



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

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

TEMA

**MODERNIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PERFORADORA LINEAL
DE EBANISTERÍA**

**AUTORES: Fausto Vinicio Yépez Lima
Vinicio Javier Lema Flores**

DIRECTOR: Ing. Fernando Valencia

Ibarra – Ecuador

2015



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100307692-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	YÉPEZ LIMA FAUSTO VINICIO		
DIRECCIÓN:	RÍO QUININDÉ 10-37 Y GONZALES DE SAA		
EMAIL:	chulis2_mayor@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:	063 950-640	TELÉFONO MÓVIL:	0994235628
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171313971-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	LEMA FLORES VINICIO JAVIER		
DIRECCIÓN:	TOBÍAS MENA 1-92 Y RÍO QUININDÉ		
EMAIL:	javie0719@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062 642-252	TELÉFONO MÓVIL:	0982677309

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	MODERNIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PERFORADORA LINEAL DE EBANISTERÍA
AUTORES:	YÉPEZ LIMA FAUSTO VINICIO LEMA FLORES VINICIO JAVIER
FECHA: AAAAMMDD	2015 - 02 - 04
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	ING. FERNANDO VALENCIA

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

Nosotros, Yépez Lima Fausto Vinicio, con cédula de identidad Nro. 100307692-2, y Lema Flores Vinicio Javier, con cédula de identidad Nro. 171313971-3, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizamos a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, 04 de febrero de 2015

AUTORES:

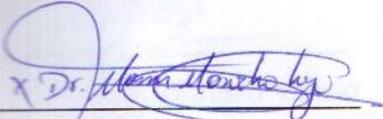


Yépez Lima Fausto Vinicio
100307692-2

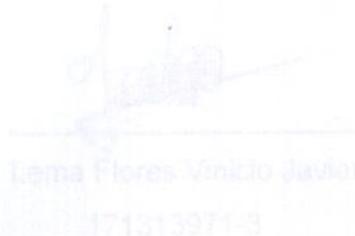


Lema Flores Vinicio Javier
171313971-3

ACEPTACIÓN:



Ing. Betty Chávez
JEFE DE BIBLIOTECA



Lema Flores Vinicio Javier
171313971-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Cesión de derechos bajo mi dirección el trabajo "MODERNIZACIÓN DE UNA MÁQUINA

Nosotros, Yépez Lima Fausto Vinicio, con cédula de identidad Nro. 100307692-2, y Lema Flores Vinicio Javier, con cédula de identidad Nro. 171313971-3, manifestamos nuestra voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículo 4, 5 y 6, en calidad de autores de la obra o trabajo de grado denominado "Modernización de una máquina perforadora lineal de ebanistería", que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Mecatrónica en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hagamos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en el Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, 04 de febrero de 2015

Yépez Lima Fausto Vinicio

100307692-2

Lema Flores Vinicio Javier

171313971-3



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Certifico que bajo mi dirección el trabajo **“MODERNIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PERFORADORA LINEAL DE EBANISTERÍA”** fue desarrollado en su totalidad por los señores Yépez Lima Fausto Vinicio, y Lema Flores Vinicio Javier, siendo un trabajo inédito.

En la ciudad de Ibarra, 04 de febrero de 2015

Yo, Ing. Fernando Valencia, con cédula de identidad Nro. 100307682-2, y los señores Yépez Lima Fausto Vinicio, con cédula de identidad Nro. 171313071-3, certificamos que la obra objeto de la presente autorización es original y se le garantiza que no viola derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y no infringe los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la obra en caso de reclamación por parte de terceros.

En fecho a los 23 días del mes de noviembre de 2014

Los suscritos:

Ing. Fernando Valencia
DIRECTOR DE PROYECTO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

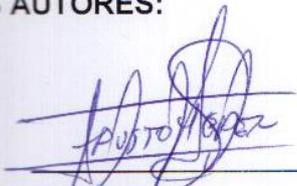
CONSTANCIAS

Nosotros, Yépez Lima Fausto Vinicio, con cédula de identidad Nro. 100307692-2, y Lema Flores Vinicio Javier, con cédula de identidad Nro. 171313971-3, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias

Nosotros, Yépez Lima Fausto Vinicio, con cédula de identidad Nro. 100307692-2, y Lema Flores Vinicio Javier, con cédula de identidad Nro. 171313971-3, manifestamos que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de febrero de 2015

LOS AUTORES:


Yépez Lima Fausto Vinicio
C.I.: 100307692-2


Lema Flores Vinicio Javier
C.I.: 171313971-3

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios, por haberme regalado la salud, vida, sabiduría e inteligencia; porque está conmigo en todo momento cuidándome y dándome fortaleza para poder salir a cada momento.

A mis padres y hermana por haberme regalado la mejor herencia que podemos tener los estudios y que siempre hicieron todo lo que estuvo a su alcance para verme un hombre de bien y poder culminar una etapa más de mi vida.

A mis maestros que llegaron a compartir sus conocimientos y a la vez formamos una gran amistad en todo el transcurso de mi etapa universitaria.

Fausto Yépez

DEDICATORIA

Esta tesis dedico a mis padres quienes me han apoyado incondicionalmente para poder llegar a cumplir esta meta, proporcionándome el apoyo moral y psicológico para salir adelante ante cualquier adversidad.

También se la dedico a mi hijo, Javi, quien ha sido mi mayor motivación para jamás darme por vencido y poder llegar a ser un ejemplo para él.

Javier Lema

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento:

A mi madre por ser el pilar fundamental en mi hogar, por saber sobrellevar cada uno de mis tropiezos y levantarme, darme ánimo y llegar hacer mi mejor amiga.

A mi padre por poder darme el estudio y poder finalizar una etapa más de mi vida.

A mi hermana por estar siempre en las buenas y malas dándome un apoyo incondicional.

A mi sobrina por llenarme cada momento de risas y llantos en su inocencia.

A mis familiares, por aconsejarme y saber guiarme a ser lo una persona de bien.

A mi pulguita por ser un apoyo fundamental e incondicional en cada momento de mi vida.

A mi compañero Javier, por tener la suficiente paciencia y entendimiento para poder sobrellevar este logro.

A el Ing. Fernando Valencia, Director del proyecto por su colaboración y orientación

Al Sr. Alonso Chandi, propietario de la fábrica "FAMUCLACH" por permitirnos realizar este trabajo de grado.

A Dios por cada uno de sus pruebas que me sabido poner en el transcurso de mi vida.

Fausto Yépez

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento:

A Dios que me dio la salud, la fortaleza, y la sabiduría para alcanzar este triunfo, quien supo guiarme en los momentos más difíciles, y quien me ayudo a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres y mi hermana, los cuales han estado siempre junto a mí, me han dado su apoyo incondicional, me han tenido paciencia en este trabajo final, y en toda mi vida universitaria.

Al Ing. Fernando Valencia, director del proyecto, por su colaboración y orientación.

Al Sr. Chandi, jefe propietario de la fábrica "FAMUCLACH", que nos brindó su ayuda y su disponibilidad en todo momento.

Javier Lema

RESUMEN

La elaboración del presente trabajo presenta como finalidad la modernización de una máquina perforadora lineal de ebanistería, la cual consiste en modernizar los procesos de posicionamiento vertical de la mesa, sujeción de la madera a la mesa mediante una prensa neumática, y control de profundidad de perforación mediante un tope mecánico. El posicionamiento vertical de la mesa permite movilizar la bancada tanto en forma ascendente como descendente mediante controles manuales, donde el operario activa el movimiento de la mesa; la distancia recorrida es visualizada en un dispositivo electrónico que el operario tiene a su vista. La sujeción de la madera a la mesa es realizada por un sistema neumático, en el cual la prensa neumática se activa mediante el control ON/OFF de la máquina. El sistema de profundidad de perforación permite seleccionar el estándar de profundidad, el cual detalla el tipo de mueble y el tipo de madera solicitado, donde el operario alinea el indicador luminoso de la barra perforada y fija la misma con el pasador en el orificio indicado.

ABSTRACT

The preparation of this work has this purpose of modernization of a linear woodworking drilling machine, which is to streamline processes for vertical positioning of the table, timber holding the table using a pneumatic press, and control of drilling depth using a mechanical stop. The vertical positioning of the table allows to mobilize the bench in both ascending and descending using manual controls, but the operator activates the movement of the table; the distance is displayed on an electronic device that the operator has his observation. The timber holding the table is performed by a pneumatic system, the operator activates the pneumatic press with the ON / OFF control of the machine. The depth of drilling system select the standard depth, in this details the type of furniture and wood type requested, the operator places the light on the perforated bar and fixed it with the pin in the hole indicated.

PRESENTACIÓN

El trabajo que se presenta a continuación es la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería; el proyecto se detalla en los siguientes capítulos:

En el primer capítulo se describe el fundamento teórico que envuelve la perforación de madera, y el funcionamiento de los diferentes sistemas que componen la máquina perforadora lineal.

El segundo capítulo presenta los cálculos y el control realizado a los tres sistemas implementados en la máquina perforadora lineal de ebanistería, así como el análisis de elementos mecánicos críticos del posicionamiento vertical mediante fundamentación matemática.

El tercer capítulo describe el hardware seleccionado para el sistema de posicionamiento vertical, este además presenta la programación de parámetros del servodriver para controlar de manera eficiente el servomotor.

En el cuarto capítulo se detalla el montaje e implementación de los sistemas que involucran la modernización de la máquina, y la construcción de gabinetes.

El quinto capítulo da a conocer las pruebas realizadas a los diferentes sistemas que se implementan en la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería, y los resultados obtenidos tanto a nivel de producción como de funcionamiento.

En el último apartado se presentan las conclusiones y recomendaciones que se ha obtenido, luego de la modernización de la máquina; además se dan a conocer anexos, manual de mantenimiento, y planos eléctricos.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	viii
DEDICATORIA.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
AGRADECIMIENTO.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
PRESENTACIÓN	xiv
ÍNDICE GENERAL	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xxii
ÍNDICE DE TABLAS	xxvi
CAPÍTULO I	1
DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA PERFORADORA DE EBANISTERÍA	1
1.1.INTRODUCCIÓN	3
1.2.MÁQUINA PERFORADORA DE EBANISTERÍA	3
1.2.1.PERFORADORA DE MANO	4
1.2.2.PERFORADORA EN BANCO	4
1.2.3.PROCEDIMIENTO PARA PERFORAR LA MADERA	5
1.2.4.MEDIDAS DE SEGURIDAD AL PERFORAR LA MADERA	5
1.3.DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE PERFORACIÓN	6
1.3.1.POSICIONAMIENTO VERTICAL DE LA MESA ANTIGUO	7
1.3.2.SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD ANTIGUO	8
1.3.3.SISTEMA DE PRENSA ANTIGUA	8
CAPITULO II	10
CÁLCULO DE FUERZA Y CONTROL DE SISTEMAS	10
2.1.POSICIONAMIENTO VERTICAL	10

2.1.1.CONSIDERACIONES GENERALES DEL POSICIONAMIENTO VERTICAL..	10
2.1.2.POSICIONAMIENTO VERTICAL	11
2.1.3.RELACIÓN DE TRANSMISIÓN	11
2.1.3.1.Diagrama de relación de transmisión:	12
2.1.3.2.Engranajes rectos:.....	14
2.1.3.3.Par de fuerzas y potencia transmitida.....	15
2.1.3.4.Engranajes cónicos	15
2.1.3.5.Tornillo de potencia	16
2.1.4.CÁLCULO DE FUERZAS RADIALES	21
2.1.5.CÁLCULOS DE RELACIÓN DE TRANSMISIÓN PARA SELECCIONAR EL SERVOMOTOR.....	23
2.1.5.1.Par torsional para subir una carga.....	23
2.1.5.2.Par torsional para bajar una carga.....	23
2.1.5.3.Relación de transmisión entre engranajes E3 y E4:	24
2.1.5.4.Relación de transmisión entre engranajes E1 Y E2:.....	25
2.1.6.ANÁLISIS DEL EJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	26
2.1.6.1.Relación de transmisión entre engranajes E1 Y E2:.....	27
2.1.6.2.Diagrama de cuerpo libre del eje:	28
2.1.6.3.Resistencia a la fatiga.....	29
2.1.7.ANÁLISIS DEL ENGRANE E1 Y E2 DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ...	38
2.1.7.1.Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas y momentos que actúan sobre dos engranes	40
2.1.7.2.Ecuación del esfuerzo AGMA:.....	42
2.1.7.3.Factor de seguridad:.....	47
2.1.8.VISUALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA.....	51
2.1.8.1.Encoder interno del servodriver	51

2.1.8.2.Contador de pulsos	53
2.1.8.3.Configuración del contador de pulsos:	54
2.2.SISTEMA DE PRENSADO.....	56
2.2.1.ESQUEMA NEUMÁTICO	57
2.2.2.DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA	58
2.2.3.DESCRIPCIÓN NEUMÁTICA DE FUNCIONAMIENTO	68
2.2.4.UNIDAD DE MANTENIMIENTO.....	66
2.2.5.ELEMENTOS DE MANDO	65
2.2.6.ELEMENTOS DE TRABAJO	64
2.3.SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD	69
2.3.1.CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD	69
2.3.2.ESTÁNDAR DE TIPO DE MADERA	69
2.3.3.ESTÁNDAR DE TIPO DE MUEBLE	71
2.3.4.PERFORACIÓN DE LA VARILLA	71
2.3.5.VISUALIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES ESCOGIDOS	72
2.3.5.1.Microcontrolador PIC 16F876A:	72
2.3.5.2.Pantalla de cristal líquido (LCD)	75
2.3.5.3.Programación del microcontrolador PIC 16F876A	76
2.4.PANEL DE CONTROL	80
2.4.1.DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS SISTEMAS	80
2.4.2.DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL.....	81
2.4.3.PROTECCIONES ELÉCTRICAS	83
2.4.3.1.Protecciones del servodriver	85
2.4.3.2.Protecciones del microcontrolador	88
2.4.4.ALGORITMO DE CONTROL	91

2.4.4.1. Flujograma para activar la prensa neumática y energizar todos los sistemas	92
2.4.4.2. Flujograma para seleccionar el estándar de profundidad	93
2.4.4.3. Flujograma para activar el movimiento del posicionamiento vertical	93
2.4.5. SEÑALES DIGITALES DE CONTROL Y AVISO PARA EL OPERARIO	94
CAPITULO III	96
DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE SELECCIONADO	96
3.1. SELECCIÓN DE SERVOMOTOR	96
3.2. SELECCIÓN DEL SERVODRIVER	100
3.3. COMPONENTES DEL SERVODRIVER	101
3.3.1. ENTRADAS Y SALIDAS	101
3.3.2. INTERFAZ DE POTENCIA DEL DISPOSITIVO DE CONTROL	103
3.4. CONTROL DEL SERVOMOTOR	104
3.4.1. CONFIGURACIÓN DE ENTRADAS	105
3.4.2. ACTIVACIÓN DE SERVODRIVER	106
3.4.3. MODO DE OPERACIÓN DEL SERVODRIVER	106
3.4.4. CONTROL DE MULTI-VELOCIDAD	108
3.4.4.1. Configuración de los parámetros para el control de multi-velocidad interna.	109
3.4.5. GUARDAR CAMBIOS	109
3.4.6. CONTROL DEL SERVOMOTOR POR EL OPERARIO	110
CAPITULO IV	111
MONTAJE E INSTALACIÓN	111
4.1. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL GABINETE PRINCIPAL	111
4.1.1. MONTAJE DEL SERVODRIVER EN EL GABINETE	111
4.2. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL PANEL DE CONTROL	114
4.3. SISTEMAS EXTERNOS A LOS GABINETES	116

4.3.1.SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VERTICAL	116
4.3.1.1.Montaje de fines de carrera:.....	116
4.3.2.SISTEMA NEUMÁTICO	118
4.3.2.1.Montaje del gabinete neumático.....	118
4.3.2.2.Montaje de cilindro neumático.....	119
4.3.2.3.Acometida de mangueras.....	119
4.3.3.SISTEMA DE TOPES.....	120
4.3.3.1.Montaje de varilla estandarizada.....	120
4.3.3.2.Montaje de indicadores luminosos (LEDs)	121
CAPITULO V	122
PRUEBAS Y RESULTADOS.....	122
5.1.PRUEBAS DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS	122
5.2.PRUEBAS AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VERTICAL	123
5.3.PRUEBA DEL SISTEMA NEUMÁTICO.....	126
5.4.PRUEBA DEL SISTEMA DE PROFUNDIDAD	128
5.5.PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DE LOS SISTEMAS IMPLEMENTADOS	131
5.6.RESULTADOS DE LA MODERNIZACIÓN DEL TALADRO HORIZONTAL DE EBANISTERÍA.....	134
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFÍA	139
PÁGINAS WEB	140
ANEXOS	142
ANEXO A-1. DIÁMETROS PARA ROSCAS ACME	143
ANEXO A-2. SERVOMOTOR KINCO SMH80S-0075-30AAK-3LKH	145
A-2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	146
A-2.2. PANEL DE CONTROL DIGITAL.....	147

A-2.3. PASOS PARA UTILIZAR EL CONTROL DIGITAL DEL SERVODRIVER	149
A-2.4. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE ENTRADAS TIPO PNP	150
ANEXO A-3. CONTADOR DE PULSOS MYPIN FH SERIES OF COUNTER/LENGTH/BATCH METER.....	151
ANEXO A-4. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS.....	153
ANEXO A-5. MICROCONTROLADOR PIC 16F876A	156
A-5.1. PINES DE CONEXIÓN	157
A-5.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	157
A-5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA PIC16F87X.....	158
A-5.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	158
A-5.5. FUNCIÓN DE LOS PUERTOS	159
A-5.6. CONFIGURACIÓN DE REGISTRO ADCON1 (E/S DIGITALES)	160
A-5.7. PROGRAMA DE VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE TOPES	161
ANEXO A-6. ANÁLISIS DE ELEMENTO MECÁNICOS	165
A-6.1. PROPIEDADES ACERO AISI 1018 LAMINADO EN FRÍO.....	166
A-6.2.- FRACCIÓN DE RESISTENCIA A LA FATIGA (f)	166
A-6.3. PROPIEDADES ACERO AISI 4140 RECOCIDO	167
A-6.4. FACTOR DE SOBRECARGA PARA ENGRANAJES, K_o	167
A-6.5. FACTOR GEOMÉTRICO J	168
A-6.6. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA, K_m	168
A-6.7. FACTOR DINÁMICO, K_v	169
A-6.8. FACTOR DE ESPESOR DEL ARO, K_B :.....	169
A-6.9. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON	170
A-6.10. FACTOR DE DUREZA, CH	170
A-6.11. FACTOR DE CICLOS DE CARGA A FLEXIÓN, Y_N	171
A-6.12.- FACTOR DE CICLOS DE CARGA A LA PICADURA, Z_N	171
A-6.13. ESFUERZO DE CONTACTO PERMISIBLE, S_t	172

A-6.14. ESFUERZO DE CONTACTO PERMISIBLE, S_c	172
ANEXO A-7. FOTOGRAFÍAS.....	173
ANEXO A-8. MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO.....	177
ANEXO A-9. PLANOS ELÉCTRICOS.....	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perforación en madera	2
Figura 2. Perforación en metal	2
Figura 3. Máquina perforadora lineal de ebanistería	4
Figura 4. Sistema de perforación antes de la modernización	6
Figura 5. Sistema de transmisión de movimiento para el posicionamiento vertical.	7
Figura 6. Sistema de topes regulable mediante “mariposa”.	8
Figura 7. Mecanismo para prensar la madera.	9
Figura 8. Diagrama mecánico de elementos que conforman la relación de transmisión.	12
Figura 9. Relación de transmisión de engranajes rectos	14
Figura 10. Engranajes cónicos	15
Figura 11. Engranaje cónico (bisel).	16
Figura 12. Tornillo de potencia	16
Figura 13. Rosca Cuadrada y Rosca ACME, Diseño de Elementos de Máquinas.	17
Figura 14. Fuerza normal a una rosca cuadrada y a una rosca ACME.	18
Figura 15. Diagrama de fuerzas ejercidas sobre un tornillo de potencia.	19
Figura 16. Desmontaje de bancada de la perforadora de madera.	21
Figura 17. Utilización de una pesa electrónica para conocer el peso de la bancada.	22
Figura 18. Mecanismo de transmisión de movimiento para el posicionamiento vertical.	26
Figura 19. Momentos torsionales que actúan sobre el eje	28
Figura 20. Diagrama de esfuerzos del eje.	28
Figura 21. Diagrama de momentos del eje.	28
Figura 22. Dimensiones del eje.	29
Figura 23. Torsión máxima en el eje.	30
Figura 24. Límite de resistencia a la fatiga en barra giratoria (S_e').	31
Figura 25. Factor de superficie (K_a).	31
Figura 26. Factor de tamaño (K_b).	31
Figura 27. Factor de modificación de la carga (K_c).	32
Figura 28. Factor de temperatura (K_d).	32

Figura 29. Factor de confiabilidad (K_e).	33
Figura 30. Enmallado del eje, SolidWorks_Simulation	37
Figura 31. Factor de seguridad, SolidWorks_Simulation.....	38
Figura 32. Relación de transmisión entre engranaje 1 (E1) y engranaje 2 (E2)...	39
Figura 33. Diagrama de cuerpo libre.	40
Figura 34. Diagrama de cuerpo libre, a) engranaje E1, b) engranaje E2.	41
Figura 35. Selección del factor de espesor del aro (K_B), mediante la variable (m_B), según (ANSI/AGMA 2001-D04).....	45
Figura 36. Selección del factor de confiabilidad.	49
Figura 37. Resolución del encoder.....	51
Figura 38. Encoder Incremental y sus respectivas partes que lo conforman	52
Figura 39. Pulsos en canales A, B y Z de un encoder incremental	53
Figura 40. Panel de control y visualización del contador de pulsos, Mypin FH Series	54
Figura 41. Modos de conteo de los pulsos A y B, Contador de Pulsos, Mypin FH Series.....	55
Figura 42. Conexión del servodriver con el contador de pulsos, Contador de Pulsos, Mypin FH Series.....	56
Figura 43. Diagrama Grafcet de la prensa neumática	57
Figura 44. Esquema Neumático.	58
Figura 45. Cilindro de sujeción de madera.	64
Figura 46. Siglas del cilindro neumático DSNU-40-100-PPV	64
Figura 47. Electroválvula seleccionada.	65
Figura 48. Unidad de Mantenimiento	66
Figura 49. Compresor utilizado	68
Figura 50. Pines de conexión del microcontrolador PIC16F876A	72
Figura 51. LCD, Display de Cristal Líquido	75
Figura 52. Simulación del circuito de selección de estándares para el sistema de profundidad.	77
Figura 53. Implementación del circuito en protoboard.....	77
Figura 54. Forma de insertar el microcontrolador en el PICkit2, uControl.....	78
Figura 55. Diseño de placa para selección de estándares del sistema de profundidad.	78

Figura 56. Diagrama de bloques de los sistemas implementados para modernizar la máquina.....	80
Figura 57. Panel de control de los tres sistemas implementados, en milímetros.	82
Figura 58. Panel de control con nomenclatura de estado normal.....	83
Figura 59. Breaker BKN-b.	84
Figura 60. Protecciones del equipo electrónico, Kinco Automation	85
Figura 61. Breaker CAMSCO C60N.....	86
Figura 62. Contactor LS MC-32 ^a .:	87
Figura 63. Diseño de placa para protección de entradas del servodriver.....	88
Figura 64. Breaker STECK SDZ.....	88
Figura 65. Conexión del Master Clear del microcontrolador PIC16F876A	90
Figura 66. Conexión de la protección del oscilador del microcontrolador PIC16F876A.....	90
Figura 67. Servomotor y sus componentes, Kinco Automation	96
Figura 68. Curva característica del par torsional vs velocidad angular, Kinco Automation.	99
Figura 69. Significado de las siglas del servomotor, Kinco Automation.....	99
Figura 70. Servodriver seleccionado para controlar el servomotor, Kinco Automation.	100
Figura 71. Placa del servomotor, Kinco Automation.....	100
Figura 72. Servodriver Kinco y sus respectivos puertos.....	101
Figura 73. Puerto de interfaz X1 del CD420 Servodriver.....	102
Figura 74. Puerto de interfaz X1 del CD420 Servodriver.....	102
Figura 75. Puerto de interfaz X3 del CD420 Servodriver.....	103
Figura 76. Puerto de interfaz de potencia del servodriver	104
Figura 77. Switchs implementados para el control del servomotor.....	110
Figura 78. Instalación del servo driver	111
Figura 79. Posición de instalación del servodriver, Kinco Automation.....	112
Figura 80. Ubicación de los diferentes dispositivos a implementar en el gabinete principal.	112
Figura 81. Conexiones del gabinete del gabinete principal.	113
Figura 82. Ubicación e instalación del gabinete de control.....	113
Figura 83. Adaptación del panel de control a la máquina.	114

Figura 84. Ubicación de los elementos de control y visualización en el panel de control.	115
Figura 85. Conexiones del panel de control.	115
Figura 86. Culminación de conexión e instalación del panel de control.	116
Figura 87. Fin de carrera y sus estados de activación.	117
Figura 88. Montaje fin de carrera.	117
Figura 89. Gabinete neumático.	118
Figura 90. Adaptación del cilindro neumático.	119
Figura 91. Perforación de la varilla.	120
Figura 92. Adaptación de varilla, pasador, mol.	120
Figura 93. Instalación de LEDs en el mol de 10 pines.	121
Figura 94. Máquina perforadora lineal de ebanistería modernizada.	121
Figura 95. Prueba del servomotor para seleccionar modo de funcionamiento. ...	124
Figura 96. Pruebas del posicionamiento vertical realizadas en la máquina.	125
Figura 97. Pruebas del sistema neumático previa instalación.	127
Figura 98. Pruebas realizadas del sistema de profundidad previa instalación. ...	129
Figura 99. Pruebas del sistema de profundidad en la máquina.	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Ventajas y desventajas del sistema de posicionamiento vertical.....	11
Tabla II. Tapa comparativa de datos necesarios y los seleccionados del servomotor.	26
Tabla III. Datos iniciales del eje	29
Tabla IV. Criterios de falla	36
Tabla V. Datos iniciales de los engranes E1 y E2.	39
Tabla VI. Propiedades del materiales de los engranes, acero AISI 4140 recocido	40
Tabla VII. Diagrama Fase - Tiempo.....	57
Tabla VIII. Factor de carga para selección del cilindro neumático.....	58
Tabla IX. Presión de trabajo, Cilindro de doble efecto.....	59
Tabla X. Diagrama presión - fuerza.....	60
Tabla XI. Diámetro del vástago en función de la carrera l y de la Fuera F	61
Tabla XII. Consumo de aire del cilindro para un ciclo.....	62
Tabla XIII. Consumo de aire del tubo para un ciclo	63
Tabla XIV. Datos técnicos de la electroválvula VUVB-M3.....	65
Tabla XV. Datos técnicos de la unidad de mantenimiento	67
Tabla XVI. Profundidad estándar a perforar.	71
Tabla XVII. Cantidad de orificios correspondientes a las distancias a perforar en la varilla	71
Tabla XVIII. Pines de conexión de la LCD.....	76
Tabla XIX. Utilización de pines del microcontrolador 16F876A.	79
Tabla XX. Combinaciones respectivas para salida de estándares de profundidad	80
Tabla XXI. Parámetros técnicos del breaker LS BKN-b.	85
Tabla XXII. Parámetros técnicos del breaker CAMSCO C60N.....	86
Tabla XXIII. Parámetros técnicos del contactor LS MC-32a.....	87
Tabla XXIV. Parámetros técnicos del breaker STECK NBR NM 60898.	89
Tabla XXV. Valores recomendados para la selección del Oscilador de Crystal para el microcontrolador PIC 16F876A.....	91
Tabla XXVI. Señales digitales de control y aviso al operario de la máquina.	94

Tabla XXVII. Características técnicas del servomotor 80STM002430-20P7 XINJE	97
Tabla XXVIII. Características técnicas del servomotor 110SJT-M020E GSK	98
Tabla XXIX. Características técnicas del servomotor KINCO	98
Tabla XXX. Configuración de entradas del servodriver	105
Tabla XXXI. Activación automática del servodriver	106
Tabla XXXII. Modelos de operación del servodriver	107
Tabla XXXIII. Configuración del modo de operación	108
Tabla XXXIV. Control de multi-velocidad	108
Tabla XXXV. Configuración de multi-velocidades	109
Tabla XXXVI. Parámetro para guardar cambio de configuración	110
Tabla XXXVII. Mangueras utilizadas en el sistema neumático	119
Tabla XXXVIII. Pruebas realizadas en las acometidas eléctricas de la fábrica ..	122
Tabla XXXIX. Alimentación requerida para los dispositivos que se implementan	123
Tabla XL. Componentes del sistema de posicionamiento vertical	123
Tabla XLI. Pruebas de funcionamiento del posicionamiento vertical	125
Tabla XLII. Componentes del sistema neumático	127
Tabla XLIII. Pruebas de funcionamiento del sistema neumático	127
Tabla XLIV. Componentes del sistema de profundidad	129
Tabla XLV. Pruebas de funcionamiento del sistema de profundidad	130
Tabla XLVI. Pasos para perforar la madera mediante la modernización realizada en la máquina	131
Tabla XLVII. Pruebas de calibración de los sistemas implementados	132
Tabla XLVIII. Optimización del tiempo de trabajo al perforar la madera	134
Tabla XLIX. Optimización del tiempo de trabajo al realizar la perforaciones requeridas para construir cada mueble	135
Tabla L. Cantidad de materia prima requerida para construir cada mueble	135
Tabla LI. Optimización de materia prima requerida para construir cada mueble en veinte días laborables	136

CAPÍTULO I

1. DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA PERFORADORA DE EBANISTERÍA

La ebanistería es una especialización de la carpintería orientada a la construcción de muebles. El término procede de un tipo de madera, el ébano, considerada preciosa desde la antigüedad, procedente de un árbol de origen africano, de madera dura y pesada, negra en el centro y blanca en la corteza. (wikipedia, 2014).

La ebanistería se distingue de la carpintería en el hecho de producir muebles más elaborados, mediante técnicas nuevas y complementarias para la manufactura de diversas piezas, tales como la marquetería, la talla, el torneado, entre otras técnicas, en conclusión la ebanistería busca desarrollar muebles de mejor calidad y diseño. Este es el oficio que acompaña el proceso de diseño del mobiliario, ya sea comercial o doméstico.

Una de las máquinas más utilizadas en la industria de la madera elaborada es la perforadora horizontal, la cual ha evolucionado a través de los tiempos, muchas de ellas en forma artesanal o industrial, esta máquina es muy útil en el proceso de construcción de puertas, ventanas y muebles de cocina.

Las máquinas han sido automatizadas en gran medida, de manera que esta perforadora es adaptada en forma horizontal para su mayor desempeño en el trabajo con la madera, a diferencia de sus similares verticales aplicadas en mayor medida a metales.

La máquina perforadora lineal de ebanistería es una máquina considerada de alta precisión en la construcción de muebles, ya que su función principal es realizar el orificio de las partes que posteriormente son unidas con un tarugo (pedazo de madera corto y grueso); por lo tanto, al perforar erróneamente, se pierde tanto materia prima como tiempo de producción.

La perforadora lineal utiliza un taladro, el cual es una máquina herramienta cuya principal función es realizar orificios, ya se lleve el trabajo a nivel industrial, mecánico, maderero e incluso hogareño.

De todos los procesos de perforación, el taladrado es considerado como uno de los procesos más importantes, puesto que es una de las operaciones más sencillas de realizar y necesarias en la mayoría de componentes que se fabrica.

En la actualidad existe gran variedad de taladros, como se puede apreciar en la *Figura 1 y 2*; donde depende el tipo de perforación y el material que se va a utilizar.



Figura 1. Perforación en madera
Fuente: (EROSKI, sf)



Figura 2. Perforación en metal

Fuente: http://es.123rf.com/photo_10018552_perforacion-en-un-bloque-de-metal.html

El presente capítulo permite conocer de manera rápida las perforadoras existentes tanto en el campo de metalmecánica como en la ebanistería, llegando a la máquina perforadora lineal de ebanistería, objeto de este estudio; sus partes componentes, aditamentos principales, dispositivos de sujeción y operaciones básicas que se puede realizar.

1.1. INTRODUCCIÓN

En el campo de las máquinas herramientas de perforación existe una variedad de tipos debido a las múltiples condiciones en las que se usan los taladros, se pueden clasificar de acuerdo a su alimentación, su función y su soporte.

Por su alimentación existen:

- Taladro Eléctrico
- Taladro Hidráulico
- Taladro Neumático

Por su función existen:

- Taladro Percutor
- Taladro Pedestal
- Taladro Fresador

Por su soporte:

- Taladro Magnéticos
- Taladro de Columna
- Taladro de Mano

1.2. MÁQUINA PERFORADORA DE EBANISTERÍA

Básicamente los taladros pueden ser de dos tipos: el taladro de mano que es portátil y el taladro de sobremesa que permite bajar fácilmente la broca perpendicularmente al material que se desea perforar, el cual está fijado a un banco de trabajo, (Wikipedia, 2014)

Según el material que se quiere perforar, la broca a utilizar varía; hay brocas para metal, el hormigón, la madera o la piedra.

Los taladros llevan un regulador de velocidad, despacio para materiales duros y rápido para materiales blandos.

1.2.1. PERFORADORA DE MANO

La perforadora de mano es una herramienta que se utiliza para perforar diversos materiales. Los orificios se realizan por un proceso de arranque de material mediante herramientas llamadas brocas.

1.2.2. PERFORADORA EN BANCO

La perforadora en banco es una máquina electromecánica cuya función principal consiste en hacer orificios o cortes con moldes en cualquier tipo de material, ya sea metal, madera, plástico, etc, (TALADRO DE COLUMNA, 2008).



Figura 3. Máquina perforadora lineal de ebanistería

Fuente: Autor

1.2.3. PROCEDIMIENTO PARA PERFORAR LA MADERA

En ebanistería, las uniones mediante tarugos son una alternativa rápida y sencilla a uniones con pegamento, (Robert Bosch GmbH, sf).

A continuación se describen pasos para conseguir perforaciones resistentes y estéticas:

- 1) Utilizar una broca para madera con punta centradora. Para orificios normales con un diámetro pequeño o mediano se utiliza una broca helicoidal. Para orificios poco profundos con un diámetro hasta 30 mm, la broca fresadora para madera es la más adecuada.
- 2) Utilizar siempre brocas para madera. Estos cuentan con una rosca de paso grande y una punta pronunciada.
- 3) Se obtiene mejores resultados si se realiza la perforación longitudinalmente con respecto a las fibras de madera.
- 4) Fijar la pieza de trabajo para que no resbale al perforar.

1.2.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD AL PERFORAR LA MADERA

Las medidas de seguridad para perforar la madera según (BRICO-TODO, sf) son:

- 1.- Proteger la vista con gafas adecuadas al existir el riesgo de que una astilla o viruta se introduzca.
- 2.- Utilizar la broca adecuada para la perforación del material a trabajar, pues de lo contrario, aparte de que no se realiza bien el trabajo, se puede tener un accidente.
- 3.- No forzar en exceso la máquina y mantener siempre sujeta durante la perforación.
- 4.- Sujetar firmemente la pieza a trabajar, ya que al ser ligera puede producir un efecto de tornillo, el cual puede dañar las manos u otra parte del cuerpo.

5.- Por último, no conviene olvidar las medidas de seguridad comunes a todos los aparatos eléctricos, como son:

- No instalar cerca de fuentes de humedad o calor.
- No tirar del cable de conexión.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE PERFORACIÓN

El presente proyecto se orienta a la modernización de ciertos procesos de la máquina perforadora lineal de ebanistería, tales son el posicionamiento vertical de la mesa, la sujeción de la madera a la mesa mediante una prensa y el control de profundidad de perforación mediante un tope mecánico. A continuación se describe el funcionamiento del sistema de perforación antiguo.



Figura 4. Sistema de perforación antes de la modernización

Fuente: Autor

1.3.1. POSICIONAMIENTO VERTICAL DE LA MESA ANTIGUO

En el caso del posicionamiento vertical de la mesa, el movimiento se da mediante un sistema de manivela, que a través de un eje acoplado a un bisel transmite fuerza para mover un tornillo de potencia que moviliza la mesa.

Cabe recalcar que la distancia a recorrer es de 15 cm, teniendo en cuenta que por seis vueltas de manivela se avanza 1 cm, aplicando una fuerza mínima de 1,33[Nm]; además la máquina carece de una regla graduada en lo que corresponde a la altura de la mesa, por lo que se debe medir lo requerido mediante la utilización de un flexómetro, todo este proceso toma al operario alrededor de 5 minutos.

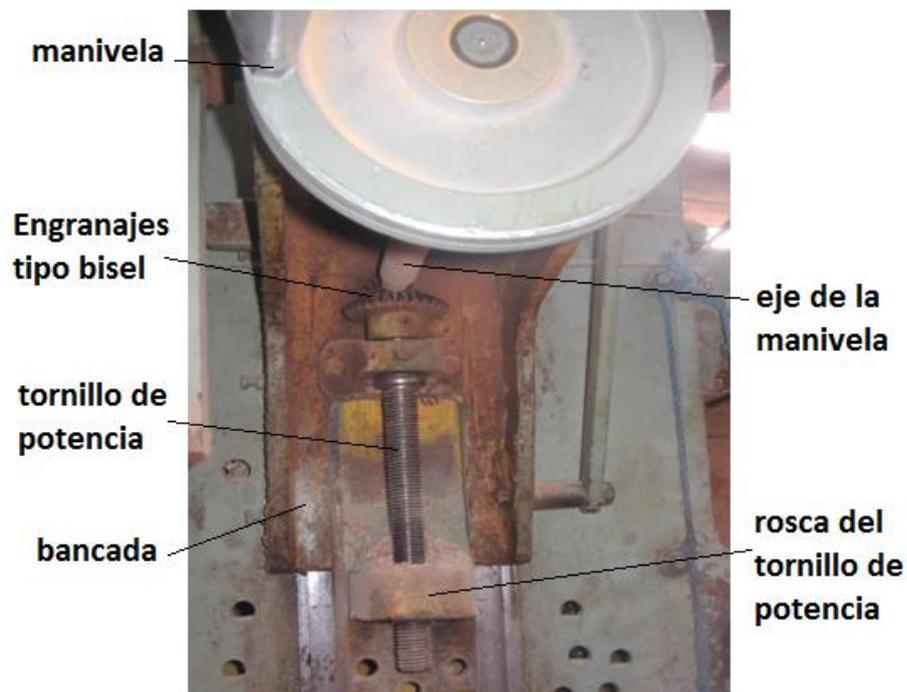


Figura 5. Sistema de transmisión de movimiento para el posicionamiento vertical.

Fuente: Autor.

1.3.2. SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD ANTIGUO

En el caso de control de profundidad de perforación se utiliza un tope mecánico, este se realiza mediante una varilla que es regulable mediante una “mariposa”(seguro mecánico), para este control el operario debe sacar la varilla, medir la distancia con un flexómetro, volver a ingresar en su eje y ajustar mediante la “mariposa” a la distancia requerida para la perforación.

El operario empuja el accionamiento mecánico de profundidad hasta que la varilla entre en contacto con el tope, cabe recalcar que a veces esta “mariposa” cede, por lo que la distancia medida ya no es la correcta, por tanto la perforación es errónea.



Figura 6. Sistema de topes regulable mediante “mariposa”.

Fuente: Autor

1.3.3. SISTEMA DE PRENSA ANTIGUA

En el caso de la sujeción de la madera a la mesa, este es un proceso puramente manual en donde el operario utiliza un sistema de manivela.

Este sistema de manivela está conformado por tres partes, dos de ellas unidas y regulables mediante mariposas ya para su altitud como alcance, y su última parte se encuentra en el extremo la cual mediante un tornillo sin fin permite proporcionar

presión para fijar el madero a la mesa, cabe recalcar que se debe ejercer una fuerza considerable para que el madero no se mueva de su posición y no se realice una perforación errónea.



Figura 7. Mecanismo para prensar la madera.

Fuente: Autor

CAPITULO II

2. CÁLCULO DE FUERZA Y CONTROL DE SISTEMAS

Este capítulo presenta los cálculos y el control realizado a los tres sistemas implementados en la máquina perforadora lineal de ebanistería, así como la selección de alternativas adecuadas y fundamentación matemática.

2.1. POSICIONAMIENTO VERTICAL

El posicionamiento vertical dentro de la modernización del taladro horizontal de ebanistería juega un papel importante, ya que este sistema es el encargado de optimizar el tiempo de trabajo al perforar la madera, en este capítulo se amplía la información concerniente al tema.

2.1.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL POSICIONAMIENTO VERTICAL

En el sistema de posicionamiento vertical se toman consideraciones elementales que benefician tanto al operario como al proceso de perforar la madera, entre los principales aspectos está la velocidad de movimiento de la mesa, la cual mediante pruebas y ajustes se estima la adecuada, esta información se encuentra en el *capítulo 5*, las protecciones contra polvo, ubicación de panel de control de fácil alcance y manipulación para el operario, todo esto salvaguardando la integridad del operario gracias a la prensa neumática que asegura el madero a la mesa de la bancada.

2.1.2. POSICIONAMIENTO VERTICAL

Tomando en cuenta lo argumentado en el capítulo anterior se implementa un servomotor que reemplaza a la manivela, el cual está ubicado bajo la bancada o mesa de perforación, éste transmite su fuerza hacia el bisel a través de un sistema de engranes, movimiento activado mediante un pulsador que el operario tiene a la vista, se aclara que el operario tiene la facultad de elegir la velocidad de ascenso o descenso de la mesa, esto mediante dos perillas tipo switches.

Tabla I. Ventajas y desventajas del sistema de posicionamiento vertical

	Ventajas	Desventajas
Sistema de posicionamiento vertical	<ul style="list-style-type: none">• Optimización del tiempo de trabajo.• Minimiza el desgaste físico que realiza el operario.• Protección al operario.	<ul style="list-style-type: none">• Falta de mantenimiento

Fuente: Autor

2.1.3. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

La relación de transmisión es una relación entre las velocidades de rotación de dos engranajes enlazados entre sí, cuya relación es debida por la diferencia de diámetros de los dos engranes, que como resultado da una diferencia entre las velocidades de rotación de ambos ejes, (Wikipedia, 2014).

Los elementos mecánicos que son expuestos ya se disponen en la máquina, por lo que se procede a tomar datos para el respectivo análisis.

2.1.3.1. Diagrama de relación de transmisión:

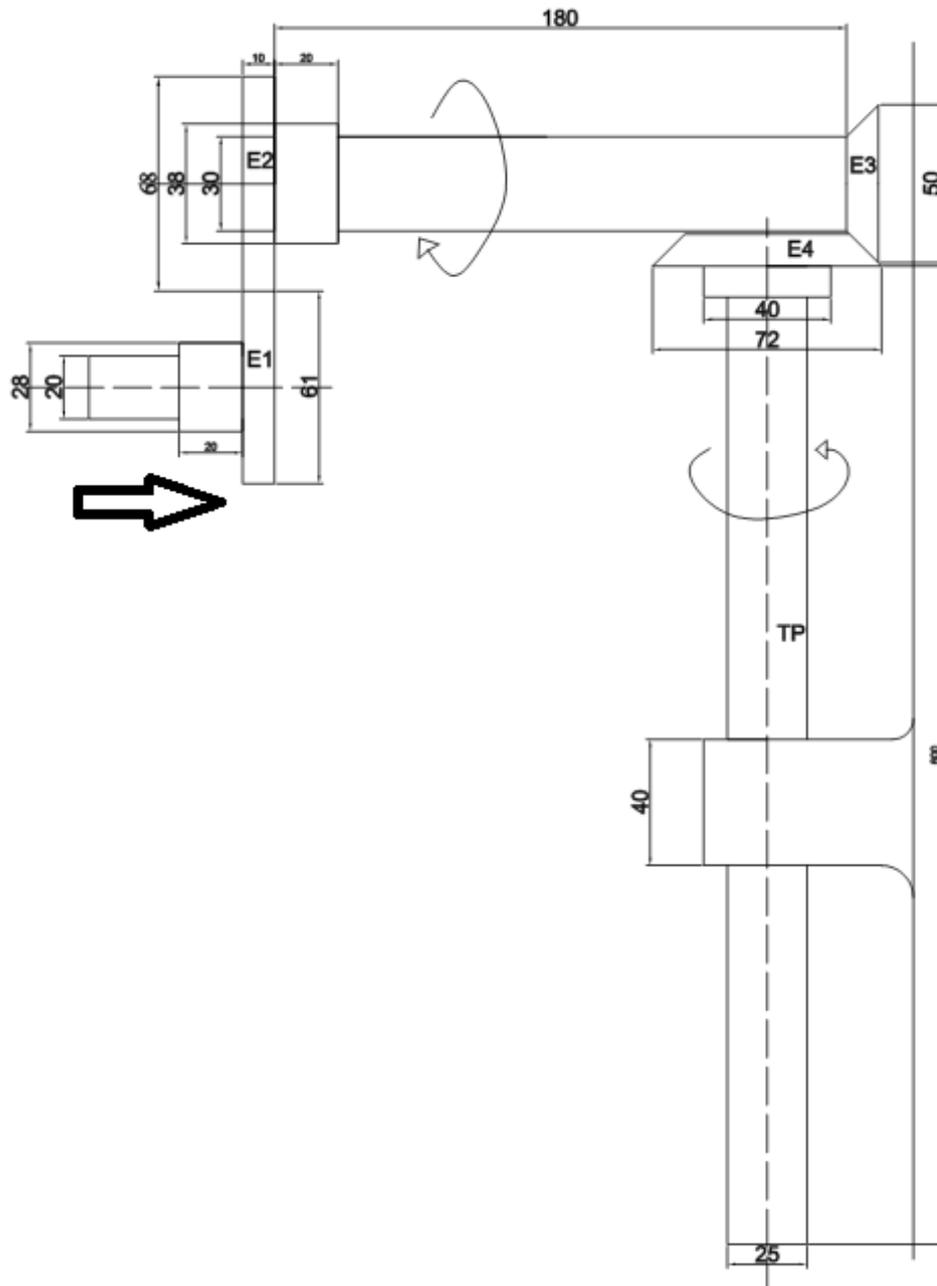


Figura 8. Diagrama mecánico de elementos que conforman la relación de transmisión.

