

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOMATIZACIÓN DE UN TORNO DE OPERACIÓN MANUAL MEDIANTE UN PLC ALLEN BRADLEY TIPO MICROLOGIC PARA CONVERTIRLO EN UN TORNO DE CONTROL NUMÉRICO

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

PAUL MANUEL RUEDA TORRES
paulmanurt@yahoo.com
JACOBO SEBASTIÁN VÁSQUEZ RODRÍGUEZ
jeico84@yahoo.com

DIRECTOR: ING. ÁLVARO AGUINAGA Ph.D. M.Sc.
subdecano.mecanica@epn.edu.ec

Quito, Febrero 2010

DECLARACIÓN

Nosotros, Paul Manuel Rueda Torres y Jacobo Sebastián Vásquez Rodríguez, 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 bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Paul Manuel Rueda Torres

Jacobo Sebastián Vásquez Rodríguez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paul Manuel Rueda Torres y Jacobo Sebastián Vásquez Rodríguez bajo mi supervisión.

ING. Álvaro Aguinaga Ph.D M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Gracias Padre mío porque para Tí todo es posible y lo hiciste posible para mí. Agradezco a mi familia por ser mi apoyo no solo económico sino también espiritual durante mi formación profesional en especial en los momentos de dificultad.

También agradezco a todos los ingenieros que ayudaron a la culminación de este proyecto, en especial a nuestro Director de tesis por su confianza y al Ing. Carlos Lucio Napoleón Valladares por su gran colaboración.

A mi compañero de tesis por ser una persona que no se doblega ante las dificultades y es firme en sus decisiones.

Paul

A Dios por darme la capacidad de conseguir mis objetivos y a mi madre por estar siempre conmigo en la obtención de los mismos.

Agradezco también al Ing. Tito Velasteguí y a los trabajadores del Laboratorio de Máquinas Herramientas, Sr. Luis Escobar, Sr. Carlos Arellano, Sr. Miguel Sarmiento, Sr. Vicente Carvajal (†), por la ayuda oportuna ofrecida durante la realización de este proyecto.

A mi director de tesis por la oportunidad brindada y al Ing. Carlos Valladares por su apoyo y colaboración.

Jacobo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios porque con su gracia y amor he podido culminar este proyecto, a mis padres y hermanas, porque siempre esperaron mucho de mí y siempre han sido un motivo para seguir adelante y ser mejor. A mi enamorada y amigos porque con su ayuda silenciosa siempre estuvieron allí para apoyarme.

Paul

A mi madre, luchadora incansable que incentivó con su ejemplo mis ganas de superarme, a mi papá y hermano quienes apoyaron y confiaron en mis capacidades. A mis amigos de la Facultad que me apoyaron con su valioso compañerismo y reconfortante amistad.

Jacobo

CONTENIDO

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. CONFORMADO DE PIEZAS	1
1.2.1. <i>FUNDAMENTOS DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS.....</i>	<i>1</i>
1.2.2. <i>EL TORNO PARALELO</i>	<i>2</i>
1.2.2.1. Partes principales del torno	3
1.2.2.1.1. Bancada.....	3
1.2.2.1.2. Cabezal fijo.	3
1.2.2.1.3. Carro principal	4
1.2.2.1.4. Carro transversal	5
1.2.2.1.5. Carro superior.....	5
1.2.2.1.6. La caja de cambios.....	6
1.2.2.1.7. El contrapunto.....	6
1.2.2.2. Otros tipos de tornos.....	7
1.2.2.2.1. El torno con copiador.....	8
1.2.2.2.2. Tornos revólver.....	9
1.2.2.2.3. Tornos automáticos	10
1.2.3. <i>FUNDAMENTOS DEL VIRUTAJE.....</i>	<i>11</i>
1.2.3.1. Principio básico del virutaje	12
1.2.3.2. Geometría básica de las herramientas	13
1.2.3.3. Movimientos.....	18
1.2.3.3.1. Movimientos Principales	19
1.2.3.3.2. Movimientos Secundarios.....	19
1.2.4. <i>PARÁMETROS DE TRABAJO.....</i>	<i>20</i>
1.2.4.1. Velocidad de corte	20
1.2.4.2. Velocidad de avance.....	20
1.2.4.3. Tiempo de virutaje	21
1.2.4.4. Cuchillas para torneado	21
1.2.4.4.1. Fuerzas sobre la cuchilla del torno.	22
1.2.4.5. Operaciones básicas de torneado	23
1.2.4.5.1. Cilindrado.....	23

1.2.4.5.2. Refrentado	23
1.3. AUTOMATIZACIÓN	24
1.3.1. FORMA O ESTRUCTURA DEL CONTROL EN UN PROCESO AUTOMATIZADO.....	25
1.3.1.1. Control de lazo abierto.....	25
1.3.1.2. Control de lazo cerrado.....	26
1.3.2. TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN.....	26
1.3.3. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	27
1.4. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO.....	28
1.4.1. ORIGEN DEL CONTROL NUMÉRICO	28
1.4.2. CONTROL NUMÉRICO (CN).....	30
1.4.2.1. Sistemas de coordenadas	31
1.4.2.1.1. Punto a punto	31
1.4.2.1.2. Sistemas continuos.....	31
1.4.2.2. Métodos de interpolación	32
1.4.2.2.1. Localización absoluta e incremental:	32
1.4.2.3. Principales características del CN	32
1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	33
1.5.1. INTRODUCCIÓN.....	33
1.5.2. FUNCIONES BÁSICAS DE UN PLC.....	34
1.5.2.1. Nuevas funciones	34
1.5.3. HISTORIA	35
1.5.4. PARTES DEL PLC	36
1.5.4.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	37
1.5.4.2. UNIDAD DE PROCESAMIENTOS CENTRAL (C.P.U.).....	37
1.5.4.3. MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS.....	38
1.5.4.4. MÓDULOS DE MEMORIAS	38
1.5.4.5. UNIDAD DE PROGRAMACIÓN	39
1.5.5. FUNCIONAMIENTO.....	39
1.5.5.1. Primera etapa: revisar el status de las entradas.....	39
1.5.5.2. Segunda etapa: ejecución del programa	40
1.5.5.3. Tercera etapa: diagnostico y comunicaciones	40
1.5.5.4. Cuarta etapa: actualización de salidas	40

1.5.6. PROGRAMACIÓN.....	41
1.5.7. CLASIFICACIÓN DE PLC.....	44
1.5.7.1. De acuerdo a su estructura externa.....	44
1.5.7.2. De acuerdo a su número de entradas y salidas.....	44
1.5.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	45
1.5.8.1. Ventajas.....	45
1.5.8.2. Desventajas.....	46
1.5.9. CAMPOS DE APLICACIÓN.....	46
CAPÍTULO II: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO	48
2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TORNO A SER AUTOMATIZADO	48
2.1.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	49
2.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	50
2.2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	50
2.2.2. LIMITACIONES.....	50
2.2.3. ALTERNATIVAS DEL PROTOTIPO.....	50
2.2.3.1. Solución A: Automatización mediante el uso de motores paso a paso para mover los carros.....	51
2.2.3.1.1. Características de los motores paso a paso:.....	51
2.2.3.1.2. Ventajas.....	51
2.2.3.1.3. Desventajas.....	52
2.2.3.2. Solución B: Automatización mediante el uso de un motor reductor y un motor paso a paso para mover los carros longitudinal y transversal respectivamente.	52
2.2.3.2.1. Características del motor paso a paso:	53
2.2.3.2.2. Características del motor reductor:.....	53
2.2.3.2.3. Ventajas.....	53
2.2.3.2.4. Desventajas.....	54
2.2.3.3. Solución C: Automatización mediante el uso de la caja Norton propia del torno para mover el carro longitudinal y adaptación de un motor paso a paso para el carro transversal.	54
2.2.3.3.1. Características del motor paso a paso:	54
2.2.3.3.2. Ventajas.....	55

2.2.3.3.3. Desventajas	55
2.3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	56
2.3.1. CRITERIOS DE VALORACIÓN:.....	56
2.3.2. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO	57
2.3.2.1. Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:	57
2.3.2.1.1. Evaluación del peso específico del criterio viabilidad	57
2.3.2.1.2. Evaluación del peso específico del criterio pedagogía	58
2.3.2.1.3. Evaluación del peso específico del criterio costo.....	58
2.3.2.1.4. Evaluación del peso específico del criterio ergonomía	59
2.3.2.1.5. Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento.....	59
2.3.2.1.6. Tabla de conclusiones	60
2.4. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	61
2.4.1. ADAPTACIÓN DE UN MOTOR REDUCTOR Y UN MOTOR PASO A PASO PARA MOVER LOS CARROS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL RESPECTIVAMENTE.....	61
2.4.1.1. Diseño del sistema para acoplar el motor paso a paso al husillo transversal	61
2.4.1.1.1. Determinación de las dimensiones del soporte del motor paso a paso 62	
2.4.1.1.2. Determinación de las dimensiones del acople con rosca	65
2.4.1.2. Diseño del sistema para acoplar el motor reductor al husillo longitudinal	72
2.4.1.2.1. Determinación de las dimensiones del acople para el piñón ...	73
2.4.1.3. Determinación de las dimensiones de la estructura que sostendrá el motorreductor	79
2.5. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE CONTROL	82
2.5.1. INSTALACIÓN DEL PLC Y DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL.....	83
2.5.2. DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y UBICACIÓN DEL MISMO EN EL TORNO.....	85
2.5.3. SELECCIÓN DE LOS FINES DE CARRERA.....	88
2.5.3.1. Posición de los sensores fines de carrera en el torno.....	89

2.5.4. DISEÑO DEL ENCODER PARA CONTROLAR LA POSICIÓN DEL CARRO LONGITUDINAL.....	92
CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE	94
3.1. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS	94
3.1.1. MONTAJE MOTORREDUCTOR.....	95
3.1.2. MONTAJE MOTOR PASO A PASO.....	98
3.2. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	102
3.2.1. Montaje de los sensores de posición.....	103
3.2.1.1. Descripción y montaje del sensor inductivo	103
3.2.1.2. Descripción y montaje de los fines de carrera	107
3.2.2. Montaje de los elementos de maniobra.....	109
3.2.2.1. Descripción y montaje del encendido general	110
3.2.2.2. Descripción y montaje del tablero de control	111
3.2.3. Montaje del Plc y elementos de control.....	114
3.2.3.1. Conexionado de los elementos de control	115
3.2.4. Descripción del conexionado del motorreductor.....	117
3.2.5. Descripción del conexionado del motor paso a paso	119
3.2.5.1. Principio de funcionamiento del motor paso a paso.....	120
3.2.5.2. Secuencia de encendido de las bobinas motor paso a paso	121
3.2.5.3. Justificación del uso de transistores en la tarjeta del motor paso a paso	123
3.2.6. Descripción del conexionado del motor principal	124
3.2.7. circuito de control	125
3.2.8. Descripción de la función del Microcontrolador	128
3.3. DETALLE DE COSTOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	129
CAPÍTULO IV: PROGRAMACIÓN DEL PLC	131
4.1. OPERACIONES QUE REALIZA EL PLC.....	131
4.2. PROGRAMA DEL PLC Y MICROCONTROLADOR	132
CAPÍTULO V: RESULTADOS EXPERIMENTALES	135
5.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS	135
5.1.1. Sistema eléctrico	135

5.1.1.1. Encendido principal de la máquina	135
5.1.1.2. Funcionamiento del tablero de control	135
5.1.1.3. Funcionamiento de los fines de carrera	136
5.1.1.4. Funcionamiento del encoder.....	136
5.1.1.5. Funcionamiento del pulsador para apagado de emergencia	136
5.1.2. Sistema mecánico	136
5.1.2.1. Operación de refrentado	136
5.1.2.2. Operación de cilindrado	137
5.1.2.3. Ejecución de un contorno curvo o inclinado.....	137
5.2. REALIZACIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS	137
5.3. RESULTADOS.....	141
5.3.1. Espesores de desbaste	141
5.3.2. Errores detectados	142
5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	142
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
6.1. CONCLUSIONES	146
6.2. RECOMENDACIONES	148
BIBLIOGRAFÍA	150
ANEXOS	151
ANEXO A-1. VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA EN EL TORNEADO	152
ANEXO A-2. INTERRUPTORES DE POSICIÓN	153
ANEXOS A-3. PROGRAMACIÓN DEL PLC EN EL SOFTWARE RS LOGIX.....	154
ANEXOS A-4. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR EN BASIC .	155
ANEXOS A-5. DETALLE DE FACTURAS DE LA MATERIA PRIMA	156
ANEXOS A-6. MANUAL DE OPERACIÓN DEL TORNO	157
ANEXOS A-7. PLANOS DE MONTAJE.....	158

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1-1. Esquema del Torno paralelo	2
Figura 1-2. Bancada del torno	3
Figura 1-3. Cabezal fijo	4
Figura 1-4. Carro principal.....	5
Figura 1-5. Carro transversal y carro superior.....	6
Figura 1-6. Contrapunto	7
Figura 1-7. Esquema de funcionamiento de un torno copiador.....	9
Figura 1-8. Contrapunto	10
Figura 1-9. Posiciones de la herramientas y direcciones de la fuerza.....	13
Figura 1-10. Ángulos básicos de las herramientas.....	14
Figura 1-11. Ángulos básicos de las herramientas de torneear.....	15
Figura 1-12. Elementos de la cuchilla de la herramienta de torneear.....	16
Figura 1-13. Planos pertenecientes a la cuchilla de la herramienta de torneear ...	17
Figura 1-14. Avance adecuado que debería tener la herramienta según la ubicación de su filo.....	18
Figura 1-15. Variedad de cuchillas para torneado	22
Figura 1-16. Fuerzas sobre la cuchilla.....	22
Figura 1-17. Sistema de lazo abierto.....	25
Figura 1-18. Sistema de lazo cerrado.....	26
Figura 1-19. Esquema de utilización de un PLC.....	33
Figura 1-20. Partes del PLC	36
Figura 1-21. Ciclo de operación del PLC.....	41
Figura 1-22. Esquema de programación para encender una bobina.....	43
Figura 1-23. Esquema de programación para encender una bobina.....	43
Figura 2-1. Vista General del torno.....	48
Figura 2-2. Caja Norton de avances	49
Figura 2-3. Esquema de la alternativa A	51
Figura 2-4. Esquema de la alternativa B	52
Figura 2-5. Esquema de la alternativa C	54
Figura 2-6. Esquema del sistema de transmisión de movimiento del motor paso a paso al husillo transversal	62

Figura 2-7. Dimensiones de la placa soporte para el motor a pasos.....	63
Figura 2-8. Diagrama de cuerpo libre del soporte	63
Figura 2-9. Dimensiones del acople	66
Figura 2-10. Diagrama de cuerpo libre del acople.....	66
Figura 2-11. Diagrama de fatiga para el acople con rosca	71
Figura 2-12. Esquema del sistema de transmisión de movimiento del motor reductor al husillo longitudinal	73
Figura 2-13. Dimensiones del acople para el piñón.....	74
Figura 2-14. Diagrama de cuerpo libre del acople para el piñón	74
Figura 2-15. Diagrama de fatiga del acople para el piñón	79
Figura 2-16. Dimensiones del soporte que sujetará al motorreductor	80
Figura 2-17. Diagrama de cuerpo libre del perfil en L.....	81
Figura 2-18. Interruptor para encendido del motor del torno	83
Figura 2-19. Soporte del PLC y de los elementos eléctricos	84
Figura 2-20. Pulsadores eléctricos para el tablero de control.....	85
Figura 2-21. Distribución de los pulsadores en el tablero de control	87
Figura 2-22. Ubicación del tablero de control en el torno	88
Figura 2-23. Posición de los fines de carrera para el movimiento transversal.....	90
Figura 2-24. Posición de los fines de carrera detrás de la bancada para evitar el choque del carro principal con el mandril.....	91
Figura 2-25. Posición de los fines de carrera detrás de la bancada y en el contrapunto	92
Figura 2-26. Elementos del encoder.....	93
Figura 3-1. Ubicación del motorreductor.	95
Figura 3-2. Soporte motorreductor.	96
Figura 3-3. Montaje de los elementos que acoplan el motorreductor con el husillo longitudinal.	97
Figura 3-4. Ensamble de todos los elementos utilizados para transmitir el movimiento del eje del motorreductor.	98
Figura 3-5. Ubicación motor paso a paso	99
Figura 3-6. Despiece de los elementos utilizados para acoplar el motor paso a paso con el husillo transversal	100

Figura 3-7. Montaje de las piezas utilizados para acoplar el motor paso a paso con el husillo transversal.....	101
Figura 3-8. Lógica utilizada para la automatización de los movimientos de los carros.....	103
Figura 3-9. Ubicación del sensor inductivo.....	104
Figura 3-10. a) Efecto del transformador en el sensor inductivo b) Partes del sensor inductivo.....	105
Figura 3-11. Despiece del sensor que controla el desplazamiento del carro longitudinal.....	106
Figura 3-12. Ubicación de los sensores magnéticos para el carro longitudinal .	108
Figura 3-13. Ubicación de los sensores magnéticos utilizados como fines de carrera para el carro transversal.....	108
Figura 3-14. Paro de emergencia.....	109
Figura 3-15. Encendido general y tablero de control.....	110
Figura 3-16. Esquema de un selector con similares características al que se usa en el torno.....	111
Figura 3-17. Estructura de soporte del tablero de control.....	112
Figura 3-18. Pulsadores utilizados en el tablero de control.....	113
Figura 3-19. Tarjeta electrónica utilizada para el microcontrolador.....	114
Figura 3-20. Gabinete utilizado para ubicar y proteger al PLC.....	115
Figura 3-21. Canaletas utilizadas para proteger el cableado de los sensores...	116
Figura 3-22. Fuentes de poder.....	116
Figura 3-23. Circuito de control y de potencia del motorreductor.....	117
Figura 3-24. Giro horario del motorreductor.....	118
Figura 3-25. Giro antihorario del motorreductor.....	118
Figura 3-26. Relé auxiliar.....	119
Figura 3-27. Circuito de control y de potencia del motor paso a paso.....	120
Figura 3-28. Tarjeta utilizada para el control del motor paso a paso.....	121
Figura 3-29. Transistores bipolares.....	123
Figura 3-30. Circuito de control y de potencia del motor principal del torno.....	125
Figura 3-31. Forma de conexión del sensor inductivo.....	126
Figura 3-32. Conexión del sensor inductivo al PLC.....	126
Figura 3-33. Circuito de control completo del Torno.....	127

Figura 3-34. Simulación del microcontrolador	128
Figura 4-1. Conexión de las salidas del PLC para el display	134
Figura 5-1. Pieza a obtener con el protocolo de pruebas	140
Figura 5-2. Método para la obtención de puntos de la semiesfera	141
Figura 5-5. Parte del programa del PLC donde se indica el factor de multiplicación	144

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1-1. Tipos de automatización	27
Tabla 1-2. Evolución y tendencia del control numérico	29
Tabla 3-1. Secuencia Normal de encendido de las bobinas del motor paso a paso	121
Tabla 3-2. Secuencia del tipo wave drive de encendido de las bobinas del motor paso a paso.....	122
Tabla 3-3. Secuencia del tipo medio paso de encendido de las bobinas del motor paso a paso.....	122
Tabla 3-4. Especificaciones contactor.	124
Tabla 4-1. Mensajes que se muestran en el display	134
Tabla 5-1. Cuadro de ejecución del protocolo de pruebas.....	137
Tabla 5-2 Resultados de las pruebas realizadas al torno de control numérico..	141
Tabla 5-3. Desplazamientos en el eje Z.....	142
Tabla 5-4. Desplazamientos en el eje X	142
Tabla 5-5. Error producido en el eje Z	143
Tabla 5-6. Error producido en el eje X	143
Tabla 5-7. Puntos de trayectoria del contorno de la Figura 5-1	145

RESUMEN

En el presente proyecto se explica el diseño y desarrollo de un prototipo de torno de control numérico, partiendo de un torno de operación manual. Para conseguir este propósito se utiliza como elemento fundamental un PLC Allen Bradley.

En el capítulo I se recopila la información acerca del torno como máquina herramienta y los fundamentos del virutaje. Además se describe lo referente a la automatización de procesos y los fundamentos de máquinas de control numérico así como su evolución. Al final del capítulo se encuentra la teoría de PLC's, sus componentes principales, principios de funcionamiento, programación y aplicaciones de estos autómatas.

El capítulo II consta del diseño del sistema automatizado vinculando la parte mecánica (el torno) con la parte eléctrica y electrónica (PLC y conexionado). Como introducción se presenta al torno y sus características técnicas, posteriormente se plantean alternativas de solución, finalizando con el diseño de la alternativa seleccionada.

Para el capítulo III el tema a tratar es el montaje de todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos ya diseñados en el capítulo II. En este capítulo se usan primordialmente ilustraciones y fotos reales que ayudan a comprender fácilmente la forma del montaje del equipo.

El capítulo IV describe básicamente a donde está enfocada la programación del PLC y del microcontrolador. También se expone de forma sencilla como están vinculados el micro y el PLC.

El capítulo V está destinado a los resultados experimentales, es decir a los datos recopilados durante el funcionamiento del prototipo, mediante un protocolo de pruebas diseñado para este fin.

Finalmente en el capítulo VI se enlistan las diferentes conclusiones obtenidas con el presente proyecto, así como también las recomendaciones oportunas que buscan dar continuidad al prototipo construido.

PRESENTACIÓN

El proyecto planteado nace de la necesidad de tener en la facultad un prototipo de máquina de control numérico que sirva como módulo didáctico indispensable para el Laboratorio de Automatización de Procesos Mecánicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Dispositivos de este tipo se hacen necesarios en la preparación actual de Ingenieros Mecánicos, específicamente en el área del control automático y la automatización.

La máquina desarrollada en este tema de tesis es el eslabón que permite entender la evolución de las máquinas herramientas comunes ya conocidas, hasta llegar a las máquinas de control numérico por computadora (CNC). La importancia de conocer este campo de la automatización, dirigido a la industria del virutaje, justifica en gran medida la realización de este proyecto.

Conseguir la construcción de este prototipo, planteó diferentes soluciones que se encuentran detalladas en este texto, pero la solución escogida obedece en gran parte al aspecto económico, entendiéndose que la automatización trae consigo altos costos en la obtención de resultados eficientes. Sin embargo este proyecto se consiguió invirtiendo solamente lo necesario e incluso con materiales reciclados logrando cumplir satisfactoriamente el objetivo principal de esta tesis.

Es importante resaltar que la automatización del prototipo se consiguió primordialmente gracias al uso de PLC, cedido por el Laboratorio de la Facultad. La instalación, conexión y programación de este autómeta programable también se encuentra explicado en el presente texto.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se desarrolla la teoría básica del virutaje ya que el primer paso para automatizar cualquier máquina es, primero conocer el proceso que realiza la misma, en segundo lugar, las partes que tiene la máquina y como trabajan éstas tanto individual como conjugadas. Se desarrollará la teoría referente a máquinas CN y al control numérico. Y finalmente se debe conocer qué tipo de control se va a utilizar; como el torno va a ser controlado por un PLC se presentará la teoría básica de éstos tanto es su parte física como en su lógica de programación.

1.2. CONFORMADO DE PIEZAS

1.2.1. FUNDAMENTOS DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS

Entre la enorme gama de máquinas de las que se sirve el hombre para facilitar y hacer más cómodo su trabajo, hay unas cuantas a las que se les puede considerar como las madres de todas las demás: son las llamadas máquinas-herramientas, todas ellas tienen en común la utilización de una herramienta de corte específica.

Su trabajo consiste en dar forma a cualquier pieza o componente de máquina basándose en la técnica de arranque de viruta, troquelado u otros procedimientos especiales como son los electroerosión, láser, etc. A este grupo de máquinas pertenecen los tornos, fresadoras, limadoras, taladradoras, mandrinadoras, prensas, etc., todas ellas imprescindibles para la fabricación de otras máquinas.

En el presente capítulo se hablará del torno solamente, debido a que el tema de máquinas herramientas es de gran extensión, y lo que se pretende es a dar a conocer las características y funciones más relevantes de la máquina a la cual se dedica este proyecto de tesis.

1.2.2. EL TORNO PARALELO

Se denomina torno a la máquina-herramienta en la cual la pieza de trabajo gira alrededor de un eje horizontal o vertical, en tanto que la herramienta de corte avanza y se desvía a voluntad del operario que conduce la máquina, obteniendo sobre aquella todas las superficies de revolución (cilindros, conos, etc.), variando las desviaciones relativas de la pieza, de la herramienta de trabajo o de ambas a la vez. La industria metalúrgica tiene tornos con particularidades específicas para el maquinado de piezas metálicas, pero es muy frecuente encontrar en la industria maderera tornos que permitan la obtención de superficies de revolución en piezas de madera.



Figura 1-1. Esquema del Torno paralelo¹

¹ foros.emagister.com/imagenes_foros/1/3/8/1/3/160842torno%20paralelo%20regular.jpg

1.2.2.1. Partes principales del torno

1.2.2.1.1. Bancada

Es una pieza robusta y rígida que sirve como soporte para todos los demás componentes del torno. Se fabrica mediante fundición de modo que las vibraciones se atenúen; está fundida en una sola pieza y está provista de robustos largueros y nervaduras de refuerzo para impedir deformaciones de las guías. En su parte superior están maquinadas las guías del carro porta herramienta y del cabezal móvil o contrapunto. Las bancadas del torno sirven para soportar el cabezal fijo. (Fig. 1-2)

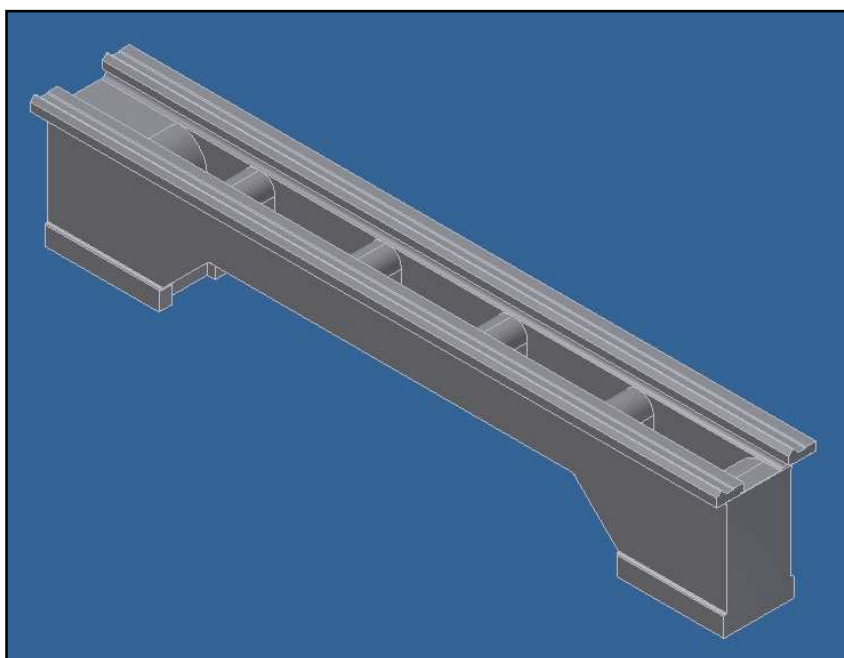


Figura 1-2. Bancada del torno²

1.2.2.1.2. Cabezal fijo.

Este contiene el eje principal de trabajo en robustos cojinetes usualmente de bronce; en éste eje van montados los engranajes de reducción y en los extremos van montados los órganos de sujeción de la pieza a ser maquinada (Figura 1-3). El eje tiene su extremo de trabajo que sobresale del cabezal y se denomina husillo, roscado exteriormente para acoplar los platos de sujeción o de arrastre. El

² PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

interior del husillo es cónico para poder ajustar en él una pieza de acero que acaba en punta y se denomina punto. La fuerza del motor es transmitida mediante poleas al eje principal y aumentando la tensión en la banda de transmisión, (en el caso del torno del presente proyecto) se puede variar las revoluciones del husillo produciéndose así el movimiento de rotación a la pieza.

