- Puertos de la tarjeta de interfaz P1 - P17 y las señales del puerto paralelo de la computadora corresponden a los pines de señal 1 – 17. Los pines 18 – 25 del puerto paralelo van a tierra de la fuente.
- Tamaño: 90 mmx70 mm; agujeros de posicionamiento: 80mmx60mm.

- **CNC TB6560 Tarjeta Controladora y Driver de Motor a Pasos**

Ésta es una tarjeta ya más avanzada que, además de proporcionar comunicación entre la computadora y los pines I/O, incluye los drivers para los motores a pasos y éstos se conectan directamente con esta tarjeta. La comunicación es a través del puerto paralelo. Las principales características de esta tarjeta son:

- Dimensiones: 18 * 11 * 4 cm (L * A * P).

- Chip Toshiba TB6560AHQ.- Alta potencia, chip de driver con corriente máxima de 3.5 A.
- Configuración de micro paso 1 - 1/16.- Mayor precisión y un funcionamiento más suave que el estándar 1 o 1/2 paso.
- Corriente de driver ajustable entre 1.5 A – 3 A para cada eje. 25%, 50%, 75%, 100% de la corriente puede ajustarse para diferentes motores paso a paso.
- Seguridades de sobrecarga, sobre corriente y alta temperatura. Protección completa para la computadora y equipo periférico.
- Salida de energía se puede fijar según la exigencia específica de usuario.
- Aislamiento óptico de tipo cerrado para proteger la computadora y el equipo del usuario.
- Interfaz de husillo tipo relé. Salidas Max. 36V 7.5A para motores de husillo o bomba de agua (solamente un dispositivo se puede accionar por esta salida).
- Interface de entrada de 4 canales. Se puede utilizar para el límite de XYZ y la parada de emergencia.
- Procesamiento de señal de dos fases con anti-jamming.
- Drive bipolar con impulsor del interruptor de corriente constante con región no resonante. Control de motores suavemente a través de gama sin efecto lento.
- Cuatro entradas de control (divididas en pares de cuchillas), permite el ajuste de finales de carrera y de parada de emergencia.
- Arquitectura universal.- soporta la mayoría del software paralelo MACH3, KCAM4, etc.

- **CNC Motion Control Board KL-CNCUSB-3x:**

Esta tarjeta permite la conexión de la máquina con la computadora mediante el puerto USB de cualquier computadora como característica adicional; además de poseer una entrada específica para la medición de

la velocidad del husillo. Es necesario el uso de drivers externos para los motores de los ejes X y Z. Entre las principales características tenemos:

- o Compatible con todas las versiones Mach3, incluyendo la última edición: Mach3 R3.042.040.
- o Compatible con todas las versiones de Windows, incluyendo la última edición: Windows 7.
- o No es necesario driver para conexión USB.
- o Totalmente compatible con el intercambio en caliente USB.
- o Soporte de las siguientes funciones: herramienta de ajuste automático, volante manual electrónico, límite de software, software de contragolpe.
- o Velocidad: 48M, por lo que no es necesario utilizar la PC. La señal se procesa de forma independiente por las tarjetas de control de movimiento, asegurando que se consigue la información en tiempo real y la fiabilidad.
- o Salida hasta 200 KHz; enlace para stepping y servicio.
- o Posee indicador de estado. Puede indicar conexión con Mach3, y conectividad USB, cuando está activado.
- o 16 indicadores de entradas, que muestran claramente la situación de la señal.
- o Posee función de medición de velocidad. La velocidad real del mandril es mostrada en tiempo real en la interface de MACH3.
- o Aislamiento on-board de fuentes de poder.
- o 10 optoacopladores de alta velocidad de 10MHz, 24 optoacopladores generales. Proporciona una función completa de anti-jamming y protección.

2.9 INTERFACES PARA TRABAJO CNC

En tornos más avanzados, el movimiento y el control de los elementos que componen la máquina, se producen mediante control numérico

computarizado. Cada torno CNC suele tener diferentes interfaces las cuales tienen diversas herramientas y ejecutan varias operaciones.

Entre las principales interfaces tenemos:

- **Mach 3**

Es un paquete de software que corre sobre una computadora y lo vuelve un controlador de máquina muy poderoso y económico.

La salida de este programa, que es una parte de un programa y usualmente es código G, es transferido a la máquina controladora la cual es responsable de interpretarlo para controlar la herramienta que cortará la pieza de trabajo. (Artsoft).

- **Winunisoft**

Es un programa que permite el aprendizaje y la ejercitación de la programación de los controles numéricos más utilizados en el entorno industrial.

El programa está constituido de un editor y un simulador, así como de un gestor de datos de herramientas, orígenes, materias primas, máquina, etc. necesarios para definir un mecanizado. (Mecatrónica TESE, 2011)

- **CNCez**

La simulación se considera interactiva, ya que mostrará algunos de los pasos de programación a medida que se introducen en la interfaz de edición.

En algunos momentos este software acaba de mostrar todo el movimiento de la herramienta después de cuando se espera que lo haga, pero se puede superar este inconveniente mediante la selección de la configuración de visualizaciones adecuadas.

Los programas CNC creados en CNCez se guardan en formato de texto y los programas creados en un editor de texto se pueden poner en el simulador si tienen el formato correcto. (Morse, s/n)

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DEL TORNO NCL2000

3.1 SITUACIÓN INICIAL DE LA MÁQUINA

Previo a definir la situación inicial del torno NCL2000, se procede a identificar y definir las partes constituyentes en base al esquema general del torno.

3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TORNO

Con objeto de conocer la designación técnica de las partes fundamentales que componen al torno, éstas se presentan en un esquema general como se muestra a continuación en la **Figura 21**:

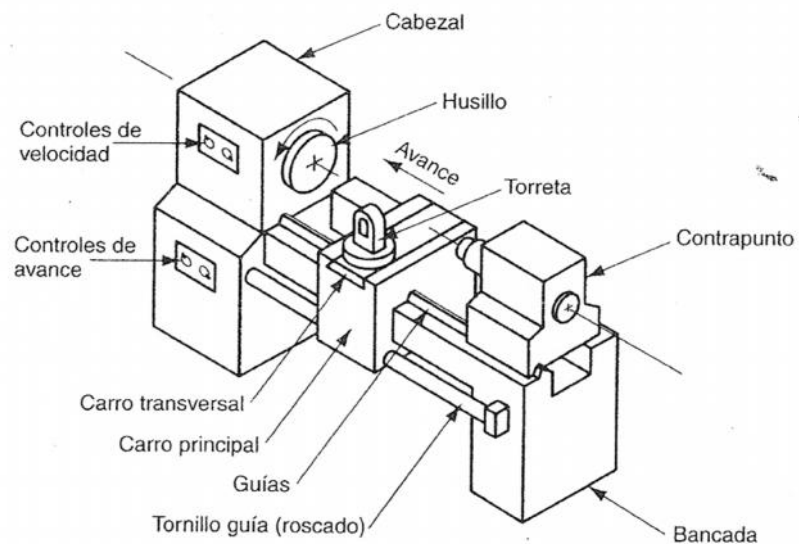


Figura 21 Esquema de partes principales de un torno mecánico.

Fuente (Groover P, 1997)

Los principales componentes de un torno son:

- ✓ Cabezal
- ✓ Contrapunto
- ✓ Torreta
- ✓ Carro transversal
- ✓ Carro principal
- ✓ Bancada

3.1.1.1 Cabezal

Como se mostró en la **Figura 21**, se ubica en un extremo de la bancada, y consta de una caja de cabezal que soporta al mandril y arreglo de la transmisión.

El husillo de cabezal es un eje cilíndrico hueco al cual se puede ajustar un tipo especial de prensa conocida como mandril que se emplea para sujetar un objeto cilíndrico. A continuación se muestran los diferentes tipos de mandriles en la **Figura 22**. (Groover P, 1997)

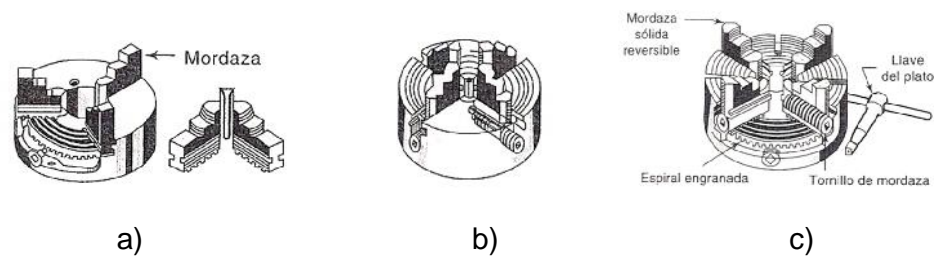


Figura 22 Tipos de mandril para torno. a) Mandril universal de tres mordazas. b) Mandril de cuatro mordazas independientes. c) Detalle de mandril.

Fuente: (Bawa, 2007)

3.1.1.2 Contrapunto

Se encuentra al extremo contrario del cabezal y se utiliza para reforzar la sujeción de la pieza de trabajo. Además puede fijarse en cualquier posición a lo largo de la bancada del torno. Las diferentes partes que lo componen se encuentran esquematizadas en la **Figura 23**.

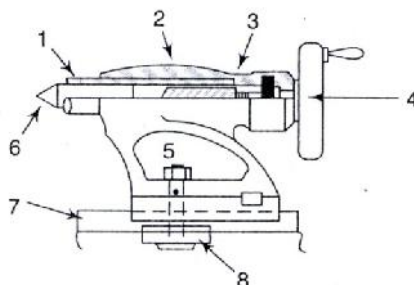


Figura 23 Contrapunto: 1. Barril, 2. Tornillo de avance, 3. Tuerca, 4. Manija, 5. Tuerca de sujeción, 6. Punto fijo, 7. Bancada, 8. Placa de sujeción.

Fuente: (Bawa, 2007)

3.1.1.3 Torreta

Denominado también como portaherramientas (**Figura 24**). Tiene la función de sostener la herramienta de corte de acuerdo a los parámetros de trabajo necesarios. El tipo de portaherramientas debe ser elegido en función de la máquina y de la herramienta a utilizar.

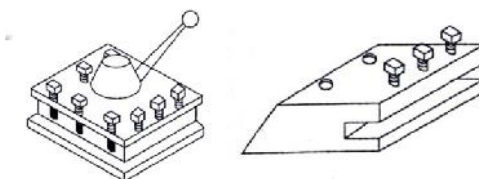


Figura 24 Portaherramientas utilizados en el torno.

Fuente: (Bawa, 2007)

3.1.1.4 Carro Transversal y Carro Longitudinal

El carro longitudinal o principal consta de tres partes que son: el carro, el carro transversal y la corredera compuesta. El carro es una parte móvil que se desliza sobre las guías de la bancada en dirección Z entre el cabezal y el contrapunto.

El carro transversal hace un movimiento perpendicular al movimiento del carro longitudinal, es decir, en dirección X y además es el que lleva la herramienta de corte como se muestra en la **Figura 25**.

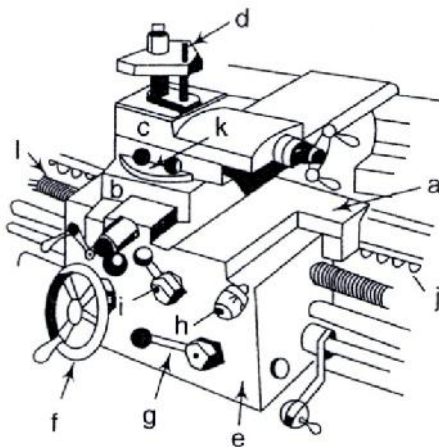


Figura 25 Carro del torno: a) Carro, b)Carro transversal, c) Corredera compuesta, d) Portaherramientas, e) Caja del tablero, f) Manija manual del carro, g) Palanca de avance mecánico, h) Media tuerca, i)Palanca de cambio de avance, j) Cremallera , k) Placa giratoria, l) Tornillo de avance.

Fuente: (Bawa, 2007)

3.1.1.5 Bancada

Es una pieza fundida pesada y robusta, hecha para soportar las partes que componen el torno. En su sección superior están las guías maquinadas que dirigen y alinean las partes principales del torno **Figura 26**. (Krar, 2002)

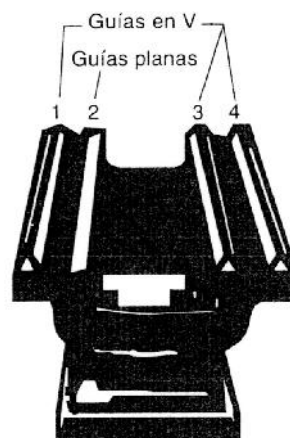


Figura 26 Bancada de torno y sus guías.

Fuente: (Bawa, 2007)

3.1.2 DESCRIPCIÓN TORNO NCL2000

En base a la designación técnica de las partes que componen al torno mecánico, a continuación se identifica los componentes que posee el torno NCL2000 mediante esta designación.



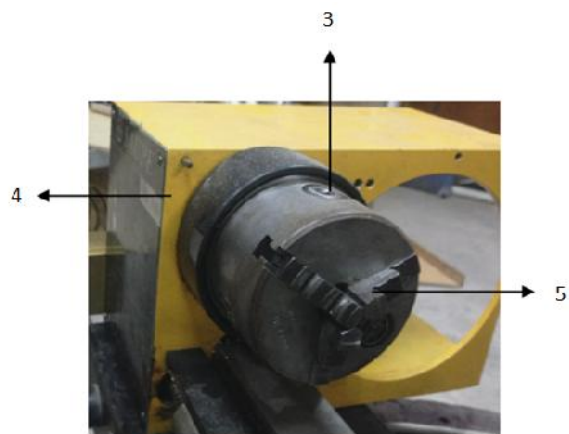
Figura 27 Torno NCL 2000.

Para una mejor descripción e identificación de cada componente se divide a la máquina en los siguientes sistemas:

Cuadro 4 Clasificación en sistemas de las partes del torno NCL 2000.

ESQUEMA	DENOMINACIÓN
	SISTEMA CABEZAL
	SISTEMA TORRETA CARRO TRANSVERSAL CARRO LONGITUDINAL
	SISTEMA CONTRAPUNTO
	SISTEMA BANCADA

3.1.2.1 Cabezal



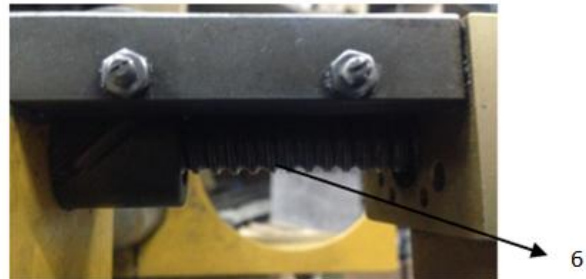
Lista de partes

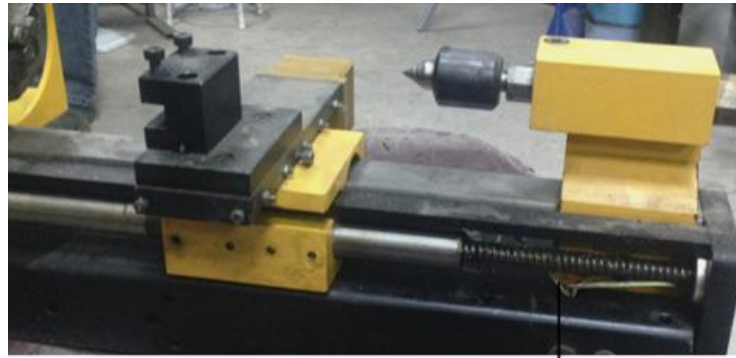
1	Mandril
2	Motor
3	Tornillo de mordaza
4	Carcasa
5	Mordaza

Figura 28 Partes del cabezal del Torno NCL 2000.

El mandril esta accionado por un motor AC de 220V. Todos los elementos están apoyados sobre el cabezal como se observa en la **Figura 28**.

3.1.2.2 Torreta





7

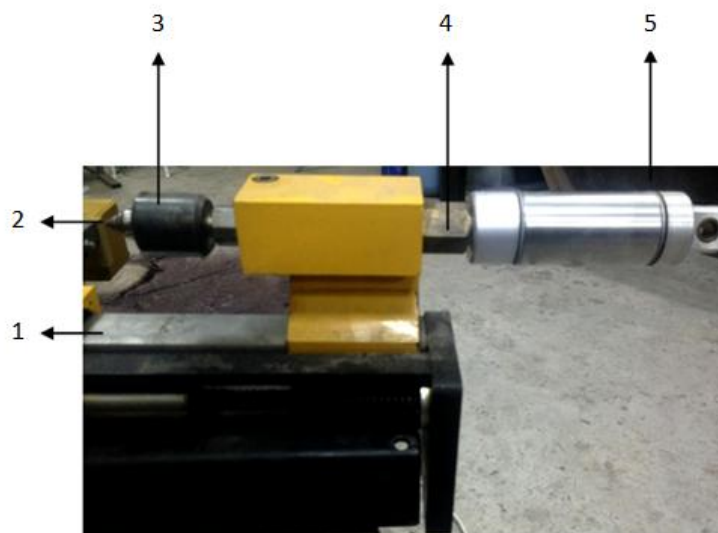
Lista de partes

1	Torreta	
2	Corredera compuesta	Carro principal
3	Carro	
4	Carro transversal	
5	Sistema bancada	
6	Tornillo de avance transversal	
7	Tornillo de avance longitudinal	

Figura 29 Partes de la torreta del Torno NCL 2000.

El sistema de la **Figura 29** contiene diferentes partes las cuales hacen posible el desplazamiento tanto longitudinal como transversal. Para dicho desplazamiento este torno utiliza motores DC.

3.1.2.3 Contrapunto



Lista de partes

1	Sistema bancada
2	Punto fijo
3	Barril
4	Tuerca de sujeción
5	Cilindro de accionamiento

Figura 30 Componentes del contrapunto del Torno NCL 2000.

El contrapunto cumple la función de fijar la pieza a mecanizar, empleando para ello un pistón neumático de simple efecto.

3.1.3 DETERMINACIÓN DE MATERIALES

Según las funciones de los sistemas del torno NCL2000, los materiales que deben estar presentes en la máquina se muestran a continuación en el **Cuadro 5:**

Cuadro 5 Materiales de acuerdo a los sistemas del Torno NCL 2000.

SISTEMA	MATERIALES
Sistema Cabezal	Aleación de Aluminio, Acero AISI 1045, Acero AISI A36
Sistema Torreta	Acero AISI 1045, Acero AISI A36
Sistema Contrapunto	Acero AISI 1045, Acero AISI A36
Sistema Bancada	Acero AISI 1045, Acero AISI A36

Una determinación más específica de materiales se realiza en los elementos que se consideran más críticos dentro del análisis de la capacidad de la máquina, puesto que soportan las fuerzas generadas en la operación de torneado; estos elementos son:

- Barra guía de soporte dentro del sistema bancada: este elemento soporta la torreta que es en donde se ejercen las fuerzas de corte a través de la herramienta.
- Cabezal: este elemento es el que absorbe las fuerzas ejercidas en la pieza de trabajo a través del mandril durante la operación de torneado.

3.1.3.1 Material de barra guía de soporte del Sistema Bancada

Como se ha mencionado antes, la bancada es la base del torno, la cual soporta todos los demás elementos. Sobre la parte superior de la bancada están las guías. Los tornos más económicos tienen guías planas; la

construcción de las mismas varía de acuerdo con el fabricante. Algunos fabricantes usan guías hechas de acero las cuales se pueden reemplazar; otros utilizan guías endurecidas, generalmente estas han recibido un tratamiento de temple superficial, para resistir el desgaste. (Bawa, 2007)

De tal manera, como no se tiene el conocimiento específico de que material están construidas las guías de soporte, se tomará en cuenta para el análisis un acero de alta dureza, buena tenacidad, resistencia mecánica, y alto rendimiento. Se considera que el material debe ser un acero de alto contenido de carbono y para maquinaria. La búsqueda resultó en el acero AISI 1045 de alta dureza y resistencia según las especificaciones dadas en el **ANEXO A**.

En el **Cuadro 6** a continuación se observa un resumen de las propiedades de este material:

Cuadro 6 Propiedades mecánicas del acero AISI 1045.

PROPIEDADES MECANICAS	
Esfuerzo a la tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación	min 10%
Reducción de área	40 %
Dureza HB	220 - 335

Fuente: (Bohman, 2010)

3.1.3.2 Material del Sistema Cabezal

Mediante una comparación del torno NCL2000 con un torno genérico industrial se puede apreciar que el torno, materia del presente análisis, al ser para fines didácticos no fue fabricado con materiales específicos de maquinaria. Esto también se puede constatar por su peso ya que algunas piezas como la carcasa, fueron construidas en aluminio. En base a

catálogos, se puede comprobar que para lo que son herramientas y maquinaria se utilizan aleaciones de aluminio y cobre tales como la 2017A y la 2024 (**ANEXO A**), por lo que, y debido a la disponibilidad de materiales en la base de datos de un software CAD, se escoge la aleación de Aluminio – Cobre 2024 para los análisis posteriores.

3.1.4 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL TORNO NCL 2000

Previo al desarrollo del diseño es necesario realizar una evaluación del funcionamiento mecánico de las partes que constituyen el torno. Para ello se procedió a revisar cada una de estos elementos por separado a fin de determinar el estado en que se encuentran y en base a esto tomar las consideraciones para realizar los cambios necesarios.

Los elementos que se analizaron, sus respectivas pruebas y resultados se las presenta a continuación en el **Cuadro 7**:

Cuadro 7 Pruebas y resultados de partes relevantes del Torno NCL 2000.

ELEMENTO ANALIZADO	PRUEBA	ANÁLISIS	RESULTADO
	Energización de motor DC del mecanismo	El sistema no presenta movimiento alguno. Se mide la corriente del motor y es de 0.0 A.	NO OK
Tornillo de bolas longitudinal (Eje Z)	Acople a motor independiente	Se mueve el tornillo. En cada revolución del tornillo, el desplazamiento lineal es de 3.92 mm correspondiente con el paso del tornillo.	OK

Continua 

Tornillo de bolas transversal (Eje X)	Energización de motor DC del mecanismo	El sistema no presenta movimiento alguno. Se mide la corriente del motor y es de 0.0 A.	NO OK
	Acople a motor independiente	Se mueve el tornillo. En cada revolución del tornillo, el desplazamiento lineal es de 3.92 mm correspondiente con el paso del tornillo.	OK
Carro longitudinal	Sujeción de carro y movimiento manual del tornillo	Desplazamiento 0.00 mm.	OK
Carro transversal	Sujeción de carro y movimiento manual del tornillo	Desplazamiento 0.00 mm.	OK
Cilindro de accionamiento neumático	Conexión a red de aire comprimido	Ejecución completa de la carrera del cilindro.	OK
	Conexión a red de aire comprimido y aplicación de fuerza contraria	Presenta resistencia aceptable a regresar a su posición inicial.	OK
Motor del husillo	Energización de motor AC 220V	El motor funciona sin presentar resistencia ni ruidos.	OK
		Se mide la corriente que es de 1.4 A correspondiente a un factor de potencia de 0.81 que entra dentro de valores aceptables de FP.	
Bandas de transmisión del motor del husillo	Inspección visual	No presenta grietas. No presenta roturas.	OK
		Profundidad de dientes 10 mm acorde a profundidad de los dientes de las poleas	
	Movimiento	Deslizamiento de polea conducida	OK

Continua 

	manual de una de las poleas	antes de empezar movimiento 0°	
Tarjeta con Microcontrolador	Envío de señales de entrada aleatorias	Algunas salidas permanecen en niveles de voltaje de 0 lógico (entre 0.1 V y 0.4 V), mientras que otras salidas no presentan respuesta alguna (0 V).	NO OK

El resultado de estas pruebas es la primera consideración que se utiliza para identificar las partes que se deben cambiar en el torno NCL2000. Aquellas partes con resultado NO OK se reemplazarán por elementos nuevos acorde a las necesidades y capacidades de la máquina, sin embargo, si se considera necesario el cambio de algún otro elemento de la máquina a pesar de su correcto funcionamiento actual, se lo analizará posteriormente.

