

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MINI FRESADORA
DIDACTICA CONTROLADA POR PC”**

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

ELABORADO POR:

**JUAN CARLOS SALAZAR SÁNCHEZ
ALFONSO VLADIMIR GORTAIRE HIDALGO**

Sangolquí, 22 de febrero del 2010

EXTRACTO / ABSTRACT

El presente documento corresponde a la elaboración del proyecto de grado para la obtención del título de ingeniero mecánico.

En el desarrollo del proyecto se consideran los diferentes tipos de procesos de fresado, los materiales a fresar, elementos que conforman a la fresadora, siendo éstos últimos los parámetros que determinan las premisas de diseño y selección de componentes de la máquina. A continuación y basados en los parámetros de diseño, se seleccionan los componentes mecánicos como tornillos de bolas, soportes para el tornillo de bolas, guías de movimiento lineal, elementos que logran el movimiento y precisión en la posición de la herramienta.

Posteriormente, se diseña el sistema de control y de potencia, el mismo que es compatible a los equipos y partes antes seleccionadas, conformado por sensores de posición, motores de paso, un husillo motorizado con sus respectivos controladores y por último un relé inteligente para el control general del equipo.

Una vez seleccionados los componentes, se representa el diseño en un software, realizando la simulación de movimientos, análisis de esfuerzos y deflexiones en el diseño propuesto.

Como último se realizan planos, diagramas de fabricación y montaje, considerando normas internacionales y procedimientos metrológicos requeridos para la correcta fabricación de este tipo de maquinaria. Dejando el análisis y descripción de costos para el cierre del proyecto.

The document corresponds to the development of the proposed grade for the qualification as an engineer.

In developing the project are considered different types of milling processes, the materials to milling, components of the milling machine, the latter being the parameters determining the premises for design and selection of machine components.

And then based on the design parameters are selected mechanical components such as ball screws, fixes for ball screw, linear motion guide, elements that achieve precision in movement and position of the tool. Subsequently, the control system design and power, the same that is compatible to equipment and parts before selected, comprising position sensors, stepper motors, a spindle motor with their respective drivers and finally a smart relay for overall control of the team.

After selecting the components, is represented in software design, performing the simulation of movement, stress analysis and deflection of the proposed design.

As plans are made final, manufacture and assembly diagrams, considering metrological standards and procedures required for the proper manufacture of such machinery. Leaving the analysis and description of costs for closing a project

CERTIFICACION

Ing. Luis Echeverría

Ing. Carlos Naranjo

Certifican:

Que el trabajo titulado Diseño y Simulación de una mini fresadora didáctica controlada por un PC, realizado por los Señores Juan Carlos Salazar Sánchez y Alfonso Vladimir Gortaire Hidalgo, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a su finalización y lo antes expuesto se recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a los Señores Juan Carlos Salazar Sánchez y Alfonso Vladimir Gortaire Hidalgo que lo entregue al Señor Ingeniero Emilio Tumipamba, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí 22 de Febrero del 2010

Ing. Luis Echeverría

DIRECTOR

Ing. Carlos Naranjo

CODIRECTOR

DECLARACION DE RESPONSABILIDAD

JUAN CARLOS SALAZAR SANCHEZ

ALFONSO VLADIMIR GORTAIRE HIDALGO

Declaramos que:

El proyecto de grado denominado Diseño y Simulación de una mini fresadora didáctica controlada por un PC, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 22 de Febrero del 2010

Juan Carlos Salazar Sánchez

Alfonso Vladimir Gortaire Hidalgo

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MINI FRESADORA DIDACTICA CONTROLADA POR PC”.

Elaborado por:

Juan Carlos Salazar

CI: 170952795-4

Vladimir Gortaire

CI: 171171716-3

Ing. Emilio Tumipamba

DIRECTOR DE LA CARRERA

DEDICATORIA

*A Dios por su guía y bendiciones,
a la memoria de mi Padre Jaime, a mi madre María Carmelina
por su gran esfuerzo para la culminación de esta carrera, a mi
Esposa Verónica y a mis hijas María Emilia y María Paz por
su apoyo y comprensión durante este tiempo de desarrollo
del proyecto de grado.*

Juan Carlos Salazar Sánchez

*Este trabajo lo dedico a Dios por todas las bendiciones
recibidas. A mi padre que adelantó su partida,
mi madre por su constante apoyo y amor
brindado, a mi esposa María Fernanda, a mis hijos
Lucas y Juan Martín por ser los motivadores para la
culminación de este proyecto de grado*

Alfonso Vladimir Gortaire Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento más sincero al personal docente y académico de la Carrera de Ingeniería Mecánica por compartir sus conocimientos, enseñanzas y experiencias a lo largo de este período de formación académica.