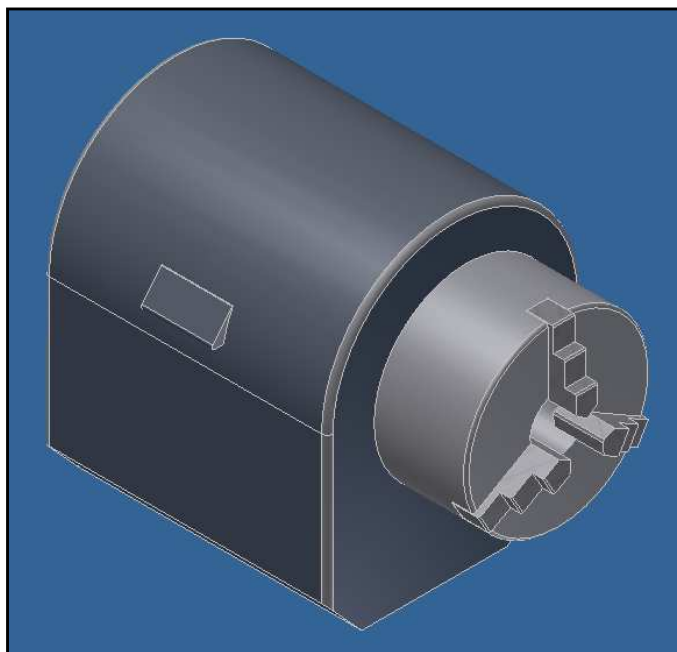


Figura 1-3. Cabezal fijo³

1.2.2.1.3. *Carro principal*

Este carro se desliza sobre las guías de la bancada y proporciona el movimiento de avance. En su parte superior tiene guías donde se desplazan el carro transversal conjuntamente con el carro superior y los dispositivos de sujeción con los útiles de tornear; además lleva los mecanismos para producir los movimientos de avance y de profundidad de pasada. (Figura 1-4)

³ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

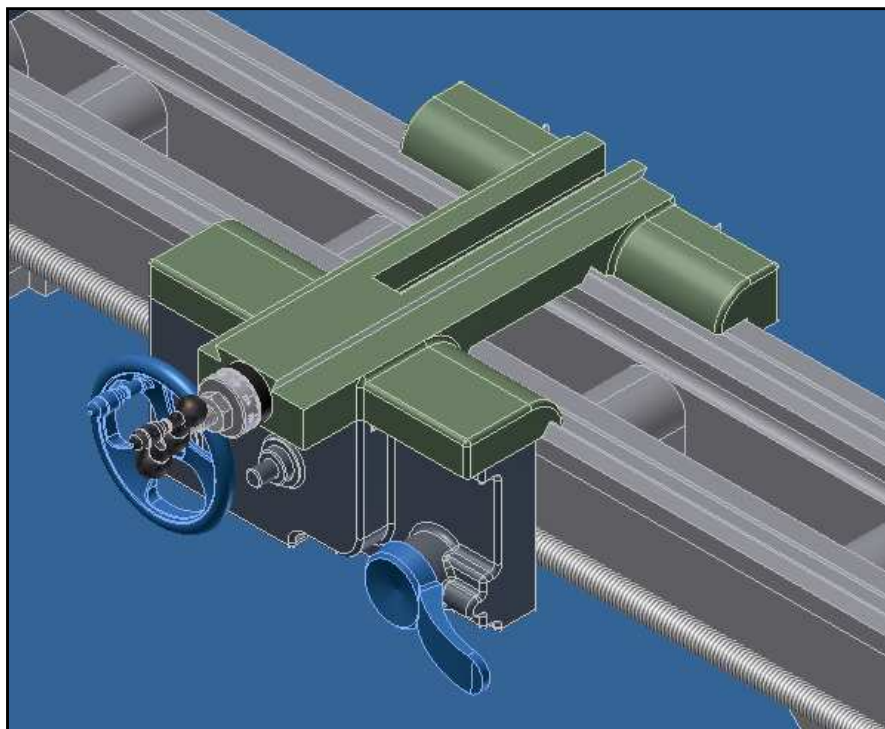


Figura 1-4. Carro principal⁴

1.2.2.1.4. *Carro transversal*

Se desliza sobre las guías del carro principal y es movido bien sea a mano con manivela o mediante el husillo o barra de refrentar. (Figura 1-5)

1.2.2.1.5. *Carro superior*

Está formado por tres partes principales: la base, el charriot y el portaherramientas. La base está ubicada sobre una plataforma giratoria que sirve para poder orientar la herramienta en cualquier posición. Esta base lleva unas guías en forma de cola de milano sobre las que se desliza el charriot en el que va situado el portaherramientas, el mismo que sirve para llevar los útiles de torneado y generalmente puede moverse solamente a mano. (Figura 1-5)

⁴ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

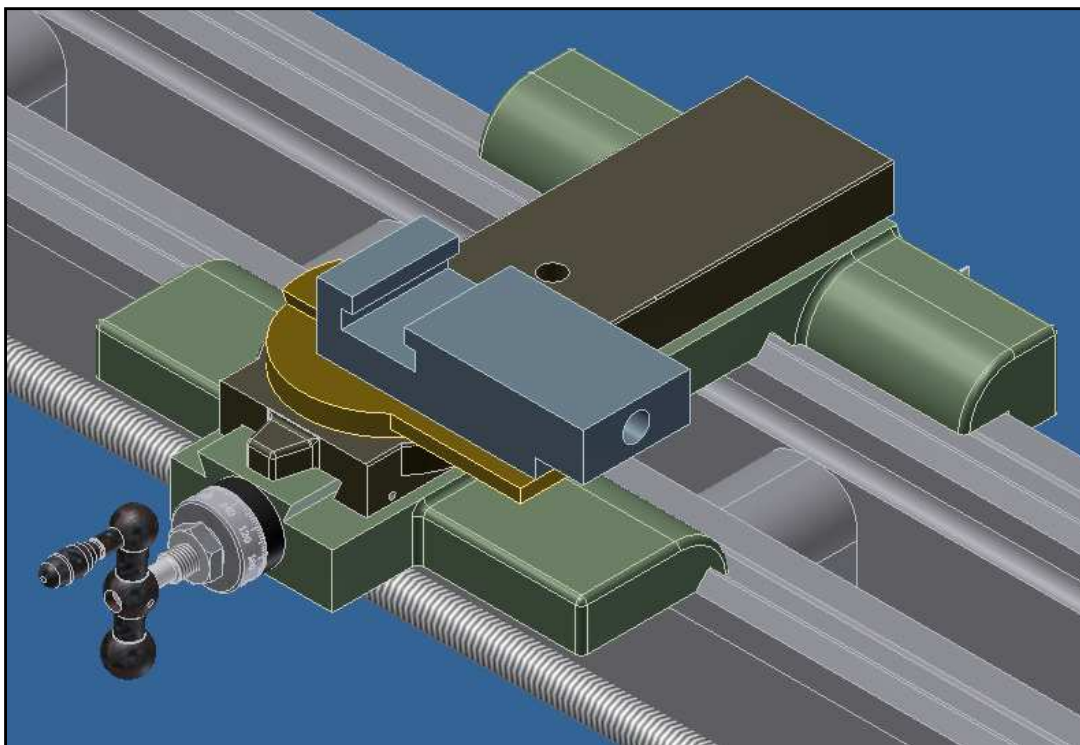


Figura 1-5. Carro transversal y carro superior⁵

1.2.2.1.6. *La caja de cambios*

Contiene engranajes, elementos de conexión y maniobra para las distintas marchas. Esta caja transmite el movimiento del eje del cabezal fijo al husillo de avance y regula el movimiento de avance para cilindrar y roscar.

1.2.2.1.7. *El contrapunto*

Sirve como contra soporte de la pieza a tornearse cuando se tornea entre puntas. Es guiado a lo largo de las bandas del torno y puede fijarse en cualquier posición mediante una palanca de sujeción. Este elemento es importante considerar para la automatización ya que para todas las operaciones que se realizarán en el torno automatizado se utilizará el contrapunto; en el cual se colocará un fin de carrera.

⁵ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

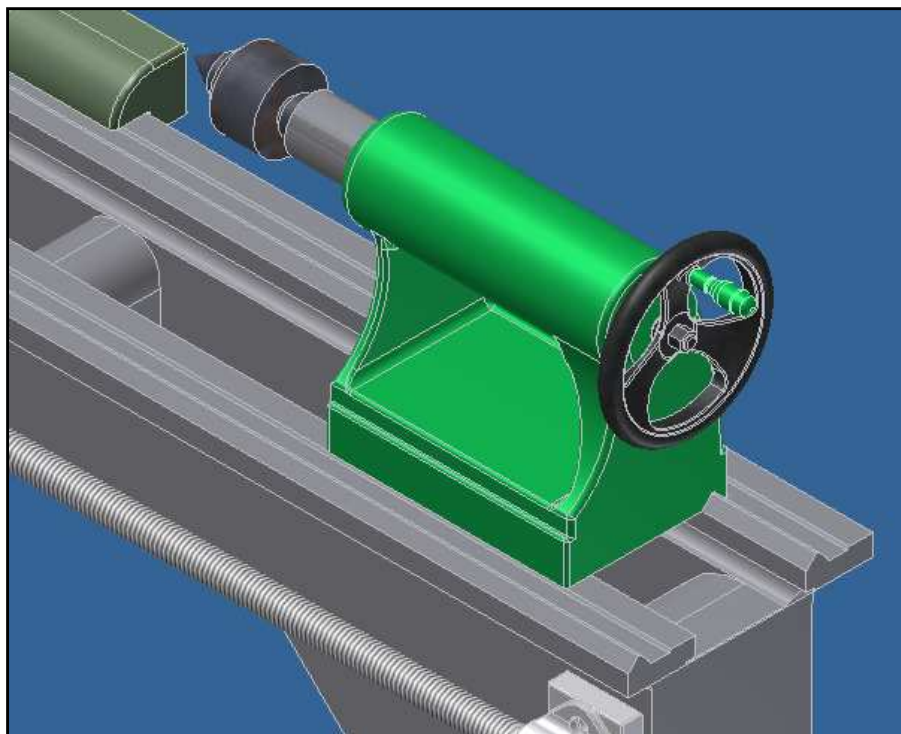


Figura 1-6. Contrapunto⁶

1.2.2.2. Otros tipos de tornos

Los tornos paralelos no son máquinas adecuadas para el trabajo en serie. Para esta clase de trabajos se han diseñado una serie de dispositivos de modo que las operaciones que realiza el torno las haga de una manera automática o semiautomática, una vez ajustado, sin la ayuda del operario o con una intervención muy limitada. Con esto se obtienen tres ventajas:

1. Se aumenta generalmente la velocidad de producción.
2. Se aumenta también la precisión y uniformidad de las piezas.
3. Se obtiene una sensible reducción del precio de coste al disminuir los gastos de producción, ya que se ahorra mano de obra.

Los tornos semiautomáticos y automáticos más generalizados son los siguientes:

- Tornos con copiador.

⁶ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

- Tornos revólver o semiautomáticos.
- Tornos Automáticos.

1.2.2.2.1. El torno con copiador

El torno con copiador puede ser un torno ordinario con dispositivos que dan a la herramienta desplazamientos automáticos, de acuerdo con el perfil de la pieza que se quiere obtener, recorrido por medio de un palpador que manda el accionamiento de la herramienta. Así se obtienen piezas de sección longitudinal igual a la de una plantilla preparada para el efecto.

Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente. También son muy utilizados estos tornos en el trabajo de la madera y del mármol artístico para dar forma a las columnas embellecedoras.

Los tornos copiadores modernos están muy sofisticados ya que permiten variar la velocidad de giro del cabezal así como el avance del carro portaherramientas. Al mismo tiempo algunos copiadores incorporan más de una cuchilla, lo que, al poder dar más de una pasada, les permite realizar las operaciones de desbaste y acabado sin necesidad de sacar la pieza de la máquina.

El principio de funcionamiento es un palpador muy sensible que va siguiendo el contorno de la pieza patrón al avanzar el carro principal y transmite su movimiento por un mecanismo hidráulico o magnético a un carro que lleva un movimiento independiente del husillo transversal. Lo más corriente es que el sistema copiador no esté unido fijamente al torno sino que constituya un aparato aparte que se puede poner o no poner en el torno.

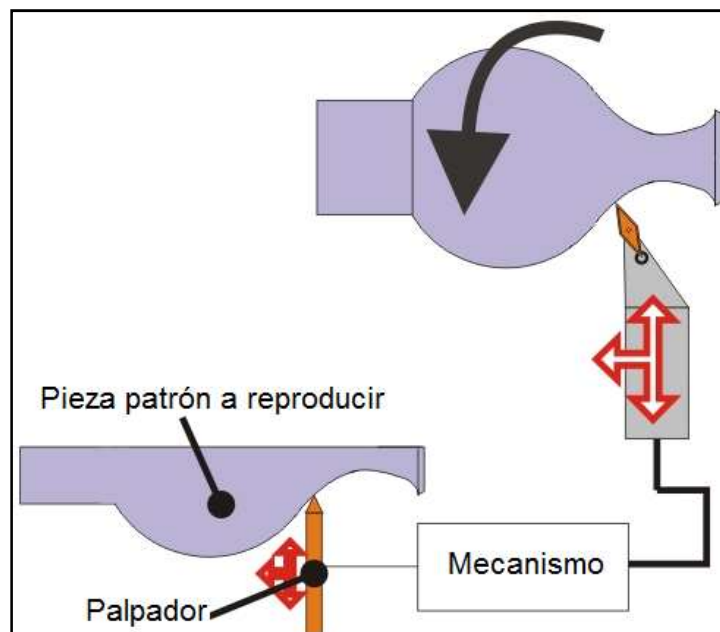


Figura 1-7. Esquema de funcionamiento de un torno copiador⁷

Las condiciones tecnológicas del mecanizado son comunes a las de los demás tornos, solamente hay que prever una herramienta que permita bien la evacuación de la viruta y un sistema de lubricación y refrigeración eficaz del filo de corte de las herramientas mediante abundante aceite de corte o taladrina.

1.2.2.2. Tornos revólver

El torno revólver es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas en las que sea posible trabajar con varias herramientas de forma simultánea con el fin de disminuir el tiempo total de mecanizado. Las piezas que tienen esa condición son aquellas que partiendo de barras, tienen una forma final tubular, que está mecanizada en su interior y exterior y tiene una tolerancia ajustada, donde partiendo de una barra se van taladrando, mandrinando, roscando o escariando la parte interior mecanizada y a la vez se pueden ir cilindrando, refrentando, ranurando, roscando y cortando con herramientas de torneado exterior.

La característica principal del torno revólver, es que lleva un carro con una torreta giratoria de forma hexagonal que ataca frontalmente a la pieza que se quiere

⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nachformdrehen.jpg>

mecanizar, donde se insertan las diferentes herramientas que conforman el mecanizado de la pieza. Cada una de estas herramientas está controlada con un tope de final de carrera. También dispone de un carro transversal, donde se colocan las herramientas de cilindrar, perfilar, ranurar, etc.



Figura 1-8. Contrapunto⁸

1.2.2.3. *Tornos automáticos*

Son tornos que debido a su especial funcionamiento permiten realizar todo el ciclo de mecanizado, incluso la aportación de nuevo material para la pieza siguiente sin intervención del operario. Esta automaticidad se obtiene por medio de levas de diversos tipos que van en el órgano fundamental del torno automático, que es el árbol porta levas. Este árbol tiene un movimiento lento y, en general, de una revolución por cada pieza que se ejecuta. Los tornos automáticos son máquinas destinadas a trabajos en grandes series, y tienen por fin reducir, no solo el tiempo sino también el coste de la mano de obra. Hay diversos tipos de tornos automáticos, con más o menos posibilidades, desde la sencilla máquina de roscar, hasta los que son capaces de complicadísimas mecanizaciones, pero en general hay dos tipos fundamentales:

⁸ http://images01.olx.com.pe/ui/4/01/86/66329586_3-TORNO-REVOLVER-AUTOMATICO-TRAUB-ALEMAN-100-OPERATIVO-Lima.jpg

1. Tornos de cabezal fijo. En ellos las herramientas van situadas sobre un carro, que es el que efectúa el avance.
2. Torno de cabezal deslizante. En estos tornos las herramientas van fijadas a un puente y no tienen avance alguno, sino que este movimiento lo hace el cabezal deslizándose sobre unas guías.

Los tornos del primer tipo suelen tener una torre revólver como los tornos revólver corrientes. Los del segundo tipo suelen tener en cambio contra-cabezal basculante donde van las herramientas de taladrar y roscar.

Entre los tornos automáticos además existe el Torno CNC que es un tipo de torno operado mediante control numérico por computadora. Se caracteriza por ser una máquina herramienta muy eficaz para mecanizar piezas de revolución. Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada a través del ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software que previamente ha confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en tornos. Es una máquina ideal para el trabajo en serie y mecanizado de piezas complejas.

1.2.3. FUNDAMENTOS DEL VIRUTAJE

El virutaje es un proceso tecnológico a través del cual se da formas definidas a cuerpos sólidos que vienen de otros procesos mediante el arranque de viruta; estos procesos pueden ser: fundición, soldadura, conformado mecánico entre otros.

La forma de la materia prima depende del proceso anterior y del material el cual puede ser metálico o no metálico. El proceso de virutaje desempeña un papel importante en la industria manufacturera de piezas ya que presenta las siguientes ventajas:

- Precisión para obtener las tolerancias requeridas en la fabricación de elementos conjugados
- Mejor acabado superficial de las piezas fabricadas
- Mayor productividad
- Transforman y aumentan las fuerzas del hombre y permiten realizar trabajos más pesados.

En el virutaje siempre se tendrá al final del proceso la pieza terminada y un desperdicio de material que son las virutas. De este modo se debe reducir al máximo este desperdicio tratando en lo posible que las dimensiones con la que viene la materia prima sean lo más aproximadas a las dimensiones de la pieza terminada. Con esto se reducen los tiempos de maquinado y por ende el costo de fabricación.

1.2.3.1. Principio básico del virutaje

Para que la herramienta de corte pueda arrancar viruta se le debe aplicar una fuerza por medio de la cual la herramienta penetra en la pieza en bruto y arranca material. Es importante que el material con el que está constituida la herramienta de corte tenga mayor dureza que el material de la pieza y que tenga una forma determinada; es decir, la herramienta de corte tiene que tener una punta o cuchilla de penetración con una geometría adecuada para que se pueda penetrar material fácilmente y no se rompa la punta fácilmente sino después de muchas penetraciones.

El proceso de virutaje puede ser manual o mecánico, dependiendo de quien realiza la fuerza sobre la herramienta. En el virutaje manual o ajustaje la fuerza es realizada por el hombre. En el virutaje mecánico o maquinado la fuerza la realiza una máquina.

La cuchilla de penetración entra con mayor o menor facilidad en la materia prima según sea su posición y dirección de la fuerza. No en todas las posiciones se va a producir virutas; tal es el caso cuando la herramienta y la dirección de la fuerza son perpendiculares y sólo se logra separar el material sin producir viruta. En la

Figura 1-9 se puede apreciar diferentes posiciones y direcciones de la fuerza y solo en la posición c se produce viruta ya que cuando la herramienta tiene esa inclinación y la fuerza aplicada sobre la herramienta es horizontal el material removido después de la penetración se ubica sólo en la superficie superior de la cuchilla y aplicando continuamente la fuerza horizontal se produce arranque de material. Este material se curva por efecto de calor y de su pequeño espesor formando lo que se conoce como viruta.

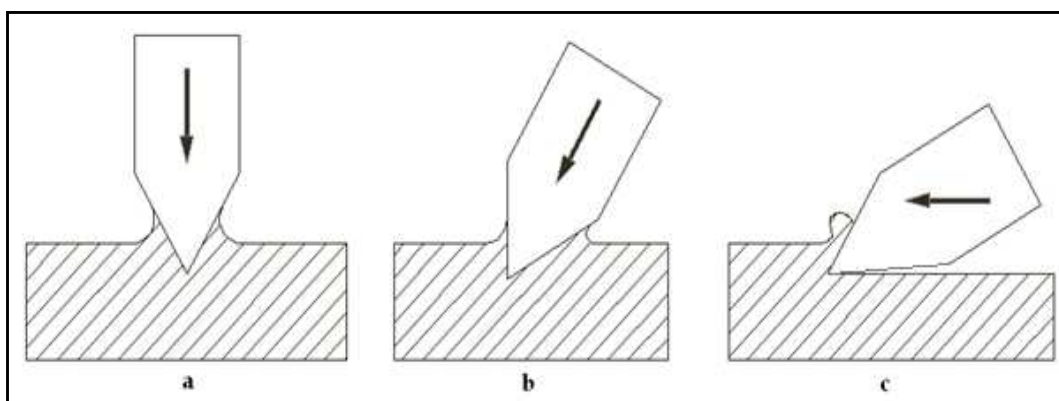


Figura 1-9. Posiciones de la herramientas y direcciones de la fuerza⁹

Cabe destacar que en la Figura 1-9c la superficie inferior de la cuchilla forma un pequeño ángulo con la superficie trabajada con lo cual se facilita el arranque de material.

1.2.3.2. Geometría básica de las herramientas

La geometría de las herramientas de corte forma varios ángulos necesarios para producir viruta sin que la herramienta de corte no deslice con la pieza y que esta viruta se la pueda desalojar con facilidad y así no se impida un corte suave del material a ser mecanizado. Estos ángulos son los siguientes:

- El ángulo de filo β o ángulo de cuchilla que permite la penetración de la herramienta en la pieza que está siendo mecanizada.
- El ángulo de incidencia o de ataque α permite que se reduzca la superficie de contacto de la herramienta con la pieza con lo que se disminuye la posibilidad

⁹ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

de deslizamiento de la herramienta sobre la pieza que está siendo mecanizada y se facilita la penetración del filo.

- El ángulo de salida o de viruta γ facilita la salida de la viruta producida en el corte.

Estos ángulos α , β , y γ constituyen la geometría básica de cualquiera de las herramientas de corte, de este modo tanto una fresa como una broca o una cuchilla de torneado correctamente afilada poseerán estos ángulos. En las Figuras 1-10 y 1-11 se puede apreciar estos ángulos.

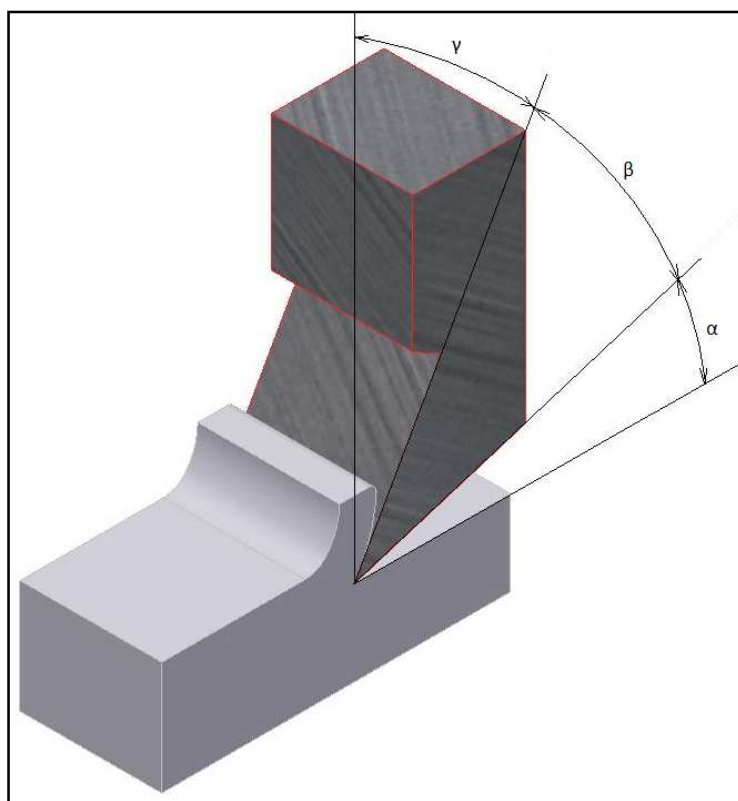


Figura 1-10. Ángulos básicos de las herramientas¹⁰

¹⁰ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

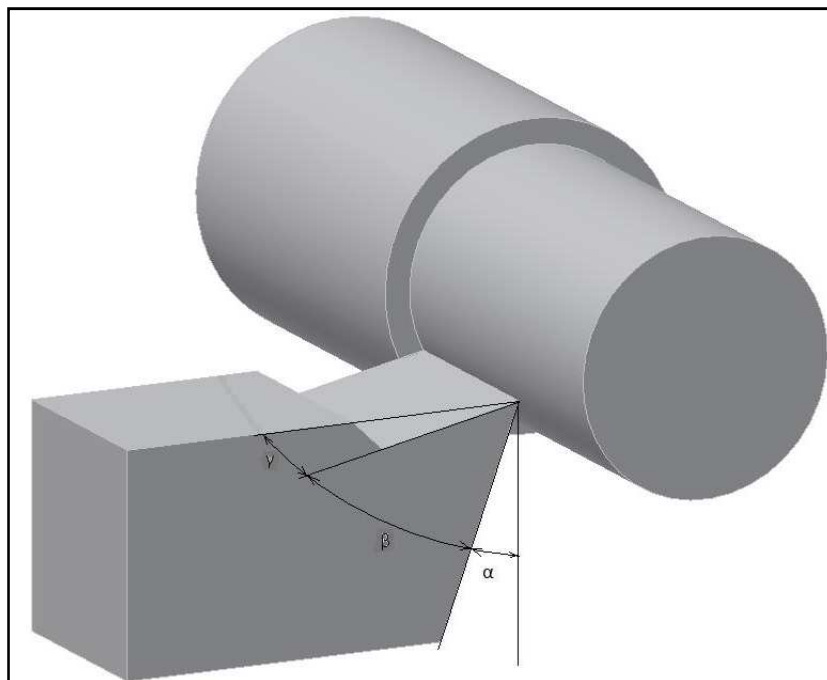


Figura 1-11. Ángulos básicos de las herramientas de torneado¹¹

Las herramientas utilizadas para realizar varias operaciones de torneado tienen otros ángulos además de α , β , γ . Además, estos tres ángulos fundamentales se deben medir en el espacio en planos específicos. Y se definen los siguientes elementos de la cuchilla de la herramienta para poder medir estos ángulos:

- **Filo.** Es la arista que realiza el corte y está formada por las superficies de desprendimiento y la de incidencia primaria.
- **Contrafilo.** Es la arista que realiza el corte de la viruta y está formada por las superficies de desprendimiento y la de incidencia secundaria.
- **Vértice.** Es el formado por la concurrencia del filo y contrafilo.
- **Superficie de desprendimiento o ataque.** Es la cara de la cuchilla sobre la que se desliza el material desprendido.
- **Superficie de incidencia principal.** Es la cara que contiene al contrafilo y queda frente a la superficie trabajada de la pieza.
- **Superficie de incidencia secundaria.** Es la cara que contiene al contrafilo.

Todos estos elementos se pueden ver en la Figura 1-12.

¹¹ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

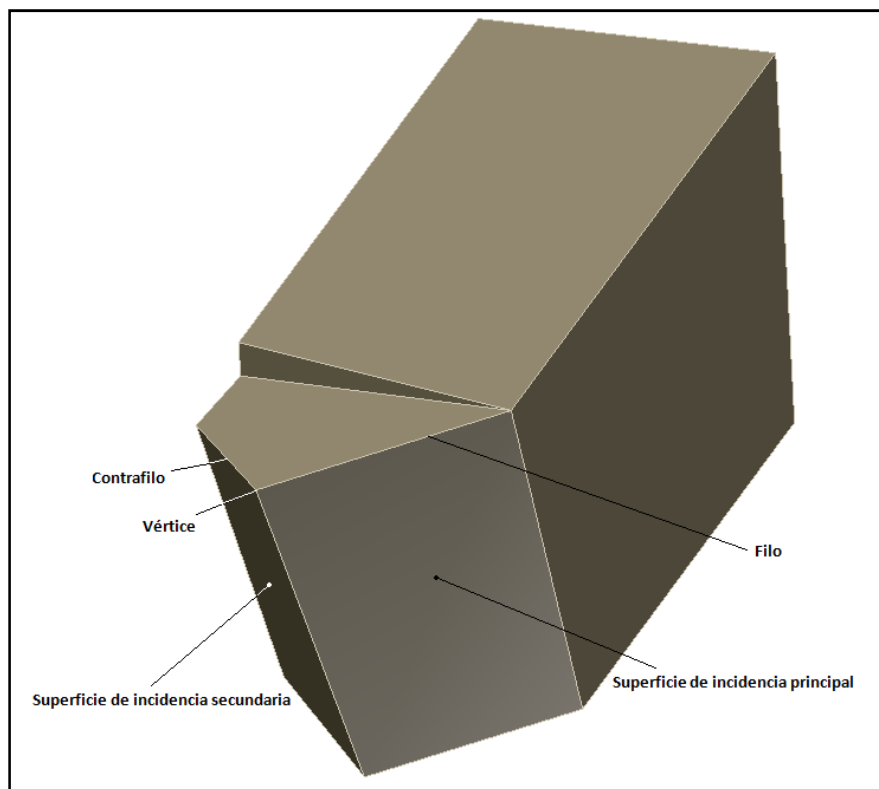


Figura 1-12. Elementos de la cuchilla de la herramienta de tornear¹²

Los ángulos de la herramienta se determinan a partir de los siguientes planos: el plano base, el de corte, el secante principal y el secante auxiliar.

- **Plano base.** Es en el que se apoya la herramienta.
- **Plano de corte.** Es tangente a la superficie de corte y pasa por el filo; es decir lo contiene.
- **Plano secante principal.** Es perpendicular al filo y al plano base.
- **Plano secante secundario.** Es perpendicular al contrafilo y al plano base.