3.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

3.2.1 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA BANCADA

3.2.1.1 Diagrama de Cuerpo Libre

Para realizar el diagrama de cuerpo libre del sistema bancada, tenemos que analizar la operación de torneado; para esto utilizamos los conceptos del numeral 2.2.4.1. Así tenemos las fuerzas resultantes del maquinado en un torno sobre la herramienta y se muestran en la **Figura 31** a continuación:

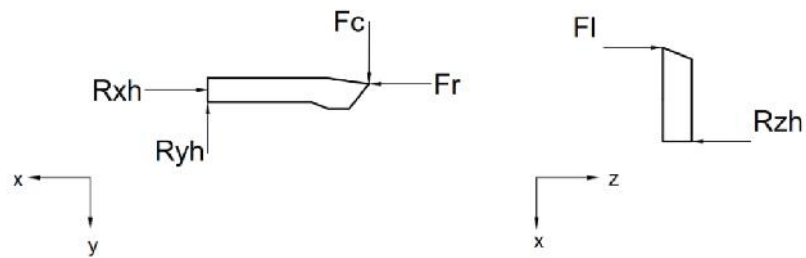
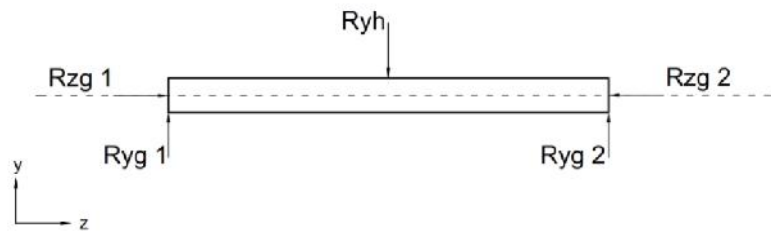
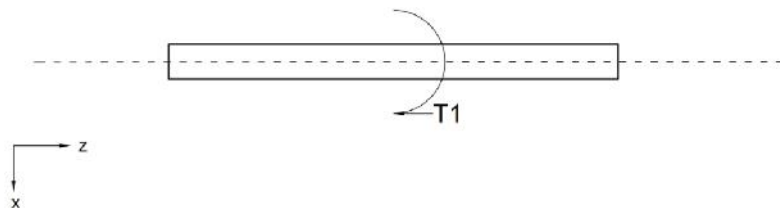


Figura 31 Diagrama de cuerpo libre de la herramienta en la operación de torneado.

Como observamos, existen tres fuerzas generadas por la operación, sin embargo, la fuerza de corte es la que consume el 99% de potencia (repartida entre F_c y F_I) (Waters, 2002) por lo que será ésta la que utilizaremos para todos los análisis posteriores. La fuerza de corte y las torsiones que se producen por la misma son transmitidas desde la herramienta, a través del portaherramientas, hacia la barra guía obteniendo así un diagrama de cuerpo libre de la siguiente forma mostrado en la **Figura 32**:



a)



b)

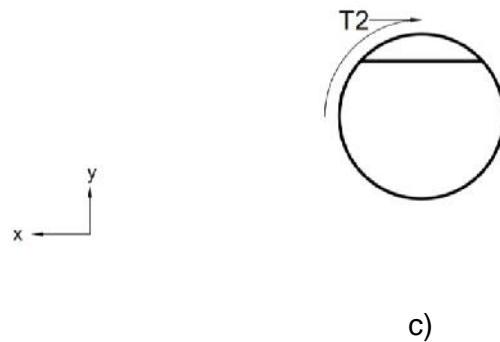


Figura 32 Diagrama de cuerpo libre de la barra de soporte y guía del carro portaherramientas. a) Reacción en Y del peso del sistema torreta y la fuerza de corte. b) Torsión 1. c) Torsión 2.

3.2.1.2 Modelo CAD de la Barra Guía del Portaherramientas

Se procede a realizar la simulación de esfuerzos y deformaciones, ubicando correctamente los puntos de apoyo y las fuerzas presentes en este componente.

3.2.1.2.1 Ubicación de apoyos

Como se puede observar en la **Figura 33** se están simulando los puntos fijos en los extremos que posee físicamente la barra guía del carro portaherramientas.

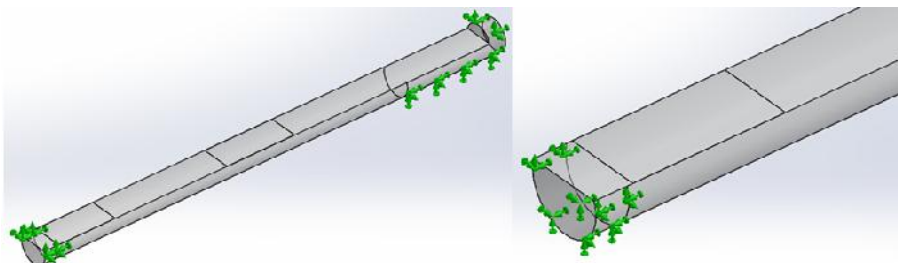
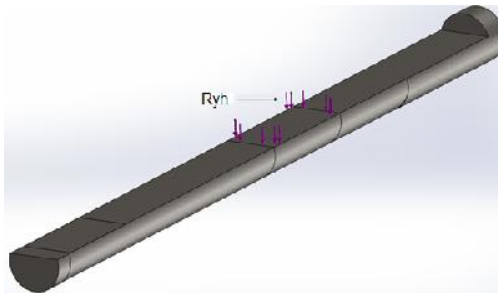


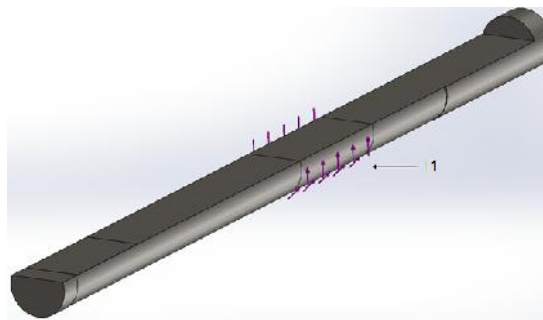
Figura 33 Ubicación de apoyos de la barra guía del portaherramientas.

3.2.1.2.2 Fuerzas y torsiones actuantes

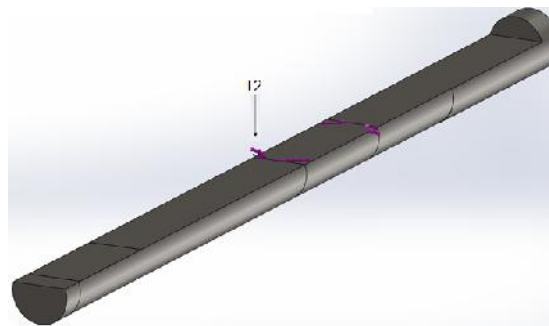
Mediante la **Figura 34** se observa que en la barra están presentes las siguientes reacciones: una fuerza correspondiente al peso del Sistema Torreta de la máquina sumado con la fuerza de corte que genera el maquinado; una torsión en el eje Z debido a la reacción de la fuerza de corte y a su posición en el portaherramientas y una segunda torsión en el eje Y ocasionada por la acción de la fuerza de corte en dirección Z (F_i).



a)



b)



c)

Figura 34 Ubicación de fuerzas y torsiones en la barra guía del portaherramientas. a) Reacción del peso y la fuerza de corte. b) Torsión generada en el eje Z. c) Torsión generada en el eje Y.

3.2.1.2.2.1 Fuerza actuante del sistema torreta

En la **Figura 35** se puede observar que la distancia a la cual se ejerce la fuerza del peso del portaherramientas es de 302,11 mm, dicha medida se encuentra en el punto medio del soporte. Se usa esta distancia para el análisis y simulación debido a que se considera como el punto crítico ya que es la zona más alejada de los dos extremos fijos de soporte.

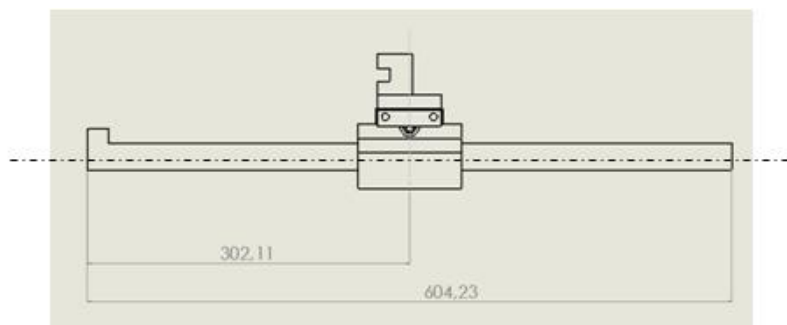


Figura 35 Ubicación de la fuerza actuante del sistema torreta.

De igual manera la superficie de contacto del sistema torreta con la barra es de 2862,73 mm² como se muestra en la **Figura 36**:

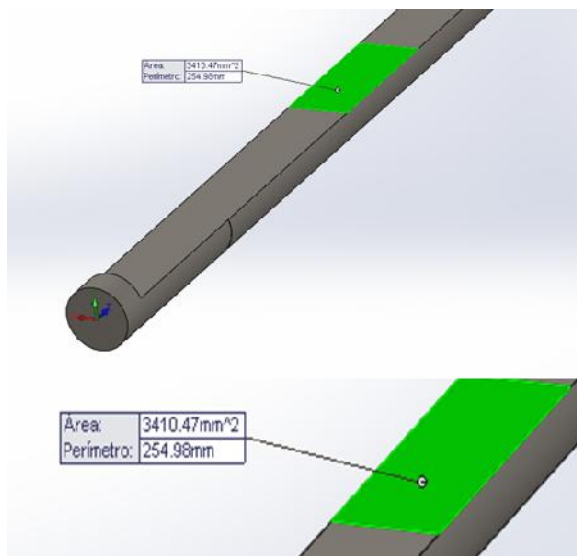


Figura 36 Medida de la superficie de contacto del sistema torreta.

Usando el software CAD, se visualiza el peso aproximado del Sistema Torreta en la **Figura 37**. A este valor le sumamos un valor promedio de peso del motor a pasos que va montado en el carro transversal para el movimiento en el eje X; dando un total de 4.9 kg generando una fuerza de 48 N que aproximaremos a 50 N. A esto se debe sumar la fuerza de corte generada por el maquinado.

Además de esto, consideramos para el cálculo de torsiones una distancia aproximada para ambas de 80mm desde el punto de incidencia hacia el eje de torsión.

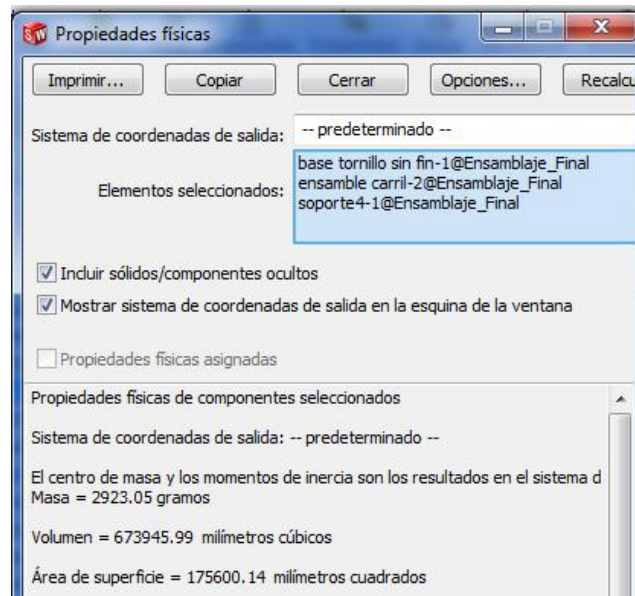


Figura 37 Peso en conjunto del sistema torreta.

3.2.1.3 Modelo CAE de la barra guía del portaherramientas

Para la realización de los estudios correspondientes, consideramos como parámetro de diseño que una deformación aceptable para cumplir con la precisión de un torno CNC por norma será de:

Ecuación 13

$$[\delta] = 0.01 \text{ mm}$$

Esto, a su vez, nos obliga a que las medidas dadas por nuestra interfaz y por los actuadores tengan una sensibilidad de 0.001mm.

Una vez definidos todos los puntos fijos, fuerzas y torsiones actuantes se procede a la simulación CAE.

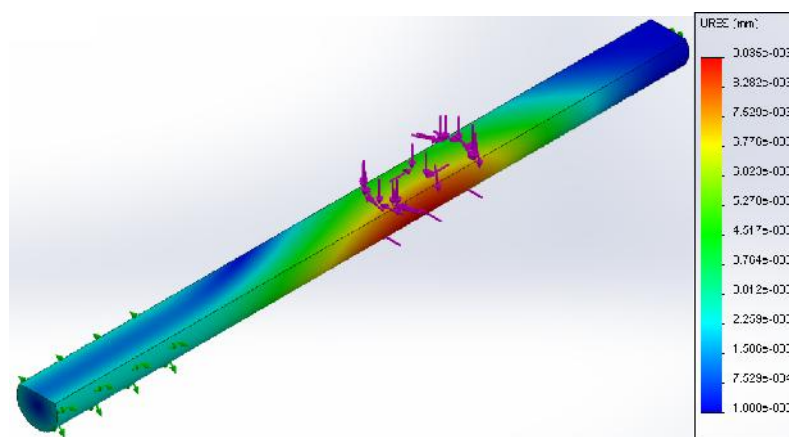
A fin de determinar la fuerza que genera el desplazamiento se realizaron simulaciones con valores de fuerzas actuantes como se muestra en el **Cuadro 8**. El valor del primer estudio fue tomado aleatoriamente, teniendo en cuenta como condición que debía ser una fuerza de alrededor de 2000 N

que es el caso promedio para materiales muy duros de maquinar; los demás valores fueron tomados en base a las reacciones de los estudios.

Cuadro 8 Valores de fuerzas sobre barra guía del carro portaherramientas.

ESTUDIO	FUERZA (N)	RESULTADO (mm)
Estudio 1	2000	0.17460
Estudio 2	800	0.06984
Estudio 3	400	0.03492
Estudio 4	200	0.01746
Estudio 5	150	0.01033
Estudio 6	135	0.00903

A continuación se muestra la simulación realizada en el Estudio 6 que arrojó el resultado mostrado:



Fuerza Aplicada = 135N; Torque = 6.8N.m

Figura 38 Estudio 6 de la barra guía mediante software CAD.

Se debe cumplir que:

Ecuación 14

$$\delta_{m\acute{a}x} < [\]$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0,009035 \text{ mm}$$

De esta manera, mediante la **Figura 38**, podemos concluir que la fuerza de 135N generará una deformación semejante a la de nuestro criterio de diseño, con lo que tomaremos este valor como el máximo posible para que la precisión del torno no se vea afectada.

La fuerza aplicada en el punto medio de la bancada está constituida por la fuerza que genera el peso del Sistema Torreta, la cual es de 50N y la fuerza máxima de corte la cual deberá ser de 85N; estos valores se toman en cuenta en base al **Cuadro 8** en donde se determinó el valor de la fuerza aplicada.

Posteriormente se generará una tabla de valores máximos de profundidad y avance para distintos materiales que cumplan con esta fuerza de corte máxima.

3.2.2 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA CABEZAL

3.2.2.1 Diagrama de Cuerpo Libre

La fuerza de corte también es aplicada en la pieza que se trabaja y produce un momento que influye en el mandril del cabezal, quedando como resultado que el análisis se lo puede realizar como se muestra a continuación en la **Figura 39**:

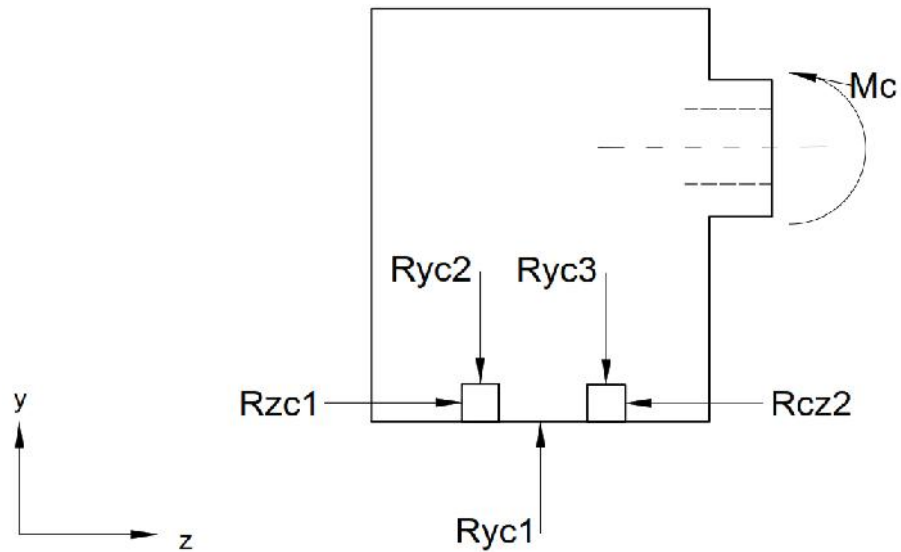


Figura 39 Diagrama de cuerpo libre del cabezal.

3.2.2.2 Modelado CAD del Cabezal

3.2.2.2.1 Medidas De Apoyos

Como se puede observar en la **Figura 40**, se encuentran simulados tanto los puntos fijos que se ubican en los orificios de las tuercas M8, como el apoyo tipo rodillo situado en la parte de inferior que posee físicamente la carcasa con la bancada. Además para una mejor simulación se observa que el mandril fue reemplazado por un cilindro de idénticas medidas y con un orificio que representa el lugar donde se coloca la pieza a maquinar.

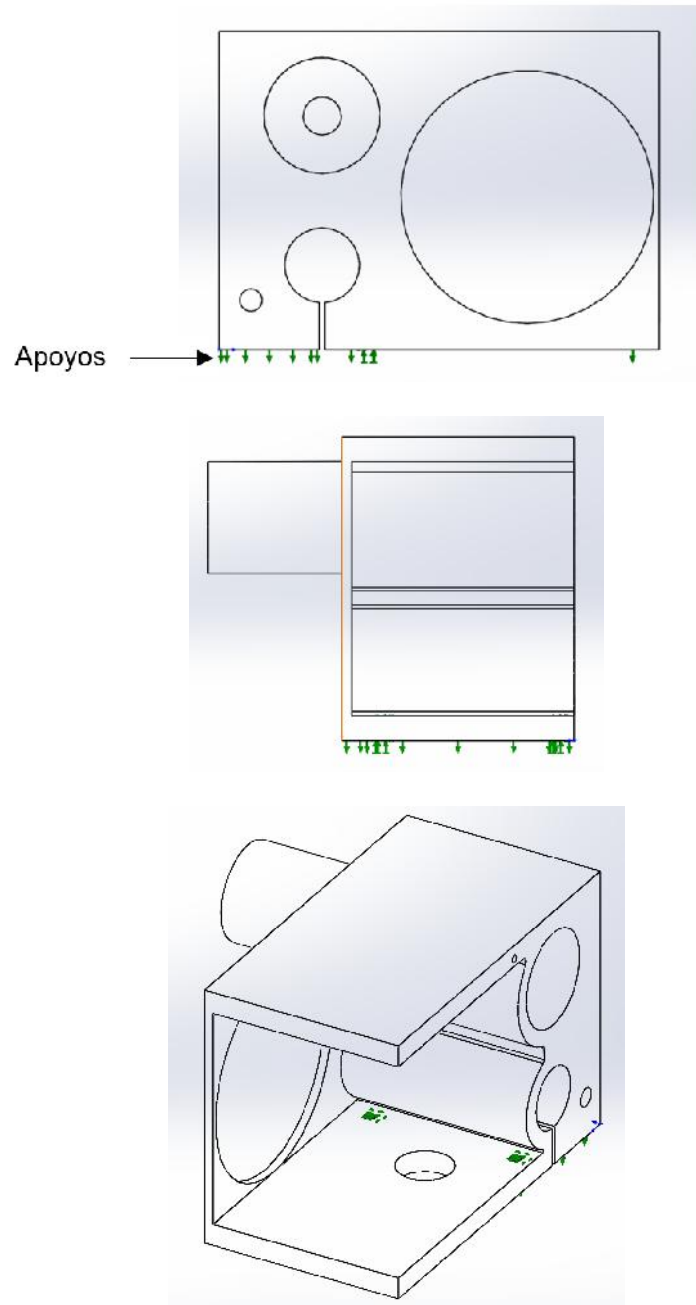


Figura 40 Ubicación de puntos fijos del cabezal.

3.2.2.2 Fuerzas Actuantes

Como se había mencionado anteriormente, la fuerza en la carcasa proviene de la transmisión de la fuerza de corte (máxima 85 N) por medio de

la pieza a maquinar; por lo que, como se observa en la **Figura 41**, hemos puesto como superficie de acción de la reacción el semicilindro superior del orificio del mandril y en dirección radial.

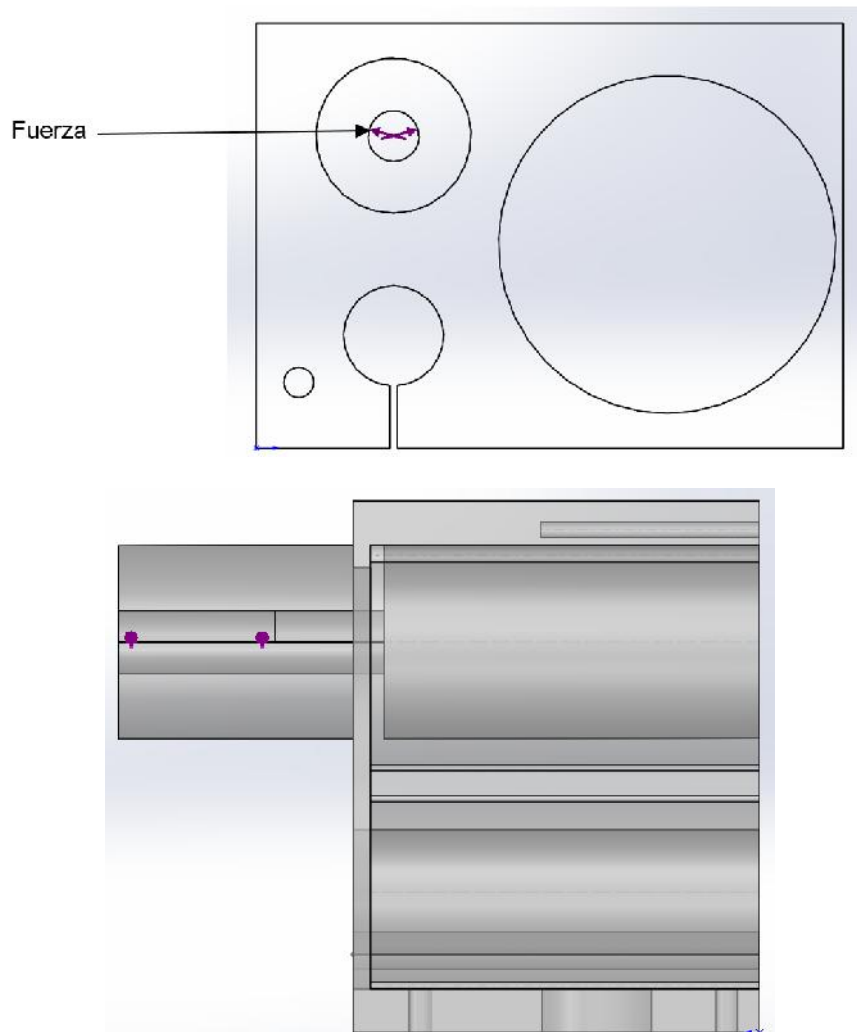


Figura 41 Ubicación de fuerzas actuantes en el cabezal.