Fuente: Autor.

2.1.3.1.1. Descripción de elementos

E -> engranaje

TP -> tornillo de potencia

- E1:** Paso diametral (D): 60,45 [mm]
Número de dientes (Z): 32 dientes
Módulo: 2mm
Ancho de cara: 10 mm
- E2:** Paso diametral (D): 67,5 [mm]
Número de dientes (Z): 36 dientes
Módulo: 2mm
Ancho de cara: 10 mm
- E3:** Paso diametral (D): 50 [mm]
Número de dientes (Z): 15 dientes
Módulo: 2,5[mm]
Ancho de cara: 15 [mm]
- E4:** Paso diametral (D): 72 [mm]
Número de dientes (Z): 30 dientes
Módulo: 2,5[mm]
Ancho de cara: 15 [mm]
- TP:** Diámetro mayor nominal (D): 1pulg = 25,4[mm]
Roscas por pulgada (n): 5
Paso (p): $p = \frac{1}{n} : 0,20[\text{pulg}] = 5,08[\text{mm}]$
Diámetro mínimo (Dr): 0,75[pulg] = 19,05[mm]
Diámetro mínimo de paso (Dp): 0,87 [pulg] = 22,1[mm]
Área al esfuerzo de tensión (At): 0,517 [pulg²] = 333,5[mm²]
Área al esfuerzo cortante (As): 1,493 [pulg²] = 963,2[mm²]
Ángulo de avance (λ): 4,2°

Los datos encontrados para el tornillo de potencia (TP), están sustentados en el *Anexo A-1*, cuyo requisito indispensable es el diámetro mayor nominal (D) equivalente a 1".

La relación de transmisión consta de engranajes rectos, engranajes cónicos y de un tornillo de potencia con su respectiva rosca; a continuación se hará una intrusión sobre estas partes que conforman el mecanismo:

2.1.3.2. Engranajes rectos:

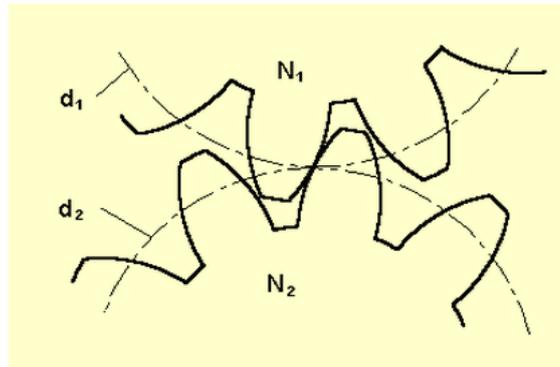


Figura 9. Relación de transmisión de engranajes rectos

Fuente: (Roberto de Diego, sf)

La ecuación que nos permite relacionar los engranajes de dientes rectos es la siguiente:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2-2)$$

Donde:

- i es la relación de transmisión
- ω_1 es la velocidad angular de entrada
- ω_2 es la velocidad angular de salida transmitida
- Z_1 es el número de dientes del engranaje de entrada.
- Z_2 es el número de dientes del engranaje de salida.
- D_1 es el diámetro del engranaje de entrada
- D_2 es el diámetro del engranaje de salida
- n_1 es el número de revoluciones del engranaje de entrada
- n_2 es el número de revoluciones del engranaje de salida

Es importante aclarar que la velocidad angular es una medida de la velocidad de rotación, que se define como el ángulo girado por una unidad de tiempo.

2.1.3.3. Par de fuerzas y potencia transmitida

La potencia que transmite un eje de transmisión en función del par de fuerzas y de su velocidad angular de giro, se define mediante esta expresión matemática:

$$P = T \cdot \omega \quad (2-3)$$

Donde:

- P es la potencia transmitida por el eje dado en W (vatios)
- T es el par de fuerzas que desarrolla dado en N·m
- ω es la velocidad angular a la que gira el eje dado en rpm

Según Shigley, una transmisión con un eje de entrada del movimiento Eje 1 y un eje de salida Eje 2, y que la potencia de entrada P_1 y la de salida P_2 son iguales al considerarse nulas las pérdidas, se produce en la transmisión (rendimiento = 1), se cumple lo siguiente:

$$P_1 = T_1 \cdot \omega_1$$

$$P_2 = T_2 \cdot \omega_2$$

Por lo tanto:

$$P_1 = P_2 \quad \Rightarrow \quad T_1 \cdot \omega_1 = T_2 \cdot \omega_2 \quad (2-4)$$

2.1.3.4. Engranajes cónicos

Los engranajes cónicos formados por ruedas dentadas se diferencian de los engranajes rectos por el ángulo de 45° que forman entre sí. Los engranajes forman un tronco de cono lo que permite transmitir el movimiento entre dos ejes que forman un ángulo recto.

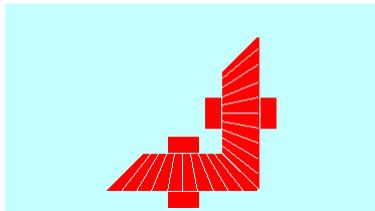


Figura 10. Engranajes cónicos

Fuente: www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/mecanica/elementos_de_maquinas/engranaje%20conico.htm



Figura 11. Engranaje cónico (bisel).

Fuente: Autor

2.1.3.5. Tornillo de potencia

Los tornillos de potencia permiten convertir movimiento rotatorio en movimiento lineal, y ejercen la fuerza necesaria para mover un elemento de máquina a lo largo de una trayectoria deseada, mediante un tornillo y una tuerca; en este caso la tuerca se soporta mientras se traslada el tornillo.

Estos dispositivos se suelen emplear en las siguientes aplicaciones:

- Ejercer fuerzas de gran magnitud
- Obtener un posicionamiento preciso de un movimiento axial

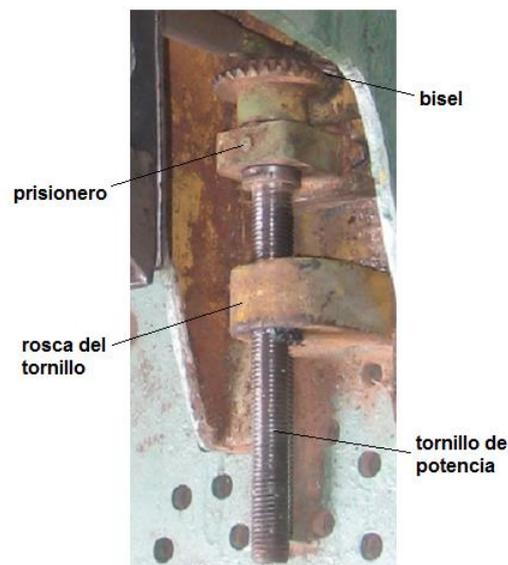


Figura 12. Tornillo de potencia

Fuente: Autor.

Los tornillos de potencia son utilizados exclusivamente para la transformación de movimiento y la transmisión de cargas, a diferencia de tornillos ordinarios que se dedican a la unión de piezas.

2.1.3.5.1. Formas de Roscas para tornillo de potencia, Cuadrada y ACME

La forma de la rosca de los elementos engranados es distinta; los principales tipos de roscas que se emplean en los sistemas de transmisión son:

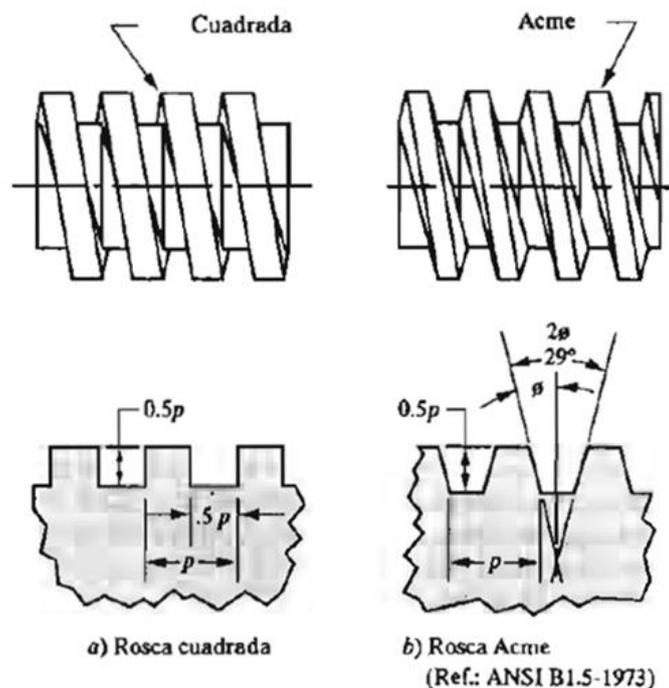


Figura 13. Rosca Cuadrada y Rosca ACME, Diseño de Elementos de Máquinas.

Fuente: (Mott, 2006)

- **Rosca cuadrada:** La fricción por deslizamiento es eficiente, pero presenta baja ventaja mecánica y es difícil de maquinar, lo que conlleva a un elevado costo.
- **Rosca ACME:** Es utilizada en las máquinas-herramienta, la más común y fácil de maquinar.

La diferencia entre las roscas ACME y las cuadradas es la presencia del ángulo de rosca Φ ; como se observa en la *Figura 2.12 (b)*, donde $2\Phi=29^\circ$, por lo tanto corresponde $\Phi=14,5^\circ$.

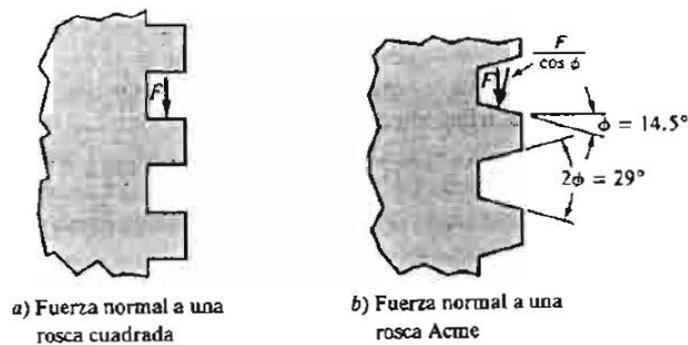


Figura 14. Fuerza normal a una rosca cuadrada y a una rosca ACME.

Fuente: Robert L. Mott, P.E. Editorial: Pearson Educación.

Esto cambia la dirección de acción de las fuerzas sobre la rosca, por lo que es necesario sustituir a F por $F/\cos\phi$; entonces en el análisis del par torsional para mover una carga se sustituye lo antes mencionado:

2.1.3.5.2. Factores para mover una carga

Es fundamental conocer el par torsional para subir una carga, la cual se aplica a la tuerca del tornillo de potencia para levantar la bancada de la máquina.

Coeficiente de fricción (f)

El coeficiente de fricción depende de los materiales y la forma de lubricar el tornillo; para tornillos de acero bien lubricados que trabajan en tuercas de acero, se determina un valor de $f = 0,15$. (Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott, P.E. Editorial: Pearson Educación, pág 701).

Ángulo de inclinación (λ)

Un factor importante en el análisis del par torsional es el ángulo de inclinación de la rosca, a la cual se le denomina ángulo de avance (λ), este es el ángulo que forma la tangente a la hélice de la rosca y el plano transversal al eje del tornillo, el valor en este tornillo de potencia es de $\lambda = 4,2^\circ$, dato que se obtiene mediante la siguiente fórmula, y con los datos de la Tabla del Anexo A-1.

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi \cdot D_p} \quad (2-5)$$

Donde: λ , es el ángulo de avance

$L = p$, es el avance, distancia que avanza en una revolución

D_p , es el diámetro de paso

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{5,08}{\pi \cdot (22,1)} \quad L = 5,08[\text{mm}]$$

$$\lambda = 4,2^\circ \quad D_p = 22,1[\text{mm}]$$

En la mayoría de los casos de tornillo con filete sencillo, el ángulo de avance es bastante pequeño y la fuerza de fricción es suficientemente grande para oponerse a la carga y evitar que se resbale por el plano. A esa rosca se le denomina autoasegurante, (rosca con seguro) y es una característica favorable.

En forma cuantitativa, la condición que debe cumplirse para ser autoasegurante es:

$$f > \tan \lambda \quad (2-6)$$

$$0,15 > \tan 5^\circ$$

$f =$ coeficiente de fricción

$$0,15 > 0,087$$

$\lambda =$ ángulo de avance

Por lo tanto sí cumple la condición de autoaseguramiento.

Análisis de fuerzas en un tornillo de potencia ACME

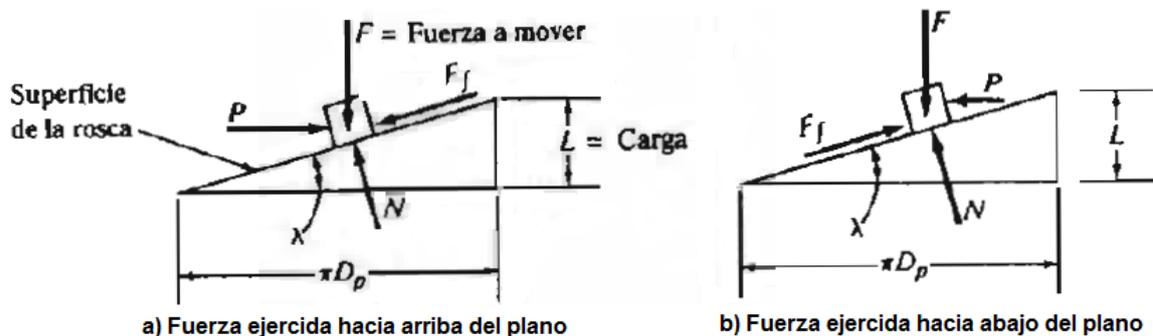


Figura 15. Diagrama de fuerzas ejercidas sobre un tornillo de potencia.

Fuente: (Mott, 2006)

2.1.3.5.3. Par torsional para subir una carga (Tu) y para bajar una carga (Td)

$$Tu = \frac{F.Dp}{2} \left[\frac{(L + \pi.f.Dp)}{(\pi.Dp - f.L)} \right] \quad (2-7)$$

$$Td = \frac{F.Dp}{2} \left[\frac{(\pi.f.Dp - L)}{(\pi.Dp + f.L)} \right] \quad (2-8)$$

Donde:

- F es la fuerza a mover
- P es la fuerza requerida para mover la carga
- f es la fuerza de fricción
- N es la fuerza normal
- λ es el ángulo de avance
- Dp es el diámetro de paso
- L es el avance, distancia que avanza en una revolución

Formas alternativas de las ecuaciones del Par torsional para subir una carga (Tu) y para bajar una carga (Td)

Las ecuaciones (2-6) y (2-7) se pueden expresar en función del ángulo de avance, no del avance y el diámetro de paso, donde $(\pi.Dp)$ = circunferencia de la línea de paso del tornillo, por lo tanto:

$$\tan \lambda = \frac{L}{(\pi.Dp)} \quad (2-9)$$

Realizando esta sustitución el par torsional necesario para subir una carga (Tu) y para bajar una carga (Td) es:

$$Tu = \frac{F.Dp}{2} \left[\frac{(\cos\Phi.tan\lambda + f)}{(\cos\Phi - f.tan\lambda)} \right] \quad (2-10)$$

$$Td = \frac{F.Dp}{2} \left[\frac{(f - \cos\Phi.tan\lambda)}{(\cos\Phi + f.tan\lambda)} \right] \quad (2-11)$$

Donde:

- F es la fuerza a mover
- D_p es el diámetro de paso
- Φ es el ángulo de rosca
- f es la fuerza de fricción
- λ es el ángulo de avance

2.1.4. CÁLCULO DE FUERZAS RADIALES

El factor principal para tomar en cuenta estos cálculos, es el peso de la bancada, para conocer el mismo se procede a separar la bancada que está sujeta mediante pernos a la máquina, como se puede apreciar en la *Figura 17*; esto se realiza porque la máquina es de fabricación artesanal.



Figura 16. Desmontaje de bancada de la perforadora de madera.

Fuente: Autor

Un vez separada la bancada, se procede a pesar mediante una pesa electrónica, cuyo valor corresponde a 259,2 [lb], como se puede apreciar en la *Figura 18*.

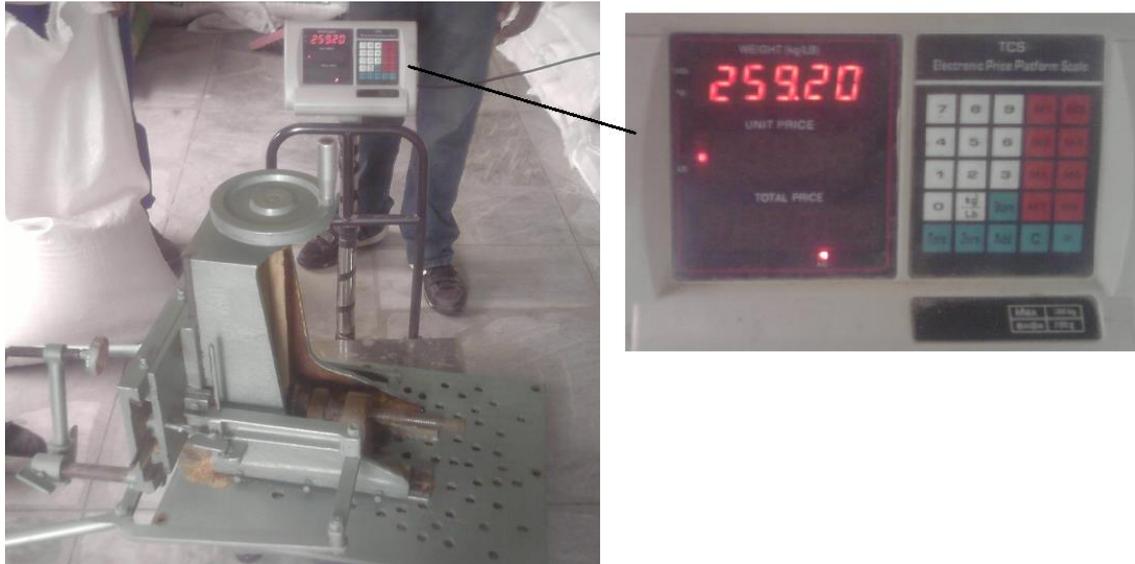


Figura 17. Utilización de una pesa electrónica para conocer el peso de la bancada.

Fuente: Autor

Para seleccionar el motor, es necesario calcular la fuerza que ejerce la bancada sobre el tornillo de potencia:

Peso máximo bancada:

$$\text{Peso (W)} = 259,2 \text{ [lb]} \quad \rightarrow \quad 117,57 \text{ [Kg]}$$

Ec.2. 1: Peso máximo bancada

$$F = m \cdot a \tag{2-1}$$

$$F = (117,57 \text{ [Kg]}) \cdot (10 \text{ m/s}^2)$$

$$F = 1175,7 \text{ [N]}$$

Donde:

F , es la fuerza

m , es la masa del cuerpo

a , es la gravedad

Una vez obtenido este valor, se procede a calcular todas las fuerzas necesarias para que el posicionamiento vertical opere sin problema, en donde se explica la selección del servomotor, así como de sus características.

2.1.5. CÁLCULOS DE RELACIÓN DE TRANSMISIÓN PARA SELECCIONAR EL SERVOMOTOR

2.1.5.1. Par torsional para subir una carga

$$Tu = \frac{F \cdot Dp}{2} \left[\frac{(\cos \Phi \cdot \tan \lambda + f)}{(\cos \Phi - f \cdot \tan \lambda)} \right] \quad (2-10)$$

$$Tu = \frac{(1175,7[N])(22,1[mm])}{2} \left[\frac{(\cos 14,5^\circ)(\tan 4,2^\circ) + 0,15}{(\cos 14,5^\circ) - (0,15)(\tan 4,2^\circ)} \right] \quad F = 1175,7 [N]$$

$$Tu = 12991,485 [N \cdot mm] \left[\frac{(0,968)(0,073) + 0,15}{(0,968) - (0,15)(0,073)} \right] \quad Dp = 22,1 [mm]$$

$$Tu = 12991,485 [N \cdot mm] \left[\frac{0,221}{0,957} \right] \quad \Phi = 14,5^\circ$$

$$Tu = 3001,28 [N \cdot mm] = 3,00 [Nm] \quad \lambda = 4,2^\circ$$

$$f = 0,15$$

2.1.5.2. Par torsional para bajar una carga

$$Td = \frac{F \cdot Dp}{2} \left[\frac{(f - \cos \Phi \cdot \tan \lambda)}{(\cos \Phi + f \cdot \tan \lambda)} \right] \quad (2-11)$$

$$Td = \frac{(1175,7 [N])(22,1[mm])}{2} \left[\frac{0,15 - (\cos 14,5^\circ)(\tan 4,2^\circ)}{(\cos 14,5^\circ) + (0,15)(\tan 4,2^\circ)} \right]$$

$$Td = 12991,485 [N \cdot mm] \left[\frac{(0,15) - (0,968)(0,073)}{(0,968) + (0,15)(0,073)} \right]$$

$$Td = 12991,485 [N \cdot mm] \left[\frac{0,0793}{0,978} \right]$$

$$Td = 1053,4 [N \cdot mm] = 1,05 [Nm]$$

Para la selección de este servomotor se considera el par torsional necesario para subir una carga y la velocidad de giro necesaria para movilizarse:

- **Velocidad lineal:**

Tornillo = 600 mm

Tiempo = 20seg como mínimo

$$V = \frac{600 [mm]}{44 \text{ seg}} = 13,5 \text{ mm/seg}$$

El tornillo de potencia ACME es de 1" de diámetro, con cinco roscas por pulgada, entonces la carga se mueve $\frac{1}{5}$ de pulgada en cada revolución, entonces la velocidad de giro es:

$$\frac{1}{5} [pulg] = 0,2 [pulg] = 5,08 [mm]$$

$$w = \frac{13,5 [mm]}{1 [seg]} \cdot \frac{1 [rev]}{5,08 [mm]} \cdot \frac{60 [seg]}{1 \text{ min}} = 160 \text{ rpm}$$

2.1.5.3. Relación de transmisión entre engranajes E3 y E4:

$$i = \frac{\omega_3}{\omega_4} = \frac{D_4}{D_3} = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{n_3}{n_4} \quad (2-2)$$

- **Velocidad angular:**

$$\frac{w_3}{w_4} = \frac{Z_4}{Z_3} \quad Z_3 = 15 \text{ dientes}$$

$$w_3 = \frac{Z_4 \cdot w_4}{Z_3} \quad w_4 = 160 [rpm]$$

$$w_3 = \frac{(30) \cdot (160 [rpm])}{15} \quad Z_4 = 30 \text{ dientes}$$

$$w_3 = 320 [rpm] \quad w_3 = ?$$

- **Par torsional:**

$$T_3 \cdot \omega_3 = T_4 \cdot \omega_4 \quad (2-4)$$

$$T3 = \frac{T4 \cdot w4}{w3}$$

$$T3 = \frac{(3,00[Nm]) \cdot (160[rpm])}{320[rpm]}$$

$$T3 = 1,5 [Nm]$$

$$T4 = 3,00 [Nm]$$

$$w3 = 320 [rpm]$$

$$w4 = 160 [rpm]$$

$$T3 = ?$$

2.1.5.4. Relación de transmisión entre engranajes E1 Y E2:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2-2)$$

- **Velocidad angular:**

$$\frac{w1}{w2} = \frac{Z2}{Z1}$$

$$w1 = \frac{Z2 \cdot w2}{Z1}$$

$$w1 = \frac{(36) \cdot (320[rpm])}{32}$$

$$w1 = 360 [rpm]$$

$$Z1 = 32 \text{ dientes}$$

$$w2 = 320 [rpm]$$

$$Z2 = 36 \text{ dientes}$$

$$w1 = ?$$

- **Par torsional:**

$$T1 \cdot \omega_1 = T2 \cdot \omega_2 \quad (2-4)$$

$$T1 \cdot \omega_1 = T2 \cdot \omega_2$$

$$T1 = \frac{T2 \cdot w2}{w1}$$

$$T1 = \frac{(1,5[Nm]) \cdot (320[rpm])}{360[rpm]}$$

$$T1 = 1,33 [Nm]$$

$$T2 = 1,5 [Nm]$$

$$w1 = 360 [rpm]$$

$$w2 = 320 [rpm]$$

$$T1 = ?$$

Como se puede observar **T1** muestra el par torsional mínimo que debe tener el servomotor, y **w1** muestra la velocidad angular mínima del mismo, datos fundamentales para la selección del servomotor.

La *Tabla 2* permite comparar los datos necesarios para que trabaje el sistema de posicionamiento vertical con los datos del servomotor seleccionado, cumpliendo el dispositivo con lo requerido.

Tabla II. Tapa comparativa de datos necesarios y los seleccionados del servomotor.

	Par torsional [Nm]	Velocidad angular [rpm]
Necesario	1,33	360
Motor seleccionado	2,39	3000

Fuente: Autor

2.1.6. ANÁLISIS DEL EJE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

En el sistema de transmisión de movimiento, como se indica en la *Figura 19*, se puede apreciar que el componente expuesto al mayor esfuerzo es el eje de transmisión, por lo tanto se realiza un análisis de éste para llegar a conocer el factor de seguridad, y así comprobar su resistencia.

Los datos con los cuales se realizan los cálculos son los valores máximos tanto de par torsional y velocidad angular, que el servomotor entrega, por consecuencia tomando como referencia el *Figura 2.14*, los valores a utilizar son los siguientes:

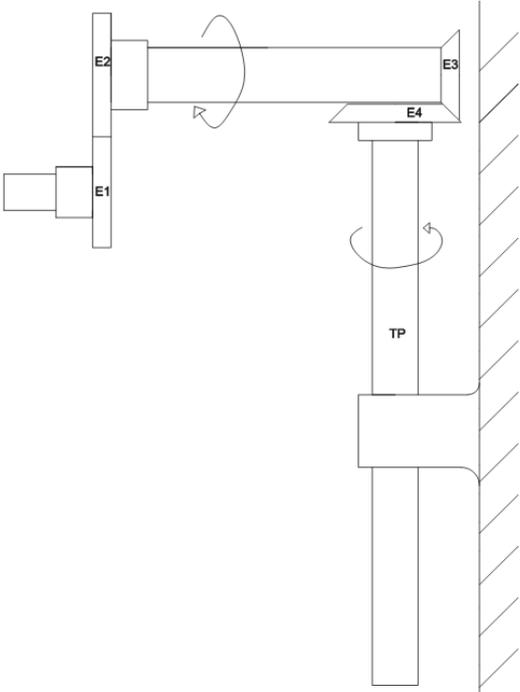


Figura 18. Mecanismo de trasmisión de movimiento para el posicionamiento vertical.

Fuente: Autor.

2.1.6.1. Relación de transmisión entre engranajes E1 Y E2:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2-2)$$

- **Velocidad angular:**

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{Z_2}{Z_1} \quad Z_1 = 32 \text{ dientes}$$

$$w_2 = \frac{Z_1 \cdot w_1}{Z_2} \quad w_1 = 3000 \text{ [rpm]}$$

$$w_2 = \frac{(32) \cdot (3000 \text{ [rpm]})}{36} \quad Z_2 = 36 \text{ dientes}$$

$$w_1 = 2666,66 \text{ [rpm]} \quad w_2 = ?$$

- **Par torsional:**

El par torsional proporcionado por el motor se toma en referencia por la Curva característica del Par torsional vs Velocidad angular, *Figura 66*, del *capítulo 3*.

- **Par torsional continuo:**

$$T_1 \cdot \omega_1 = T_2 \cdot \omega_2 \quad (2-4)$$

$$T_1 \cdot \omega_1 = T_2 \cdot \omega_2 \quad T_1 = 2,61 \text{ [Nm]}$$

$$T_2 = \frac{T_1 \cdot w_1}{w_2} \quad w_1 = 3000 \text{ [rpm]}$$

$$T_2 = \frac{(2,61 \text{ [Nm]}) \cdot (3000 \text{ [rpm]})}{2666,66 \text{ [rpm]}} \quad w_2 = 2666,66 \text{ [rpm]}$$

$$T_2 = 2,93 \text{ [Nm]} \quad T_2 = ?$$

- **Par torsional instantáneo:**

$$T_1 \cdot \omega_1 = T_2 \cdot \omega_2 \quad T_1 = 7,83 \text{ [Nm]}$$

$$T_2 = \frac{T_1 \cdot w_1}{w_2} \quad w_1 = 3000 \text{ [rpm]}$$

$$T_2 = \frac{(7,83 \text{ [Nm]}) \cdot (3000 \text{ [rpm]})}{2666,66 \text{ [rpm]}} \quad w_2 = 2666,66 \text{ [rpm]}$$

$$T_2 = 8,80 \text{ [Nm]} \quad T_2 = ?$$

2.1.6.2. Diagrama de cuerpo libre del eje:

Los valores que intervienen en el diagrama de momentos torsionales para el eje son:

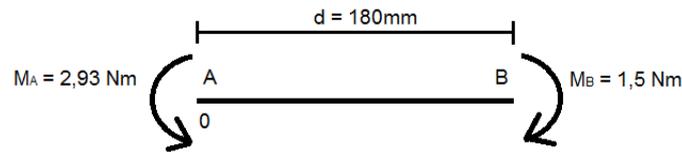


Figura 19. Momentos torsionales que actúan sobre el eje

Fuente: Autor

Cabe recalcar que el momento torsional en B, (M_B), representa la condición mínima para romper el punto de inercia, cálculo que se puede observar en la relación de transmisión entre engranajes E3 y E4, en los cálculos de relación de transmisión para seleccionar el servomotor.

➤ Diagrama de esfuerzos:

Dado que el eje no es expuesto a una flexión, tensión o compresión, $V = 0$; por lo tanto no existe esfuerzos normales.

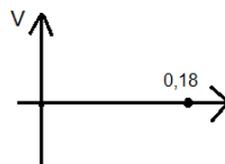


Figura 20. . Diagrama de esfuerzos del eje.

Fuentes: Autor.

Diagrama de momentos torsionales:

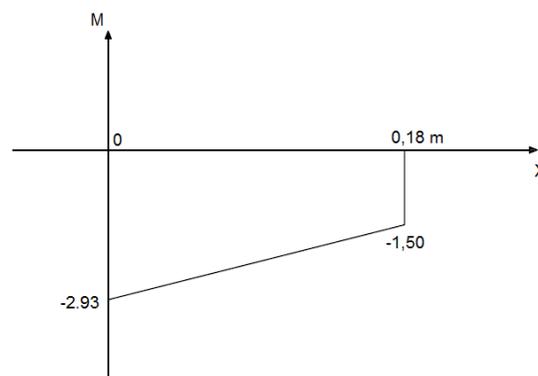


Figura 21. Diagrama de momentos del eje

Fuentes: Autor.

2.1.6.3. Resistencia a la fatiga

Para el análisis de resistencia a la fatiga se debe conocer varios factores que intervienen en éste, entre los principales a tomar en cuenta son las fuerzas que actúan, dimensiones, propiedades del material, etc.

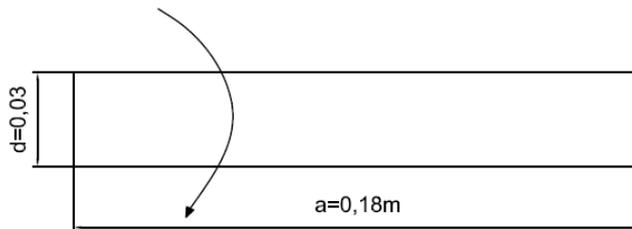


Figura 22. Dimensiones del eje.

Fuentes: Autor.

Tabla III. Datos iniciales del eje

Nombre	Símbolo	Valor
Resistencia última a la tensión	S _{ut}	440 [MPa]
Resistencia a la fluencia	S _y	370 [MPa]
Dureza Brinell	H _B	126 [Mpa]
Par torsional máximo	T _{máx}	8,8x10 ³ [Nmm]
Par torsional mínimo	T _{mín}	2,93x10 ³ [Nmm]
Diámetro del eje	d	30 [mm]
Distancia del eje	a	180 [mm]

Fuente: Autor

Los tres primeros datos que se muestran en la *Tabla 3*, son extraídos del Anexo A-6 propiedades acero AISI 1018.

Los siguientes factores, así como el procedimiento para establecer el análisis del eje del sistema de transmisión se lo realiza según Shigley.

- **Factor de concentración de la torsión por fatiga (K_{fs})**

Sensibilidad a la muesca (q):

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts}-1) \quad ; \quad q = 0 \rightarrow \text{no existe muesca}$$

$$\Rightarrow K_{fs} = 1$$

- **Torsión máxima ($\tau_{m\acute{a}x}$):**

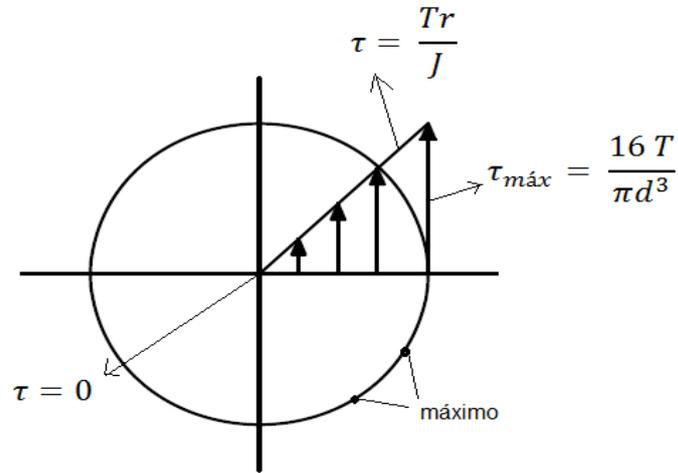


Figura 23. Torsión máxima en el eje.

Fuente: (Mott, 2006)

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Kfs.T.r}{J} = \frac{T \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

Donde: τ , es la torsión máxima

Kfs , es el factor de concentración de la torsión por fatiga

T , es el par torsional [Nmm]

d , es el diámetro del eje [mm]

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{(16)(8,8 \times 10^3 [Nmm])}{\pi(30[mm])^3} = 1,66 [MPa] = \tau_a$$

- **Límite de resistencia a la fatiga en ubicación crítica (Se)**

$$Se = Ka.Kb.kc.Kd.Ke.Se'$$

Para encontrar el valor de (Se), es necesario obtener los datos de los diferentes factores que a continuación se describen:

- Límite de resistencia a la fatiga en barra giratoria (S_e'):

$$S_e' = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Figura 24. Límite de resistencia a la fatiga en barra giratoria (S_e').

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$S_e' = 0,5 S_{ut} = (0,5)(440) = 220 \text{ [MPa]}$$

- Factor de superficie (K_a):

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	<u>4.51</u>	<u>-0.265</u>
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 25. Factor de superficie (K_a).

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$K_a = aS_{ut}^b$$

$$a = 4,51 \quad ; \quad b = -0,265$$

$$K_a = (4,51)(440)^{-0,265} = 0,899$$

- Factor de tamaño (K_b):

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & \underline{2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm}} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 26. Factor de tamaño (K_b).

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Como $d = 30[\text{mm}]$:

$$Kb = 1,24d^{-0,107} \quad ; \quad 2,79 \leq d \leq 51\text{mm}$$

$$Kb = 1,24(30)^{-0,107}$$

$$Kb = 0,86$$

- Factor de modificación de la carga (Kc):

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ \underline{0.59} & \text{torsión} \end{cases}$$

Figura 27. Factor de modificación de la carga (Kc).

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\Rightarrow Kc = 0,59$$

- Factor de temperatura (Kd):

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
<u>20</u>	<u>1.000</u>	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Figura 28. Factor de temperatura (Kd).

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\Rightarrow Kd = 1 \quad ; \quad 20^\circ\text{C}$$

- Factor de confiabilidad (Ke):

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_σ	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
<u>99</u>	2.326	<u>0.814</u>
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 29. Factor de confiabilidad (Ke).

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$\Rightarrow K_e = 0,814 \quad ; \quad \text{Confiabilidad, 99\%}$$

Una vez obtenidos los diferentes factores, se reemplaza en la fórmula E_{-} :

$$\begin{aligned}
 S_e &= K_a \cdot K_b \cdot k_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S_e' \\
 S_e &= (0,899)(0,86)(0,59)(1)(0,814)(220) \\
 S_e &= 81,68 \text{ [MPa]}
 \end{aligned}$$

- Fracción de resistencia a la fatiga (f), de Sut a 10^3 ciclos:

$$f = 0,9 \quad ; \quad S_{ut} \leq 70 \text{ [Kpsi]} \text{ ó } 482,6 \text{ [MPa]}$$

Este valor es asignado a través del gráfico que se encuentra en el *anexo A-6*.

Según Shigley, la torsión cortante es:

- El límite de fatiga a torsión es aproximadamente la mitad del límite de duración a flexión:

$$S_{su} = 0,67 (S_{ut})$$

$$S_{su} = 0,67 (440 \text{ [MPa]})$$

$$\mathbf{S_{su} = 295 \text{ [MPa]}}$$

- El límite de resistencia a la fluencia a torsión es:

$$S_{sy} = 0,577 (S_y)$$

$$S_{sy} = 0,577 (370 \text{ [MPa]})$$

$$\mathbf{S_{sy} = 213,5 \text{ [MPa]}}$$

- Coeficientes de fatiga 10^3 y 10^6 :

$$a = \frac{(f.Sus)^2}{S_e} \quad ; \quad b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{f.Sus}{S_e} \right)$$

$$a = \frac{[(0,9).(295)]^2}{81,68} \quad ; \quad b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{(0,9).(295)}{81,68} \right)$$

$$a = 863 \quad ; \quad b = -0,17$$

- Número de ciclos:

$$N = \left(\frac{\tau_a}{a} \right)^{1/b}$$

$$N = \left(\frac{1,66}{863} \right)^{1/-0,17}$$

$$N = 9,46 \times 10^{15} \text{ ciclos} \Rightarrow \text{Número de ciclos a la falla}$$

- Resistencia a la fatiga (S_f):

$$S_f = a.N^b$$

$$S_f = (863)(9,46 \times 10^{15})^{-0,17}$$

$$S_f = 1,66 \text{ [MPa]}$$

- **Factor de seguridad según Von Mises:**

A continuación se realiza un análisis del eje tomando como referencia la teoría de Von Mises, para realizar los cálculos se requiere el esfuerzo cortante máximo y mínimo que se aplica en el eje.

Cabe aclarar que $Kfs = 1$, al carecer el eje de una muesca.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{Kfs \cdot T \cdot r}{J} = \frac{T \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi d^4}{32}} = \frac{16 T_{m\acute{a}x}}{\pi d^3}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{(16)(8,8 \times 10^3 [Nmm])}{\pi(30 [mm])^3} = 1,66 [MPa]$$

$$\tau_{m\acute{i}n} = \frac{16 T_{m\acute{i}n}}{\pi d^3}$$

$$\tau_{m\acute{i}n} = \frac{(16)(2,93 \times 10^3 [Nmm])}{\pi(30 [mm])^3} = 0,55 [MPa]$$

- Esfuerzo cortante alternante:

$$\tau_a = \frac{\tau_{m\acute{a}x} - \tau_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$\tau_a = \frac{(1,66) - (0,55)}{2}$$

$$\tau_a = 0,555 [MPa]$$

- Esfuerzo cortante medio:

$$\tau_m = \frac{\tau_{m\acute{a}x} + \tau_{m\acute{i}n}}{2}$$

$$\tau_m = \frac{(1,66) + (0,55)}{2}$$

$$\tau_m = 1,105 [MPa]$$

- Von Mises:

$$\tau_a' = \{3[(Kfs)_{torsión} \cdot (\tau_a)_{torsión}]^2\}^{1/2}$$

$$\tau_a' = \{3[0,555]^2\}^{1/2} = 0,96 [MPa]$$

$$\tau_m' = \{3[(Kfs)_{torsión} \cdot (\tau_m)_{torsión}]^2\}^{1/2}$$

$$\tau_m' = \{3[1,105]^2\}^{1/2} = 1,91 [MPa]$$

- Fluencia localizada:

$$\tau'_a + \tau'_m = \frac{Ssy}{n}$$

$$n = \frac{Ssy}{\tau'_a + \tau'_m} = \frac{213,5}{(0,96 + 1,91)} = 74,4$$

- Criterios de falla:

El criterio de Soderberg basa su teoría con respecto a la resistencia a la fluencia (Ssy); mientras que Goodman y Gerber mantienen su teoría a través de la resistencia última o ruptura (Ssu)

Tabla IV. Criterios de falla

Soderberg	Goodman - modificado
$\frac{\tau'_a}{Se} + \frac{\tau'_m}{Ssy} = \frac{1}{n}$ $\frac{0,96}{81,68} + \frac{1,91}{213,5} = \frac{1}{n}$ $n = 48,31$	$\frac{\tau'_a}{Se} + \frac{\tau'_m}{Ssu} = \frac{1}{n}$ $\frac{0,96}{81,68} + \frac{1,91}{295} = \frac{1}{n}$ $n = 54,86$
Gerber	
$n = \frac{1}{2} \left(\frac{Ssu}{\tau'_m} \right)^2 \cdot \left(\frac{\tau'_a}{Se} \right) \left\{ -1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\tau'_m Se}{Ssu \tau'_a} \right)^2} \right\}$ $n = \frac{1}{2} \left(\frac{295}{1,91} \right)^2 \cdot \left(\frac{0,96}{81,68} \right) \left\{ -1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2(1,91)(81,68)}{(295)(0,96)} \right)^2} \right\}$ $n = 68,41$	

Fuente: Autor.

- **Análisis del eje mediante el software “SolidWorks”**

El software “SolidWorks” mediante su herramienta “Simulation Xpress” permite realizar estudios de tensiones de piezas para obtener resultados de esfuerzos mínimos y máximos cuando se genera cierta cantidad de esfuerzo por acción de una o varias cargas estáticas. (LLC, 2014).

SolidWorks así como otros softwares de diseño utilizan el “Método de Elementos Finitos”, este es un método numérico que se utiliza para resolver ecuaciones diferenciales de problemas físicos de geometría compleja.

Esta herramienta necesita de un mallado para resolver por elementos finitos, esto se debe a que el enmallado separa sistemáticamente uno o varios elementos de una pieza para así analizarlo y obtener resultados, por lo tanto mientras más fina la malla, los resultados consecuentemente serán más precisos.

Los nodos son todos los puntos que se realizan en el mallado, y los elementos son las superficies formadas por los nodos.



Figura 30. Enmallado del eje, SolidWorks_Simulation

Fuente: Autor

SolidWorks utiliza el criterio de falla de Von Mises para obtener los esfuerzos máximos y mínimos generados en la pieza, la *Figura 32* muestra didácticamente la

simulación, donde el color rojo en la superficie del eje, punto más crítico tiene un factor de seguridad mínimo; mientras que el interior tiene un color azul que muestra un factor de seguridad máximo, es decir éste no presenta problema en el análisis.



Figura 31. Factor de seguridad, SolidWorks_Simulation.

Fuente: Autor

Según SolidWorks el factor de seguridad mínimo es:

$$n = 31$$

Al comparar los resultados obtenidos teóricamente mediante los criterios de falla, es claro observar que los resultados finales varían un poco, esto se debe a los diferentes cálculos matemáticos que utiliza cada criterio de falla, así como también el criterio utilizado en la selección de los factores.

2.1.7. ANÁLISIS DEL ENGRANE E1 Y E2 DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El análisis de los engranajes E1 y E2 permite conocer las fuerzas que actúan sobre éstos, el factor de seguridad con el cual están trabajando, y la confiabilidad que brindan en el proceso.

En la *Figura 33*, se puede apreciar la relación de transmisión, donde el eje del engranaje (E1), corresponde al servomotor; y el eje del engranaje (E2) corresponde al eje que se analiza anteriormente.

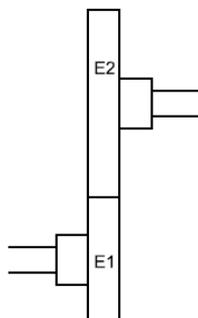


Figura 32. Relación de transmisión entre engranaje 1 (E1) y engranaje 2 (E2).

Fuente: Autor

Para una mejor referencia, en la *Tabla 5*, se encuentran los datos iniciales de los engranes E1 y E2.

Tabla V. Datos iniciales de los engranes E1 y E2.

Dato	Símbolo	Piñón	Engrane
Diámetro primitivo	D_p	64[mm]	72[mm]
Número de dientes	Z	32[dientes]	36[dientes]
Módulo	m	2[mm]	2[mm]
Ancho de cara	F	10[mm]	10[mm]
Paso circular	P_c	6,28[mm]	6,28[mm]
Diámetro exterior	D_e	68[mm]	76[mm]
Diámetro interior	D_i	59[mm]	67[mm]
Profundidad total	h_t	4,5[mm]	4,5[mm]
Grueso del diente	S	2,98[mm]	2,98[mm]
Hueco del diente	W	3,3[mm]	3,3[mm]
Cabeza del diente	h	2[mm]	2[mm]
Pie del diente	f	2,5[mm]	2,5[mm]
Ángulo de presión	Φ	20°	20°

Fuente: Autor

Las propiedades del material del cual están compuestos los engranajes es de suma importancia para el estudio de los mismos, la *Tabla 6* muestra las resistencias a la

fractura y a la fluencia, del acero al cromo-molibdeno (AISI 4140), datos que se pueden revisar en el anexo A-6.