¹² PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

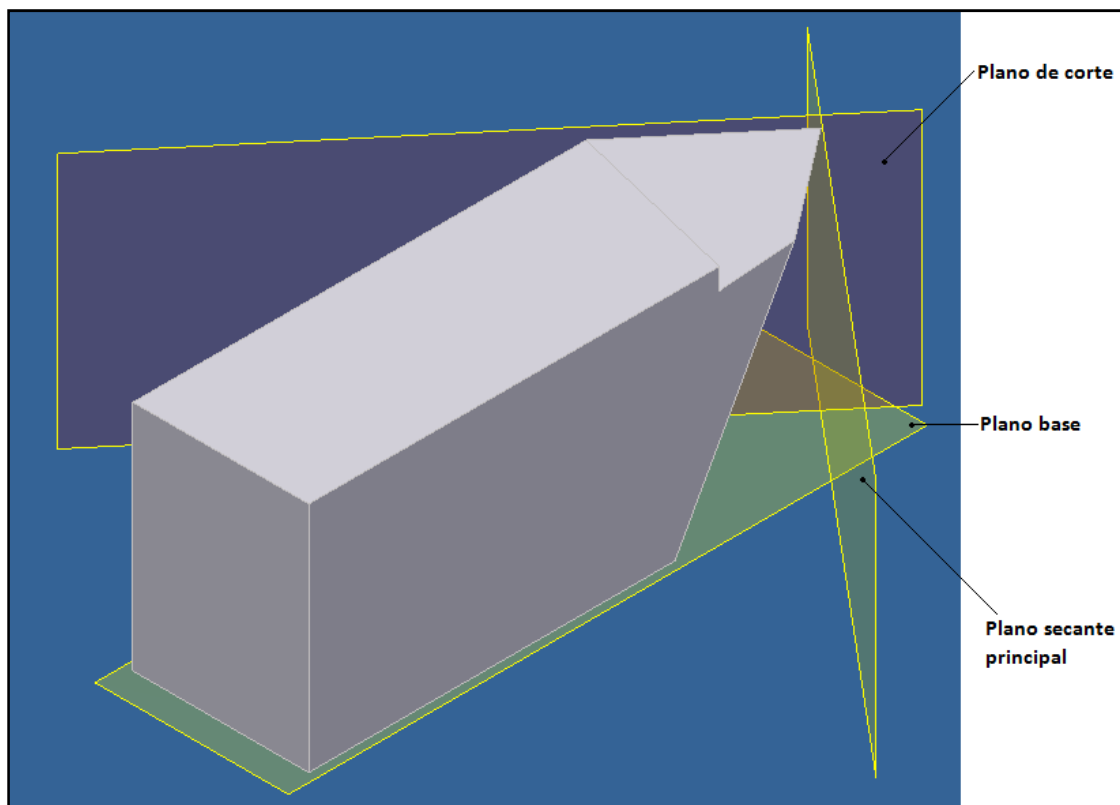


Figura 1-13. Planos pertenecientes a la cuchilla de la herramienta de torneado¹³

Conocidos estos planos ya podemos determinar los ángulos de la herramienta que son:

- **Ángulo de incidencia de filo principal α :** Es un ángulo agudo contenido en el plano secante principal formado por las proyecciones de las líneas que pasan por la superficie de incidencia principal y una perpendicular al plano base.
- **Ángulo de incidencia de contrafilo α' :** Es el ángulo agudo contenido en el plano en el plano secante secundario, formado por las proyecciones de las líneas que pasan por la superficie de incidencia secundaria y una perpendicular al plano base.
- **Ángulo de filo β :** Es el ángulo agudo contenido en el plano secante principal formado por las proyecciones de las líneas que pasan por la superficie de desprendimiento y la superficie de desprendimiento.

¹³ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

- **Ángulo de desprendimiento γ :** Es el ángulo agudo contenido en el plano secante principal, formado por las proyecciones de las líneas que pasan por la superficie de desprendimiento y una paralela al plano base
- **Ángulo de corte δ :** Es el ángulo agudo contenido en el plano secante principal, formado por las proyecciones de las líneas que pasan por la superficie de desprendimiento y la línea perpendicular al plano base
- **Ángulo de punta ϵ :** Es el ángulo agudo contenido en el plano base, formado por las proyecciones de filo y contrafilo.

La selección adecuada de los ángulos de corte permite un mecanizado suave con un acabado superficial adecuado sin desgaste excesivo de la herramienta, además permite posicionar adecuadamente la misma ya que hay herramientas que tienen su filo orientado a la derecha o a la izquierda de modo que su movimiento de avance para cortar material es sólo un desplazamiento a la derecha o hacia la izquierda respectivamente tal y como se puede apreciar en la Figura 1-14:

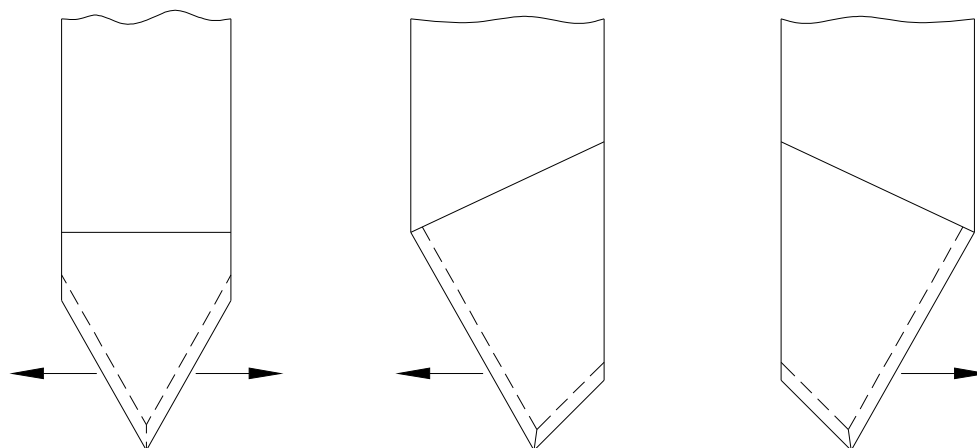


Figura 1-14. Avance adecuado que debería tener la herramienta según la ubicación de su filo¹⁴

1.2.3.3. Movimientos

Para la producción de virutas es necesario que existan dos grupos de movimientos:

¹⁴ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

- Movimientos principales o de trabajo
- Movimientos secundarios o de maniobra

1.2.3.3.1. Movimientos Principales

Son movimientos que desplazan a la herramienta o a la pieza dependiendo del proceso de mecanizado para arrancar viruta y está compuesta por dos movimientos:

- **Movimientos de corte.** Este movimiento origina el desprendimiento de virutas durante una revolución; es decir la pieza o la herramienta giran; o durante un golpe; es decir un movimiento longitudinal alternativo donde la pieza o la herramienta realizan una doble carrera. En el torno este movimiento de corte es rotativo y continuo donde la pieza es la que gira.
- **Movimientos de avance.** Este movimiento conjuntamente con el movimiento de corte provocan un desprendimiento continuo de virutas. El movimiento de avance puede ser dado por la herramienta o por la pieza. El movimiento de avance en el torno viene dado por la pieza y es un movimiento rectilíneo.

1.2.3.3.2. Movimientos Secundarios

Son movimientos que desplazan la herramienta o la pieza para aumentar o disminuir la distancia entre la herramienta y la pieza. Se diferencian con los movimientos principales porque no producen arranque de viruta y están compuestos por los siguientes movimientos:

- **Movimiento de posicionamiento.** Acerca o aleja la herramienta de la pieza antes de iniciar el movimiento
- **Movimiento de reposicionamiento.** Permite dar la profundidad de corte al inicio del corte y en la siguiente pasada.
- **Movimiento de ajuste.** Reajusta la herramienta para compensar el desgaste de su filo de corte; también ayuda al reposicionamiento de la pieza.

1.2.4. PARÁMETROS DE TRABAJO

Antes de automatizar una máquina herramienta primero se debe conocer cuáles son las variables que se debe controlar, entonces a continuación se define cuáles son los principales parámetros del virutaje. Estos parámetros son:

- Velocidad de corte
- Velocidad de avance
- Tiempo de virutaje

1.2.4.1. Velocidad de corte

Es originado por el movimiento de corte y se define como la cantidad de metros lineales de viruta por minuto que se desaloja en el proceso de virutaje.

En el torno la velocidad de corte está definida con la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad 15$$

Donde:

V_c , es la velocidad de corte expresada en m/min y viene dado en el Anexo A-1

n , es el número de revoluciones por minuto de la pieza

d , es el diámetro del elemento que tiene la velocidad de corte y está expresado en mm

1.2.4.2. Velocidad de avance

La velocidad de avance es producida y se determina por el movimiento de avance y viene expresado en mm/min. En el torno la velocidad de avance está definida con la siguiente fórmula:

$$V_a = s \cdot n \quad 16$$

Donde:

V_a , es la velocidad de avance

¹⁵ <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>

¹⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>

s, es el avance de la herramienta y viene dado en tablas en mm/rev.

n, es el número de revoluciones por minuto de la pieza

1.2.4.3. Tiempo de virutaje

El tiempo de virutaje se calcula con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{L}{Va} i \quad ^{17}$$

Donde:

i, número de pasadas

Va, velocidad de avance (mm/min)

L, longitud de avance es decir la longitud que recorre la herramienta en cada pasada

Con la automatización se puede reducir estos tiempos de virutaje ya que al momento que la herramienta está regresando para reposicionarse y realizar otra pasada se lo puede hacer a una velocidad mayor.

1.2.4.4. Cuchillas para torneado

Los ángulos de las herramientas pueden variar así como su forma dependiendo del trabajo a realizar en el torno, sea este cilindrado, refrentado, torneado de roscas, etc; de este modo hay que escoger la cuchilla adecuadas para cada caso. En las Figura 1-15 se muestran diferentes tipos de cuchillas según el tipo de corte que se desea realizar.

¹⁷ <http://es.wikipedia.org/wiki/Torno>

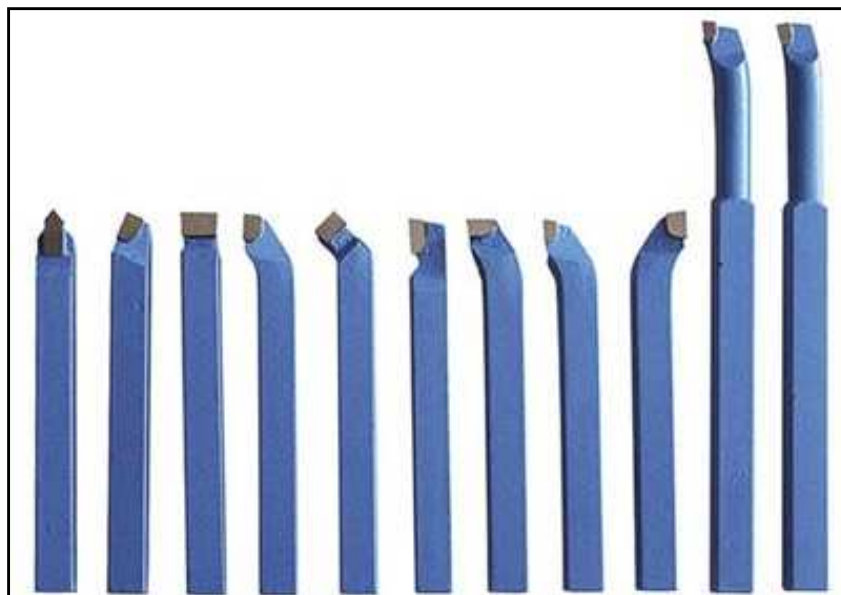


Figura 1-15. Variedad de cuchillas para torneado¹⁸

1.2.4.4.1. *Fuerzas sobre la cuchilla del torno.*

Al realizar trabajos de torneado sobre la cuchilla se presenta la fuerza de corte F la misma que se descompone en una fuerza principal de corte F_h , fuerza de avance F_v y fuerza de penetración F_r , tal como se muestra en la Figura 1-16.

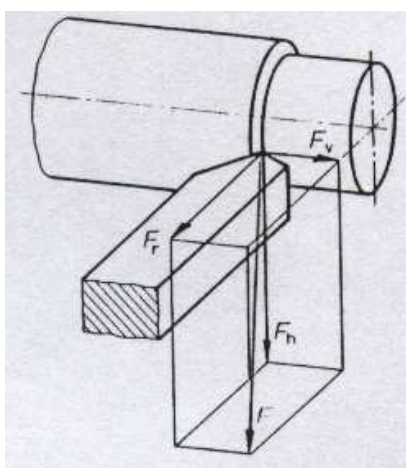


Figura 1-16. Fuerzas sobre la cuchilla¹⁹

¹⁸tienda.delpinox.com/WebRoot/Store/Shops/Store_002E_Delpinox/4668/2420/2B1E/7D1E/907A/3E97/16DA/D810/3441008-1.jpg

¹⁹ http://www.multiwidia.com.ar/AUTOR_archivos/image020.jpg

La fuerza F_h actúa en la dirección del movimiento principal de corte y trata de doblar hacia abajo la cuchilla. La fuerza F_v actúa en sentido contrario al avance que empuja lateralmente contra la cuchilla. La fuerza de penetración F_r actúa en sentido opuesto al movimiento de aproximación y aprieta desde delante contra la cuchilla de torno. Las fuerzas de avance y de penetración son relativamente pequeñas frente a la fuerza principal de corte. Estas fuerzas deben ser consideradas en la determinación del torque necesario para mover los carros.

1.2.4.5. Operaciones básicas de torneado

Dependiendo de los movimientos de los carros y de la herramienta utilizada se puede realizar piezas ranuradas, piezas roscadas, piezas cónicas; sin embargo el objetivo de esta tesis es que el torno automáticamente realice operaciones básicas como es la reducción del diámetro o de la longitud de una pieza cilíndrica de este modo las operaciones a automatizar son las siguientes:

1.2.4.5.1. Cilindrado

Esta operación consiste en penetrar la pieza cilíndrica en movimiento con el útil de torner y moverla paralelamente al eje de rotación de la pieza a ser torneada logrando así obtener una reducción del diámetro y una forma cilíndrica; a esta primera operación se la conoce como una pasada. Se pueden realizar varias pasadas hasta llegar a que el diámetro de la pieza sea el deseado. Se tienen dos tipos de pasadas: las de desbaste donde se deja la pieza en las dimensiones deseadas y otra de afinado donde se logra las tolerancias y el acabado superficial requerido. En el desbaste la profundidad de penetración es mayor que en el afinado así como la velocidad de avance. El número de revoluciones a las que gira la pieza en el cilindrado depende de material de la pieza.

1.2.4.5.2. Refrentado

Con esta operación se busca dejar plana la superficie de la pieza en su extremo para lo cual se mueve la herramienta perpendicularmente al eje de rotación de la pieza que se tornea. El refrentado puede ser completo en toda la superficie libre o parcial.

La velocidad de corte presenta una dificultad especial cuando se desea refrentar una pieza cilíndrica de gran diámetro, ya que la velocidad varía desde el centro hacia la circunferencia de la pieza, sin embargo se puede trabajar en el modo automático de la máquina y conseguir un buen acabado. El avance utilizado para refrentar puede ser igual al avance para cilindrar sin embargo se debe tomar en cuenta su sentido es decir si la herramienta se desplaza desde el centro de la pieza a su periferia o desde su periferia hacia el centro; para seleccionar el sentido del avance se debe considerar el material a ser refrentado. En general para las herramientas que tienen el filo principal lateralmente el avance debe ser desde el centro a la periferia, mientras que en herramientas que cuyo filo principal es frontal el avance debe ser desde el la periferia hacia el centro. Del mismo modo en materiales que producen viruta corta, el avance debe ser desde la periferia hacia el centro.

1.3. AUTOMATIZACIÓN

“Al principio la opinión en general acerca de la automatización se encontraba dividida en dos grandes grupos, para algunos era la solución a los problemas industriales y para otros era algo desventajoso que traería el desempleo en masa y otras desgracias. Pero en realidad no fue ni una cosa ni la otra. La automatización es una técnica industrial que sencillamente proporciona una extensión y un refinamiento de métodos anteriores que han estado en uso por largo tiempo.”²⁰

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas normalmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos. Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de mando
- Parte operativa

La *Parte de Mando* suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema

²⁰ http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc/default4.asp

de fabricación automatizado el autómeta programable o PLC está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los actuadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, etc., y los sensores como fotodiodos, finales de carrera, etc.

1.3.1. FORMA O ESTRUCTURA DEL CONTROL EN UN PROCESO AUTOMATIZADO

1.3.1.1. Control de lazo abierto

Esta forma de control se presenta en procesos donde la señal de salida no afecta la acción de control, es decir no se mide la señal de salida ni se realimenta para compararla con la de entrada

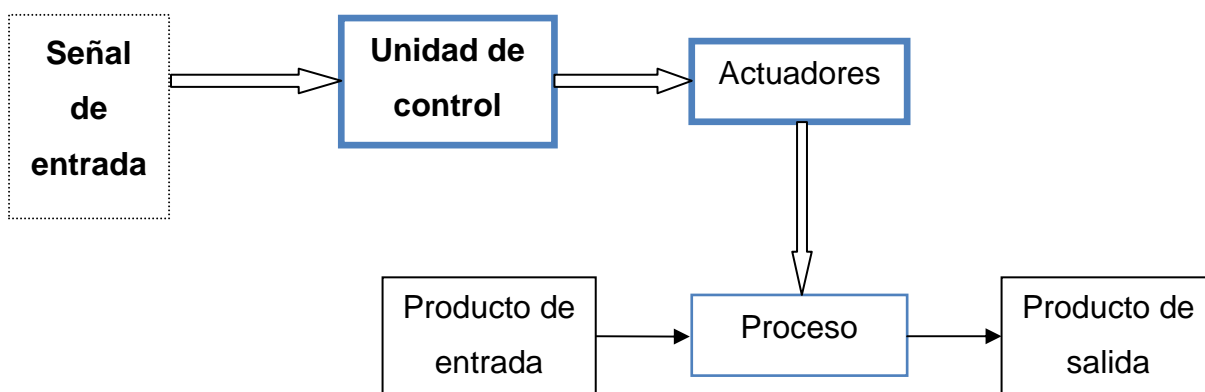


Figura 1-17. Sistema de lazo abierto²¹

²¹ PROPIA; Rueda Paúl – Vásquez Jacobo

1.3.1.2. Control de lazo cerrado

En este control existe una realimentación de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a éste último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso.

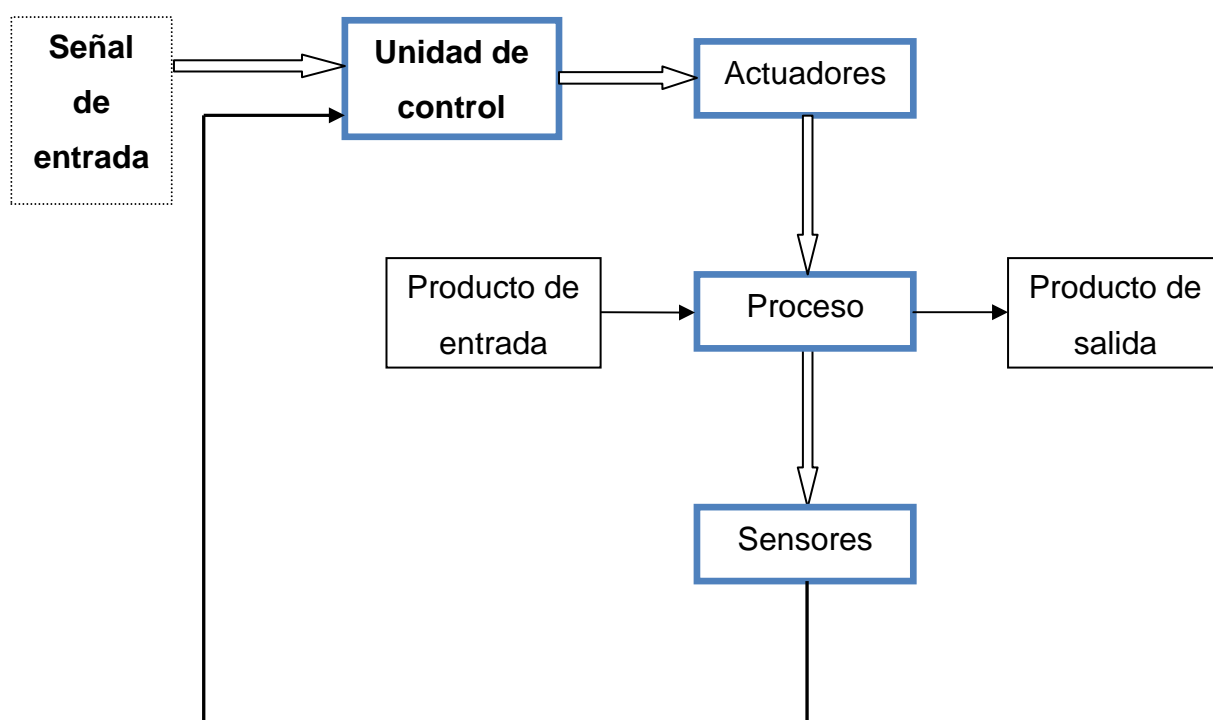


Figura 1-18. Sistema de lazo cerrado²²

1.3.2. TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN

- Vigilancia: este tipo de automatización realiza la observación de magnitudes respondiendo a un objetivo de conocimiento técnico y económico del proceso. En este caso el órgano de control adquiere informaciones, las analiza y produce un reporte diario y los balances respectivos. Mediante este tipo de automatización no hay un tratamiento de los datos, es decir, no se aplica un algoritmo de procesamiento.
- Guía operador: complementa el tipo anterior con procedimientos más elaborados y propone a los responsables de la planta o proceso acciones para conducir o realizar el proceso según un criterio dado. La

²² PROPIA; Rueda Paúl – Vásquez Jacobo

automatización está aquí todavía en un lazo abierto, es decir, no actúa directamente sobre el proceso; el lazo lo “cierra” el operador.

- Mando: este tipo de automatización tiene una estructura de lazo cerrado. Corresponde a la automatización completa de ciertas funciones, después de la adquisición de datos, pasando por su tratamiento, para llegar a una acción sobre el proceso. El hombre está aquí excluido de la ejecución: está encargado de las funciones de vigilancia e interviene en caso de incidente para asumir el control manual del proceso, ayudado eventualmente por un modo Guía operador que se corresponde con un funcionamiento degradado del sistema.

Tabla 1-1. Tipos de automatización²³

Tipo de automatización	Funciones			Estructura
	Adquisición de datos	Tratamiento de datos	Acción	
Vigilancia	Si	No	No	Lazo abierto
Guía	Si	Si	No	Lazo abierto
Mando	Si	Si	Si	Lazo cerrado

1.3.3. OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

- Mejorar la productividad, reduciendo costos de producción y mejorando la calidad de la misma
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Integrar la gestión y producción.

²³ PROPIA; Rueda Paúl – Vásquez Jacobo

1.4. FUNDAMENTOS DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO

1.4.1. ORIGEN DEL CONTROL NUMÉRICO

Primitivamente en sus comienzos las máquinas funcionaban gracias al control manual de cada función. Los músculos del hombre hacían funcionar los mecanismos de movimiento y el avance de la herramienta. En los modelos antiguos de tornos por ejemplo, el operario accionaba con su pie un pedal para darle fuerza a la máquina, mientras que sus manos hacían funcionar los avances longitudinales y transversales, así como otras funciones del torno.

Los controles de las máquinas se dividen en cuatro tipos:

1. Control manual completo
2. Control cíclico, tanto automático como semiautomático
3. Control seguidor o duplicador
4. Control por mando pre-programado

El primer tipo de control es el ya conocido en donde el operario es quien controla cada función y toma todas las decisiones en cuanto a velocidades, avances, profundidad, longitud del corte, y tiempo de la secuencia.

Para el segundo tipo se diseñaron los controles de las máquinas de manera que se pueda colocar un ciclo de corte predeterminado por medio de levas, topes mecánicos o interruptores eléctricos de límite. En este caso el operario pone en funcionamiento el ciclo y la máquina posiciona la herramienta, hace el avance a la profundidad preparada, recorre la carrera de corte, retira la herramienta, regresa a la posición inicial y detiene el funcionamiento.

El tercer tipo proporciona controles para contornos complejos, tanto en dos como en tres dimensiones, se los nombra controles seguidores o duplicadores. Es necesario poseer un patrón.

Por último el cuarto tipo de control cubre las máquinas que han sido diseñadas para ser controladas por medio de señales o mandos de una fuente pre-

programada. La información para las órdenes de mando se coloca en las máquinas en muchas formas, por ejemplo:

Tarjetas perforadas

Cintas magnéticas

Cintas de papel perforado

“Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), la industria metalmecánica cambió drásticamente. Los ambiciosos proyectos misilísticos y la industria aérea (de la Fuerza Aérea norteamericana) comenzaron a requerir la manufactura de piezas complicadas y exactas. Bajo contrato con la Fuerza Aérea norteamericana la Parsons Corporation se hizo cargo del desarrollo de un sistema de manufactura flexible diseñado para maximizar la productividad y alcanzar las exactitudes deseadas para pequeñas y medianas producciones. La Parsons Corporation a su vez subcontrató el desarrollo del sistema de control al Laboratorio de Servomecanismos del MIT. En 1952 la máquina mecanizadora Cincinnati Hydrotel de tres ejes controlada con tecnología digital fue desarrollada. Esta tecnología digital es la que se conoce como control numérico (CN)”.²⁴

Tabla 1-2. Evolución y tendencia del control numérico²⁵

1725	Máquinas de tejer construidas en Inglaterra, controladas por tarjetas perforadas
1863	M. Forneaux- primer piano que tocó automáticamente
1870 – 1890	Eli Whitney- desarrollo de plantillas y dispositivos. "Sistema norteamericano de manufactura de partes intercambiables"
1880	Introducción de una variedad de herramientas para el maquinado de metales. Comienzo del énfasis en la producción a gran escala
1940	Introducción de los controles hidráulicos, neumáticos y electrónicos. Aumento del énfasis en el maquinado automático
1945	Comienzo de la investigación y desarrollo del control numérico. Comienzo de los experimentos de producción a gran escala con

²⁴ http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc/default4.asp

²⁵ http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc/default4.asp

	control numérico
1955	Las herramientas automatizadas comenzaron a aparecer en las plantas de producción para la Fuerza Aérea de los Estados Unidos
1956	Hay concentración en la investigación y desarrollo del control numérico. <ul style="list-style-type: none"> • Se crean varios nuevos sistemas de control numérico. • Se perfeccionaron las aplicaciones a la producción de una gama más grande de procedimientos de maquinado de metales • Se idearon aplicaciones a otras actividades diferentes del maquinado de metales
1960 – Hasta la actualidad	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizaron insumos computarizados de control numérico. • Se utilizaron documentos computarizados de planeación gráficos por control numérico. • Se desarrollaron procedimientos computarizados de trazo de curvas de nivel por control numérico, a bajo costo. • Se establecieron centros de maquinado para utilización general

1.4.2. CONTROL NUMÉRICO (CN)

El Control Numérico es un medio de automatización programable en el cual un conjunto de accionamientos mecánicos son controlados por un programa con datos alfanuméricos. Los datos alfanuméricos empleados representan las posiciones relativas entre la herramienta y el objeto procesado. Deberá tenerse en consideración que esta automatización no implica producción masiva, la automatización debe observarse como la manufactura de piezas que cumplen con especificaciones rigurosas y en las que para su fabricación intervino poco la mano del hombre. La amplitud de aplicación de esta estrategia incluye 2 categorías:

- Aplicaciones máquina-herramienta, tales como:
 - Torneado
 - Taladrado
 - Fresado
 - Inspección

- Aplicaciones en dispositivos alternativos, tales como:
 - Montaje
 - Inspección
 - Dibujo
 - Logística

Cuando una máquina puede recibir sus instrucciones por medio de un código numérico se dice que la máquina es de control numérico. Por lo regular estos códigos son aceptados por las máquinas herramientas por medio de tarjetas, cintas o programas de computadora.

1.4.2.1. Sistemas de coordenadas

El sistema de coordenadas empleado en los sistemas CN ha sido definido respecto del tipo de máquina - herramienta utilizada en el proceso de mecanizado. Existen 2 tipos de sistemas de ejes empleados en CN:

- Piezas prismáticas
- Piezas de revolución

Los diferentes movimientos de los mecanismos son realizados por el sistema de control de movimiento, este tipo de sistemas se puede dividir en 2 tipos:

1.4.2.1.1. Punto a punto

También conocidos como sistemas de posicionamiento, realizan el movimiento de la mesa de trabajo a la localización programada sin considerar el camino tomado. Una vez que el movimiento ha sido realizado, las operaciones de mecanizado programadas son ejecutadas, tales como: taladrado o punzonado.

1.4.2.1.2. Sistemas continuos

Generalmente referidos a sistemas capaces de desarrollar movimientos continuos simultáneos en 2 o más ejes. Esta característica proporciona una trayectoria de la herramienta respecto de la pieza de trabajo. En este caso la herramienta ejecuta el proceso mientras la mesa de trabajo se encuentra en movimiento. De esta forma se pueden generar superficies curvas, angulares o bien contornos 3D.

1.4.2.2. Métodos de interpolación

En las máquinas de control numérico se conoce como interpolación a la generación de puntos de datos entre posiciones de coordenadas dadas de los ejes. Las trayectorias continuas requieren generar, en la mayoría de los casos, geometrías circulares, u otro tipo de formas, sin embargo otras formas no pueden ser expresadas de esta manera; el mecanizado de un contorno curvo, se realiza dividiendo la curva en una serie de líneas rectas segmentadas aproximadas a la curva.

- **Interpolación lineal:** utilizada para generar trayectorias rectas continuas. Se deben especificar el punto de comienzo y término, y la velocidad de avance.
- **Interpolación circular:** utilizada para realizar contornos circulares. Se deben especificar el punto de comienzo y término, el centro o radio del círculo y la dirección de corte.
- **Interpolación helicoidal:** utilizado para realizar contornos helicoidales basados en el método de interpolación circular con un movimiento lineal en un tercer eje.

1.4.2.2.1. Localización absoluta e incremental:

- Posicionamiento absoluto: posicionamiento de la herramienta que se define respecto del origen del sistema de coordenadas.
- Posicionamiento relativo: el posicionamiento se realiza mediante la posición de la herramienta respecto de las coordenadas del último punto.

1.4.2.3. Principales características del CN

- Capacidad de almacenamiento de múltiples programas.
- Existen varias formas de programación.
- Modificación de programas existentes.
- Procesos de mecanizado previamente codificados.
- Métodos de interpolación.

- Comunicación con otras maquinas.
- Definición de parámetros, tales como, avance, RPM, etc.

1.5. CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

1.5.1. INTRODUCCIÓN

Antes de la invención del Controlador Lógico Programable más conocido como PLC, el control en la mayoría de las industrias se realizaba mediante un panel de control donde interruptores y relés se utilizaban en los circuitos diseñados para hacer decisiones lógicas. De este modo un PLC es un dispositivo electrónico programable utilizado en el control industrial para realizar operaciones lógicas a través de una secuencia de instrucciones, llamada programa del PLC que se la guarda en su memoria interna; es decir el PLC es un sistema de control que realizar las siguientes operaciones en tiempo real: monitorear el estado de las entradas a las cuales están conectados sensores, y; controlar autónomamente los dispositivos que están conectados a las salidas pudiendo así encender motores eléctricos y distintos tipos de actuadores controlando procesos secuenciales.