Agradecemos a nuestro director y codirector por su atención y guía para el desarrollo y culminación del presente proyecto.

A nuestras familias por su apoyo y comprensión brindados durante la ejecución de este proyecto.

Juan Carlos Salazar Sánchez
Alfonso Vladimir Gortaire Hidalgo

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN	1
ANTECEDENTES	2
CAPÍTULO I: Procesos de Fresado	
1.1 Tipos de fresadoras	5
1.1.1 Máquina fresadora horizontal	5
1.1.2 Máquina de fresar vertical	6
1.1.3 Máquina de fresar universal	7
1.1.4 Máquinas de fresar especiales	7
1.2 Herramientas utilizadas en el proceso	8
1.2.1 Clasificación de las herramientas de fresado	9
1.2.1.1 Fresas de dientes puntiagudos	10
1.2.1.2 Cabezal porta cuchillas	12
1.2.1.3 Fresas con despulla	12
1.2.1.4 Fresa compuesta	13
1.3 Materiales utilizados en el proceso	13
1.4 Refrigeración en el proceso de corte	16
1.5 Productos de fresado	19
1.6 Automatización del proceso de fresado	20
CAPÍTULO II: Definición de Parámetros de Diseño y Estudio de Alternativas	
2.1 Requerimientos generales	25
2.1.1 Consideraciones de diseño	25
2.1.2 Parámetros generales de diseño	26
2.1.2.1 Dimensión de la mesa	26
2.1.2.2 Área efectiva de maquinado	26
2.1.2.3 Peso de la carga en la mesa	27
2.1.2.4 Velocidad de giro de la herramienta	28
2.1.2.5 Potencia	29
2.1.2.5.1 Potencia requerida para el fresado	29
2.1.2.5.2 Potencia requerida para taladrado	31
2.1.2.6 Precisión	33
2.1.2.7 Notación de ejes para máquina herramientas de columna	33
2.1.3 Características operativas	34
2.2 Análisis de alternativas de diseño mecánico	35
2.2.1 Análisis del mecanismo de movimiento de la herramienta	35
2.2.1.1 Husillos accionados por correas o bandas	35
2.2.1.2 Husillos con motores acoplados	37
2.2.1.3 Husillos motorizados	38
2.2.2 Análisis del mecanismo de avance, movimientos longitudinal y transversal de la mesa	39
2.2.2.1 Tornillos de potencia	39
2.2.2.2 Husillos roscados y guías de movimiento lineal con rodamientos de bolas	41
2.3 Análisis de alternativas de diseño eléctrico y control	43
2.3.1 Análisis de alternativas de diseño eléctrico	43
2.3.1.1 Para motor principal	43

	2.3.1.1.1	Motores de corriente alterna	43
	2.3.1.1.2	Motores de corriente continua	44
	2.3.1.1.3	Motores universales	44
	2.3.1.1.4	Motores DC sin escobillas	44
	2.3.1.1.5	Motores de inducción AC de una fase	44
	2.3.1.1.6	Motores de inducción AC de tres fases	44
	2.3.1.1.7	Motores sincrónicos AC de una fase	44
	2.3.1.1.8	Servomotores	44
	2.3.1.1.9	Husillos motorizados	44
	2.3.1.2	Para motores secundarios	47
	2.3.1.2.1	Servomotores	48
	2.3.1.2.2	Motores de paso	50
		2.3.1.2.2.1 Características de los motores de paso	58
2.3.2		Análisis de alternativas de diseño de control	63
	2.3.2.1	Variables y parámetros a medir y controlar	63
	2.3.2.2	Instrumentación	63
	2.3.2.3	Alternativas de control	65
	2.3.2.3.1	Control basado en un microcontrolador PIC	65
	2.3.2.3.2	Control proporcionado por el fabricante de los motores de paso	70
2.4		Selección de alternativas	71
	2.4.1	Selección de la alternativa de diseño mecánico	71
	2.4.1.1	Trasmisión de potencia a la herramienta	72
	2.4.1.2	Mecanismo de avance y movimiento	73
	2.4.2	Selección de la alternativa eléctrica	75
	2.4.2.1	Motor principal	75
	2.4.2.2	Motores secundarios	76
	2.4.3	Selección de la alternativa de control	77
CAPÍTULO III: Diseño de la máquina			
3.1		Diseño mecánico	79
	3.1.1	Selección de guías de movimiento lineal con rodamientos de bolas	80
	3.1.1.1	Calculo de guía de movimiento lineal del eje X	82
	3.1.1.2	Cálculo de guía de movimiento lineal del eje Y	86
	3.1.1.3	Cálculo de guía de movimiento lineal del eje Z	88
	3.1.2	Selección de los husillos roscados con rodamientos de bolas	91
	3.1.2.1	Consideraciones metrológicas para tornillos de bolas	91
	3.1.2.2	Análisis de la precisión del sistema	91
	3.1.2.3	Selección de longitud de los husillos, diámetro exterior y paso	94
	3.1.2.3.1	Definición del paso requerido	94
	3.1.2.3.2	Selección del juego axial	96
	3.1.2.3.3	Métodos de soporte recomendados para el husillo roscado	97
	3.1.2.3.4	Selección de la tuerca	98
	3.1.2.3.5	Cálculo del torque rotacional	98
	3.1.2.3.6	Cálculo de la vida útil de los husillos roscados con rodamientos de bolas	102
	3.1.3	Selección de acoples para trasmisión de potencia de los motores de paso – tornillo de bolas	105