Tabla VI. Propiedades del materiales de los engranes, acero AISI 4140 recocido

	Engranaje (E1)	Engranaje (E2)
Resistencia última a la tensión (S_{ut})	655 [MPa]	655 [MPa]
Resistencia a la fluencia (S_y)	417 [Mpa]	417 [Mpa]
Dureza Brinell (H_B)	197	197

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

2.1.7.1. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas y momentos que actúan sobre dos engranes:

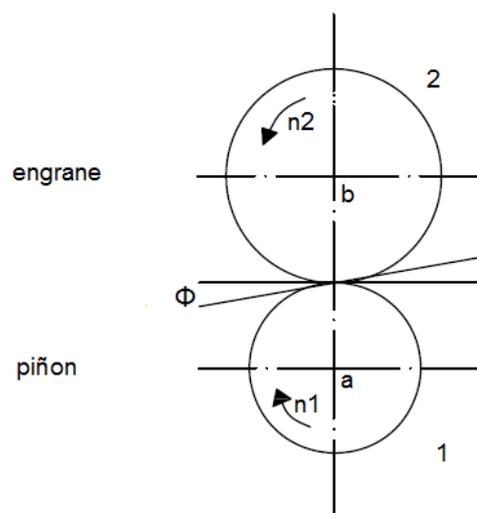


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Las reacciones entre los dientes acoplados se presentan a lo largo de la línea de presión. En la *Figura 34 (a)*, el piñón se separa del engranaje, y sus efectos se sustituyeron por fuerzas; donde F_{a1} es la fuerza, y T_{a1} es el par de torsión, que ejerce el eje a (eje del servomotor) contra el piñón 1. F_{21} es la fuerza que ejerce el engrane 2 contra el piñón. Mediante un procedimiento similar se obtiene el diagrama de cuerpo libre del engranaje.

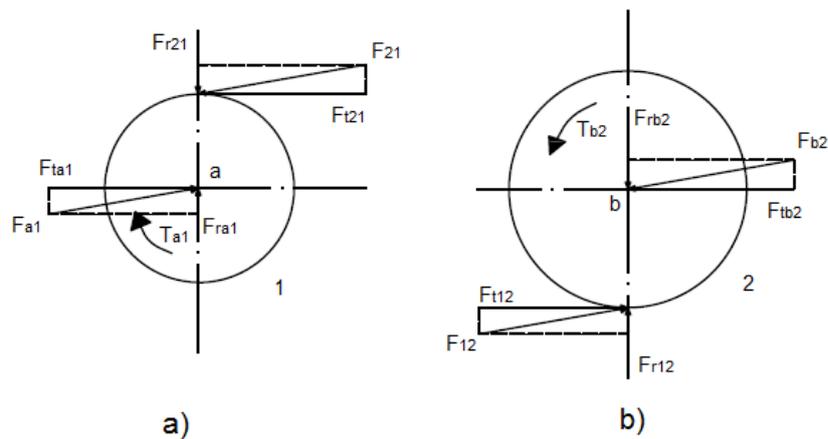


Figura 34. Diagrama de cuerpo libre, a) engranaje E1, b) engranaje E2.

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Las fuerzas se resolvieron en componentes radial y tangencial, por lo tanto ahora se define a $W_t = F_{t21}$, como la carga transmitida; es importante aclarar que esta carga tangencial es la componente útil ya que la carga radial F_{r21} no tiene utilidad ya que no transmite potencia.

El par de torsión que se aplica y la carga que se transmite se relaciona mediante la ecuación:

$$T = \frac{d}{2} W_t$$

Donde: $T = T_{a1}$
 $d = d_1$

La potencia transmitida H a través de un engrane rotatorio se puede obtener mediante la ecuación:

$$H = T \cdot \omega = \left(\frac{d}{2} W_t \right) \cdot \omega$$

Donde: H es la potencia transmitida
 T es el par de torsión
 ω es la velocidad angular

Debido a que los engranes acoplados son eficaces, con pérdidas menores a 2%, la potencia se trata como una constante a través del acoplamiento, es decir que en un par de engranes acoplados proporcionan la misma potencia, sin tener en cuenta el engranaje que se utilice.

Por lo tanto para encontrar el factor de seguridad, se requiere el valor de la carga transmitida, que en el sistema internacional se muestra de la siguiente forma:

$$W_t = \frac{60000 H}{\pi \cdot d \cdot n}$$

Donde: W_t es la carga transmitida, [KN]
 H es la potencia, [KW]
 d es el diámetro del engrane, [mm]
 n es la velocidad, [rpm]

- Potencia transmitida:

$$H = T \cdot \omega$$

$$H = (7,83[Nm])(3000[rpm])$$

$$H = (7,83[Nm])(314,16[rad/s])$$

$$H = 2459,8 [W] = 2,45 [KW]$$

- Carga transmitida:

$$W_t = \frac{60000 H}{\pi \cdot d \cdot n}$$

$$W_t = \frac{(60000)(2,45)}{\pi(64)(3000)}$$

$$W_t = 0,24 [KN]$$

2.1.7.2. Ecuación del esfuerzo AGMA:

Según Shigley se muestran las siguientes ecuaciones permiten determinar los esfuerzos a los que están sometidos los engranajes.

- **Esfuerzo de flexión:**

$$\sigma = W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \left(\frac{1}{m \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{K_m \cdot K_B}{J} \right)$$

Donde: σ es el esfuerzo por fatiga a tensión de flexión intermitente
 W_t es la carga transmitida

K_o es el factor de sobrecarga
 K_v es el factor dinámico
 K_s es el factor de tamaño
 m es el módulo del engranaje
 F es el ancho de cara del diente
 K_m es el factor de distribución de carga
 K_B es el factor de espesor del aro
 J es el factor geométrico

Todos los factores que componen la ecuación del esfuerzo de flexión, se muestran a continuación:

- Factor de sobrecarga (K_o):

La información sobre la selección del valor para este factor se encuentra en el *anexo A-14*.

$$K_o = 1$$

- Factor geométrico (J):

La información sobre el criterio de la selección del valor para este factor se encuentra en el *anexo A-6*.

Para un piñón de 32 dientes $\Rightarrow J = 0,38$

- Factor dinámico (K_v):

La gráfica que muestra el factor dinámico K_v requiere como dato la velocidad de línea de paso, la cual se obtiene mediante la ecuación:

$$W_t = 33000 \frac{H}{V} \quad \Rightarrow \quad V = 33000 \frac{H}{W_t}$$

Donde: W_t es la carga transmitida, lbf $\Rightarrow W_t = 0,24 [KN] = 53,45 [lbf]$
 H es la potencia, HP $\Rightarrow H = 2,45 [KW] = 3,286 [HP]$
 V es la velocidad de línea de paso, pie/min

$$V = 33000 \frac{H}{W_t}$$

$$V = 33000 \frac{3,286}{53,45} = 2028,77 \text{ [pie/min]}$$

El *anexo A-6* muestra la selección del factor dinámico, cabe recalcar que al número de calidad (Qv), se asigna el valor $Qv = 7$, este valor corresponde a calidad comercial.

$$\Rightarrow Kv = 1,5$$

- Factor de tamaño (Ks):

$$Ks = 1,1192 \left(\frac{F \cdot J}{Pc} \right)^{0,0535}$$

Donde: La cara del diente: $F = 10 \text{ [mm]}$

El factor geométrico: $J = 0,38$

El paso circular: $Pc = 6,28 \text{ [mm]}$

$$Ks = 1,1192 \left(\frac{(10)(0,38)}{6,28} \right)^{0,0535}$$

$$Ks = 1$$

- Factor de distribución de carga (Km):

La información sobre la selección del valor para este factor se encuentra en el *anexo A-16*

Si $F = 10 \text{ [mm]}$

$F \leq 50 \text{ [mm]}$

$$\Rightarrow Km = 1,6$$

- Factor de espesor del aro (K_B):

El *anexo A-6* muestra el criterio necesario para encontrar el factor buscado, como indica el gráfico en este anexo, se requiere obtener el valor de m_B , el cual se calcula de la siguiente forma, (Engranajes cilíndricos: Consideraciones en el diseño., 2014):

$$m_B = \frac{t_R}{h_t}$$

Donde: El espesor del aro debajo del diente: $t_R = 3 \text{ [mm]}$

La profundidad total: $h_t = 4,5[mm]$

$$m_B = \frac{3[mm]}{4,5[mm]} = 0,66$$

$$K_B = \begin{cases} 1,6 \ln \frac{2,242}{m_B} & m_B < 1,2 \\ 1 & m_B \geq 1,2 \end{cases}$$

Figura 35. Selección del factor de espesor del aro (K_B), mediante la variable (m_B), según (ANSI/AGMA 2001-D04).

Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008)

Como: $m_B < 1,2$

$$\Rightarrow K_B = 1,6 \ln \frac{2,242}{m_B} = 1,6 \ln \frac{2,242}{0,66} = 1,9$$

Al encontrar los valores de todos los factores que involucran la ecuación para encontrar el esfuerzo por fatiga a tensión de flexión intermitente (σ), se reemplaza dichos valores en la ecuación:

$$\begin{aligned} \sigma &= W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \left(\frac{1}{m \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{K_m \cdot K_B}{J} \right) \\ \sigma &= (240[N])(1)(1,5)(1) \left(\frac{1}{(2[mm])(10[mm])} \right) \cdot \left(\frac{(1,6)(1,9)}{0,38} \right) \\ \sigma &= 144 [MPa] \end{aligned}$$

- **Esfuerzo de contacto:**

$$\sigma_c = C_p \left(W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \left(\frac{K_m}{dp \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{C_f}{I} \right) \right)^{1/2}$$

Donde: σ_c es el esfuerzo por fatiga a tensión de contacto intermitente

C_p es el coeficiente elástico

dp es el diámetro de paso del piñón, [mm]

C_f es el factor de condición de superficie

I es el factor geométrico de resistencia a la picadura.

Las otras variables que componen la ecuación, corresponden a los valores ya encontrados.

- Coeficiente elástico (C_p)

$$C_p = \left[\frac{1}{\pi \left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \nu_G^2}{E_G} \right)} \right]^{1/2}$$

El *anexo A-6* muestra los valores del módulo de elasticidad y relación de Poisson para el acero, del cual se encuentran constituidos los engranajes, cabe resaltar que los dos engranajes están compuestos por el mismo material.

$$\nu = 0,292 \quad \& \quad E = 207[GPa]$$

$$C_p = \left[\frac{1}{\pi \left(\frac{1 - (0,292)^2}{207000[MPa]} + \frac{1 - (0,292)^2}{207000[MPa]} \right)} \right]^{1/2}$$

$$C_p = 190[MPa]$$

- Factor de condición de superficie (C_f)

Depende de:

- Acabado superficial, ya que se ve afectado por corte, cepillado, esmerilado, aunque no es lo único que influye en el mismo.
- Esfuerzos residuales.
- Efectos plásticos (endurecimiento por trabajo).

Las condiciones superficiales estándar de dientes de engranes aun no sean establecido. Cuando se tenga el conocimiento de que existe un efecto perjudicial en el acabado superficial, AGMA sugiere para esos casos un valor de C_f mayor que la unidad.

$$\Rightarrow C_f = 1$$

- Factor geométrico de resistencia a la picadura (I):

El factor geométrico I para engranajes externos está dado por la ecuación:

$$I = \left(\frac{\cos \phi_t \cdot \text{sen} \phi_t}{2m_N} \right) \left(\frac{m_G}{m_G + 1} \right)$$

Donde: La carga compartida, $m_N = 1$ para engranajes rectos

Por tanto, la variable de relación de velocidad m_G se obtiene mediante la ecuación:

$$m_G = \frac{N_G}{N_P} = \frac{\text{número de dientes del engrane}}{\text{número de dientes del piñón}}$$

$$m_G = \frac{36}{32} = 1,125$$

Una vez obtenido las variables faltantes, el factor geométrico I es:

$$I = \left(\frac{(\cos 20^\circ)(\text{sen} 20^\circ)}{2(1)} \right) \left(\frac{1,125}{1,125 + 1} \right)$$

$$\Rightarrow I = 0,085$$

Finalmente al obtener todos los factores que involucran la ecuación para encontrar el esfuerzo por fatiga a tensión de contacto intermitente, se reemplaza los valores:

$$\sigma_c = C_p \left(W_t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \left(\frac{K_m}{d_p \cdot F} \right) \cdot \left(\frac{C_f}{I} \right) \right)^{1/2}$$

$$\sigma_c = 190[MPa] \left((240[N])(1)(1,5)(1) \left(\frac{1,6}{(64[mm])(10[mm])} \right) \cdot \left(\frac{1}{0,085} \right) \right)^{1/2}$$

$$\sigma_c = 608[MPa]$$

2.1.7.3. Factor de seguridad:

Las normas ANSI / AGMA 2001-D04 y D04-2101, (AGMA STANDARD, 2004) contienen un factor de seguridad S_F , protección contra fallo por fatiga de flexión y factor de seguridad S_H , protección contra picaduras.

- Factor de seguridad contra fallo por fatiga de flexión:

$$S_F = \frac{S_t \cdot Y_N / (K_T \cdot K_R)}{\sigma}$$

- Factor de seguridad contra fallo por picaduras:

$$S_H = \frac{S_C \cdot Z_N \cdot C_H / (K_T \cdot K_R)}{\sigma_C}$$

Dónde:

- S_t , esfuerzo de contacto permisible
- S_C , esfuerzo de contacto permisible
- Y_N , Factor de ciclos de carga a flexión
- Z_N , Factor de ciclos de carga a la picadura
- C_H , Factor de relación de dureza
- K_R , Factor de confiabilidad
- K_T , Factor de temperatura

- Factor de relación de dureza (C_H)

El piñón comúnmente tiene un número menor de dientes que el engranaje por lo tanto se somete a más ciclos de tensión de contacto.

El valor de C_H se puede obtener al observar el *anexo A-20*, en donde la condición se cumple al ser los engranajes del mismo material, por tanto la misma dureza Brinell $H_B = 197$, cuyo valor se puede verificar en el *anexo A-13*.

Donde la condición: $\frac{H_{BP}}{H_{BG}} < 1,2$

Al reemplazar: $\frac{197}{197} < 1,2 \Rightarrow 1 < 1,2$

$$\Rightarrow C_H = 1$$

- Factor de confiabilidad (K_R):

Reliability	$K_R (Y_Z)$
0.9999	1.50
0.999	1.25
<u>0.99</u>	<u>1.00</u>
0.90	0.85
0.50	0.70

Figura 36. Selección del factor de confiabilidad.

Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008)

Para confiabilidad de 0,99 $\Rightarrow K_R = 1$

- Factor de temperatura (K_T):

Para temperaturas de engranajes de hasta 120°C, utilice $K_T = 1$

- Factor de ciclos de carga a flexión (Y_N):

El *anexo A-6* permite analizar las condiciones del valor del factor de ciclos de carga Y_N , que en este caso para 10^5 ciclos, el valor a ser asignado mediante la ecuación es:

$$Y_N = 2,3194N^{-0,0538}$$

$$Y_N = 2,3194(10^5)^{-0,0538}$$

$$Y_N = 1,103$$

- Factor de ciclos de carga a flexión (Y_N):

El *anexo A-6* permite identificar las condiciones del valor del factor de ciclos de carga Z_N , que en este caso para 10^5 ciclos, el valor a ser asignado mediante la ecuación respectiva es:

$$Z_N = 2,466N^{-0,056}$$

$$Z_N = 2,466(10^5)^{-0,056}$$

$$Z_N = 1,138$$

- Esfuerzo de contacto permisible (S_t):

Para evitar errores en la nomenclatura utilizada, AGMA dispone asignar los valores de resistencia a la flexión de engranajes, como S_t ; el *anexo A-23* muestra la ecuación a ser utilizada para el acero AISI 4140, la misma que se muestra a continuación:

$$S_t = 0,568 H_B + 83,8[MPa]$$

$$S_t = (0,568)(197) + 83,8[MPa]$$

$$S_t = 195,7 [MPa]$$

- Esfuerzo de contacto permisible (S_c):

El *anexo A-24* muestra la ecuación grado 1, a ser utilizada para el acero AISI 4140, la misma que se muestra a continuación:

$$S_c = 2,22 H_B + 200[MPa]$$

$$S_c = (2,22)(197) + 200[MPa]$$

$$S_c = 637,34[MPa]$$

Una vez obtenidos los factores necesarios, se procede a reemplazar en las respectivas ecuaciones:

- Factor de seguridad contra fallo por fatiga de flexión:

$$S_F = \frac{S_t \cdot Y_N / (K_T \cdot K_R)}{\sigma}$$

$$S_F = \frac{(195,7[MPa])(1,103) / (1)(1)}{144[MPa]}$$

$$S_F = 1,5$$

- Factor de seguridad contra fallo por picaduras:

$$S_H = \frac{S_c \cdot Z_N \cdot C_H / (K_T \cdot K_R)}{\sigma_c}$$

$$S_H = \frac{(637,34[MPa])(1,138)(1) / (1)(1)}{608[MPa]}$$

$$S_H = 1,2$$

2.1.8. VISUALIZACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL SISTEMA

La visualización de la distancia la cual recorre la mesa de trabajo de la máquina se debe gracias a los datos (pulsos por revolución) que se adquiere del puerto X3, en el cual se encuentra la salida del Encoder, cuyos pulsos (A y B) son ingresados en un contador de pulsos, el cual visualiza la distancia que recorre dicha mesa, vital en el trabajo del operario.

2.1.8.1. Encoder interno del servodriver

Los encoder son transductores electromecánicos que convierten la rotación del eje en pulsos de salida, que se puede contar para medir las revoluciones del eje o ángulo del eje, lo cual proporciona información sobre la posición y velocidad del eje del motor, (Servo Motor Glossary Terms, sf).

La resolución del encoder determina la precisión de posicionamiento del motor. Por ejemplo, la resolución del servomotor que se utiliza para el posicionamiento vertical es de 2,500 pulsos / revolución, es decir una rotación del eje del motor (360°) se puede dividir en 2500 partes.

Obteniendo una óptima resolución de $0,144^\circ$ de giro del eje del servomotor por cada pulso.

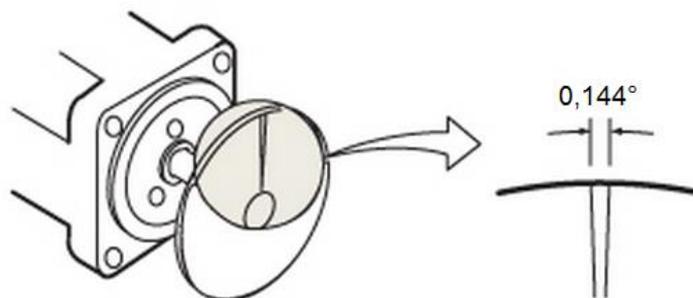


Figura 37. Resolución del encoder

Fuente: (Servo Motor Glossary Terms, sf)

Los tipos de encoders más utilizados son incrementales y absolutos; cuyo funcionamiento se describe a continuación:

Encoder incremental:

Las partes que conforman un encoder incremental óptico se muestran en la *Figura 37*. Su funcionamiento es mediante un disco de códigos montado en el eje del encoder, este rota entre una fuente de luz interna, por lo general un diodo emisor de luz por uno de los lados, y del otro lado la máscara y el fotodetector.

El disco de códigos incremental contiene un patrón de igual espaciados segmentos opacos y transparentes, como se muestra. Las señales electrónicas que se generan por la codificación de la junta directiva se introducen en un controlador de movimiento que calcula información de posición y velocidad para fines de retroalimentación.

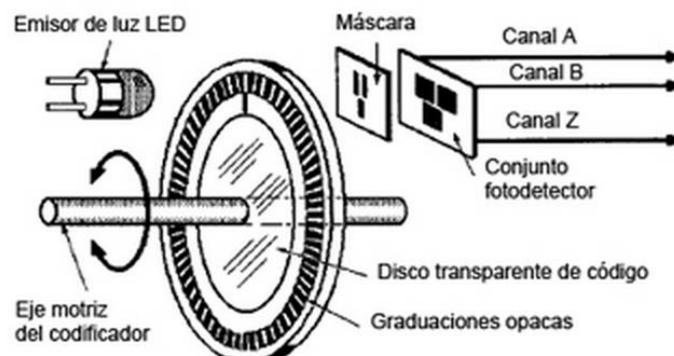


Figura 38. Encoder Incremental y sus respectivas partes que lo conforman

Fuente: http://www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos5.php

El encoder de cuadratura es el tipo de encoder incremental más común. La luz del led pasa a través del disco de código rotativo y la máscara antes de que llegue el fotodetector de montaje. Las señales de salida del fotodetector se convierten en dos canales de pulsos cuadrados (A y B) como se muestra en la *Figura 39*.

El número de pulsos cuadrados para cada canal es igual al número de segmentos de disco que dejan pasar la luz hacia los fotodetectores mientras el disco gira. Las formas de onda están desfasadas 90° entre sí. Si, por ejemplo, los impulsos en el canal A adelantan a los del canal B, el disco está girando en el sentido de las agujas

del reloj, pero si el pulso del canal A está retrasado al del B, el disco está girando en sentido antihorario, mediante el número de pulsos, la frecuencia de pulsos y el desfase de las señales A y B, se puede controlar la posición, la velocidad y el sentido de giro respectivamente.

En conclusión, en relación de velocidad de pulso y posición; el ángulo de rotación (posición) es proporcional al número de impulsos, y la velocidad es proporcional a la frecuencia del pulso.

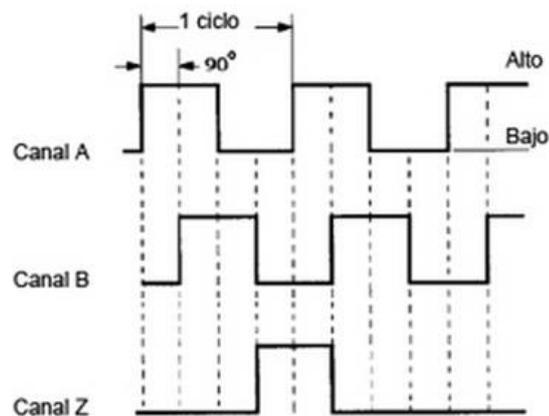


Figura 39. Pulsos en canales A, B y Z de un encoder incremental

Fuente: www.tecnoficio.com/electricidad/velocidad_de_motores_electricos5.php

Muchos codificadores de cuadratura incremental también incluyen un tercer canal de salida Z para obtener un cero de referencia o señal de referencia que se produce una vez por revolución. Este se utiliza para activar ciertos eventos con precisión dentro del sistema. La señal también se puede utilizar para alinear el eje del encoder hacia una referencia mecánica. (Automatización industrial, sf).

2.1.8.2. Contador de pulsos

El servodriver contiene un encoder incremental, cuyos pulsos no se encuentran linealizados, el ruido visualizado en el osciloscopio supera a la señal de estos, por tal motivo se decide conveniente utilizar un contador de pulsos, el dispositivo seleccionado es FH8-6CRNB-F of Counter/Length/Batch Meter de marca MYPIN,

se inclina la decisión por su gran ventaja ante cualquier otro contador de pulsos, ya que este tiene la facultad de convertir los pulsos ingresados a una escala de distancia ajustable, permitiendo visualizar el movimiento del servomotor, y dicho así la ubicación de la bancada.

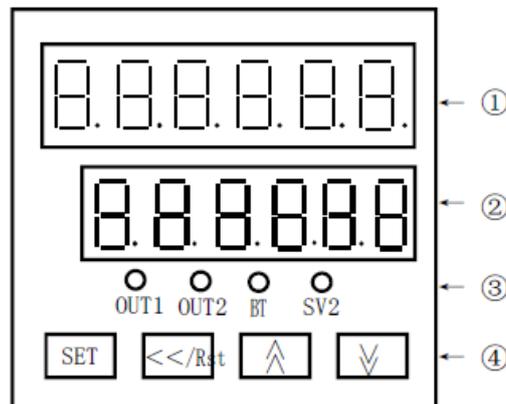


Figura 40: Panel de control y visualización del contador de pulsos, Mypin FH Series

Fuente: (MYPIN ELECTRICAL CO., LTD, sf)

Simbología:

- ① Valor medido
- ② Valor preestablecido
- ③ OUT1/OUT2: Lámpara de salida
BT: Lámpara indicador de conteo
SV2: La segunda lámpara de aviso para el valor preestablecido
- ④ Botones:
SET: Selecciona, confirma.
<</Rst: Reset del contador
^ : Botón arriba
v : Botón abajo

2.1.8.3. Configuración del contador de pulsos:

La configuración del contador de pulsos se realiza mediante parámetros internos, los pasos a seguir se detallan a continuación:

- 1) Presionar el botón SET por más de tres segundos permite desplegar los parámetros del dispositivo.

- 2) El primer parámetro es Pc, el cual permite ajustar el conteo de velocidad.
- 3) Una vez configurado el primer parámetro, se debe presionar SET hasta llegar al séptimo parámetro (InP), esto se debe a que los anteriores cinco parámetros son utilizados para configurar la salida deseada; este séptimo parámetro permite configurar el modo de entrada del contador, el modo elegido entre A,B,C,D es el D, el motivo de esto se debe al modo de ingreso de los pulsos, como se aprecia en la *Figura 2.20*:

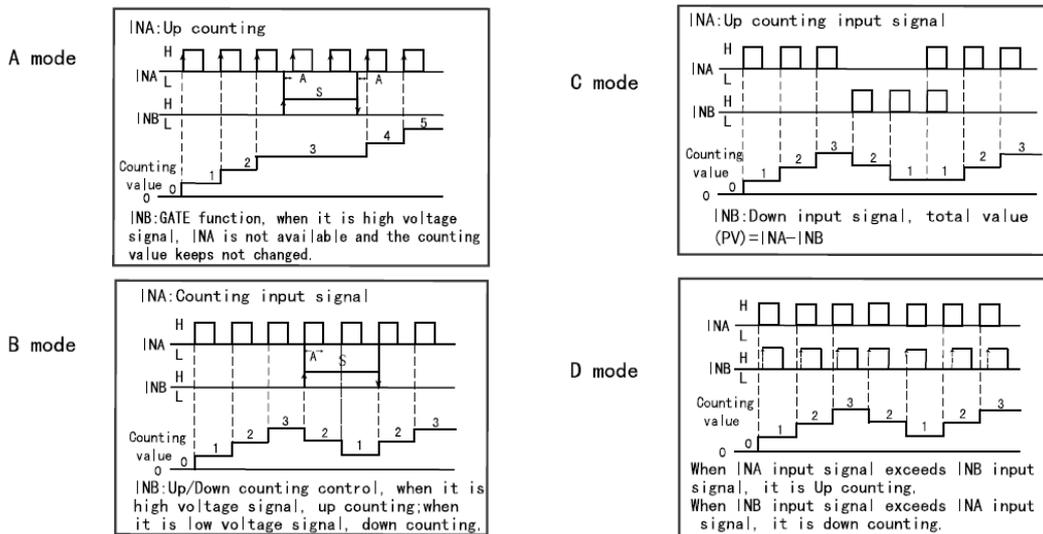


Figura 41. . Modos de conteo de los pulsos A y B, Contador de Pulsos, Mypin FH Series.

Fuente: (MYPIN ELECTRICAL CO., LTD, sf)

Como se observa en la *Figura 41*, la selección del modo D se debe a la rapidez con la que el valor de conteo cambia de ascendente a descendente, en cada pulso que ingresa, ya sea de forma ascendente si el pulso A excede al pulso B, o caso contrario descendente si el pulso B excede al pulso A.

- 4) Seleccionado el modo de entrada de pulsos, presionar SET, para guardar el dato, y de nuevo presionar SET para avanzar al siguiente parámetro, el cual permite ubicar el punto decimal, la selección

adecuada para la vista del operario es la tercera casilla hacia la izquierda.

- 5) El último parámetro necesario para su adecuado funcionamiento es el ajuste de la velocidad máxima de conteo (CPS)

Ya configurados todos los parámetros se debe ingresar los pulsos del servodriver al contador de pulsos, tal como lo indica la *Figura 2.21*.

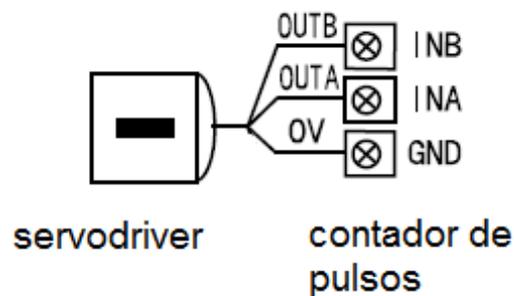


Figura 42: Conexión del servodriver con el contador de pulsos, Contador de Pulsos, Mypin FH Series.

Fuente: Manual de instrucciones MYPIN, FH series.

2.2. SISTEMA DE PRENSADO

El sistema neumático básicamente tiene como primordial función prensar el madero a la mesa de la bancada, para seguridad del operario.

2.2.1. DIAGRAMA GRAFCET

Este diagrama utiliza elementos gráficos que describe los procesos a automatizar, teniendo en cuenta las acciones a realizar, y los procesos intermedios que este conlleva.

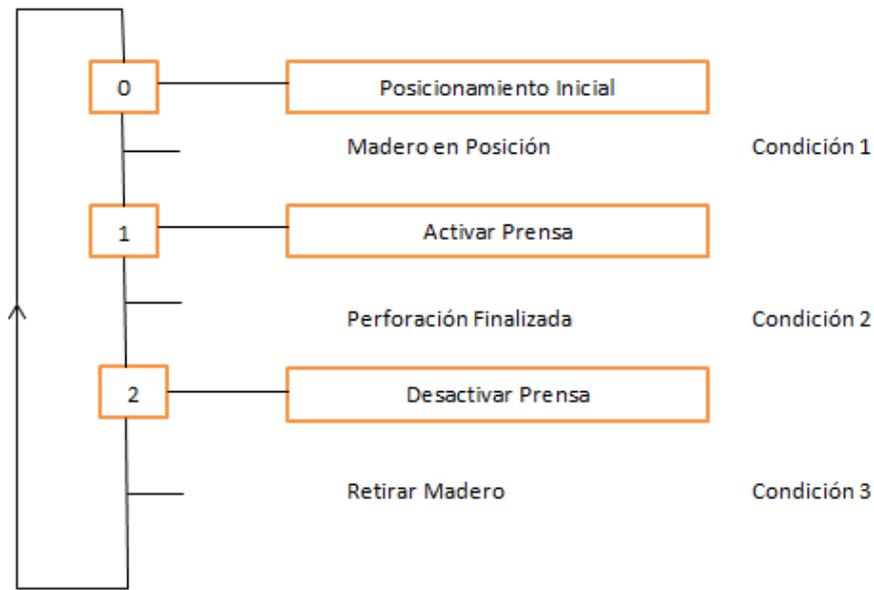


Figura 43. Diagrama Grafset de la prensa neumática

Fuente: Autor

2.2.2. DIAGRAMA FASE - TIEMPO

Este diagrama permite visualizar el espacio recorrido versus el tiempo

Tabla VII. Diagrama Fase - Tiempo

Elemento	Función	Posición	Tiempo
A	Alimentación	+	
	Extracción	-	

Fuente: Autor

2.2.3. ESQUEMA NEUMÁTICO

La *Figura 45* muestra el esquema neumático implementado para la operación de prensado, con sus respectivos elementos de alimentación, mantenimiento, mando y trabajo.

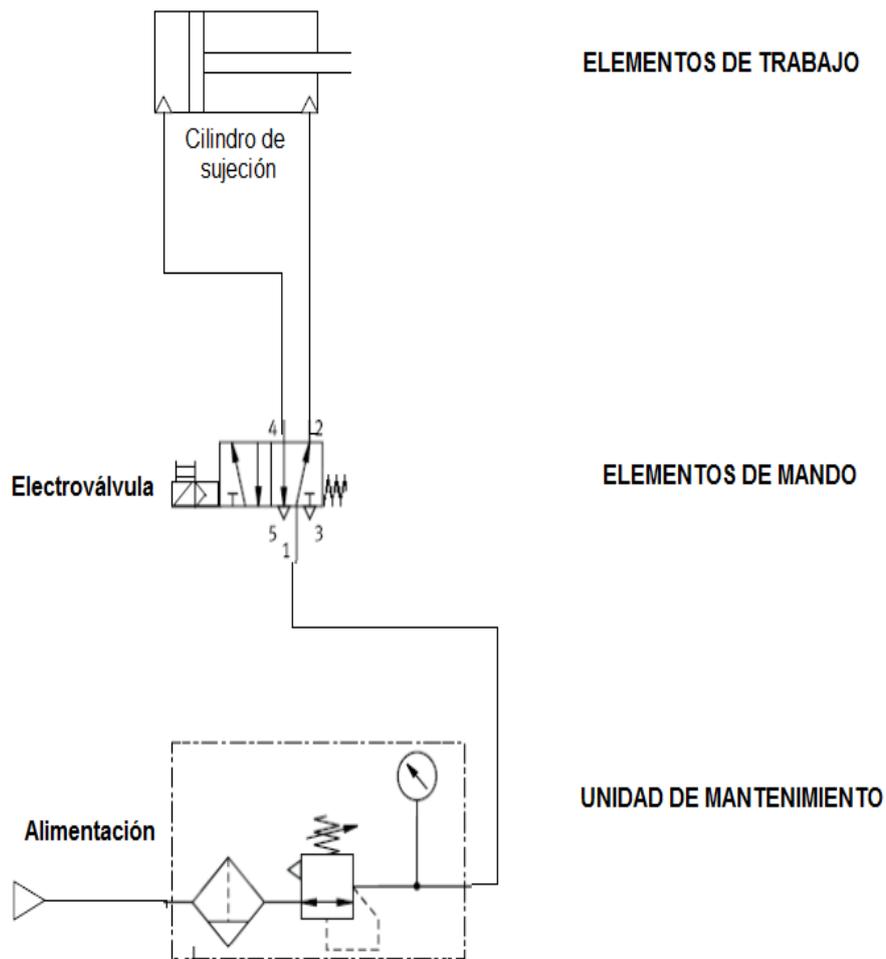


Figura 44. Esquema Neumático.

Fuente: Autor

2.2.4. SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE FUERZA

Los diferentes dispositivos que conforman el sistema neumático son seleccionados mediante los siguientes parámetros.

Selección del cilindro neumático:

Factor de carga en función de la aplicación requerida

Tabla VIII. Factor de carga para selección del cilindro neumático

Funcionamiento requerido		Factor de carga η
Funcionamiento estático (amarre, engarce de tornillo a baja velocidad, etc.)		0.7 o menos (70% o menos)
Funcionamiento dinámico	Movimiento horizontal de la carga en la guía	1 o menos (100% o menos)
	Movimiento vertical y horizontal de la carga	0.5 o menos (50% o menos) ⁽¹⁾

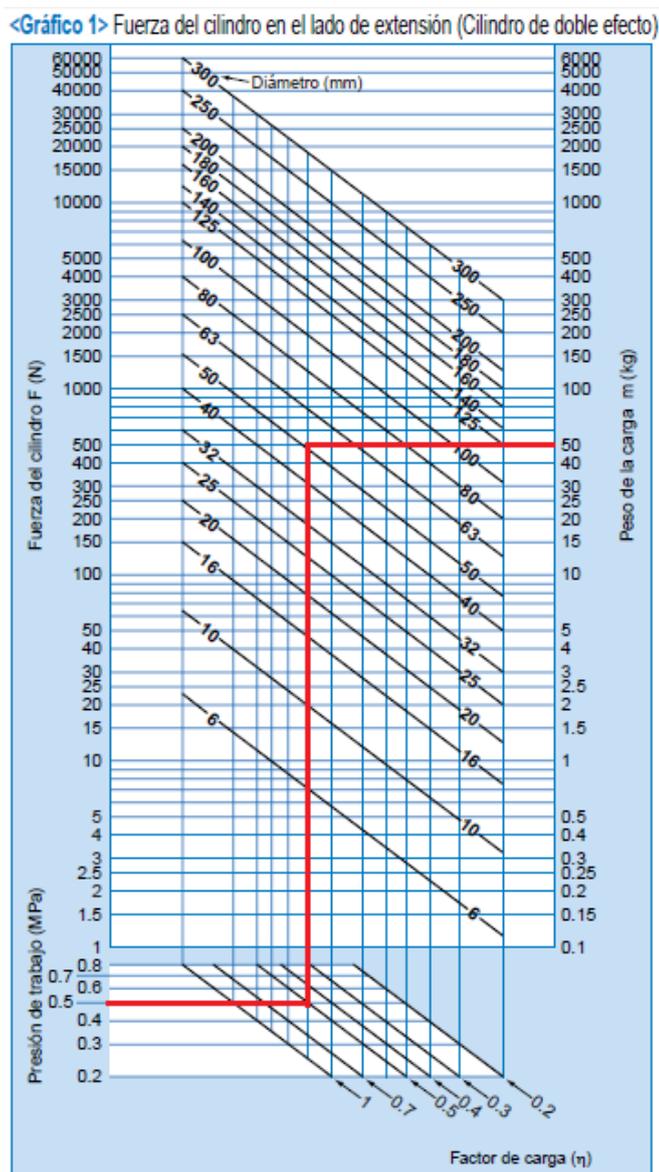
Fuente: (FESTO, 2013)

La prensa neumática realiza un movimiento vertical, por lo tanto el factor de carga correspondiente es 0,5.

Cabe resaltar que para obtener la fuerza con la cual se presiona el madero a la mesa, se obtiene aplicando peso sobre el madero, hasta que se encuentre completamente inmóvil para su posterior perforación, este valor corresponde a 50[Kg], o 500[N] si se toma en cuenta la gravedad de $10 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

La *Tabla 9* permite conocer la presión de trabajo correspondiente a 0,5 [MPa] (5 bar), esta presión indica el margen entre la presión mínima necesaria y máxima admisible para el correcto funcionamiento del sistema neumático.

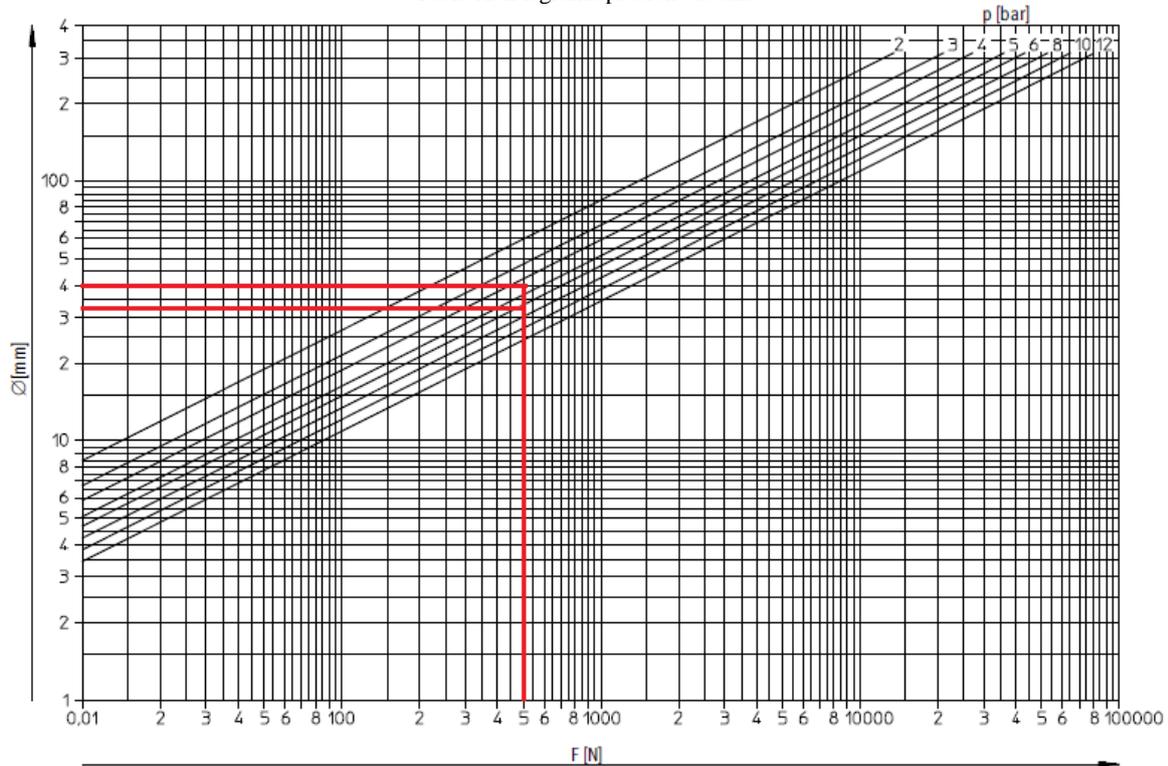
Tabla IX. . Presión de trabajo, Cilindro de doble efecto



Fuente: (FESTO, 2013)

La *Tabla 10* permite conocer el diámetro necesario del émbolo y la presión de funcionamiento, mediante los valores conocidos de fuerza, ($F=500[N]$), y de presión disponible en la red, (6 bar), la cual es superior a la presión de funcionamiento.

Tabla X. Diagrama presión - fuerza



Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014.

Forma de proceder:

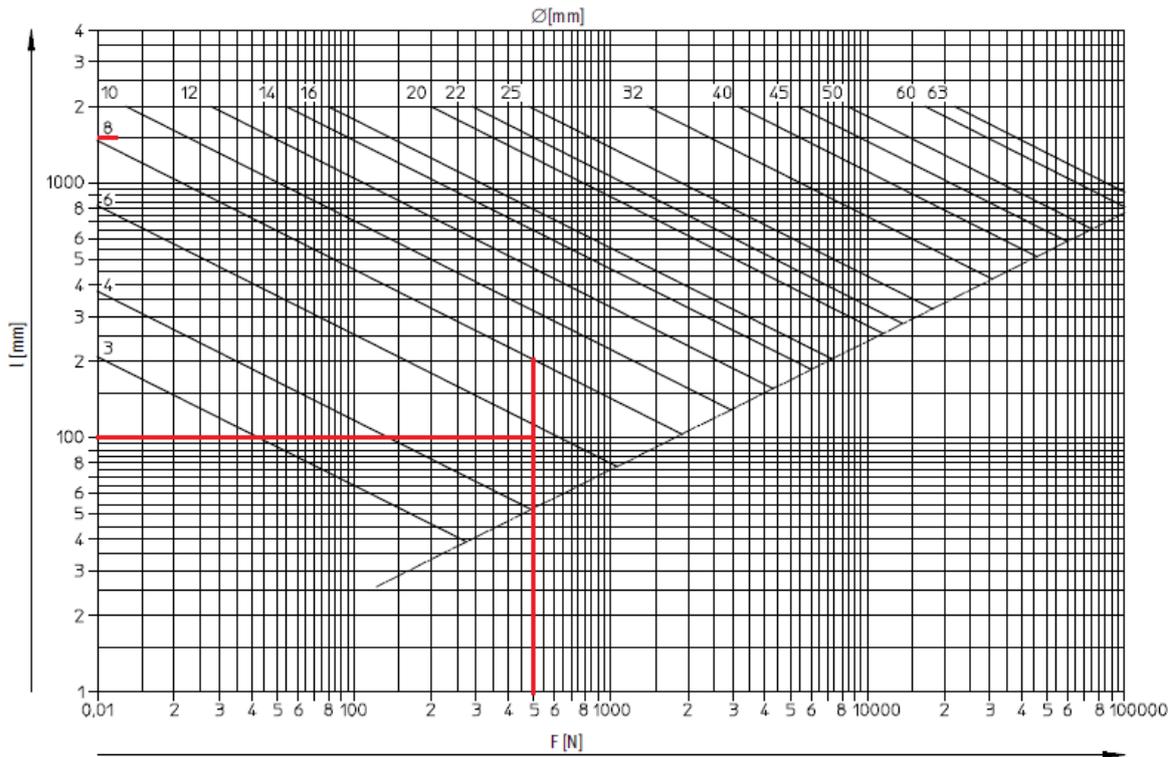
Desde $F=500[N]$ trazar una línea vertical hasta la línea de 6 bar; el diámetro del émbolo inmediatamente mayor disponible es de 40 mm, y se sitúa entre las líneas de 4 y 5 bar, es decir la presión de funcionamiento a ajustar aproximadamente es 4,5 bar.

Festo manifiesta que en este diagrama se ha considerado aproximadamente un 10% de pérdidas por rozamiento.

Diámetro del vástago en función de la carrera l y de la Fuerza F

La *Tabla 11* permite conocer el diámetro necesario del vástago mediante los valores conocidos de fuerza, ($F=500[N]$), carrera del vástago, ($l=100 [mm]$), y diámetro del émbolo, ($d_1=40[mm]$).

Tabla XI. Diámetro del vástago en función de la carrera l y de la Fuerza F



Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014

Forma de proceder:

Desde $F=500$ [N] trazar una línea vertical hacia arriba, hasta la intersección con la línea $l=100$ [mm]; el diámetro del vástago inmediatamente superior es 8[mm].

Consumo de aire del cilindro neumático y volumen de aire requerido

El consumo de aire es el volumen de aire consumido en el cilindro, dato fundamental para seleccionar el compresor; el volumen de aire requerido es el volumen de aire necesario para hacer funcionar una carga a una velocidad determinada.