3.2.2.3 Modelado CAE del Cabezal

Una vez ya definidos los puntos fijos y las condiciones de la fuerza actuante, se da lugar a la simulación CAE para así obtener el siguiente resultado de desplazamiento:

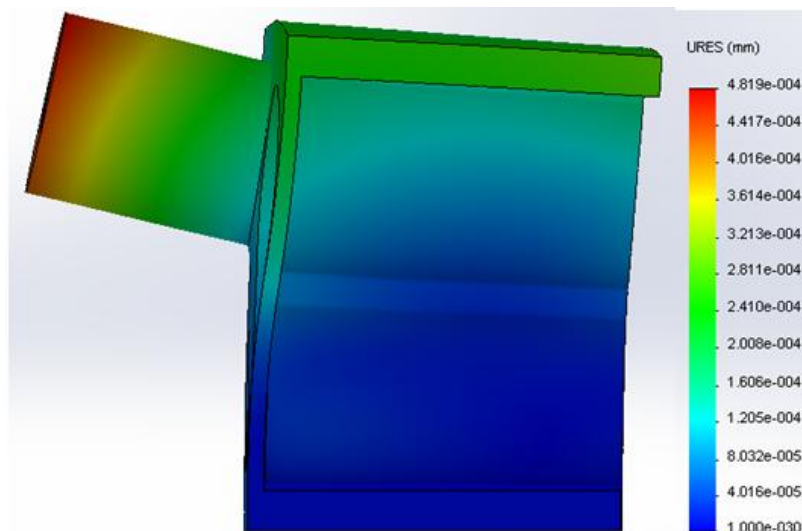


Figura 42 Estudio del cabezal mediante software CAD.

Como se puede apreciar en la **Figura 42**, no se produce ningún desplazamiento relevante en las áreas donde se encuentran los pernos de sujeción, ya que el desplazamiento máximo que posee la pieza es menor al criterio de diseño $\delta_{m\acute{a}x}$ empleado por lo tanto no genera inconvenientes al momento de cumplir su propósito.

Además se comprueba que las tuercas M8, que tienen el propósito de sujeción del cabezal no sufren un esfuerzo que pueda afectar a las mismas.

3.3 TORNILLO DE FUERZA O POTENCIA DEL CARRO

En el diseño del tornillo de transmisión de movimiento, se debe considerar la fuerza necesaria para mover la estructura que se desplazara portando el portaherramientas, y la fuerza de corte.

La fuerza del carro portaherramientas será:

Ecuación 15

$$F_A = F_{CA} + F_M$$

Donde:

- F_{CA} : Fuerza que ejerce el peso del carro portaherramientas = 28.65 N.
- F_M : Fuerza que ejerce el peso del motor (asumimos el peso promedio de motores del mercado 2 kg) = 19.62 N.

Por lo que:

$$F_A = 48.27 \text{ N} \approx 50 \text{ N}$$

El torque requerido para hacer girar el tornillo está dado por la **Ecuación 16** (Budynas, 2012). Los datos de diámetro medio y paso fueron tomados de la medición de los tornillos que están en la máquina.

Ecuación 16

$$T = \frac{(F_C + F_A) * D_m}{2} * \frac{p + \pi * \mu * D_m}{\pi * D_m - \mu * p} \text{ (N x mm)}$$

Donde:

- T = Torque
- F_C = Fuerza de corte (será 85 N puesto que concluimos que la fuerza máxima que soporta la barra es de 135 N)
- F_A = Peso del carro portaherramientas
- D_m = diámetro medio del tornillo (11 mm)
- p = paso (3.92 mm)
- μ = coeficiente de fricción (Acero = 0.15)

Dando como torque máximo:

$$T = 250.888 \text{ N.mm} = 25.089 \text{ N.cm}$$

3.4 SELECCIÓN DE MOTORES

3.4.1 MOTORES CARRO PORTAHERRAMIENTAS (X y Z)

Como ya se ha analizado y consultado en el capítulo 2, la mejor opción para controlar el movimiento exacto del carro portaherramientas es la de los motores a pasos.

Debido a que el análisis del torque necesario para mover el tornillo se lo realizó para el caso en que se necesita mayor fuerza (eje Z), resulta concluyente el hecho de que será también suficiente para el movimiento en X que necesita de un menor torque. Por lo que consideramos que, para evitar inconvenientes, serán los mismos motores para ambos movimientos del carro.

En este caso es necesario que, además de poseer el torque suficiente para mover el carro, el consumo de energía no sea elevado. Además, es necesario que el tamaño del motor sea reducido para evitar problemas en la instalación, puesto que, se trata de evitar una modificación en la protección externa de la máquina.

Tomadas en cuenta todas estas consideraciones, se escogió el motor mostrado en el **Cuadro 9** a continuación:

Cuadro 9 Características generales motor a pasos.

Marca	Modelo	Torque	Corriente	Dimensiones
Schneider	Nema 23	53 N.cm	3 A	57 x 57 x 76 (mm)

3.4.2 MOTOR PARA MANDRIL

Para el mandril, se encontró la dificultad que viene con el hecho del roscado de piezas cilíndricas. Para poder solucionar este inconveniente es

necesario conocer la posición exacta en la que se encuentra la pieza para poder realizar las diferentes pasadas requeridas para esta operación; la mejor opción nuevamente resulta un motor a pasos para controlar por el conteo de los mismos la posición en la que se encuentra la pieza y así acoplar el movimiento del carro portaherramientas al del mandril; sin embargo, las velocidades máximas de giro de un motor a pasos están muy por debajo de las velocidades encontradas en un torno para un buen maquinado, por lo que resulta una mejor opción implementar un motor DC y sensar la posición para la sincronización con un encoder de disco de un solo orificio. Además, debemos considerar varios parámetros que se exponen a continuación:

3.4.2.1 VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad de corte, como ya se ha mencionado, depende del tipo de material a torner y de la herramienta de corte. En un análisis previo se observó que el diámetro máximo de la pieza a trabajar puede ser 60 mm; además tomamos como referencia una velocidad máxima de 600 RPM debido a la reducción presente en el motor y a la velocidad máxima del mismo de 3600 RPM. Así, utilizando la **Ecuación 2** obtenemos que:

$$V_c = \frac{\pi * 60}{1000} * 600 = 113.097 \frac{m}{min} = 1.885 \frac{m}{s}$$

3.4.2.2 Potencia absorbida en el trabajo de torneado

Según lo visto anteriormente, la herramienta en el torno realiza un movimiento de penetración y un movimiento de avance, lo que hace que se arranque en el giro de la pieza una sección de viruta en mm², y con este dato se obtiene la fuerza necesaria para el corte; por lo que podemos calcular la potencia (W) a partir de la siguiente **Ecuación 17**:

Ecuación 17

$$P = F_c * V_c$$

Donde:

- F_c es la fuerza de corte en N
- V_c es la velocidad de corte en m/s
- W la potencia en Vatios

$$P = 85 \text{ N} * 1.885 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 160.221 \text{ W}$$

A una velocidad de 600 RPM o 62.83rad/s, el torque en N.m es:

$$T_M = \frac{160.221 \text{ W}}{62.83 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 2.55 \text{ N.m}$$

Así, tomando en cuenta los resultados de estos cálculos, se escogió el siguiente motor:

Cuadro 10 Características generales motor a pasos para mandril.

TIPO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE MAX (A)	POTENCIA (W)
Eléctrico DC	24	8	175

3.4.2.3 Relación avance vs profundidad para distintos materiales.

Para poder obtener una relación avance vs profundidad para distintos materiales, partimos de algunos principios: la fuerza de corte se calcula con la **Ecuación 18**:

Ecuación 18

$$F_c = k_s \cdot A_c$$

Donde:

- k_s es la Presión específica de corte.
- A_c es la Sección de la viruta.

A su vez, la sección de la viruta corresponde a los valores del ancho de corte y al espesor de la viruta mediante la **Ecuación 19**:

Ecuación 19

$$A_c = b \cdot a_c$$

Como se observa en la **Figura 5**, el valor b se relaciona con la profundidad de corte (a_p) y el valor de a_c se relaciona con el avance (f); ambos mediante el ángulo de posición k_r , por lo que podemos concluir que la profundidad de corte y el avance se expresan con: **Ecuación 20** y **Ecuación 21**:

Ecuación 20

$$b = \frac{a_p}{\text{sen}(k_r)}$$

Ecuación 21

$$a_c = f \cdot \cos(90 - k_r)$$

Los valores de k_s se encuentran en el **Cuadro 11** a continuación:

Cuadro 11 Valores de Presión Específica de Corte para distintos materiales.

MATERIAL	RESISTENCIA A TRACCIÓN / DUREZA HB	K_s (N / mm ²)
Fundición blanca	>500 HB	5330
Acero Aleado	1000 / 1400 N / mm ²	5020
Acero al Carbono	850 / 1000 N / mm ²	4860

Aleación de Aluminio	-	4000
Latón	-	3540
Plástico	-	2690

Fuente: (Kalpakjian & Schmid, 2002)

Mediante el uso de estas ecuaciones, el **Cuadro 11** y un ángulo de posición medio de 45° se determina la fuerza de corte para distintos materiales dependiendo de la profundidad y el avance; tomando en cuenta que anteriormente determinamos que el valor máximo de esta fuerza puede ser 85N.

Los resultados para materia prima de plástico, así como para otros materiales, se presentan en el **ANEXO B** en donde se señalan aquellos valores que no cumplen con la condición máxima de F_c .

3.5 REDISEÑO DEL CABEZAL

Una vez realizada la selección de motores, se consultó a los proveedores en busca de la mejor opción. Se presentaron las siguientes opciones:

A. Motor con transmisión, soporte y mandril en un solo arreglo.- En esta opción se ofrece todo el arreglo completo elaborado por el fabricante del motor con soporte tanto para el nuevo mandril como para el motor. Las dimensiones del soporte están de acuerdo con el espacio que se tiene para la instalación en la bancada original del torno.

B. Mandril con soporte y motor.- En esta opción no se incluye la transmisión y es necesario el acoplamiento con la transmisión existente en el torno; además, solamente incluye el soporte del mandril, por lo que, es necesaria la elaboración de un soporte adicional para sostener el motor

C. Motor.- En esta opción, se adquiere únicamente el motor; por lo que se necesita elaborar un soporte para el mismo y su acoplamiento con la transmisión y mandril existentes. Además, es necesario realizar un mantenimiento y reemplazo de rodamientos existentes en el mandril previo a análisis de los mismos.

Al revisar las tres opciones, se seleccionó la opción A debido al tiempo necesario para la entrega, el costo y a la relación de transmisión del fabricante puesto que es la más óptima para el buen desempeño del motor. Además, al ser elementos nuevos, se garantiza el correcto funcionamiento de los mismos y mayor tiempo de vida útil. El ensamble, pero con un motor a pasos, se muestra en la **Figura 43**:



Figura 43 Imagen del paquete completo de motor, soporte y mandril.

Fuente: (GOODLUCKBUY, s/n)

Al pedir información sobre la opción A, el fabricante envió las especificaciones técnicas que se encuentran en el **Cuadro 12**, además de las medidas del soporte para el montaje; valores que se muestran en la **Figura 44** a continuación:

Cuadro 12 Especificaciones técnicas de arreglo de motor de husillo.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Altura de Centro	65 mm

Altura Total	115 mm
Velocidad Motor	3600 RPM
Voltaje Motor	24 VDC
Corriente Motor	6 A
Reducción	6:1
Partes incluidas	Husillo y mordazas
Correa de sincronización	3M 336 (Ancho 15 mm)

Fuente: (GOODLUCKBUY, s/n)

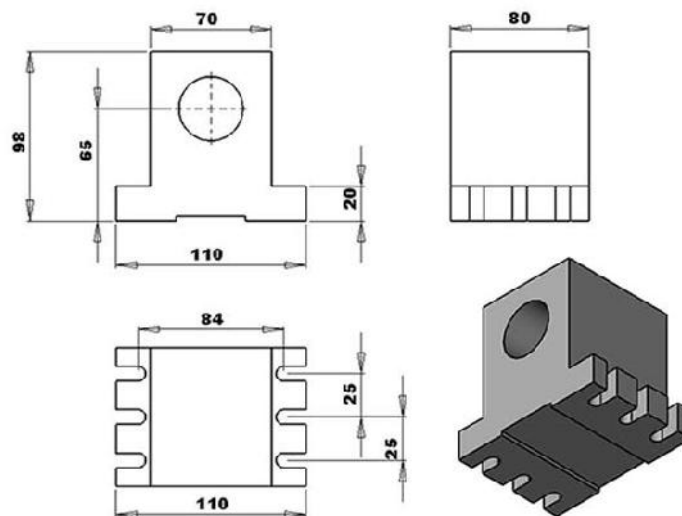


Figura 44 Dimensiones generales del soporte del mandril.

Fuente: (GOODLUCKBUY, s/n)

Con estos datos, se concluyó que el cabezal actual no es apto para la colocación de las nuevas piezas, por lo que resulta necesaria una modificación en la forma del mismo. Para esto es necesario conocer las fuerzas que intervienen en el proceso generadas por las sujeciones del nuevo soporte del mandril sobre el cabezal; para lo cual se procede a

realizar una simulación que arroje resultados de las reacciones que se necesitan conocer.

La simulación del soporte se muestra a continuación en la **Figura 45**:

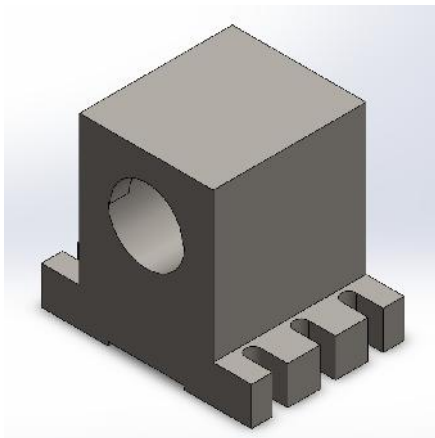


Figura 45 Modelado del soporte del mandril.

Una vez realizado el modelo, procedemos a realizar el estudio estático con la fuerza de corte máxima obtenida anteriormente y colocando las sujeciones del sistema. Esto se muestra en la siguiente **Figura 46**:

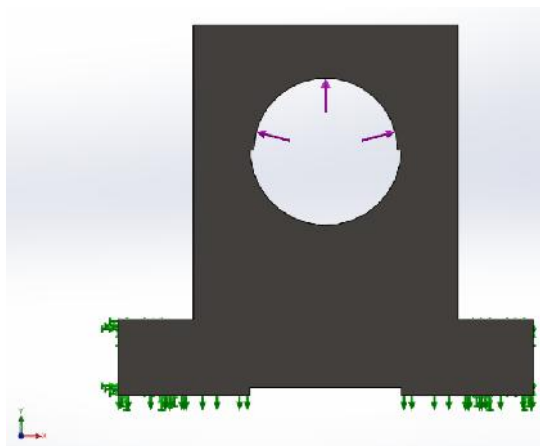


Figura 46 Vista frontal del soporte con las fuerzas ejercidas y las sujeciones.

El reporte de las reacciones que se generan en el estudio es presentado en el **Cuadro 13** a continuación:

Cuadro 13 Reporte de resultados del estudio del soporte de mandril.

POSICIÓN	X (N)	Y (N)	Z (N)
Perno 1	12.57	-10.72	3.76
Perno 2	4.55	-3.76	-2.64
Perno 3	-2.45	2.74	-1.11
Perno 4	2.45	2.74	-1.12
Perno 5	-4.56	-3.77	-2.64
Perno 6	-12.57	-10.75	3.75
Apoyo cara inferior	0.00	-104.12	-0.77

Una vez conocidos los valores de las reacciones del soporte, es necesario realizar el estudio de los efectos de las mismas en el cabezal; para lo cual se plantean dos posibles soluciones para adaptar los nuevos componentes a la máquina.

✓ **Modificación del cabezal actual del torno**

Como primera solución está la modificación del cabezal actual mediante corte y maquinado del mismo, en cuanto a costos, esta resulta la mejor opción puesto que se aprovecha la pieza existente y así se evita un desperdicio.

✓ **Fabricación de nuevo cabezal**

La segunda solución requiere de la fabricación de un nuevo cabezal, el cual reemplazará al existente y tendrá una diferente geometría con respecto al actual.

3.5.1 MODIFICACIÓN DEL CABEZAL ACTUAL

Para iniciar se procede al modelado del cabezal con la modificación realizada sin alterar posiciones de guías, agujeros de ejes ni agujeros de sujeciones con la bancada, puesto que debe ser exacto el posicionamiento con las demás partes de la máquina; se muestra en la **Figura 47** el modelo:

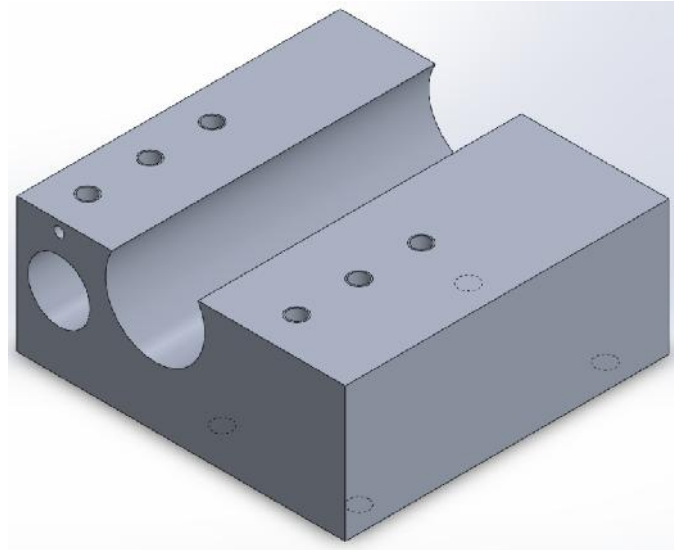
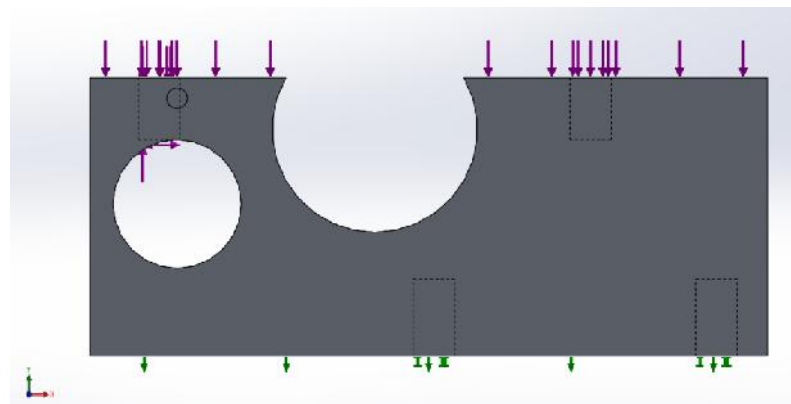
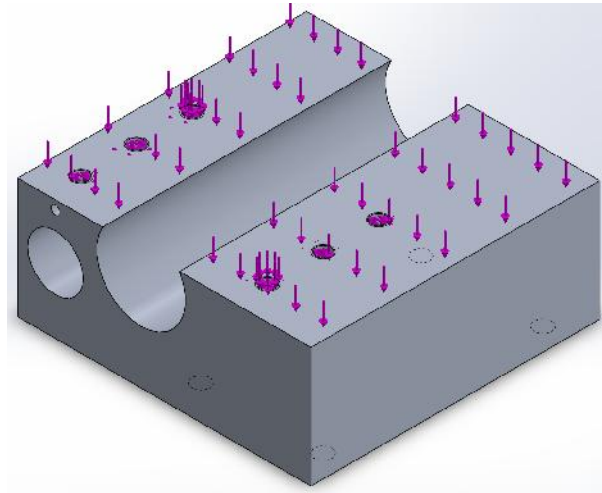


Figura 47 Modelo del cabezal modificado.

Se procede a realizar el estudio con las reacciones obtenidas anteriormente, tomando en cuenta las direcciones de las fuerzas a aplicar. El estudio, con el material del cabezal existente (Aleación de Aluminio) se presenta en la siguiente **Figura 48**:



a)



b)

Figura 48 a) Vista frontal del cabezal modificado con las fuerzas ejercidas y las sujeciones, b) Vista auxiliar del cabezal modificado con las fuerzas ejercidas y las sujeciones.

Los resultados del estudio se presentan a continuación en la **Figura 49**:

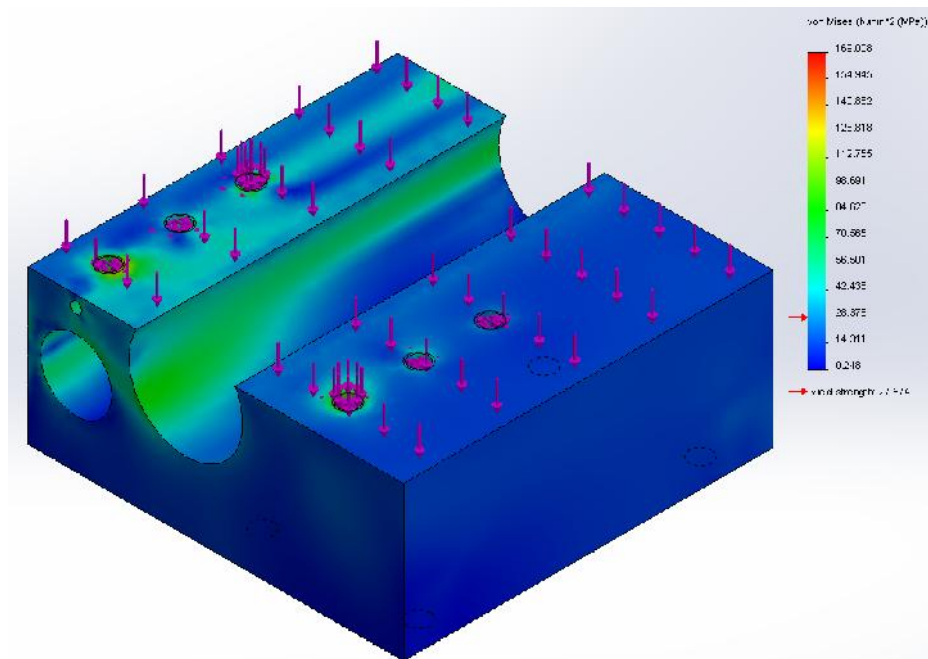


Figura 49 Estudio realizado sobre el cabezal modificado.

Claramente se observa que el esfuerzo máximo resultante del estudio es muy superior al límite que posee el material, siendo la región más crítica el agujero del perno frontal izquierdo como se muestra en la **Figura 50** a continuación:

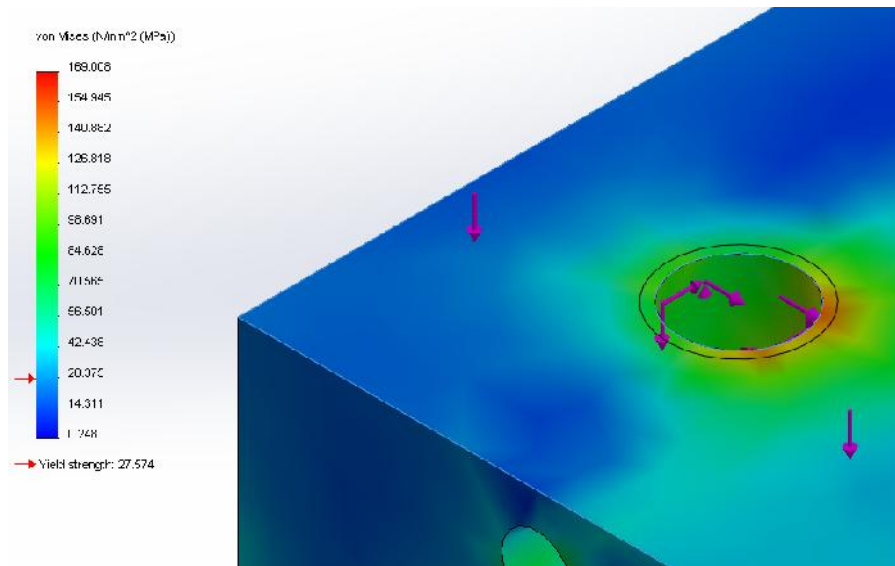


Figura 50 Vista de detalle de la parte más crítica del estudio.

Como se observa, va a existir falla del material en este punto por lo que queda descartada esta posibilidad.