De este modo un PLC trabaja en base a la información recibida por los sensores y el programa lógico interno, accionando o desconectando los contactos de los actuadores de la máquina, equipo o instalación que se esté automatizando.

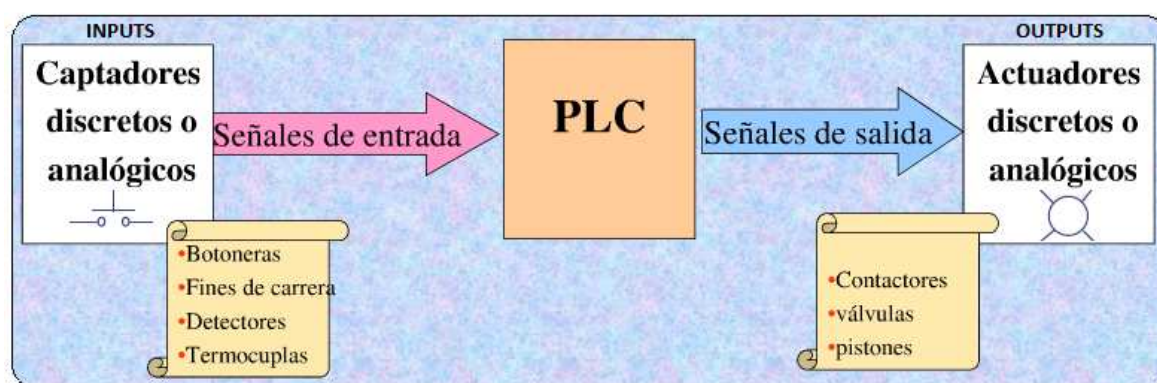


Figura 1-19. Esquema de utilización de un PLC²⁶

²⁶ <http://www.scribd.com/doc/19347391/Plc-Completo>

1.5.2. FUNCIONES BÁSICAS DE UN PLC

- **Detección:** lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- **Mando:** elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- **Diálogo hombre máquina:** mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- **Programación:** para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómatas. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómatas controlando la máquina.

1.5.2.1. Nuevas funciones

- **Redes de comunicación:** permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas a tiempo real. En unos cuantos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida.
- **Sistemas de supervisión:** también los autómatas permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.
- **Control de procesos continuos:** además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómatas.
- **Entradas- Salidas distribuidas:** los módulos de entrada salida no tienen porqué estar en el armario del autómatas. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómatas mediante un cable de red.
- **Buses de campo:** mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómatas consulta cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

1.5.3. HISTORIA

En 1960 la industria buscó nuevas tecnologías electrónicas para reemplazar a los sistemas de control basados en circuitos eléctricos con relés, interruptores y otros componentes comúnmente utilizados para el control de los sistemas de lógica combinacional; los cuales son sistemas digitales en los que sus salidas son función exclusiva del valor de sus entradas en un momento dado, sin que intervengan en ningún caso estados anteriores de las entradas o de las salidas. Las funciones utilizadas en este sistemas son de tipo booleano por ejemplo las funciones “or” o “and” donde cada función se puede representar en una tabla de la verdad. Por tanto, carecen de memoria y de realimentación dificultando así el control.

Los PLC fueron creados como una solución eficaz los problemas y necesidades que se presentaban en la automatización de la industria automotriz norteamericana por el ingeniero Estadounidense Dick Morley, ya que el control, las secuenciación, y la lógica para la manufactura de automóviles era realizada utilizando relés y contadores. Cada vez que se tenía que modernizar las instalaciones se debía rediseñar los sistemas de control lo cual era muy costoso y consumía mucho tiempo, además los sistemas basados en relés tenían que ser recableados por electricistas especializados. En 1968 la división de transmisiones automáticas de General Motors ofertó un concurso para una propuesta del reemplazo electrónico de los sistemas cableados. La propuesta ganadora fue el proyecto desarrollado por la compañía Bedford Associates de Boston, Massachusetts el cual se convertiría en el primer PLC. Esta compañía decidió crear una nueva división dedicada al desarrollo, manufactura, venta y servicio para este nuevo producto: Modicon (Modular Digital Controller). Una de las personas que trabajo en ese proyecto fue Dick Morley. La marca Modicon fue vendida en 1977 a Gould Electronics, y posteriormente adquirida por la compañía Alemana AEG y más tarde por Schneider Electric, el actual dueño.

En la actualidad algunas compañías han ido desarrollando PLC's entre las marcas más prestigiosas tenemos a Siemens, Schneider Electric, Rockwell (Allen-Bradley), General Electric, Mitsubishi entre otras.

1.5.4. PARTES DEL PLC

Un controlador lógico programable está constituido por un conjunto de tarjetas o circuitos impresos, sobre los cuales están ubicados componentes electrónicos de este modo un PLC es básicamente un computador y por lo tanto posee la estructura interna típica del mismo. La estructura básica del hardware de un PLC se puede ver en la Figura 1-20 y está constituido por:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de interfaces de entradas/salidas (E/S)
- Modulo de memorias
- Unidad de programación

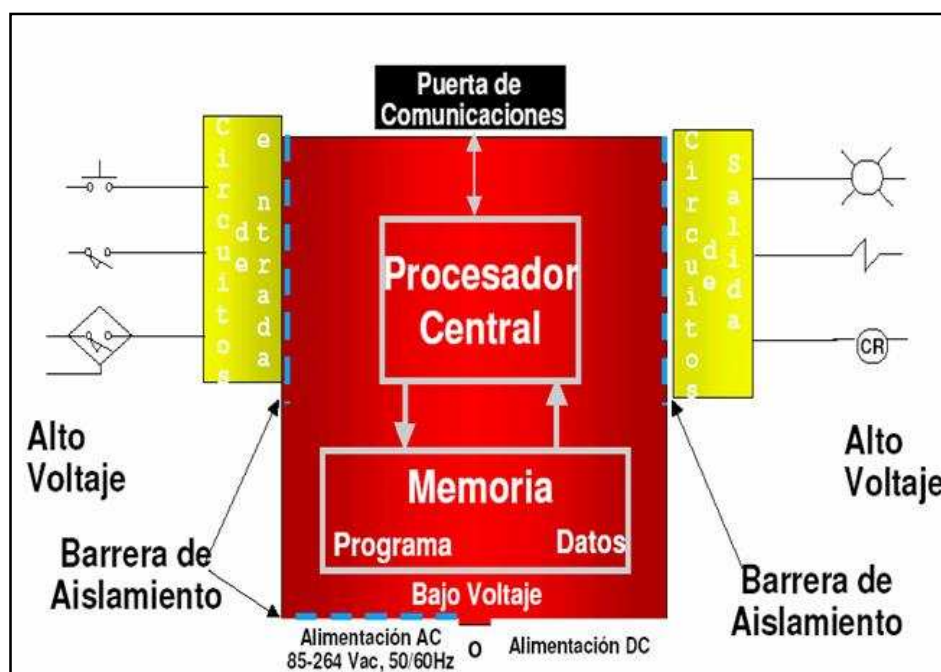


Figura 1-20. Partes del PLC²⁷

²⁷ <http://observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=505>

15.4.1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN

La fuente de alimentación proporciona energía al CPU y a los módulos de ampliación conectados.

- + 5 V para alimentar a todas las tarjetas
- + 5.2 V para alimentar al programador
- + 24 V para los canales de lazo de corriente 20 mA.

15.4.2. UNIDAD DE PROCESAMIENTOS CENTRAL (C.P.U.)

Es la parte más compleja e imprescindible del controlador programable, que en otros términos podría considerarse el *cerebro* del controlador. La principal función del CPU es comandar y gobernar la actividad del PLC ya que ésta ejecuta el programa y almacena los datos para la tarea de automatización o el proceso, es decir, al leer los estados de las señales de las entradas recibe información de sensores del proceso, ejecuta un programa de control previamente almacenado en su memoria mediante un equipo programador y suministra el resultado de la ejecución de las instrucciones del programa a los actuadores o dispositivos de salida. Este proceso se realiza de una manera continua y cíclica.

Cuenta también con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 MHz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema, se lleva información y datos desde y hacia la memoria y las unidades de entrada/salida.

La CPU está diseñada a base de microprocesadores y memorias; contiene una unidad de control, la memoria interna del programador RAM, temporizadores, contadores, memorias internas tipo relé, imágenes del proceso entradas/salidas, etc. Los elementos de la memoria son: una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos; una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada/salida

15.43. MÓDULOS DE ENTRADAS Y SALIDAS

Son los que proporciona el vínculo entre la CPU del controlador y los dispositivos de campo del sistema. A través de ellos se origina el intercambio de información ya sea para la adquisición de datos o la del mando para el control de máquinas del proceso.

Las entradas vigilan las señales de los aparatos de campo (por ejemplo sensores e interruptores) y las salidas vigilan las bombas, motores u otros dispositivos del proceso.

Los circuitos de entrada/salida (E/S) están físicamente conectados a los sensores y actuadores que se usan en el control de una máquina o proceso. Proporcionan una interfaz entre el CPU y los sensores y actuadores.

Debido a que existen gran variedad de dispositivos exteriores (captadores actuadores), encontramos diferentes tipos de módulos de entrada y salidas, cada uno de los cuales sirve para manejar cierto tipo de señal (discreta o análoga) a determinado valor de tensión o de corriente en DC o AC. Así se tiene:

- Módulos de entradas discretas
- Módulos de salidas discretas
- Módulos de entrada analógica
- Módulos de salida analógica

Una *señal digital* es aquella que alcanza dos valores un alto y un bajo en lugar de valores dentro de un cierto rango lo cual sería una señal análoga. Por ejemplo, el interruptor de la luz sólo puede tomar dos valores o estados: abierto o cerrado, o la misma lámpara: encendida o apagada. Una señal análoga se la puede obtener cuando se mide temperatura con una termocupla.

15.44. MÓDULOS DE MEMORIAS

La memoria del PLC es el área donde se almacena y ejecuta la secuencia de operaciones que permite el mando de los elementos del proceso a ser controlado. Esta secuencia es almacenada en forma binaria (0 y 1) para ser utilizada por la

CPU. Son dispositivos destinados a guardar información de manera provisional o permanente.

Se cuenta con dos tipos de memorias:

- Volátiles (**RAM**)
- No volátiles (**EPROM y EEPROM**)

1.5.4. UNIDAD DE PROGRAMACIÓN

Los terminales de programación, son el medio de comunicación entre el hombre y la máquina; estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización. Existen tres tipos de programadores los manuales (Hand Held) tipo de calculadora, Los de video tipo (PC), y la (computadora).

La interface de comunicación permite conectar la CPU a una unidad de programación o a otros dispositivos. Algunas CPUs disponen de dos o más interfaces de comunicación.

1.5.5. FUNCIONAMIENTO

Al encender un PLC hay un proceso inicial en el cual se produce un REST. Después el PLC tiene un funcionamiento de tipo secuencial, en otras palabras, las operaciones tienen lugar una tras otra y se van repitiendo continuamente mientras el PLC se mantenga energizado. A este proceso se lo conoce como el ciclo de operación del PLC o SCAN del PLC. Este ciclo, que es de rastreo, nos da una idea de la rapidez de la operación del PLC ya que consiste en cuatro etapas importantes, que son:

1.5.5.1. Primera etapa: revisar el status de las entradas

El PLC primero le da un vistazo a cada una de las entradas para determinar si están activadas o desactivadas. En palabras simples, el PLC pregunta, ¿Estará el sensor conectado en la primera entrada accionando? ¿Cómo está en la segunda entrada? y así sucesivamente en todas las entradas. Guarda estos datos en su memoria para ser usado durante la siguiente etapa.

1.5.5.2. Segunda etapa: ejecución del programa

Después, el PLC ejecuta su programa una instrucción a la vez. Posiblemente su programa diga que si la primera entrada esta activada entonces que se accione la primera salida. Ya que, desde la etapa anterior, éste ya sabe que entradas están accionadas o apagadas, será capaz de decidir si la primera salida tendría que prender basándose en el estado de la primera entrada. Éste guardará los resultados de la ejecución para ser usados mas tarde en la siguiente etapa.

1.5.5.3. Tercera etapa: diagnostico y comunicaciones

Mientras se está ejecutando el programa la CPU comprueba el firmware, la memoria del programa y el estado de los módulos de ampliación. En esta parte del ciclo también se procesan los mensajes recibidos por la interface de comunicación.

1.5.5.4. Cuarta etapa: actualización de salidas

Finalmente el PLC actualiza el status de las salidas. Esto se realiza de acuerdo a que entradas estuvieron activadas durante el primer paso y los resultados de la ejecución de su programa durante el segundo paso. De acuerdo al ejemplo del paso 2 entonces prendería la primera salida ya que la primera entrada estuvo accionada y su programa dijo, prender la primera salida cuando esta condición sea verdadera.

Después de la tercera etapa el PLC vuelve a la primera etapa y repite las etapas continuamente produciéndose así un ciclo. Este proceso se lo puede apreciar mejor en la Figura 1-21.

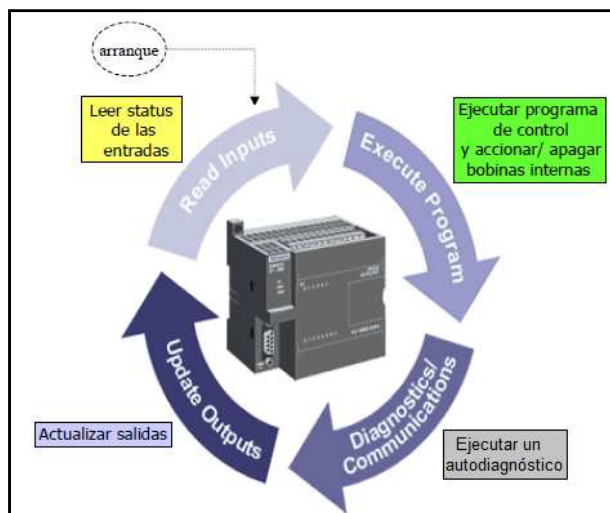


Figura 1-21. Ciclo de operación del PLC²⁸

El tiempo de un SCAN es definido como el tiempo que se demora el PLC para ejecutar las 3 etapas. El tiempo requerido para realizar un SCAN puede oscilar entre 1 y 100 milisegundos y depende de:

- El número de entradas y salidas involucradas
- La longitud del programa
- El número y tipo de periféricos conectados al autómata

1.5.6. PROGRAMACIÓN

El programa de un PLC consiste en un lenguaje no informático, ya que es la representación del circuito de control mediante símbolos y funciones internas del PLC.

Existen varios lenguajes de programación, tradicionalmente los más utilizados son el diagrama de escalera (Lenguaje Ladder), preferido por los electricistas, lista de instrucciones y programación por estados, aunque se han incorporado lenguajes más intuitivos que permiten implementar algoritmos complejos mediante simples diagramas de flujo más fáciles de interpretar y mantener. Un lenguaje más reciente, preferido por los informáticos y electrónicos, es el FBD (en inglés



²⁸

http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/13_S7_200.PDF

Function Block Diagram) que emplea compuertas lógicas y bloques con distintas funciones conectados entre sí.

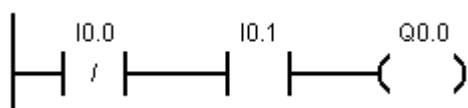
En la programación se pueden incluir diferentes tipos de operandos, desde los más simples como lógica booleana, contadores, temporizadores, contactos, bobinas y operadores matemáticos, hasta operaciones más complejas como manejo de tablas (recetas), apuntadores, algoritmos PID y funciones de comunicación multiprotocolo que le permitirían interconectarse con otros dispositivos.

La lógica booleana que se aplica en la programación del PLC se explica así:

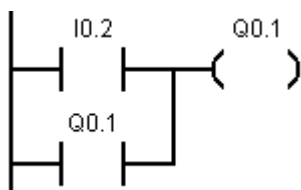
- “1” Bit activado 
- “0” Bit desactivado 
- Lógica positiva: 1 bit alto (24 V)
0 bit bajo (0 V)
- Lógica negativa: 1 bit bajo (0 V)
bit alto (24 V)

La lógica de las operaciones and y or en el diagrama de escalera se las puede construir así:

- Operación and (contactos en serie)



- Operación or (contactos en paralelo)



En la Figura 1-22 se puede ver un ejemplo de un programa simple realizado con el diagrama de escalera el cual está diseñado con dos contactos I0.0 y I0.1 y una bobina Q0.0 para encender y apagar una bobina donde I0.0 y I0.1 son entradas digitales que están conectadas a los pulsadores S1 y S2 y Q0.0 es una salida digital que está conectado a un led K1. En la Figura 1-23 está el diagrama de conexiones o de potencia donde se conectan los sensores, pulsadores, actuadores entre otros elementos al PLC.

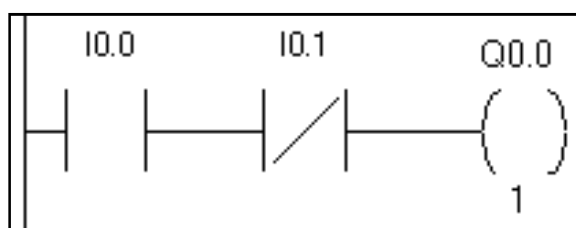


Figura 1-22. Esquema de programación para encender una bobina²⁹

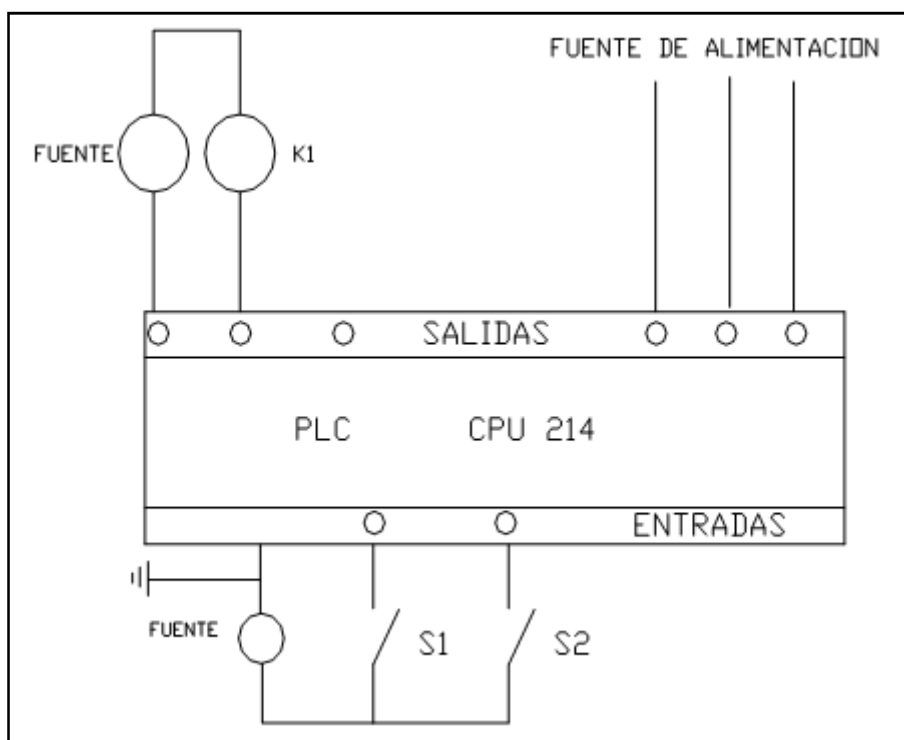


Figura 1-23. Esquema de programación para encender una bobina³⁰

²⁹ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

³⁰ PROPIA; Rueda Paul – Vásquez Jacobo

1.5.7. CLASIFICACIÓN DE PLC

Debido a la gran variedad de tipos distintos de PLC, tanto en sus funciones, en su capacidad, en su aspecto físico y otros, es que es posible clasificar los distintos tipos en varias categorías.

1.5.7.1. De acuerdo a su estructura externa

- PLC tipo Nano: Generalmente PLC de tipo compacto (Fuente, CPU e I/O integradas) que puede manejar un conjunto reducido de I/O, generalmente en un número inferior a 100. Permiten manejar entradas y salidas digitales y algunos módulos especiales.
- COMPACTOS: Suelen integrar todos los elementos del PLC el mismo bloque, es decir, la alimentación, entradas y salidas y/o la CPU. Permiten manejar desde unas pocas E/S hasta varios cientos (alrededor de 500 E/S), su tamaño es superior a los Nano PLC. Se expanden conectándose a otros con parecidas características.
- MODULARES: Están compuestos por módulos o tarjetas adosadas al rack con funciones definidas, estos son:
 - Rack
 - Fuente de Alimentación
 - CPU
 - Módulos de entradas y salidas (E/S)
 De estos tipos existen desde los denominados Micro-PLC que soportan gran cantidad de I/O, hasta los PLC de grandes prestaciones que permiten manejar miles de I/O.

1.5.7.2. De acuerdo a su número de entradas y salidas

- De gama baja: Si el número de E/s es menor a 256
- De gama media: si el número de E/s es mayor a 256 pero menor a 1024
- De gama alta: Si el número de E/s es mayor a 1024

El número de E/S en cada una de las gamas antes mencionadas puede variar dependiendo de la marca del PLC.

1.5.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

1.5.8.1. Ventajas

- Los PLC no necesitan mantenimiento tal es el caso que una unidad fue retirada después de veinte años de servicio ininterrumpido en la sede de Modicon en el Norte de Andover Massachusetts.
- Los PLC contienen todo lo necesario para manejar altas cargas de potencia; se requiere poco diseño eléctrico y el problema de diseño se lo desarrolla en expresar las operaciones y secuencias en la lógica de escalera.
- El tamaño del PLC es relativamente pequeño por lo tanto tiene un espacio de ocupación.
- Costo beneficio:
 - Al poder realizar los PLCs un alto rango de tareas de automatización son usados en sistemas que van a sufrir cambios durante toda su vida productiva. Entonces si el sistema cambia no se requiere de otro PLC para el control sino que se debe cambiar el programa del PLC en el caso en que las entradas y salidas sean las mismas. De este modo el costo del PLC es bajo comparado con el costo de la contratación del diseñador para un diseño específico que sólo se va a usar una sola vez y que no es flexible a cambios futuros.
 - Los costos de sistemas de control que utilizan un PLC como controlador se amortizan por sí solos rápidamente debido al ahorro en los componentes.
 - Menor coste de mano de obra de la instalación
 - La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
 - Posibilidad de gobernar varias máquinas con un mismo autómatas.
 - Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos debido a que:
 - No es necesario dibujar el esquema de contactos

- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómatas sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

1.5.8.2. Desventajas

- Como inconvenientes podríamos hablar, en primer lugar, de que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- No son utilizados para automatizar máquinas o equipos que sean construidas en un alto volumen de producción y para tareas simples de automatización, Por ejemplo, una lavadora de uso doméstico puede ser controlada por un temporizador a levas electromecánico costando algunos cuantos dólares en cantidades de producción, sin embargo si utilizamos un PLC por cada lavadora producida su valor subiría notablemente.

1.5.9. CAMPOS DE APLICACIÓN

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del hardware y software amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales.

Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc., por tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.

Sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como:

- Espacio reducido
- Procesos de producción periódicamente cambiantes
- Procesos secuenciales
- Maquinaria de procesos variables
- Instalaciones de procesos complejos y amplios
- Chequeo de programación centralizada de las partes del proceso

Ejemplos de aplicaciones generales:

- Maniobra de máquinas
- Maquinaria industrial de plástico
- Maquinaria de embalajes
- Maniobra de instalaciones:
 - Instalación de aire acondicionado.
 - Instalaciones de seguridad
- Señalización y control:
 - Chequeo de programas.
 - Señalización del estado de procesos.

Los PLC son utilizados en varias diferentes industrias y máquinas tales como máquinas de empaquetado y de semiconductores. También existe un rango de PLCs fabricados para aplicaciones en automotores, embarcaciones, ambulancias y sistemas móviles.

CAPÍTULO II

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TORNO A SER AUTOMATIZADO

Antes de proceder a la automatización del torno es primordial conocer en forma global todas las características del mismo que influyen en la realización de la automatización propuesta.



Figura 2-1. Vista General del torno

La máquina a ser automatizada es un torno antiguo horizontal de marca DELTA ROCKWELL, el cual cabe recalcar, forma parte del stock de máquinas dadas de baja por antigüedad, y se encontraba a cargo del Laboratorio de Turbomáquinas de la Facultad de Ingeniería Mecánica. Aún se encontraba en condiciones para funcionar, puesto que en dicho laboratorio se lo utilizaba para trabajos menores, y no presentaba fallas considerables más que desgaste normal por uso y tiempo de trabajo.

Se procedió en primer lugar a darle al torno el mantenimiento respectivo para empezar con las tareas correspondientes. Las características del Torno son las siguientes:

2.1.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Potencia: $\frac{3}{4}$ HP
- Distancia entre puntos: 580 mm
- Volteo sobre la bancada: 270 mm
- Volteo sobre el carro: 154 mm
- Paso de la barra: 27 mm
- Número de velocidades: 8
- Rango de velocidades: 50 – 1500 RPM (La variación de velocidades del torno se realiza mediante bandas)
- Avances: Los avances de la máquina se realizan mediante el mecanismo conocido como caja Norton (Figura 2-2).



Figura 2-2. Caja Norton de avances

- Torque en el husillo longitudinal (Con carga): 11 kg.cm; 1,078 N.m
- Torque en el husillo transversal (Con carga): 3 kg.cm; 0,294 N.m

2.2. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

2.2.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El proyecto contempla el diseño y la implementación de un sistema de control a un torno de operación manual utilizando un autómata programable para así disponer de un torno de control numérico en la Facultad; necesario actualmente en el aprendizaje y preparación de profesionales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

Una vez automatizado el torno deberá ser capaz de mecanizar cualquier pieza cilíndrica que para su fabricación sólo sea necesario realizar las operaciones básicas de torneado tales como refrentado y cilindrado.

2.2.2. LIMITACIONES

Se presenta como principal obstáculo el costo implicado en la automatización de la máquina descrita, debido en primera instancia a la antigüedad de la misma, y por otra parte los gastos en componentes electrónicos. Por tanto el diseño deberá contemplar este aspecto entre las características principales. Cabe recalcar que se cuenta con la donación de un PLC facilitado por el Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

2.2.3. ALTERNATIVAS DEL PROTOTIPO

Para conseguir el objetivo del presente proyecto se plantean tres alternativas de solución, y para elegir la mejor opción, se procede a realizar el método ordinal corregido de criterios ponderados³¹.

Se trata de automatizar el torno descrito anteriormente de tal manera que se pueda controlar los movimientos de la cuchilla en los ejes X y Z logrando así obtener un torno de control numérico, que sea capaz de realizar los trabajos de torneado sin la intervención humana. Se toma en cuenta que el diseño involucra también el uso de un PLC Allen Bradley, pues éste será el encargado de controlar

³¹ RIBA C.; Diseño concurrente; Capítulo 1; pág. 59

los actuadores, sensores, etc., que se precisen usar en la máquina. Se busca además demostrar las aplicaciones de los autómatas programables en el campo de las máquinas herramientas:

2.2.3.1. Solución A: Automatización mediante el uso de motores paso a paso para mover los carros.

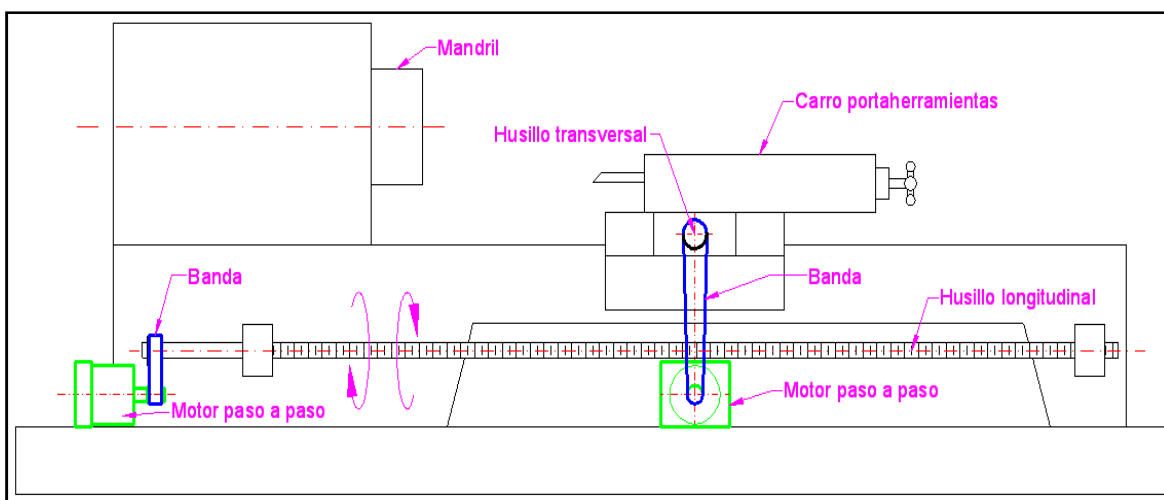


Figura 2-3. Esquema de la alternativa A

En esta alternativa se propone adaptar motores paso a paso para hacer girar a los husillos transversal y longitudinal. Dichos motores transmitirán el movimiento a los husillos mediante bandas o engranajes, y serán controlados por el PLC.

2.2.3.1.1. Características de los motores paso a paso:

Torque: 7 kgf-cm

Voltaje: 2.7 V/Fase

Intensidad: 2.7 A/Fase

Grados: 1.8 Grados/Paso

Precio: aproximadamente 10 usd por cada motor

2.2.3.1.2. Ventajas

- Buena precisión, característica principal de los motores paso a paso
- Una relativa facilidad de acoplamiento al torno

- Resulta muy didáctica la aplicación de este tipo de motores para la automatización deseada.
- El mantenimiento del torno no sería un problema

2.2.3.1.3. Desventajas

- Bajos torques proporcionados por los motores
- Costos elevados para motores con mayor torque
- Involucra mayor trabajo electrónico para su control
- Programación más compleja en el PLC
- La variación de velocidades se ve restringida
- El uso de motores paso a paso para los trabajos de torneado involucra una labor un poco tediosa y lenta por sus velocidades bajas de funcionamiento

2.2.3.2. Solución B: Automatización mediante el uso de un motor reductor y un motor paso a paso para mover los carros longitudinal y transversal respectivamente.