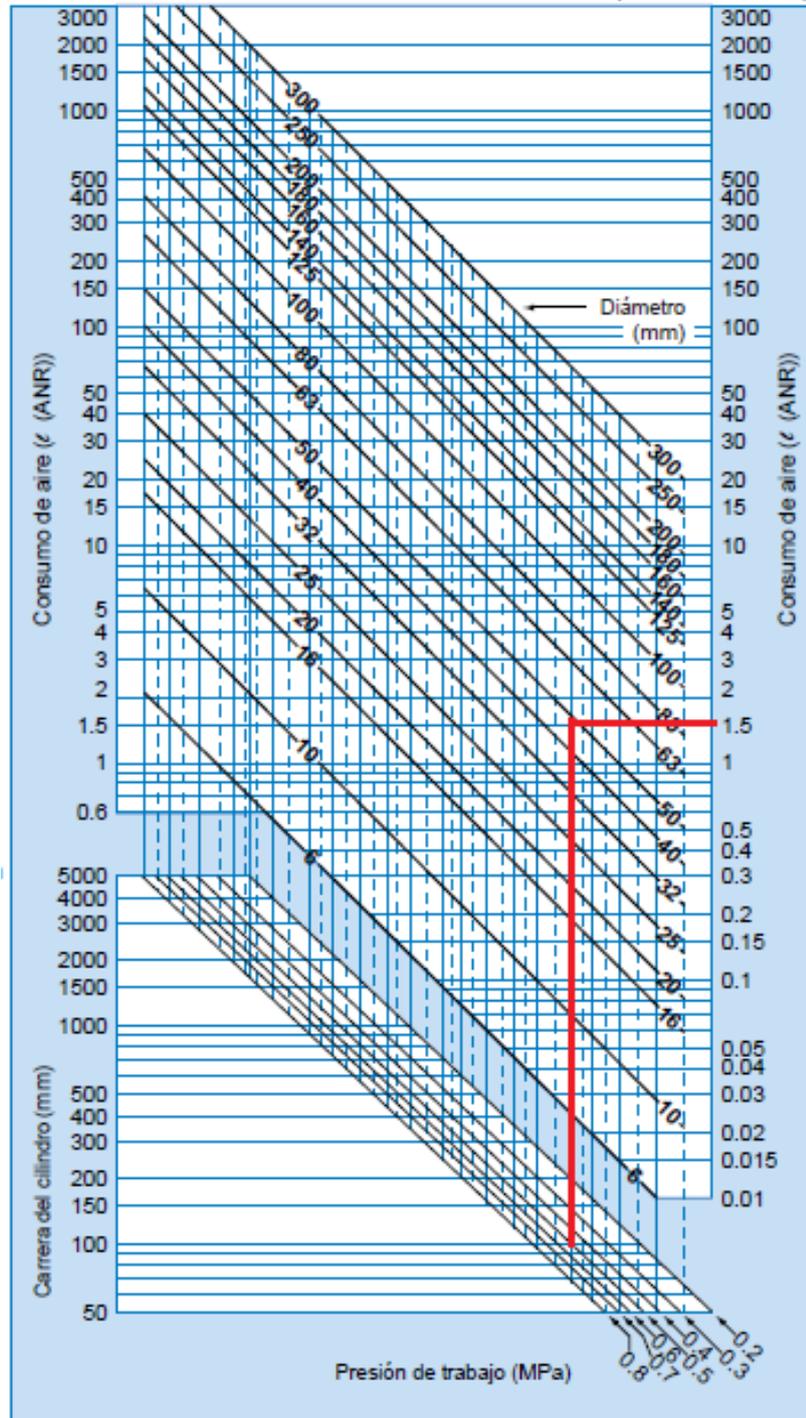
Para lo cual se debe seguir los siguientes pasos:

- 1) Hallar el punto de intersección entre la presión de trabajo (línea diagonal) y la carrera del cilindro, desde ese punto trazar una línea vertical hacia arriba.
- 2) Desde el punto de intersección con el diámetro (línea diagonal) del cilindro a utilizar, en uno de los costados muestra el consumo que requiere un ciclo del cilindro neumático.

La Tabla 12 representa la selección descrita:

Tabla XII. Consumo de aire del cilindro para un ciclo

<Gráfico 12> Consumo de aire del cilindro (Para un ciclo)

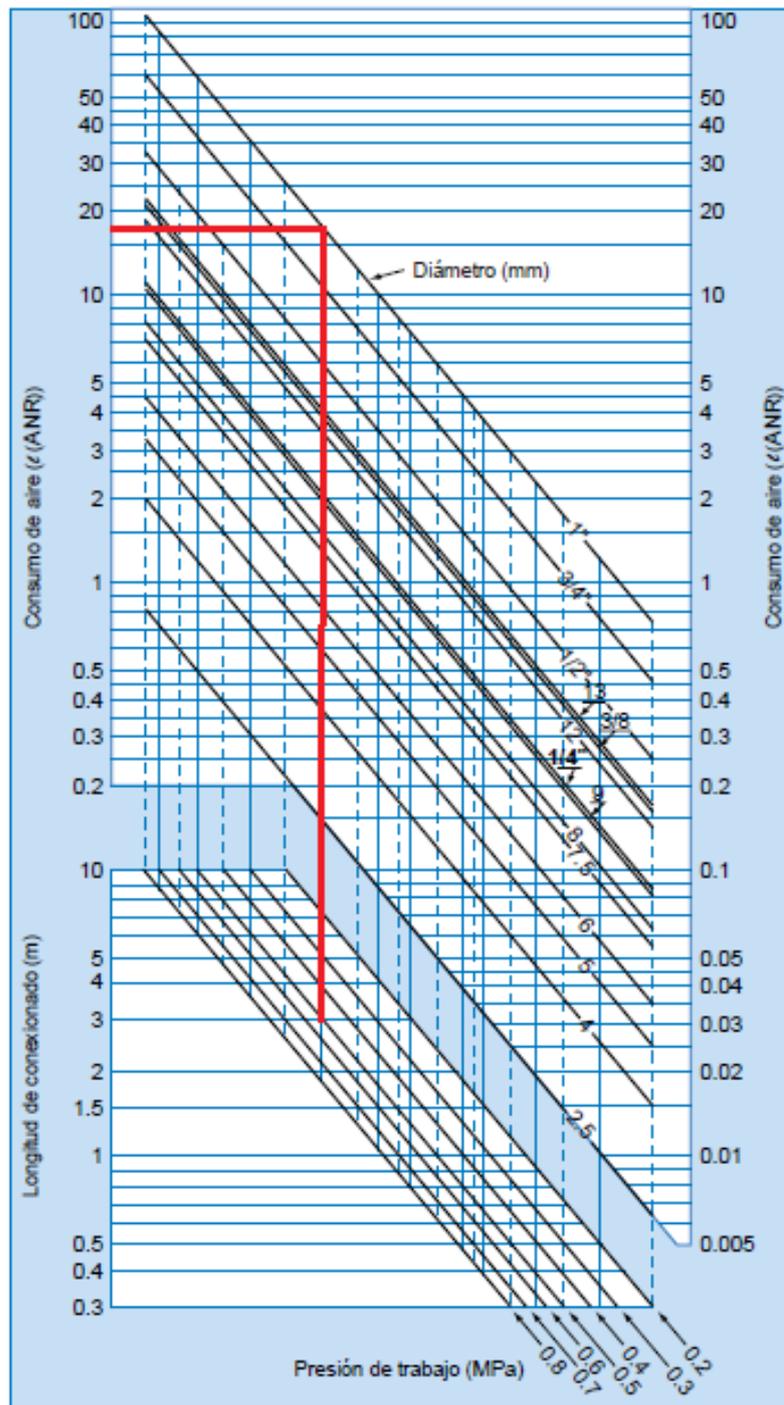


Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014.

3) Calcule el consumo de aire del tubo igual que en los pasos anteriores, longitud del conexionado que conecta el cilindro con la electroválvula.

Tabla XIII. Consumo de aire del tubo para un ciclo

<Gráfico 13> Consumo de aire del tubo o de la tubería de acero (Para un ciclo)



Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014

- 4) Calcular el consumo de aire total por minuto de la siguiente forma:
 Consumo de aire Total = (consumo de aire del cilindro neumático + consumo de
 aire del tubo) * número de ciclos por minuto * número de cilindros usados

$$\text{Consumo de aire Total} = (1,5 + 20) * 6 * 1 = 129 \text{ l/min (ANR)}$$

2.2.5. ELEMENTOS DE TRABAJO

Una vez obtenidos los valores de los principales criterios para seleccionar el actuador neumático tales como la fuerza y el recorrido a superar, se opta por el Cilindro redondo DSNU-40-100-PPV.



Figura 45. Cilindro de sujeción de madera.
Fuente: Autor

Cuyas siglas corresponden a:

		DSNU	40	100	PPV	A	MQ
Tipo							
Doble efecto							
DSNU	Cilindro redondo						
Simple efecto							
ESNU	Cilindro redondo						
Diámetro del émbolo [mm]							
Carrera [mm]							
Amortiguación							
P	Anillos y discos elásticos en ambos lados						
PPV	Amortiguación neumática regulable en ambos lados						
PPS	Amortiguación neumática autorregulable en ambos lados						
Detección de posiciones							
A	Para detectores de posición						
Variante							
MQ	Conexión lateral del aire comprimido						
MA	Conexión axial del aire comprimido						
MH	Con brida de fijación en la culata						

Figura 46. Siglas del cilindro neumático DSNU-40-100-PPV

Fuente: *FESTO, guía de productos 2013 – 2014*

Cumpliendo el cilindro neumático de doble efecto a cabalidad con los requerimientos establecidos anteriormente mediante las diferentes tablas, es importante aclarar que se toma muy en cuenta la amortiguación neumática regulable en ambos lados, para salvaguardar la integridad de la madera.

2.2.6. ELEMENTOS DE MANDO

En la *Figura 48* se puede observar la electroválvula seleccionada de marca Festo modelo VUVB-M3 de 110V AC, 3/2 vías, siendo las válvulas de salida las apropiadas para el trabajo a realizar con el cilindro de doble efecto, con un caudal nominal que satisface los requerimientos establecidos anteriormente mediante los diferentes diagramas.

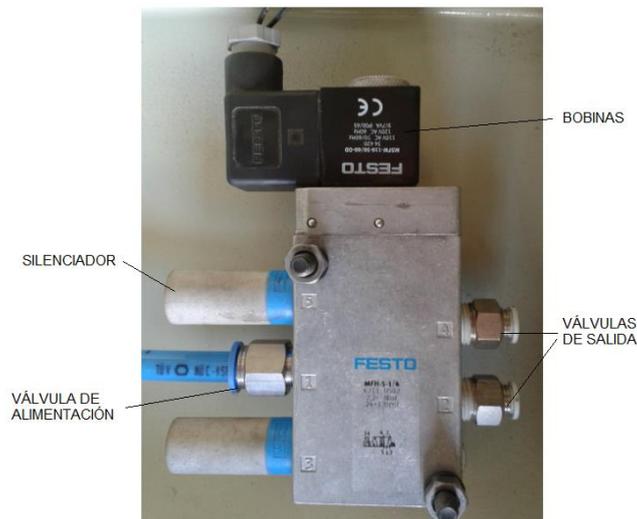


Figura 47. Electroválvula seleccionada.
Fuente: Autor

En la Tabla 14 se puede apreciar las características que cumple el dispositivo con lo necesitado

Tabla XIV. Datos técnicos de la electroválvula VUVB-M3

Función	Ejecución	Tipo	Caudal nominal [l/min]	Conexión neumática	Tensión de funcionamiento [V]	Válvula semi-en-línea	Válvula con conexiones roscadas	Alimentación del aire de pilotaje		→ Página/Internet
								Interna	Externa	
Válvulas de 3/2 vías	Electroválvula para conexión individual y batería de válvulas									
		VUVB-...-M32-...	200	QS-4	24 DC 110 AC	■	-	-	■	14
			500	QS-6	230 AC 12 DC/24 AC	■	■	■	■	
			800	QS-8	■	■	■	■		
			1 000	QS-10	■	-	-	■		
1 000			QX ¹⁾	■	-	-	■			

Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014

2.2.7. UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Es un elemento de tratamiento de aire; el aire comprimido debe estar libre de humedad y partículas de polvo, además conviene que tenga un cierto contenido de aceite lubricante para proteger a la válvula y actuadores por los que circula. La unidad de mantenimiento contiene un filtro, regulador de presión, manómetro y lubricador, como se puede apreciar en la Figura 49.



Figura 48. Unidad de Mantenimiento
Fuente: Autor.

Los factores que se toma en cuenta para seleccionar esta unidad de mantenimiento son su gran rendimiento, adquisición inmediata, compatibilidad, caudal nominal, presión de funcionamiento y grado de filtración.

Debido a esto la unidad de mantenimiento seleccionada es LFMBA-1/2-D-MIDI, la cual cumple todos los parámetros mencionados anteriormente, datos que se puede apreciar en la Tabla 15.

Tabla XV. Datos técnicos de la unidad de mantenimiento

Característica	Propiedades
Tamaño	Midi
Serie	D
Posición de montaje	vertical +/- 5°
Grado de filtración	0,01 µm
Grado de eficacia del filtro	99,9999 %
Purga del condensado	giro manual
Construcción	Filtro de fibras
Cantidad máxima del condensado	43 ml
Funda de protección	Funda protectora metálica
Presión de funcionamiento	1 ... 16 bar
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [6:8:4] Gases inertes
Clase de pureza del aire en la salida	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [1:7:2] Gases inertes
Temperatura del medio	1,5 ... 60 °C
Contenido residual de aceite	0,01 mg/m ³
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Peso del producto	1.300 g
Tipo de fijación	Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G1/2
Conexión neumática 2	G1/2
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE Conforme con RoHS
Información sobre el material del filtro	Fibra de borosilicato
Información sobre el material del cuerpo	Fundición inyectada de cinc
Información sobre el material del vaso del filtro	PC

Fuente: FESTO, guía de productos 2013 – 2014

Esta unidad de mantenimiento usa un filtro micrónico con un grado de filtración de 0,01 µm que permite limpiar el aire en un 99,999%; la válvula reguladora mantiene la presión de trabajo a niveles casi constantes, independientemente de las oscilaciones de presión que sufra la red (alimentación), este ajuste se puede observar mediante el manómetro; el lubricador de aire a presión permite la lubricación de los elementos neumáticos de ser necesario, FESTO argumenta que las válvulas y cilindros neumáticos han sido concebidos de tal modo que si son utilizados correctamente no precisan de una lubricación adicional.

2.2.8. SELECCIÓN DEL COMPRESOR

La selección del compresor es primordial para el funcionamiento del sistema neumático ya que este provee del aire comprimido con el cual se trabaja, para seleccionar un compresor hay que tomar en cuenta la caída de temperaturas, las fugas y el consumo del equipo intermedio, por lo tanto se debe seleccionar una capacidad suficiente con una descarga que exceda el consumo de aire total.

Festo recomienda seleccionar un compresor con 1,4 veces el consumo de aire total, y uno con un volumen mayor en caso de ser necesario.

Es por esto que siendo el consumo total del sistema neumático de 129 l/min (ANR), se decide seleccionar un compresor con 2,0 veces el consumo de aire total, es decir el doble (258 l/min (ANR)).

Cabe recalcar que la fábrica de muebles clásicos Chandi "FAMUCLACH", posee un compresor de 300 l/min (ANR), de 600 [kPa] (6 bar), el cual cumple con los parámetros deseados.



*Figura 49. Compresor utilizado
Fuente: Autor*

2.2.9. DESCRIPCIÓN NEUMÁTICA DE FUNCIONAMIENTO

El compresor cumple la función de alimentar con aire comprimido al sistema, el cual ingresa al filtro de mantenimiento para extraer partículas no deseadas, ingresando aire comprimido limpio hacia la electroválvula, elemento de mando.

El aire comprimido ingresa a la electroválvula por el canal 1, saliendo el mismo en su estado natural por el canal 2 hacia el cilindro neumático, que en esta conexión mantendrá adentro el vástago.

Al activarse la bobina de la electroválvula el aire expulsado hacia el cilindro neumático cambia de estado, saliendo por el canal 4, haciendo que el vástago salga a prensar la madera, por consecuente el aire que se encontraba dentro del cilindro se descarga por el canal 3.

Este proceso será controlado por un relé de 110V AC, el cual se activa mediante el contacto ON-OFF que se encuentra en el panel de control.

2.3. SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD

El sistema de topes de profundidad dentro de la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería tiene el importante papel de optimizar la materia prima, que se emplea en la construcción de cada mueble.

2.3.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA DE TOPES DE PROFUNDIDAD

El sistema de topes es vital en el proceso de perforar la madera, ya que mediante este proceso se puede tener diferentes profundidades de orificios en la madera, el funcionamiento de este proceso como ya se mencionó en la sección 1.3.2 de este escrito, el antiguo sistema seleccionaba la profundidad mediante un seguro de presión (mariposa), pero este sistema no era tan eficiente debido al fallo del seguro; por este motivo se implementa en el nuevo sistema una varilla con orificios, junto con el seguro, pasador metálico, en donde cada orificio ya conlleva la distancia justa para perforar la madera de manera exacta.

2.3.2. ESTÁNDAR DE TIPO DE MADERA

Los tipos de madera que se procede a perforar son tres, conocer la materia prima es fundamental para establecer estándares con respecto a la medida que se va a perforar, a continuación se da información detallada sobre esta materia prima:

Haciendo una breve reseña la madera es un material duro y fibroso con distinta elasticidad según la dirección de deformación, que forma el tronco y las ramas de los árboles, (Wikipedia, 2014).

Una vez cortada y seca, la madera se utiliza para distintos fines en distintas áreas:

- Fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel.
- Alimentar el fuego, en este caso se denomina leña y es una de las formas más simples de biomasa.

- Menaje: vajillas.
- Ingeniería, construcción y carpintería.
- Medicina.
- Medios de transporte: barcos, carruajes.

La madera se clasifica según su dureza en:

- **Maderas duras:** Son aquellas que proceden de árboles de lento crecimiento, siendo más densas y resistentes a las inclemencias del tiempo que las maderas blandas. Éstas a su vez son pesadas y difíciles de trabajar, cortar, rayar, comprimir o desfigurar.

Producen pocas o nulas astillas y por lo regular tienen un color natural atractivo. Los árboles catalogados dentro de este tipo son: haya, castaño, roble, etc.

- **Maderas blandas:** Son aquellas que proceden de árboles de rápido crecimiento. La gran ventaja que tienen respecto a las maderas duras, es su ligereza y su bajo costo, pero su deficiencia es su poca resistencia ante las inclemencias del tiempo.

La manipulación de las maderas blandas es mucho más sencilla, aunque tiene la desventaja de producir mayor cantidad de astillas. La carencia de atractivo de esta madera hace que sea necesario casi siempre pintarla, barnizarla o teñirla. Los árboles catalogados dentro de este tipo son: pino, balsa, olmo, etc.

- **Fibras de densidad media (MDF):** Es un aglomerado elaborado con fibras de madera que previamente se han desfibrado, aglutinadas con resinas sintéticas mediante fuerte presión y calor, en seco, hasta alcanzar una densidad media, (Wikipedia, 2014)

La diferencia entre un aglomerado y la madera, es que la madera responde a los cambios de clima expandiéndose y contrayéndose. El aglomerado (MDF) es más estable.

2.3.3. ESTÁNDAR DE TIPO DE MUEBLE

Los muebles que comúnmente se construyen en la fábrica FAMUCLACH son tres, los cuales son puertas, cómodas y armarios por lo que la perforación de sus partes para su elaboración se ha priorizado, la fábrica tiene establecidos diferentes estándares para su respectiva perforación.

En la *Tabla 26* se puede identificar los diferentes estándares (distancias) a perforar para las diferentes partes de los muebles a ensamblar:

Tabla XVI. Profundidad estándar a perforar.

Mueble \ Madera	Suave[cm]	Dura[cm]	MDF[cm]
PUERTA	2,5	3,5	X
CÓMODA	2,0	2,0	1,5
CLÓSET	1,5	1,5	3,0

Fuente: Autor

2.3.4. PERFORACIÓN DE LA VARILLA

Para la perforación de la varilla se ha tomado muy en cuenta las distancias que se van a perforar, como se puede apreciar en la *Tabla 27*:

Tabla XVII. Cantidad de orificios correspondientes a las distancias a perforar en la varilla

Cantidad	Profundidad [cm]
1	3,5
2	3,0
3	2,5
4	2,0
5	1,5

Fuente: Autor

La varilla está compuesta de acero de transmisión, para su perforación se utiliza una broca para acero dulce, mediante un taladro vertical.

2.3.5. VISUALIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES ESCOGIDOS

La visualización de los estándares escogidos se da a través de una pantalla LCD, la cual es configurada mediante el microcontrolador PIC 16F876A, cuyas entradas y salidas digitales se ven administradas gracias a la selección de los estándares que el operario necesita, para la configuración de este dispositivo de control se toma en cuenta la cantidad de pines que se van a utilizar, así como de su arquitectura y robustez al trabajar.

2.3.5.1. Microcontrolador PIC 16F876A:

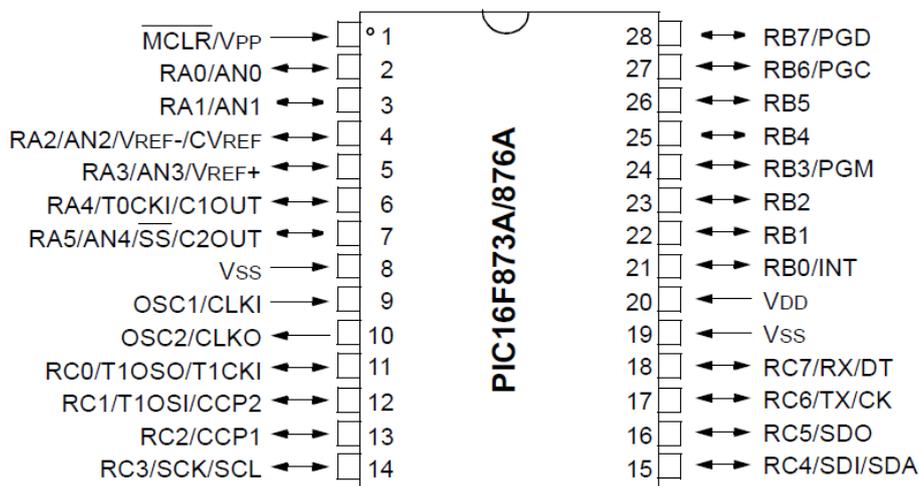


Figura 50. Pines de conexión del microcontrolador PIC16F876A

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/PIC16F87X#cite_note-Microcontroladores_PIC-1

Los PIC16F87X forman una subfamilia de microcontroladores PIC (Controlador de Interfaz Periférico) de gama media de 8 bits, fabricados por Microchip Technology Inc.

Estos dispositivos cuentan con memoria de programa de tipo EEPROM Flash mejorada, lo que permite programarlos fácilmente usando un dispositivo programador de PIC (PICkit2). Esta característica facilita sustancialmente el diseño de proyectos, minimizando el tiempo empleado en programar los microcontroladores (μ C), (Wikipedia, 2014).

Esta subfamilia consta de los siguientes modelos que varían de acuerdo a prestaciones, cantidad de terminales y encapsulados:

- PIC16F870
- PIC16F871
- PIC16F872
- PIC16F873A
- PIC16F874A
- **PIC16F876A**
- PIC16F877A

La "A" final de los modelos PIC16F873A, PIC16F874A, PIC16F876A y PIC16F877A indica que estos modelos cuentan con módulos de comparación analógicos.

El hecho de que se clasifiquen como microcontroladores (MCU) de 8 bits hace referencia a la longitud de los datos que manejan las instrucciones, y que se corresponde con el tamaño del bus de datos y el de los registros de la CPU.

Estos microcontroladores tienen la memoria de programa y la memoria de datos separadas, lo que se conoce como **arquitectura Harvard**. Esta configuración interna permite entre otras cosas acceder a las instrucciones de programa y a los datos simultáneamente a través de buses diferentes, lo que mejora notablemente la velocidad de proceso de estos dispositivos.

Los dispositivos de la familia PIC16F87X admiten un amplio rango de tensiones de alimentación, que va de 2,0 V a 5,5 V. La tensión a la cual se alimenten determinará la frecuencia máxima de trabajo.

La potencia máxima disipada es de 1 W y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_{disipada} = V_{DD}(I_{DD} - \Sigma I_{OH}) + \Sigma[(V_{DD} - V_{OH})I_{OH}] + \Sigma(V_{OL}I_{OL})$$

Fuente: Microchip PIC16F87XA Data Sheet, 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers, 2003 Microchip Technology Inc, pdf (pág 173)

Donde:

- V_{DD} es la tensión suministrada por la fuente de alimentación.
- I_{OH} es la corriente suministrada por las salidas del PIC en estado alto.
- I_{OL} es la corriente absorbida por las salidas del PIC en estado bajo.
- V_{OH} es la tensión entregada por los terminales en estado alto.
- V_{OL} es la tensión presente en los terminales en estado bajo.

$$V_{DD} = 5V$$

$$I_{DD} = 250mA$$

$$I_{OH} = 20mA \rightarrow 1 \text{ led encendido}$$

$$V_{OH} = 4,30V \rightarrow \text{Resistencia de } 220 \Omega$$

$$I_{OL} = 1,3mA$$

$$V_{OL} = 0,3V$$

$$P_{disipada} = 5[V] \cdot (250[mA] - (11) \cdot (20[mA]))$$

$$+ \Sigma[(5V - 4,30[V])20[mA]] + (13) \cdot [(0,3[V]) \cdot (1,3[mA])]$$

$$P_{disipada} = 5[V] \cdot (250[mA] - (220[mA])) + (11) \cdot [14[mW]]$$

$$+ (13) \cdot [(0,4[mW])]$$

$$P_{disipada} = 150[mW] + 154[mW] + 5,2[mW]$$

$$P_{disipada} = 309,2[mW] = 0,3[W]$$

Reloj del microcontrolador:

El reloj u oscilador se utiliza para generar la base de tiempo del microcontrolador, para la conexión del oscilador se emplean los terminales OSC1 y OSC2 del dispositivo.

El oscilador escogido para este proyecto es HS (High Speed), esta selección se debe por la estabilidad que ofrece y por la utilización de un oscilador de 8MHz.

Los microcontroladores PIC16F87XA emplean por cada ciclo de instrucción cuatro ciclos de reloj.

Esto significa que el microcontrolador debe ejecutar el programa de 189 instrucciones con un reloj de 8 MHz (periodo de reloj de 80 ns), por lo tanto el tiempo total que emplea para ejecutar todo el programa siendo todas las instrucciones de un ciclo de instrucciones es de:

$$T = \frac{189 * 4}{8 * 10^6} = 94,5 \mu s$$

El PIC16F876A se escoge debido a sus características puntuales, las cuales son básicas para este trabajo, ofreciendo con sus 28 pines rendimiento, velocidad de proceso, seguridad y eficiencia para visualizar el sistema de profundidad que se implementa.

Las características de este microcontrolador de la serie 16F y más información técnica se puede observar en el *anexo A-5*.

2.3.5.2. Pantalla de cristal líquido (LCD)

La LCD escogida para visualizar la profundidad estándar a perforar es de 16x2, es decir consta de 16 columnas y 2 filas, la selección de esta LCD de estas características se debe porque en la primera línea se visualiza el tipo de madera y el tipo de mueble, y en la segunda línea se describe la distancia a perforar.

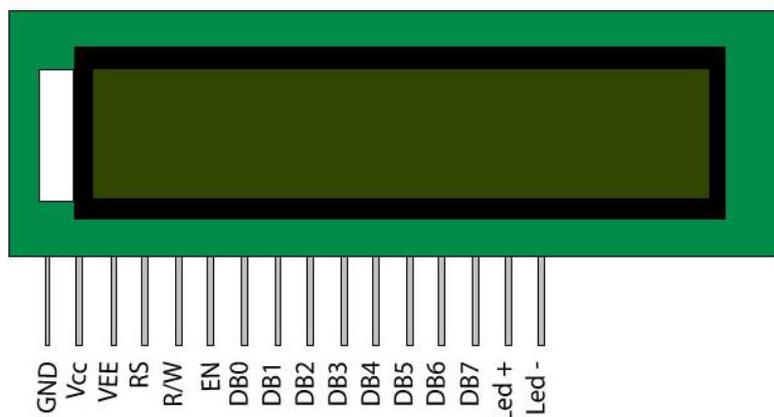


Figura 51. LCD, Display de Cristal Líquido

Fuente: www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet.

Tabla XVIII. Pines de conexión de la LCD.

Pin	Símbolo	Descripción
1	Vss	GND
2	Vdd	Alimentación de +5V DC
3	Vo	Contraste del cristal líquido (0 a +5V)
4	RS	Selección del registro de control/registro de datos: RS = 0, Selección registro de control RS = 1, Selección registro de datos
5	R/W	Señal de lectura/escritura: R/W = 0, Escritura (Write) R/W = 1, Lectura (Read)
6	E	Habilitación del módulo: E = 0, Módulo desconectado E = 1, Módulo conectado
7 – 14	D0 – D7	Bus de datos bidireccional
15	A	Ánodo del LED
16	K	Cátodo del LED

Fuente: Autor

2.3.5.3. Programación del microcontrolador PIC 16F876A

Las primeras pruebas se realizan mediante el programa de simulación “ISIS Professional” o también conocido como “Proteus”, que después de configurar los pines de la LCD en la plataforma de programación “MikroC PRO for PIC”, tomando referencia del fabricante, (MikroElektronika, 2014), y (TecMikro, 2014), se aprecia la visualización de los estándares correspondientes previa selección del tipo de mueble y tipo de madera.

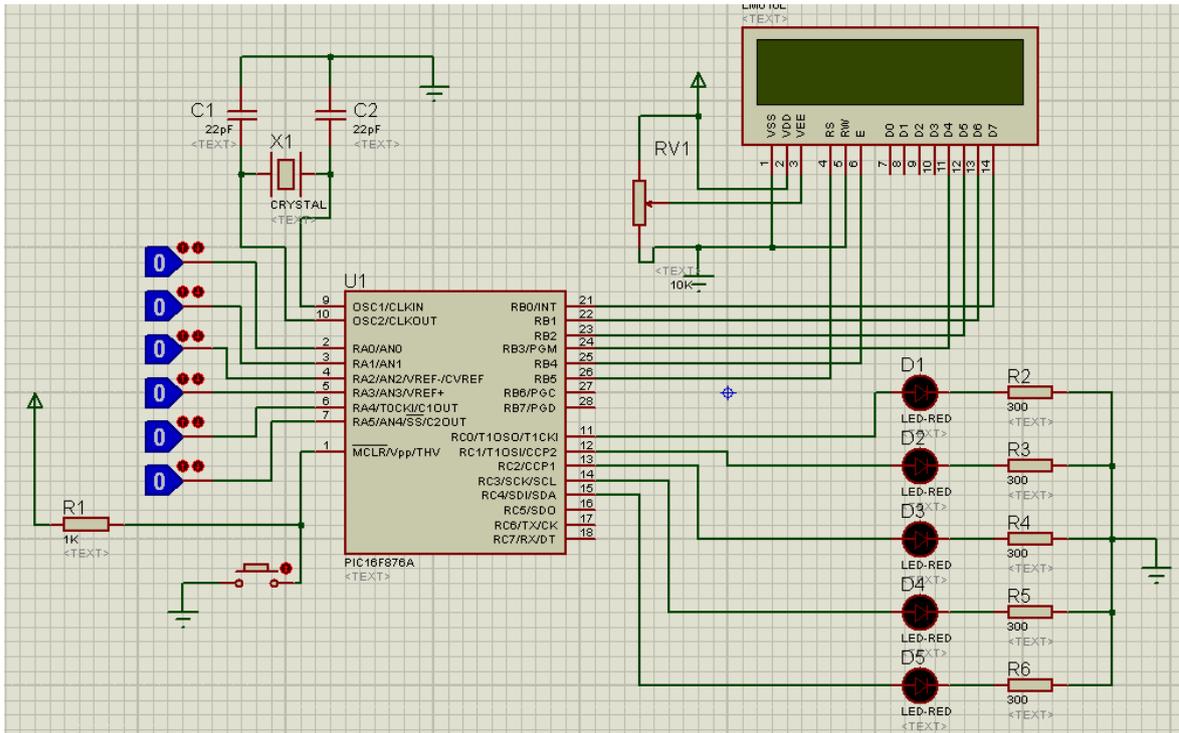


Figura 52. Simulación del circuito de selección de estándares para el sistema de profundidad.

Fuente: Autor.

Una vez concluida la simulación con éxito el circuito, se procede a probar el circuito armado en protoboard, para lo cual se utiliza el compilador "PICkit2" de Microchip, el cual realiza un interfaz entre el grabador de PICs y la computadora, transfiriendo el programa que se realiza en MikroC al microcontrolador PIC 16F876A.

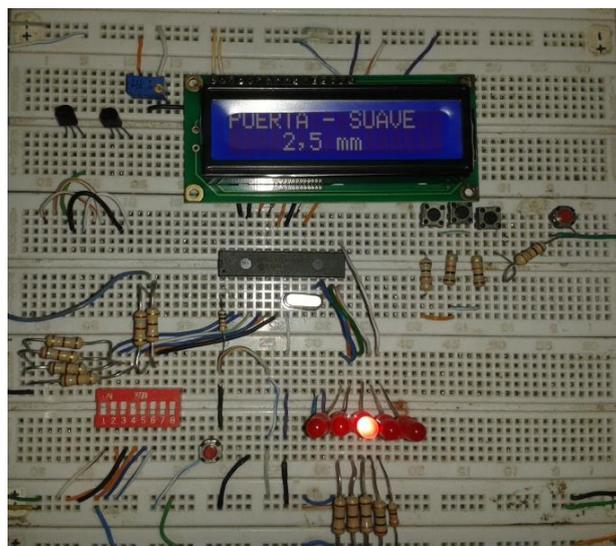


Figura 53. Implementación del circuito en protoboard.

Fuente: Autor.

Es importante aclarar que el hardware del compilador PICkit2 permite grabar diferentes tipos de PICs y con diferentes cantidades de pines, así como lo muestra la *Figura 54*, por lo que es fundamental conocer la manera en la que se debe insertar el microcontrolador en las ranuras del compilador.

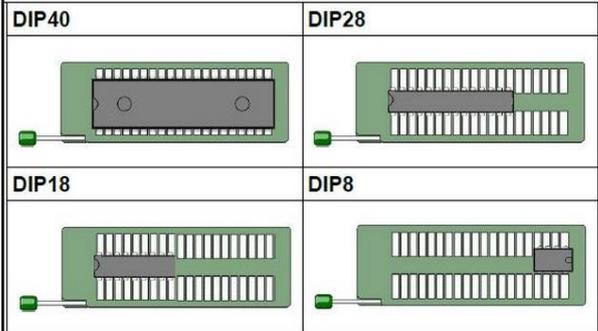


Figura 54. Forma de insertar el microcontrolador en el PICkit2, uControl.

Fuente: <http://www.ucontrol.com.ar/forosmf/proyectos-con-pic/programador-pickit-2-clone-reloaded/480/>

Con el correcto funcionamiento del circuito en la protoboard, se procede a diseñar la placa que conlleva el circuito que da funcionamiento al sistema de profundidad mediante el software “PCB Wizard”.

Este diseño de la placa se puede apreciar en la *Figura 55*.

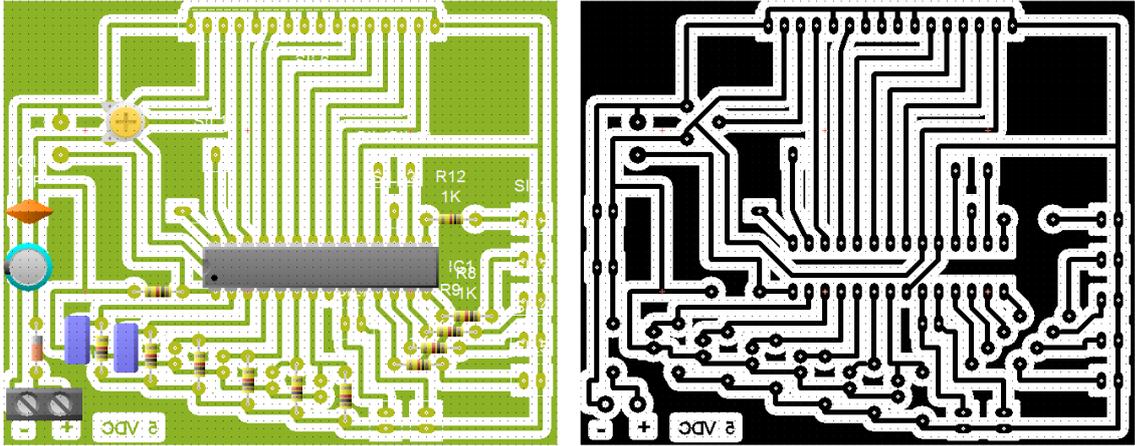


Figura 55. Diseño de placa para selección de estándares del sistema de profundidad.

Fuente: Autor.

Los pines que se utilizan en el microcontrolador se detallan en la *Tabla 19*.

Tabla XIX. Utilización de pines del microcontrolador 16F876A.

PIN	NOMBRE	FUNCIÓN	VARIABLE
1	MCLR	Reset del microcontrolador	Master Clear
2	RA0	Entrada switch mueble – puerta	Posa
3	RA1	Entrada switch mueble – cómoda	posB
4	RA2	Entrada switch mueble – clóset	posC
5	RA3	Entrada switch madera – suave	posX
6	RA4	Entrada switch madera – dura	posY
7	RA5	Entrada switch madera – MDF	posZ
8	VSS	Conexión a GND	GND
9	OSC1	Conexión de Oscilador externo	OSC1
10	OSC2	Conexión de Oscilador externo	OSC2
11	RC0	Salida uno (1)	sal1
12	RC0	Salida dos (2)	sal2
13	RC2	Salida tres (3)	sal3
14	RC3	Salida cuatro (4)	sal4
15	RC4	Salida cinco (5)	sal5
16	RC5	Libre	Libre
17	RC6	Libre	Libre
18	RC7	Libre	Libre
19	VSS	Conexión a GND	GND
20	VDD	Conexión a Tensión (+5V)	Tensión (+5V)
21	RB0	Conexión LCD	LCD_D7
22	RB1	Conexión LCD	LCD_D6
23	RB2	Conexión LCD	LCD_D5
24	RB3	Conexión LCD	LCD_D4
25	RB4	Conexión LCD	LCD_EN
26	RB5	Conexión LCD	LCD_RS
27	RB6	Libre	Libre
28	RB7	Libre	Libre

Fuente: Autor.

Las combinaciones de tipo de mueble y tipo de madera que se eligen se puede observar en la *Tabla 20*.

Tabla XX. Combinaciones respectivas para salida de estándares de profundidad

Significado de siglas:

A=Puerta, B=Cómoda, C=Clóset, X=Suave, Y=Dura, Z=MDF.

Salida	Distancia	Combinación	Visualización
1	3,5	A_Y	Puerta – Dura
2	3,0	C_Z	Clóset – MDF
3	2,5	A_X	Puerta – Suave
4	2,0	B_X , B_Y	Cómoda – Suave, Cómoda-Dura
5	1,5	C_X, C_Y, B_Z	Clóset - Suave, Clóset - Dura, Cómoda - MDF

Fuente: Autor

2.4. PANEL DE CONTROL

El panel de control es la manera directa como el operario interactúa con la máquina, debido al uso de diferentes switches para controlar los diferentes procesos y a su vez la observación de visualizadores que detallan el funcionamiento de los mismos.

2.4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LOS SISTEMAS

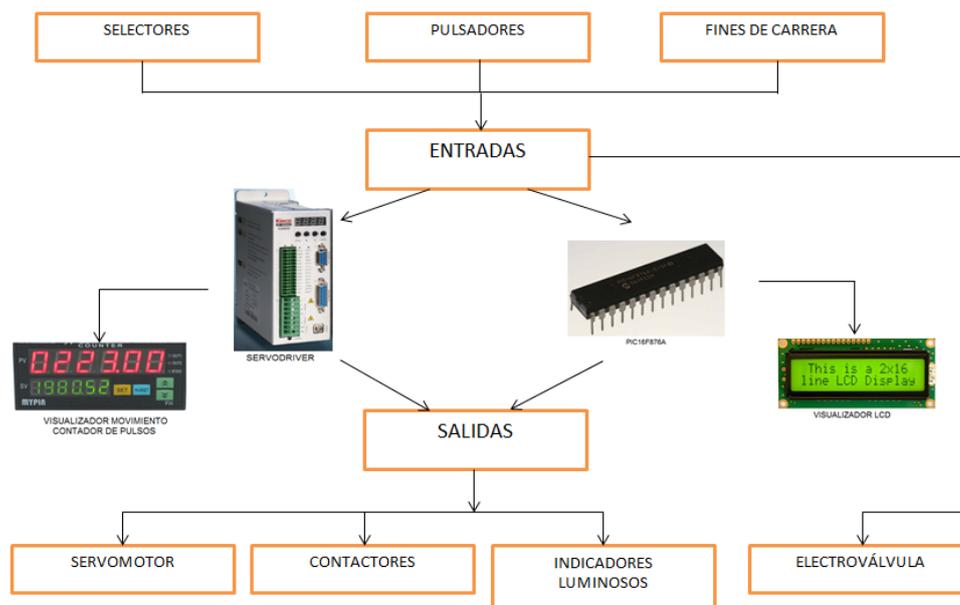


Figura 56. Diagrama de bloques de los sistemas implementados para modernizar la máquina.

Fuente: Autor.

2.4.2. DISEÑO DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control permite al operario controlar todos los sistemas implementados y visualizar al instante información fundamental que permite conocer el estado de los sistemas, como es el caso del movimiento del servomotor y el sistema de profundidad.

En la *Figura 57* se observa la distribución tanto de los dispositivos de control, como de los dispositivos de visualización, ocupando la parte inferior del gabinete el paro de emergencia (STOP), el encendido de los diferentes sistemas, y el sistema de posicionamiento vertical, esto se debe a que el operario tiene una mayor facilidad para operar los controles dispuestos en esta.

En la parte superior se encuentra los indicadores luminosos, dos de los cuales indican si el motor se encuentra en funcionamiento o no, mientras tanto el tercero, indicador extremo derecho avisa al operario que la prensa neumática esta activada, y a su vez los sistemas están energizados.

En el centro del gabinete se encuentra el visualizador, LCD, que muestra el estándar a perforar seleccionado mediante los selectores de tres posiciones que se encuentran junto a este, aquí el operario escoge el tipo de mueble en primera instancia, y el tipo de madera en segunda.

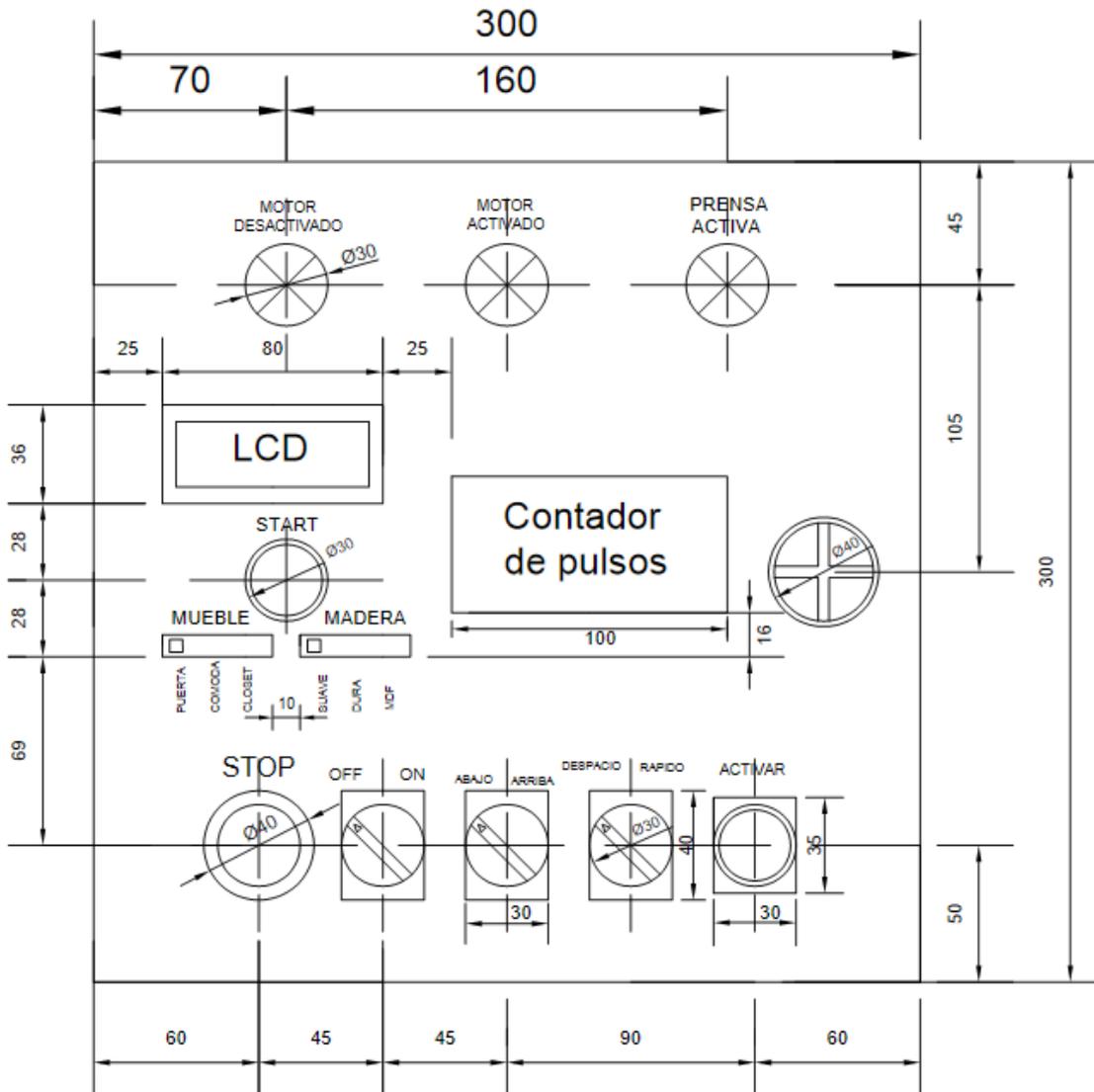


Figura 57. Panel de control de los tres sistemas implementados, en milímetros.