3.1.4	Cálculo de resistencia de soldadura	105
3.1.4.1	Cálculo de la fuerza de corte f_c	106
3.1.4.2	Cálculo de la fuerza de flexión f_f	107
3.1.4.3	Cálculo de la fuerza debido a torsión	108
3.1.4.4	Cálculo de fuerza total aplicada sobre la soldadura	109
3.2	Diseño eléctrico	110
3.2.1	Selección del husillo motorizado	110
3.2.2	Selección de los motores de paso	112
3.3	Diseño del sistema de control	113
3.3.1	Control del husillo motorizado	113
3.3.2	Control de posición y avance de motores de paso – Ejes X, Y y Z	114
3.3.3	Control general de operación	115
3.3.4	Bombeo del fluido de corte	115
CAPÍTULO IV: Simulación, diagramas de elaboración y montaje		
4.1	Plan de construcción mecánica	117
4.1.1	Diagramas de proceso	118
4.2	Plan de armado eléctrico	137
4.3	Plan de montaje mecánico	137
4.4	Plan de montaje eléctrico	143
4.5	Elaboración del modelo	147
4.6	Simulación del modelo propuesto	147
4.7	Análisis de esfuerzos en base a simulación	147
4.7.1	Análisis de esfuerzo y deformación debido a la carga de fresado	148
4.7.2	Análisis de esfuerzo y deformación debido a la carga de taladrado	150
4.7.3	Análisis de esfuerzo y deformación debido a las cargas de taladrado y fresado combinadas.	151
4.8	Simulación del sistema de control y movimiento	153
4.8.1	Inicio del programa	154
4.8.2	Configuración del programa	155
4.8.3	Programación del sistema	159
4.8.4	Simulación del control y movimiento	162
4.9	Resultados	165
CAPÍTULO V: Análisis económico y financiero		
5.1	Costos de construcción	169
5.1.1	Costos directos	169
5.1.2	Costos indirectos	171
5.1.3	Costo total	172
5.1.4	Análisis porcentual de costos	172
CAPÍTULO VI: Conclusiones y recomendaciones		
6.1	Conclusiones	175
6.2	Recomendaciones	177

ANEXOS

BIBLIOGRAFÍA

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1.1	Fresadora horizontal.	5
Fig. 1.2	Movimiento de avance en el fresado cilíndrico.	6
Fig. 1.3	Fresadora vertical.	6
Fig. 1.4	Esquema de fresado vertical o frontal.	7
Fig. 1.5	Elementos de una fresa circular.	8
Fig. 1.6	Herramientas de corte periférico y frontal.	9
Fig. 1.7	Disposición de los filos.	11
Fig. 1.8	Dirección del corte e inclinación de los filos.	11
Fig. 1.9	Cabezal portacuchillas.	12
Fig. 1.10	Fresa con despulla.	13
Fig. 1.11	Fresa compuesta.	13
Fig. 1.12	Fresado de aluminio utilizando taladrina.	19
Fig. 1.13	Productos de fresado.	19
Fig. 2.1	Símbolos convencionales para ejes de taladros y mandrinadoras de una sola columna.	34
Fig. 2.2	Husillo accionado por correa o banda.	36
Fig. 2.3	Husillo con motor acoplado.	38
Fig. 2.4	Husillo motorizado.	38
Fig. 2.5	Tornillo de potencia de cuerda cuadrada.	40
Fig. 2.6	Tornillo de potencia de cuerda Acme.	40
Fig. 2.7	Tornillo de potencia de cuerda trapezoidal.	40
Fig. 2.8	Husillo roscado con rodamiento de bolas.	42
Fig. 2.9	Guía de movimiento lineal con rodamiento de bolas.	42
Fig. 2.10	Husillo motorizado.	47
Fig. 2.11	Composición interna de un servomotor.	48
Fig. 2.12	Forma de onda entregada por un encoder.	50