3.5.2 ELABORACIÓN DE NUEVO CABEZAL

3.5.2.1 Modelado CAD del nuevo cabezal

Resulta necesario entonces, por lo visto en la primera opción, un cambio en el material del cabezal, para lo cual, se realiza el estudio del modelo con un nuevo material; para este caso se escogió un material de maquinaria: Acero AISI 1045 de fácil adquisición y de costo aceptable. Los resultados del estudio de esta nueva opción se muestran a continuación en la **Figura 51**:

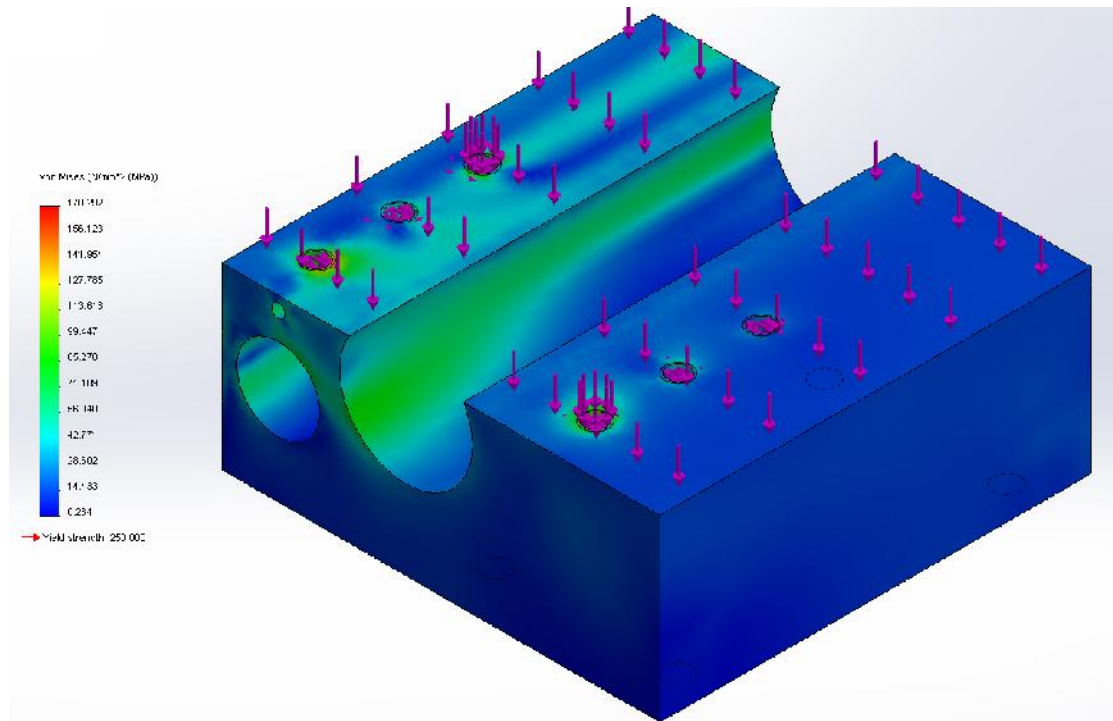


Figura 51 Estudio realizado sobre el cabezal modificado con acero AISI 1045.

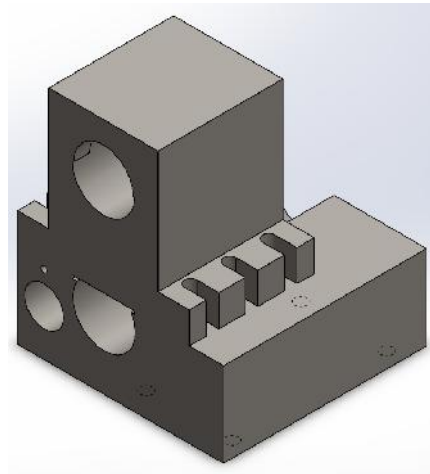
Se observa que el resultado de este estudio nos da un factor de seguridad de 1.46; valor que nos da una capacidad de exceso aceptable para las condiciones que va a tener la máquina.

Por lo tanto, una vez realizados estos estudios, se considera que la mejor opción es la de fabricar un nuevo cabezal con las mismas medidas del actual para su correcto montaje con los demás componentes, pero de un material más resistente como lo es el acero AISI 1045.

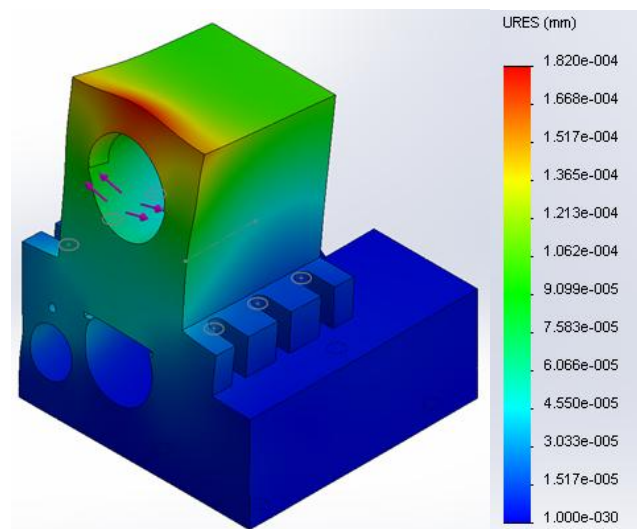
3.5.2.2 Modelado CAE del nuevo cabezal

Una vez determinada la mejor opción para soportar de manera adecuada el nuevo conjunto del mandril, es necesario analizar si las nuevas piezas podrán resistir los esfuerzos ejercidos sobre la máquina y las deformaciones que sufran deben estar dentro de valores adecuados para no afectar las tolerancias deseadas. Así, se realiza el estudio de las nuevas partes, donde

se colocan las cargas y los apoyos al igual que en el numeral 3.2.2.2.1 y se ejecuta el análisis tal como se realizó en el numeral 3.2.2.2.2. Los resultados se presentan en la **Figura 52** a continuación:



a)

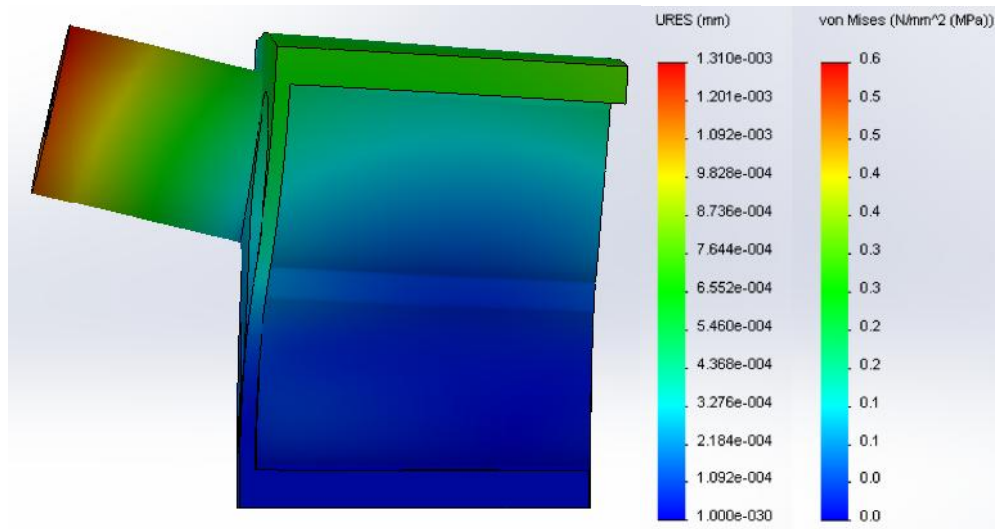


b)

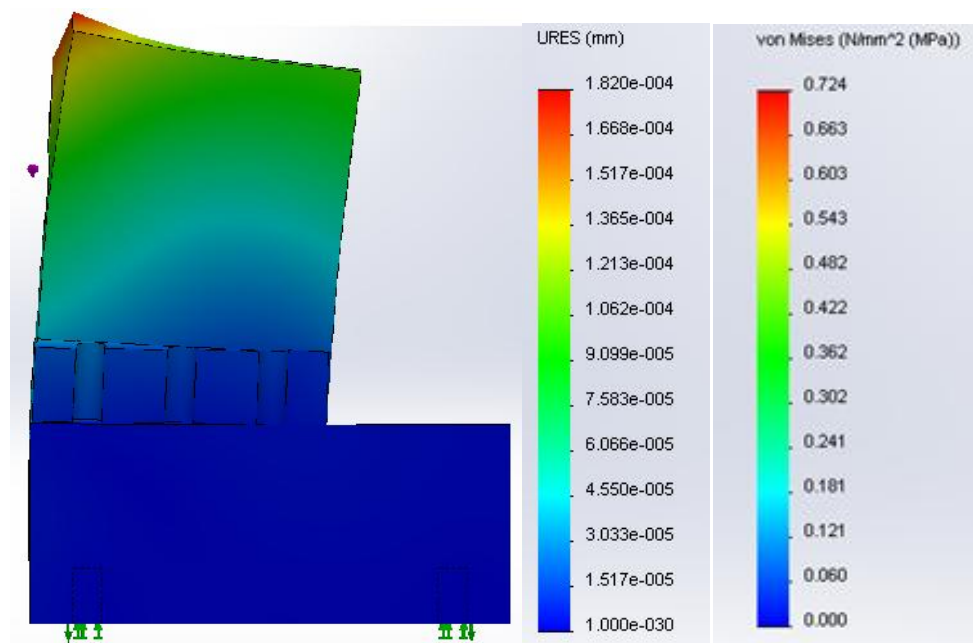
Figura 52 Estudio de nuevo cabezal mediante software CAD a) Sin deformación b) Deformada.

Como se observa en la **Figura 53**, la deformación resultante máxima del nuevo cabezal con su conjunto del mandril es menor a la obtenida

anteriormente en el cabezal antiguo por lo que se puede concluir que el cambio no afectará en la tolerancia requerida para el trabajo.



a)



b)

Figura 53 Comparativo de cabezales a) Antiguo cabezal b) Nuevo cabezal.

Puesto que se debe comprobar que la deformación del material no representará problemas para la funcionalidad de la máquina, se procede a calcular factores de seguridad de ambos casos pero con enfoque en la deformación. Para esto, se conoce que la deformación aceptada es de 0.001mm, por lo cual los FS serán:

Ecuación 22

$$FS = \frac{\text{Deformación aceptada}}{\text{Deformación generada}}$$

$$FS_{\text{Aluminio-Cobre}} = \frac{0.001}{0.0004819} \quad 2.07$$

$$FS_{\text{AISI 1045}} = \frac{0.001}{0.000182} \approx 5.49$$

(Budynas, 2012)

Como se puede observar, el sistema, en cuanto a deformación de los materiales, posee un factor de seguridad aceptable para la aleación aluminio – cobre; sin embargo, al realizar el cambio de material y de la geometría con el nuevo cabezal, el factor de seguridad de deformación se incrementa a un valor considerado alto, lo que da mayor seguridad para poder someter al sistema a este esfuerzo.

3.5.2.3 Fabricación del nuevo cabezal

Mediante el análisis realizado anteriormente del nuevo cabezal, en la **Figura 54** y **Cuadro 14** se identifican y muestran los elementos que se reemplazaron en el sistema cabezal anterior del torno NCL2000, a fin de garantizar el correcto funcionamiento de la máquina.

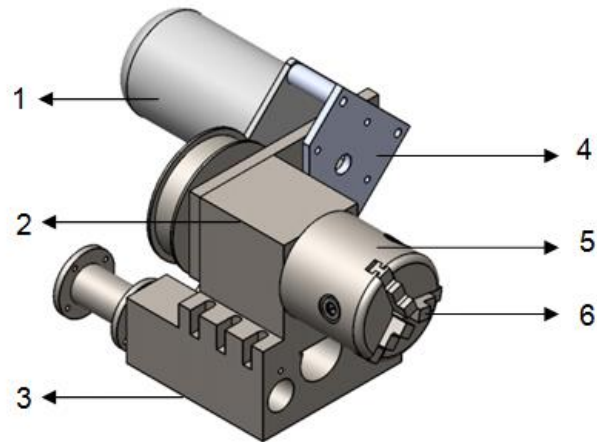


Figura 54 Nuevo sistema cabezal

Cuadro 14 Nuevas partes del sistema Cabezal.

	N°	Elemento
Sistema Cabezal	1	Motor DC del mandril
	2	Soporte de mandril
	3	Base del cabezal
	4	Placa acople de motor DC
	5	Mandril
	6	Mordazas

ANEXO C se detalla la hoja de proceso de los elementos que se fabricaron los cuales son:

- Base del cabezal
- Placa de acople del motor

3.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para garantizar el correcto funcionamiento del torno NCL2000 es necesario controlar los parámetros de velocidad y posicionamiento del portaherramientas, así como la velocidad de giro del mandril mediante una interfaz de comunicación de simple ejecución.

En la **Figura 55** se muestra el diagrama de bloques el cual permitirá el control de los parámetros antes mencionados.

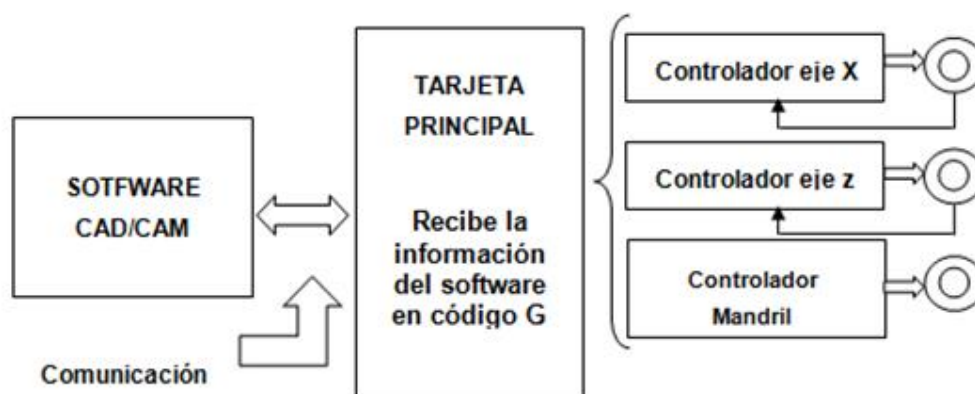


Figura 55 Diagrama de bloques del sistema de control.

3.6.1 SELECCIÓN DE LA TARJETA PRINCIPAL

Durante la investigación del presente proyecto, se concluyó que la mejor opción para la realización de la interfaz entre la máquina y la computadora, es la de adquirir una tarjeta existente en el mercado que nos brinde esta posibilidad.

De acuerdo con la información del numeral 2.8, debido a que la comunicación vía USB es la más utilizada hoy en día, la mejor opción sería la de la tarjeta Motion Control Board KL-CNCUSB-3x; sin embargo, al realizar una investigación más a fondo de este componente, se descubrió que para su uso, es necesaria la instalación de un driver en la computadora para que la tarjeta funcione correctamente. Esta instalación a su vez

modifica ciertos parámetros dentro del software de control que ocasiona que se inhiban algunas funciones que se indican en el **Cuadro 15**:

Cuadro 15 Funciones y opciones restringidas por la Tarjeta de Comunicación USB.

FUNCIÓN	DESCRIPCIÓN
Motor de husillo a pasos	Permite al programa utilizar un motor a pasos para el husillo y hacer así un mejor control de la posición del mandril.
Frecuencia base del PWM del motor del husillo	Permite controlar la frecuencia a la que trabaja el PWM y poder así, tener un mayor rango de variación en el ancho de pulso y mejorar el control de la velocidad.
Controles de sincronización en tareas especiales	Estos controles permiten utilizar varias formas de sincronización para tareas que así lo requieran como el roscado; puede ser por promedio de velocidad del husillo, control en lazo cerrado PID o por señal de Index que determina una posición exacta.

Debido a estas propiedades del software restringidas por la tarjeta USB, queda descartada la opción por lo que se analizan las otras dos planteadas anteriormente.

Como una forma de optimizar costos, la tarjeta CNC TB6560 Tarjeta Controladora y Driver de Motor a Pasos (**Figura 56**) se considera la opción más idónea puesto que posee integrados los drivers de control de los motores a pasos como su nombre lo indica; sin embargo, el número de

entradas y salidas digitales es limitado e insuficiente para los componentes que se desean instalar. A pesar de esto, se escoge esta tarjeta puesto que, ofrece una gran versatilidad en configuraciones para los motores de los ejes X y Z entre las que se encuentran: corriente de motor, velocidad de respuesta, pulsos por revolución del motor.

Para solucionar el problema de las entradas y salidas, se escoge también la otra opción de tarjetas de comunicación: Tarjeta de Puerto Paralelo Breakout (**Figura 57**). Esta alternativa se limita a la cantidad de pines del puerto paralelo, es decir, cinco entradas (P10, P11, P12, P13, P15) y 12 salidas (P1 – P9, P14, P16, P17) digitales que se utilizarán para elementos de protección, sensor de velocidad, indicadores, salida PWM del motor del husillo, electroválvula de aire de refrigeración, etc.

Debido al uso de las dos tarjetas de interfaz o comunicación, es necesario tener dos tarjetas de puerto paralelo en la computadora que se utilice con el software de control o plataforma de PC.

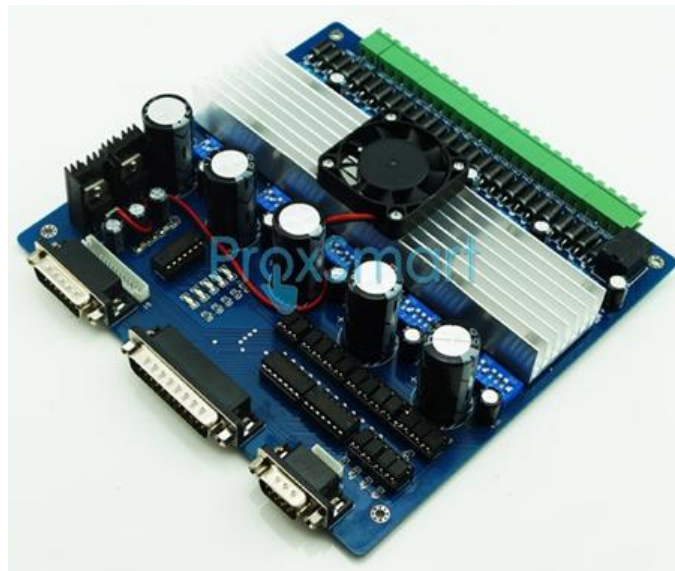


Figura 56 CNC TB6560 Tarjeta Controladora y Driver de Motor a Pasos.

Fuente: (Aliexpress, s/n)



Figura 57 Tarjeta de Puerto Paralelo Breakout.

Fuente: (Aliexpress, s/n)

3.7 SELECCIÓN PLATAFORMA PARA PC

Como se analizó en el numeral 2.9 del capítulo anterior, existen varias opciones en cuanto a interfaces para trabajo CNC, por lo que debemos tener características y requerimientos específicos que se presentan a continuación para poder escoger una de las opciones:

- Comunicación entre máquina y PC.
- Manejo de varios motores a pasos.
- Código G, puesto que es para el aprendizaje de Sistemas CAD CAM CAE que utilizan este tipo de lenguaje.
- Interfaz de fácil aprendizaje y manejo.

Dadas estas características, se encuentra como mejor opción la utilización del software MACH3.

3.7.1 MACH 3

Mach3 es un software para máquinas CNC que corre sobre una computadora y lo vuelve un controlador de máquina muy poderoso y económico para reemplazar un dispositivo controlador. Permite controlar los movimientos de los ejes X, Z y controlar la velocidad del mandril mediante código G. Por medio del programa se ingresan los datos para que éste genere los códigos G para el maquinado de la pieza en el torno NCL2000 y luego se envían los datos hacia la tarjeta principal y posteriormente hacia los motores. (Artsoft)

3.7.1.1 Requisitos del sistema

Para correr Mach3 se necesita Windows XP (o Windows 2000) idealmente corriendo en un procesador de 1GHz con una resolución de pantalla de 1024 x 768 pixeles. Se puede usar, por supuesto, esta computadora para cualquier otra función en el taller.

MACH 3 se comunica principalmente por uno u opcionalmente dos puertos paralelos (de impresora) y, si se desea por un puerto serial (COM).

Los Drives de los motores de los ejes de la máquina deben aceptar una señal de pulsos de paso y de dirección. Virtualmente todos los Drives de motores a pasos trabajan de esta manera. (Artsoft)

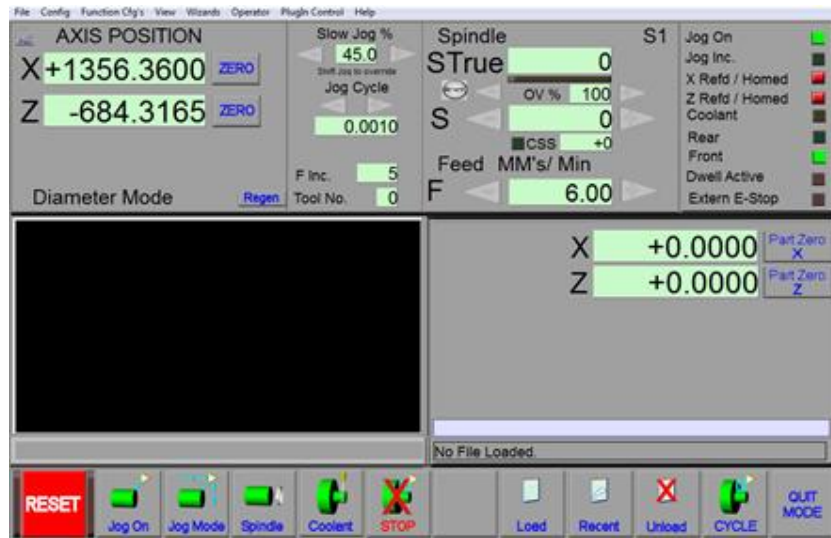


Figura 58 Pantalla principal software MACH3 CNC CONTROLLER.

Fuente: (Artsoft)

CAPÍTULO 4

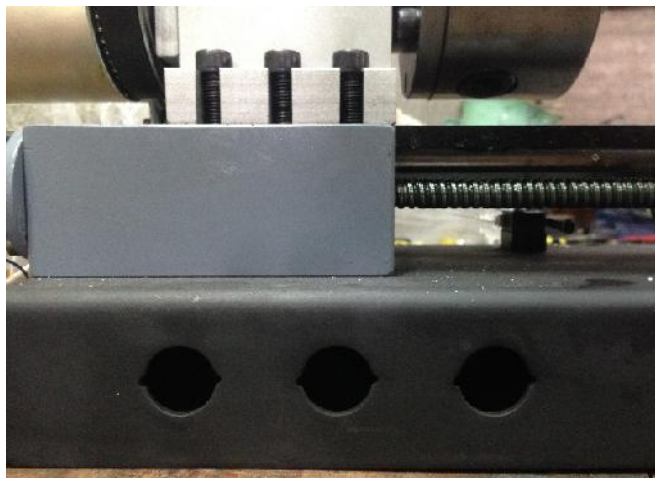
MONTAJE Y CALIBRACIÓN DEL TORNO NCL - 2000

4.1 MONTAJE DEL SISTEMA MECÁNICO

Terminado el análisis del torno NCL 2000, se realiza el montaje del sistema mecánico para su puesta en marcha.

4.1.1 MONTAJE DE NUEVO CABEZAL Y MANDRIL

La estructura del nuevo cabezal que reemplaza al sistema cabezal original anteriormente descrito está montado en el sistema bancada del torno como se muestra en la **Figura 59**, para de esta manera acoplar tanto la barra guía del portaherramientas como el tornillo de bolas que posee el torno.



a)



b)

Figura 59 Montaje a) Nuevo cabezal sobre el sistema bancada, b) nuevo cabezal con barra guía del portaherramientas.

De igual manera el nuevo mandril que posee una geometría propia, está montado en el nuevo cabezal mediante tuercas M8 logrando con esto una excelente firmeza y seguridad para el trabajo del mandril.