Fuente: Autor

La *Figura 58* muestra el tablero de control, donde la nomenclatura del estado en que normalmente se encuentra cada elemento de control, se ubica en la esquina inferior derecha de cada uno, siendo la interpretación la siguiente:

- NA -> Normalmente abierto
- NC -> Normalmente cerrado
- IL -> Indicador luminoso

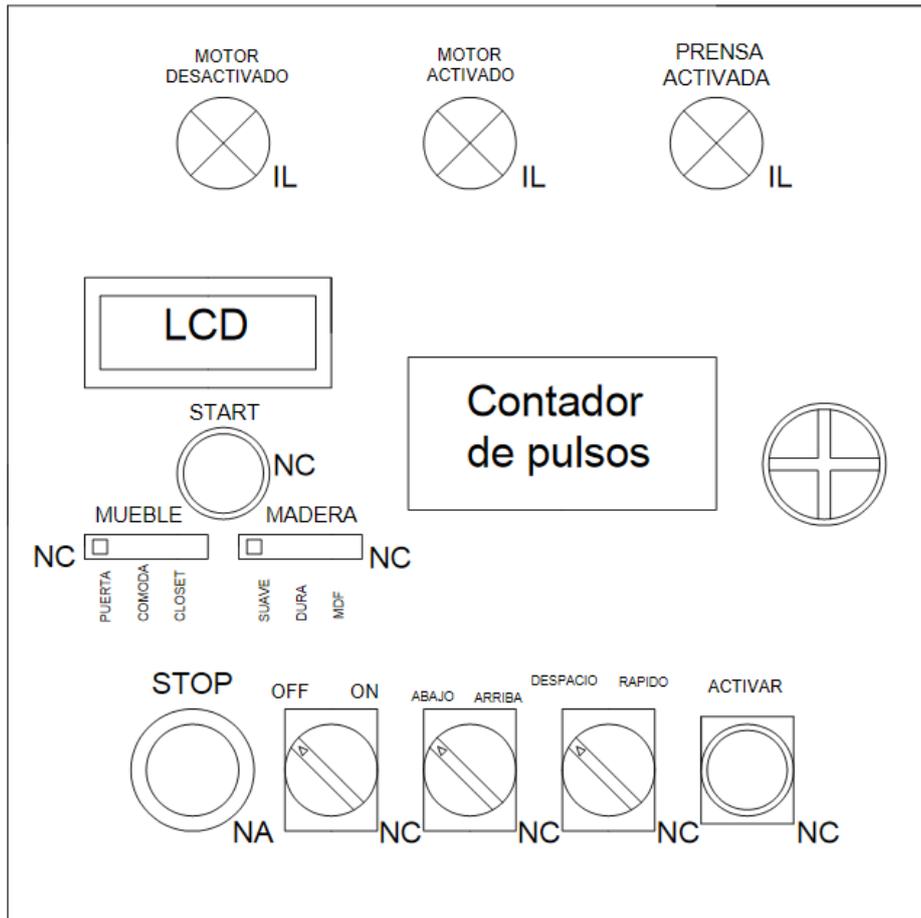


Figura 58. Panel de control con nomenclatura de estado normal.

Fuente: Autor

Es importante aclarar que la profundidad de este gabinete corresponde a veinte centímetros (20cm), dato que no afecta al diseño, esto se debe a que el contador de pulsos es el dispositivo con mayor profundidad, siendo este de nueve centímetros (9cm).

2.4.3. PROTECCIONES ELÉCTRICAS

El gabinete principal contiene las protecciones eléctricas de los dispositivos que conforman la modernización de la máquina, los cuales son indispensables para el correcto funcionamiento de la misma.

Proteger los elementos electrónicos es vital en la modernización de la máquina, tanto para salvaguardar la integridad del operario como de los dispositivos

electrónicos, esto se debe a que la energía con la cual se alimentan puede venir con sobretensiones, es decir pueden exceder el máximo suministro de energía que soportan, dañando gravemente el dispositivo y peor aun provocando un corto circuito que puede terminar en un incendio.

Las protecciones del equipo eléctrico que se implementan en el sistema de posicionamiento vertical están dispuestas por varias razones, a continuación se explican las mismas y el motivo de su selección.

Circuit breaker (Cortacircuitos).- Un cortacircuitos es un accionamiento automático tipo interruptor eléctrico diseñado para proteger un circuito eléctrico de los daños causados por sobrecarga o cortocircuito . Su función básica es la detección de una condición de fallo e interrumpir el flujo de corriente.

➤ **Breaker LS BKN-b, 2P, (10[A]):**

Este disyuntor de 10[A] es la principal protección de los sistemas que se implementan, su valor corresponde a la suma total de la corriente nominal utilizada por los dispositivos, por lo tanto es el primero en ser energizado por el flujo de corriente eléctrica.



Figura 59. Breaker BKN-b.

Fuente: (Direct INDUSTRY, 2014)

Tabla XXI. Parámetros técnicos del breaker LS BKN-b.

Marca	LS
Modelo	BKN-b
Máxima tensión	400VAC
Voltaje nominal (V)	230 / 400
Capacidad de corte	10KA
Polos	2
Corriente nominal (A)	10
Frecuencia	50 / 60 Hz
Temperatura ambiente	-5°C, +40°C

Fuente: <http://pdf.directindustry.com/pdf/ls-industrial-systems/minature-circuit-breakers/19851-3968.html>

2.4.3.1. Protecciones del servodriver

El servodriver es un dispositivo importante dentro de la modernización de la máquina, por lo que se toma en cuenta las recomendaciones del fabricante para las conexiones respectivas.

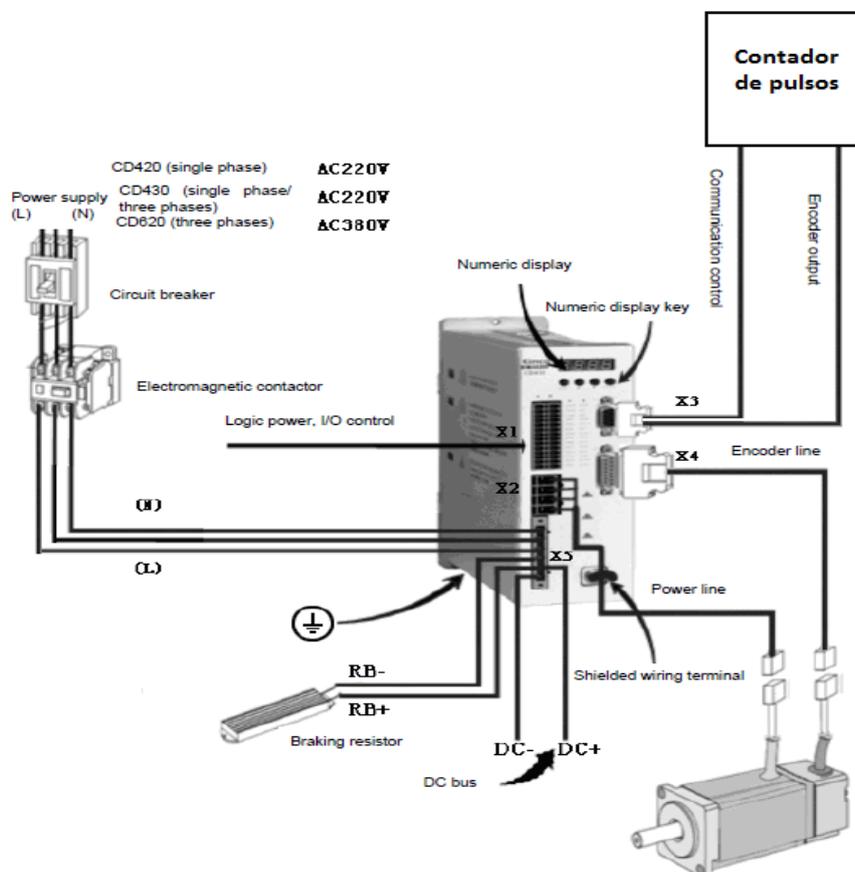


Figura 60. Protecciones del equipo electrónico, Kinco Automation

Fuente: (Kinco, 2011)

➤ **Breaker CAMSCO C60N, 2P, (6[A]):**

El disyuntor de 6[A] es el encargado de proteger de cualquier sobrecarga o cortocircuito al servodriver, esto debido a los 5,5[A] con los que trabaja el mismo.



Figura 61. Breaker CAMSCO C60N.

Fuente: Breakers para montaje en riel DIN CAMSCO “C60N” y “NC100H”, catálogo CAMSCO, (pág 113), pdf.

Tabla XXII. Parámetros técnicos del breaker CAMSCO C60N.

Marca	CAMSCO
Modelo	C60N
Máxima tensión	400V
Voltaje nominal (V)	230 / 400
Capacidad de corte	6KA
Polos	2
Corriente nominal (A)	6
Frecuencia	50 / 60 Hz
Temperatura ambiente	-20°C, +50°C

Fuente: Breakers para montaje en riel DIN CAMSCO “C60N” y “NC100H”, catálogo CAMSCO, (pág 113), pdf.

Electromagnetic Contactor.- Un contactor es un dispositivo controlado mediante electroimán con funcionamiento todo o nada, es decir que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, tan pronto se dé tensión a la bobina.

➤ **Contactador LS MC-32a:**

El contactor LS que se implementa en el gabinete principal, muestra gran credibilidad en cuestión de protección, además permite controlar los diferentes dispositivos mediante los cinco contactos abiertos que dispone.



Figura 62. Contactador LS MC-32a.:

Fuente: Contactors, Metasol, catálogo Metasol, (pág 22), pdf.

Tabla XXIII. Parámetros técnicos del contactor LS MC-32a.

Marca	LS
Modelo	MC-32a
Contactos	3 polos (NO)
Contactos auxiliares integrados	Sí (2)
Corriente de carga máxima	32 [A]
Tensión de control	230 [V] CA
Frecuencia	50/60 Hz

Fuente: Parámetros técnicos del contactor LS MC-32a.

➤ **Protección de entradas del servodriver:**

El servodriver para activar sus entradas necesita una señal de voltaje de 24V, por lo cual se ha diseñado esta placa cuyas resistencias de 220 ohmios proporcionan una protección para este dispositivo.

En la *Figura 63* se puede apreciar el diseño de la placa realizada mediante el software “PCB Wizard”

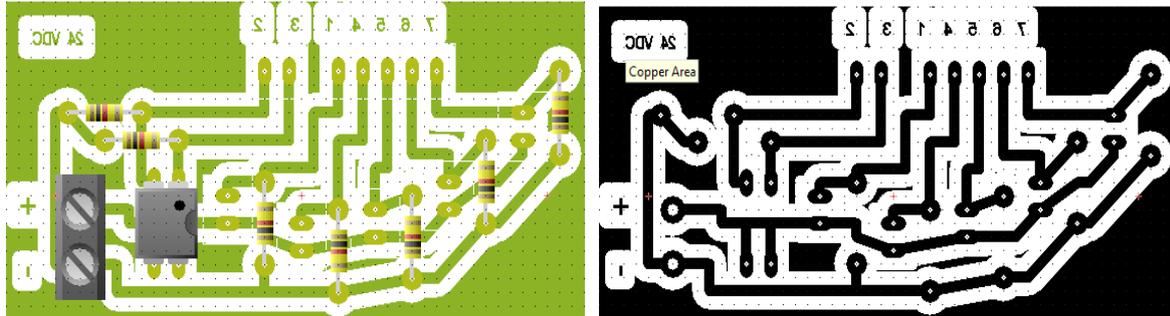


Figura 63 Diseño de placa para protección de entradas del servodriver.

Fuente: Autor.

2.4.3.2. Protecciones del microcontrolador

El sistema de profundidad tiene como pieza fundamental de control al microcontrolador, por lo que es necesario tomar medidas de protección, tanto para conservar su integridad de funcionamiento como de programación.

➤ Breaker STECK SDZ 1P, C2:

El disyuntor de 2[A] es el encargado de proteger de cualquier sobrecarga o cortocircuito a la fuente de 220[V], esto debido a los 1,5[A] con los que trabaja la misma, es importante aclarar que esta fuente de voltaje proporciona la alimentación al sistema de profundidad (5V), y a las entradas del sistema de posicionamiento vertical (24V).

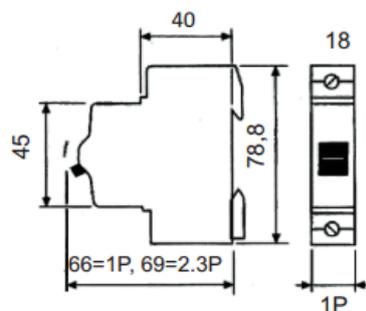


Figura 64 Breaker STECK SDZ

Fuente: Línea Mini Disyuntores, catálogo STECK, (pág 1-3), pdf.

Tabla XXIV. Parámetros técnicos del breaker STECK NBR NM 60898.

Marca	STECK
Modelo	NBR NM 60898
Máxima tensión	440V
Voltaje nominal (V)	230 / 400
Capacidad de corte	6KA
Polos	1
Corriente nominal (A)	2
Frecuencia	50 / 60 Hz
Temperatura ambiente	-20°C, +50°C

Fuente: Línea Mini Disyuntores, catálogo STECK, (pág 1-3), pdf.

➤ **Funcionamiento erróneo por pines libres:**

El pin del microcontrolador PIC16F876A que no es utilizado, puede ocasionar graves problemas de funcionamiento, (TecMikro, 2014), por tanto para evitar este percance se tiene estas dos soluciones:

Un pin sin utilizar se puede dejar desconectado, pero obligatoriamente se debe configurar como salida y programado en cualquier estado (alto o bajo).

Se puede configurar como entrada pero debe tener indispensablemente una resistencia externa de 10kΩ a VDD o VSS del microcontrolador.

Estas dos opciones permiten que el pin sea empleado posteriormente, como entrada o salida sin realizar modificaciones importantes en el hardware.

El microcontrolador en este proyecto como se indica en la *Tabla 19* tiene cinco pines libres, los cuales han sido configurados como salidas en el programa que se muestra en el *Anexo A-8*, mediante sus respectivos puertos B y C.

➤ **Problemas con el master clear (MCLR):**

El datasheet del microcontrolador PIC16F876A muestra que el reset MCLR (Reset Maestro) se producirá siempre y cuando se aplique un pulso negativo que tenga una duración mínima de 2 μ s en este pin.

Debido a que este tiempo es muy corto, es muy probable que se produzca un reset indeseado debido al ruido eléctrico en el pin MCLR. Para evitar este problema, el fabricante sugiere emplear una red RCR, la cual puede tener los siguientes valores: R1 = 10k Ω , R2 = 1,5k Ω y C1 = 0,1 μ F.

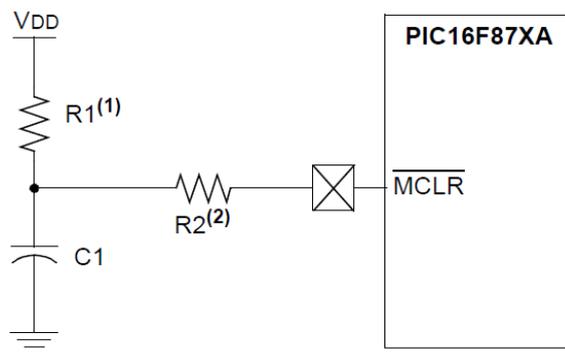


Figura 65. Conexión del Master Clear del microcontrolador PIC16F876A

Fuente: (MICROCHIP, 2003, pág. 148)

➤ **Protección del Oscilador:**

El oscilador escogido para el funcionamiento del microcontrolador es el modo HS, el fabricante mediante el datasheet de este dispositivo dispone protecciones contra el ruido mediante condensadores cerámicos conectados paralelamente, el valor de estos condensadores y su conexión son los siguientes:

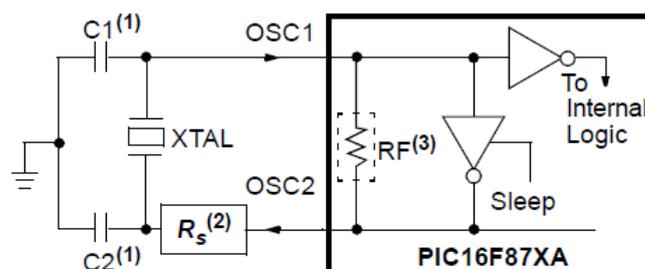


Figura 66. Conexión de la protección del oscilador del microcontrolador PIC16F876A

Fuente: (MICROCHIP, 2003, pág. 145)

La *Tabla 25* muestra los valores recomendados para C1 y C2, siendo el cristal escogido el de 8MHZ, así que por consecuencia se ubicó condensadores de 27pF.

Tabla XXV. Valores recomendados para la selección del Oscilador de Crystal para el microcontrolador PIC 16F876A

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

Fuente: (MICROCHIP, 2003, pág. 146)

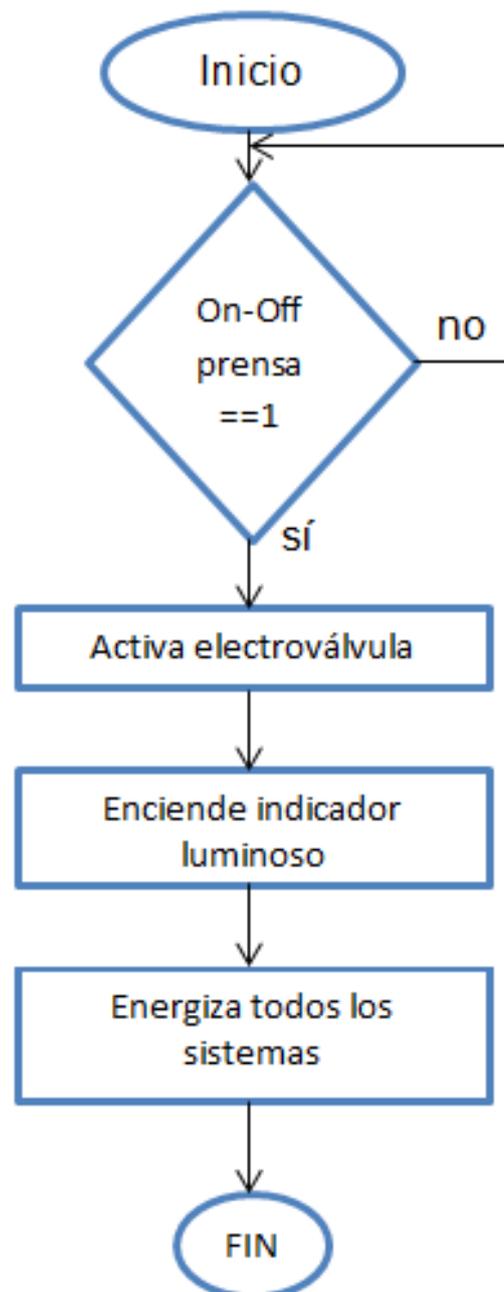
2.4.4. ALGORITMO DE CONTROL

Los siguientes algoritmos permiten identificar las reglas o instrucciones para controlar los diferentes sistemas implementados mediante pasos sucesivos, para agilidad del proceso que realiza la máquina perforadora lineal de ebanistería.

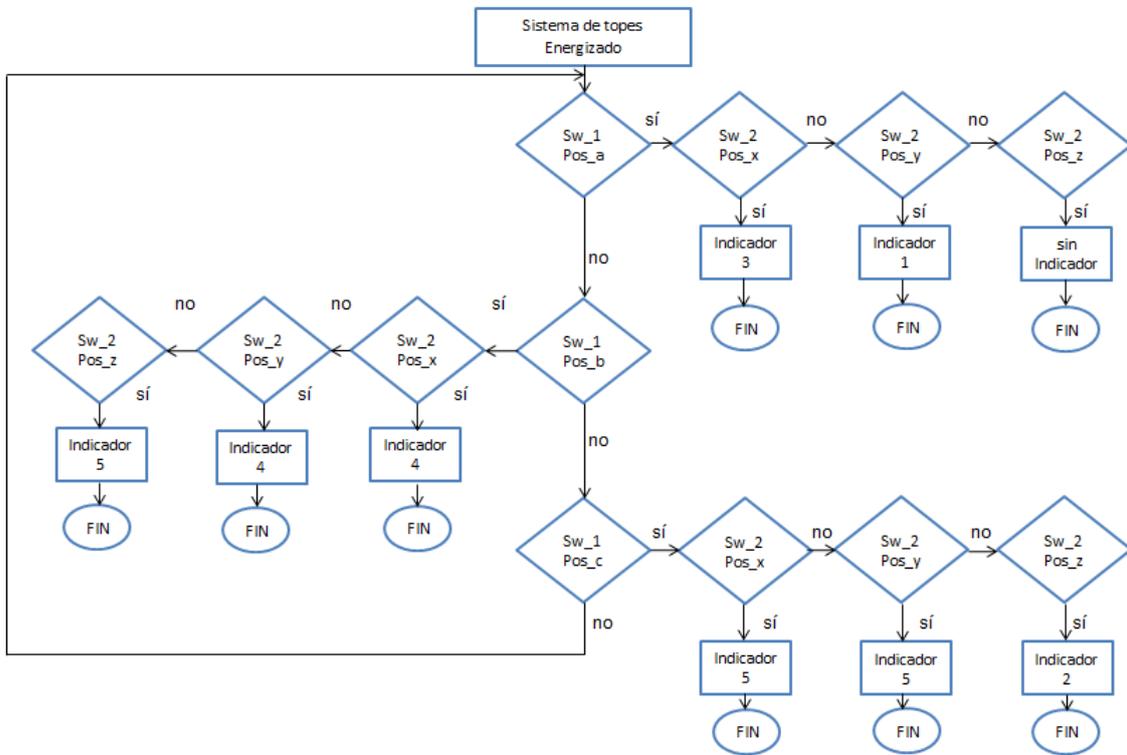
Nomenclatura utilizada:

- On-Off prensa -> Botón de activación del sistema neumático
- Sw_1 -> Switch 1 -> Selector de tipo de mueble
- Sw_2 -> Switch 2 -> Selector de tipo de madera
- Sw_3 -> Switch 3 -> Selector del sentido de giro(ascendente, descendente)
- Sw_4 -> Switch 4 -> Selector de velocidad del servomotor
- Pos_a -> Posición a -> Selección de mueble tipo puerta
- Pos_b -> Posición a -> Selección de mueble tipo cómoda
- Pos_c -> Posición a -> Selección de mueble tipo clóset
- Pos_x -> Posición a -> Selección de mueble tipo suave
- Pos_y -> Posición a -> Selección de mueble tipo dura
- Pos_z -> Posición a -> Selección de mueble tipo MDF

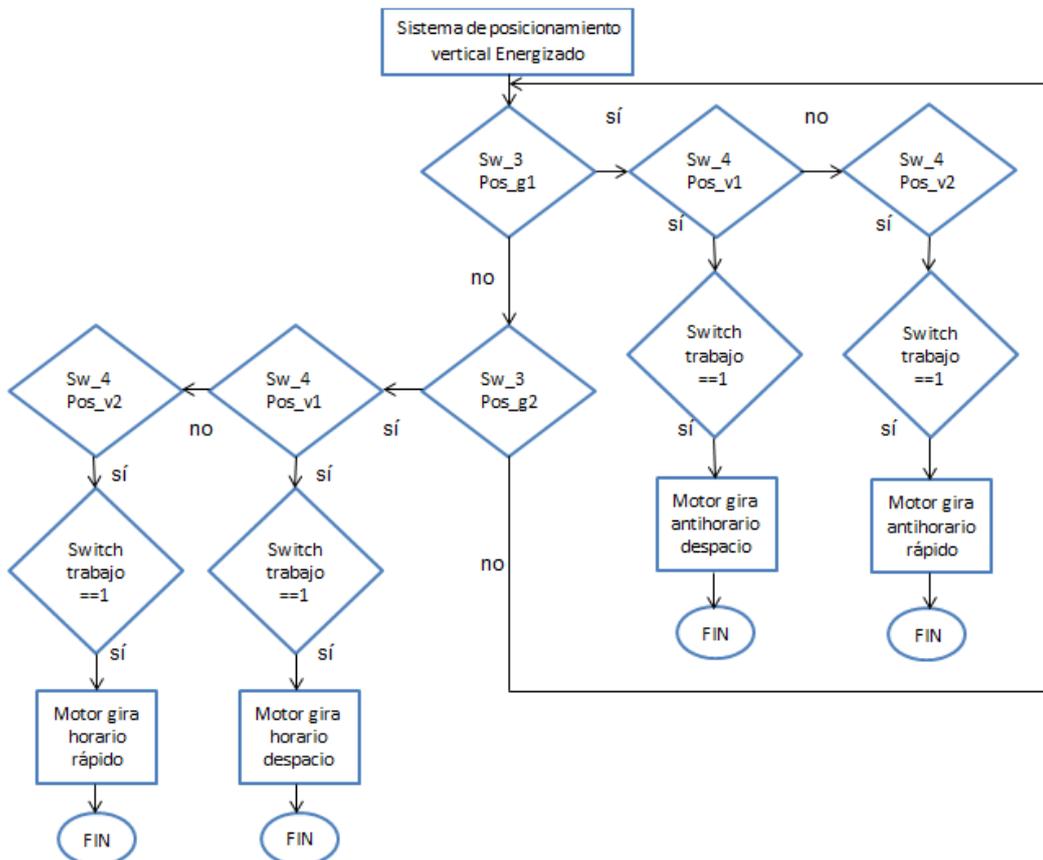
2.4.4.1. Flujograma para activar la prensa neumática y energizar todos los sistemas



2.4.4.2. Flujograma para seleccionar el estándar de profundidad



2.4.4.3. Flujograma para activar el movimiento del posicionamiento vertical



2.4.5. SEÑALES DIGITALES DE CONTROL Y AVISO PARA EL OPERARIO

Las señales digitales que proporcionan un fácil y rápido manejo de los diferentes sistemas implementados en la máquina son:

Tabla XXVI. Señales digitales de control y aviso al operario de la máquina.

N	Nombre	Figura	Función	Sistema	Estado
1	Selector 2 posiciones		-Inicio, permite energizar todos los sistemas -Activa la prensa neumática	-Todos -Sistema Neumático	Normalmente abierto
2	Selector 4 posiciones		-El primero, permite escoger el tipo de mueble. -El segundo, permite escoger el tipo de madera.	-Sistema de profundidad	Normalmente abierto
3	Selector 2 posiciones		-El primero, permite escoger el sentido de desplazamiento (arriba/abajo). -El segundo, permite escoger la velocidad de desplazamiento (despacio/rápido)	-Sistema de posicionamiento vertical	Normalmente abierto
4	Pulsador de posicionamiento vertical		-Activa el movimiento del servomotor	-Sistema de posicionamiento vertical	Normalmente abierto
5	Indicador luminoso prensa		-Indica que la prensa neumática está activada	-Sistema Neumático	Normalmente abierto

6	Indicador luminoso motor activado		-Indica que el servomotor está en funcionamiento	-Sistema de posicionamiento vertical	Normalmente abierto
7	Indicador luminoso motor desactivado		-Indica que el servomotor está desactivado	-Sistema de posicionamiento vertical	Normalmente cerrado
8	Indicador luminoso tablero energizado		-Indica que el tablero eléctrico está activado	-Tablero de acometida eléctrica	Normalmente abierto
9	Botón de emergencia		Permite desconectar de la fuente de alimentación a los diferentes sistemas.	-Todos los sistemas	Normalmente cerrado

Fuente: Autor

CAPITULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE SELECCIONADO

Este capítulo describe el hardware seleccionado para el sistema de posicionamiento vertical, este además presenta la programación de parámetros del servodriver para controlar de manera eficiente el servomotor.

3.1. SELECCIÓN DE SERVOMOTOR

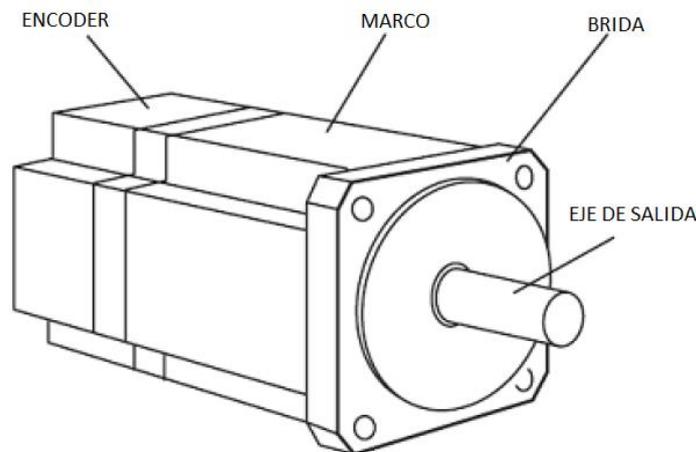


Figura 67. Servomotor y sus componentes, Kinco Automation

Fuente: (Kinco, 2011, pág. 8)

Finalizados los cálculos para conocer la potencia necesaria del motor a implementar, se realiza una búsqueda en el mercado local, teniendo en cuenta que se cumplan tanto los parámetros necesarios como las condiciones de trabajo, entre los principales factores a tomar en cuenta, se encuentran la precisión, rendimiento, robustez, control y potencia.

Precisión: La precisión es fundamental en el trabajo a realizar, esto debido a que los operarios utilizan una medida de aproximación para la perforación inferior o equivalente a milímetros; el servomotor tiene una precisión de 2500 pulsos por revolución (ppr), lo que corresponde a un ángulo de movimiento de $0,144^\circ$ por cada pulso, más información técnica del dispositivo en el Anexo A-2, Datos Técnicos del servomotor.

Control: El servomotor es uno de los pocos tipos de motor que permiten obtener la posición deseada a la velocidad que se requiera, esto gracias al encoder interno que envía las señales al controlador, servodriver.

Rendimiento: La marca KINCO brinda una variedad de servomotores, de los cuales el más apropiado es de corriente alterna con alimentación de 220V monofásico, esto gracias a las acometidas eléctricas que se encuentran en la estación de trabajo ya que la maquinaria en su mayoría utiliza 220V.

Potencia: La potencia que da este servomotor es de 750W (3/4 HP), superando lo requerido al realizar los cálculos para seleccionar dicho dispositivo, (cap 2.1.5, pág 23), esta potencia se opta por las condiciones de oferta del mercado, al no existir un servomotor de menor potencia pero a su vez mayor a la requerida; cabe recalcar que esta decisión fue a su vez sustentada tanto por su velocidad nominal (3000 rpm), par nominal (torque) (2,39 Nm), y corriente nominal (3,9 A); mayor información técnica en el Anexo A-2.

Es importante sobresaltar que para realizar esta selección se tiene tres alternativas, las cuales se presentan a continuación:

➤ **Alternativa 1:**

El servomotor XINJE muestra las siguientes características:

Tabla XXVII. Características técnicas del servomotor 80STM002430-20P7 XINJE

Voltage level	220V					
	60ST-		80ST-	90ST-	110ST-	
Motor type MS-	M00630	M01330	M02430	M02430	M04030	M05030
	□□-20P2	□□-20P4	□□-20P7		□□-21P2	□□-21P5
Motor code	1003	0004	0011	0021	0031	0032
Rated power (KW)	0.2	0.4	0.75	0.75	1.2	1.5
Rated current (A)	1.8	2.5	3.0	3.0	5.0	6.0
Rated speed (rpm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Max speed (rpm)	4000	4000	4000	4000	3500	3500
Rated torque (N.m)	0.637	1.27	2.39	2.4	4	5
Peak torque (N.m)	1.91	3.8	7.1	7.1	12	15
Back EMF constant (V/krpm)	26	28	48	51	54	62
Torque coefficient (N · m/A)	0.37	0.5	0.8	0.8	0.8	0.83
Rotor inertia (Kg · m ²)	0.18 × 10 ⁻⁴	0.438 × 10 ⁻⁴	0.24 × 10 ⁻³	0.24 × 10 ⁻³	0.54 × 10 ⁻³	0.63 × 10 ⁻³
Winding resistor (Ω)	35	3.49	2.88	3.2	1.09	1.03
Winding inductance (mH)	8.32	8.47	6.4	7.0	3.3	3.43
Electrical time constant (ms)	2.38	2.4	2.22	2.2	3.0	3.33
Weight (Kg)	1.11	1.78	2.86	3.4	5.5	6.1
Encoder ppr (PPR)	2500					
Pole pairs	4					
Motor insulation level	Class B(130°C)					
Protection level	IP64			IP65		
Using ambient	Ambient temperature	-20°C~+50°C				
	Ambient humidity	Related humidity <90% (no condensation)				

Fuente: XINJE Electric Co., Ltd.

Las características de este servomotor satisfacen las condiciones establecidas en los cálculos matemáticos, pero su valor excede al servomotor KINCO.

➤ **Alternativa 2:**

El servomotor GSK serie SJT dispone de las siguientes características:

Tabla XXVIII. Características técnicas del servomotor 110SJT-M020E GSK

Especificaciones	110SJT-M020E	110SJT-M040D	110SJT-M060D
Potencia (kW)	0.6	1.0	1.5
Polos	4	4	4
Voltaje De Entrada Del Driver(v)	220VCA tres fases (o fase única)	220VCA tres fases (o fase única)	220VCA tres fases
Corriente nominal (A)	3	4.5	7
Cupla nominal (N · m)	2	4	6
Cupla máxima (N · m)	8	12	12
Velocidad nominal (r/min)	3000	2500	2500
Velocidad máxima (r/min)	3300	3000	3000

Fuente: GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD

Los datos técnicos que presenta este servomotor satisfacen a los requerimientos establecidos mediante los cálculos matemáticos, pero su poca disponibilidad y su elevado costo, hacen descartar esta alternativa.

➤ **Alternativa 3:**

El servomotor KINCO serie SMH oferta los siguientes dispositivos:

Tabla XXIX. Características técnicas del servomotor KINCO

Category	Servo Driver	Servo Motor	Description	Power/brake Cable	Encoder Cable	Rated Speed/ Rated Torque/ Rated Current
Small Inertia 220V	CD420-AA-000	SMH60S-0020-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCA-LL-KH	3000rpm/ 0.64Nm/ 1.6A
		SMH60S-0020-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCA-LL-KC0	
		SMH60S-0020-30AAK-3LKN	HFO standard connector	MOT-005-LL-KC0	ENCCA-LL-KC0	
		SMH60S-0020-30AAK-3LKM	Intercontec connector	MOT-005-LL-KM1	ENCCA-LL-KM1	
		SMH60S-0020-30ABK-3LKM	Intercontec connector with brake	MOT-005-LL-KM1-B	ENCCA-LL-KM1	3000rpm/ 1.27Nm/ 3.1A
		SMH60S-0040-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCA-LL-KH	
		SMH60S-0040-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCA-LL-KC0	
		SMH60S-0040-30AAK-3LKN	HFO standard connector	MOT-005-LL-KC0	ENCCA-LL-KC0	
		SMH60S-0040-30AAK-3LKM	Intercontec connector	MOT-005-LL-KM1	ENCCA-LL-KM1	3000rpm/ 2.39Nm/ 3.9A
		SMH60S-0040-30ABK-3LKM	Intercontec connector with brake	MOT-005-LL-KM1-B	ENCCA-LL-KM1	
		SMH80S-0075-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCA-LL-KH	
		SMH80S-0075-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCA-LL-KC0	
		SMH80S-0075-30AAK-3LKN	HFO standard connector	MOT-005-LL-KC0	ENCCA-LL-KC0	3000rpm/ 1.27Nm/ 3.1A
		SMH80S-0075-30AAK-3LKM	Intercontec connector	MOT-005-LL-KM1	ENCCA-LL-KM1	
		SMH80S-0075-30ABK-3LKM	Intercontec connector with brake	MOT-005-LL-KM1-B	ENCCA-LL-KM1	
		SMH80S-0075-30ABK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCF-LL-FH	
		SME60S-0020-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCF-LL-FH	
		SME60S-0020-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCF-LL-FH	
		SME60S-0040-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCF-LL-FH	
		SME60S-0040-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCF-LL-FH	3000rpm/ 2.39Nm/ 3.9A
SME80S-0075-30AAK-3LKH	Cable connector	MOT-005-LL-KL	ENCCF-LL-FH			
SME80S-0075-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCF-LL-FH			
SME80S-0075-30ABK-3LKH	Cable connector and brake	MOT-005-LL-KL/BRA-LL-KL	ENCCF-LL-FH			

Fuente:<http://www.kinco.cn/html/en/products/Servo&Stepper/Servosystem/Servodriver/CDseries/201104/28872.html>

Curva característica del par torsional – velocidad angular:

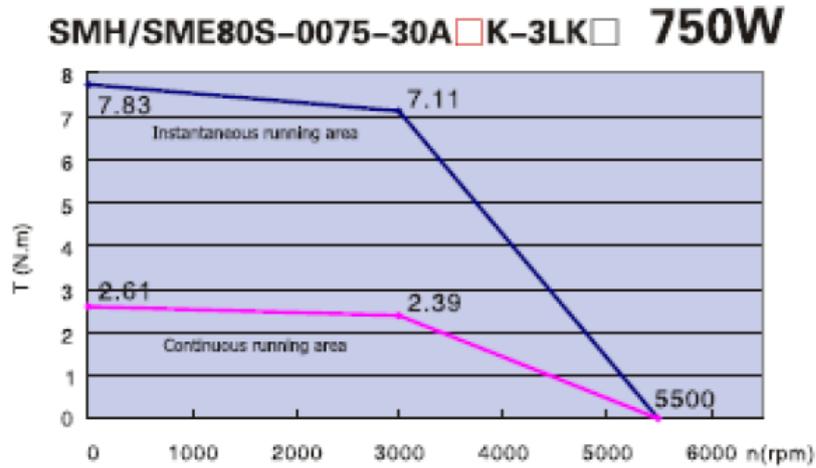


Figura 68. Curva característica del par torsional vs velocidad angular, Kinco Automation.

Fuente: (Kinco, 2011, pág. 123)

Las tres alternativas satisfacen las condiciones establecidas por los cálculos matemáticos, pero se opta por la tercera alternativa debido a su inmediata adquisición, y su módico precio.

Debido a lo argumentado anteriormente, por los diversos parámetros el servomotor escogido es el modelo SMH80S-0075-30AAK-3LKH de marca KINCO, cuyas siglas corresponden a:

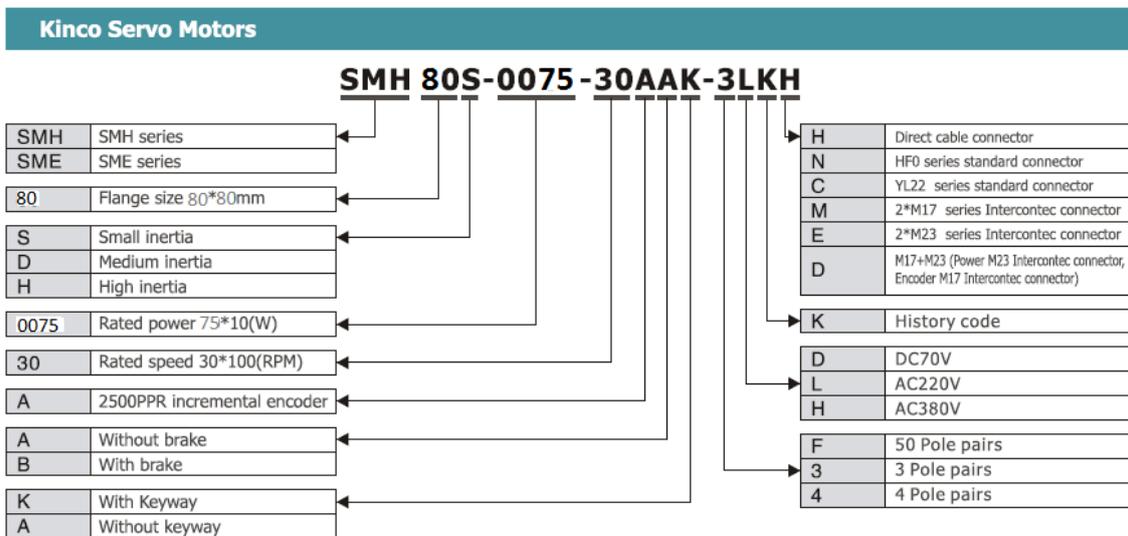


Figura 69. Significado de las siglas del servomotor, Kinco Automation

Fuente: (Kinco, 2011, pág. 8)

3.2. SELECCIÓN DEL SERVODRIVER

El servodriver tiene un papel fundamental en el funcionamiento del servomotor KINCO, ya que además de controlar a éste, proporciona la alimentación correspondiente; por lo tanto para la selección del servodriver se toma en cuenta la compatibilidad entre estos.

Entonces el servodriver compatible es el modelo CD420-AA-000 de marca KINCO, el cual es alimentado por una fuente de poder de 220V, sus siglas corresponden a:

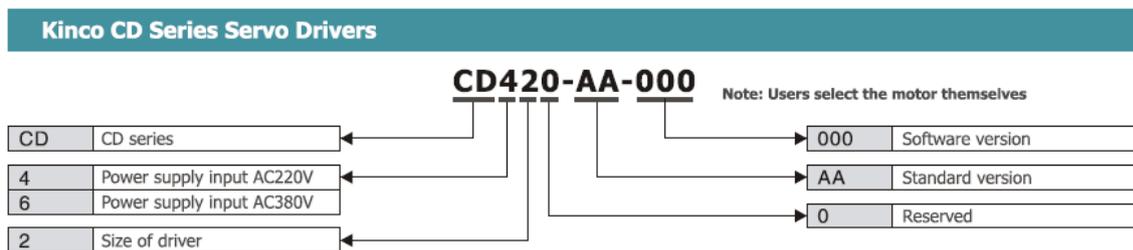


Figura 70. Servodriver seleccionado para controlar el servomotor, Kinco Automation.

Fuente: (Kinco, 2011)

Características técnicas dadas por la placa del fabricante del sevodriver:



Figura 71. Placa del servomotor, Kinco Automation

Fuente: (Kinco, 2011)

3.3. COMPONENTES DEL SERVODRIVER

Describir y comprender el funcionamiento de los componentes que conforman el servodriver permiten configurar los parámetros de la mejor manera.

3.3.1. ENTRADAS Y SALIDAS

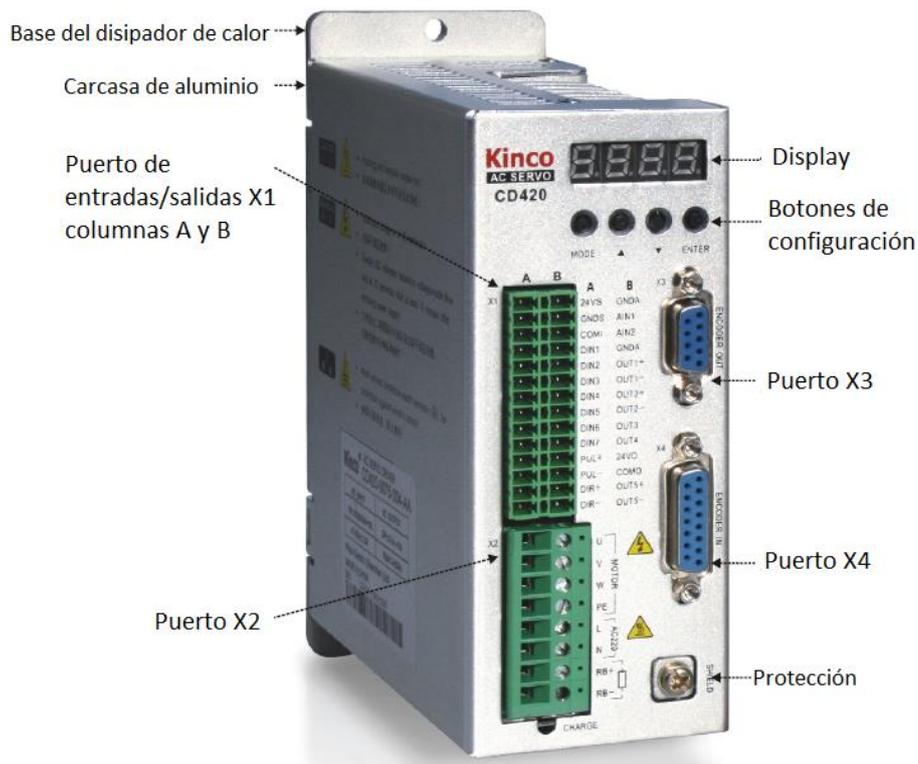


Figura 72. Servodriver Kinco y sus respectivos puertos

Fuente: (Kinco, 2011)

A continuación se detalla el contenido de cada puerto:

- El puerto de interfaz X1 del CD420 Driver consta de entradas y salidas digitales, en este proyecto se han utilizado estos terminales:
 - ✓ **+24VS.-** Fase positiva de la fuente de poder de 24V DC, para activar el módulo lógico de control del servodriver.
 - ✓ **GNDS.-** Fase negativa de la fuente de poder de 24V DC, para activar el módulo lógico de control del servodriver.
 - ✓ **COMI.-** Terminal común de las señales de entrada.