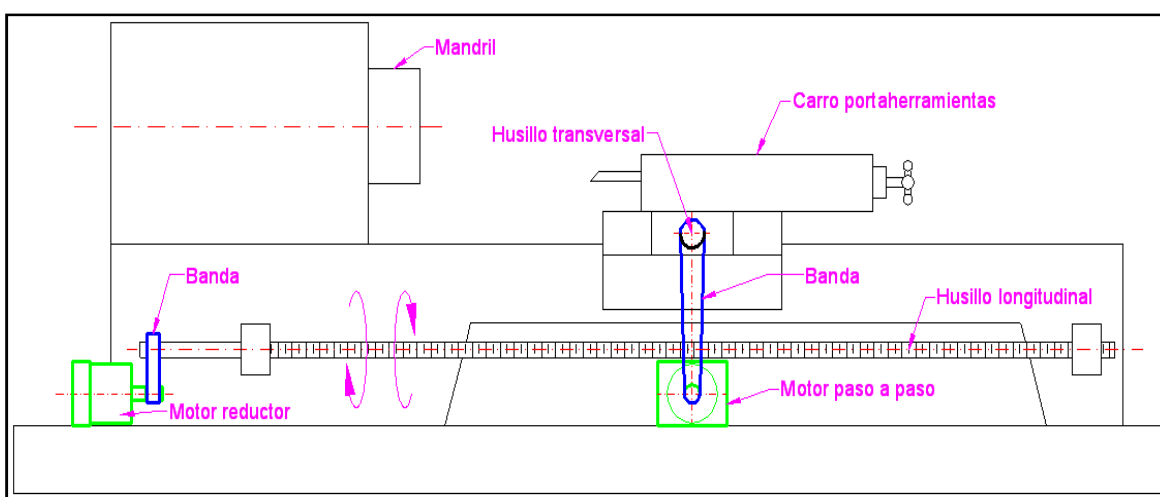


Figura 2-4. Esquema de la alternativa B

La presente opción plantea adaptar un motor reductor para girar el husillo longitudinal, en lugar del motor paso a paso, debido a que se necesita un mayor torque para mover al carro longitudinal. La transmisión de movimiento de los motores también se puede hacer por bandas o engranajes. De igual manera el PLC controlará el movimiento de estos motores.

2.2.3.2.1. *Características del motor paso a paso:*

Torque: 7 kgf-cm

Voltaje: 2.7 V/Fase

Intensidad: 2.7 A/Fase

Grados: 1.8 Grados/Paso

Precio: aproximadamente 10 usd

2.2.3.2.2. *Características del motor reductor:*

Torque: 40 kg.cm; 3,92 N.m

Voltaje: 12 V

Precio: no tiene costo (reciclado)

2.2.3.2.3. *Ventajas*

- Torques adecuados para mover los husillos
- Resulta una opción muy viable
- Diseño novedoso cuya aplicación es muy didáctica
- La labor electrónica disminuye al haber sólo un motor paso a paso
- La programación del motor reductor es más simple
- Costo relativamente bajo
- El usuario se adaptaría fácilmente con el sistema y éste no representa un mantenimiento laborioso

2.2.3.2.4. Desventajas

- La precisión del motor reductor depende de otros elementos adicionales
- Aumento de elementos del sistema para conseguir la automatización deseada
- Dificultad en variar las velocidades de los motores, especialmente del motor reductor

2.2.3.3. Solución C: Automatización mediante el uso de la caja Norton propia del torno para mover el carro longitudinal y adaptación de un motor paso a paso para el carro transversal.

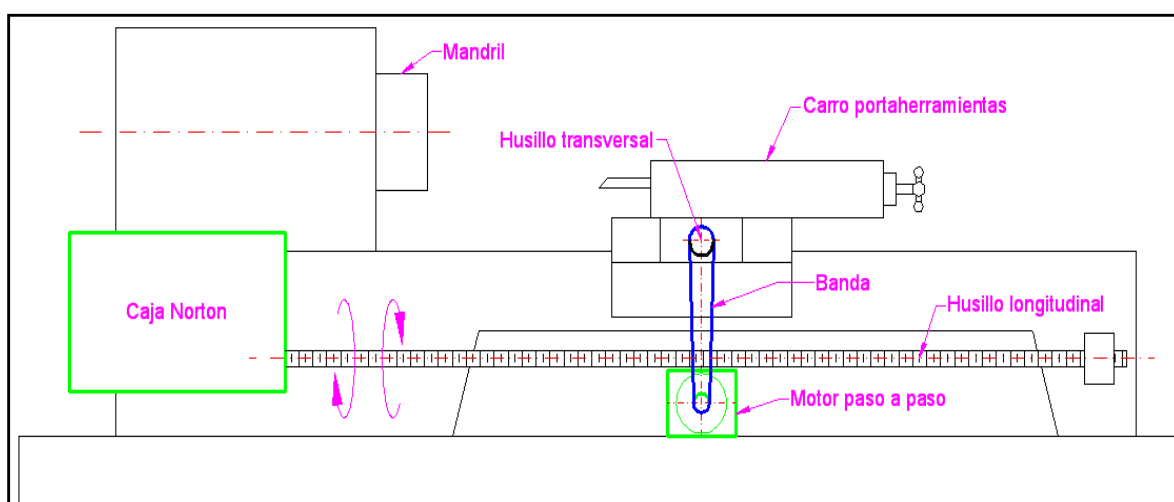


Figura 2-5. Esquema de la alternativa C

En esta alternativa no es necesario prescindir de la caja Norton, puesto que ésta moverá el husillo longitudinal, como es originalmente, y se adaptaría un motor paso a paso para hacer girar el husillo transversal. De igual manera que los casos anteriores la transmisión de movimiento del motor puede hacerse por bandas o engranajes. El PLC controlará el movimiento del motor.

2.2.3.3.1. Características del motor paso a paso:

Torque: 7 kgf-cm

Voltaje: 2.7 V/Fase

Intensidad: 2.7 A/Fase

Grados: 1.8 Grados/Paso

Precio: aproximadamente 10 usd

2.2.3.3.2. *Ventajas*

- Menos trabajo a realizar puesto que sólo se adaptaría un motor al husillo transversal.
- Torques adecuados para mover los husillos
- Se pueden usar la caja Norton para conseguir diferentes pasos y elaborar diferentes piezas de revolución.
- El costo es bajo ya que se usa la mayoría de dispositivos propios de la máquina
- El uso del torno no implicaría capacitación debido a que no se realizan muchos cambios

2.2.3.3.3. *Desventajas*

- Involucra mayor trabajo electrónico y eléctrico para su control debido a que la caja Norton es enteramente mecánica
- La programación en el PLC se complica
- Al usar la caja Norton el torno sería fundamentalmente manual
- Está opción no resulta novedosa para el aprendizaje
- En este caso el mantenimiento es una labor muy importante y que se debe aplicar con regularidad, debido a la antigüedad de la máquina

2.3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Para el proceso de selección se hace necesario categorizar ciertos criterios de valoración. Dichos criterios son los que se consideran más importantes a tomarse en cuenta para las etapas posteriores de diseño.

2.3.1. CRITERIOS DE VALORACIÓN:

- a) Pedagógico, ya que el proyecto contempla servir como un módulo didáctico indispensable para el Laboratorio de Automatización Industrial de Procesos Mecánicos.
- b) Facilidad de control, debido a que el sistema no debe presentar complejidad en sus elementos a ser controlados en cuanto a la programación.
- c) Fiabilidad, el funcionamiento del torno debe responder a las necesidades didácticas de la mejor manera sin que las nuevas adaptaciones produzcan fallos continuos o que conlleven a un mantenimiento sucesivo.
- d) Ergonómico, la automatización mencionada debe justificar la ausencia de un operario y demostrar facilidad y comodidad de manejo.
- e) Precio moderado, como la automatización involucra altos costos por sus elementos electrónicos y eléctricos se debe invertir lo menos posible en la parte mecánica.

A partir de los datos descritos en cada alternativa se procede con la selección a través de los siguientes pasos:

2.3.2. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE CADA CRITERIO

viabilidad = pedagogía > costo > ergonomía = mantenimiento

Criterio	viabilidad	pedagogía	costo	ergonomía	mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Viabilidad		0.5	1	1	1	4.5	0.3
Pedagogía	0.5		1	1	1	4.5	0.3
Costo	0	0		1	1	3	0.2
Ergonomía	0	0	0		0.5	1.5	0.1
Mantenimiento	0	0	0	0.5		1.5	0.1
					Suma	15	1

2.3.2.1. Evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio:

2.3.2.1.1. Evaluación del peso específico del criterio viabilidad

solución B > solución A > solución C

Viabilidad	solución A	solución B	solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
solución A		0	1	2	0.333
solución B	1		1	3	0.500
solución C	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

2.3.2.1.2. *Evaluación del peso específico del criterio pedagogía*

solución B = solución A > solución C

Pedagogía	solución A	solución B	solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
solución A		0.5	1	2.5	0.417
solución B	0.5		1	2.5	0.417
solución C	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

2.3.2.1.3. *Evaluación del peso específico del criterio costo*

solución C > solución B > solución A

Costo	solución A	solución B	solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
solución A		0	0	1	0.167
solución B	1		0	2	0.333
solución C	1	1		3	0.500
			Suma	6	1

2.3.2.1.4. *Evaluación del peso específico del criterio ergonomía*

solución B = solución C > solución A

Ergonomía	solución A	solución B	solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
solución A		0	0	1	0.167
solución B	1		0.5	2.5	0.417
solución C	1	0.5		2.5	0.417
			Suma	6	1

2.3.2.1.5. *Evaluación del peso específico del criterio mantenimiento*

solución B > solución A > solución C

Mantenimiento	solución A	solución B	solución C	$\Sigma+1$	Ponderación
solución A		0	1	2	0.333
solución B	1		1	3	0.500
solución C	0	0		1	0.167
			Suma	6	1

Con los datos anteriores se procede al cálculo de la tabla de conclusiones:

2.3.2.1.6. *Tabla de conclusiones*

Criterio	viabilidad	pedagogía	costo	ergonomía	mantenimiento
solución A	0.333*0.3	0.417*0.3	0.167*0.2	0.167*0.1	0.333*0.1
solución B	0.500*0.3	0.417*0.3	0.333*0.2	0.417*0.1	0.500*0.1
solución C	0.167*0.3	0.167*0.3	0.500*0.2	0.417*0.1	0.167*0.1

Criterio	viabilidad	pedagogía	costo	ergonomía	mantenimiento	Σ	prioridad
solución A	0.100	0.125	0.033	0.017	0.033	0.308	2
solución B	0.150	0.125	0.067	0.042	0.050	0.433	1
solución C	0.050	0.050	0.100	0.042	0.017	0.259	3

De acuerdo al análisis anterior la conclusión es que la solución B es la más apropiada

A continuación se procede al desarrollo del diseño contemplado en la solución elegida y posteriormente a su respectiva construcción.

2.4. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

2.4.1. ADAPTACIÓN DE UN MOTOR REDUCTOR Y UN MOTOR PASO A PASO PARA MOVER LOS CARROS LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL RESPECTIVAMENTE

De acuerdo a la opción escogida se procede inicialmente a adquirir algunos de los elementos que permitirán automatizar el torno. A continuación se describe aquellos elementos que se logró conseguir en el mercado o reciclando de otras máquinas o dispositivos en desuso:

- Motor paso a paso
- Motor reductor de 12V
- Banda dentada de caucho
- Ruedas dentadas para banda
- Piñones de la caja Norton
- PLC Allen Bradley (donado por la FIM)
- Algunos elementos electrónicos y eléctricos

Las demás piezas necesarias serán diseñadas y construidas de acuerdo a los criterios para alcanzar la meta propuesta.

2.4.1.1. Diseño del sistema para acoplar el motor paso a paso al husillo transversal

El diseño se realizará de tal manera que el motor haga girar al husillo, imitando la acción que realiza un operario al girar con su mano la manivela para conseguir el movimiento de la cuchilla en el eje X. Para lo cual se debe disponer de:

- Un motor paso a paso
- Un soporte para el motor paso a paso
- Un par de ruedas dentadas con banda
- Un acople con rosca

En la Figura 2-6 se muestra como estarán dispuestos los elementos descritos.

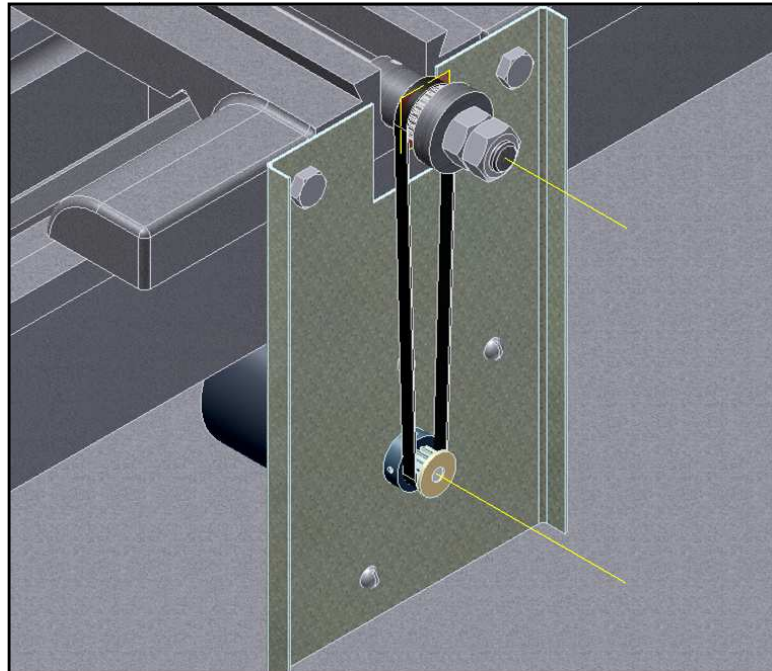


Figura 2-6. Esquema del sistema de transmisión de movimiento del motor paso a paso al husillo transversal

De los elementos anteriormente mencionados, se diseñará el acople y el soporte para el motor, debido a la función que deben cumplir. En cuanto a los demás componentes, no se precisa de un diseño previo puesto que los mismos ya forman parte del stock de elementos ya adquiridos como medida previa antes del diseño.

2.4.1.1.1. Determinación de las dimensiones del soporte del motor paso a paso

El lugar más recomendable para ubicar al motor es detrás de la bancada, ubicando la rueda dentada de transmisión al final del husillo. Las dimensiones del soporte dependen del espacio que se requiere para sujetar al motor a pasos tomando en cuenta el área disponible que existe entre debajo de la bancada y la base del torno, además de tomar en cuenta que todo este sistema debe moverse con el carro longitudinal. La solución planteada es utilizar una placa de tol con las dimensiones a continuación descritas y que responden a las necesidades antes mencionadas:

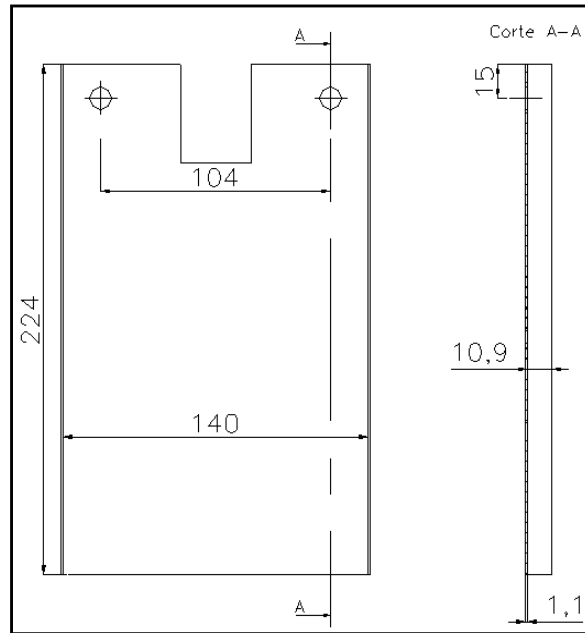


Figura 2-7. Dimensiones de la placa soporte para el motor a pasos

Para saber si las dimensiones responden a las necesidades estructurales es necesario realizar el siguiente análisis que parte del siguiente diagrama:

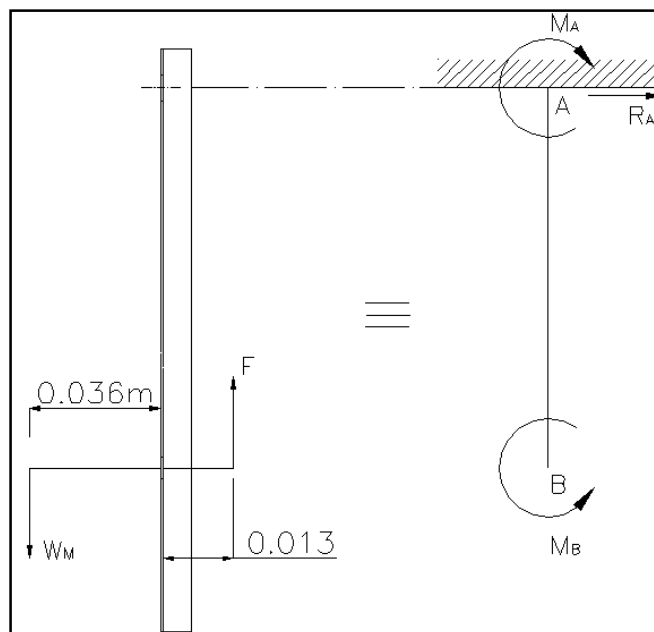


Figura 2-8. Diagrama de cuerpo libre del soporte

$$W_M = 8,92 \text{ (N)}$$

$$F = 62,72 \text{ (N)}$$

$$E = 207 \text{ (GPa)}$$

$$S_y = 248 \text{ (MPa)}$$

$$M_B = M_M + M_F \quad (\text{Ec. 2-1})$$

$$M_B = (0,321 + 0,815) \text{ Nm}$$

$$M_B = 1,136 \text{ Nm}$$

De acuerdo a la forma en que va a ser montada la placa, se analiza la flexión que se realizará sobre la misma, y si afecta de alguna forma al funcionamiento del equipo.

La fórmula para calcular la flexión que sufre el elemento es:

$$x = \frac{M_B \cdot \overline{AB}^2}{2EI} \quad (\text{Ec. 2-2})^{32}$$

$$x = \frac{1,136 \cdot 0,144^2}{2 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{0,154 \cdot 0,0011^3}{12} \right)}$$

$$x = 0,0033 \text{ m}$$

$$x = 3,3 \text{ mm}$$

La deflexión calculada no es considerable, sin embargo para rigidizar a la placa se le realizará en los lados del tol un dobléz.

También se busca saber si en el material no existirá fluencia debido a las cargas aplicadas, con la siguiente fórmula, que corresponde a la teoría del esfuerzo máximo:

³² SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; Tabla A-12; página 849

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (\text{Ec. 2-3})^{33}$$

$$n = \frac{S_y}{\frac{6 \cdot M_{m\acute{a}x}}{b \cdot h^2}}$$

$$n = \frac{248 \cdot 10^6}{\frac{6 \cdot 1,136}{0,154 \cdot 0,0011^2}}$$

$$n = 6,78$$

El factor de seguridad calculado asegura que la placa no fallará por fluencia. Por lo tanto las dimensiones propuestas satisfacen el requerimiento.

2.4.1.1.2. *Determinación de las dimensiones del acople con rosca*

Como se mostró en la Figura 2-6 este acople sirve para sostener a la rueda dentada de transmisión que mediante la banda dentada le da movimiento al husillo. Por tanto se debe calcular el diámetro necesario que le permita a este acople cumplir con su función de ayudar a transmitir el giro del motor y de soportar en casos extremos paros repentinos del husillo. De tal forma se propone construir el acople con las dimensiones indicadas a continuación, considerando que se dispone ya de las ruedas dentadas que transmitirán el giro del motor, por tanto las dimensiones guardan estrecha relación con la rueda dentada superior, resta verificar que estas dimensiones sean satisfactorias para evitar una falla del sistema.

³³ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 6; página 251

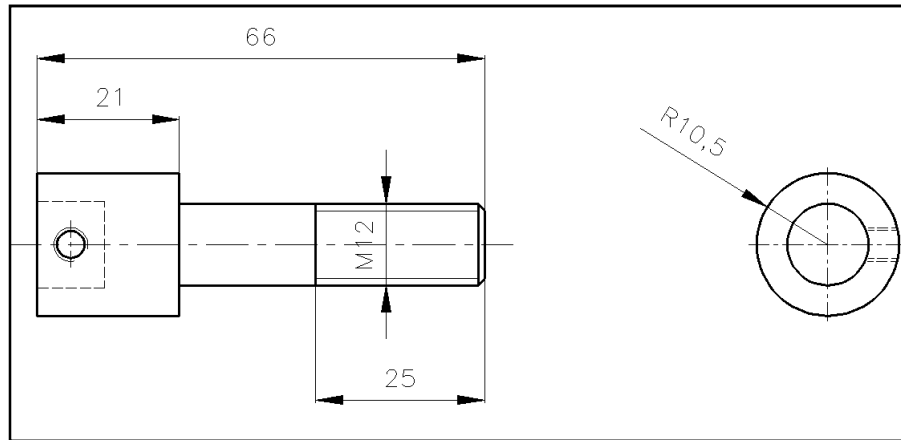


Figura 2-9. Dimensiones del acople

Para conocer si estas dimensiones satisfacen las necesidades estructurales es necesario calcular el factor de seguridad en base a las teorías de falla conocidas, es preciso comenzar por asumir al elemento como una viga empotrada y sometida a las cargas mostradas en la figura:

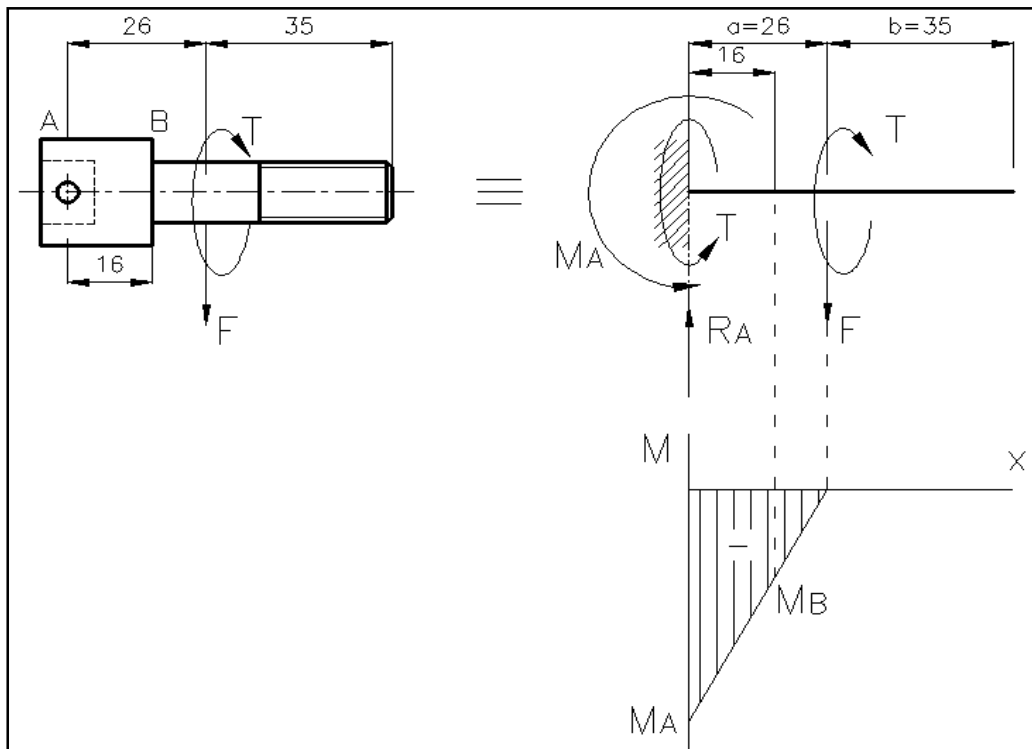


Figura 2-10. Diagrama de cuerpo libre del acople

$$T = 0,69 (N \cdot m) \text{ [Torque del motor a pasos]}$$

$$T_1 = 0,294 (N \cdot m) \text{ [Torque necesario para mover al husillo]}$$

$$F = 62,72 (N)$$

$$S_y = 248 (MPa) = 36(kpsi)$$

$$S_{ut} = 331 (MPa) = 48(kpsi)$$

$$F = V = R_A = 62,72 N \quad (\text{Ec. 2-4})^{34}$$

$$M_A = -F \cdot a \quad (\text{Ec. 2-5})^{35}$$

$$M_A = -62,72 \cdot 0,026$$

$$M_A = -1,63 N \cdot m$$

$$M_B = F(x - a) \quad (\text{Ec. 2-6})^{36}$$

$$M_B = 62,72(0,016 - 0,026)$$

$$M_B = -0,6272 N \cdot m$$

Primero se verifica si el material tiene una buena resistencia a la fluencia:

$$\sigma_x = \frac{M_B \cdot c}{I} = \frac{32 \cdot M_B}{\pi \cdot D_B^3} = \frac{32 \cdot (-0,6272)}{\pi \cdot 0,012^3} \quad (\text{Ec. 2-7})^{37}$$

$$\sigma_x = -3697110 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D_B^3} = \frac{16 \cdot 0,69}{\pi \cdot 0,012^3} \quad (\text{Ec. 2-8})^{38}$$

$$\tau_{xy} = 2033646 \frac{N}{m^2}$$

³⁴ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; Tabla A-12; página 848

³⁵ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; Tabla A-12; página 848

³⁶ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; Tabla A-12; página 848

³⁷ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 2; Ec 2-32; Página 54

³⁸ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 2; Ec 2-47; Página 73

Se obtiene entonces los esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{Ec. 2-9})^{39}$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{-3697110}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-3697110}{2}\right)^2 + 2033646^2}$$

$$\sigma_1 = 899694 \frac{N}{m^2} \quad \sigma_3 = -4596804 \frac{N}{m^2}$$

Con la teoría del esfuerzo normal máximo:

$$n = -\frac{S_y}{\sigma_3} \quad (\text{Ec. 2-10})^{40}$$

$$n = -\frac{248 \cdot 10^6}{-4596804}$$

$$n \approx 54$$

Con la teoría de la energía de distorsión:

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}} \quad (\text{Ec. 2-11})^{41}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{248 \cdot 10^6}{\sqrt{(-3697110)^2 + 3 \cdot 2033646^2}}$$

³⁹ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 2; Ec 2-8; Página 34

⁴⁰ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 6; Página 251

⁴¹ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 6; Página 251

$$n = 48,57$$

Los factores de seguridad calculados aseguran que no existirá fluencia en el acople. Ahora falta verificar si el elemento resistirá una falla por fatiga.