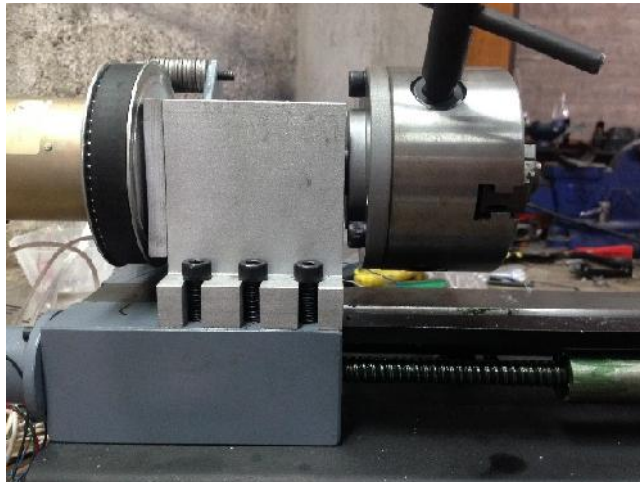


Figura 60 Montaje del nuevo mandril en el torno.

4.2 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DEL CONTROL

4.2.1 FUENTE DE ALIMENTACIÓN PARA LOS ACTUADORES

Para la implementación del sistema de control es de gran importancia identificar la fuente que alimentará a cada uno de los motores y que se utilizará para todo el torno. Una de las características a tomar en cuenta de la fuente es el valor de voltaje de la misma ya que este valor debe cumplir con los requerimientos de las tarjetas de control seleccionadas.

De esta manera se adquirió:

- Dos fuentes de 24V /14.8A. La primera energiza la tarjeta de control TB6560, mientras que la segunda fuente se utiliza para la energización y funcionamiento de los demás componentes del torno.
- Una fuente de 5V / 4 A, la cual energiza la tarjeta de puerto paralelo Breakout.

Además el sistema eléctrico de la máquina requiere una alimentación de energía de 110VAC, para mayor detalle de los circuitos eléctricos y electrónicos instalados en el torno NCL - 2000 revisar el **ANEXO H** donde se encuentran los planos de dichas conexiones.

4.2.2 FINALES DE CARRERA O SWITCH DE REFERENCIA

Los límites de recorrido en las coordenadas X y Z están controlados mediante interruptores de final de carrera que son usados para prevenir un movimiento de eje inapropiado y que cause daño a la máquina. Para la conexión adecuada de dichos finales de carrera se usa las señales de entrada de la tarjeta de puerto paralelo Breakout para que detengan el maquinado una vez que se sale de los límites de trabajo.

Un eje además puede tener un interruptor de referencia o de inicio de carrera también conocido como Home Switch, que es el mismo interruptor final de carrera antes mencionado, pero que permiten que los carros

longitudinal y transversal se ubiquen en el punto de coordenadas 0,0 de donde iniciarán su trabajo. De la misma manera las entradas de la tarjeta de control antes mencionada mandan una señal para que una vez que los interruptores detecten la posición de los carros X, Z en la coordenada 0,0 detengan el movimiento de los motores y permitan en el software encerrar la posición de la herramienta en el home de la máquina.

Como se observa en la **Figura 61** se utilizará los siguientes interruptores que cumplirán con la función tanto de inicio y final de carrera en los ejes X y Z según sea necesario.



Figura 61 Interruptores de final de carrera.

Para la implementación en cada eje se puede necesitar tres interruptores:

- Interruptores de fin de carrera para los dos fines de carrera en los carros longitudinal y transversal
- Interruptor de inicio de carrera para que los carros regresen al punto de referencia de la máquina.

Para el funcionamiento de estos interruptores se dispondrá tanto para el eje X dos interruptores y para el eje Z un solo interruptor, ya que el sistema contrapunto es un elemento que se desplaza en ese eje.

4.2.3 TABLERO DE CONTROL PRINCIPAL

Efectuado la selección de las fuentes de poder y, realizado el montaje del sistema mecánico y de control es necesario proveer a la máquina de un

tablero de control por medio del cual se podrán realizar las siguientes operaciones:

- Energizado principal.
- Activación y desactivación del contrapunto.
- Paro de emergencia
- Visualización estado de operación

En la **Figura 62** se muestra el tablero de control y a continuación se realiza un detalle de cada uno de los componentes de control y su función:

- Switch de encendido y apagado: se acciona tanto para encender o apagar el torno. Solo mediante este switch se puede empezar a usar el torno.
- Switch de operación de contrapunto: tiene la función de hacer que el contrapunto se extienda o se contraiga.
- Pulsador de paro de emergencia: corta la alimentación eléctrica de toda la máquina.
- Luz piloto de encendido: indica que todo el torno está encendido o apagado.
- Luz piloto de ciclo: indica que el proceso de maquinado del torno está funcionando.
- Luz piloto de paro de emergencia: indica que el paro de emergencia está activado y se tendrá que reiniciar el proceso.



Figura 62 Tablero de control principal del torno NCL2000.

4.2.4 TARJETA DE CONTROL DE MOTORES A PASOS

Para el movimiento tanto de los motores de los carros longitudinal y transversal por medio del tornillo de bolas que poseen respectivamente, se utiliza la tarjeta de control TB6560, la cual es alimentada por una de las fuentes de 24V.

Esta tarjeta posee una conexión directa entre el puerto paralelo de la PC con los drivers. Es así que su funcionamiento radica en interpretar los códigos G de mecanizado del software a través de pequeños microcontroladores que posee, y de esta manera enviar señales a cada uno de los motores de los ejes. Además para desempeñar su función esta tarjeta está conectada al puerto paralelo 1 de la PC que se configura más adelante.

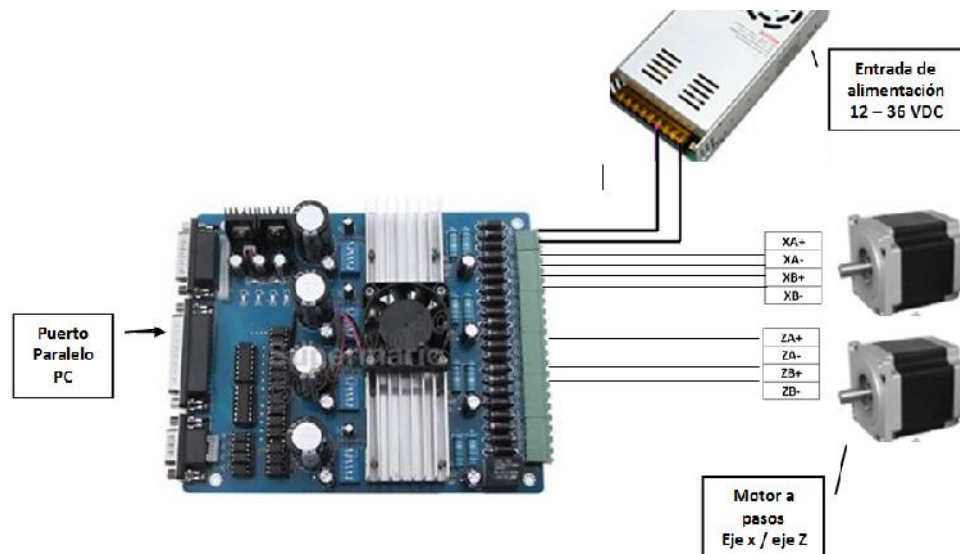


Figura 63 Esquema de conexión de la tarjeta TB6560.

4.2.4.1 DRIVERS DE CONTROL DE MOTORES A PASOS

La tarjeta TB6560 posee en su propia estructura dispositivos denominados drivers; uno para cada motor a pasos que se quiera desplazar.

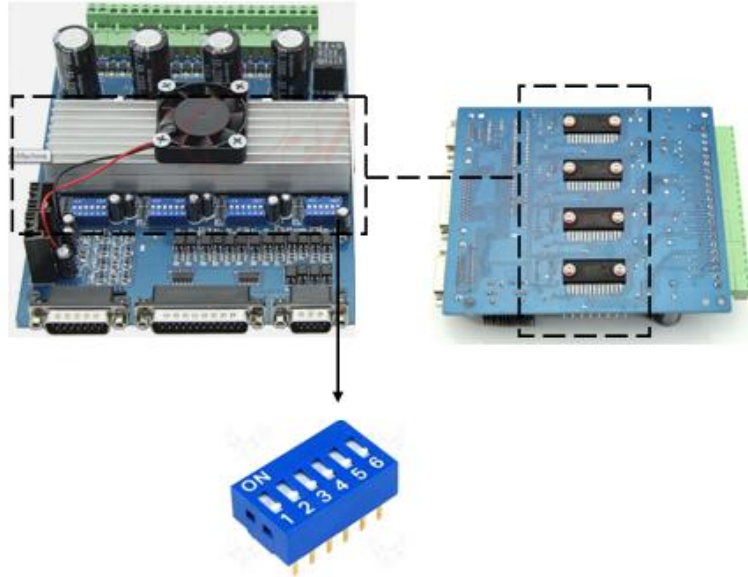


Figura 64 Ubicación driver de control en la tarjeta TB6560.

Hay que tomar en cuenta que cada driver que posee la tarjeta es configurable. Para dicha configuración del driver como se observa en la **Figura 64**, se tiene un dipswitch de 6 pines.

4.2.5 TARJETA DE CONTROL DE ACTUADORES EXTERNOS

Las dos tarjetas de control poseen similares características pero desempeñan una función diferente en el funcionamiento del torno.

De esta manera la tarjeta Breakout controla los fines de carrera, el punto de referencia de la máquina, el encoder del husillo y el paro de emergencia; ya que posee entradas para los home, limit switch, etc. Tiene además salidas que se utilizan para el encendido y apagado de las luces piloto del tablero, para el accionamiento de electroválvulas neumáticas que utiliza el contrapunto y bomba de refrigerante; y además para el control de giro del husillo del torno en el sentido horario y antihorario. Todas las salidas que controlan los actuadores antes descritos funcionan a través de relés.

Además esta tarjeta de igual manera que la anterior mencionada está conectada al puerto paralelo 2 de la PC.

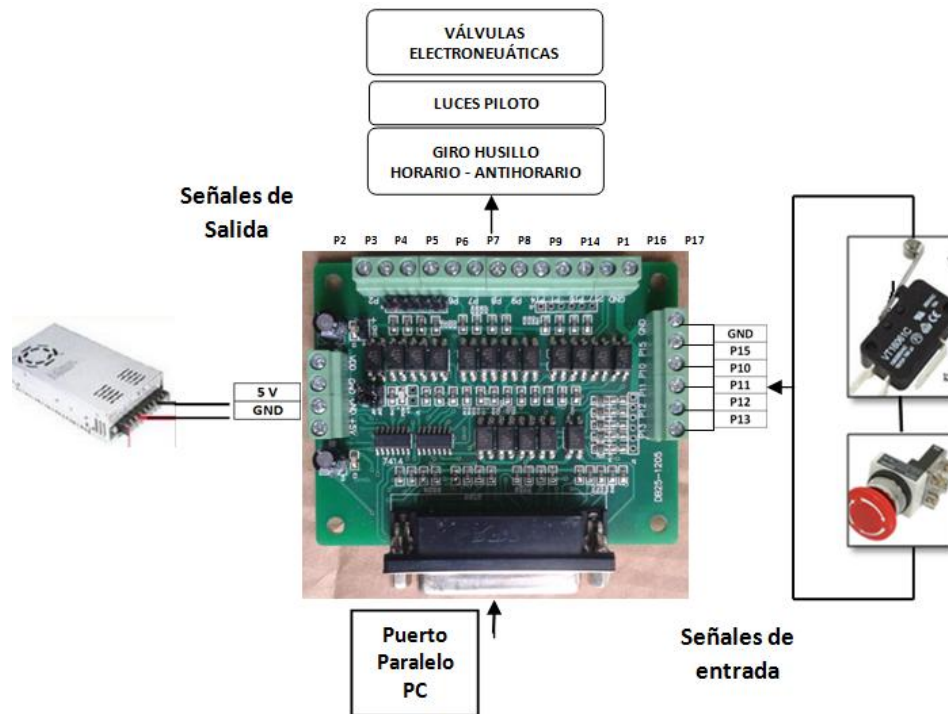


Figura 65 Esquema de conexión de la tarjeta de puerto paralelo Breakout.

En la **Figura 65** se observan las señales de entrada y salida de esta tarjeta; y a continuación se identifican las conexiones de los pines de la misma en el **Cuadro 16**:

Cuadro 16 Terminales de conexión de la tarjeta Breakout a) Señales de entrada. b) Señales de salida.

Señales de entrada	
GND	Tierra de la fuente de alimentación.
Pin 15	Cable de señal de encoder del husillo.
Pin 10	Cable de señal para el final de carrera para el carro transversal X --.

Continua

Pin 11	Cable de señal para el final de carrera para el carro longitudinal.
Pin 12	Cable de señal para el final de carrera para el carro transversal X ++.
Pin 13	Cable de señal para el paro de emergencia.

a)

Señales de salida

Pin 6	Cable de señal proveniente del relé de estado sólido
Pin 7	Señal para activación de relé para el giro del mandril.
Pin 8	Señal de activación de relé para el giro del mandril anti horario.
Pin 9	Señal de activación de relé para activación de electroválvula para refrigeración / salida de aire
Pin 14	Señal de activación de relé para encendido de luz piloto del encendido principal.
Pin 1	Señal de activación de relé para encendido de luz piloto "ciclo en proceso".
Pin 16	Señal de activación de relé para encendido de luz piloto que indica el paro de emergencia o reset.

b)

Mediante la identificación del conexionado de cada tarjeta de control, se muestra en la **Figura 66** un esquema general de las conexiones que posee la máquina.

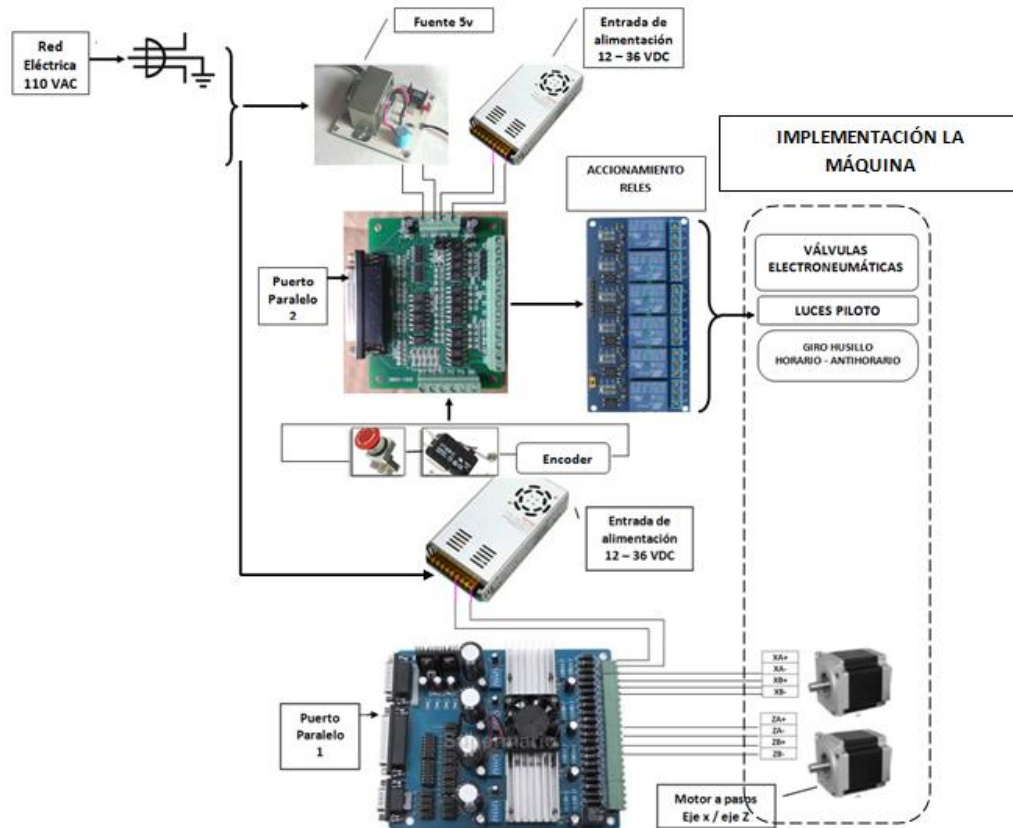


Figura 66 Esquema general de conexión de elementos eléctricos

4.3 CONFIGURACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA

4.3.1 CONFIGURACIÓN DE MOTORES A PASOS

La configuración del driver se realiza mediante un dipswitch de 6 pines como se observó en la **Figura 64**, en donde se identifican los diferentes estados que proporciona el driver para los comportamientos de los motores de los carros.

Tabla 1 Calibración del driver de la tarjeta de control TB6560. a) Calibración de corriente. b) Calibración de las bobinas del motor. c) Calibración del paso.

Ajustes de corriente	PINES DIPSWITCH	
	1	2
100%	ON	ON
75%	ON	OFF
50%	OFF	ON
25%	OFF	OFF

a)

Ajustes del modo Decay	PINES DIPSWITCH	
	3	4
FAST	ON	ON
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
SLOW	OFF	OFF

b)

Ajustes del paso para motor	PINES DIPSWITCH	
	5	6
1	ON	ON
1/2	ON	OFF
1/8	OFF	ON
1/16	OFF	OFF

c)

Fuente: (Stepperonline. Motors&electronics, s/n)

Para la configuración del drive, éste consta de un indicativo tanto para calibrar el límite de corriente, los pulsos por revolución o paso que tendrá el motor al girar y el modo decay.

Para setear cada una de las características que ofrece el driver se dispone de las diferentes combinaciones del par dipswitch.

Cada selección o combinación que se emplea en el drive se transmite a los motores, y se puede notar al momento de hacerlos trabajar conjuntamente con el maquinado de una pieza, hasta obtener un movimiento adecuado y necesario para el completo funcionamiento del torno.

4.3.1.1 Poka yoke

Mediante el funcionamiento anteriormente explicado de los finales de carrera en cada uno de los carros del torno podemos prevenir un movimiento incorrecto de cualquier eje, pero esto no asegura que este completamente solucionado el problema, ya que puede darse que el final de carrera se arruine y el desplazamiento de cualquier carro en el torno continúe sin parar hasta ocurrir un daño más grave.

De esta manera para corregir los defectos que se presentan durante un proceso, en este caso en el desplazamiento de los carros del torno, se tiene el poka yoke.

El poka yoke que se utiliza y que poseen los carros del torno es un método de control que, cuando ocurra la anomalía antes mencionada, los carros se bloqueen y se apaguen previniendo que siga ocurriendo el mismo defecto.

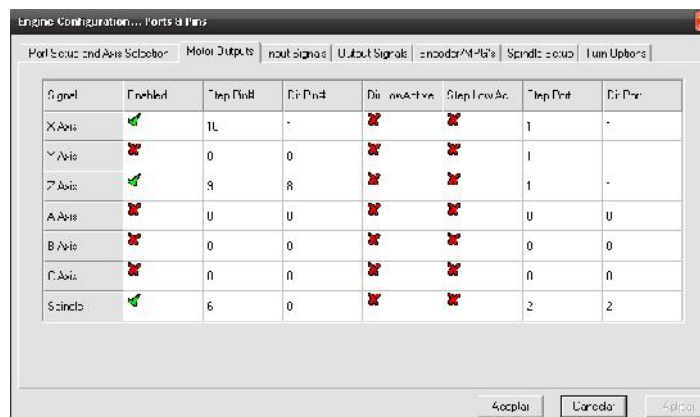
Esta acción se consigue mediante los drivers ya que estos poseen el modo decay como se dijo anteriormente. Mediante este modo se configura la forma de quitar energía a las bobinas del motor cuando alcanzan el límite de consumo de corriente que se estableció, es decir, si la corriente que se configura en cada carro para su desplazamiento sobrepasa el límite en la que fue seteada, se apaga el motor.

Un poka yoke adicional que posee la maquina es la fuente de alimentación ya que es una fuente tipo switching la cual cuando detecta un sobre voltaje, esta se apaga y desactiva todo el funcionamiento del torno.

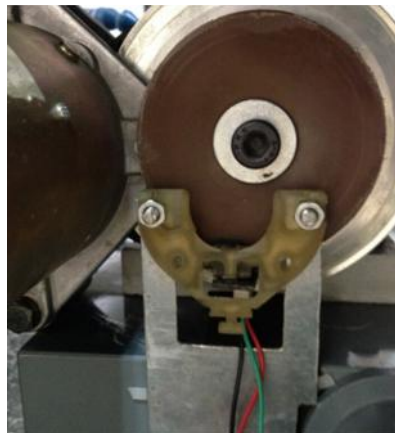
4.3.2 CONFIGURACIÓN DE MOTOR DEL MANDRIL

La configuración del motor del husillo resulta mucho más simple que la de los motores a pasos, puesto que el control se lo realiza mediante el uso de PWM, lo que requiere de una simple configuración en serie con un relé de estado sólido que soporte tanto corriente, como frecuencia de respuesta.

Así mismo, el husillo, tanto para lectura de velocidad real como para sincronización en funciones especiales como el roscado, necesita de una retroalimentación para su control, lo que se realiza de varias maneras. Se ha tomado como la mejor opción el uso de un encoder de un agujero colocado en el eje del husillo y así trabajar directamente sobre datos del elemento propio a controlar. Mediante la opción del software Config – Ports & Pins – Motor outputs, se puede configurar el puerto paralelo al que está conectado el motor del mandril y el pin al que pertenece (revisar **ANEXO H**).



a)



b)

Figura 67 a) Configuración mediante del motor outputs b) Encoder en eje del husillo.

4.3.3 CONFIGURACIONES DE ELEMENTOS DE SEGURIDAD

Como elementos de seguridad, tenemos básicamente los finales de carrera de los desplazamientos y el botón de emergencia del tablero de control. Estos se configuran de manera muy sencilla en el software MACH3 dentro de Config – Ports & Pins – Input Signals.

Se requiere de una simple conexión directa y la configuración de la dirección del pin al que se conectó en la tarjeta de control Breakout, como se observa en la **Figura 68**:

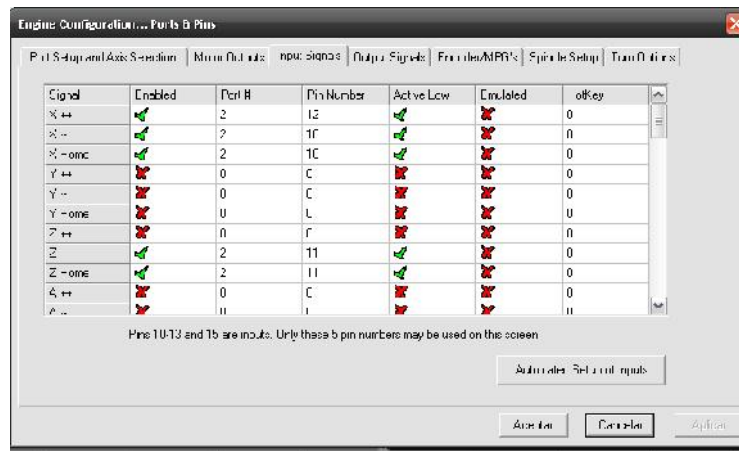


Figura 68 Configuración de señales de entrada en el Mach3: finales de carrera, botón de emergencia, etc.

Los finales de carrera se colocaron en las posiciones más extremas de los desplazamientos del carro longitudinal y transversal y por esta razón, sería conveniente que no se llegue a estas posiciones tan extremas para evitar daños en la máquina. Así también lo entiende el software de manera que, cuando por alguna razón se llega a estas posiciones, la máquina entra en modo de emergencia al presionarse uno de esos switch y bloquea todos los movimientos de la misma.

Como se entenderá, para poder movilizar otra vez alguno de los ejes, es necesario el uso de movimiento manual del eje cuyo fin de carrera ha sido activado o el uso de override de la máquina. Se cree conveniente, para evitar descalibraciones en los datos de los movimientos, que se utilice el

override del software y solucionar el problema; esto se realiza en la ventana de diagnóstico del mismo MACH3 turn activando en ésta el botón “Auto Limit OverRide” como se observa en la **Figura 69**.