- ✓ **DIN1.-** Entrada 1, Límite negativo (ascendente)
- ✓ **DIN2.-** Entrada 2, Restauración por fallos del controlador
- ✓ **DIN3.-** Entrada 3, Modo de operación
- ✓ **DIN4.-** Entrada 4, Control de velocidad interna 0
- ✓ **DIN5.-** Entrada 5, Control de velocidad interna 1
- ✓ **DIN6.-** Entrada 6, Control de velocidad interna 2
- ✓ **DIN7.-** Entrada 7, Limite positivo (descendente)

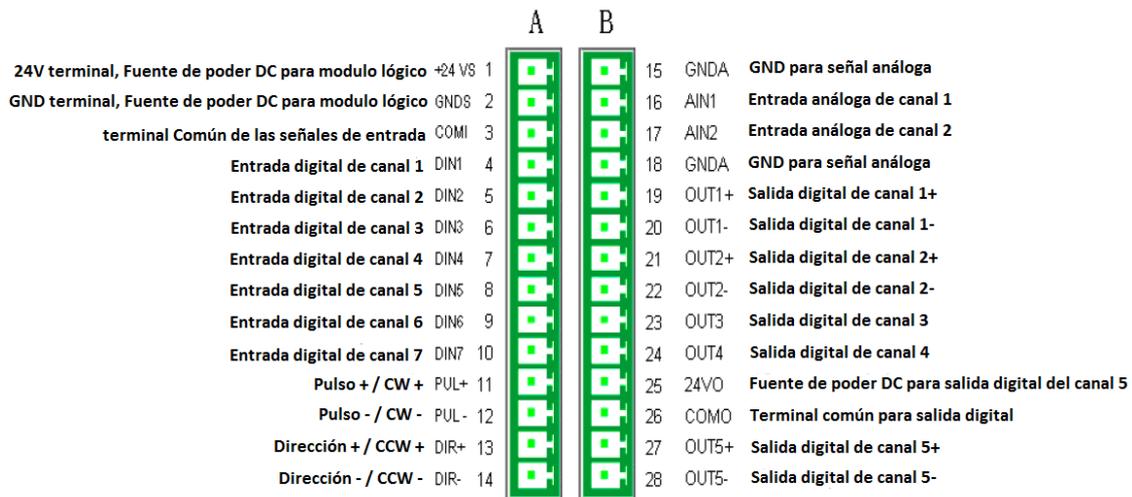


Figura 73. Puerto de interfaz X1 del CD420 Servodriver

Fuente: (Kinco, 2011)

- El puerto de interfaz X4 corresponde a la retroalimentación que el servomotor da al servo driver para su respectivo control

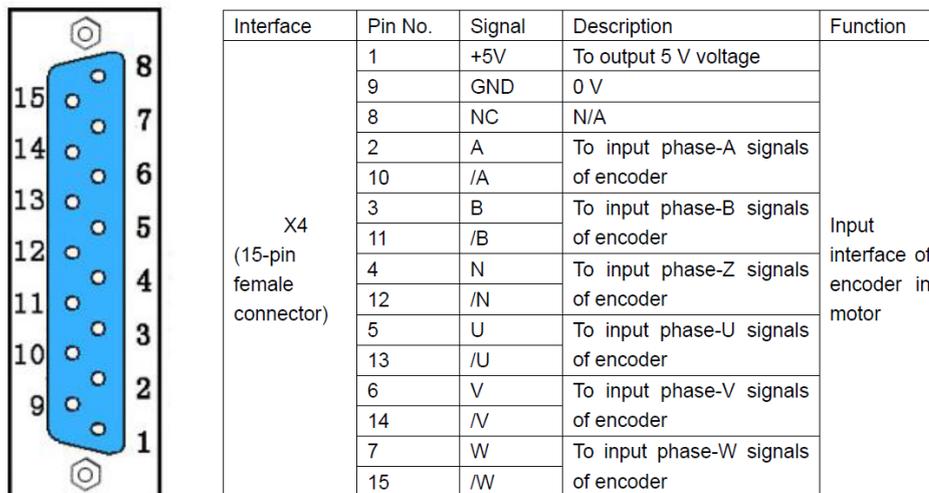


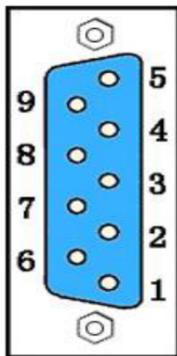
Figura 74. Puerto de interfaz X1 del CD420 Servodriver

Fuente: (Kinco, 2011)

- El puerto de interfaz X3 corresponde a la salida del Encoder, este permite obtener los datos (pulsos por revolución), los cuales permiten visualizar la distancia que recorre la bancada, esto es vital para que el usuario opere la máquina.

Los pines que se están utilizando son:

- ✓ **Pin 2.-** Permite obtener la fase A de salida del Encoder
- ✓ **Pin 3.-** Permite obtener la fase B de salida del Encoder
- ✓ **Pin 6.-** GND



Interface	Pin No.	Signal	Description	Function
X3 (9-pin female connector)	1	RXD	To receive data	RS232 communication interface
	5	TXD	To transmit data	
	6	GND	Ground of signal	
	2	A	To output phase-A signal of encoder	Output interface of encoder in motor
	7	/A		
	3	B	To output phase-B signal of encoder	
	8	/B		
	4	N	To output index signal(Z signal) of encoder	
	9	/N		

Figura 75. Puerto de interfaz X3 del CD420 Servodriver

Fuente: (Kinco, 2011)

3.3.2. INTERFAZ DE POTENCIA DEL DISPOSITIVO DE CONTROL

El dispositivo de control, servo driver CD420 consta de un puerto de potencia, puerto X2, cuyas características principales son:

U,V,W,PE.- Este conector permite alimentar el servomotor mediante tres fases que son U,V,W y PE que corresponde a GND.

L,N.- Este conector permite alimentar al servo driver CD420 mediante 220[V] de corriente alterna en forma monofásica.

RB+,RB-.- Este conector permite ubicar una resistencia la cual ayuda a potenciar la ejecución del frenado del servomotor, siendo más potente y controlada, además permite disipar el uso de la energía excedente y mantener ésta bajo los límites

seguros, la resistencia es vital para seguridad del servo driver, esto como protección; la resistencia a ser ubicada en este conector debe responder a la tabla que da el fabricante, cuya referencia es de 75Ω , ésta corresponde ser mayor a 39Ω y 100Ω máximo.

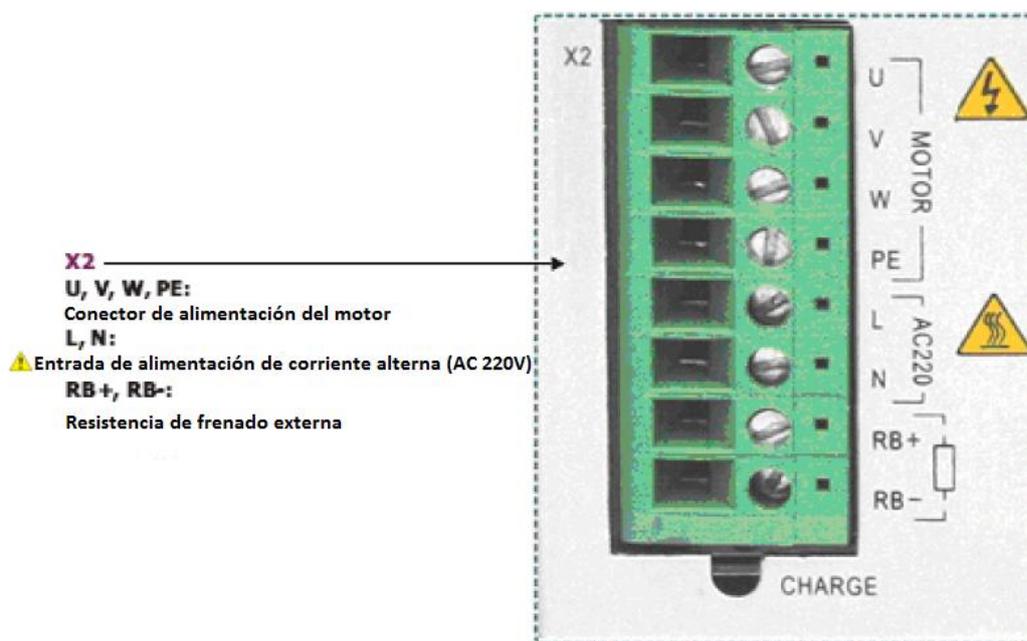


Figura 76. Puerto de interfaz de potencia del servodriver

Fuente: (Kinco, 2011)

3.4. CONTROL DEL SERVOMOTOR

El control y alimentación del servomotor se realiza mediante el servodriver, el cual es exclusivo para realizar este trabajo según datos del fabricante.

El servodriver cuenta con un panel digital de control, cuyas funciones permiten establecer los parámetros necesarios para controlar el servomotor, en el *anexo A-2* se describe la configuración realizada y funciones del panel de control digital.

El control del servomotor se lo realiza mediante la combinación de ciertas entradas, las cuales se encuentran en el servodriver, estas activan los movimientos

ascendentes/descendentes y velocidades para el posicionamiento vertical, las cuales se van a mencionar a continuación:

El servodriver cuenta con 7 entradas digitales, activadas cada una por 24V, la forma de activación es mediante conexión PNP (*Anexo A-2*), es decir señales de entrada externas, las cuales activan los diferentes parámetros para controlar el funcionamiento del motor.

3.4.1. CONFIGURACIÓN DE ENTRADAS

La *Tabla 30*, detalla la asignación de uso de las diferentes entradas digitales y su aplicación:

Tabla XXX. Configuración de entradas del servodriver

Display numérico	Nombre de variable	Configuración	Ajuste de parámetros	Lógica de activación
d3.01	DIN_1 (Entrada 1)	002.0	Límite negativo (ascendente)	1L -> Ejecutándose 0L -> Ciclo terminado
d3.02	DIN_2 (Entrada 2)	000.2	Restauración por fallos del controlador	0L -> Ejecutándose 1L -> Paro por error
d3.03	DIN_3 (Entrada 3)	000.4	Modo de operación	0L -> Modo 0003 1L -> Modo 0.003
d3.04	DIN_4 (Entrada 4)	010.0	Control de velocidad interna 0	0L -> Combinación 1L -> Combinación
d3.05	DIN_5 (Entrada 5)	020.0	Control de velocidad interna 1	0L -> Combinación 1L -> Combinación
d3.06	DIN_6 (Entrada 6)	800.1	Control de velocidad interna 2	0L -> Motor estático 1L-> Motor Ejecutándose
d3.07	DIN_7 (Entrada 7)	001.0	Límite positivo (descendente)	1L -> Ejecutándose 0L -> Ciclo terminado

Fuente: Autor

3.4.2. ACTIVACIÓN DE SERVODRIVER

El servodriver suministra energía eléctrica al servomotor; para activar o energizar al servodriver se necesita una habilitación externa mediante una entrada del servodriver, esto está dado por defecto, es decir este parámetro de activación está configurado desde fábrica.

Se opta por habilitar automáticamente al servodriver, suministrando energía de forma automática en el controlador mediante el establecimiento de los parámetros internos, que a su vez permite bloquear el eje del servomotor, esto mediante la siguiente configuración que se puede observar en la *Tabla 31*:

Tabla XXXI. Activación automática del servodriver

Display numérico	Nombre de variable	Ajuste de parámetros
d3.01	DIN_X (Entrada X) (1-7)	Ninguna entrada del puerto digital se puede ajustar a 000.1, es decir, la función de habilitación del servodriver no está controlada por una señal externa.
d3.10	Switch_On_Auto	Poner a 1

Fuente: Autor

3.4.3. MODO DE OPERACIÓN DEL SERVODRIVER

Es muy importante aclarar la configuración del “Modo de Funcionamiento”, este permite tener dos formas de trabajo al servodriver, las cuales son muy fáciles de intercambiar, esto debido que la primera se activa al no recibir señal alguna en el puerto de entrada digital a la cual ha sido asignada, y la segunda todo lo contrario, debe existir una señal externa que la active.

El servodriver tiene cinco modos diferentes de funcionamiento, representados en la *Tabla 32*.

Tabla XXXII. Modelos de operación del servodriver

Modo	Configuración	Nombre
(-4)	0.004	Modo de control de pulso (P/D) y doble pulso (CW/CCW)
(-3)	0.003	Modo de velocidad instantánea
(1)	0001	Modo de control de posición interna
(3)	0003	Modo de velocidad con aceleración/desaceleración
(4)	0004	Modo de torque

Fuente: Autor

Al analizar las características de cada uno de los modos de funcionamiento se opta por trabajar con los siguientes:

- 1) Modo de velocidad instantánea (0.003)
- 2) Modo de velocidad con aceleración/desaceleración (0003)

El control de Multi-velocidad que se utiliza, solamente permite trabajar con estos dos modos de operación, ya que se controla la velocidad del servomotor, he aquí el motivo de su selección:

- ✚ Modo de velocidad instantánea (0.003).- La velocidad real alcanza la velocidad objetivo al instante.
- ✚ Modo de velocidad con aceleración/desaceleración (0003).- La velocidad real aumenta gradualmente hasta que alcanza la velocidad objetivo.

La configuración empleada para la selección del Modo de funcionamiento se detalla en la *Tabla 33*:

Tabla XXXIII. Configuración del modo de operación.

Display numérico	Nombre de variable	Configuración	Ajuste de parámetros
d3.03	DIN_3 (Entrada 3)	000.4	Modo de operación
d3.16	DIN_Modo_0	0003	Sin señal de activación (Modo de velocidad aceleración/desaceleración)
d3.17	DIN_Modo_1	0.003	Con señal de activación (Modo velocidad instantánea)

Fuente: Autor

3.4.4. CONTROL DE MULTI-VELOCIDAD

En el control de multi-velocidad interna, se utiliza tres (3) bits para obtener las cuatro (4) combinaciones necesarias para obtener el sentido de giro del motor y su velocidad.

Tabla XXXIV. Control de multi-velocidad

Combinación			Descripción
bit2	bit1	bit0	Bits de configuración interna
0	0	0	Configuración: 0000 rpm, por lo tanto motor estático
0	0	1	Configuración: 0000 rpm, por lo tanto motor estático
0	1	0	Configuración: 0000 rpm, por lo tanto motor estático
0	1	1	Configuración: 0000 rpm, por lo tanto motor estático
1	0	0	Configuración: 0.050 rpm, asciende despacio
1	0	1	Configuración: 0.360 rpm, asciende rápido
1	1	0	Configuración: 0050 rpm, desciende despacio
1	1	1	Configuración: 0360 rpm, desciende rápido

Fuente: Autor

En la *Tabla 34* se puede resaltar el motivo el cual se ha utilizado 3 bits, siendo los bits 0 y 1, los que dan la configuración de sentido de giro y velocidad al servomotor; mientras que el bit 2 permite activar dichas combinaciones, es decir, el bit 2, que pertenece a la entrada DIN_6, permite activar o desactivar el trabajo del servomotor mediante un switch.

3.4.4.1. Configuración de los parámetros para el control de multi-velocidad interna

Tabla XXXV. Configuración de multi-velocidades

Display numérico	Nombre de variable	Configuración [rpm]	Ajuste de parámetros
d3.18	Din_speed0_rpm	0000	Motor estático y bloqueado
d3.19	Din_speed1_rpm	0000	Motor estático y bloqueado
d3.20	Din_speed2_rpm	0000	Motor estático y bloqueado
d3.21	Din_speed3_rpm	0000	Motor estático y bloqueado
d3.44	Din_speed4_rpm	0.050	Movimiento ascendente despacio
d3.45	Din_speed5_rpm	0.360	Movimiento ascendente rápido
d3.46	Din_speed6_rpm	0050	Movimiento descendente despacio
d3.47	Din_speed7_rpm	0360	Movimiento descendente rápido

Fuente: Autor

Para controlar el sentido de giro del motor, es decir que el movimiento sea ascendente o descendente, basta configurar la velocidad con un punto, el cual está ubicado después del primer dígito contando desde izquierda a derecha; este punto permite girar de forma negativa, es decir en sentido horario permitiendo que suba la mesa, y desde luego sin punto el eje gira en sentido antihorario, permitiendo que descienda la mesa de la bancada.

3.4.5. GUARDAR CAMBIOS

Una vez configurados todos los parámetros y tras una correcta verificación, es fundamental guardar los mismos, el comando que se muestra en la *Tabla 36* permite guardar dicha configuración.

Tabla XXXVI. Parámetro para guardar cambio de configuración.

Display numérico	Nombre de variable	Ajuste de parámetros
d3.00	Guardar los datos	Poner 1

Fuente: Autor

3.4.6. CONTROL DEL SERVOMOTOR POR EL OPERARIO

El servomotor como se indica en la *Figura 77*, es controlado por el operario mediante los diferentes switches que se encuentran en el panel de control, es decir realizando una síntesis breve, el operario dispone de tres (3) switches, los dos primeros en tipo selector y el tercero en tipo botón-pulsador.



Figura 77. Switchs implementados para el control del servomotor

Fuente: Autor

El primero permite controlar el sentido de giro del motor, lo que permite al operario subir o bajar la bancada; el segundo permite seleccionar la velocidad deseada (despacio, rápido); y el tercer switch activa el servomotor siempre y cuando se tenga pulsado el botón-pulsador.

CAPITULO IV

4. MONTAJE E INSTALACIÓN

El montaje e instalación de los diferentes dispositivos que conforman la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería se describen en este capítulo.

4.1. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL GABINETE PRINCIPAL

El gabinete principal es el que permite alimentar a todos los sistemas, además conlleva todas las protecciones, y contiene una de las partes más fundamentales de control, como es el servodriver, para lo cual se ha tomado las recomendaciones del fabricante para su respectiva instalación:

4.1.1. MONTAJE DEL SERVODRIVER EN EL GABINETE

Para la instalación del servodriver CD420 en el gabinete principal, para el sistema de posicionamiento vertical, se toma las recomendaciones dadas por el fabricante, entre las más importantes se destaca el espacio de instalación, la *Figura 78*, se explica las distancias a tomar en cuenta:

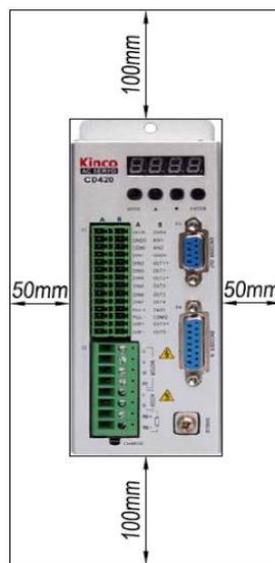


Figura 78. Instalación del servo driver

Fuente: (Kinco, 2011)

Otra de las recomendaciones a tomar en cuenta en la instalación de este dispositivo, es la posición, la cual debe ser vertical y sobre una superficie plana, para mayor entendimiento observar la *Figura 79*.

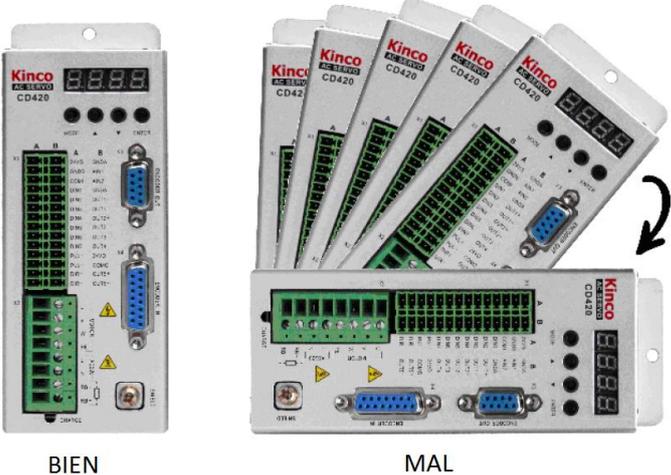


Figura 79. Posición de instalación del servodriver, Kinco Automation

Fuente: (Kinco, 2011)

Estas medidas de seguridad en la instalación de este equipo, se deben tener plenamente en cuenta, esto debido a la disipación de calor del controlador CD420.

Tomadas en cuenta las recomendaciones del fabricante se procede a implementar los diferentes dispositivos, como son, servodriver, fuente de 220V, contactor, disyuntores (breakers), la *Figura 80* muestra lo descrito anteriormente:



Figura 80. Ubicación de los diferentes dispositivos a implementar en el gabinete principal.

Fuente: Autor.

Una vez que se ha ubicado mediante tornillos los dispositivos que se implementan en el gabinete, canaletas ranuradas y riel din, se procede a realizar las conexiones correspondientes, tomando en cuenta los planos eléctricos (Anexos-Manual), en los cuales se encuentra toda la información de conexión, la *Figura 81*, muestra las conexiones realizadas.



Figura 81. Conexiones del gabinete del gabinete principal.

Fuente propia.

Realizadas las conexiones respectivas, se procede a revisar la continuidad mediante el multímetro; comprobada su correcta conexión, y pruebas al energizar sin falla alguna, se procede a su posterior ubicación en la máquina, la *Figura 82*, indica la ubicación del gabinete principal en la máquina.



Figura 82. Ubicación e instalación del gabinete de control.

Fuente: Autor

4.2. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control de todos los sistemas debe estar al alcance del operario, en medida que este no tenga ninguna dificultad tanto para accionar los controles, como para visualizar los displays e indicadores.

La altura del tablero de control es de 170cm, medido desde el suelo, el mismo se encuentra asegurado mediante dos pernos que se encuentran en el lado izquierdo de la plancha donde se apoya la bancada, en la *Figura 83* se aprecia de mejor manera esta adaptación:



Figura 83. Adaptación del panel de control a la máquina.

Fuente: Autor

Adaptado el panel de control a la máquina, se procede a la implementación de los elementos de control y visualización, se procede a ubicar los elementos de control y visualización en el panel de control, como se puede observar en la *Figura 84*.



Figura 84. Ubicación de los elementos de control y visualización en el panel de control.

Fuente: Autor.

Organizados los diferentes implementos en el panel de control, se procede a realizar las conexiones adecuadas, mediante la placa de doble fondo de este gabinete, como se muestra en la *Figura 85*; cabe recalcar que en este gabinete se encuentra ubicada la placa del microcontrolador, es decir el control del sistema de profundidad.



Figura 85. Conexiones del panel de control.

Fuente: Autor

Finalizadas las conexiones, siguiendo a cabalidad el plano eléctrico de control (*anexo A-9*) y realizadas las pruebas de continuidad mediante el multímetro, se

procede a ubicar el panel de control en la máquina, la *Figura 86*, muestra la culminación de las conexiones realizadas satisfactoriamente.

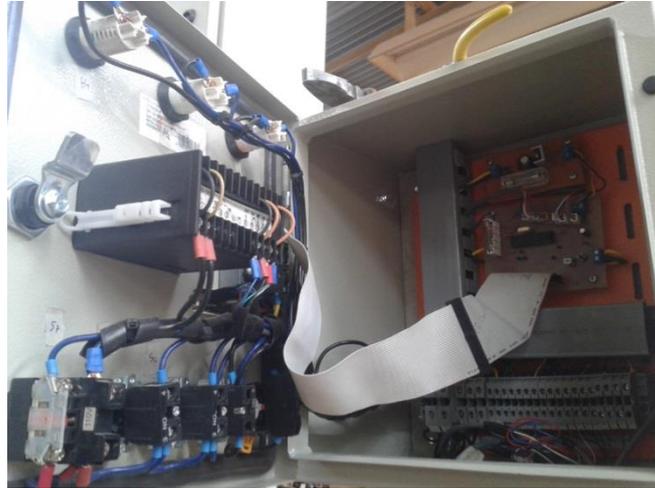


Figura 86. Culminación de conexión e instalación del panel de control.

Fuente: Autor

4.3. SISTEMAS EXTERNOS A LOS GABINETES

La modernización de la máquina está conformada por tres sistemas, sistema de posicionamiento vertical, sistema neumático y sistema de profundidad, en este subcapítulo se detalla las implementaciones que se realizan fuera de los gabinetes.

4.3.1. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VERTICAL

Para el correcto funcionamiento del posicionamiento vertical, se deben efectuar las siguientes adecuaciones que se detallan a continuación.

4.3.1.1. Montaje de fines de carrera:

El posicionamiento vertical tiene un rango de movimiento de 15 centímetros, por lo tanto tiene un límite superior e inferior, fundamentales ya que al ser presionados dejan de enviar una señal eléctrica de 24V DC hacia el servodriver, es decir a las entradas 1 y 7, lo que permite desactivar el funcionamiento del servomotor salvaguardando su integridad tanto eléctrica como mecánica.

Es importante señalar que el servomotor solo podrá girar su eje en sentido contrario al que se encontraba anteriormente, hasta que la bancada deje de presionar el fin de carrera, este método permite un funcionamiento seguro y confiable.



Figura 87. Fin de carrera y sus estados de activación.

Fuente: Autor

Argumentando lo descrito anteriormente para cumplir su función, la conexión realizada es entre el pin normalmente cerrado (NC) y el común del fin de carrera.

El montaje del fin de carrera se establece mediante el acoplamiento a una platina por medio de tornillos, esta platina a su vez está soldada al soporte que sostiene el panel de control, como se aprecia en la *Figura 88*, se realiza el mismo procedimiento para el otro fin de carrera.

Los fines de carrera tanto superior e inferior entran en contacto con el eje del brazo, esto sucede al desplazarse la bancada.



a)



b)

Figura 88. Montaje fin de carrera.

Fuente: Autor

4.3.2. SISTEMA NEUMÁTICO

El sistema neumático es vital para la seguridad del operario, así como es fundamental su ubicación, la cual debe ser en un lugar fácilmente visible, alto y seguro, también las acometidas de las mangueras deben ser apropiadas, para que no provoque accidentes ni mal funcionamiento.

4.3.2.1. Montaje del gabinete neumático

El gabinete neumático consta de dos principales componentes, la unidad de mantenimiento la cual adquiere el aire comprimido de la alimentación mediante una manguera de 3/8", el aire es purificado en este dispositivo y de ser el caso también lubricado, finalizado este proceso llega el aire a la electroválvula por el canal 1, en donde la bobina desenergizada envía el aire mediante el canal 2 hacia el cilindro neumático a través de una manguera de 24[mm] manteniendo el vástago dentro del cilindro, está por demás aclarar que al energizar la bobina, el aire saldrá por el canal 4 permitiendo que el vástago salga.

En la *Figura 90* se puede apreciar de mejor manera la conexión de la unidad de mantenimiento y la electroválvula.



Figura 89. Gabinete neumático.

Fuente: Autor

4.3.2.2. Montaje de cilindro neumático

En el sistema neumático el actuador que permite prensar la madera es el pistón o cilindro neumático, en el cual ha sido adaptado un acople mecánico que lo sostiene mediante pernos en sus extremos, lo que permite trabajar al mismo sin problema, esta adaptación se puede observar en la *Figura 90*.



Figura 90. Adaptación del cilindro neumático.

Fuente: Autor

4.3.2.3. Acometida de mangueras

La selección de mangueras que se utiliza para la conexión con la electroválvula, cilindro neumático, unidad de mantenimiento y alimentación se muestra en la Tabla 37, las medidas utilizadas están de acuerdo a las válvulas que tienen los diferentes dispositivos mencionados.

Tabla XXXVII. Mangueras utilizadas en el sistema neumático

Manguera \Características	Medida	Uso	Marca	Presión máx
Gruesa	3/8"	Alimentación	Eaton Synflex, Eclipse	10 bar
Delgada	24mm	Elementos de mando	s/n	10 bar

Fuente: Autor

4.3.3. SISTEMA DE TOPES

La instalación del sistema de topes consta de dos partes, una mecánica, que corresponde a la varilla perforada, y otra electrónica que corresponde a la visualización de los estándares los cuales ayudan al operario a perforar correctamente.

4.3.3.1. Montaje de varilla estandarizada

La varilla se construye de las mismas dimensiones que la anterior utilizada, (10mm), en acero de transmisión; para la realización de las perforaciones se necesita conocer la distancia real de la varilla con la profundidad alcanzada en el madero, una vez conocida la primera distancia, 15cm, desde el tope, se procede a perforar los cinco estándares necesarios, como se observa en la *Figura 91*.



Figura 91: Perforación de la varilla

Fuente propia

Cabe recalcar que la varilla contiene 10 perforaciones, esto se debe a que en los cinco primeros se usa el pasador, y los otros cinco son una referencia que conjuntamente con los led, proporcionan información de la ubicación correcta de la varilla, la *Figura 92* representa lo mencionado.



Figura 92. Adaptación de varilla, pasador, mol

Fuente: Autor

4.3.3.2. Montaje de indicadores luminosos (LEDs)

Los indicadores luminosos Leds permiten al operario tener una referencia en la ubicación del pasador en la varilla, el Led se alinea en el extremo de la bancada iluminando uno de los cinco orificios; cabe recalcar que si el Led no está alineado con el borde externo, el pasador se encuentra ubicado erróneamente, para una mejor apreciación del texto observar la *Figura 93* que representa la explicación.



Figura 93. Instalación de LEDs en el mol de 10 pines

Fuente: Autor

Implementados los diferentes componentes de la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería, se procede a comprobar todas las conexiones con el multímetro, siendo satisfactoria la comprobación, se energiza al gabinete principal, se enciende la máquina mediante el selector (ON) del panel de control, y se realiza las diferentes pruebas de funcionamiento, la *Figura 94* muestra la máquina perforadora lineal de ebanistería modernizada.



Figura 94. Máquina perforadora lineal de ebanistería modernizada

Fuente: Autor

CAPITULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo da a conocer las pruebas realizadas a los diferentes sistemas que se implementan la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería, y los resultados obtenidos tanto a nivel de producción como de funcionamiento.

5.1. PRUEBAS DE LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS

Para realizar las pruebas de conexiones eléctricas de todos los sistemas, se debe comprobar las acometidas eléctricas que entrega la fábrica “FAMUCLACH”, tanto para 110V AC, como para 220V AC, para lo cual se utiliza el multímetro, cabe recalcar que la fábrica cuenta con una puesta a tierra general para la alimentación de toda la maquinaria que dispone.

Tabla XXXVIII. Pruebas realizadas en las acometidas eléctricas de la fábrica

Prueba (#)	Error (%)	Observación	Detalle
1	9	La lectura del multímetro muestra 200VAC, y 105VAC	La lectura del multímetro debe mostrar 220VAC y 110VAC
2	4	La lectura del multímetro muestra 212VAC, y 110VAC	Se opta por medir otro punto de alimentación
3	1	La lectura del multímetro muestra 221VAC, y 110VAC	Se desenergiza la fábrica y se vuelve a energizar
4	1	La lectura del multímetro muestra 209VAC, y 110VAC	La medición es óptima
5	1	La lectura del multímetro muestra 220VAC, y 109VAC	La medición es óptima

Fuente: Autor

Una vez comprobado el correcto funcionamiento de las dos acometidas eléctricas, se busca un punto de alimentación cercano al gabinete principal, en el cual se encuentran las protecciones y acometidas de alimentación para los diferentes sistemas implementados.

Este punto se encuentra ubicado bajo el suelo, oculto mediante una tapa, a dos metros (2m) de distancia del gabinete, lo cual facilita la conexión con éste.

El gabinete principal como ya se menciona anteriormente tiene dos acometidas eléctricas, esto se debe a la diferente alimentación que requieren los dispositivos, en la *Tabla 39*, se muestra dicho requerimiento:

Tabla XXXIX. Alimentación requerida para los dispositivos que se implementan

Dispositivo	Alimentación [V]	Sistema
Servodriver	220	Posicionamiento vertical
Fuente del módulo de control del servodriver	220	Posicionamiento vertical
Contador de pulsos	220	Posicionamiento vertical
Fuente del microcontrolador	110	Profundidad
Electroválvula	110	Prensa Neumática

Fuente: Autor

5.2. PRUEBAS AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO VERTICAL

El sistema de posicionamiento vertical se compone de tres dispositivos fundamentales para su funcionamiento:

Tabla XL. Componentes del sistema de posicionamiento vertical

Función	Dispositivo
Controlador	Servodriver
Actuador	Servomotor
Visualización	Contador de pulsos

Fuente: Autor

Las primeras pruebas se realiza al servomotor y al servodriver, las cuales dan una mejor comprensión de su funcionamiento, manejo del panel de control del servodriver, configuración de parámetros, etc; todo esto una vez capacitado al leer el manual del mismo.

Una de las diversas pruebas, se debe a la necesidad de conocer los diferentes modos de funcionamiento del servomotor, para posteriormente seleccionar el modo adecuado para el trabajo que se desea realizar, la *Figura 93* muestra la prueba que se realiza:



Figura 95. Prueba del servomotor para seleccionar modo de funcionamiento

Fuente: Autor

Fundamentado con la información pertinente y recomendaciones del fabricante del manual del dispositivo, conjuntamente con las pruebas realizadas los modos de funcionamiento seleccionados son: (3) Modo de velocidad con aceleración/desaceleración, y (-3) Modo de velocidad instantánea, como se describe en el capítulo 3.

Una vez establecidos todos los parámetros del servodriver, configurado el contador de pulsos y conectado en el puerto X3 (Encoder Output), se realiza las primeras pruebas en la máquina, para lo cual además de los dispositivos mencionados se utiliza los switches que permiten el control del servodriver, como se puede apreciar en la *Figura 96*, en la cual el operario posee en sus manos el switch de sentido de giro del motor (ascendente/descendente) y el switch (pulsador) que activa el movimiento del motor.



Figura 96. Pruebas del posicionamiento vertical realizadas en la máquina

Fuente: Autor

Tabla XLI. Pruebas de funcionamiento del posicionamiento vertical

Prueba (#)	Error (%)	Observación	Detalle
1	50	El servomotor no responde al ser controlado por los switches	Deficiente conexión de los switches
2	50	Reiteración del problema anterior	Cambio de cables de conexión
3	35	Los fines de carrera no cumplen su función	Deficiente conexión de los fines de carrera
4	30	El fin de carrera de límite superior no cumple su función	Cambio de cables de conexión
5	30	Reiteración del problema anterior	Reemplazo de fin de carrera
6	25	El recorrido visualizado en el contador de pulsos no corresponde al desplazamiento	Calibración del contador de pulsos
7	25	Reiteración del problema anterior	Calibración del contador de pulsos
8	25	Reiteración del problema anterior	Calibración del contador de pulsos
9	15	El contador no se encera	Revisión de conexiones

10	15	Reiteración del problema anterior	Cambio de cables de conexión
11	15	Reiteración del problema anterior	Soldadura de cables a pines del contador de pulsos
12	10	Error de sobrecarga del servomotor	Limpiar el tornillo de potencia y lubricar
13	5	Calibración de velocidad (rápida)	Calibración junto con el operario
14	5	Calibración de velocidad (rápida)	Calibración junto con el operario
15	5	Calibración de velocidad (rápida)	Calibración junto con el operario
16	2	Calibración de velocidad (despacio)	Calibración junto con el operario
17	2	Calibración de velocidad (despacio)	Calibración junto con el operario
18	1	Funcionamiento sin percances	Ninguno
19	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
20	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
21	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
22	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
23	1	Correcto funcionamiento	Ninguno

Fuente: Autor

5.3. PRUEBA DEL SISTEMA NEUMÁTICO

El correcto funcionamiento del sistema neumático es primordial para la seguridad del operario, es por este motivo que las pruebas son realizadas en la máquina, tomando todas las precauciones del caso.

Las partes fundamentales que requiere este sistema para funcionar se describen en la *Tabla 42*:

Tabla XLII. Componentes del sistema neumático

Función	Dispositivo
Controlador	Electroválvula
Actuador	Cilindro neumático
Visualización	Manómetro
Alimentación	Compresor
Unidad de mantenimiento	Filtro, lubricador, regulador de presión

Fuente: Autor

Realizado el reconocimiento de los componentes del sistema neumático y sus parámetros técnicos se procede a la conexión de éstos mediante la manguera delgada (Tabla 37, capítulo 4), a excepción de la conexión que se realiza entre el filtro neumático y el compresor que es mediante la manguera gruesa; además se implementa el switch que controla la electroválvula y el indicador luminoso que indica su activación, para una mayor apreciación de lo descrito observar la Figura 97

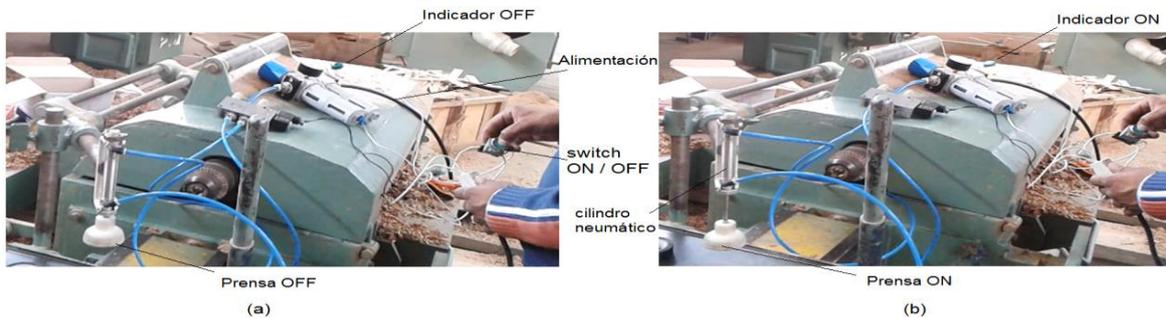


Figura 97. Pruebas del sistema neumático previa instalación

Fuente: Autor

Tabla XLIII. Pruebas de funcionamiento del sistema neumático

Prueba (#)	Error (%)	Observación	Detalle
1	40	Electroválvula no funciona	Revisión de cables de conexión
2	20	Fuga de aire en los terminales de conexión del cilindro neumático	Ajustar terminales del cilindro neumático

3	15	Conexión errónea de mangueras a la salida de la electroválvula	Conectar correctamente las mangueras
4	10	Presión deficiente del vástago del cilindro neumático	Ajustar la presión a 100[psi] en la unidad de mantenimiento
5	5	Indicador luminoso no enciende	Revisión de cables de conexión
6	5	Persiste el problema anterior	Ajuste del foco del indicador luminoso
7	5	Persiste el problema anterior	Cambio de foco del indicador luminoso
8	2	Compresor no da la presión necesaria	Conexión de compresor a la red eléctrica
9	2	Persiste el problema anterior	Esperar a que cargue el compresor
10	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
11	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
12	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
13	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
14	1	Correcto funcionamiento	Ninguno

Fuente: Autor

5.4. PRUEBA DEL SISTEMA DE PROFUNDIDAD

El sistema de profundidad evita el desperdicio de materia prima, por lo tanto este sistema debe tener un correcto funcionamiento y una fácil utilización por parte del operario, por lo que las pruebas del sistema completo se realizan en la máquina, la Tabla muestra los componentes de este sistema.

Tabla XLIV. Componentes del sistema de profundidad

Función	Dispositivo
Controlador	Microcontrolador
Actuador	Varilla perforada y pasador
Visualizador	LCD, LEDs

Fuente: Autor

Una vez configurado el microcontrolador, la visualización del estándar seleccionado mediante la LCD, y realizada la instalación de la varilla perforada y los LEDs, se procede a conformar el sistema para realizar las primeras pruebas antes de instalar en la máquina, como se muestra en la *Figura 98*.

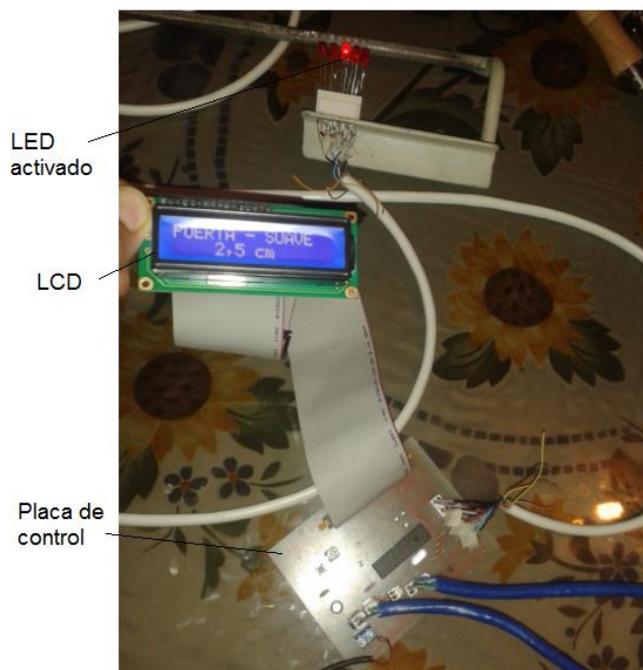


Figura 98. Pruebas realizadas del sistema de profundidad previa instalación

Fuente: Autor

Comprobado el correcto funcionamiento del sistema compuesto por todos sus elementos, se instala dicho sistema en la máquina para realizar las diferentes pruebas, como se puede apreciar en la *Figura 99*.



Figura 99. Pruebas del sistema de profundidad en la máquina

Fuente: Autor

Tabla XLV. Pruebas de funcionamiento del sistema de profundidad

Prueba (#)	Error (%)	Observación	Detalle
1	35	Interferencia de LEDs con el operario	Modificar la barra perforada
2	20	Erróneo funcionamiento del switch de cuatro posiciones	Revisión de conexiones
3	20	Persiste el problema anterior	Soldadura de cables de conexión a pines del switch
4	10	LED no enciende	Revisión de conexiones
5	10	Persiste el problema anterior	Revisar señal de la placa del microcontrolador
6	10	Persiste el problema anterior	Cambiar LEDs quemados
7	10	Visualización nula de la LCD	Revisión de conexión de pines
8	10	Persiste el problema anterior	Regular intensidad de la LCD
9	5	Enciende LED equivocado	Revisión de conexiones

10	5	Persiste problema anterior	Conexión errónea del LED
11	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
12	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
13	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
14	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
15	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
16	1	Correcto funcionamiento	Ninguno

Fuente: Autor

5.5. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN DE LOS SISTEMAS IMPLEMENTADOS

Mediante las pruebas realizadas a todos los sistemas que se implementan para la modernización del taladro horizontal de ebanistería, y tras su correcto funcionamiento, se procede a calibrar los mismos.

Para la calibración de todos los sistemas, se sincroniza los tres, es decir se realiza las pruebas de funcionamiento como un solo sistema, con el cual el operario cuenta.

Para dicho funcionamiento se describen los pasos que el operario debe seguir para perforar la madera:

Tabla XLVI. Pasos para perforar la madera mediante la modernización realizada en la máquina

PASOS	DESCRIPCIÓN
(1)	Ubicar la madera en la bancada
(2)	Activar el switch ubicado en la parte superior del tablero de control, el cual energiza el sistema de posicionamiento vertical, y el sistema de profundidad y a su vez activa la prensa neumática que prensa la madera.

- (3) El operario fija el punto en el madero a taladrar, selecciona si desea subir o bajar mediante el primer switch, el segundo permite decidir al operario si desea ir despacio o rápido, y con el tercer switch al presionarlo activara el movimiento de la bancada, observando la distancia recorrida en el contador de pulsos también ubicado en el tablero de control.
- (4) Una vez que se encuentre la bancada en el punto exacto a taladrar, el operario observa la LCD, con la frase “SELECCIONE MUEBLE”, procede a seleccionar el tipo de mueble con el primer switch de 4 posiciones; entonces la LCD muestra en su pantalla la frase “SELECCIONE MADERA”, el cual selecciona el tipo de madera, por medio del segundo switch; una vez realizado esto, la LCD muestra en su display, en la primera línea la frase “MUEBLE-MADERA”, y en la segunda línea “PROFUNDIDAD [cm]”; una vez que el operario observa, ajusta el pasador, tomando referencia al ubicar el LED encendido al borde de la bancada, siendo esta la profundidad correcta.
- (5) Perforar la madera.

Fuente: Autor

Las pruebas realizadas en la máquina son realizadas siguiendo los pasos descritos en la *Tabla 47*, al realizar este proceso se encuentran errores mínimos que se relacionan en la manera de trabajar del operario.

Tabla XLVII. Pruebas de calibración de los sistemas implementados

Prueba (#)	Error (%)	Observación	Detalle
1	20	Prensa desactivada	Ajustar la presión a 100[psi] en la unidad de mantenimiento
2	15	LCD no se enciende	Revisión de conexiones
3	15	Persiste el problema anterior	Ajuste de alimentación

4	10	Mal funcionamiento del paro de emergencia	Revisión de conexiones
5	10	Persiste el problema anterior	Revisión de conexiones
6	10	Persiste el problema anterior	Cambio de contacto normalmente cerrado
7	10	Contador de pulsos no se apaga con los demás sistemas	Rectificación de conexión en contactor
8	5	Paro de servomotor por protección de sobrecarga	Reiniciar la máquina
9	5	Persiste el problema anterior	Limpieza del tornillo de potencia y lubricación
10	5	Fuga de aire en cilindro neumático	Ajustar conexión
11	5	Poca presión sobre la madera	Conexión de compresor a la red eléctrica
12	2	Indicador luminoso de gabinete principal energizado apagado	Revisar conexiones
13	2	Persiste el problema anterior	Cambiar foco de [100V] de indicador luminoso
14	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
15	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
16	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
17	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
18	1	Correcto funcionamiento	Ninguno
19	1	Correcto funcionamiento	Ninguno

Fuente: Autor

Las últimas pruebas confirman el correcto funcionamiento al perforar la madera mediante la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería.

5.6. RESULTADOS DE LA MODERNIZACIÓN DEL TALADRO HORIZONTAL DE EBANISTERÍA

Los resultados obtenidos en la realización de esta modernización, han sido claramente positivos para agilizar el proceso de producción, tanto a nivel de optimización de tiempo de trabajo en la máquina, seguridad del operario y óptima utilización de materia prima.

Es por esto que los datos adquiridos en las pruebas de la modernización son comparados con los datos obtenidos antes de realizar este trabajo, resultados que se pueden observar en las siguientes tablas:

La *Tabla 48* muestra el tiempo que toma al operario realizar una perforación para cada estándar, siendo los datos anteriores y los datos una vez implementada la modernización, comparados, dando como resultado el tiempo que se optimiza en cada perforación realizada.