Se considera entonces los diferentes factores que modifican el límite de fatiga, de esta forma se tiene:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e' \quad (\text{Ec. 2-12})^{42}$$

Donde

S_e = límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico

S_e' = límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria

k_a = factor de superficie

k_b = factor de tamaño

k_c = factor de confiabilidad

k_d = factor de temperatura

k_e = factor de modificación por concentración del esfuerzo

k_f = factor de efectos diversos

Según las características del acople:

$$k_a = 0,957 \quad (\text{Ec. 2-13})^{43}$$

Para el diámetro del acople la fórmula adecuada se presenta de la siguiente forma:

$$k_b = 0,869 \cdot d^{-0,097} = 0,869 \cdot 0,472^{-0,097} = 0,935 \quad (\text{Ec. 2-14})^{44}$$

La confiabilidad se toma como un 50% y el valor correspondiente en la tabla para el factor es:

⁴² SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; Página 307; Ec. 7-15

⁴³ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 308; Fig. 7-10

⁴⁴ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 313; Ec. 7-16

$$k_c = 1 \quad (\text{Ec. 2-15})^{45}$$

Como la temperatura de trabajo es menor a 450°C el valor del factor correspondiente es:

$$k_d = 1 \quad (\text{Ec. 2-16})^{46}$$

Para la concentración de esfuerzo necesita el siguiente cálculo:

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{12} = 0,042 \quad (\text{Ec. 2-17})^{47}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{21}{12} = 1,75 \quad (\text{Ec. 2-18})^{48}$$

Con estos valores se obtiene el factor teórico de concentración “ K_t ” y el valor de sensibilidad a las ranuras “ q ”:

$$K_t \approx 1,75^{49}; \quad q \approx 0,52^{50}$$

El valor del factor de reducción de resistencia K_f es:

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (\text{Ec. 2-19})^{51}$$

$$K_f = 1 + 0,52(1,75 - 1) = 1,39$$

Finalmente el factor k_e es:

⁴⁵ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 319; Tabla 7-7

⁴⁶ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 321; Ec. 7-22

⁴⁷ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; página 886; Fig A-26-9

⁴⁸ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; página 886; Fig A-26-9

⁴⁹ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; página 886; Fig A-26-9

⁵⁰ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 323; Fig 7-18

⁵¹ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 322; Ec. 7-25

$$k_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1,39} = 0,719 \quad (\text{Ec. 2-20})^{52}$$

En cuanto al valor de k_f se considera como 1, debido a que no existen otros efectos que influyan en el material. El valor restante por calcular es S_e' el mismo que es:

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut} \quad (\text{Ec. 2-21})^{53}$$

$$S_e' = 0,5 \cdot 48 = 24 \text{ kpsi}$$

Por lo tanto:

$$S_e = 0,957 \cdot 0,935 \cdot 0,719 \cdot 24$$

$$S_e = 15,4 \text{ kpsi} \cdot 6890$$

$$S_e = 106 \text{ MPa}$$

A continuación se definen los esfuerzos de von Mises, medio y alternante:

$$\sigma_a' = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3 \cdot \tau_{xya}^2} = \sqrt{(-3697110)^2 + 3 \cdot 0^2} = 3,7 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 2-22})^{54}$$

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3 \cdot \tau_{xym}^2} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot 2033646^2} = 3,5 \text{ MPa} \quad (\text{Ec. 2-23})^{55}$$

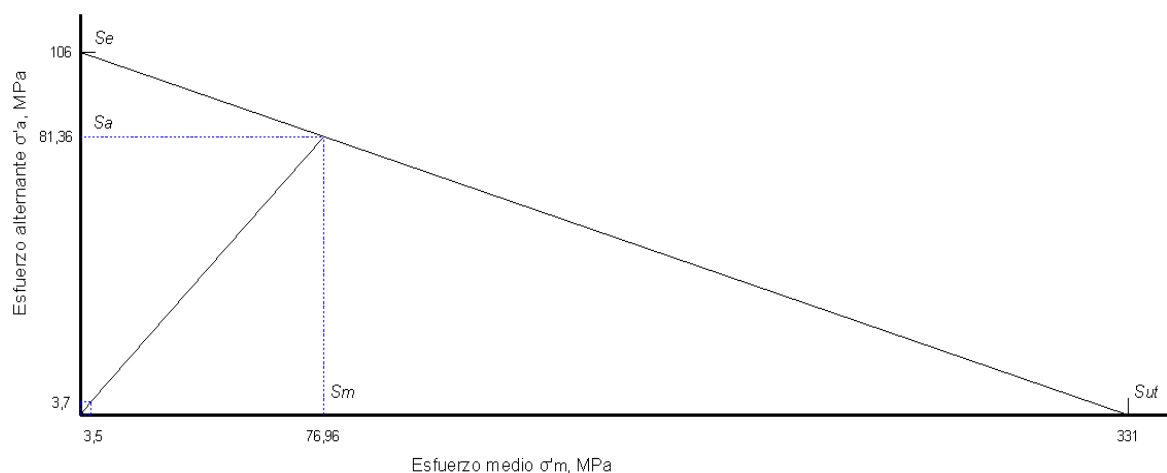


Figura 2-11. Diagrama de fatiga para el acople con rosca⁵⁶

⁵² SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 322; Ec. 7-23

⁵³ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 294; Ec. 7-1

⁵⁴ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 354; Ec. 7-42

⁵⁵ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 354; Ec. 7-42

De la Figura 2-11:

$$n_{(fatiga)} = \frac{S_a}{\sigma_a'} = \frac{81,36}{3,7} \approx 22 \quad (\text{Ec. 2-24})^{57}$$

El factor de seguridad calculado asegura una vida infinita para el elemento.

2.4.1.2. Diseño del sistema para acoplar el motor reductor al husillo longitudinal

El diseño prescinde de la caja Norton y se llevará a cabo de tal manera que el motor haga girar al husillo, imitando la acción que realiza la caja mencionada anteriormente, que mediante el juego de engranajes consigue los diferentes avances del carro longitudinal. Para lo cual se debe disponer de:

- Un motor reductor
- Dos piñones de dientes rectos
- Un acople para adaptar el piñón al motor
- Una estructura que sirva de apoyo para el motor

En la Figura 2-12 se muestra como estarán dispuestos los elementos descritos.

⁵⁶ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 334; Fig. 7-25

⁵⁷ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 331

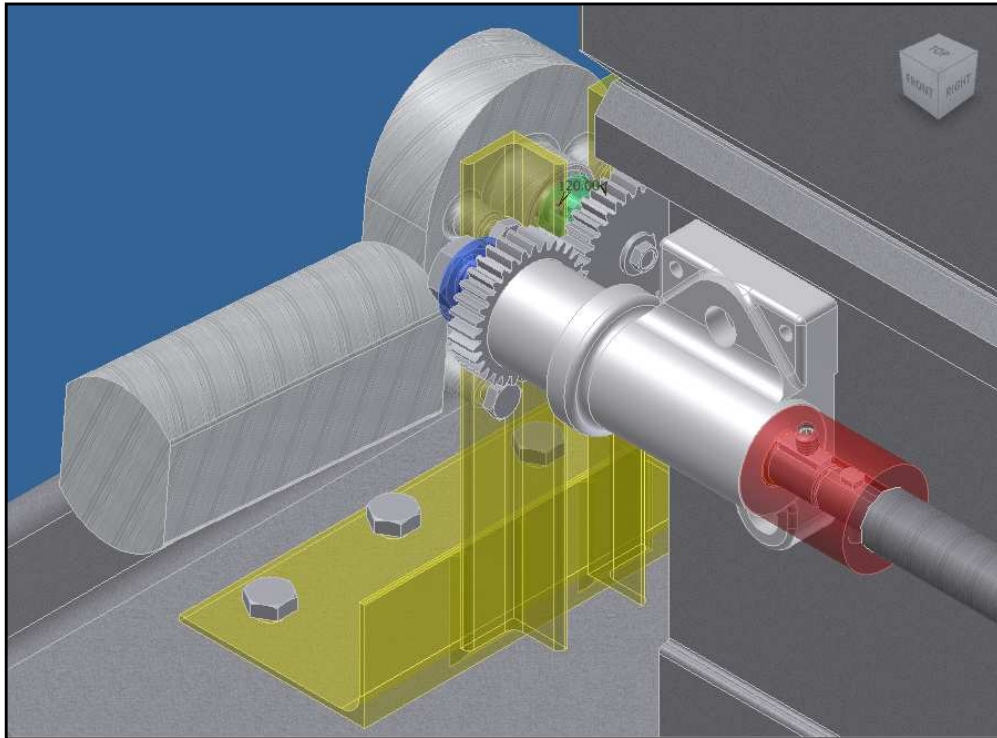


Figura 2-12. Esquema del sistema de transmisión de movimiento del motor reductor al husillo longitudinal

De los elementos descritos se dispone del motor y de los piñones, estos últimos se obtuvieron de la caja Norton deshabilitada, los demás elementos se diseñaran de acuerdo a las exigencias propias del sistema.

2.4.1.2.1. *Determinación de las dimensiones del acople para el piñón*

Este acople permitirá al motor hacer girar al piñón motriz, por lo tanto debe disponer de una chaveta para darle tracción a la rueda dentada. Se propone diseñar el acople con las características descritas partiendo del siguiente diagrama:

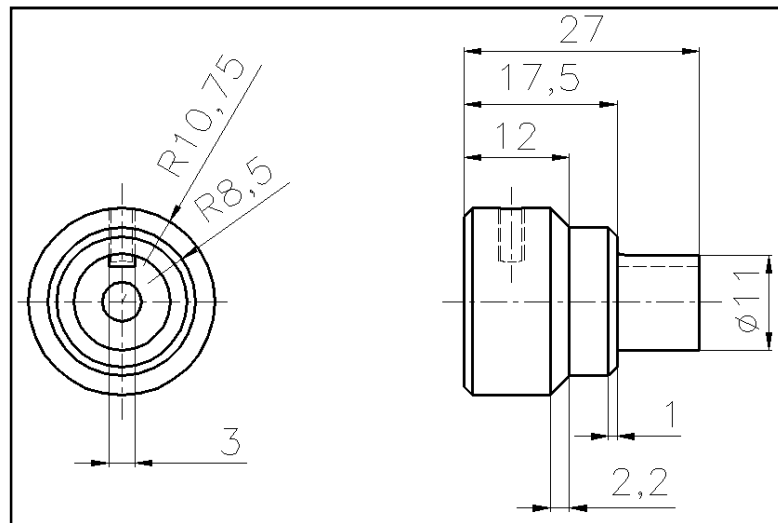


Figura 2-13. Dimensiones del acople para el piñón

Las dimensiones propuestas toman en cuenta la adaptación de los piñones ya existentes, es decir los que se obtienen de la caja Norton del torno.

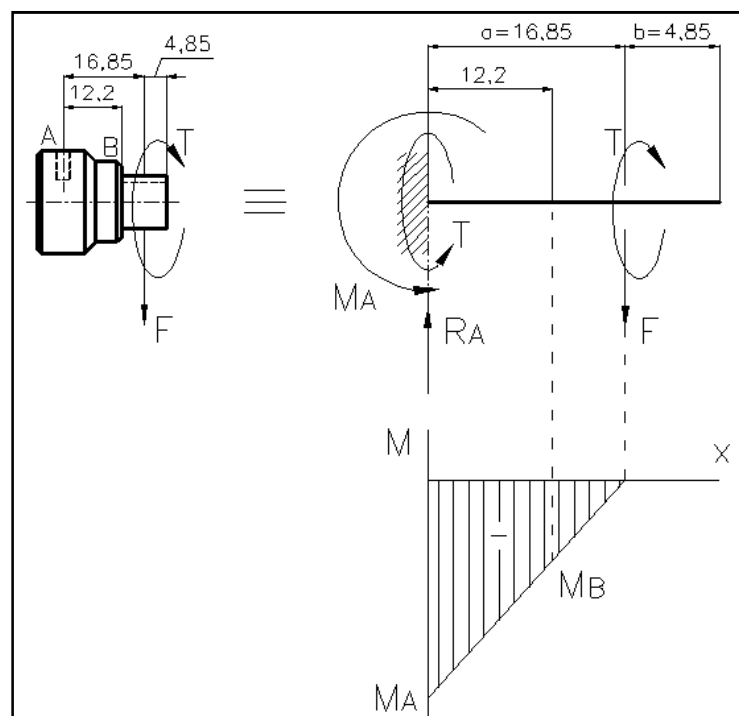


Figura 2-14. Diagrama de cuerpo libre del acople para el piñón

$$T = 3,92 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ (} N \cdot \text{m)} \text{ [Torque del motor reductor]}$$

$$T_1 = 1,078 \text{ (} N \cdot \text{m)} \text{ [Torque necesario para mover al husillo]}$$

$$F = 98 \text{ (N)}$$

$$S_y = 248 \text{ (MPa)} = 36 \text{ (kpsi)}$$

$$S_{ut} = 331 \text{ (MPa)} = 48 \text{ (kpsi)}$$

Con la ecuación 2-4 y 2-5:

$$F = V = R_A = 98 \text{ N}$$

$$M_A = -F \cdot a$$

$$M_A = -98 \cdot 0,017$$

$$M_A = -1,67 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Luego con la ecuación 2-6:

$$M_B = F(x - a)$$

$$M_B = 98(0,012 - 0,017)$$

$$M_B = -0,49 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Primero se verifica si el material tiene una buena resistencia a la fluencia con la ecuación 2-7 y 2-8:

$$\sigma_x = \frac{M_B \cdot c}{I} = \frac{32 \cdot M_B}{\pi \cdot D_B^3} = \frac{32 \cdot (-0,49)}{\pi \cdot 0,011^3}$$

$$\sigma_x = -3749886 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{T \cdot r}{J} = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot D_B^3} = \frac{16 \cdot 3,92}{\pi \cdot 0,011^3}$$

$$\tau_{xy} = 14999546 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Se obtiene entonces los esfuerzos principales con la ecuación 2-9:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{-3749886}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{-3749886}{2}\right)^2 + 14999546^2}$$

$$\sigma_1 = 13241333 \frac{N}{m^2} \quad \sigma_3 = -16991219 \frac{N}{m^2}$$

Con la teoría del esfuerzo normal máximo se calcula el factor de seguridad (ecuación 2-10):

$$n = -\frac{S_y}{\sigma_3}$$

$$n = -\frac{248 \cdot 10^6}{-16991219}$$

$$n = 14,6$$

Con la teoría de la energía de distorsión, (ecuación 2-11):

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{S_y}{\sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau_{xy}^2}}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} = \frac{248 \cdot 10^6}{\sqrt{-3749886^2 + 3 \cdot 14999546^2}}$$

$$n = 9,45$$

Los factores de seguridad calculados aseguran que no existirá fluencia en el acople. Ahora falta verificar si el elemento resistirá una falla por fatiga. Se utiliza nuevamente los factores que modifican el límite de fatiga con ayuda de la ecuación 2-12:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Con las características del elemento y la ecuación 2-13:

$$k_a = 0,957$$

Para el diámetro del acople se utiliza la ecuación 2-14:

$$k_b = 0,869 \cdot d^{-0,097} = 0,869 \cdot 0,433^{-0,097} = 0,942$$

La confiabilidad se toma como un 50%, el valor adecuado es (ecuación 2-15):

$$k_c = 1$$

Como la temperatura de trabajo es menor a 450°C el valor del factor es (ecuación 2-16):

$$k_d = 1$$

Para la concentración de esfuerzo se necesita las ecuaciones 2-17 y 2-18:

$$\frac{r}{d} = \frac{0,5}{11} = 0,045$$

$$\frac{D}{d} = \frac{16}{11} = 1,45$$

Con estos valores se obtiene el factor teórico de concentración “ K_t ” y el valor de sensibilidad a las ranuras “ q ”:

$$K_t \approx 2,1^{58}; \quad q \approx 0,52^{59}$$

El valor del factor de reducción de resistencia K_f es (ecuación 2-19):

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0,52(2,1 - 1) = 1,572$$

Finalmente el factor k_e es (ecuación 2-20):

$$k_e = \frac{1}{K_f} = \frac{1}{1,572} = 0,636$$

En cuanto al valor de k_f se considera como 1, debido a que no existen otros efectos que influyan en el material. El valor restante por calcular es S_e' el mismo que es (ecuación 2-21):

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 \cdot 48 = 24 \text{ kpsi}$$

Por lo tanto:

$$S_e = 0,957 \cdot 0,942 \cdot 0,636 \cdot 24$$

$$S_e = 13,8 \text{ kpsi} \cdot 6890$$

$$S_e = 95 \text{ MPa}$$

A continuación se definen los esfuerzos de von Mises, medio y alternante con las ecuaciones 2-22 y 2-23:

$$\sigma_a' = \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 3 \cdot \tau_{xya}^2} = \sqrt{(-3749886)^2 + 3 \cdot 0^2} = 3,7 \text{ MPa}$$

⁵⁸ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Apéndice; página 886; Fig A-26-9

⁵⁹ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 323; Fig 7-18

$$\sigma_m' = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3 \cdot \tau_{xym}^2} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot 14999546^2} = 26 \text{ MPa}$$

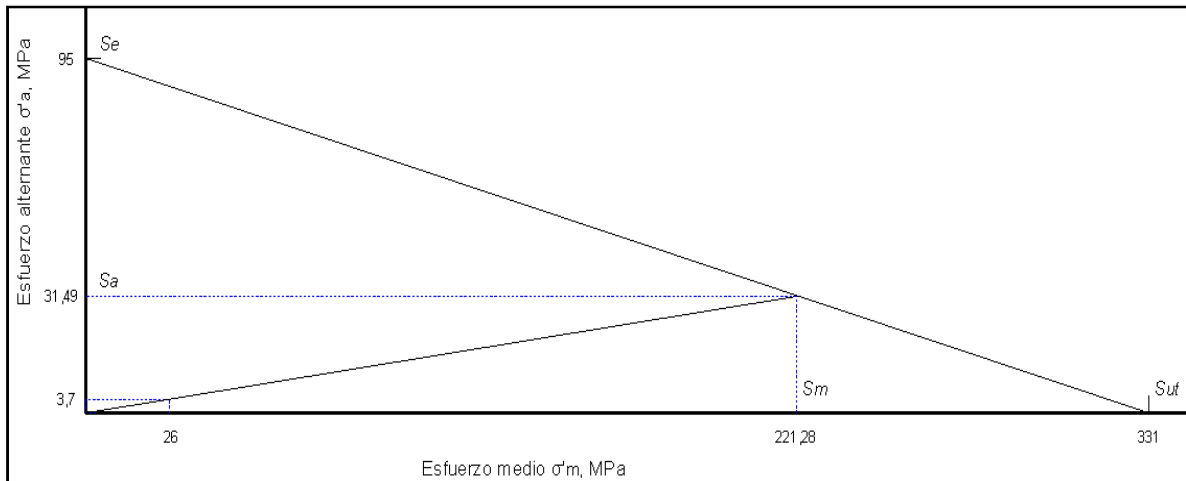


Figura 2-15. Diagrama de fatiga del acople para el piñón⁶⁰

Finalmente con la ecuación 2-24:

$$n_{(fatiga)} = \frac{S_a}{\sigma_a'} = \frac{31,49}{3,7} \approx 8,51$$

El factor de seguridad calculado asegura una vida infinita para el elemento.

2413. Determinación de las dimensiones de la estructura que sostendrá el motorreductor

La estructura deberá soportar el peso del motor y tener la estabilidad necesaria para que el motor transmita el torque necesario para mover el husillo longitudinal. Se plantea que el motor se sujete a la estructura por medio de pernos sirviéndose de los agujeros que posee el mismo motor, en la Figura 2-12 se muestra con mayor claridad la forma de cómo se sostendrá el motor al soporte propuesto, el cual consta de dos perfiles en L soldados a una placa base y ésta a su vez empernada a la base de la

⁶⁰ SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo 1; 3ra edición; Capítulo 7; página 334; Fig. 7-25

bancada del torno. Las dimensiones del soporte guardan estrecha relación con la posición que debe ocupar el motor, y son las siguientes:

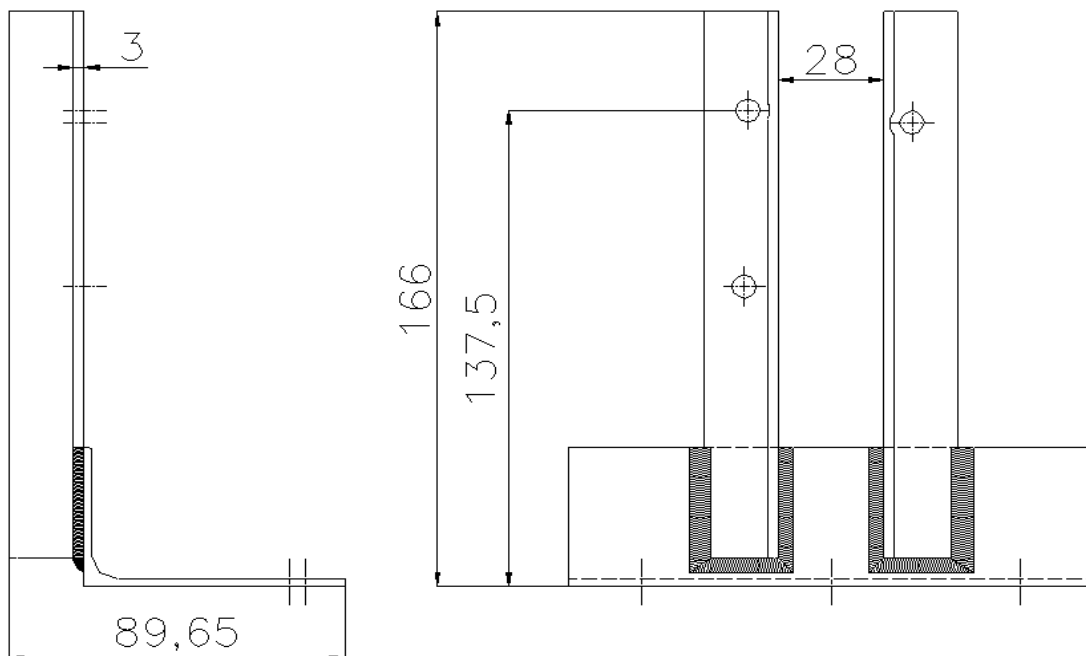


Figura 2-16. Dimensiones del soporte que sujetará al motorreductor

Las dimensiones propuestas satisfacen el requerimiento del diseño en cuanto a geometría y adaptación, además de mostrar robustez para soportar al motor. Los cálculos que se realizan a continuación, tienen como objetivo demostrar que el soporte posee lo necesario para satisfacer las necesidades estructurales. Para esto se toma de referencia sólo uno de los perfiles soldados, asumiendo que fuera éste el que recibe toda la carga; además se considera en lugar de un perfil una placa de sección rectangular de 20x3. En la Figura 2-17 se muestra el diagrama de cuerpo libre del elemento antes descrito.

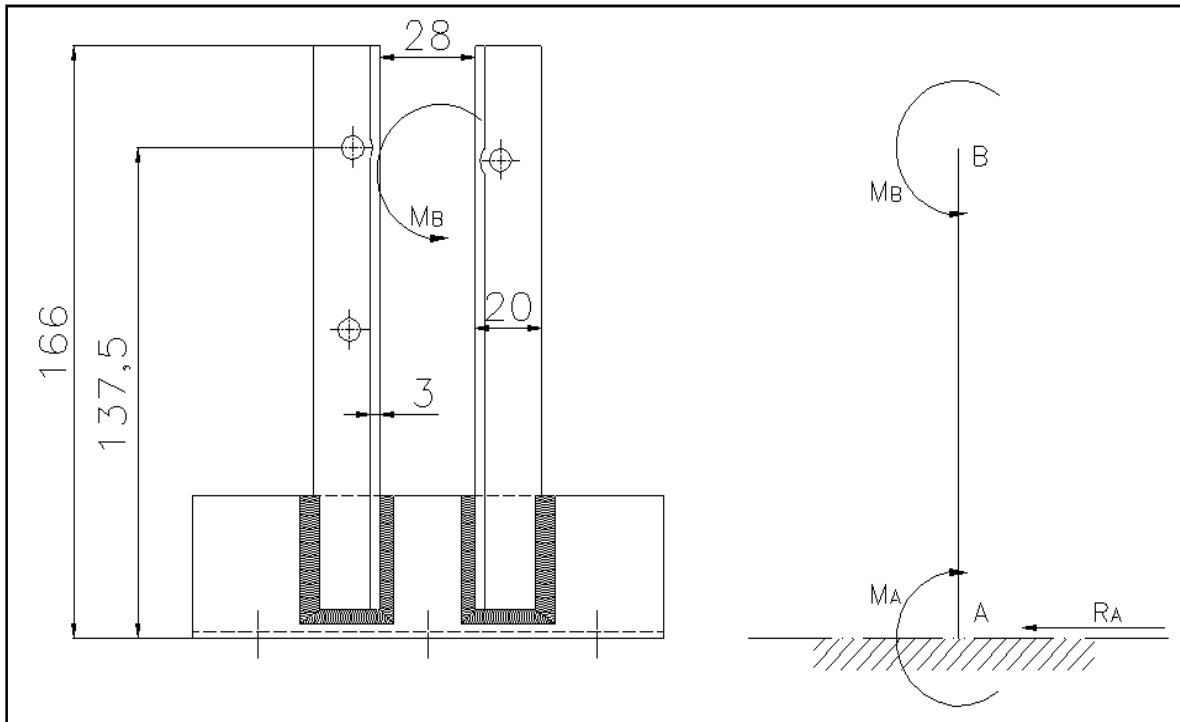


Figura 2-17. Diagrama de cuerpo libre del perfil en L

$$E = 207 \text{ (GPa)}$$

$$S_y = 248 \text{ (MPa)}$$

$$M_B = 3,92 \text{ (Nm)} \text{ (Torque que realiza el motor para hacer girar el husillo longitudinal)}$$

Se analiza la flexión que sufre el componente con la ecuación 2-2:

$$x = \frac{M_B \cdot \overline{AB}^2}{2EI}$$

$$x = \frac{3,92 \cdot 0,138^2}{2 \cdot 207 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{0,003 \cdot 0,02^3}{12} \right)}$$

$$x = 9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

$$x \approx 0,1 \text{ mm}$$

La deflexión calculada no es considerable lo que demuestra la rigidez que posee el perfil. Adicionalmente se verifica si resiste a la fluencia con la ecuación 2-3:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{m\acute{a}x}}$$

$$n = \frac{S_y}{\frac{6 \cdot M_{m\acute{a}x}}{b \cdot h^2}}$$

$$n = \frac{248 \cdot 10^6}{\frac{6 \cdot 3,92}{0,003 \cdot 0,02^2}}$$

$$n = 12,65$$

El factor de seguridad calculado asegura que la placa no fallará por fluencia. Por lo tanto las dimensiones propuestas satisfacen el requerimiento.

2.5. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE CONTROL

En cuanto al sistema eléctrico se debe tomar en cuenta que se adaptará al torno un PLC, el cual controlará todos los movimientos y funciones que realizará la máquina automatizada. En consecuencia el presente diseño buscará instalar el PLC como objetivo principal, de acuerdo a los recursos disponibles de la máquina.

El torno originalmente funciona con un motor monofásico de $\frac{3}{4}$ HP, el cual mueve el mecanismo de poleas mediante bandas; el encendido y apagado del motor se realiza con una palanca que permite accionar los dos sentidos de giro (Figura 2-18).



Figura 2-18. Interruptor para encendido del motor del torno

Como el torno ya no dispondrá de la caja Norton, ya no es necesario usar los dos sentidos de giro en el torno, y por cuestiones de seguridad es necesario deshabilitar uno de estos giros. Se opta entonces por conservar el giro más usado en las operaciones de torneado, es decir, el sentido anti horario. Además este interruptor servirá también para energizar a todo el sistema, en otras palabras, será el interruptor de encendido principal.

2.5.1. INSTALACIÓN DEL PLC Y DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL

El mejor lugar para ubicar el PLC es debajo del cabezal fijo, por debajo de la base del torno, pues aquí existe un compartimiento con puerta, el cual puede proteger perfectamente al PLC y evita también que éste y sus conexiones estorben durante las operaciones de torneado. Para sujetar este dispositivo se tiene previsto realizar un soporte de tol, de las siguientes características (Figura 2-19), adecuadas al espacio dentro del compartimiento. En este soporte se ubicarán también los diferentes elementos eléctricos necesarios para el funcionamiento del sistema de control. Para el soporte propuesto en la próxima figura sólo se indica las dimensiones que tendrá el mismo de acuerdo al espacio disponible dentro del gabinete de la máquina, la ubicación de los pernos de sujeción para el riel DIN y del mismo soporte,

se deja a criterio durante la instalación del sistema pues dependerá de la organización que se le dé a los elementos eléctricos.