Una vez activado esto, la máquina se libera nuevamente y se puede mover pero se debe tener mucho cuidado puesto que si se trata de realizar el movimiento en la misma dirección original que activó el final de carrera, la máquina lo realizará pudiendo causar daño en el dispositivo de seguridad.

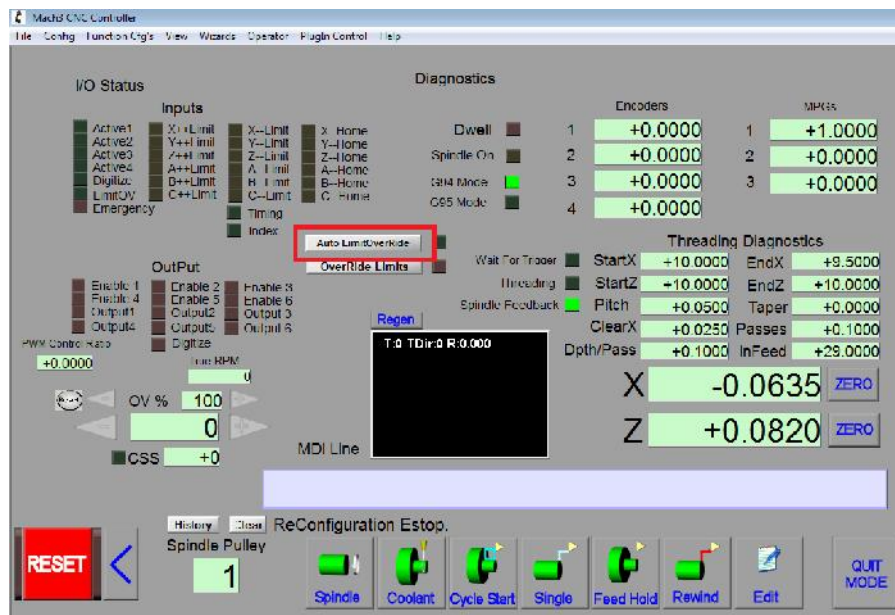


Figura 69 Pantalla de diagnóstico para el desbloqueo mediante el botón de Auto Limit OverRide.

Además de esta medida de seguridad, el software MACH3 nos permite configurar lo que llaman Soft Limits en Config – Homing/Limits, que no son más que valores extremos que permite colocar el software en referencia al home de la máquina y así no llegar a las posiciones extremas de los finales de carrera y que se bloquee completamente la máquina como una emergencia sino que al llegar al límite programado el movimiento se detiene y se puede continuar sin la necesidad de quitar el botón RESET. Así, por ejemplo si la máquina tiene su home en la posición final positiva del eje z y la

carrera en este eje es de 100mm, se configurará su Soft Limit como se muestra en la **Figura 70** a continuación:

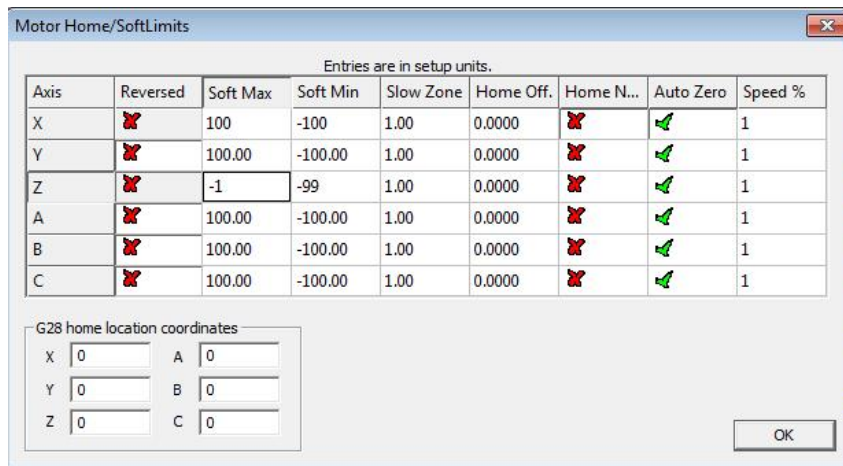


Figura 70 Ventana de configuración de Soft Limits.

De igual manera para el giro del mandril, luces piloto y válvulas electro neumáticas se configuran de manera muy sencilla en el software MACH3 dentro de Config – Ports & Pins – Output Signals.

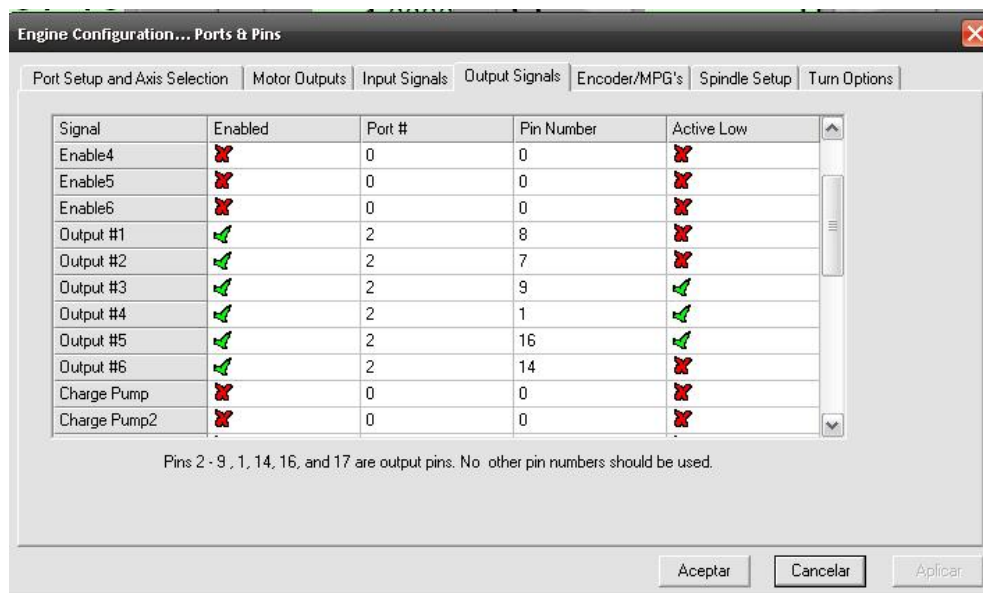


Figura 71 Configuración de señales de salida en el Mach3.

Hay que tomar mucho en cuenta que todos los elementos que están dentro tanto en las señales de entrada y salida serán destinados al puerto

paralelo 2 como se dijo anteriormente ya que tenemos dos tarjetas de control.

4.3.4 CALIBRACIÓN DE MOTORES

4.3.4.1 Calibración del motor del husillo

Para realizar la calibración del motor DC del husillo se utiliza un encoder con disco de un orificio, el cual además de permitir la sincronización para el proceso de roscado, permite medir la velocidad. Dentro del software Mach3 se ubica el pin en el que está conectado el encoder en la entrada Index, propia para este propósito.

Para obtener una lectura real, dicho encoder fue instalado en el eje propio del husillo y no del motor y así obtener mejores lecturas, tanto para la velocidad, como para la sincronización.

Con esta configuración lista, se obtuvieron datos de la respuesta de la velocidad enviando la magnitud PWM. Para esto fue necesario leer los datos PWM que envía el software, mediante un microcontrolador Arduino Leonardo, e ir comparando estos con la respuesta en velocidad que se obtuvo en el encoder. La respuesta del sistema se la puede observar en la **Figura 72** a continuación mostrada.

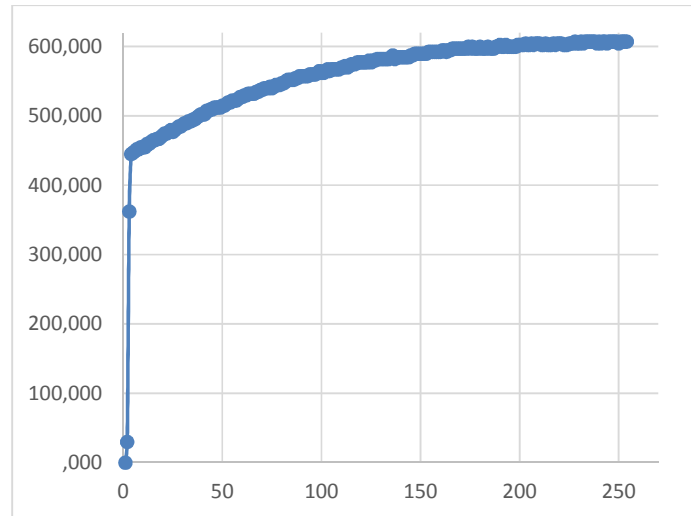


Figura 72 Datos de lectura de PWM Vs. Velocidad.

Como se observa en la **Figura 72**, la respuesta del sistema se asemeja a una función exponencial pero con impulso en la zona cercana al 0, por lo que, se puede utilizar una línea de tendencia para caracterizar la respuesta del motor resulta imposible.

Para la calibración del motor del husillo, el software Mach3 es capaz de realizar esto, mediante la tarjeta Breakout. De esta manera se obtuvo un control PID de velocidad el cual fue calibrado a través de Function Cfg's – Calibrate Spindle como se observa en la **Figura 73**.

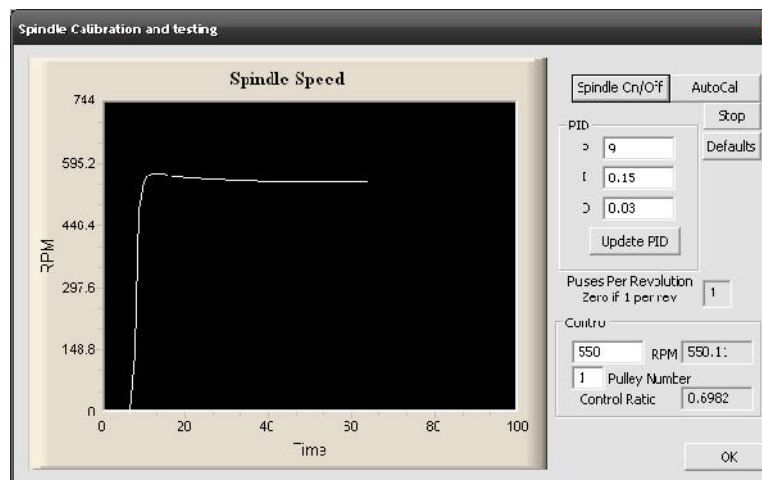


Figura 73 Calibración de las constantes del control PID.

En esta ventana se calibraron las variables P, I, D desde el momento de arranque del motor hasta cuando el motor se estabiliza completamente. Esta zona de estabilidad es un comportamiento en el que la señal PWM que genera el software puede ser traducida de manera correcta y luego ser enviada hacia el motor.

Dentro del proceso de calibración, se debe tomar en cuenta que, como nuestro rango de velocidades es muy limitado, debemos restringir esta variable mediante el software que se utilizará. Esto en Mach3 se lo puede realizar mediante los pulleys del husillo. Para esto, ingresamos en Config – Spindle Pulleys.

Puesto que el sistema solo posee una banda reductora entre el motor y el husillo, el rango de velocidad que ofrece el mandril es de entre 470 y 600 RPM, por lo que, solamente es necesaria la configuración de un pulley como se muestra en la **Figura 74**:

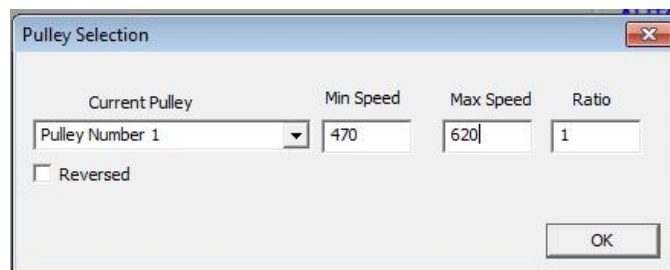


Figura 74 Configuración de pulley para motor del husillo.

Como posible solución a la limitación de la velocidad del mandril, se plantea una alternativa en el

ANEXO D, que puede ser implementada como proyecto posterior para el incremento de la versatilidad de la máquina.

4.3.4.2 Calibración de los motores a pasos de los ejes X, Z

Mediante la calibración de estos dos carros se tiene una adecuada exactitud del maquinado mediante el movimiento de los ejes X y Z.

Para empezar con la calibración se sabe que, como característica propia de los motores tanto del carro transversal como longitudinal, tiene paso de 1.8 grados, por tal razón los motores realizan una revolución en 200 pasos, cuando estén configurados en paso completo.

Mediante el reconocimiento de este dato que es muy importante a la hora del funcionamiento del motor a pasos en el torno, se empieza a dar una calibración de los mismos ya que mediante este dato se podrá configurar el ajuste del paso en el que dicho motor se desplazara para un movimiento adecuado y continuo que necesita el torno para su funcionamiento.

4.3.4.2.1 Ajuste de la corriente

Este ajuste mediante los drivers reduce el consumo de corriente cuando el motor este parado. Mediante pruebas en todas las 4 combinaciones que ofrece el driver se tuvo un comportamiento muy apropiado del motor tanto al estar desplazándose como al estar parado q es la situación más crítica, por tal razón se configura la corriente al 100% ya que de esta manera el motor funcionará al torque máximo que posee.

Tabla 2 Configuración de corriente.

Ajuste de corriente	Dipswitch	
	1	2
	ON	ON
	100%	

4.3.4.2.2 Ajuste del modo decay

De igual manera esta configuración como se indicó anteriormente es una forma de quitar energía a las bobinas del motor cuando alcanzan el límite de consumo de corriente que se ha establecido. Y por tal razón se configura a este modo en fast, ya que así se tiene una respuesta inmediata del motor ya sea apagándose o dejando de funcionar al tener una situación que

comprometa al torno. Al configurar slow decay y al cortarse la tensión del motor, este no decayó o desactivo muy rápido.

Tabla 3 Configuración del modo decay.

Ajuste modo decay	Dipswitch	
	3	4
	ON	ON
	FAST	

4.3.4.2.3 Ajuste del paso

Este ajuste es el más importante ya que determina cuanto girará o se desplazará los motores a paso a largo de una operación de torneado. Para esto, del mismo modo se realizaron varios ensayos en el que se configuró el paso, en donde al probar en paso completo que es lo más óptimo, se tuvo un comportamiento lleno de varios inconvenientes por parte del motor ya que este se atrancaba o no lograba tener ese movimiento propio de un carro transversal o longitudinal para el torno. Este comportamiento se logró solucionar al configurarlo en 1/16 de paso, donde se tuvo un desplazamiento sin ningún tipo de error tanto moverse manualmente o al momento de mecanizar.

Tabla 4 Configuración de pulsos por paso de motor.

Ajuste de paso	Dipswitch	
	5	6
	OFF	OFF
	1/16 de paso	

Con este valor de 1/16, se tiene 3200 pulsos por revolución tanto para carro transversal como longitudinal, pero el software posee una herramienta denominada Motor Tuning la cual requiere del valor que está dado por pasos por unidad. Mediante el cálculo se obtiene:

$\text{steps per unit} = \text{revolución del tornillo por unidad} * 3200 \text{ pulsos por revolución}$ n

$$\text{steps per unit} = \frac{1}{\text{paso tornillo}} * 3200$$

$$\text{steps per unit} = \frac{1}{3.92} * 3200 = 816,33$$

Este valor es el que se ingresa en la opción en el motor tuning como se indica en la *Figura 75*, mediante la barra de menús Config – Motor Tuning:

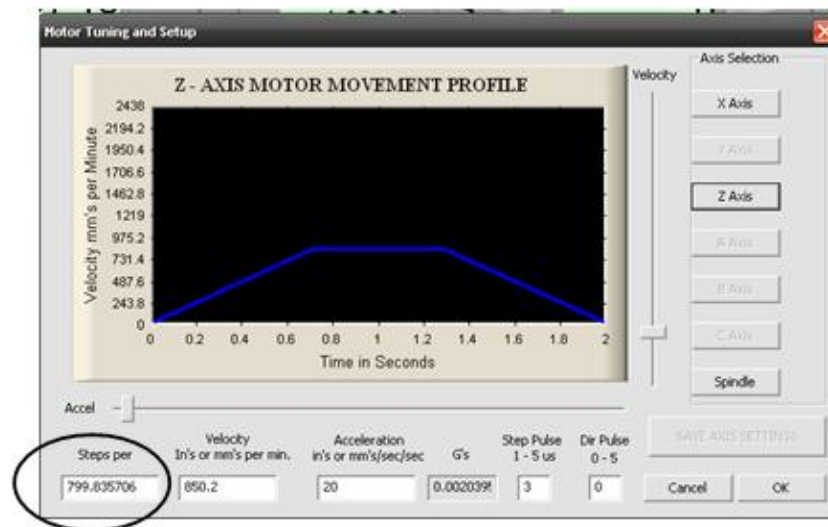


Figura 75 Pantalla del motor tuning en el Mach3.

Se hicieron varios ensayos midiendo con las herramientas adecuadas los valores de diámetro y de longitud, y no se logró establecer valores de mediciones que estén dentro de la tolerancia admisible. De esta manera el valor que se calculó teóricamente no es el que se necesita por tal razón se requiere de una calibración empírica que se realizó por medio de otros ensayos, para conseguir el número real y tener mediciones exactas o dentro de lo establecido al mecanizar en el torno. Mediante esta calibración

empírica que se realizó para cada ensayo tanto en diámetro como en longitud, se tiene los valores de pasos por unidad que son ingresados en el motor tuning y que se muestran a continuación:

Cuadro 17 Valores reales a ingresar en el motor tuning.

Steps per unit	
EJE X	795,98752
EJE Z	799.835706

Estos valores hacen que las mediciones en cada mecanizado de cualquier tipo, ya sea en diámetro o en longitud, sean acordes a lo estipulado.

Mediante toda la calibración ya realizada se tiene que tomar en cuenta que para realizar un roscado de una manera correcta se establece mediante ensayos de prueba que la velocidad a la que los motores a pasos hagan desplazar a los carros de una manera correcta y sin ninguna anomalía es de 850 mm/min. Este valor es de mucha importancia ya que establece el paso máximo que va a tener la rosca en el mecanizado.

4.3.5 MANUAL DE SOFTWARE

Para familiarizar al operador con el programa Mach3 Turn se realiza el manual de software el cual da a conocer el funcionamiento de cada herramienta que posee el entorno de trabajo de dicho software y el uso que tienen las mismas sobre la máquina. Revisar **ANEXO E**

4.3.6 MANUAL DE OPERACIÓN

A fin de facilitar el manejo del torno NCL2000 mediante control numérico computarizado se realiza el manual de operación el cual se detalla en el

ANEXO F, que contiene todos los procedimientos y pasos necesarios para la operación y manejo de la máquina con todas las funciones que brinda la misma.

Una vez finalizado el análisis, rediseño, implementación y configuraciones, se muestra en el siguiente **Cuadro 18** las especificaciones técnicas finales que tiene el Torno CNC NCL2000:

Cuadro 18 Especificaciones técnicas Torno CNC NCL2000

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TORNO CNC NCL2000	
Velocidades del husillo principal	470 - 600 RPM
Cambio de herramienta	Manual
Potencia Nominal	175 W
Voltaje de entrada	110 V , 60 Hz
Peso	50 Kg

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas aplicadas a la máquina y sus resultados se realizan en base a las condiciones operacionales de la máquina, así como a los cambios realizados en la misma para su repotenciación y modernización. Estas pruebas han sido divididas en tres grandes grupos que se presentan a continuación:

5.1 PRUEBAS DIMENSIONALES DE LA MÁQUINA

Las pruebas dimensionales son aquellas que tienen que ver con las dimensiones tanto de los elementos fabricados para la máquina, así como, de las piezas elaboradas por la máquina. Estas pruebas han sido documentadas dentro de los siguientes parámetros mostrados a continuación:

5.1.1 PRUEBAS DIMENSIONALES DE CONSTRUCCIÓN

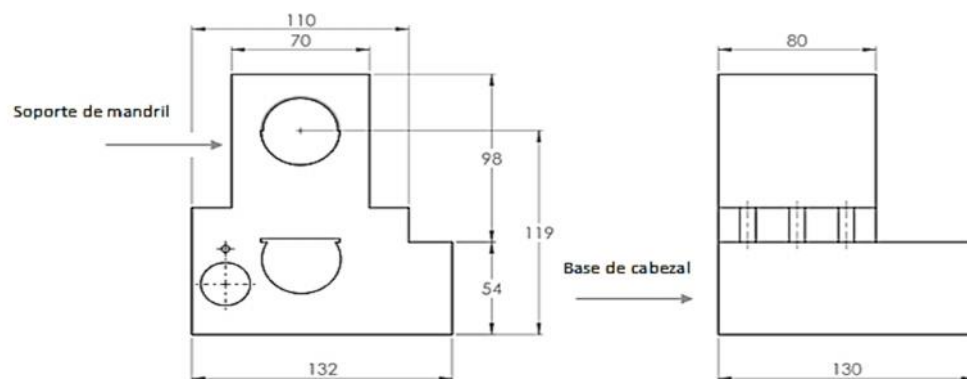


Figura 76 Dimensiones de partes del cabezal modificado.

En la **Figura 76** se observan las dimensiones generales de las partes nuevas que se colocaron en el cabezal del torno. Cabe mencionar que las tolerancias en estas medidas son de mayor valor debido a que no afectan en el resultado del trabajo de la máquina; solamente se pone cuidado especial en la altura del centro del mandril que es importante debido a que debe estar en concordancia con el contrapunto propio que tenía la máquina original. Los resultados de las medidas realizadas se los detalla en el **Cuadro 19**:

Cuadro 19 Resultados de medidas de elementos de nuevo cabezal.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DIMENSIONALES						
ELEMENTO	Ensayo	Dimensiones [mm]			Tolerancia	Resultado
		Valor nominal	Valor real	Diferencia		
Base de cabezal	1	Longitud Z	130	131.2	1.2	NO OK
	2			131	1	NO OK
	3			128.9	-1.1	NO OK
	1	Longitud X	132	132.1	0.1	OK
	2			131.1	-0.9	OK
	3			132.6	0.6	OK
	1	Longitud Y	54	54.9	0.9	OK
	2			54.2	0.2	OK
	3			54	0	OK
Soporte de mandril	1	Longitud Z	80	80	0	OK
	2			79.8	-0.2	+ - 1 mm OK
	3			79.9	-0.1	OK
	1	Longitud X superior	70	70.08	0.08	OK
	2			71.1	1.1	OK
	3			69.8	-0.2	OK
	1	Longitud Y	98	98.5	0.5	OK
	2			99	1	OK
	3			97.8	-0.2	OK
1	Longitud X inferior	110	110.23	0.23	OK	
2			109.85	-0.15	OK	
3			109.54	-0.46	OK	
Conjunto Cabezal	1	Longitud base - centro de mandril	119	119.04	0.04	OK
	2			118.96	-0.04	+ - 0.05 mm OK
	3			119.01	0.01	OK

Como se observa en la tabla anterior, las medidas de la base del cabezal en su coordenada Z no cumplen con la tolerancia permitida, por lo que se

procede realizar una rectificación de la pieza en la cara necesaria. Los resultados de esta corrección se muestran en el **Cuadro 20** a continuación:

Cuadro 20 Resultados de medidas en base de cabezal luego de corrección.

Ensayo	Dimensiones [mm]			Tolerancia	Resultado
	Valor nominal	Valor nominal	Diferencia		
1		130.5	0.5		OK
2	Longitud Z	130	131	+/- 1 mm	OK
3		129.7	-0.3		OK

Como se observa, las dimensiones de las nuevas piezas elaboradas para el cabezal del torno están dentro de las tolerancias admitidas; por lo que se aceptan estos resultados como positivos.