Tabla XLVIII. Optimización del tiempo de trabajo al perforar la madera

N°	Estándar	Perforación [cm]	ANTES	AHORA	OPTIMIZA
			Tiempo [mm:ss]	Tiempo [mm:ss]	Tiempo [mm:ss]
1	Puerta-Suave	2,5	06:00	04:00	02:00
1	Puerta-Dura	3,5	07:00	05:00	02:00
1	Cómoda-Suave	2,0	05:30	03:30	02:00
1	Cómoda-Dura	2,0	05:30	03:30	02:00
1	Cómoda-MDF	1,5	05:00	03:00	02:00
1	Clóset-Suave	1,5	05:00	03:00	02:00
1	Clóset-Dura	1,5	05:00	03:00	02:00
1	Clóset-MDF	3,0	06:30	04:30	02:00

Fuente: Autor

La cantidad de perforaciones para la posterior construcción de cada mueble, y el tiempo que se optimiza se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla XLIX. Optimización del tiempo de trabajo al realizar la perforaciones requeridas para construir cada mueble

Estándar	N° perforaciones	ANTES	AHORA	OPTIMIZA	OPTIMIZA
		Tiempo [mm:ss]	Tiempo [mm:ss]	Tiempo [mm:ss]	Porcentaje
Puerta-Suave	12	72:00	48:00	24:00	33%
Puerta-Dura	12	84:00	60:00	24:00	28%
Cómoda-Suave	26	138:20	86:20	52:00	37%
Cómoda-Dura	26	138:20	86:20	52:00	37%
Cómoda-MDF	26	130:00	78:00	52:00	40%
Clóset-Suave	50	250:00	150:00	100:00	40%
Clóset-Dura	50	250:00	150:00	100:00	40%
Clóset-MDF	50	315:00	215:00	100:00	31%

Fuente: Autor

La Tabla 49 muestra que la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería permite optimizar en promedio el 30% del tiempo que se emplea en la construcción de cada mueble.

La cantidad de muebles que se realiza en cinco (5) días laborables en la fábrica "FAMUCLACH", son tres puertas, una cómoda y un clóset; y en la fabricación de cada mueble interviene una cantidad diferente de materia prima, como muestra la Tabla 50:

Tabla L. Cantidad de materia prima requerida para construir cada mueble

Proceso	ANTES	AHORA
	Materia prima	Materia prima
Puerta	7 maderos	6 maderos
Cómoda	11 maderos	10 maderos
Clóset	4 planchas	3 planchas

Fuente: Autor

En la *Tabla 51* se reflejan los resultados de la optimización de materia prima, una vez comparados los datos de antes y después de modernizar la máquina perforadora de ebanistería, para lo cual se ha tomado en cuenta veinte (20) días laborables.

Tabla LI. Optimización de materia prima requerida para construir cada mueble en veinte días laborables

Proceso	Materia prima	Cantidad muebles	ANTES	AHORA	OPTIMIZA	OPTIMIZA
			Cantidad materia prima	Cantidad materia prima	Cantidad materia prima	Porcentaje
Puerta	Madero	12	84	72	12	14%
Cómoda	Madero	4	44	40	4	9%
Clóset	Plancha	4	16	12	4	25%

Fuente: Autor

La *Tabla 51* muestra que la modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería permite optimizar en promedio el 16% de la materia prima que se emplea al trabajar veinte (20) días laborables.

La implementación del sistema neumático muestra resultados favorables en la seguridad de los operarios, esto se debe a que ninguno de los otros dos sistemas son alimentados de energía eléctrica, si la madera no se encuentra prensada.

Por lo tanto el operario debe obligatoriamente activar el sistema neumático para poder perforar la madera y a su vez salvaguardar su integridad física.

CONCLUSIONES

- ✓ La modernización de la máquina perforadora lineal de ebanistería agiliza el proceso de producción de muebles, reduciendo el tiempo en el proceso de perforación de la materia prima en 30%.
- ✓ El sistema de profundidad optimiza el uso de la materia prima que se requiere para fabricar cada mueble, reduciendo su consumo en 16%, tomando en cuenta veinte días laborables.
- ✓ A través de la relación de transmisión se optimiza la fuerza y velocidad del posicionamiento vertical.
- ✓ El sistema neumático implementado en la máquina perforadora lineal de ebanistería eleva la protección del operario en 12%.
- ✓ Mediante las pruebas realizadas se pudo corregir errores y falencias en el campo de precisión, velocidad, sujeción neumática y profundidad, presentadas en la máquina perforadora lineal, alcanzando un error de 1%.

RECOMENDACIONES

- Cumplir a cabalidad con el mantenimiento de la máquina perforadora lineal de ebanistería en el tiempo indicado para evitar contratiempos mayores a largo plazo.
- Se recomienda leer el manual de usuario antes de iniciar a trabajar para operar correctamente la máquina.
- En caso de cualquier desperfecto en la máquina perforadora lineal de ebanistería se recomienda buscar asistencia técnica capacitada o comunicarse con los autores de la modernización.
- Es importante revisar la presión que ingresa al sistema neumático desde el compresor, la cual no debe exceder los 100 psi, el caso omiso a esta advertencia puede causar daños al equipo y al operario.

BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas, P.E* (4ta edición). México: Pearson Educación.
- ❖ Budynas, R., y Nisbeth, K.(sf). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (8va edición): McGrawHill.
- ❖ Beer, F., Johnston, J., Russell, E., DeWolf, J., Mazurek, D. (sf). *Mecánica de Materiales* (5ta edición). McGraw-Hill.
- ❖ Mott, R.(sf). *Resistencia de Materiales* (5ta edición). (sl): Pearson Educación.
- ❖ AGMA STANDARD. (2011). *ANSI/AGMA 2001-C95. Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth.* (Metric Edition). Virginia: American Gear Manufacturers Association.
- ❖ Budynas, R., y Nisbeth K. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design.* (8va edición). (sl): The McGraw-Hill Companies.
- ❖ KINCO Automation, Ltd. (2011). *CD SERVO User Manual.* Shanghai: KINCO Ltd.
- ❖ MYPIN Electrical Co., Ltd. (sf). *FH Series of Counter/Length/Batch Meter Manual.* Guangdong: MYPIN.
- ❖ Microchip Technology Inc. (2003). *PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers.* California: Microchip Technology Incorporated.
- ❖ FESTO AG y Co. (2013). *Guía de productos 2013/2014* (9na edición). Esslingen: FESTO AG y Co.

- ❖ SMC. (sf). *Procedimientos de selección del modelo de cilindro neumático*. sl: SE.
- ❖ FESTO AG y Co. (2013). *Informaciones técnicas*. (6ta edición). Esslingen: FESTO AG y Co.
- ❖ Schneider Electric Argentina S.A. (2014). *Unidades de mando y de señalización*. Buenos Aires: SE.
- ❖ Xinje Electric Co., Ltd. (sf). *DS2 series servodrive*. Jiangsu: Xinje Electric Co., Ltd
- ❖ GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD. (sf). *Servo Motor de CA GSK serie SJT*. (sl): GSK CNC EQUIPMENT CO., LTD

PÁGINAS WEB

- ❖ Rodríguez, G. H. (sf). *Ingemecánica. Fundamentos de las transmisiones por Engranajes*, 2(151), (sn). Recuperado de <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn151.html>
- ❖ EGA Master S.A. (2012). *Tornillos, Tuercas y Roscas. Roscas*. (sn). Recuperado de <http://www.egamaster.com/es/tornillos-tuercas-y-roscas/roscas.html>
- ❖ MikroE. (2014). *Ejemplos - Microcontroladores PIC – Programación en C – MikroElektronika. Utilizar el visualizador LCD*, 4(12), (sn). Recuperado de <http://www.mikroe.com/chapters/view/82/capitulo-4-ejemplos/>
- ❖ TecMikro. (2014). *Programación de PIC en C con el compilador MikroC PRO. Los 7 elementos básicos de la programación de PIC en C*, 2(1), (sn). Recuperado de <http://www.programarpicenc.com/libro/programacion-pic-en-c-mikroc-pro.html>

- ❖ TecMikro. (2014). Programación de PIC en C con el compilador MikroC PRO. *Problemas y errores con los microcontroladores PIC*, 2(1), (sn). Recuperado de <http://www.programarpicenc.com/libro/ape-problemas-errores-microcontroladores-pic.html>

ANEXOS

ANEXO A-1. DIÁMETROS PARA ROSCAS ACME

El anexo A-1 contiene las combinaciones preferidas del diámetro básico mayor, D y número de roscas por pulgada, n , para roscas ACME. El Paso, p , es la distancia de un punto en una rosca al punto correspondiente en la rosca adyacente, siendo

$$p = \frac{1}{n}$$

Diámetro mayor nominal, D (pulg)	Roscas por pulg., n	Paso, $p = 1/n$ (pulg)	Diámetro menor mínimo, D_r (pulg)	Diámetro mínimo de paso, D_p (pulg)	Área al esfuerzo de tensión, A_t (pulg ²)	Área al esfuerzo cortante, A_s (pulg ²) ^a
1/4	16	0.0625	0.1618	0.2043	0.026 32	0.3355
5/16	14	0.0714	0.2140	0.2614	0.044 38	0.4344
3/8	12	0.0833	0.2632	0.3161	0.065 89	0.5276
7/16	12	0.0833	0.3253	0.3783	0.097 20	0.6396
1/2	10	0.1000	0.3594	0.4306	0.1225	0.7278
5/8	8	0.1250	0.4570	0.5408	0.1955	0.9180
3/4	6	0.1667	0.5371	0.6424	0.2732	1.084
7/8	6	0.1667	0.6615	0.7663	0.4003	1.313
1	5	0.2000	0.7509	0.8726	0.5175	1.493
1 1/8	5	0.2000	0.8753	0.9967	0.6881	1.722
1 1/4	5	0.2000	0.9998	1.1210	0.8831	1.952
1 3/8	4	0.2500	1.0719	1.2188	1.030	2.110
1 1/2	4	0.2500	1.1965	1.3429	1.266	2.341
1 3/4	4	0.2500	1.4456	1.5916	1.811	2.803
2	4	0.2500	1.6948	1.8402	2.454	3.262
2 1/4	3	0.3333	1.8572	2.0450	2.982	3.610
2 1/2	3	0.3333	2.1065	2.2939	3.802	4.075
2 3/4	3	0.3333	2.3558	2.5427	4.711	4.538
3	2	0.5000	2.4326	2.7044	5.181	4.757
3 1/2	2	0.5000	2.9314	3.2026	7.388	5.700
4	2	0.5000	3.4302	3.7008	9.985	6.640
4 1/2	2	0.5000	3.9291	4.1991	12.972	7.577
5	2	0.5000	4.4281	4.6973	16.351	8.511

Anexo A-1.- Diámetros para roscas ACME, Diseño de Elementos de Máquinas, Robert L. Mott, P.E. Editorial: Pearson Educación.

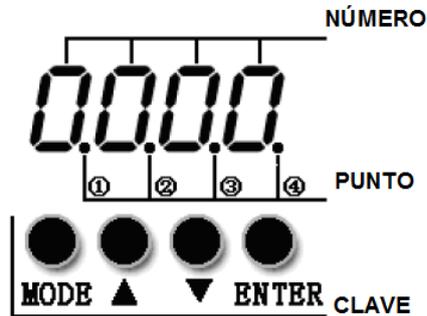
ANEXO A-2. SERVOMOTOR KINCO SMH80S-0075-30AAK-3LKH

A-2.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Motor series	SMH Series Motor				SME Series Motor			
	Small inertia flange size 60mm		Small inertia flange size 80mm		Small inertia flange size 60mm		Small inertia flange size 80mm	
Model	SMH60S-0020-30A □ K-3LK □	SMH60S-0040-30A □ K-3LK □	SMH80S-0075-30A □ K-3LK □	SMH80S-0100-30A □ K-3LK □	SME60S-0020-30A □ K-3LK □	SME60S-0040-30A □ K-3LK □	SME80S-0075-30A □ K-3LK □	
Compatible driver	CD420-AA-000, CD422-AA-000			CD430-AA-000 CD432-AA-000	CD420-AA-000, CD422-AA-000			
DC link voltage UDC	300	300	300	300	300	300	300	
Continuous performance	Rated power P_n (W)	200	400	750	1000	200	400	750
	Rated torque T_n (Nm)	0.04	1.27	2.38	3.18	0.04	1.27	2.38
	Rated speed n_n (rpm)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
	Rated current I_n (A)	1.6	3.1	3.9	6.3	1.6	3.1	3.9
Maximum torque T_m (Nm)	1.92	3.82	7.17	9.48	1.92	3.81	7.17	
Maximum current I_m (A)	4.8	9.3	11.7	18.9	4.8	9.3	11.7	
Standstill torque T_s (Nm)	0.7	1.39	2.63	3.3	0.7	1.4	2.63	
Standstill current I_s (A)	1.79	3.38	4.4	6.93	1.76	3.41	4.29	
Resistance line-line R_L (Ω)	8.02	3.52	1.4	0.86	10.4	5.8	3	
Inductance line-line L_L (mH)	16.3	7.8	7.5	4.5	25.4	15	16.2	
Electrical time constant τ_e (ms)	2.03	2.22	5.35	5.23	2.44	2.59	5.4	
Mechanical time constant τ_m (ms)	2.26	1.35	0.75	0.89	2.93	1.93	1.49	
Reverse voltage constant K_v (V/krpm)	29	29	40	34	29	29	40	
Torque constant K_t (Nm/A)	0.48	0.48	0.662	0.562	0.48	0.48	0.662	
Rotor moment of inertia J_m (Kg · cm ²)	0.375	0.51	1.36	1.9	0.375	0.443	1.255	
	0.379 (with brake)	0.514 (with brake)	1.365 (with brake)	1.925 (with brake)	0.379 (with brake)	0.447 (with brake)	1.26 (with brake)	
Pole pair number	3	3	3	3	3	3	3	
Maximum voltage rising du/dt (KV/ μ s)	8	8	8	8	8	8	8	
Insulation class	F	F	F	F	F	F	F	
Maximum radial force F_r (N)	180	180	335	335	180	180	335	
Maximum axial force F_a (N)	90	90	167.5	167.5	90	90	167.5	
Weight G (Kg)	1.3	1.8	3.3	3.9	1.3	1.6	2.9	
	1.8 (with brake)	2.3 (with brake)	4 (with brake)	4.6 (with brake)	1.8 (with brake)	2.1 (with brake)	3.6 (with brake)	
Length of motor L (mm)	120	150	147	167	120±1.5	135±1.5	132±1.5	
	159 ± 1.5 (with brake)	189 ± 1.5 (with brake)	197 ± 1.5 (with brake)	217 ± 1.5 (with brake)	159 ± 1.5 (with brake)	174 ± 1.5 (with brake)	182 ± 1.5 (with brake)	
Position feedback device	Incremental encoder 2500ppr							
Cooling method	Totally enclosed, non-ventilated							
Protection level	IP65 for body, shaft sealing IP54							
Environmental conditions for operation	Temperature	-20°C - 40°C (Non-freezing)						
	Humidity	Below 90% RH (Non-condensing)						
	Ambient environment	Away from active gas, combustible gas, oil drops and dust						
	Altitude	Maximum altitude 4000m, Rated power at 1000m or below, Above 1000m: Decreasing 1.5% per 100m rise						

Anexo A-2.1.- Especificaciones Técnicas del servomotor SMH80S-0075-30AAK-3LK, Kinco Automation, CD_SERVO_User Manual,(pág 121).

A-2.2. PANEL DE CONTROL DIGITAL



Número/ Punto	FUNCIÓN
①	Indica cuando el dato es positivo o negativo. Si está encendido, indica negativo; de lo contrario, indica positivo.
②	<ol style="list-style-type: none"> 1. Distingue el grupo de objetos actual y los datos de dirección de este grupo de objetos durante la configuración de los parámetros. 2. Indica los 16 bits altos de los datos de 32 bits actuales cuando se visualiza datos de 32 bits en tiempo real. 3. Indica el primer error cuando se muestran registros de historia de errores (F007).
③	<ol style="list-style-type: none"> 1. Indica un formato de visualización de datos cuando se visualizan y se ajustan los parámetros en tiempo real. Si está encendido, indica que los datos se muestran en hexadecimal; de lo contrario, indica los datos se muestran en formato decimal. 2. Indica el último error cuando se muestran los registros del historial de errores (F007).
④	<ol style="list-style-type: none"> 1. Si está encendido, indica que los datos internos se muestran actualmente. 2. Si parpadea, indica que la parte de potencia del controlador se encuentra en el estado de trabajo.
MODE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambia menús básicos. 2. Durante el ajuste de parámetros, pulsar brevemente la tecla para mover el bit a ser ajustado, y presiones largas de la tecla para volver al estado anterior.

▲	Presione ▲ para aumentar valores de ajuste; presiones largas ▲ para aumentar el número rápidamente.
▼	Presione ▼ para disminuir los valores establecidos; presiones largas ▼ para disminuir los números rápidamente.
ENTER	<ol style="list-style-type: none"> 1. Entra en el menú seleccionado pulsando esta tecla. 2. Mantiene parámetros actuales en el estado activado. 3. Confirma los parámetros de entrada después de establecer. 4. Pulsaciones largas, cambia, 16 bits más altos/más bajos cuando los 32 bits se visualizan en tiempo real.
P..L	Activa las señales de límite de posición positivo.
n..L	Activa las señales de límite de posición negativo.
Pn.L	Activa las señales de límite de posición positivo / negativo.
Overall Flicking	Indica que se produce un error en el driver, y está en el estado de alarma.

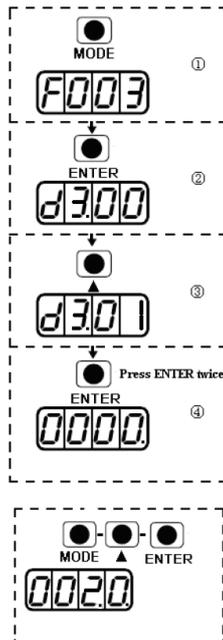
Anexo A-2.2.- Panel de control digital del servodriver y tabla de sus funciones, Kinco Automation, CD_SERVO_User Manual,(pág 25).

A-2.3. PASOS PARA UTILIZAR EL CONTROL DIGITAL DEL SERVODRIVER

Ejemplo de establecimiento de parámetros para la Entrada 1:

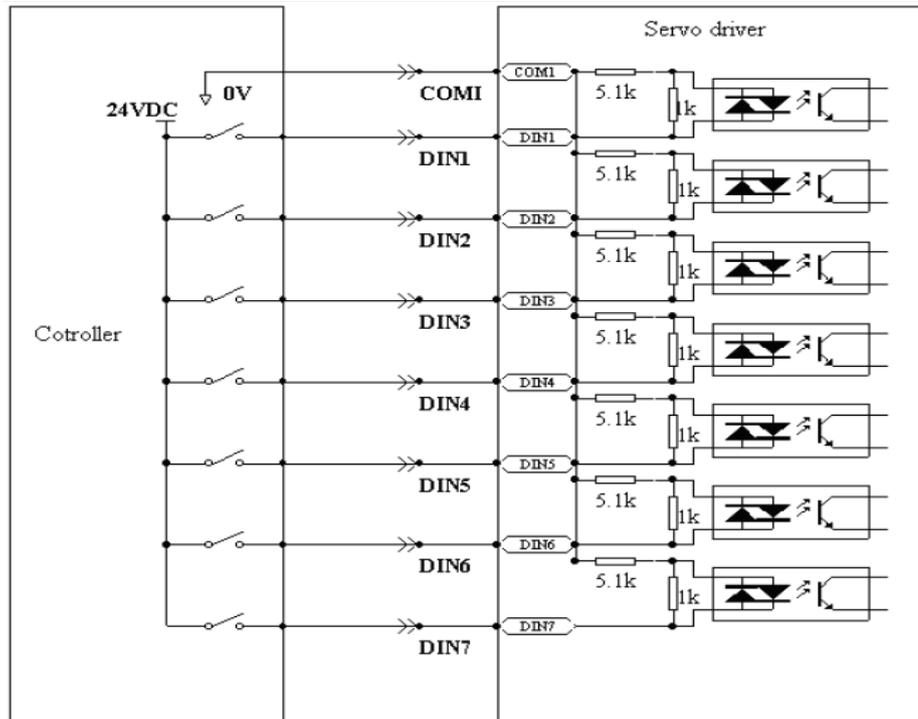
N°	Descripción
1	Presionar la tecla MODE, lo que permite que ingrese a los submenús, nuevamente presionar la tecla MODE, una y otra vez hasta alcanzar el submenú F003
2	Una vez alcanzado este estado, presionar la tecla ENTER, que permite desplegar las direcciones que alberga.
3	Presionar la tecla ▲, hasta llegar a la dirección d3.01.
4	Una vez alcanzado este estado, presionar la tecla ENTER
5	El display en el panel de control digital se presenta de esta forma 0000, para asignar los parámetros requeridos debe presionar ENTER, lo que permite modificar el parámetro mediante las teclas ▲ y ▼ de 0 a 9.
6	Modificado al número deseado se traslada al siguiente dígito, esto al presionar la tecla MODE, cabe resaltar que se empieza el establecimiento de derecha a izquierda, una vez terminada la modificación tendremos en el display la configuración 002.0 que corresponde al límite negativo.
7	Presione ENTER para confirmar el establecimiento del parámetro.

Anexo A-2.3.1.- Pasos para usar el Control Digital del Servodriver. Fuente propia.



Anexo A-2.3.2.- Ejemplo de establecimiento de parámetros, Fuente propia.

A-2.4. DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE ENTRADAS TIPO PNP

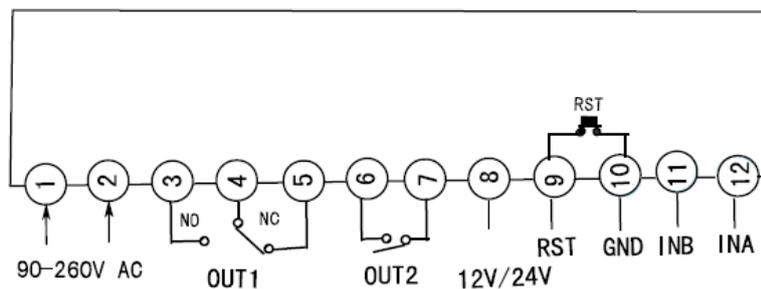


Anexo A-2.4.- Diagrama de conexión de entradas tipo PNP, Kinco Automation, CD_SERVO_User Manual, (pág 52),pdf.

**ANEXO A-3. CONTADOR DE PULSOS MYPIN FH SERIES OF
COUNTER/LENGTH/BATCH METER**

Input signals	Pulse signal: square wave and sine wave : $5 \leq H \leq 30V$ $0 \leq L \leq 2V$ up edge active
Input impedance	$\geq 10K \Omega$
Counting speed	30/5000CPS
Counting range:	(According to the display digit) -199999-999999
Preset range	(According to the display digit) 0.00001-999999
Auxiliary power	24V/12VDC $\pm 10\%$ 40mA max
Output type	Relay contact output
Contact relay capacity	250V AC/3A or 30V DC/5A
Operation environment	0~50°C 35~85%RH
Parameter saving time	10 years
Insulation resistance	$\geq 10M \Omega$ Consumption: <5W
Contact edge	Up edge Active
Power supply	DC 24V $\pm 15\%$ or 80-265V AC/DC

Anexo A-3.1.- Especificaciones Técnicas de MYPIN FH Series of Counter/Length/Batch Meter, Contador de Pulsos. Manual de instrucciones MYPIN, FH series, (pág 1),pdf.



FH8

Anexo A-3.2.- Terminal de conexiones de MYPIN FH Series of Counter/Length/Batch Meter, Contador de Pulsos. Manual de instrucciones MYPIN, FH series, (pág 2),pdf.

ANEXO A-4. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS NEUMÁTICOS

Cilindros redondos

FESTO

Tipo	 Cilindro redondo DSNU	 Cilindro redondo ESNU	 Cilindro redondo DGS	 Cilindro redondo DG, EG
Funcionamiento	Doble efecto	Simple efecto, empuje	Doble efecto	Simple efecto, empuje
Diámetro del émbolo	32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm	32 mm, 40 mm, 50 mm, 63 mm	12 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm, 40 mm	2,5 mm, 4 mm, 6 mm, 12 mm, 16 mm, 25 mm
Fuerza teórica con 6 bar en avance	482,5 ... 1870,3 N	406 ... 1765 N	68 ... 754 N	1,9 ... 215 N
Carrera	1 ... 500 mm	1 ... 50 mm	1 ... 2000 mm	1 ... 80 mm
Amortiguación	P: anillos y discos elásticos en ambos lados, PPS: amortiguación neumática autorregulable de fin de recorrido, PPV: amortiguación neumática regulable en ambos lados;	P: anillos y discos elásticos en ambos lados;	P: anillos y discos elásticos en ambos lados, PPV: amortiguación neumática regulable en ambos lados, sin amortiguación	Unilateral, sin amortiguación, no regulable
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Para la detección de las posiciones Gran cantidad de variantes Gran rendimiento y duración Vástago con rosca interior o exterior 	<ul style="list-style-type: none"> Para la detección de las posiciones Gran cantidad de variantes Gran rendimiento y duración Vástago con rosca interior o exterior 	<ul style="list-style-type: none"> Gran cantidad de variantes Vástago con rosca exterior Para la detección de las posiciones 	<ul style="list-style-type: none"> Cilindros miniaturizados Gran rendimiento Vástago con o sin rosca exterior
online: →	dsnu-32	esnu-32	dgs	dg

Anexo A-4.1. Selección del cilindro de doble efecto, FESTO, guía de productos 2013 – 2014.

Filtros: serie D, metal

FESTO

Tipo	 Filtro LF	 Filtro submicrónico LFMA	 Filtro micrónico LFMB	 Combinación de filtros micrónicos LFMA
Conexión neumática 1	Placa base, G1/8, G1/4, G3/8, G1/2, G3/4, G1, M5, M7, QS-4, QS-6	Placa base, G1/8, G1/4, G3/8, G1/2, G3/4, G1	Placa base, G1/8, G1/4, G3/8, G1/2, G3/4, G1	G1/8, G1/4, G3/8, G1/2, G3/4, G1
Caudal nominal normal	170 ... 5300 l/min	130 ... 950 l/min	250 ... 1250 l/min	125 ... 600 l/min
Presión de funcionamiento	0 ... 16 bar	1 ... 16 bar	1 ... 16 bar	1 ... 16 bar
Grado de filtración	5 ... 40 µm	0,01µm	1µm	0,01µm
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Buena separación de partículas y de condensado Gran capacidad de caudal con poca caída de presión Con purga de condensado manual o automática 	<ul style="list-style-type: none"> Filtro de gran rendimiento para aplicaciones especiales Calidad del aire según ISO 8573-1 Versión con indicador de presión diferencial para la indicación óptica de la suciedad del filtro 	<ul style="list-style-type: none"> Filtro de gran rendimiento para aplicaciones especiales Calidad del aire según ISO 8573-1 Versión con indicador de presión diferencial para la indicación óptica de la suciedad del filtro 	<ul style="list-style-type: none"> Filtro de gran rendimiento para aplicaciones especiales Calidad del aire según ISO 8573-1 Se puede suministrar como combinación de filtrado ya instalada Versión con indicador de presión diferencial para la indicación óptica de la suciedad del filtro
online: →	lf	lfma	lfmb	lfmba

Anexo A-4.2. Selección de la unidad de mantenimiento, FESTO, guía de productos 2013 – 2014.

Válvulas distribuidoras universales

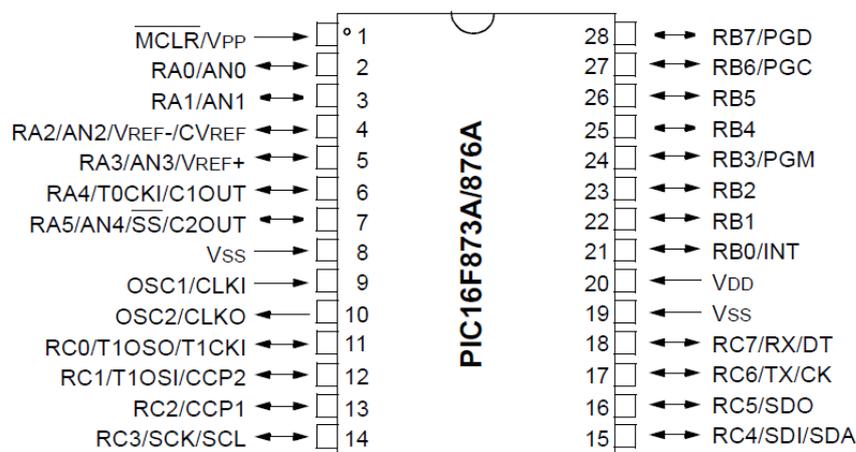
FESTO

				
Tipo	Válvula neumática VUWG	Electroválvula VUVG	Electroválvula VUVB	Electroválvula CPE10, CPE14, CPE18, CPE24
Tipo de accionamiento	Neumático	Eléctrico	Eléctrico	Eléctrico
Conexión neumática 1	G1/8, M3, M5, M7	G1/4, G1/8, M3, M5, M7	Placa base, QS-4, QS-6, QS-8, QS-10	G1/8, G1/4, G3/8, M5, M7, QS-4, QS-6, QS-8, QS-10, QS-12
Caudal nominal normal	90 ... 780 l/min	80 ... 1380 l/min	200 ... 1000 l/min	180 ... 3200 l/min
Función de válvula	2x3/2 vías, cerrada monoestable, 2x3/2 vías, monoestable, 2x3/2 vías, abierta/cerrada monoestable, 5/2 vías, 5/2 vías monoestable, 5/3 vías a presión, 5/3 vías a escape, 5/3 vías, cerrada	2x3/2 vías, cerrada monoestable, 2x3/2 vías, monoestable, 2x3/2 vías, abierta/cerrada monoestable, 5/2 vías, 5/2 vías monoestable, 5/3 vías a presión, 5/3 vías a escape, 5/3 vías, cerrada	3/2 vías, cerrada monoestable, 3/2 vías, abierta monoestable, 4/2 vías, biestable, 4/2 vías, monoestable	3/2 vías, cerrada monoestable, 3/2 vías, abierta monoestable, 5/2 vías, 5/2 vías monoestable, 5/3 vías a presión, 5/3 vías a escape, 5/3 vías, cerrada
Conexión eléctrica		Mediante placa base, Mediante placa base eléctrica	Forma C, Plug-in para multipolo, Conector, Según NE 175301-803, Mediante placa base;	2 contactos, 4 contactos, Forma C, M8x1;
Descripción	<ul style="list-style-type: none"> Válvula universal de pequeñas dimensiones Montaje sencillo Elevado caudal en relación a su tamaño Montaje como válvulas individuales o como válvulas para placa base, sobre robusto perfil distribuidor de aluminio Válvula individual de la serie VG 	<ul style="list-style-type: none"> Diseño pequeño Montaje sencillo Numerosas variantes Elevado caudal en relación a su tamaño Válvula individual de la serie VG 	<ul style="list-style-type: none"> Válvula con conexiones roscadas Válvula semi en-línea Placas base para válvulas individuales Regleta de conexiones para batería de válvula con conexión eléctrica individual o para terminal de válvulas con multipolo eléctrico 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado caudal en relación a su tamaño Variedad de funciones Amplio programa de válvulas
online: →	vuwg	vuvg	vuvb	cpe

Anexo A-4.3. Selección de la electroválvula, FESTO, guía de productos 2013 – 2014.

ANEXO A-5. MICROCONTROLADOR PIC 16F876A

A-5.1. PINES DE CONEXIÓN



Anexo A-5.1.- Pines de conexión del microcontrolador PIC 16F876A, Microchip PIC16F87XA Data Sheet, 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers, 2003 Microchip Technology Inc, (pág 2).pdf

A-5.2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Características principales
CPU de arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer).
Set de 35 instrucciones
Frecuencia de reloj hasta 20MHz (ciclo de instrucción de 200ns)
Todas las instrucciones se ejecutan en un único ciclo de instrucción, excepto las de salto
Hasta 8000 x 14 palabras de Memoria de Programa FLASH
Hasta 368 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo RAM
Hasta 256 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo EEPROM
Hasta 15 fuentes de interrupción posible
8 niveles de profundidad en la Pila hardware
Modo de bajo consumo (Sleep)
Tipo de oscilador seleccionable (RC, HS, XT, LP y externo)
Rango de voltaje de operación desde 2,0 V a 5,5V
3 Temporizadores
Watchdog Timer (perro guardián)

Anexo A-5.2.- Características principales del microcontrolador.

Fuente: (PIC16F876, sf)

A-5.3. CARACTERÍSTICAS DE LA FAMILIA PIC16F87X

Modelo	Memoria de programa Flash (palabras de 14 bits)	Memoria de datos SRAM (bytes)	Memoria de datos EEPROM (bytes)	Líneas de E/S	Canales A/D	PWM	MSSP		USART	Comparadores
							SPI	I ² C Maestro		
PIC16F870	2048	128	64	22	5	1	No	No	Sí	No
PIC16F871	2048	128	64	33	8	1	No	No	Sí	No
PIC16F872	2048	128	64	22	5	1	Sí	Sí	No	No
PIC16F873A	4096	192	128	22	5	2	Sí	Sí	Sí	Sí (2)
PIC16F874A	4096	192	128	33	8	2	Sí	Sí	Sí	Sí (2)
PIC16F876A	8192	368	256	22	5	2	Sí	Sí	Sí	Sí (2)
PIC16F877A	8192	368	256	33	8	2	Sí	Sí	Sí	Sí (2)

Anexo A-5.3. Tabla de características de la familia PIC16F87X, Microcontrolador PIC 16F876A.

A-5.4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias	-55 to +125°C
Storage temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any pin with respect to V _{SS} (except V _{DD} , $\overline{\text{MCLR}}$, and RA4)	-0.3V to (V _{DD} + 0.3V)
Voltage on V _{DD} with respect to V _{SS}	-0.3 to +7.5V
Voltage on $\overline{\text{MCLR}}$ with respect to V _{SS} (Note 2)	0 to +14V
Voltage on RA4 with respect to V _{SS}	0 to +8.5V
Total power dissipation (Note 1)	1.0W
Maximum current out of V _{SS} pin	300 mA
Maximum current into V _{DD} pin	250 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > V _{DD})	± 20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > V _{DD})	± 20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin	25 mA
Maximum current sunk by PORTA, PORTB and PORTE (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sourced by PORTA, PORTB and PORTE (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sunk by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA
Maximum current sourced by PORTC and PORTD (combined) (Note 3)	200 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum \{(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}\} + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

Anexo A-5.4. Características eléctricas del microcontrolador, (MICROCHIP, 2003, pág. 173).

A-5.5. FUNCIÓN DE LOS PUERTOS

Puerto A:

PORTA FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RA0/AN0	bit 0	TTL	Input/output or analog input.
RA1/AN1	bit 1	TTL	Input/output or analog input.
RA2/AN2/VREF-/CVREF	bit 2	TTL	Input/output or analog input or VREF- or CVREF.
RA3/AN3/VREF+	bit 3	TTL	Input/output or analog input or VREF+.
RA4/T0CKI/C1OUT	bit 4	ST	Input/output or external clock input for Timer0 or comparator output. Output is open-drain type.
RA5/AN4/SS/C2OUT	bit 5	TTL	Input/output or analog input or slave select input for synchronous serial port or comparator output.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Anexo A-5.5.1.- Puerto A, (MICROCHIP, 2003, pág. 43)

Puerto B:

PORTB FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer	Function
RB0/INT	bit 0	TTL/ST ⁽¹⁾	Input/output pin or external interrupt input. Internal software programmable weak pull-up.
RB1	bit 1	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB2	bit 2	TTL	Input/output pin. Internal software programmable weak pull-up.
RB3/PGM ⁽³⁾	bit 3	TTL	Input/output pin or programming pin in LVP mode. Internal software programmable weak pull-up.
RB4	bit 4	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB5	bit 5	TTL	Input/output pin (with interrupt-on-change). Internal software programmable weak pull-up.
RB6/PGC	bit 6	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming clock.
RB7/PGD	bit 7	TTL/ST ⁽²⁾	Input/output pin (with interrupt-on-change) or in-circuit debugger pin. Internal software programmable weak pull-up. Serial programming data.

Legend: TTL = TTL input, ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode or in-circuit debugger.

3: Low-Voltage ICSP Programming (LVP) is enabled by default which disables the RB3 I/O function. LVP must be disabled to enable RB3 as an I/O pin and allow maximum compatibility to the other 28-pin and 40-pin mid-range devices.

Anexo A-5.5.2.- Puerto B, (MICROCHIP, 2003, pág. 45).

Puerto C:

PORTC FUNCTIONS

Name	Bit#	Buffer Type	Function
RC0/T1OSO/T1CKI	bit 0	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator output/Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	bit 1	ST	Input/output port pin or Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	bit 2	ST	Input/output port pin or Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	bit 3	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock for both SPI and I ² C modes.
RC4/SDI/SDA	bit 4	ST	RC4 can also be the SPI data in (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).
RC5/SDO	bit 5	ST	Input/output port pin or Synchronous Serial Port data output.
RC6/TX/CK	bit 6	ST	Input/output port pin or USART asynchronous transmit or synchronous clock.
RC7/RX/DT	bit 7	ST	Input/output port pin or USART asynchronous receive or synchronous data.

Legend: ST = Schmitt Trigger input

Anexo A-5.5.3.- Puerto C, (MICROCHIP, 2003, pág. 47)

A-5.6. CONFIGURACIÓN DE REGISTRO ADCON1 (E/S DIGITALES)

ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

bit 7 **ADFM:** A/D Result Format Select bit

1 = Right justified. Six (6) Most Significant bits of ADRESH are read as '0'.

0 = Left justified. Six (6) Least Significant bits of ADRESL are read as '0'.

bit 6 **ADCS2:** A/D Conversion Clock Select bit (ADCON1 bits in shaded area and in **bold**)

ADCON1 <ADCS2>	ADCON0 <ADCS1:ADCS0>	Clock Conversion
0	00	FOSC/2
0	01	FOSC/8
0	10	FOSC/32
0	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)
1	00	FOSC/4
1	01	FOSC/16
1	10	FOSC/64
1	11	FRC (clock derived from the internal A/D RC oscillator)

bit 5-4 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 3-0 **PCFG3:PCFG0**: A/D Port Configuration Control bits

PCFG <3:0>	AN7	AN6	AN5	AN4	AN3	AN2	AN1	AN0	VREF+	VREF-	C/R
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	AN3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	—	—	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	AN3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	AN3	AN2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	AN3	AN2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

C/R = # of analog input channels/# of A/D voltage references

Anexo A-5.6.- Configuración de Registro ADCON1 (E/S Digitales), (MICROCHIP, 2003, pág. 128)

A-5.7. PROGRAMA DE VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE TOPES

```

1: ////////////////////////////////// UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE////////////////////////////////////
2: //////////////////////////////////CIME////////////////////////////////////
3: //MODERNIZACIÓN DE UNA MÁQUINA PERFORADORA LINEAL DE EBANISTERÍA//
4: //////////////////////////////////SISTEMA DE PROFUNDIDAD////////////////////////////////////
5:
6: //PROGRAMA EN MICROCONTROLADOR PIC 16F876A:
7: //Asignación de nombres a pines del puerto A y C
8: //PUERTO A
9: sbit posA at porta.b0;
10: sbit posB at porta.b1;
11: sbit posC at porta.b2;
12: sbit posX at porta.b3;
13: sbit posY at porta.b4;
14: sbit posZ at porta.b5;
15: //PUERTO C
16: sbit sal1 at portc.b0;
17: sbit sal2 at portc.b1;
18: sbit sal3 at portc.b2;
19: sbit sal4 at portc.b3;
20: sbit sal5 at portc.b4;
21: //PUERTO PARA CONECCIÓN DE LCD
22: sbit LCD_RS at RB5_bit;
23: sbit LCD_EN at RB4_bit;
24: sbit LCD_D4 at RB3_bit;
25: sbit LCD_D5 at RB2_bit;
26: sbit LCD_D6 at RB1_bit;
27: sbit LCD_D7 at RB0_bit;

```

```

28: sbit LCD_RS_Direction at TRISB5_bit;
29: sbit LCD_EN_Direction at TRISB4_bit;
30: sbit LCD_D4_Direction at TRISB3_bit;
31: sbit LCD_D5_Direction at TRISB2_bit;
32: sbit LCD_D6_Direction at TRISB1_bit;
33: sbit LCD_D7_Direction at TRISB0_bit;
34: // TERMINA CONECCIONES DEL MÓDULO LCD
35: //Variables que se visualizan en la LCD
36: char txt1[] = "SISTEMA";
37: char txt2[] = "PROFUNDIDAD";
38: char txt3; //permite visualizar el mueble elegido
39: char txt4; //permite visualizar la madera elegida
40: char txt5; //perite visualizar la profundidad estandar
41: char txt6[] = "SELECCIONE";
42: char txt7[] = "MUEBLE";
43: char txt8[] = "MADERA";
44: char txt9[] = "PUERTA";
45: char txt10[] = "COMODA";
46: char txt11[] = "CLOSET";
47: char txt12[] = "SUAVE";
48: char txt13[] = "DURA";
49: char txt14[] = "MDF";
50: char txt15[] = "1,5 mm";
51: char txt16[] = "2,0 mm";
52: char txt17[] = "2,5 mm";
53: char txt18[] = "3,0 mm";
54: char txt19[] = "3,5 mm";
55: char txt20[] = "-";
56: char txt21; //permite visualizar el uion de separación
57:

58: void main() {
59:   ADCON1 = 0B00000111; //Todos los pines de E/S se configuran como digi
   itales
60:   TRISA = 1; // PORTA como entrada
61:   PORTA = 0; // Todo el PORTA se pone a cero
62:   TRISC = 0; // PORTC como salida
63:   PORTC = 0; // Todo el PORTC se pone a cero
64:
65:   Lcd_Init(); // Inicializa LCD
66:
67:   Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Limpia display
68:   Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // Cursor apagado
69:   Lcd_Out(1,5,txt1); // Escribe texto en la primera fila
70:   Lcd_Out(2,3,txt2); // Escribe texto en la segunda fila
71:   Delay_ms(200);
72:
73:   while(1) {
74:     if(posA == 1){ //Selección Mueble (PUERTA)
75:       txt3 = txt6;
76:       txt5 = txt8;
77:       txt4 = 0;
78:       txt21 = 0;
79:       Delay_ms(100);
80:       Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpiar display
81:       if(posX == 1){
82:         sal3 = 1; //Activa salida 3 (2,5mm)
83:         txt3 = txt9;
84:         txt4 = txt12;
85:         txt5 = txt17;
86:         txt21 = txt20;

```

```

87:     }
88:     else{
89:         sal3 = 0; //Desactiva salida 3
90:         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpia display
91:     }
92:     if(posY == 1){
93:         sal1 = 1; //Activa salida 1 (3,5mm)
94:         txt3 = txt9;
95:         txt4 = txt13;
96:         txt5 = txt19;
97:         txt21 = txt20;
98:     }
99:     else{
100:        sal1 = 0; //Desactiva salida 1
101:        Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpia display
102:    }
103: }
104: if(posB == 1){ //Selección Mueble (CÓMODA)
105:     txt3 = txt6;
106:     txt5 = txt8;
107:     txt4 = 0;
108:     txt21 = 0;
109:     Delay_ms(100);
110:     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Limpia display
111:     if(posX == 1 || posY == 1){
112:         sal4 = 1; //Activa salida 4 (2,0mm)
113:         txt3 = txt10;
114:
115:         txt5 = txt16;
116:         txt21 = txt20;
117:         if(posX == 1){
118:             txt4 = txt12;
119:         }
120:         if(posY == 1){
121:             txt4 = txt13;
122:         }
123:     }
124:     else{
125:         sal4 = 0; //Desactiva salida 4
126:         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpia display
127:     }
128:     if(posZ == 1){
129:         sal5 = 1; //Activa salida 5 (1,5mm)
130:         txt3 = txt10;
131:         txt4 = txt14;
132:         txt5 = txt15;
133:         txt21 = txt20;
134:     }
135:     else{
136:         sal5 = 0; //Desactiva salida 5
137:         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Limpia display
138:     }
139: }
140: if(posC == 1){ //Selección Mueble (CLÓSET)
141:     txt3 = txt6;
142:     txt5 = txt8;
143:     txt4 = 0;
144:     txt21 = 0;

```

```

144:     Delay_ms(100);
145:     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);           // Limpia display
146:     if(posX == 1 || posY == 1){    //Selección madera (SUAVE & DURA)
147:         sal5 = 1;                 //Activa salida 5 (1,5mm)
148:         txt3 = txt11;
149:         txt5 = txt15;
150:         txt21 = txt20;
151:         if(posX == 1){
152:             txt4 = txt12;
153:         }
154:         if(posY == 1){
155:             txt4 = txt13;
156:         }
157:     }
158:     else{
159:         sal5 = 0;                 //Desactiva salida
160:         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);     //Limpia display
161:     }
162:     if(posZ == 1){                //Selección madera (MDF)
163:         sal2 = 1;                 //Activa salida 2 (3,0mm)
164:         txt3 = txt11;
165:         txt4 = txt14;
166:         txt5 = txt18;
167:         txt21 = txt20;
168:     }
169:     else{
170:         sal2 = 0;                 //Desactiva salida 2
171:         Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);     //Limpia display
172:     }
173: }
174: if(posA == 0 && posB == 0 && posC == 0){ //SELECCIONE MUEBLE
175:     txt3 = txt6;
176:     txt5 = txt7;
177:     txt4 = 0;
178:     txt21 = 0;
179:     Delay_ms(100);
180:     Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);         // Limpia display
181: }
182: Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);           // Limpia display
183: Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);     // Cursor apagado
184: Lcd_Out(1,1,txt3);            // Escribe el mueble seleccionado en la primera fila
185: Lcd_Out(1,8,txt21);           // Escribe guion en la primera fila
186: Lcd_Out(1,10,txt4);           // Escribe la madera seleccionada en la primera fila
187: Lcd_Out(2,5,txt5);            // Escribe la distancia estandar en la segunda fila
188: }
189: }

```

Anexo A-5.7. Programa utilizado en el sistema de profundidad. Fuente propia.