Fig. 2.13	Principio de funcionamiento de un motor paso a paso.	52
Fig. 2.14	Principio básico de un motor unipolar de cuatro fases.	54
Fig. 2.15	Control de motor unipolar.	56
Fig. 2.16	Control de motor bipolar.	57
Fig. 2.17	Disposición de las bobinas de motores paso a paso.	57
Fig. 2.18	Diagrama de bloques de un sistema de motor paso a paso.	60
Fig. 2.19	Arquitectura de un PIC.	67
Fig. 2.20	Segmentación de un PIC.	68
Fig. 2.21	Driver pack para motores paso a paso.	71
Fig. 3.1	Esquema mecánico base del diseño.	79
Fig. 3.2	Esquema de montaje del eje X.	82
Fig. 3.3	Selección del tipo, montaje y número de guías lineales en el eje X.	83
Fig. 3.4	Ingreso de datos de las condiciones de trabajo de las guías lineales en el eje X.	84
Fig. 3.5	Ingreso de datos de cargas y distancias de trabajo de las guías lineales en el eje X.	85
Fig. 3.6	Esquema de montaje del eje Y.	86
Fig. 3.7	Selección del tipo, montaje y número de guías lineales en el eje Y.	87
Fig. 3.8	Ingreso de datos de las condiciones de trabajo de las guías lineales en el eje Y.	87
Fig. 3.9	Ingreso de datos de cargas y distancias de trabajo de las guías lineales en el eje Y.	88
Fig. 3.10	Esquema de montaje del eje Y.	88
Fig. 3.11	Selección del tipo, montaje y número de guías lineales en el eje Z.	89
Fig. 3.12	Ingreso de datos de las condiciones de trabajo de las guías lineales en el eje Z.	90
Fig. 3.13	Ingreso de datos de cargas y distancias de trabajo de las guías lineales en el eje Z.	90
Fig. 3.14	Diagrama de posición de tornillo de bolas en el eje Y y Z.	94

Fig. 3.15	Ingreso de datos de montaje del eje Y.	103
Fig. 3.16	Ingreso de condiciones de trabajo del eje Y.	103
Fig. 3.17	Ingreso de datos de montaje del eje Z.	104
Fig. 3.18	Ingreso de condiciones de trabajo del eje Z.	104
Fig. 3.19	Tipo y dimensiones de soldadura	106
Fig. 3.20	Fuerzas en un punto de soldadura	106

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1	Valores normativos para número de dientes y ángulos de corte en fresas	10
Tabla 1.2	Características de los elementos que componen las herramientas de corte	15
Tabla 1.3	Propiedades de herramientas	15
Tabla 1.4	Utilización de fluidos de corte dependiendo del material a trabajar	17
Tabla 2.1	Grados de impulso más frecuentes de motores de paso	59
Tabla 2.2	Secuencia de excitación de un motor paso a paso completo	61
Tabla 2.3	Secuencia de excitación de un motor paso a paso en medio paso	61
Tabla 2.4	Matriz de decisión para diseño mecánico del mecanismo de transmisión de potencia	72
Tabla 2.5	Matriz de decisión para diseño mecánico del mecanismo de avance y movimiento transversal y longitudinal de la mesa de trabajo	74
Tabla 2.6	Matriz de decisión para selección del motor principal	76
Tabla 2.7	Matriz de decisión para selección de los motores secundarios	77
Tabla 3.1	Grados de precisión para diferentes tipos de aplicación	92
Tabla 3.2	Fluctuación por 300 mm de longitud roscada y por giro del husillo roscado (tolerancia)	92
Tabla 3.3	Límite de longitud para tornillos de bola producidos de acuerdo al grado de precisión	93
Tabla 3.4	Diámetro externo del eje y combinaciones de paso	95
Tabla 3.5	Juego en la dirección axial del tornillo de bolas de precisión	96
Tabla 3.6	Límite de longitud de tornillos de bolas producidos vs. Juego axial en varias direcciones para tornillos de bolas de precisión	97
Tabla 4.1	Operaciones metrológicas recomendadas para montaje	142
Tabla 4.2	Fuerzas consideradas para simulación	148
Tabla 5.1	Costos de materiales y equipos	169
Tabla 5.2	Costos de maquinaria (MQ) y mano de obra (MO)	171
Tabla 5.3	Costos indirectos	171

Tabla 5.4	Costo total	172
Tabla 5.5	Tabla de distribución de porcentaje de costo de materiales	172
Tabla 5.6	Tabla de relación porcentual de costos directos	172
Tabla 5.7	Tabla de distribución de porcentaje de costo total	172