5.1.2 PRUEBAS DIMENSIONALES DE MECANIZADO

5.1.2.1 Cilindrado

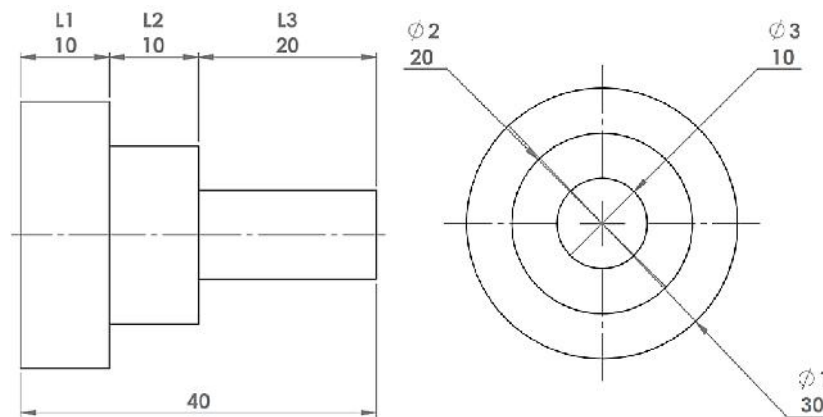


Figura 77 Dimensiones de prueba de cilindrado.

En la **Figura 77**, se muestra un cilindrado simple mediante el cual podemos verificar la exactitud del movimiento radial y axial. Los resultados de esta prueba se detallan en el **Cuadro 21**:

Cuadro 21 Resultados de prueba de cilindrado.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DIMENSIONALES EN PIEZA							
ELEMENTO	Ensayo	Desplazamiento [mm]			Tolerancia	Resultado	
		Valor nominal	Valor real	Diferencia			
Carro Transversal	1	Diámetro 1	10	11.08	1.08	+- 0.1 mm	NO OK
	2			11.02	1.02		NO OK
	3			11.03	1.03		NO OK
	1	Diámetro 2	20	18.93	-1.07	+- 0.1 mm	NO OK
	2			18.98	-1.02		NO OK
	3			20.52	0.52		NO OK
	1	Diámetro 3	30	30.56	0.56		NO OK
	2			30.56	0.56		NO OK
	3			29.48	-0.52		NO OK
Carro Longitudinal	1	Longitud 1	20	17.92	-2.08		NO OK
	2			17.9	-2.1		NO OK
	3			17.95	-2.05		NO OK
	1	Longitud 2	10	8.94	-1.06	+- 0.1 mm	NO OK
	2			8.98	-1.02		NO OK
	3			8.91	-1.09		NO OK
	1	Longitud 3	10	11.08	1.08		NO OK
	2			11.01	1.01		NO OK
	3			8.96	-1.04		NO OK

Como se observa en la tabla anterior, los resultados de esta primera prueba de maquinado no son satisfactorios puesto que, fueron realizados con el valor de calibración teórico de steps per unit configurado en la máquina. Si bien, el valor teórico es bastante confiable, como en todo control, se requiere de una calibración empírica para lograr el resultado deseado. Véase numeral 4.3.4.2.3.

Posterior a esta calibración, se realizó la misma prueba obteniendo los resultados presentados en el **Cuadro 22** a continuación:

Cuadro 22 Resultados de prueba de cilindrado después de calibración empírica.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DIMENSIONALES EN PIEZA							
ELEMENTO	Ensayo	Desplazamiento [mm]			Tolerancia	Resultado	
		Valor nominal	Valor real	Diferencia			
Carro Transversal	1	Diámetro 1	10	10.08	0.08	+ 0.1 mm	Ok
	2			10.02	0.02		Ok
	3			10.03	0.03		Ok
	1	Diámetro 2	20	19.93	-0.07	+ 0.1 mm	Ok
	2			19.98	-0.02		Ok
	3			20.02	0.02		Ok
	1	Diámetro 3	30	30.06	0.06	+ 0.1 mm	Ok
	2			30.06	0.06		Ok
	3			29.98	-0.02		Ok
Carro Longitudinal	1	Longitud 1	20	19.92	-0.08	+ 0.1 mm	Ok
	2			19.9	-0.1		Ok
	3			19.95	-0.05		Ok
	1	Longitud 2	10	9.94	-0.06	+ 0.1 mm	Ok
	2			9.98	-0.02		Ok
	3			9.91	-0.09		Ok
	1	Longitud 3	10	10.08	0.08	+ 0.1 mm	Ok
	2			10.01	0.01		Ok
	3			9.96	-0.04		Ok

Como se observa, las dimensiones de este mecanizado se encuentran dentro de las tolerancias requeridas, por lo que se aceptan estos resultados como positivos.

5.1.2.2 Roscado

A continuación se realizaron pruebas para validar la función de roscado de la máquina. Esta función de la máquina está limitada por el rango de velocidad que ofrece el mandril debido a que se pueden tener velocidades de entre 470 y 600 RPM, por lo que es necesaria una velocidad alta del motor a pasos del carro longitudinal (dirección Z). Al ser la máxima velocidad de los motores a pasos 850 mm/min, esto limita el paso de la rosca a 1.7mm

como máximo a una velocidad de 500 RPM. En cuanto a la profundidad, por ser una rosca triangular con ángulo de 60 grados, la profundidad máxima que se puede obtener será de 1.47mm, correspondientes al paso antes mencionado.

Se ejecutaron dos pruebas fundamentales: rosca de paso 1mm y de paso 1.5mm. El esquema dimensional de la rosca de paso 1mm se muestra en la **Figura 78**:

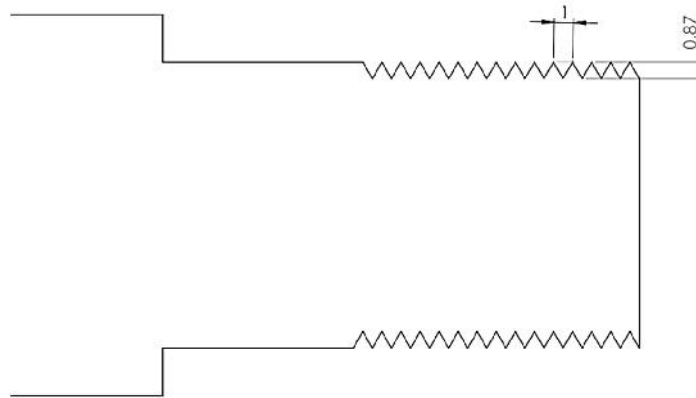


Figura 78 Esquema de rosca paso 1mm.

Para la prueba de rosca de paso 1mm, se utilizó un eje con un diámetro de 15mm; además, se configuraron los parámetros que se encuentran en el **Cuadro 23** en el Simple Threading Wizard del propio software Mach3:

Cuadro 23 Parámetros utilizados en prueba de rosca de paso 1mm.

Parámetros de rosca paso 1mm	
X start	15mm
X end	13.27mm
Z start	0mm
Length	-15mm

Continua 

Spindle RPM	550
Pitch	1mm
First pass depth	0.2mm
# spring pass	1
X clearance	1.5mm
Z clearance	1mm
Infeed angle	0.0
Last pass depth	0.1mm
Min pass depth	0.1mm

Para poder realizar la medición de estas pruebas, se utilizó un proyector de perfiles con la colaboración del Laboratorio de Metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Los resultados de las mediciones se presentan a continuación en el **Cuadro 24:**

Cuadro 24 Resultados de prueba de medidas de roscado paso 1mm.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DIMENSIONALES							
ELEMENTO	Ensayo	Dimensiones [mm]			Tolerancia	Resultado	
		Valor nominal	Valor real	Diferencia			
Rosca paso 1	1	Paso	1	0.98	-0.02	+/- 0.1 mm	OK
	2			1.01	0.01		OK
	3			1.02	0.02		OK
	1	Profundidad	0.87	0.87	0.00		OK
	2			0.86	-0.01		OK
	3			0.86	-0.01		OK
		Paralelismo cresta		Cumple			
		Paralelismo valle		Cumple			

Como se observa en la **Cuadro 24**, las dimensiones de este mecanizado se encuentran dentro de las tolerancias requeridas, por lo que se aceptan estos resultados como positivos; además, se observa en el perfil proyectado que existe paralelismo tanto en las crestas como en los valles del mecanizado; con lo que se confirma que la operación de roscado es realizada correctamente.

Para la medición de los perfiles proyectados, se utilizó un papel de acetato en el cual se copia el perfil de un par de dientes y se los mide sobre el acetato; esto se muestra a continuación en la **Figura 79**:

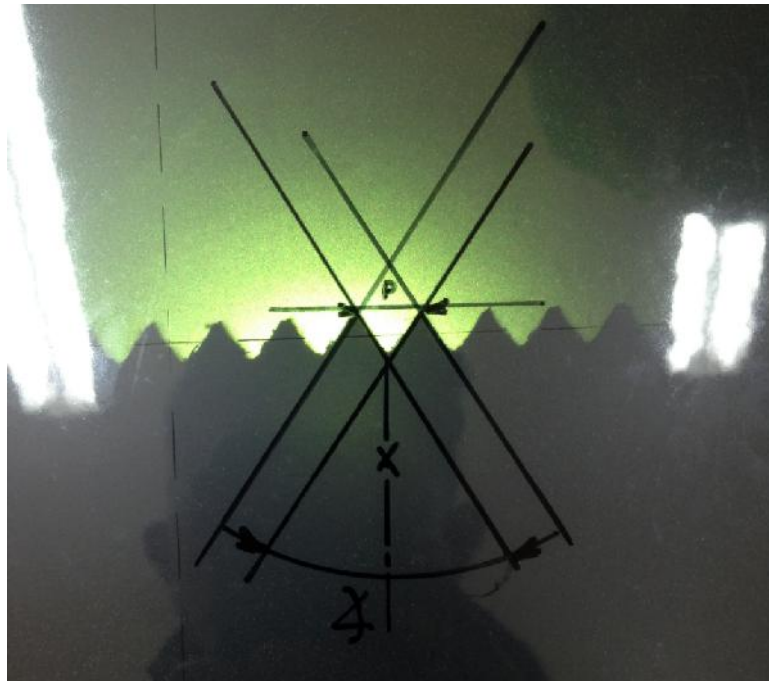


Figura 79 Dibujo de perfil de rosca paso 1mm.

El esquema dimensional de la rosca de paso 1.5mm se muestra en la **Figura 80**:

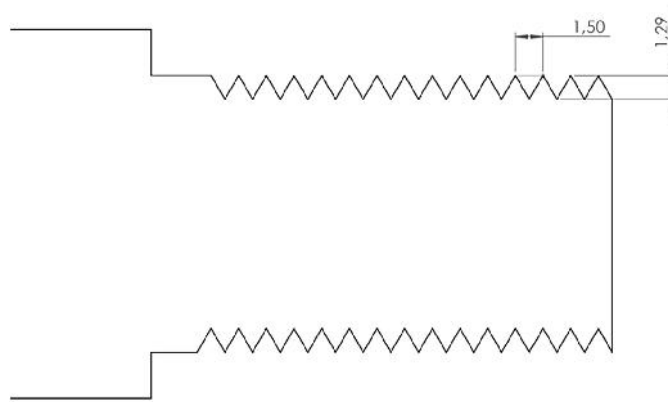


Figura 80 Esquema de rosca paso 1.5mm.

Para la prueba de rosca de paso 1.5mm, se utilizó un eje con un diámetro de 30mm; además, se configuraron los parámetros que se encuentran en el **Cuadro 25** en el Simple Threading Wizard del propio software Mach3:

Cuadro 25 Parámetros utilizados en prueba de rosca de paso 1.5mm.

Parámetros de rosca paso 1mm	
X start	30mm
X end	27.4mm
Z start	0mm
Length	-15mm
Spindle RPM	550
Pitch	1mm
First pass depth	0.2mm
# spring pass	1
X clearance	1.5mm
Z clearance	1mm

Continua 

Infeed angle	0.0
Last pass depth	0.1mm
Min pass depth	0.1mm

Los resultados de las mediciones se presentan a continuación en el **Cuadro 26**:

Cuadro 26 Resultados de prueba de medidas de roscado paso 1.5mm.

PROTOCOLO DE PRUEBAS DIMENSIONALES							
ELEMENTO	Ensayo	Dimensiones [mm]			Tolerancia	Resultado	
		Valor nominal	Valor real	Diferencia			
Rosca paso 1.5	1	Paso	1.5	1.48	-0.02	+/- 0.1 mm	OK
	2			1.47	-0.03		OK
	3			1.51	0.01		OK
	1	Profundidad	1.29	1.20	-0.09		OK
	2			1.23	-0.06		OK
	3			1.21	-0.08		OK
		Paralelismo cresta		Cumple			
		Paralelismo valle		Cumple			

Como se observa en la **Cuadro 26**, las dimensiones del roscado de paso 1.5mm se encuentran dentro de las tolerancias requeridas, por lo que se aceptan estos resultados como positivos; el paralelismo de crestas y valles se confirma nuevamente dando como aprobada esta prueba de mediciones.

Al igual que en el caso de la rosca de paso 1mm, se utilizó el papel de acetato para las mediciones; esto se muestra a continuación en la **Figura 81**:

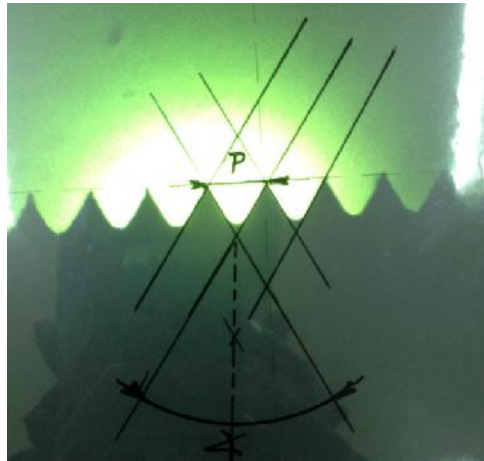


Figura 81 Dibujo de perfil de rosca paso 1.5mm.

5.2 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA

5.2.1 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA: EJE Z

Una vez concluidas las pruebas dimensionales, se procede a las pruebas del funcionamiento de la máquina. Estas pruebas detallan la respuesta de la máquina a los movimientos que se envían a ejecutar. En este punto se analizan distancias recorridas, velocidades de avance, velocidad de husillo, etc. Para esto, se tomaron datos para el cálculo de la velocidad; con estos datos de velocidad, se realizaron las pruebas de avance; los resultados de estas pruebas se los puede observar en las tablas a continuación:

Cuadro 27 Resultados de pruebas funcionales eje Z: velocidad de avance.

PROTOCOLO DE PRUEBAS FUNCIONALES							
Ensayo	Velocidad nominal (mm/min)	Distancia (mm)	Tiempo (min)	Velocidad real (mm/min)	Diferencia	Tolerancia	Resultado
1	Velocidad G00	40	0.05	854.09	3.63	± 4 mm/min	OK
2		40	0.05	847.10	-3.36		OK
3		40	0.05	848.05	-2.41		OK
1	Velocidad G01 F40	45	1.13	39.80	-0.53		OK
2		45	1.12	40.34	0.01		OK
3		45	1.12	40.04	-0.29		OK

Continua

1	Velocidad		27	0.67	40.31	-0.02	OK
2	G01 F40	40.33	27	0.67	40.14	-0.19	OK
3	con carga		27	0.67	40.04	-0.29	OK
1	Velocidad		45	0.56	80.21	0.03	OK
2	G01 F80	80.18	45	0.56	79.81	-0.37	OK
3			45	0.56	80.33	0.15	OK

El **Cuadro 27** muestra las pruebas funcionales realizadas en el carro que da los movimientos en el eje Z. Cabe destacar dos consideraciones importantes: la primera, que solamente se realizó una prueba de distancia recorrida debido a que en las pruebas dimensionales ya se evaluó esta característica de funcionamiento de la máquina, tanto en el cilindrado como en el roscado; la segunda consideración es que, las pruebas de las distintas velocidades se realizaron en base a un cronometraje de tiempo de un intervalo del movimiento ejecutado, por lo que, debido a la intervención del factor del error humano, los resultados obtenidos son referenciales y simplemente demuestran que se pueden alcanzar las velocidades deseadas, mas no que son exactas. Estas pruebas se realizaron de esta manera debido a que la inexactitud en las velocidades no afecta al resultado del maquinado, ya que en los distintos mecanizados, son velocidades sugeridas las que dan los diferentes autores. Por lo tanto, en la distancia recorrida se observa que el resultado está dentro de la tolerancia buscada y se toma como aprobada la prueba.

En las velocidades de avance, y debido al error humano, se considera como aceptable un error de ± 4 mm/min, por lo que, al estar dentro de este margen, se considera una prueba aceptada.

5.2.2 PRUEBAS FUNCIONALES DE LA MÁQUINA: EJE X

En el ensayo para el eje X, las consideraciones son las mismas que el caso anterior; el único cambio es que, por tener menor carrera el tornillo, el intervalo de movimiento es menor. Los datos para el cálculo de la velocidad y los resultados de las pruebas comparando con su valor nominal son los siguientes se muestran en el **Cuadro 28**:

Cuadro 28 Resultados de pruebas funcionales eje X: velocidad de avance.

PROTOCOLO DE PRUEBAS FUNCIONALES							
Ensayo	Velocidad nominal (mm/min)	Distancia (mm)	Tiempo (min)	Velocidad real (mm/min)	Diferencia	Tolerancia	Resultado
1	Velocidad G00	40	0.05	852.27	2.07	+/- 4 mm/min	OK
2		40	0.05	848.33	-1.87		OK
3		40	0.05	851.86	1.66		OK
1	Velocidad G01 F40	45	1.13	39.89	0.2		OK
2		45	1.12	40.19	0.5		OK
3		45	1.12	39.86	0.17		OK
1	Velocidad G01 F40 con carga	27	0.67	38.88	-0.81		OK
2		27	0.67	39.65	-0.04		OK
3		27	0.67	40.13	0.44		OK
1	Velocidad G01 F80	45	0.56	79.92	0.06	OK	
2		45	0.56	79.97	0.11	OK	
3		45	0.56	80.29	0.43	OK	

Además de verificar los movimientos de los ejes, se realizó la prueba de velocidad de giro del mandril. Esta funcionalidad de la máquina se la comprobó mediante la lectura de pulsos que se generaron en el encoder propio de la máquina pero a través de un microcontrolador Arduino en el cual, se contaron los pulsos en un intervalo de tiempo y se transformó a velocidad. Los resultados de esta prueba son mostrados en el **Cuadro 29** a continuación:

Cuadro 29 Resultados de pruebas de velocidad de mandril.

PROTOCOLO DE PRUEBAS FUNCIONALES							
ENSAYO	Ensayo	Valor nominal	Valor real	Diferencia	Tolerancia	Resultado	
Mandril	1	Velocidad (RPM)	551	1	+/- 2 RPM	Ok	
	2		550	548		-2	Ok
	3		550	550		0	Ok
	1	Velocidad (RPM)	500	502	2	Ok	
	2		500	499	-1	+/- 2 RPM	Ok
	3		500	498	-2	Ok	

El valor de tolerancia fijado para esta prueba es debido a que la respuesta del control de velocidad, cuando se pone o quita carga al mandril,

genera una variación máxima de 2 RPM, por lo que, el control tiene la permisibilidad de fallar en estado estable esta misma cantidad.

Los resultados mostrados en la tabla anterior entran en el rango aceptado y se toma como aprobada esta prueba de funcionalidad.

5.3 PRUEBAS ELÉCTRICAS Y ELECTRÓNICAS DE LA MÁQUINA

A su vez, también se realizaron pruebas en la parte eléctrica y electrónica. Estas consistieron en mediciones y verificaciones de la respuesta de los elementos que intervienen en el sistema de control y en la alimentación de energía.

Para esto, previamente, fue necesaria la revisión de que todos los conectores estuvieran bien sujetos y las borneras ajustadas correctamente. El detalle y los resultados de las pruebas eléctricas y electrónicas se presentan en el **Cuadro 30** a continuación:

Cuadro 30 Resultados de pruebas de elementos eléctricos y electrónicos.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO					
Punto de verificación	Etiqueta	Característica	Valor nominal	Medición	Resultado
Línea de energizado principal	2 - N		110 VAC	111.5 VAC	Ok
Fuente de alimentación placa TB6560	7 - 8		24 VDC	23.6 VDC	Ok
Fuente de alimentación general	7 - 8		24 VDC	23.8 VDC	Ok
Borneras de distribución de señales					Ok
Final de carrera de carro longitudinal Z--	71 - GND	CONTINUIDAD AL PRESIONAR			Ok
Final de carrera de eje transversal X--	72 - GND	CONTINUIDAD AL PRESIONAR			Ok
Final de carrera de eje transversal X ++	70 - GND	CONTINUIDAD AL PRESIONAR			Ok
Bobina de activación electroválvula del refrigerante	20 - 8		24 VDC	23.7 VDC	Ok
Bobina de activación electroválvula de pistón	21 - 8		24 VDC	23.8 VDC	Ok
Luz piloto de energizado principal ON / OFF	22 - 7		24 VDC	23.8 VDC	Ok

Continua 

Luz piloto ciclo en proceso	23 - 7		24 VDC	23.6 VDC	Ok
Luz piloto de paro de emergencia	24 - 7		24 VDC	23.7 VDC	Ok
Interruptor de encendido principal	3 - 4	CONTINUIDAD AL CAMBIAR POSICION DE SWITCH			Ok
Interruptor accionamiento de pistón	61 - 50	CONTINUIDAD AL CAMBIAR POSICION DE SWITCH			Ok
Borneras de tierra (GND)	51	CONTINUIDAD			Ok
Borneras de voltaje (5 V)	50	CONTINUIDAD			Ok
Interruptor de paro de emergencia	69 - 50	CONTINUIDAD NO PRESIONADO			Ok
Señal de sentido de giro horario del mandril	18 - 8		24 VDC	23.8 VDC	Ok
Señal de sentido de giro anti horario del mandril	19 - 8		24 VDC	23.7 VDC	Ok
Breaker de energizado principal	2 - 3	CONTINUIDAD AL CAMBIAR POSICION DE SWITCH			Ok

Como se observa en el **Cuadro 30** los niveles de voltaje se encuentran dentro de rangos permitido por los fabricantes de los elementos; en general, y por norma, los elementos de control trabajan en rangos de 20V a 40V DC y las fuentes de alimentación pueden ser energizadas con voltajes entre 108 – 120 VAC.

Además, los interruptores y switchs responden de manera correcta ante su accionamiento con lo que, el sistema eléctrico – electrónico pasa las pruebas y queda listo para su funcionamiento.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS FINANCIERO Y ECONÓMICO

Mediante este capítulo se tiene como objetivo evaluar y comparar económicamente la factibilidad de realizar la repotenciación y modernización del torno NCL 2000, en comparación con un torno CNC comercial de similares características a la máquina del presente proyecto.

6.1 ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar un correcto análisis financiero del proyecto se deben analizar tres aspectos fundamentales los cuales son:

- Costos de materiales directos
- Costo de mano de obra directa
- Costos indirectos de producción

6.1.1 COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS

Estos costos corresponden a los materiales y elementos adquiridos para la implementación de la máquina. De esta manera en los siguientes cuadros se detallan todos y cada uno de los materiales directos para la implementación de la máquina.

Cuadro 31 Costos de elementos mecánicos.

Descripción	Cantidad	Precio unitario [\$]	Costo [\$]
Nuevo cabezal	1	160,00	160,00

Continúa 

Paquete mandril y soporte	1	620,00	620,00
Placa de acople de motor	1	30,00	30,00
Total			810,00

Cuadro 32 Costos de elementos eléctricos y electrónicos.

Descripción	Cantidad	Precio unitario [\\$]	Costo [\\$]
Fuentes DC 24V/14.8A	2	90,00	180,00
Adaptador 5V/2A	1	11,10	11,10
Arduino Leonardo	1	33,34	33,34
Tarjeta de control TB6560	1	81,25	81,25
Tarjeta de control Breakout	1	101,25	101,25
Relé estado sólido, SSR	1	45,00	35,00
Motores a paso	2	180,10	360,20
Módulo de Relé 5Vdc, 4 canales	1	20,67	20,67
Final de carrera tipo Rodillo	4	2,59	10,36
Motor DC 24V/6A	1	110,00	110,00
Cable AWG 20	100	0,10	10,00
Cable AWG 18	30	0,16	4,80
Total			957,97

Cuadro 33 Costos de elementos neumáticos.