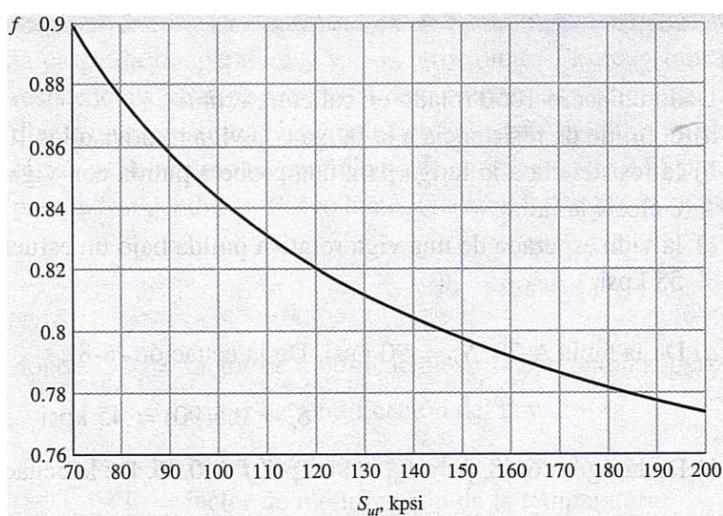
ANEXO A-6. ANÁLISIS DE ELEMENTO MECÁNICOS

A-6.1. PROPIEDADES ACERO AISI 1018 LAMINADO EN FRÍO

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	<u>1018</u>	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	<u>440 (64)</u>	<u>370 (54)</u>	15	40	<u>126</u>
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

A-6.2.- FRACCIÓN DE RESISTENCIA A LA FATIGA (f)



Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

A-6.3. PROPIEDADES ACERO AISI 4140 RECOCIDO

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1 630 (236)	1 460 (212)	10	41	467
	TyR*	315 (600)	1 500 (217)	1 380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1 280 (186)	1 190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1 200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1 600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1 585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	TyR	205 (400)	1 770 (257)	1 640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1 550 (225)	1 430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1 250 (181)	1 140 (165)	13	49	370
	TyR	540 (1 000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1 200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1 600)	1 020 (148)	655 (95)	18	47	302
	<u>Recocido</u>	815 (1 500)	<u>655 (95)</u>	<u>417 (61)</u>	26	57	<u>197</u>
4340	TyR	315 (600)	1 720 (250)	1 590 (230)	10	40	486
	TyR	425 (800)	1 470 (213)	1 360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1 000)	1 170 (170)	1 080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1 200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

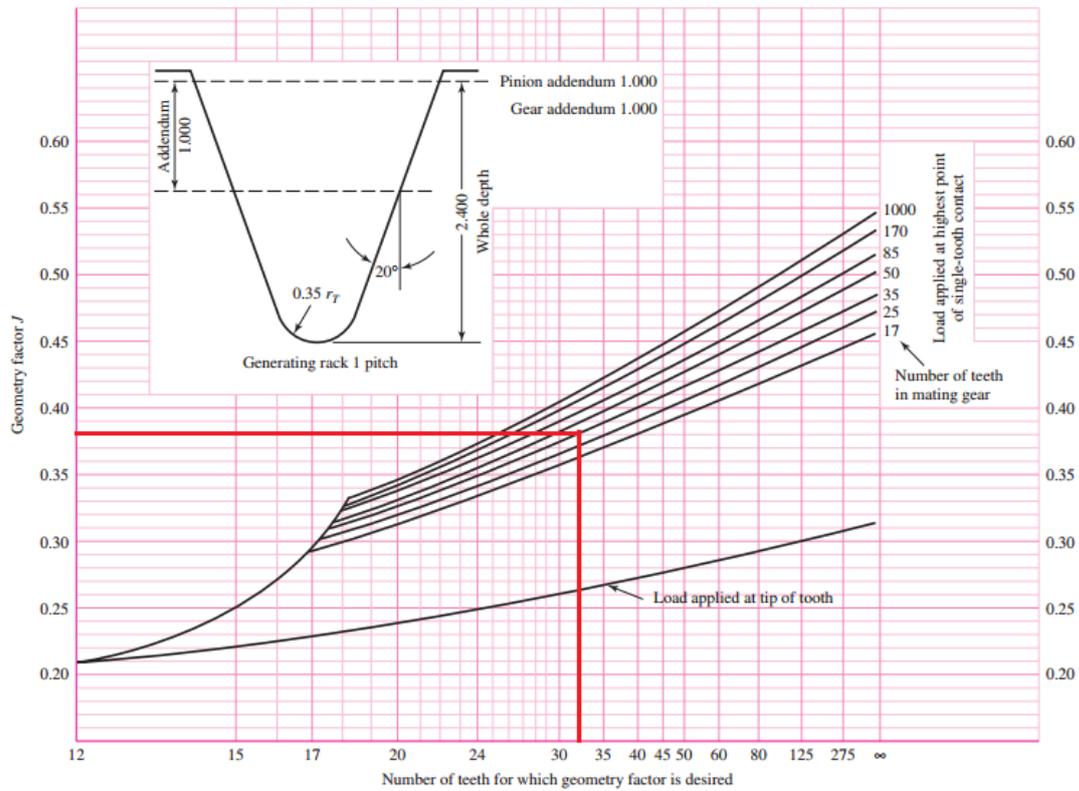
Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

A-6.4. FACTOR DE SOBRECARGA PARA ENGRANAJES, K_o

Driven Machine			
Power source	Uniform	Moderate shock	Heavy shock
Uniform	<u>1.00</u>	1.25	1.75
Light shock	1.25	1.50	2.00
Medium shock	1.50	1.75	2.25

Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

A-6.5. FACTOR GEOMÉTRICO J



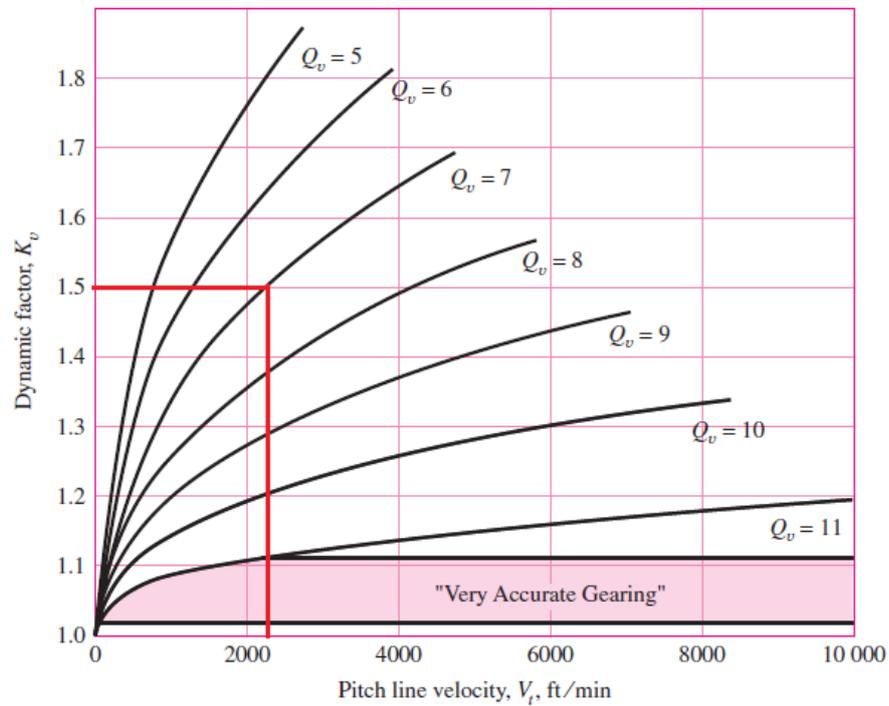
Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008)

A-6.6. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA, Km

CONDICIÓN DE SOPORTE	ANCHO DE LA CARA, pulgadas (mm.)			
	≤ 2 (50)	6 (150)	9 (225)	≥ 16 (400)
Montaje exacto, con bajas holguras en cojinetes, deflexiones mínimas. Engranajes de precisión.	1,30	1,40	1,50	1,80
Montajes menos rígidos, engranajes menos precisos, con contacto a todo lo ancho de la cara.	<u>1,60</u>	1,70	1,80	2,00
Exactitud y montaje de modo que exista contacto incompleto con la cara	> 2,00			

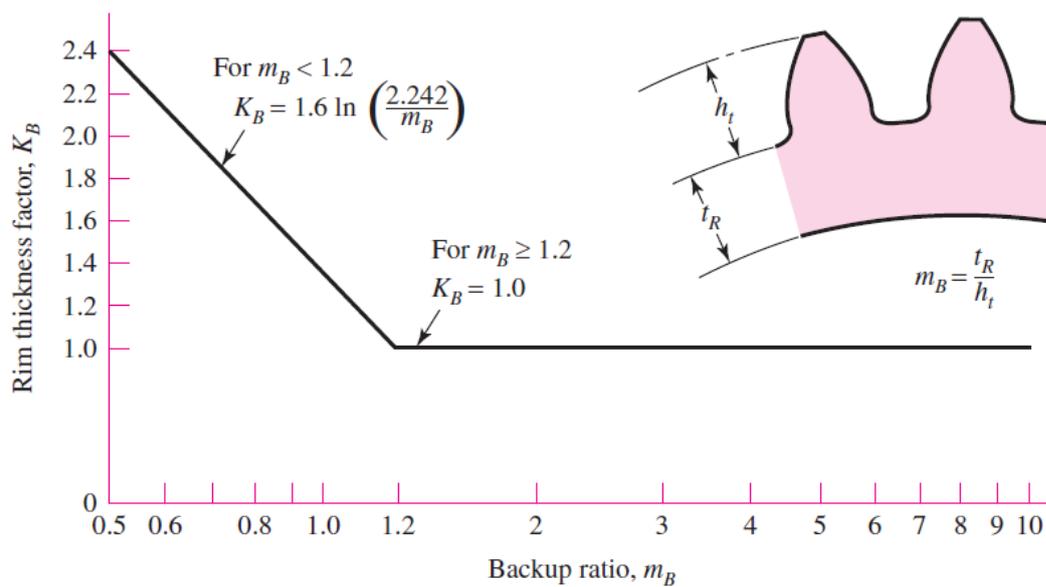
Fuente: (ingemecánica, sf)

A-6.7. FACTOR DINÁMICO, K_v



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

A-6.8. FACTOR DE ESPESOR DEL ARO, K_B :



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

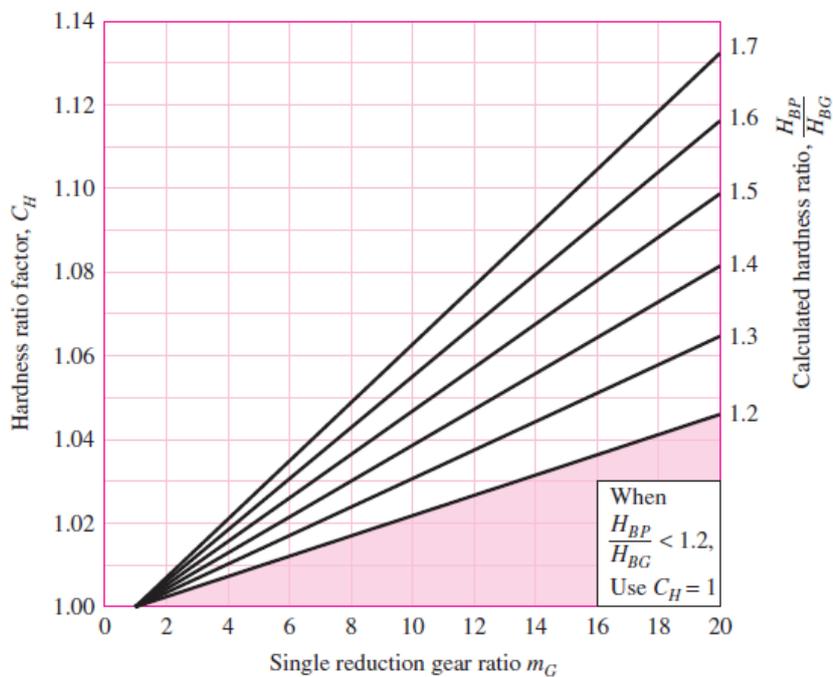
A-6.9. MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Relación de Poisson ν	Peso unitario w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/pulg ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
<u>Acero al carbono</u>	30.0	<u>207.0</u>	11.5	79.3	<u>0.292</u>	0.282	487	76.5
Fundición de hierro (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Abeto Douglas	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Metal Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Niquel plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

Fuente: Diseño de transmisión por engranajes Rectos. Monografías.com

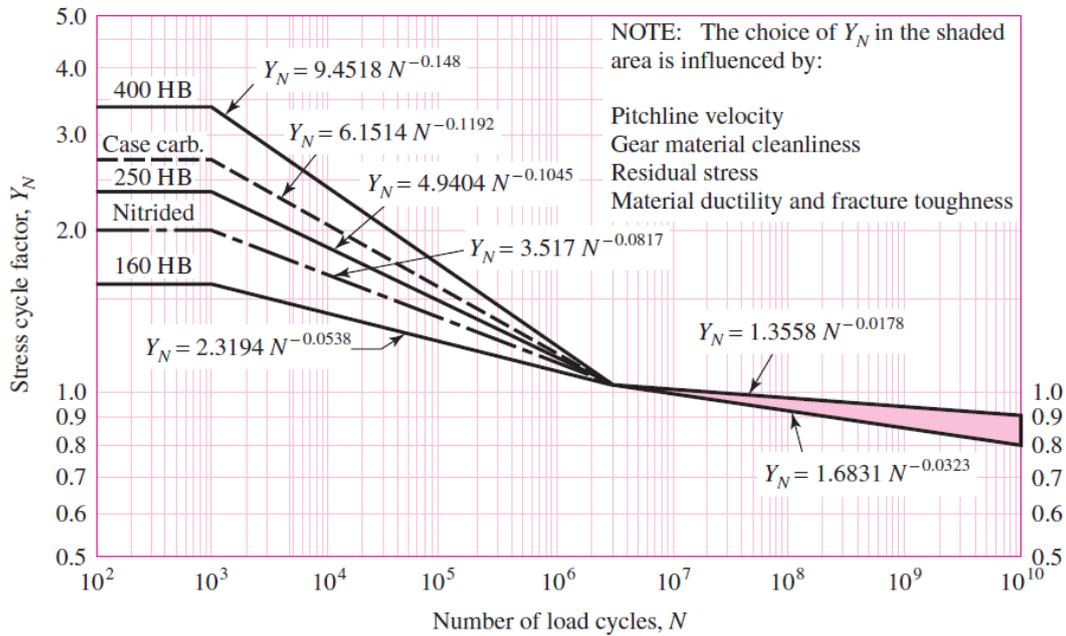
Fuente: (monografias.com, 2010)

A-6.10. FACTOR DE DUREZA, C_H



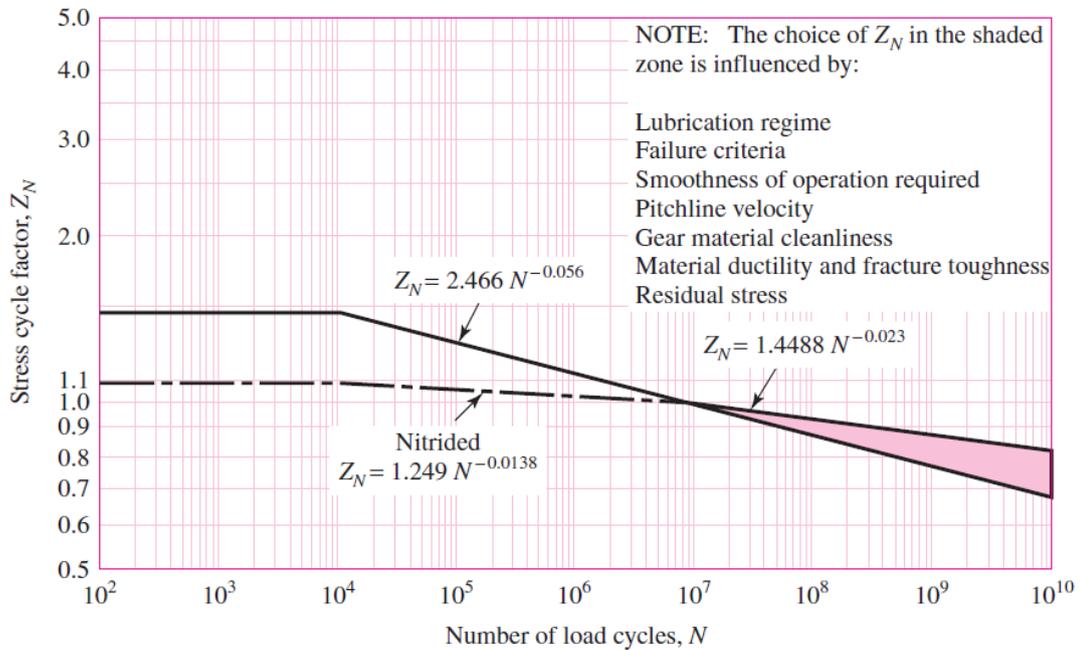
Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

A-6.11. FACTOR DE CICLOS DE CARGA A FLEXIÓN, Y_N



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

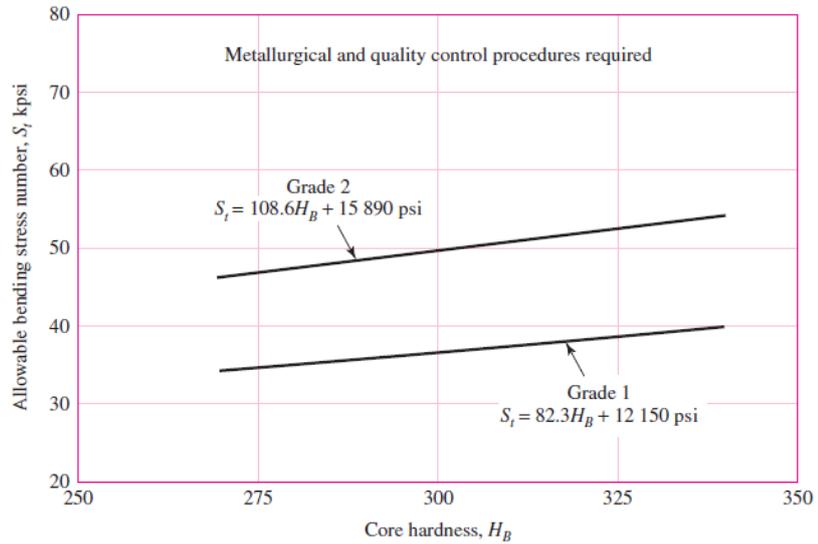
A-6.12.- FACTOR DE CICLOS DE CARGA A LA PICADURA, Z_N



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

A-6.13. ESFUERZO DE CONTACTO PERMISIBLE, S_t

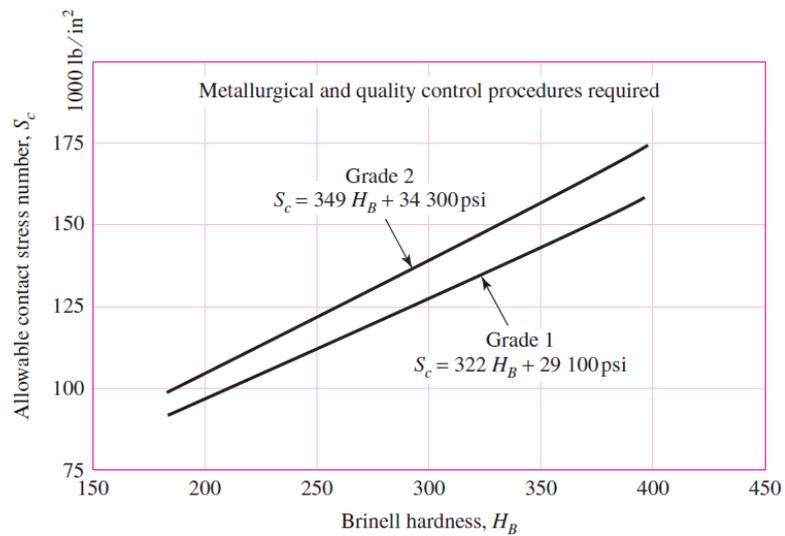
Allowable bending stress number for nitrided through-hardened steel gears (i.e., AISI 4140, 4340), S_t . The SI equations are $S_t = 0.568H_B + 83.8$ MPa, grade 1, and $S_t = 0.749H_B + 110$ MPa, grade 2. (Source: ANSI/AGMA 2001-D04 and 2101-D04.)



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

A-6.14. ESFUERZO DE CONTACTO PERMISIBLE, S_c

Contact-fatigue strength S_c at 10^7 cycles and 0.99 reliability for through-hardened steel gears. The SI equations are $S_c = 2.22H_B + 200$ MPa, grade 1, and $S_c = 2.41H_B + 237$ MPa, grade 2. (Source: ANSI/AGMA 2001-D04 and 2101-D04.)



Fuente: (Budynas & Nisbeth, 2008).

ANEXO A-7. FOTOGRAFÍAS

Desmontaje de la bancada de la máquina perforadora de ebanistería.



Utilización de una pesa electrónica para conocer el peso de la bancada



Pruebas del Sistema de posicionamiento vertical



Pruebas de sistema Neumático



Pruebas del sistema de profundidad



Implementación del gabinete principal



Implementación del panel de control



Montaje de los diferentes sistemas en la máquina



Anexo A-11. Fotografías tomadas en el trayecto del proyecto de grado. Fuente propia.

ANEXO A-8. MANUAL DE USUARIO Y MANTENIMIENTO

**FÁBRICA DE MUEBLES CLÁSICOS
CHANDI “FAMUCLACH”**

**MÁQUINA PERFORADORA LINEAL DE
EBANISTERÍA**

**MANUAL DE USUARIO
Y
MANTENIMIENTO**

2014

ÍNDICE

ÍNDICE.....	180
INTRODUCCIÓN.....	181
INFORMACIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA.....	182
MANUAL DE USUARIO.....	185
MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	190
MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y ELÉCTRICO.....	191
MANTENIMIENTO CORRECTIVO MECÁNICO.....	194
MANTENIMIENTO CORRECTIVO ELÉCTRICO.....	196

1. INTRODUCCIÓN:

El presente manual contiene información que permite al usuario usar como guía para el uso correcto de la perforadora lineal de ebanistería.

Este manual debe considerarse como parte integrante de la máquina y este debe ser conservado hasta su desmontaje, la persona responsable del mantenimiento de la fábrica debe guardar este documento en un lugar seguro, seco y de fácil acceso, garantizando que esté a disposición en el futuro.

Las recomendaciones de instalación, mantenimiento, posibles causas, soluciones, información sobre las características técnicas y el uso seguro de la máquina se encuentran en este documento, por lo cual es muy importante leer atentamente este manual antes de usar, para asegurar el mejor rendimiento de la perforadora lineal de ebanistería.

Intención de este manual y las personas interesadas:

Este manual está dirigido a:

- Usuario de la máquina
- Propietario
- Persona a cargo
- Responsable del turno
- Instaladores
- Responsable de mantenimiento
- Responsable de desmontaje final

La información incluida en el manual de usuario se ha desarrollado para demostrar el uso de la máquina y sus características técnicas, así como proporcionar información sobre su desplazamiento, instalación, montaje, configuración y uso.

Esto también incluye información relativa a la formación del operador, sugerencias de mantenimiento, seguridad de la maquinaria y de los operadores que trabajan en ésta.

2. INFORMACIÓN GENERAL DE LA MÁQUINA

Los componentes principales de la máquina son:

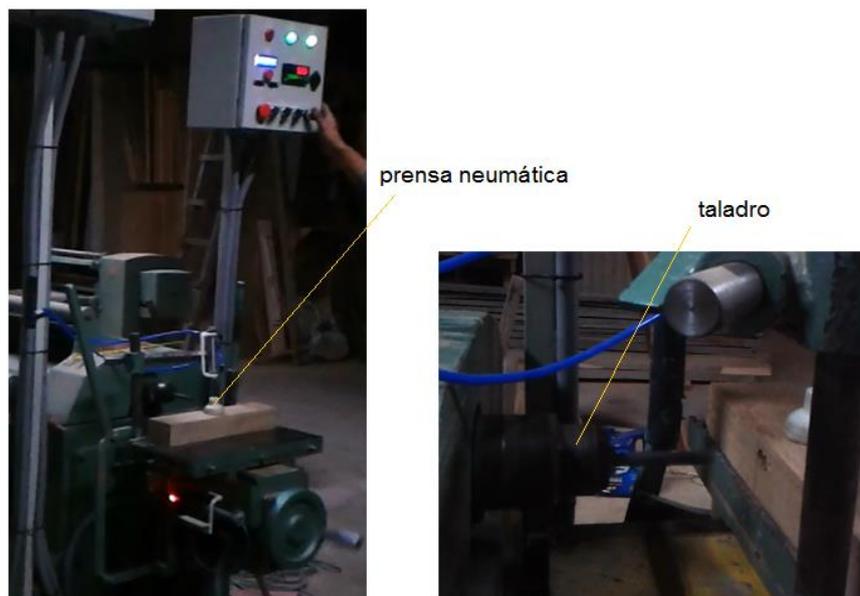


Figura 1. Taladro de Ebanistería.
Fuente: Autor.

1) Gabinete principal

El gabinete principal se encuentra ubicado en la parte superior izquierda del operador, en la cual se encuentran la alimentación, las diferentes protecciones eléctricas y el controlador del sistema de posicionamiento vertical (servodriver).

2) Panel de control

El panel de control se encuentra ubicado en la parte superior derecha del operador, cuyos controles se utilizan principalmente para:

- ❖ Encender los diferentes sistemas implementados.
- ❖ Mover la bancada.
- ❖ Seleccionar el estándar a perforar
- ❖ Paro de emergencia

A su vez este panel permite al operario observar:

- ❖ Estándar seleccionado
- ❖ La distancia que la bancada se ha movilizad
- ❖ Indicadores luminosos

3) Bancada

La bancada se encuentra frente al operario, en la cual se coloca la madera previamente prensada, para su posterior perforación; su movimiento se da gracias al servomotor que el operario controla desde el panel de control.

4) Taladro

El taladro se encuentra frente al operario, lo que facilita la visualización de éste al perforar la madera, cabe aclarar que el taladro es controlado independientemente de los sistemas implementados.

5) Sistema de transmisión de movimiento

El sistema de transmisión de movimiento se encuentra localizado bajo la bancada de la máquina, éste es el encargado de transmitir el movimiento generado por el servomotor hacia el tornillo de potencia (TP), a través de una relación de engranajes (E1-E2) y un bisel (E3-E4), como se puede apreciar de mejor manera en la Figura 2.2:

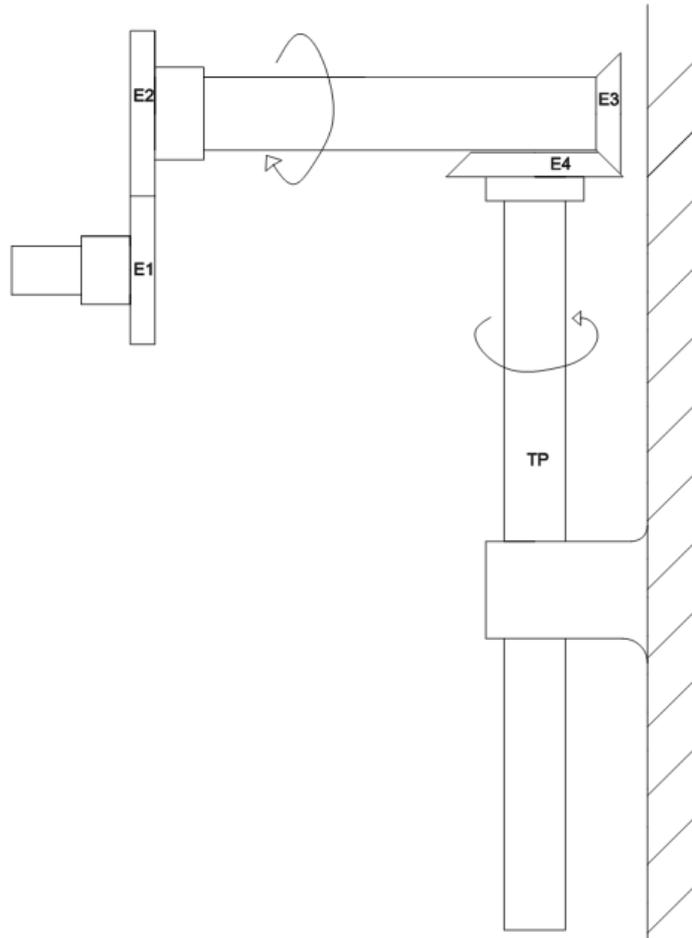


Figura 2. Sistema de transmisión de movimiento
Fuente. Propia

6) Prensa neumática

La prensa neumática se encuentra ubicada sobre la bancada de la máquina, su función principal es dar seguridad al operario, al presionar la madera contra la bancada.

3. MANUAL DE USUARIO

En este documento se muestra el manual de usuario de la “máquina perforadora lineal de ebanistería”, el cual permite a los operarios de la máquina obtener el mejor rendimiento al operar la máquina de la manera más adecuada y oportuna, tomando en cuenta las recomendaciones de uso dispuestas por el fabricante.

Descripción de funcionamiento del panel de control:

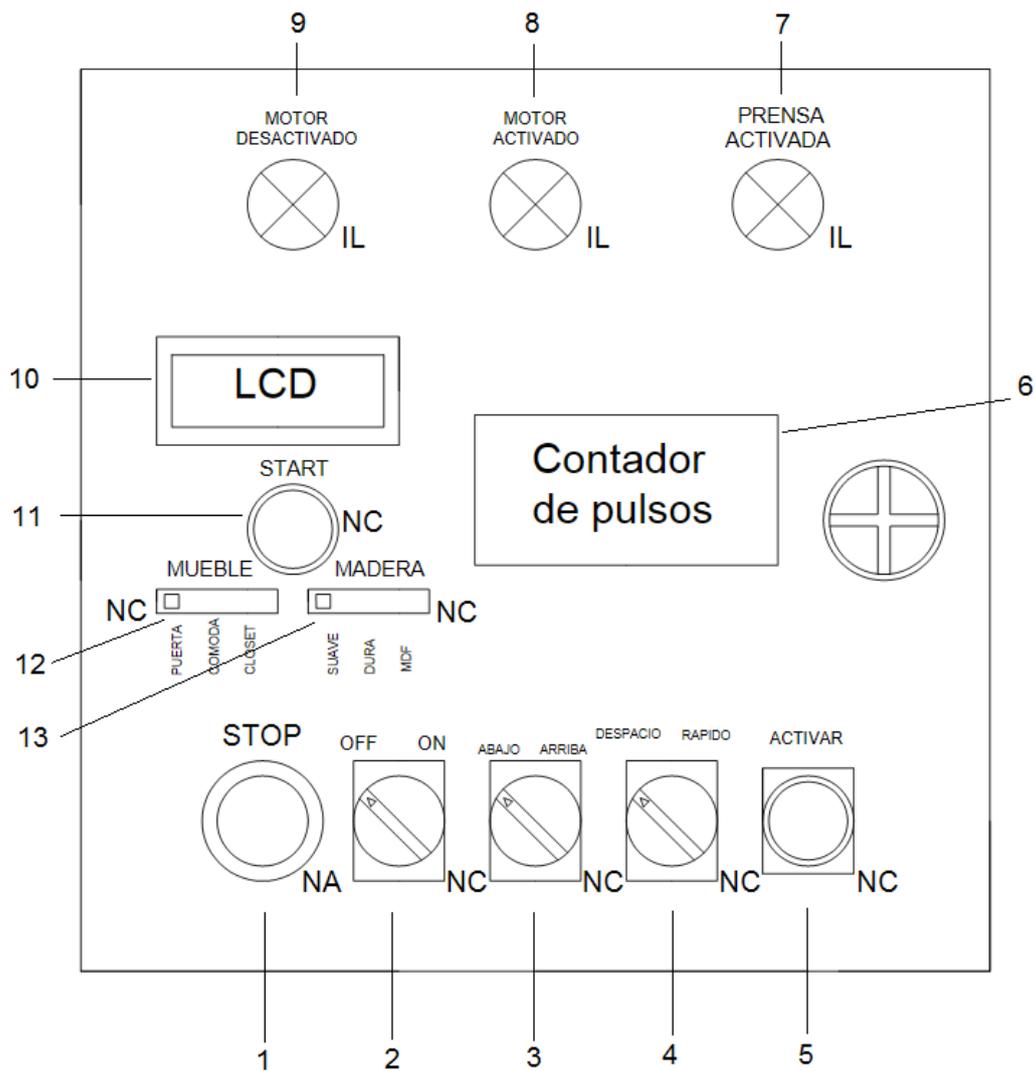


Figura 3. Panel de control.

Fuente. Autor.

- 1) Parada de emergencia
- 2) Encendido de la máquina
- 3) Sentido de movimiento de la bancada (abajo/arriba)
- 4) Velocidad de movimiento de la bancada (despacio/rápido)
- 5) Activar movimiento de la bancada

- 6) Visualizador del movimiento de la bancada
- 7) Indicador luminoso de prensa activa
- 8) Indicador luminoso de bancada en movimiento (motor activo)
- 9) Indicador luminoso de bancada sin movimiento (motor desactivado)
- 10) Visualizador del estándar de profundidad seleccionado
- 11) Iniciar estándar de profundidad
- 12) Selección de tipo de mueble
- 13) Selección de tipo de madera

Pasos para el correcto uso de la perforadora lineal de ebanistería

Los pasos que se muestran en la Tabla 1, detallan un correcto uso de la perforadora lineal de ebanistería para obtener un buen rendimiento y evitar cualquier falla.

Tabla 1. Pasos para el correcto uso de la perforadora lineal de ebanistería.

Paso	Función	Descripción	Observación
1	Orden y limpieza	Limpiar el lugar de trabajo mediante útiles de aseo.	Para retirar el polvo de la máquina es factible utilizar aire comprimido
2	Revisión de rutina	Revisar alimentación a la máquina, aceite en compresor, presión de aire en el filtro.	La presión de aire debe ser equivalente a 5[bar]
3	Ubicación de madero	Ubicar el madero sobre la bancada para su posterior perforación.	Verificar que el madero se encuentre bajo la prensa neumática.
4	Encender la máquina (ON)	Girar el selector (2) hacia la derecha (sentido horario), para energizar todos los sistemas y prensar la madera. 	El indicador luminoso (7) se activa, indicando que está activa la prensa neumática. 

5	Sentido de movimiento de la bancada (Abajo/ Arriba)	<p>Para posicionar la bancada a la altura deseada, el operario cuenta con el selector (3), el cual permite seleccionar si desea subir o bajar la bancada.</p> 	Ninguna
6	Velocidad de la bancada (Espacio/ Rápido)	<p>El operario puede elegir mediante el selector (4) la velocidad a la cual se movilice la bancada</p> 	Ninguna
7	Activar movimiento de la bancada	<p>Realizados los pasos (P5) y (P6), para activar el movimiento deseado debe mantener presionado el pulsador (5).</p> 	<p>El indicador luminoso (8) se activa solo cuando está en movimiento la bancada.</p>  <p>El indicador luminoso (9) se activa solo cuando la bancada está detenida.</p>  <p>El operario puede observar en el visualizador (6), la distancia que la bancada recorre.</p>

8	Elegir tipo de mueble (Puerta/ Cómoda/ Closet)	Seleccionar el tipo de mueble mediante el selector (12)  MUEBLE	Se procede a realizar este paso, una vez ubicada la bancada a la altura deseada.
9	Elegir tipo de madera (Suave/ Dura/ Mdf)	Seleccionar el tipo de madera que se va a perforar, mediante el selector (13)  MADERA	Ninguna
10	Iniciar estándar de profundida d	Cumplidos los pasos (8) y (9), el operario debe presionar el pulsador (11) para activar el estándar escogido 	El operario puede observar en el visualizador (10), el estándar seleccionado, y la distancia del mismo. 
11	Ubicar el pasador	Culminado el paso (10), el operario debe ubicar el pasador en la varilla estandarizada, tomando como referencia el indicador luminoso que se alinea con el borde de la bancada.	El pasador a ubicar es el siguiente: 
12	Perforar la madera	Cumplidos a cabalidad los pasos descritos, el operario puede perforar la madera.	Ninguna
13	Des-energizar	Para ubicar otro madero que requiera las mismas características, puede presionar el pulsador (1), el cual responde a paro de	Presionar por segunda vez el pulsador (1), para volver a activar la prensa neumática y los energizar los sistemas.

	los sistemas	emergencia, así la prensa neumática se desactiva y los sistemas se des-energizan.	
14	Apagar la máquina (OFF)	Girar el selector (2) hacia la izquierda (sentido antihorario), para des-energizar todos los sistemas y liberar la madera. 	

Fuente: Autor

NOTA: Se recomienda que el operario una vez terminado el trabajo en la perforadora lineal de ebanistería, apague la máquina siguiendo el paso 14 de la Tabla 1.

4. MANUAL DE MANTENIMIENTO

El siguiente documento permite al jefe de mantenimiento de la fábrica realizar un mantenimiento preventivo sobre los diferentes componentes de la máquina, así como resolver cualquier desperfecto que se pueda generar por el mal uso, falla de la red eléctrica u otro suceso que se pueda dar.

Importancia del mantenimiento

Una vez se ha modernizado el taladro horizontal de ebanistería, este consta de dos partes, la parte mecánica y la parte eléctrica; las cuales deben tener un mantenimiento responsable y riguroso, para evitar cualquier desperfecto, desgaste progresivo con el uso de la máquina y alargar su vida útil; a continuación se proporcionará información al respecto.

Mantenimiento preventivo:

El mantenimiento preventivo son las acciones necesarias para alargar la vida útil de la máquina y mecanismos que la componen y así evitar la suspensión de las actividades laborales por imprevistos, por lo tanto el jefe de mantenimiento debe realizar revisiones periódicas, una vez se hayan cumplido las horas de trabajo planificadas.

Mantenimiento correctivo:

El mantenimiento correctivo se realiza cuando existen una serie de fallas en la maquinaria o errores del operario, como averías, mal uso, etc; las cuales son impredecibles a la hora de realizar el debido mantenimiento.

Por lo tanto este manual da pautas al jefe de mantenimiento para que solucione la avería que se ha producido en el taladro de ebanistería lo más pronto posible y así evitar pérdidas de producción, deficiencias en la calidad, tiempos muertos y pérdida de ganancia.

4.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y ELÉCTRICO

En el mantenimiento es uno de los principales puntos a tomar en cuenta para el correcto funcionamiento de la máquina perforadora lineal de ebanistería.

Cabe resaltar que antes de empezar el mantenimiento se debe realizar estas actividades:

- Registro de datos del tablero
- Des-energizar y puesta a tierra
- Observar que no presente daños visibles, piezas flojas o sueltas.

En la Tabla 2, se encuentran sugerencias para mantener en buen estado la maquinaria:

Tabla 2. Mantenimiento preventivo mecánico y eléctrico de la máquina perforadora lineal de ebanistería.

Frecuencia	Actividad	Detalle	Observación
Diariamente	Limpieza del lugar de trabajo	Retirar el polvo que se encuentra sobre el mecanismo de transmisión de movimiento, mediante aire comprimido.	Si el polvo se encuentra adherido, limpiar con un cepillo metálico.
	Revisión del sistema neumático	Revisar que el manómetro señale 5 [bar], los cuales son necesarios para el buen funcionamiento del sistema neumático.	Comprobar el estado de las mangueras y escuchar si hay fuga de aire.
	Verificar la cubierta de la máquina	Eliminar goteos o condensación de agua sobre la máquina.	Observar si existen restos de goteras de la cubierta.

	Girar las sujeciones del servomotor	Verificar que los cuatro pernos que aseguran el servomotor a la máquina, no giren al hacer presión con la mano.	En caso de girar un perno, usar una llave (14), para asegurar el perno prudentemente.
	Comprobar la alimentación de la máquina	En el tablero principal se puede observar un indicador luminoso encendido, el cual informa al operario que la máquina está correctamente energizada.	Si el indicador luminoso se encuentra apagado, informar al jefe de mantenimiento.
	Verificar la libertad de movimiento del tornillo de potencia	El tornillo de potencia puede fácilmente moverse con la mano, si éste muestra gran resistencia informe al jefe de mantenimiento.	Para realizar esta verificación la máquina debe estar apagada.
Semanalmente	Evacuar el agua acumulada del filtro neumático	Revisar el color del agua, para saber el grado de impurezas que ingresan.	
	Comprobar nivel de aceite en compresor	Revisar el estado de nivel de aceite del compresor, de ser necesario aumentar hasta el nivel apropiado. Buscar el rastro de aceite derramado en caso de fuga.	El cambio de aceite del compresor se debe realizar tras cumplirse las horas de trabajo que establece el fabricante de éste.

	Probar los switches del panel de control	Verificar la libertad de movimiento de las piezas móviles del tablero de control.	La manipulación de los switches no debe exigir esfuerzo alguno.
	Revisión y limpieza del gabinete,	Retirar el polvo de cables, aisladores, interruptores electromagnéticos y demás componentes que integran el tablero, sopleteando ligeramente, con ayuda de una aspiradora y de una brocha.	Observar si existe descoloración de los dispositivos, ya que es signo de recalentamiento.
	Realizar mediciones mediante el multímetro en las acometidas eléctricas de la fábrica.	Mantener un registro del voltaje de las acometidas eléctricas que alimentan al gabinete principal, y este a su vez a los diferentes sistemas que conforman la modernización.	
	Lubricación del sistema de transmisión de movimiento	Una vez retirado el polvo por completo, rociar sobre todo el mecanismo una capa de lubricante sintético, adecuado para lubricar tornillos de potencia.	Movilizar manualmente el mecanismo para que el lubricante se esparza totalmente.
Mensualmente	Pruebas de operación mecánica de interruptores principales y secundarios	Accionar el dispositivo manualmente, comprobando de que el movimiento es el correcto y si funcionan con la facilidad necesaria para ofrecer	

		protección en caso de emergencia.	
	Revisión del sistema de tierras y apriete de conexiones en general	Reapretar todas las terminales, poniendo atención en cada componente que se esté reapretando para detectar si este tiene rastros de calentamiento.	
	Quitar la corrosión de las piezas que conforman el mecanismo de transmisión de movimiento	Limpiar las piezas con disolventes especiales que quiten la corrosión.	El cepillo metálico ayuda a limpiar el óxido.

Fuente: Autor

4.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO MECÁNICO

Al realizar un mantenimiento correctivo mecánico revisar la Tabla 3, para solucionar el problema:

Tabla 3. Mantenimiento correctivo mecánico de la perforadora lineal de ebanistería.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
Sobrecalentamiento del servomotor	El mecanismo de transmisión de movimiento no tiene lubricación, por lo que se crea demasiada fricción.	Limpiar el polvo y otras impurezas que puedan afectar al movimiento del mecanismo.

<p>No hay movimiento de la bancada.</p>	<p>El sistema de transmisión de movimiento debe lubricarse con lubricante sintético, exclusivo para tornillo de potencia, y aplicar el producto una vez limpio el mecanismo. No usar otros lubricantes.</p>	<p>Utilizar disolventes especiales para limpiar las partes afectadas por la creación de grumos, si es necesario utilizar el cepillo metálico.</p>
<p>Falta de presión sobre la madera por parte de la prensa neumática</p>	<p>La presión de aire que ingresa en el sistema neumático puede no ser la correcta.</p> <p>Las mangueras que conducen el aire pueden tener una fuga.</p>	<p>Revisar si el manómetro en el gabinete neumático señala lo indicado por este manual, caso contrario ajustar a 5 [bar].</p> <p>Escuchar si las mangueras emiten un sonido; o aplicar agua con jabón sobre las mangueras y observar si se crean burbujas.</p>

Fuente: Autor.

4.3. MANTENIMIENTO CORRECTIVO ELÉCTRICO

Para realizar un mantenimiento correctivo eléctrico revisar la Tabla 4, para solucionar el problema:

Tabla 4. Mantenimiento correctivo eléctrico de la perforadora lineal de ebanistería.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
El mecanismo de posicionamiento vertical se detuvo espontáneamente.	Se produjo una sobrecarga o una subida de tensión, por lo que las protecciones internas desconectaron el servomotor	Reiniciar la máquina desde el tablero de control, con el switch ON/OFF.
El indicador luminoso no enciende	Foco flojo Foco quemado	Ajuste el foco Cambie el foco asegurándose que el nuevo tenga el mismo vatiaje y voltaje.
El tablero se prende y apaga muy seguido	La acometida eléctrica que alimenta al gabinete principal no se encuentra en buen estado.	Des-energizar el gabinete principal y medir con un multímetro la acometida que alimenta a éste.

Fuente: Autor

Si después de revisar las posibles causas y soluciones, el problema persiste llame al SERVICIO TÉCNICO AUTORIZADO, la información se encuentra al final de este manual.

ADVERTENCIA: Cualquier tipo de mantenimiento que vaya a realizar, el taladro horizontal debe ser desconectado del sistema eléctrico, esto como medida de seguridad y protección.

ANEXO A-9. PLANOS ELÉCTRICOS