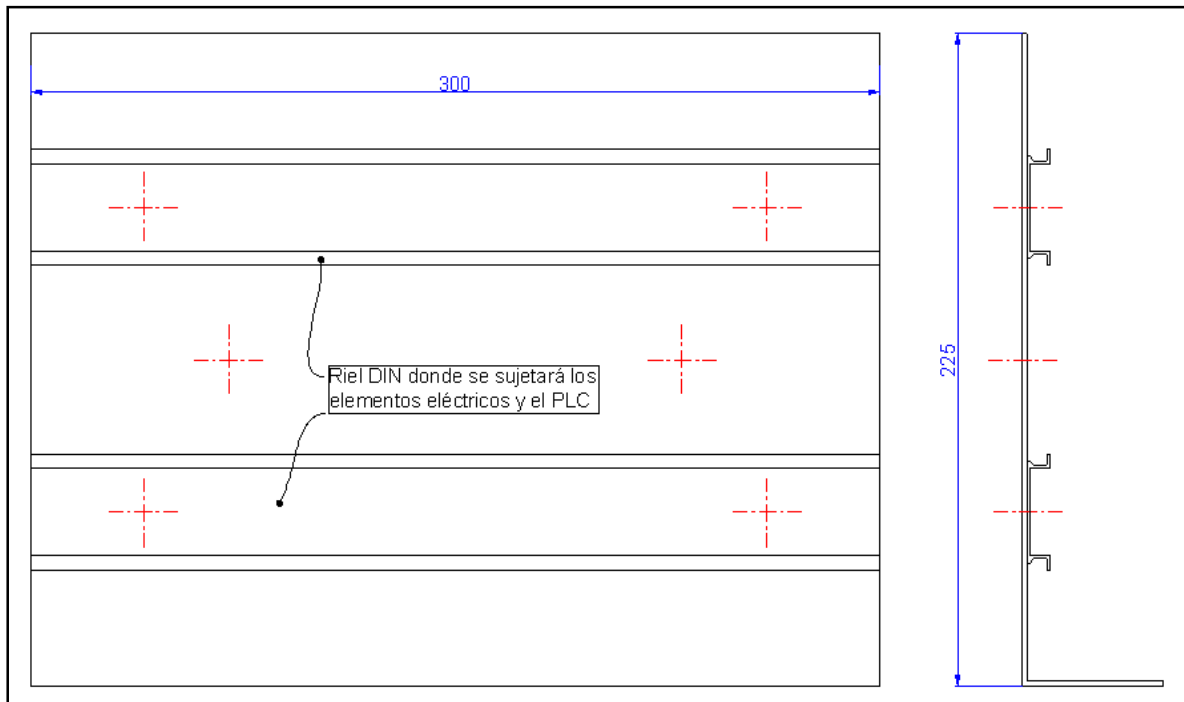


Figura 2-19. Soporte del PLC y de los elementos eléctricos

Para conseguir realizar los diferentes movimientos de la máquina, se necesita de los siguientes elementos:

- Puente rectificador de 35A
- Transformador de 12V y 3V
- Transformador de 24 V
- Fuente de 5V 1500mA para microcontrolador
- Minirelay 12VDC con base
- Riel DIN 35mm Aluminio
- Cable cuenca flexible 16
- Contactor 18A 110V
- Reles Auxiliares
- Cable UTP 6pares

- Cable UTP 4pares
- Bornera para riel DIN #12 20A
- Barra unión equipotencial
- Bornera para riel DIN 2.5mm
- Tarjeta motor paso a paso
- Tarjeta microcontrolador
- Cable sucre 3x18
- Cable sucre 2x10

2.5.2. DISEÑO DEL TABLERO DE CONTROL Y UBICACIÓN DEL MISMO EN EL TORNO

Para hacer funcionar a la máquina automatizada se necesita de un tablero de mando que permita utilizar cada operación de torneado que el sistema dispone. El mencionado tablero, contará con los pulsadores eléctricos como se muestra en la Figura 2-20:



Figura 2-20. Pulsadores eléctricos para el tablero de control⁶¹

⁶¹ http://invader.vtrbandaancha.net/Pulsadores_chinitos.jpg

Con el tablero se pretende efectuar las acciones que normalmente un operario de la máquina realizaría manualmente, por tanto se busca: prender y apagar al torno, mover al carro transversal hacia adentro y hacia afuera, al carro longitudinal hacia la derecha y hacia la izquierda; y en el aspecto automático el tablero permitirá: ubicar y grabar puntos de trayectoria, también se podrá borrar dichos puntos para guardar nuevos. La trayectoria de la que se habla será la misma que la cuchilla seguirá para dar forma a la pieza. Para la distribución de los pulsadores en el tablero se tomará en cuenta los siguientes elementos (Figura 2-21):

- Un botón de encendido del mandril (A)
- Un botón de apagado del mandril (B)
- Un interruptor para cambio de mando manual a automático y viceversa (C)
- Cuatro pulsadores para los movimientos en el modo manual (D)
- Dos potenciómetros de precisión para ingresar puntos de posición (E)
- Un botón para grabar puntos de trayectoria (F)
- Un botón para borrar la memoria (G)
- Un pulsador para apagado de emergencia
- Una pantalla para visualizar los puntos de trayectoria (H)

El botón de apagado de emergencia no estará ubicado en el mismo tablero, debido a que por lo regular este botón se suele accionar con ímpetu, y se corre el riesgo de que se estropee el tablero o cualquiera de sus elementos. La distribución de los pulsadores en el tablero se indica en la siguiente figura:

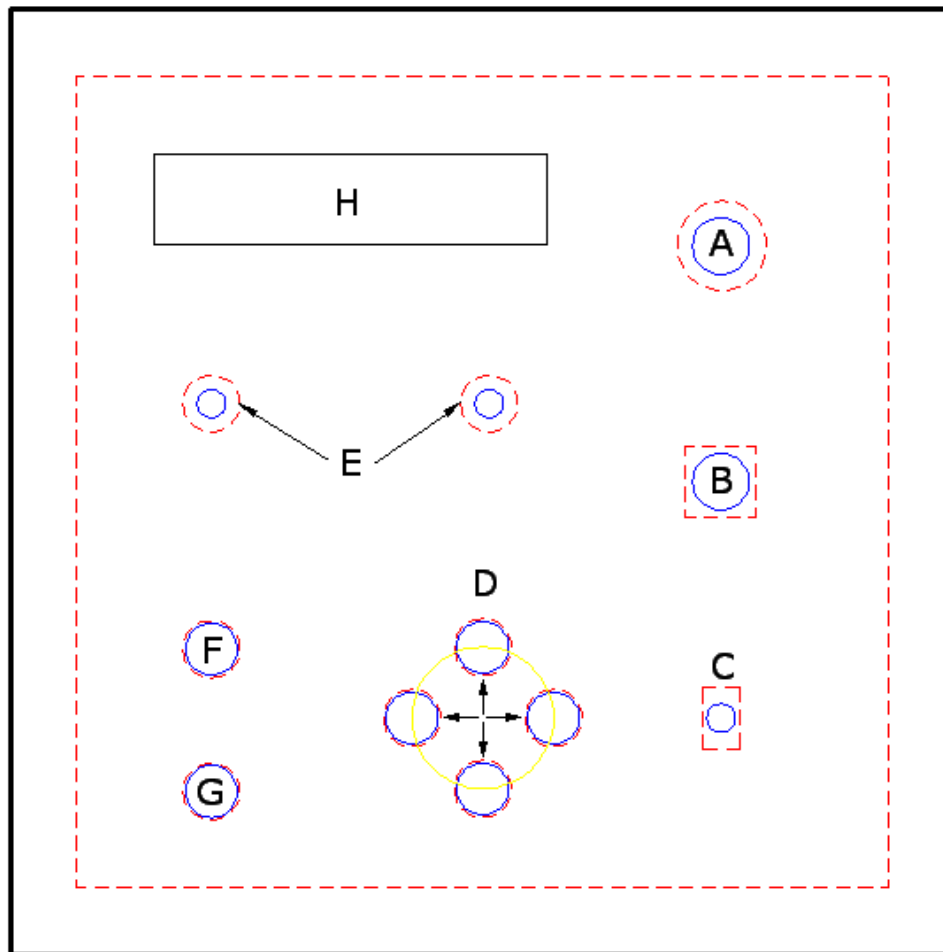


Figura 2-21. Distribución de los pulsadores en el tablero de control

Por razones de ergonomía se propone ubicar al tablero debajo de la base del torno, y se prevé utilizar una caja de tol para este propósito. Se podrá sujetar esta caja mediante unos perfiles y con pernos que se ajustarán a la base del torno como se indica en la Figura 2-22

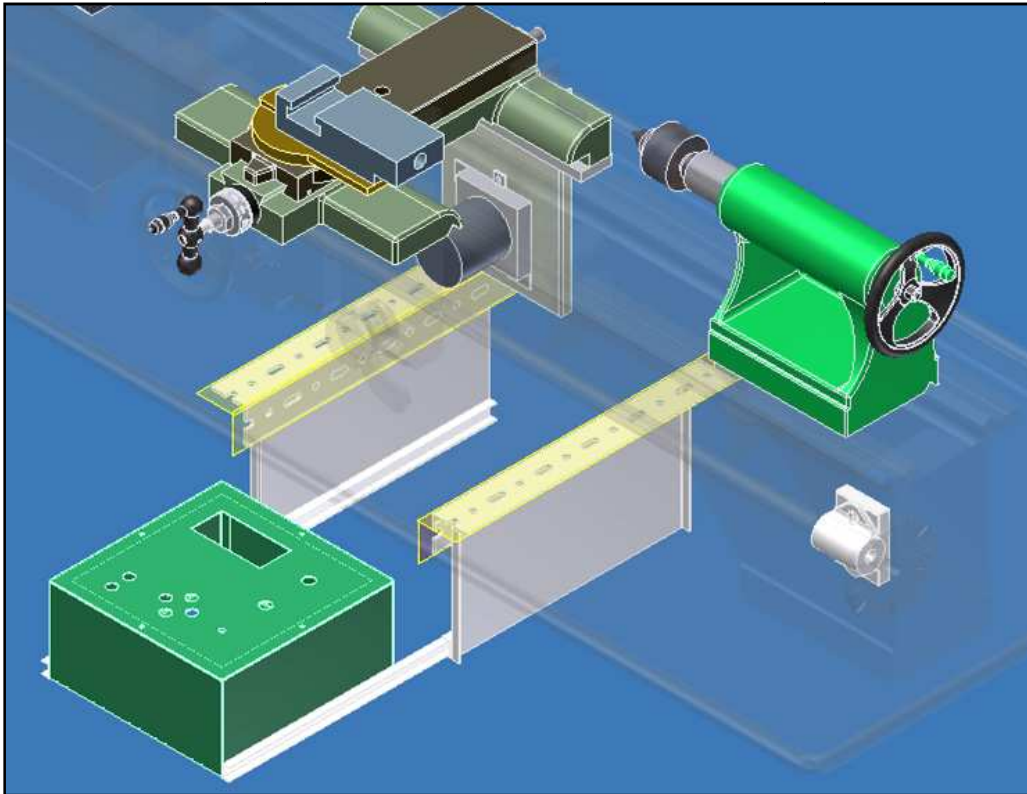


Figura 2-22. Ubicación del tablero de control en el torno

2.5.3. SELECCIÓN DE LOS FINES DE CARRERA

Para la automatización del torno es necesario contar con elementos electrónicos que sirven para suplir la atención que un operario debe dar a la seguridad durante el trabajo. Estos elementos son sensores de contacto llamados fines de carrera, los cuales tienen el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito, que para el presente caso, resulta en la detención del movimiento de los carros. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA o NO en inglés), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados, de ahí la gran variedad de fines de carrera que existen en mercado.

La mayoría de estos sensores funcionan de forma mecánica, como un interruptor común, es por eso que también suelen ser llamados interruptores de posición. Sin

embargo también existen sensores que funcionan con magnetismo, para que el efecto magnético en vez de un mando mecánico, sea el que realice la acción de interrupción. Los diferentes tipos de sensores se indican en el Anexo A-2.

De los sensores anteriormente mencionados se opta por utilizar los sensores magnéticos, pues debido a que el torno no va a ser totalmente automático, este puede ser aún operado manualmente, y los otros sensores por su principio de funcionamiento, corren peligro de dañarse y consecuentemente producir una avería en la máquina.

2.5.3.1. Posición de los sensores fines de carrera en el torno

Para ubicar los sensores en los diferentes puntos que servirán de referencia como fin de carrera, se debe considerar los diferentes movimientos que realizan los mecanismos actuadores de la máquina. Es decir se considera el movimiento realizado por el carro principal en el sentido longitudinal; y el movimiento del carro transversal, que es el que determina la profundidad de corte.

Para el caso del carro transversal se considera la pieza de máximo diámetro que se puede tornearse más una distancia de seguridad, se estima que el total de desplazamiento es de 95 mm aproximadamente y la posición que ocuparía el sensor se muestra en la Figura 2-23

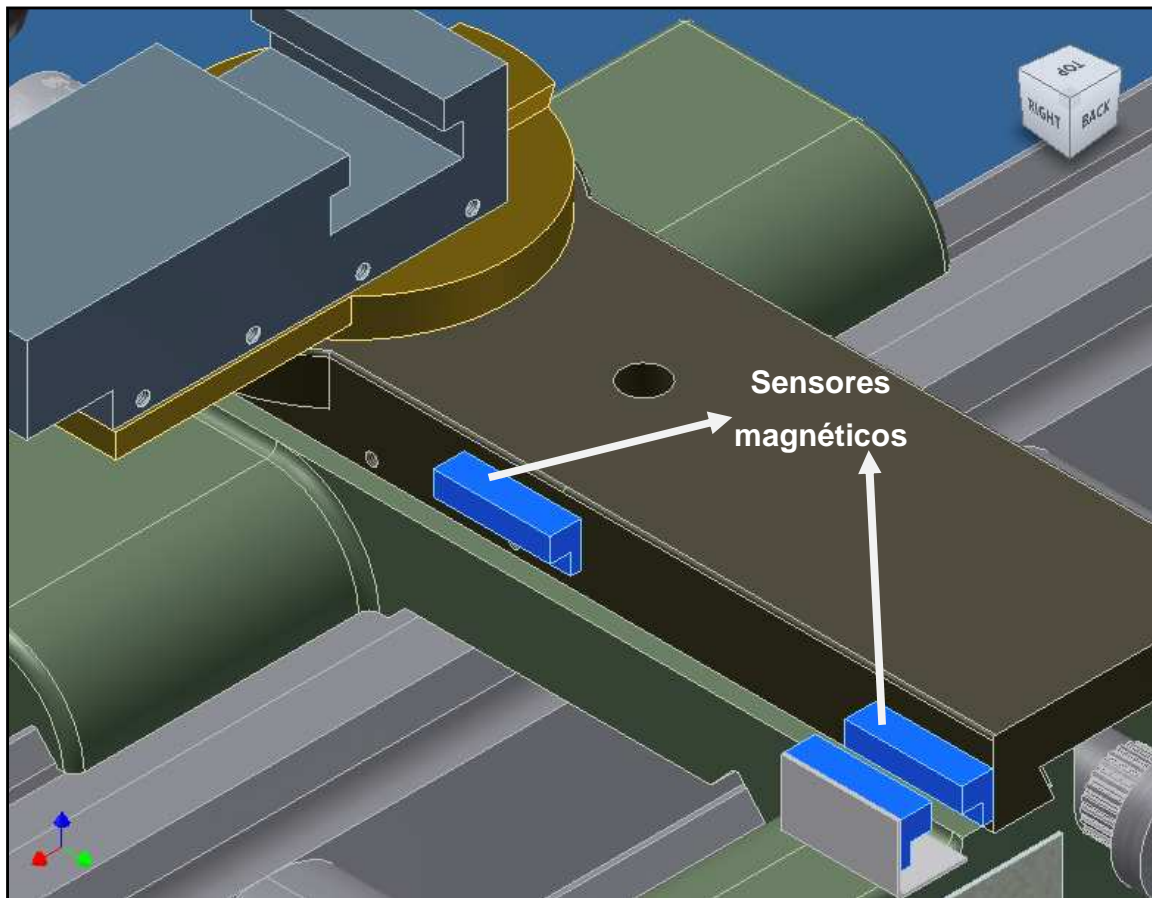


Figura 2-23. Posición de los fines de carrera para el movimiento transversal

Los sensores para el carro longitudinal consideran primero una longitud de pieza de trabajo de 400 mm más una distancia de seguridad, el desplazamiento total es de 480 mm aproximadamente, pero el fin de carrera que evita el choque con el mandril se ubicará de tal manera que el movimiento del carro se detenga a 25 mm de las mordazas del mandril cuando éstas están cerradas. En la Figura 2-24 se indica cómo estarán dispuestos estos sensores.

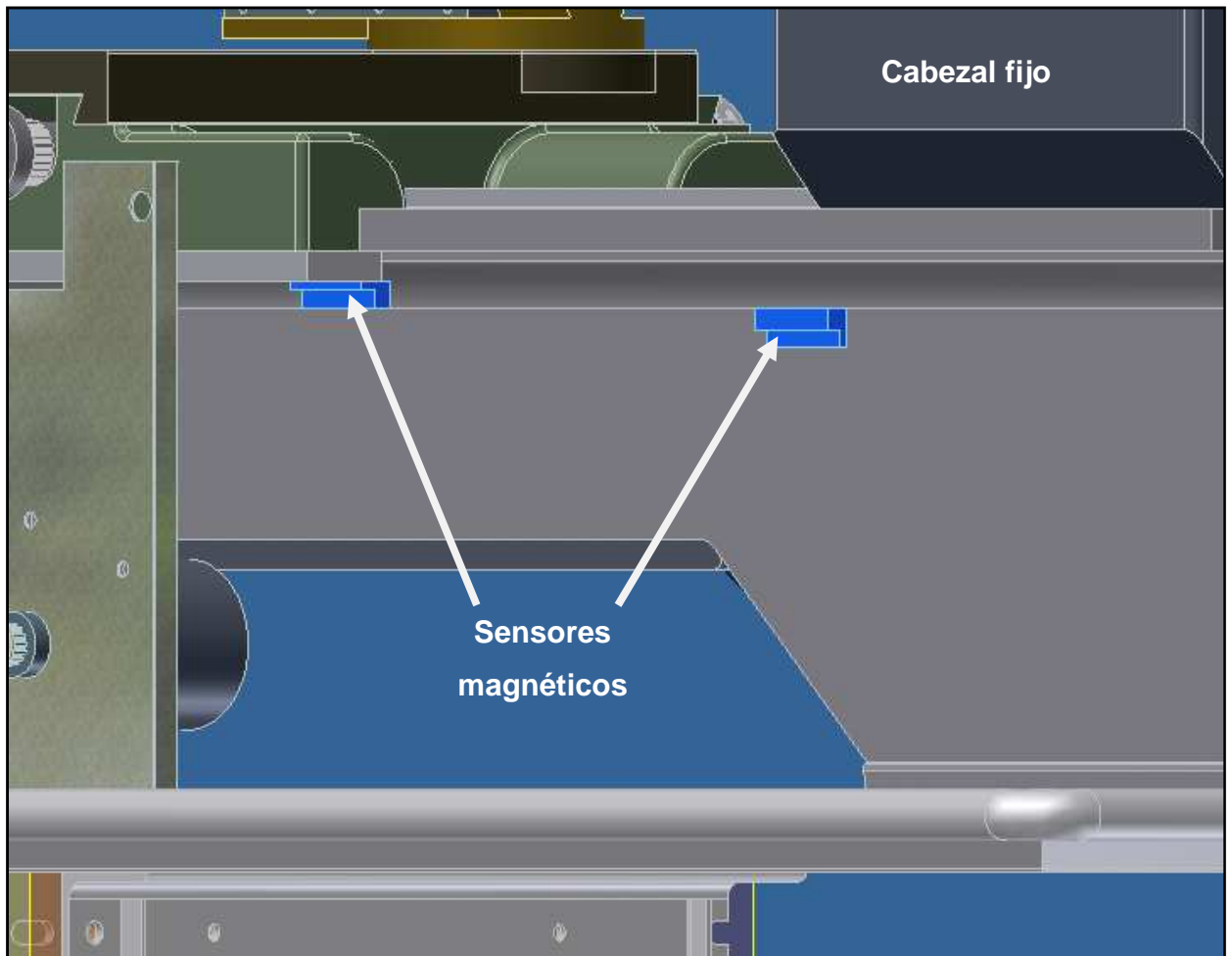


Figura 2-24. Posición de los fines de carrera detrás de la bancada para evitar el choque del carro principal con el mandril

En la Figura 2-25 se muestra la ubicación que ocuparán los demás sensores de fin de carrera, los que limitan el desplazamiento longitudinal del carro principal hacia el otro extremo de la bancada y también el fin de carrera que se ubicará en el contrapunto para que éste sea la referencia a la cual debe detenerse el carro, dependiendo de la longitud de la pieza a torneear.

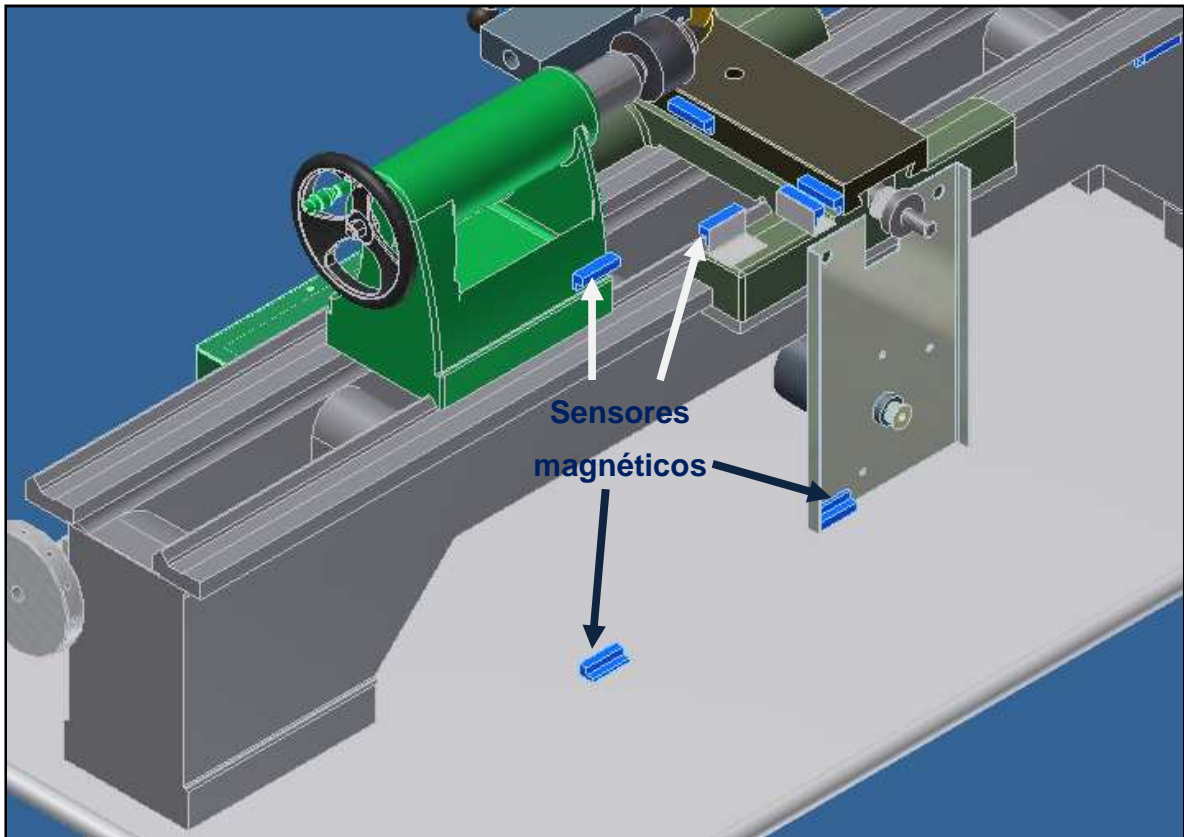


Figura 2-25. Posición de los fines de carrera detrás de la bancada y en el contrapunto

2.5.4. DISEÑO DEL ENCODER PARA CONTROLAR LA POSICIÓN DEL CARRO LONGITUDINAL

En un motor a pasos, la característica principal es el hecho de poder moverlo un paso a la vez por cada pulso que se le aplique, y así controlar su posición. Sin embargo en el motor reductor no se cuenta con esta ventaja, por lo que se hace necesario contar con un accesorio que permita conocer la posición del carro, el cual depende del movimiento del motorreductor. Dicho aditamento se conoce como encoder y el mismo utiliza un sensor inductivo que sensa el paso en grados de un disco transmitiendo los datos al PLC y así poder controlar la posición circular del husillo longitudinal. A su vez conociendo el paso del tornillo se puede conocer la posición del carro longitudinal.

El disco antes mencionado se debe conectar al husillo longitudinal, y para conseguir el objetivo del encoder, se plantea construir un disco de aluminio que tenga alrededor doce tornillos los cuales serán detectados por el sensor inductivo, así se conseguirá una precisión de 30° en el husillo. En el siguiente esquema se puede observar la alternativa propuesta:

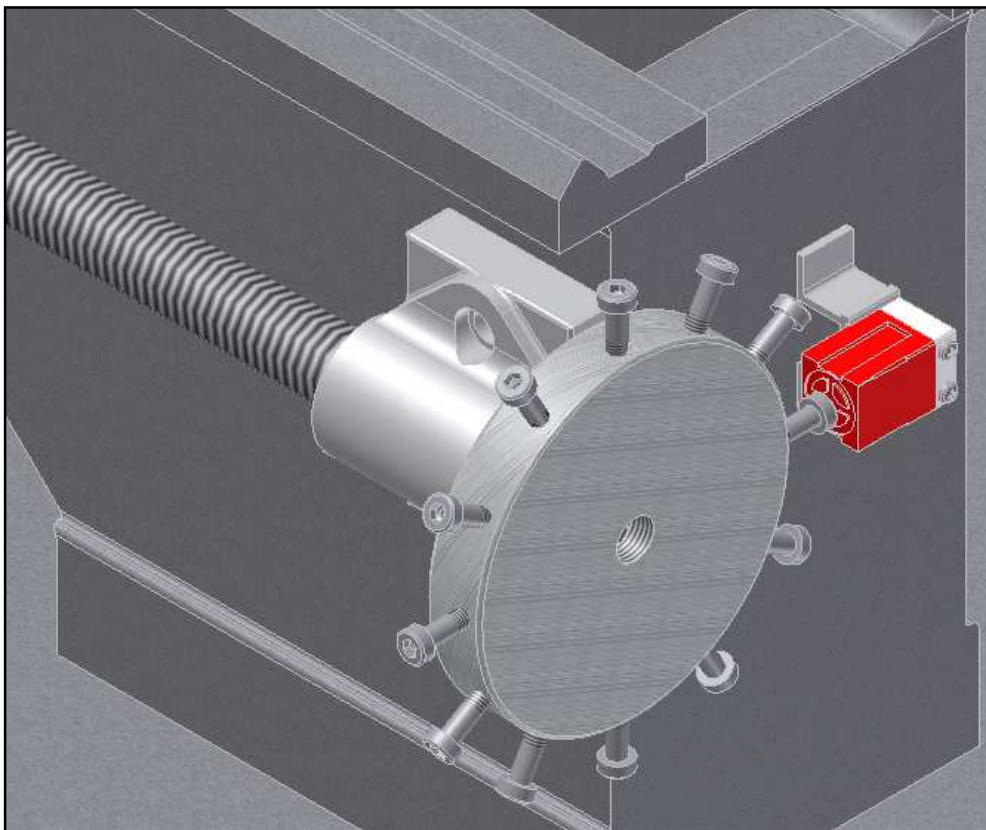


Figura 2-26. Elementos del encoder

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE

En este capítulo se expone cómo están ubicados y conjugados los diferentes elementos mecánicos y electrónicos; determinándose así la funcionalidad de cada elemento en la automatización del torno.

Para esto el montaje se dividirá en dos partes importantes. Primero se desarrolla el montaje de las partes mecánicas; utilizando como herramienta el software Autodesk Inventor para una visualización en 3D del montaje y para la realización de planos de montaje que se encuentran en el Anexo A.3. En la segunda parte de este capítulo se desarrolla el montaje de los elementos eléctricos y electrónicos.

El montaje se guía de acuerdo a lo obtenido en el capítulo 2 donde se diseñó y se seleccionó todos los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para la automatización considerando que es para un módulo didáctico. El montaje se realiza de acuerdo con este concepto obviando tolerancias muy precisas para evitar el alto costo de manufactura, debido a que no se tiene las máquinas herramientas en el taller necesarias para obtener estas tolerancias. Con esto no se altera la funcionalidad de las piezas construidas.

3.1. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS

En este montaje se detalla cómo están ubicados:

- Los actuadores: motorreductor y motor paso a paso.
- Los acoples y diferentes piezas utilizadas para transmitir el movimiento de los actuadores a los husillos.
- La estructura que soporta a los actuadores y al tablero de control
- Soportes y demás piezas fabricadas para ayudar a ubicar la posición del carro portaherramientas.

3.1.1. MONTAJE MOTORREDUCTOR

Al ser desacoplada la caja Norton, el motorreductor fue ubicado al lado izquierdo de la bancada del torno como se lo puede apreciar en la Figura 3-1. De este modo se tiene el espacio suficiente para ubicar el motorreductor cerca del husillo que mueve el carro portaherramientas longitudinalmente; para esto se construyó una estructura formada por dos perfiles de 20x20x3 mm y otro perfil de 70x40x2 mm. Para sujetar la estructura a la base de la bancada del torno se utilizaron 3 pernos y tuercas M8 y arandelas planas logrando así tener tres puntos de apoyo para que la estructura tenga estabilidad. Para sujetar el motorreductor se utilizaron 3 pernos M6, de este modo se realizaron 6 perforaciones en la estructura y los perfiles fueron unidos mediante 6 cordones de soldadura con electrodo E6011. El modelo realizado en 3D se lo puede apreciar en la Figura 3-2.



Figura 3-1. Ubicación del motorreductor.

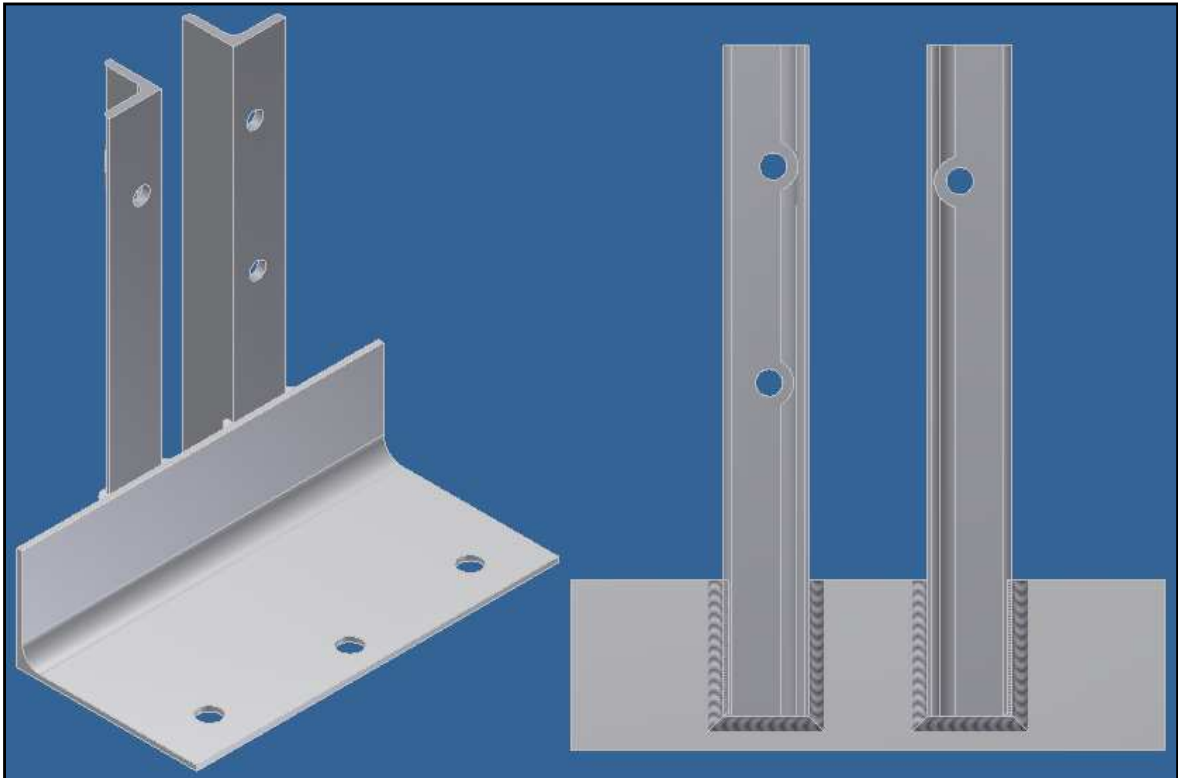


Figura 3-2. Soporte motorreductor.