Descripción	Cantidad	Precio unitario [\$]	Costo [\$]
Electroválvula 5x2 monoestable , ¼"caudal	1	55,65	55,65
Electroválvula 2x2 ¼" caudal	1	27,12	27,12
Silenciador	2	1,55	3,10
Pasamuro	1	2,00	2,00
Una Y de conexión	1	1,06	1,06
Racor de 6mm	4	1,94	7,75
Racor de 4mm	2	1,14	2,28
Manguera 6 mm	2	2,27	4,53
Manguera 8mm	1	0,94	0,94
Manguera flexible soplado	1	19,17	19,17
Total			123,60

Cuadro 34 Costos de elementos para carcasa.

Descripción	Cantidad	Precio unitario [\$]	Costo [\$]
Acrílico 1,20x1.20x3 mm	1	42,10	42,10
Caucho perfil Z	8	7,80	62,40
Extras		34,81	34,81
Total			139,31

De esta manera al tener los costos de cada elemento que son utilizados para el funcionamiento de la máquina, en el **Cuadro 35** se tiene el total de los mismos.

Cuadro 35 Costos totales de materiales directos.

Descripción	Costo [\$]
Elementos mecánicos	810,00
Elementos eléctricos y electrónicos	957,57
Elementos neumáticos	123,60
Elementos para carcasa	139,31
Total	2030,48

6.1.2 COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA

Se refiere a los costos correspondientes de la persona o personas las cuales intervinieron directamente en la repotenciación, modernización e implementación del proyecto. Por tal razón para la mano de obra directa se considera el trabajo durante 3 semanas en donde se encuentran: el diseño de las nuevas piezas, correcciones, y fabricación de las mismas; y además de los ajustes realizados por el jefe del taller. A continuación en el **Cuadro 36** se muestra las actividades de cada individuo antes descrito.

Cuadro 36 Desglose de actividades de mano de obra directa.

Ejecutor	Actividad	Días	N° horas
	✓ Diseño conceptual	1	4
Diseñador (Tesisistas)	✓ Mediciones generales de elementos críticos (agujeros de montaje, barra guía, etc.)	1	4
	✓ Diseño de detalle	2	10

Continua 

Jefe de taller	✓	Revisión de planos y planificación de actividades	1	6
	✓	Pedido y compra de material	2	4
Ayudante de taller	✓	Fabricación de base de cabezal	5	10
	✓	Fabricación de placa de soporte de motor	4	8
	✓	Pintura de piezas fabricadas	1	2
Total			15	54

Durante aproximadamente 3 semanas de trabajo, se necesitaron un total de 54 horas.

Además el factor que también hay que tomar en cuenta es el costo hombre – hora de trabajo. Para determinar el costo de este factor se considera un sueldo básico de 340 dólares por 8 horas diarias de trabajo durante 30 días del mes, lo que significa que el valor por hora de trabajo es de \$1.42.

De igual manera para el costo por hora del jefe de taller y del diseñador se toma como sueldo 680 dólares y 1000 dólares respectivamente. Con estos datos, como en el caso anterior, se realiza el cálculo de cuánto se debe pagar por hora de trabajo tanto para el jefe de taller como para el diseñador. A continuación este costo se detalla en **Cuadro 37**.

Cuadro 37 Costo total de mano de obra directa.

Descripción	N° horas	Precio por hora [\$]	Costo [\$]
Diseñadores	18	4,17	75,06
Jefe de taller	6	2,84	17,04
Ayudante de taller	24	1,42	34,08
Total			126,18

Además de esto, se debe considerar el costo que representa utilizar las máquinas – herramientas para la fabricación de estos nuevos elementos. El detalle del costo del uso de esta maquinaria especial se lo detalle a continuación en el **Cuadro 38**:

Cuadro 38 Costo de máquinas – herramientas para fabricación

Descripción	Total horas	Precio por hora [\$]	Costo total [\$]
Fresadora	2.5	30,00	75,00
Sierra	1	10,00	10,00
Rectificadora	1.5	20,00	30,00
Total			115,00

De esta manera el valor total que generan los costos directos de producción se muestran en el **Cuadro 39**.

Cuadro 39 Costo total de costos directos de producción.

Descripción	Costo [\$]
Materiales directos	2030,48
Mano de obra directa	126,18
Máquinas - herramientas	115,00
Total	2.271,66

6.1.3 COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos indirectos de producción son aquellos que no están directamente relacionados con el producto, no siendo estos de menor importancia en la elaboración del proyecto razón por la cual participan en el estudio económico.

6.1.3.1 Materiales indirectos

Dentro de este conjunto se considera aspectos como: energía eléctrica, herramientas, etc. Es decir el uso completo de las instalaciones del taller Simym en el cual se realizó el desarrollo completo del proyecto tal como diseño, montaje, pruebas preliminares, etc. Mediante el **Cuadro 40** se puede observar que el taller genera un costo de \$2.50 por hora y fue utilizado durante un lapso de 10 semanas, 5 días por semana y 4 horas diarias dando un total de 200 horas de trabajo. Se muestra el costo a detalle de las instalaciones utilizadas del taller a continuación:

Cuadro 40 Desglose de costo de instalaciones del taller.

Descripción	Total días	Total horas	Precio por hora [\$]	Costo total [\$]
Taller	50	200	0,50	100.00
Herramientas	50	200	1,50	300.00
Electricidad	50	200	0,15	30.00
Agua	50	200	0,10	20.00
EPP	50	200	0,25	50.00
Total			2.50	500,00

6.1.3.2 Mano de obra indirecta

La mano de obra indirecta como su nombre lo indica se refiere al costo generado por el personal que no interviene de forma directa en la ejecución del proyecto; siendo los tesisistas, director y codirector de tesis los integrantes del equipo de ingeniería encargados de la repotenciación y modernización de la máquina.

De esta manera para el desarrollo del proyecto en el caso de los diseñadores se considera un tiempo de 4 horas diarias durante 4 días a la

semana en un lapso de 10 semanas lo cual resultan 160 horas de trabajo y su costo total se muestra a continuación.

Cuadro 41 Costo de mano de obra indirecta.

Descripción	N° horas	Precio por hora [\$]	Costo [\$]
Técnicos	160	4,17	667,20
Total			667,20

En el caso del director y codirector de tesis, los costos de los mismos son adjudicados a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

De esta manera el valor total que generan los costos indirectos de producción se muestran en el **Cuadro 42**.

Cuadro 42 Costo total de costos indirectos de producción.

Descripción	Costo [\$]
Materiales indirectos	500,00
Mano de obra indirecta	667,20
Total	1.167,20

6.1.4 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

Después de un análisis de los costos considerados para el desarrollo del proyecto se muestra a continuación mediante el **Cuadro 43**, el costo total del mismo.

Cuadro 43 Costo total del proyecto.

Descripción	Costo [\$]
Costo directos de producción	2.271,66
Costos indirectos de producción	1.167.20
Total	3.438,86

6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO

Para la respectiva comparación es indispensable saber el costo real de un torno CNC existente en el país o fuera de él. Mediante una investigación en empresas o instituciones en las cuales podrían ofrecer tornos CNC se concluye que en el mercado del país no se pueden adquirir máquinas de similares características a la utilizada en el presente proyecto; por lo que, solo se podría adquirir mediante una importación.

Por tal razón se localiza este tipo de tornos, en el sitio web de la empresa SIEG en donde se dispone de varios tornos de diferentes dimensiones tanto manuales como CNC.

Un aspecto importante del torno CNC que se encuentra en este sitio es que es de similares características al torno NCL2000 y de esta manera se pueden comparar los dos tornos mencionados para así visualizar y concluir cuál de estas dos alternativas mostradas es la más conveniente.

- Adquisición de un torno CNC de nuevo mediante una empresa.
- Cambiar mediante la automatización todo el sistema de un torno manual y convertirlo en un torno CNC.

Mediante la empresa SIEG ubicada en Shanghai China, se puede ver el torno CNC mostrado a continuación.



Figura 82 Torno CNC PC1

Fuente: (s/a, SIEG, Industrial group, s/n)

Tabla 5 Características técnicas del torno comercial PC1.

Modelo: PC1

Costo: \$ 9.000,00

TORNO CNC	Características técnicas
Distancia entre puntos	250 mm
Desplazamiento del carro longitudinal	150 mm
Desplazamiento del carro transversal	100 mm
Potencia del motor mandril	150 W

Fuente: (s/a, SIEG, Industrial group, s/n)

Tabla 6 Características técnicas del torno NCL 2000.

Modelo: NCL 2000

Costo: \$ 3.438,36

TORNO CNC	Características técnicas
Distancia entre puntos	220 mm

Continua 

Desplazamiento longitudinal	del carro	224 mm
Desplazamiento del carro transversal		108 mm
Potencia del motor mandril		150 W

Como se puede observar, las características técnicas de ambas opciones son muy similares; sin embargo, el torno NLC2000 posee algunas limitaciones propias de los elementos utilizados para su modernización. Por otra parte, el torno PC1 no posee opciones para realizar el roscado y además, el costo no incluye ni transporte ni impuestos de importación.

De esta manera se considera por simple inspección que la mejor opción para poseer un torno CNC es la de la repotenciación y modernización del torno NCL2000, pero mediante un análisis de costo beneficio que se realiza más adelante se visualizará de mejor manera tal conclusión.

6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Mediante el análisis económico se puede analizar si la inversión realizada por los tesisistas va acorde con los beneficios que recibirá la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE por repotenciar y modernizar el torno NCL2000.

6.3.1 INVERSIÓN

Tabla 7 Descripción de inversión realizada.

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR [\$]
1	Modernización, repotenciación e implementación de tareas de roscado del Torno NCL 2000 mediante control numérico computarizado	3.438,36

6.3.2 BENEFICIO

El análisis de los beneficios que la Universidad de la Fuerzas Armadas - ESPE obtendrá con la repotenciación y modernización del torno “NCL 2000” se determinan mediante el cálculo del costo por hora de dicho torno. Este costo fue calculado por medio del consumo energético del torno y por algunos factores que son tomados en cuenta para obtener un valor real.

A través de los cuadros siguientes se visualiza a detalle el cálculo para el costo por hora del torno NCL 2000:

Cuadro 44 Datos del torno NCL 2000 para cálculo de costo por hora.

DATOS CONSIDERADOS	Valor	Unidades
Voltaje	110	[V]
Corriente	6	[A]
Costo kilovatio hora	0,10	\$
Tiempo para cálculo de costo de la máquina	60	[min]

Cuadro 45 Costo de consumo de energía.

Cálculo de KVA	Valor	Unidades
KVA	0,66	KVA
Factor de potencia	0,9	---
Cálculo de consumo de potencia por hora		
Kilovatios hora	0,8	KWh
Cálculo de costo de energía por hora		
Costo de energía por hora	\$ 0,08	

Cuadro 46 Costo de mano de obra.

Costo de mano de obra	
	Valor
Costo mano de obra/ máquina por hora	\$ 4,17

Cuadro 47 Costo de depreciación.

Descripción	Valor
Costo de la máquina	\$ 3.438,36
Vida útil años	10

Continua 

Capacidad de unidades	1.920,00
Depreciación máquina	\$ 1,79

La vida útil de la máquina se determina mediante el **Cuadro 48** que se muestra a continuación:

Cuadro 48 Vida útil de activos fijos.

ACTIVO FIJO	VIDA UTIL (años)
Bienes inmuebles	20
Maquinaria y equipo	10
Vehículos y computadores	5
Herramientas en general	10

Fuente: Ministerio de Economía y Finanzas del Ecuador

Cuadro 49 Costo por hora del torno NCL2000.

Descripción	Costo [\$]
Consumo de energía	0,08
Mano de obra	4,17
Depreciación	1,79
Costo de uso de la máquina por hora	6,04

Hay que tomar mucho en cuenta que el número de horas en el que será utilizado el torno NCL2000 en el laboratorio de CAD-CAM de la Universidad

de las Fuerzas Armadas – ESPE es de 4 horas a la semana y así se calcula el costo mensual del torno NCL 2000.

Cuadro 50 Costo de torno NCL2000 mensual.

Costo por hora [\$]	N° horas semanal	N° horas mensual	Costo de máquina mensual [\$]
6,04	4	16	96,64

6.3.3 FACTIBILIDAD

Para analizar la factibilidad del proyecto, se utilizará el modelo de análisis de flujo incremental en el cual se visualiza los ingresos q se tendrá en cada año al utilizar la máquina. Dado este flujo luego se procederá a analizar la TIR y el VAN para el proyecto. (s/a, Finanzas y Costos, 2002)

Por tal razón el costo mensual de la máquina se lo multiplica por 12 meses que tiene un año, ya que dicho análisis de flujo incremental está proyectado para 10 años para que de tal forma permita visualizar si la inversión a realizar es justificable.

Tabla 8 Costo anual del torno NCL 2000.

Costo de máquina anual	Torno NCL 2000 [\$]	Meses	Costo [\$]
	96,64	12	1.159,68

Tabla 9 Flujo de caja proyectado a 10 años.

Mes	Inversión	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	V. presente
Egresos	\$ 3.439	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-3.070
Ingresos	0	1.160	1.276	1.392	1.508	1.624	1.740	1.855	1.971	2.087	2.203	8.901
Saldo	-3.439	1.160	1.276	1.392	1.508	1.624	1.740	1.855	1.971	2.087	2.203	5.462
Saldo Acumulado	-3.439	-2.279	-1.004	388	1.896	3.519	5.259	7.114	9.086	11.173	13.377	-----

6.3.4 VALOR ACTUAL NETO

Es el valor monetario que resulta de restar la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Mediante el VAN se puede determinar la rentabilidad de un proyecto específico analizado.

En otras palabras, el VAN nos permite definir el valor de una inversión en el tiempo.

El VAN en general si es mayor a cero implica una ganancia extra o una buena inversión para la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE. (Baca Urbina, 1995)

6.3.5 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial. Además se llama de esta manera porque supone que el dinero que se gana año con año se reinvierte en su totalidad.

El criterio de la tasa interna de retorno evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por período, con la que los flujos futuros generados por el proyecto descontados igualan al monto de la inversión inicial, es decir es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto sea cero. (Baca Urbina, 1995)

El TIR al generar un valor distinto de 0 y positivo quiere decir que la inversión realizada en el sistema generará ganancias superiores a la rentabilidad esperada, es decir la inversión es económicamente rentable. (Baca Urbina, 1995)

6.3.6 FACTOR BENEFICIO – COSTO (B/C)

La razón Beneficio/Costo permite conocer cuál es el beneficio a valor presente por cada dólar de inversión. El valor encontrado para este proyecto corresponde al factor de 1.55 como indica el **Cuadro 51**.

De esta manera si el factor es mayor que 1, se puede afirmar que el presente proyecto si justifica su ejecución e inversión. (s/a, Finanzas y Costos, 2002)

Cuadro 51 Resultado del análisis económico financiero.

V.A.N.	\$ 5.462
T.I.R.	40%
B/C.	2,90
Tasa Descuento	12%

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- En este proyecto se analizaron las capacidades máximas de esfuerzo aplicable a la máquina en base al estudio de la deformación de su elemento más crítico el cual es la barra guía del portaherramientas. La deformación en este elemento debe ser menor a 0.01 mm para que las operaciones realizadas resulten con tolerancias máximas de 0.1 mm; por lo que se concluyó que la fuerza máxima de corte aplicable es de 85 N.
- Con respecto al objetivo de diseño, dimensionamiento y selección de elementos mecánicos, durante la etapa de rediseño del cabezal, se plantearon dos opciones: la primera, una modificación del cabezal existente; la segunda, fabricación de un nuevo cabezal. Se escogió la segunda opción en base a un análisis de esfuerzos aplicado en ambos casos y en el que se observó que, realizando la modificación del elemento existente, éste no soportaría la fuerza aplicada en los pernos de anclaje del mandril y se produciría falla en el material debido a que el esfuerzo máximo que soporta es de 27.574 MPa, mientras que, el esfuerzo aplicado será de 169.008 MPa. Por esta razón, se optó por la fabricación del nuevo cabezal con un material propio de maquinaria como lo es el acero AISI 1045 con un esfuerzo máximo de 250 MPa.
- Se realizaron las pruebas de funcionamiento adecuadas para la verificación del correcto funcionamiento de los sistemas implementados y se observó que los parámetros de corte más adecuados son: avance $f = 80$ mm/min y profundidad $p = 1$ mm a una

velocidad del mandril de 550 RPM; cabe señalar que estos parámetros varían de acuerdo al material. Para los valores descritos anteriormente se utilizó como materia prima una resina de poliéster.

- La máquina, si bien cumple con la tarea de roscado, se vio limitada por capacidades de los componentes montados durante la repotenciación y modernización razón por la cual se lograron obtener roscas con un paso máximo de 1.5 mm, profundidad máxima de 1.3 mm y roscando en cualquier medida de diámetro que no exceda al diámetro máximo del mandril.
- Se seleccionó una interfaz computacional de bajo costo y amigable con el usuario la cual fue el software MACH 3 en el que se logró un aprovechamiento del 100% de todas las capacidades que ofrece tanto para configuración, calibración y manejo; ya que es posible utilizar todas las tareas del Wizard propias del software, además de tener un control manual habilitado, y poseer las protecciones tanto físicas como virtuales; todo esto para un control integral de la máquina.
- El análisis económico - financiero del presente proyecto, dio como resultado que la inversión inicial es de \$ 3.438,36 y es así que considerando esto se obtuvo los índices económicos - financieros para un período de 10 años, los cuales son los siguientes:
 - V.A.N = \$5.462.
 - T.I.R = 40%.
 - B/C = 2,90.
- Se puede concluir que mediante el estudio realizado en el Capítulo 6 que:
 - El V.A.N, valor actual neto es mayor a cero.
 - El T.I.R, tasa interna de retorno es una cantidad positiva distinta de cero.
 - La relación B/C, beneficio/costo es mayor que uno.

Por tales razones la repotenciación, modernización e implementación de tareas de roscado del Torno NCL 2000 mediante control numérico

computarizado es aceptado y considerado una buena inversión su ejecución.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para tener una mayor versatilidad en cuanto a los materiales a procesar es necesaria una máquina de mayor robustez mecánica en sus componentes y en ella poder realizar la repotenciación y modernización.
- Para complementar el presente proyecto, se recomienda ejecutar la solución a la limitación de velocidad del mandril expuesta en el
- **ANEXO D** que proveerá de un rango más amplio de velocidades a la máquina, para de esta manera eliminar cualquier incapacidad que sea desventaja frente a un torno existente en el mercado y de similares características.

REFERENCIAS:

BIBLIOGRAFÍA:

Aliexpress. (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.aliexpress.com/item-img/5-Axis-CNC-Stepping-Motor-Driver-Board-Controller-3A-MACH3-KCAM4-SD/1774245731.html>

Aliexpress. (s/n de s/n de s/n). Obtenido de http://www.aliexpress.com/store/product/CNC-6-Axis-DB25-Breakout-Board-Adapter-For-PC-Stepper-Motor-Driver-MACH3-KCAM4-EMC2-DB25/316387_1435753099.html

Alu-stock Expertos en aluminio . (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.alu-stock.es/catalogo/pdf/libro5/LA5-Cap11-Aleaciones-de-aluminio.pdf>

Artsoft. (s.f.). *Manual Mach3 Castellano.* Obtenido de <http://tallerdedalo.es/web/sites/tallerdedalo.es/files/file/ManualMach3castellano.pdf>

Baca Urbina, G. (1995). *Evaluación de proyectos.* México: McGraw Hill.

Bawa, H. (2007). *Procesos de Manufactura.* Mexico : McGraw Hill.

Bohman, I. (2010). *Materiales de Ingeniería.* Quito: s/n.

Budynas, R. (2012). *Diseño en Ingeniería mecánica.* México: McGraw Hill.

Chapman, S. J. (2005). *Máquinas Eléctricas.* McGraw Hill.

Dewi, H. G. (6 de Octubre de 2010). *Control de posición de un motor de corriente continua mediante encoder .* Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/122002160/51419278-Control-de-Posicion-de-Un-Motor-de-CD-Con-Encoder>

- Direct Industry*. (2014). Obtenido de <http://www.directindustry.es/tab/husillos-alta-frecuencia.html>
- Direct Industry*. (s/n de s/n de 2014). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/rollvis-swiss/husillos-rodillos-planetarios-9145-24409.html>
- Direct Industry*. (s/n de s/n de 2014). Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/wmh-srl/husillos-bolas-99689-924493.html>
- Garavito, J. (2007). *TORNO PROTOCÓLO. Curso de procesos de Manufactura*. Obtenido de http://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/3474_torno.pdf
- GOODLUCKBUY. (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.goodluckbuy.com/cnc-standard-kit-k11-100mm-3-jaw-self-centering-lathe-chuck-and-stepper-motor.html>
- Gottlieb, I. (1994). *Electric Motors & Control Techniques*. TAB BOOKS.
- Groover P, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Modernos, materiales procesos y sistemas*. México: Pearson .
- Hermenegildo, R. G. (2014). *Ingemecánica*. Obtenido de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html#seccion2>
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson.
- Krar, S. F. (2002). *Tecnología de las Máquinas-Herramientas*. Alfaomega.
- Larburu, N. (2004). *Máquina: Prontuario*. Madrid: Paraninfo.
- Lema Crithian, V. X. (Mayo de 2007). Diseño y construcción de un prototipo de torno automático mediante control numérico computarizado. *Diseño y construcción de un prototipo de torno automático mediante control numérico computarizado*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

- Maquinarias para roscas.* (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.industriaslojan.com/medios-productivos.html#>
- Mecatrónica TESE.* (8 de Noviembre de 2011). Obtenido de <http://mecatronicatese.blogspot.com/2011/11/winunisoft-version-42.html>
- Millán Gómez, S. (2006). *Procedimientos de mecanizado* . Madrid : Paraninfo.
- Morse, J. (s/n de s/n de s/n). *CNC Workshop Software and Workbook.* Obtenido de http://technologyinterface.nmsu.edu/3_4/3_4m.html
- Muhammad H, R. (1993). *Power Electronics.* México: Prentice Hall.
- Pérez París, A. (2000). *Motores paso a paso. Introducción a su funcionamiento y control en lazo abierto.* Vivat Academia.
- s/a. (2002). *Finanzas y Costos.* Bogota: AlfaOmega.
- s/a. (11 de Septiembre de 2011). *La mecánica por un estudiante de ingeniería.* Obtenido de <http://abdielmarfer2.blogspot.com/2011/09/el-torno-de-control-numerico.html>
- s/a. (s/n de s/n de s/n). *SIEG, Industrial group.* Obtenido de http://www.siegind.com/products_list/&pmclid=ef27e9b9-2541-4916-9620-c910c8c9416d.html
- s/a. (s/n de s/n de s/n). *Unitech.* Obtenido de Unitech: <http://www.unitech-maschinen.de/kontakt/anschrift-ansprechpartner.html>
- Sanz, F., & Blanco, J. (2002). *Cad-Cam, Gráficos, Animación y simulación por computadora.* Madrid: Thomson.
- Stepperonline. Motors&electronics.* (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.omc-stepperonline.com/4-axis-tb6560-cnc-stepper-motor-driver-controller-board-p-199.html>

Tema 5: Correas. (s/n de s/n de s/n). Obtenido de <http://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema05.pdf>

Velocidades y avances de corte . (s/n de s/n de s/n). Obtenido de : <http://www.aprendizaje.com.mx/Curso/Proceso2/Practicas/Torno-Desarrollo/Capi8.htm>

Waters, T. F. (2002). *Fundamentals of Manufacturing for Engineers*. UCL Press.

ANEXOS

ANEXO A:

Propiedades físico - químicas acero AISI 1045.

**Propiedades físico-químicas de aleaciones de
aluminio – cobre 2017A y 2024.**

ANEXO B:
Tabla avance vs profundidad para diferentes
materiales

ANEXO C:
Hojas de procesos para fabricación de nuevo cabezal
y placa de acople de motor

ANEXO D:
**Planteamiento de solución para limitación de rango
de velocidades de mandril**

ANEXO E:
Manual de software

ANEXO F:
Manual de operación

ANEXO G:
Planos mecánicos

ANEXO H:
Planos eléctricos