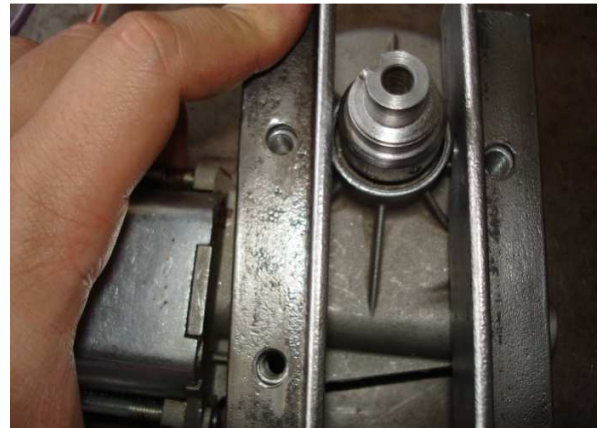
Para transmitir el movimiento del eje del motorreductor al husillo se utilizaron los siguientes elementos:

- Dos engranes rectos de las mismas dimensiones que tienen el mismo número de dientes, por lo tanto la relación de transmisión es de 1; esto se justifica debido a que la velocidad a la que se mueve el eje del motor es pequeña
- Un acople que está sujeto al eje del motorreductor por medio de dos pernos prisionero y un perno M4 con su respectiva arandela. El piñón gira con el acople a través de una chaveta.

Todos estos elementos se los visualiza en las Figuras 3-3 donde se indica la manera correcta de montar todos los elementos utilizados para acoplar el motorreductor al husillo que mueve el carro longitudinal o principal.



a



b



c



d



e



f

Figura 3-3. Montaje de los elementos que acoplan el motorreductor con el husillo longitudinal.

Para entender mejor como están conjugadas las piezas, se detalla un esquema en la Figura 3-4.a, utilizando el software de diseño Autodesk Inventor, se indica mediante líneas azules como van a ser montados todos los elementos y en la Figura 3-4.b se presenta un acercamiento del ensamble completo.

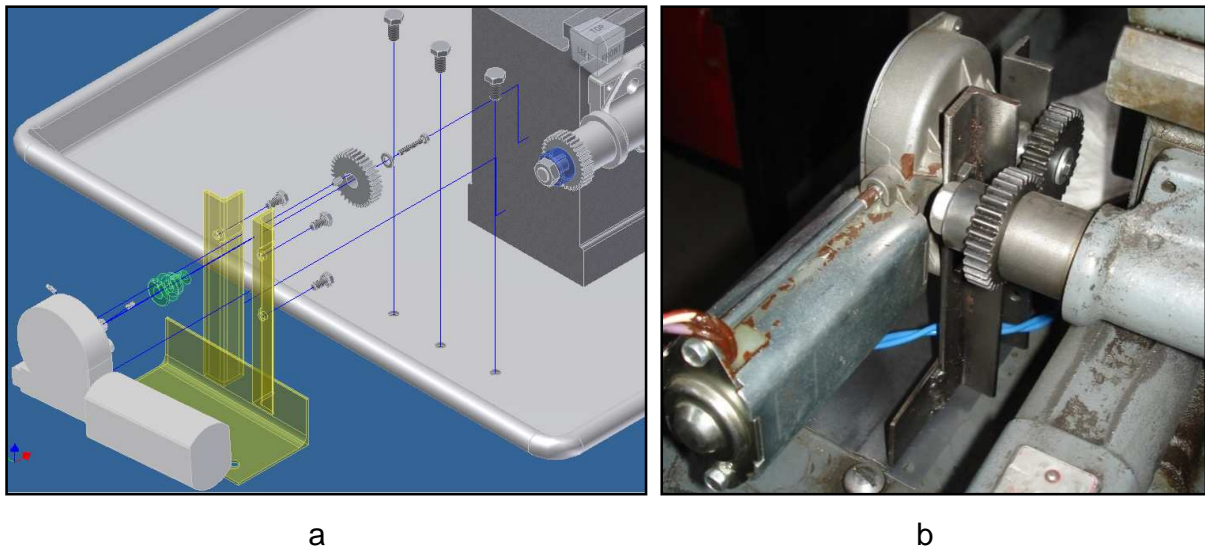


Figura 3-4. Ensamble de todos los elementos utilizados para transmitir el movimiento del eje del motorreductor.

3.1.2. MONTAJE MOTOR PASO A PASO

Para acoplar el motor paso a paso se tomó en cuenta que éste al mover el husillo transversal tiene que estar acoplado a un elemento móvil ya que el husillo transversal se mueve longitudinalmente, es decir, en el eje z, a través de la bancada. De este modo se construyeron piezas para acoplar este motor a la guía del carro transversal. En la Figura 3-5 se muestra la ubicación del motor paso a paso y los elementos utilizados para transmitir el movimiento del eje del motor al husillo transversal. El motor a pasos está ubicado bajo la bancada por ser ésta la mejor posición ya que si estuviera ubicada sobre la bancada podría correr algún riesgo al momento del mecanizado de una pieza.

El movimiento es transmitido mediante un sistema de transmisión por banda dentada o de sincronización. Estas bandas se utilizan para bajas velocidades y para que no se produzcan deslizamientos; de este modo se obtiene precisión en la transmisión del movimiento.

Para sujetar el motor paso a paso a la bancada se utilizó una placa de tol doblada en sus extremos para dar mayor rigidez y reducir el pandeo de esta al momento de accionarse el motor paso a paso y el motorreductor conjuntamente. Esto reduce las vibraciones y el sistema de ruedas dentadas y bandas transmite el movimiento efectivamente. El motor paso a paso está sujeto a la placa soporte por medio de tres tornillos M5x0.80x8 y sus respectivas tuercas y la placa soporte está sujeta al carro transversal mediante dos pernos M8.

En el acople construido se ubica la polea o rueda dentada superior sujeta a este a través de una tuerca y contratuerca. Este acople está sujeto al husillo transversal mediante un perno prisionera M5x0.80x10 y se utilizan dos pernos M5x0.80x5 para mejorar la alineación del husillo transversal con el acople. La rueda dentada o polea inferior esta acoplada al eje del motor paso a paso mediante dos pernos prisioneros M3x0.50x8. Todos estos elementos se indican en la Figura 3-6.

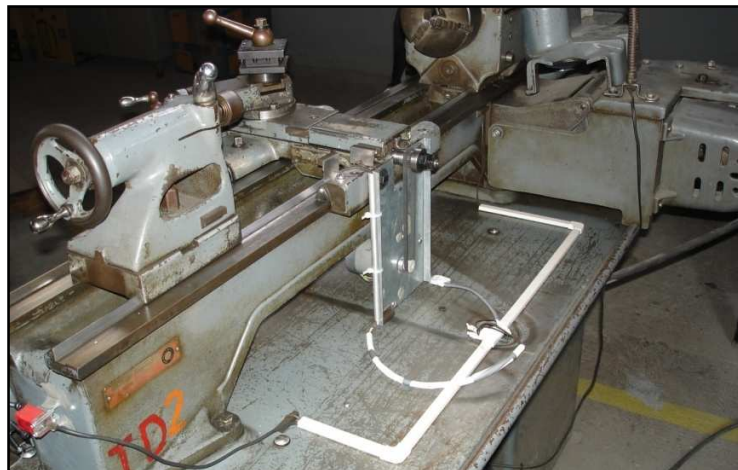


Figura 3-5. Ubicación motor paso a paso

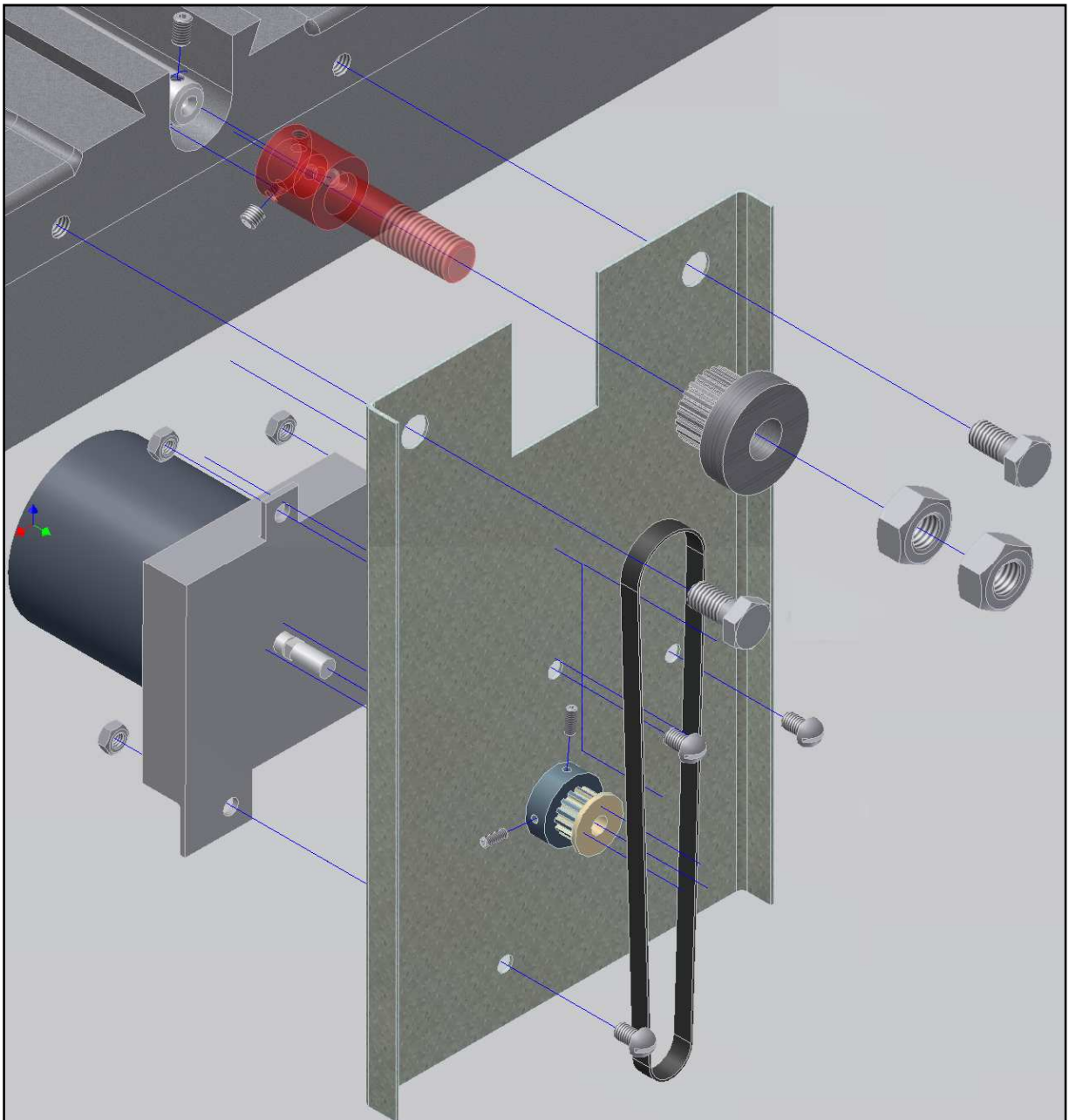


Figura 3-6. Despiece de los elementos utilizados para acoplar el motor paso a paso con el husillo transversal

Las Figuras 3-7, al igual que las Figuras 3-3, indican el montaje de los elementos utilizados para acoplar el motor paso a paso al husillo del carro transversal.



Figura 3-7. Montaje de las piezas utilizados para acoplar el motor paso a paso con el husillo transversal

3.2. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Al igual que el montaje mecánico, al montaje electrónico se lo divide en varias partes las cuales son las siguientes:

- Ubicación de los sensores de posición
- Ubicación de los pulsadores y elementos de maniobra
- Ubicación del PLC
- Cableado

Al desplazarse los carros del torno longitudinalmente y transversalmente, se hace necesario controlar sus respectivos desplazamientos; debido que éstos representan la profundidad y el avance de la cuchilla al momento del mecanizado de una pieza.

La operación que realiza el torno es mediante coordenadas previamente establecidas fijando inicialmente un punto de origen; con lo cual, una vez que la chuchilla se ha movido primero en el eje X y luego en eje Z ésta regresa a su posición de origen, siendo la trayectoria seguida por la cuchilla un rectángulo o cuadrado dependiendo de las coordenadas fijadas por el usuario. De este modo el PLC controla los desplazamientos en X y en Z de acuerdo a estas coordenadas. El PLC no fija el punto de origen sino que lo fija el usuario. En la Figura 3-8 los rectángulos rojo y azul ejemplifican la forma en la que se desplaza la cuchilla, de modo que si se fijan más coordenadas para la realización de una pieza con un contorno complejo se obtendría un mejor acabado.

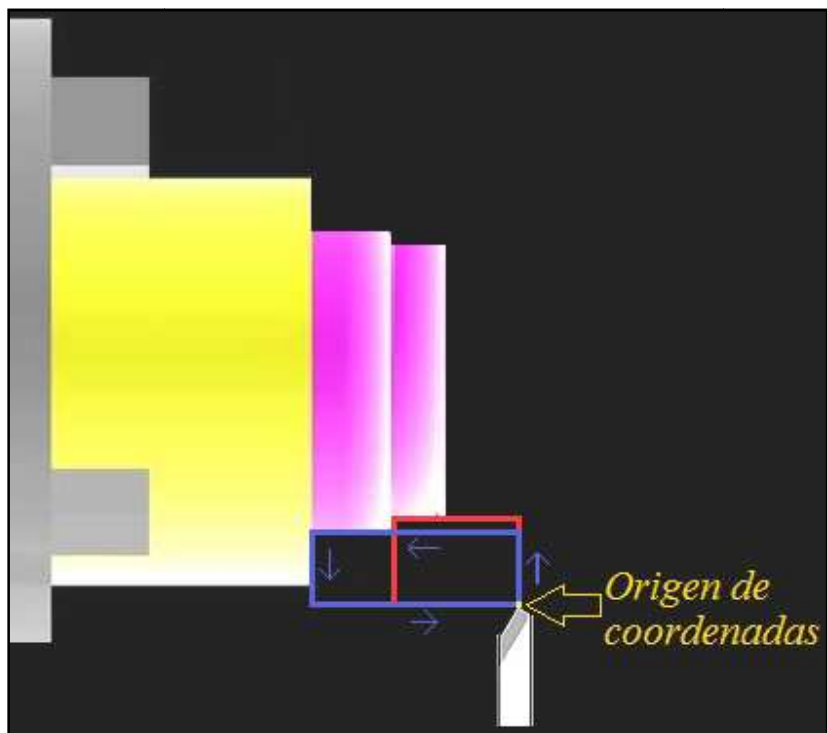


Figura 3-8. Lógica utilizada para la automatización de los movimientos de los carros.

3.2.1. MONTAJE DE LOS SENSORES DE POSICIÓN

La función de los sensores de posición es medir el desplazamiento de los carros y enviar esta información al PLC para que éste compare los desplazamientos con las coordenadas introducidas por el usuario y accione o desconecte el motor paso a paso y el motorreductor.

3.2.1.1. Descripción y montaje del sensor inductivo

En la Figura 3-9 se muestra el sensor inductivo utilizado como un sensor de posición. Los sensores inductivos utilizan un principio electromagnético para ejecutar la medición, es decir, realiza un efecto similar al de un transformador. El sensor posee una bobina con núcleo de ferrita diseñado para generar un campo electromagnético que vendría a ser el primario y el metal sensado actúa como devanado secundario

del transformador como se puede apreciar en las Figuras 3-10.a y 3-10.b. Este tipo de sensores son utilizados para detectar metales.

La bobina del sensor inductivo induce corrientes parásitas en el material a detectar. Éstas, a su vez, generan un campo magnético que se opone al de la bobina del sensor, causando una reducción en la inductancia de la misma. Esta reducción depende del material sensado. Esto produce una pérdida de energía y la amplitud de la oscilación del campo magnético cae. En este momento el circuito de disparo detecta este cambio de amplitud conmutando la salida. Conforme el objeto se aleja del sensor la amplitud de oscilación aumenta hasta un nivel predeterminado donde el circuito de disparo envía una señal al amplificador de salida para que sea éste quien, nuevamente, restituya el estado de la salida del sensor.

Si el sensor tiene una configuración "Normal Abierta", éste activará la salida cuando el metal a detectar ingrese a la zona de detección.



Figura 3-9. Ubicación del sensor inductivo

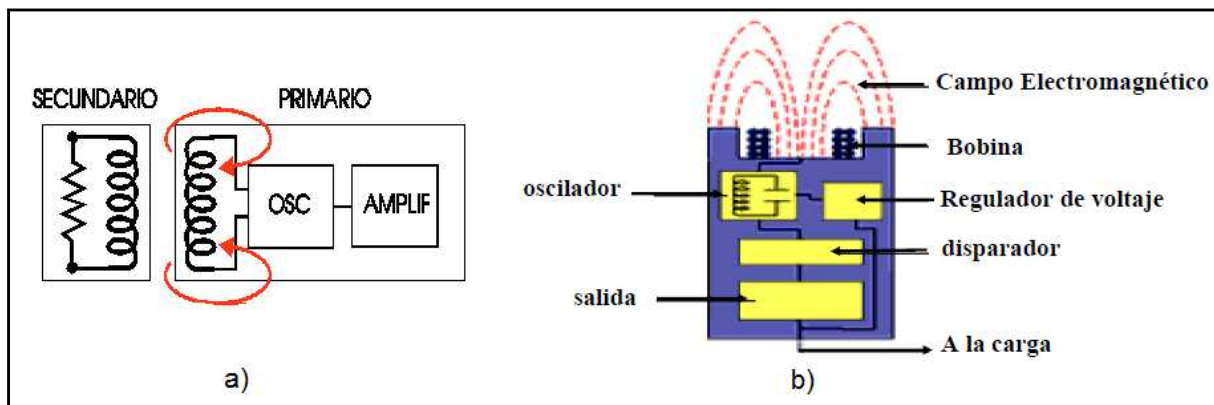


Figura 3-10. a) Efecto del transformador en el sensor inductivo b) Partes del sensor inductivo⁶²

El sensor inductivo mostrado en la Figura 3-9 (de color rojo) cuenta los pasos cuando las cabezas de los pernos se acercan a éste al momento que gira el husillo longitudinal, es decir, que cada paso corresponde a la separación entre dos cabezas de pernos consecutivos. Esta distancia equivale a dividir para 12 la distancia en milímetros que recorre el husillo en una vuelta. El husillo recorre en una vuelta 3 mm de modo que el paso sería de 0.25 mm. Este conjunto formado por el disco en el cual están acoplados doce pernos M5 es un sensor ON/OFF de posición sin contacto que reemplazan a un encoder que envía una señal analógica al PLC.

No es necesario sensor los desplazamientos en el husillo transversal ya que al ser un motor paso a paso conocemos que por cada paso se desplaza 1.8°. La relación de transmisión sería:

$$i = \frac{\text{diámetro de la polea ocoplada al husillo transversal}}{\text{diámetro de la polea del eje del motor}} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{22}{14} = 1.6 \quad (\text{Ec. 3-1})$$

⁶²http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENSORES_INDUCTIVOS.PDF

Conociendo que por cada vuelta del husillo transversal, el carro se desplaza 2.5 mm, cada paso del motor paso a paso equivaldría a:

$$1.8^\circ \frac{1 \text{ rev}_n}{360^\circ} \cdot \frac{1 \text{ rev}_h}{1.6 \text{ rev}_n} \cdot \frac{2.5 \text{ mm}}{1 \text{ rev}_h} = 0.008 \text{ mm} \quad (\text{Ec. 3-2})$$

De modo que se tiene una mejor precisión en el husillo transversal, lamentablemente los torques que tienen los motores paso a paso son pequeños y el mismo no es suficiente para mover el husillo longitudinal. Como ya conocemos el paso, no es necesario acoplar un encoder o un sensor inductivo en el husillo transversal. Los sensores inductivos han sido fijados mediante un perfil de aluminio y dos tornillos M3 con sus respectivas tuercas, el perfil está pegado a la bancada con masilla epóxica. (Figura 3-11)

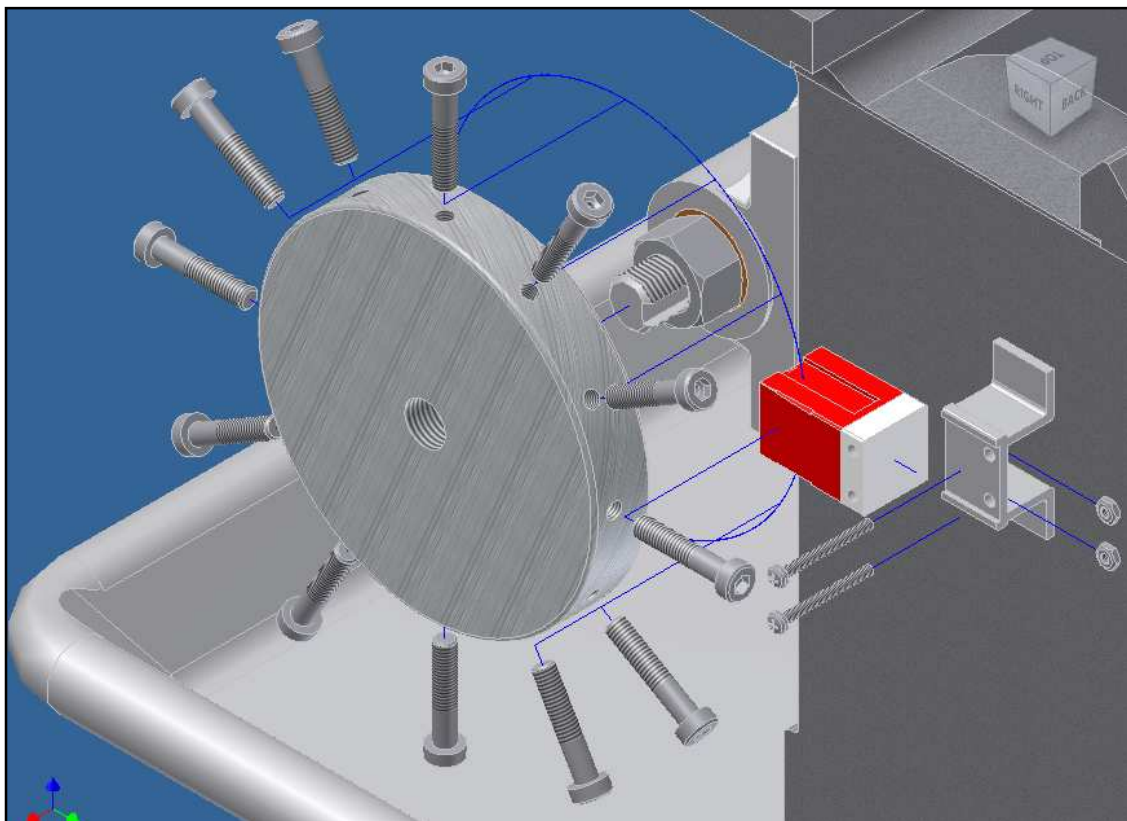


Figura 3-11. Despiece del sensor que controla el desplazamiento del carro longitudinal

3.2.1.2. Descripción y montaje de los fines de carrera

Otros sensores importantes de posición son los fines de carrera, éstos fijan las posiciones extremas de desplazamiento de los carros. Estos sensores están ubicados para salvaguardar la integridad de todas las partes del torno de modo que ninguno de los carros se choquen contra el mandril, el contrapunto o contra la manivela; de lo contrario se podrían dañar los motores, estropear piezas del torno y de los acoples o incluso romperse la cuchilla, lo cual podría causar accidentes laborales además de producir daños en la pieza a maquinar.

Los sensores utilizados como fines de carreras son sensores magnéticos que constan de dos partes; la una es un imán y la otra parte es un reed switch. Reed switch es un interruptor eléctrico activado por un campo magnético de modo que cuando el imán se acercase al reed switch se provoca la detección y envía la señal al PLC. Cada parte del sensor tiene un adhesivo que permite que este se fije en el metal.

Los sensores magnéticos que limitan el desplazamiento longitudinal del carro principal están ubicados tal como se indica en la Figura 3-12. Las dos partes del sensor A que evita que el carro portaherramientas choche contra el mandril están ubicadas, una parte adherida a la guía del carro transversal y la otra parte fijada en la bancada. Las dos partes del sensor B, que evita que el motor paso a paso choche contra la bancada, están ubicadas una parte adherida en el soporte del motor paso a paso y la otra parte está fijada en la base de la bancada. Las dos partes que evitan que el carro principal no choque contra el contrapunto están ubicadas, una adherida en una placa de tol doblada sujeta a la guía del carro transversal y a la otra sujeta al contrapunto.

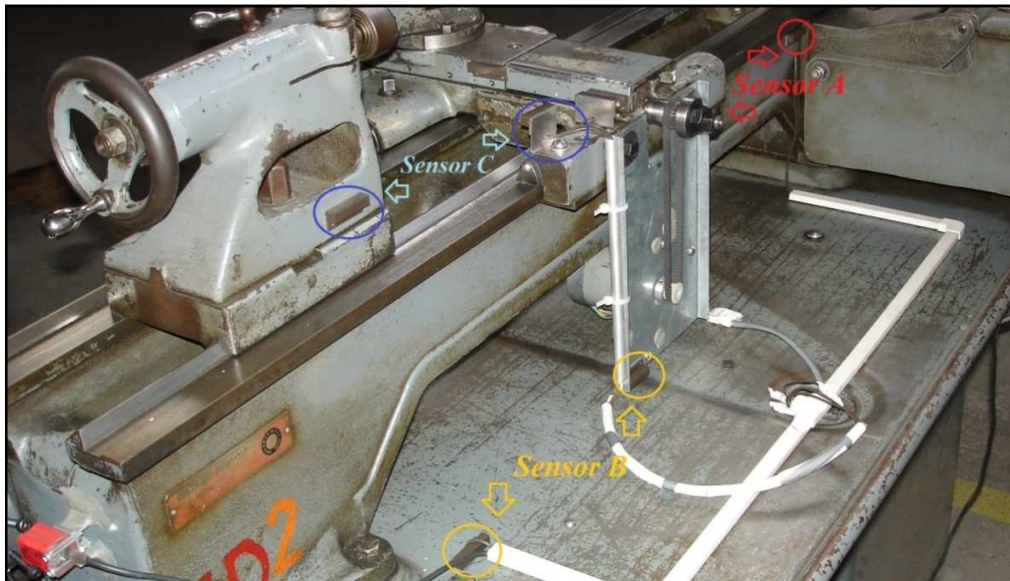


Figura 3-12. Ubicación de los sensores magnéticos para el carro longitudinal

El sensor magnético que limita el desplazamiento del carro transversal está constituido por tres partes que están ubicadas tal como se indica en la Figura 3-13. Dos partes del sensor son imanes y están fijados en el carro transversal, la otra parte está adherida a la guía del carro transversal.



Figura 3-13. Ubicación de los sensores magnéticos utilizados como fines de carrera para el carro transversal

Los sensores magnéticos se han dispuesto de esta forma para no dañar la estética del torno ni su funcionalidad. La mayoría de los pulsadores y elementos de maniobra se encuentran en el tablero de control; tan sólo el paro de emergencia y el encendido general se encuentran acoplados a la base de la bancada como se muestran en la Figura 3-14 y Figura 3-15.

3.2.2. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE MANIOBRA

Los elementos de maniobra son aquellos con los cuales podemos interactuar y dar órdenes al PLC de modo que así podemos iniciar el proceso de mecanizado, controlar todas las variables que interviene durante este proceso o en caso de emergencia detenerlo. Dichos elementos de maniobra van desde el encendido general, todos los pulsadores, el switch y potenciómetros, hasta el paro de emergencia.



Figura 3-14. Paro de emergencia



Figura 3-15. Encendido general y tablero de control

3.2.2.1. Descripción y montaje del encendido general

El encendido general es un selector propio del torno que se lo utilizaba para encender el motor que mueve el mandril en un sentido o en otro al torno. Ahora este selector enciende el PLC pero ya no enciende el motor del mandril; para esto se utilizan los pulsadores ubicados en el tablero de control. Este selector también pierde su funcionalidad de selección de giro del mandril. En la Figura 3-16 se detallan las funciones del selector.



Figura 3-16. Esquema de un selector con similares características al que se usa en el torno

3.22.2. Descripción y montaje del tablero de control

Para sujetar el tablero de control se utilizó dos perfiles en L, los cuales están unidos a la base del torno mediante pernos M6. A cada uno de estos perfiles está acoplada una placa de tol doblada. Además una corredera esta acoplada a las paredes del tablero de control y a las placas de modo que el tablero puede deslizarse y protegerse bajo la base del torno. Para aumentar la rigidez de las placas dobladas de tol se utilizaron 4 perfiles en T de acero, dos placas de tol dobladas y un perfil de aluminio tal como se puede observar en la Figura 3-17.



Figura 3-17. Estructura de soporte del tablero de control

En el tablero de control se encuentran sujetos 8 pulsadores, el pulsador I:0/4 sirve para encender el motor principal del torno que mueve el mandril y el pulsador I:0/5 para apagarlo; los pulsadores I:0/0 e I:0/1 sirven para accionar el motorreductor en ambos sentidos y los pulsadores I:0/2 e I:0/3 para accionar el motor paso a paso, de igual manera, el pulsador I:2/0 ingresa las coordenadas definidas por el usuario al PLC y el pulsador I:2/1 borrar estas coordenadas en caso de equivocación o de empezar un nuevo proceso. En el tablero de control también se encuentra acoplado dos potenciómetros de precisión para determinar las coordenadas en X y Z, un switch on/off para activar el modo manual o modo automático, un display LCD que muestra las coordenadas ingresadas por el usuario y un zumbador como alarma que se activa cuando se acabe el proceso, es decir, cuando el carro porta herramienta se ha desplazado por todas las coordenadas fijadas.

El LCD es parte de la tarjeta electrónica donde se encuentra el micro. En la Figura 3-18 se muestra la distribución de los pulsadores en el tablero de control y en la Figura

3-19 se muestra la tarjeta electrónica que contiene el micro y el display que está sujetado con 4 pernos por debajo de la tapa del tablero de control.



Figura 3-18. Pulsadores utilizados en el tablero de control

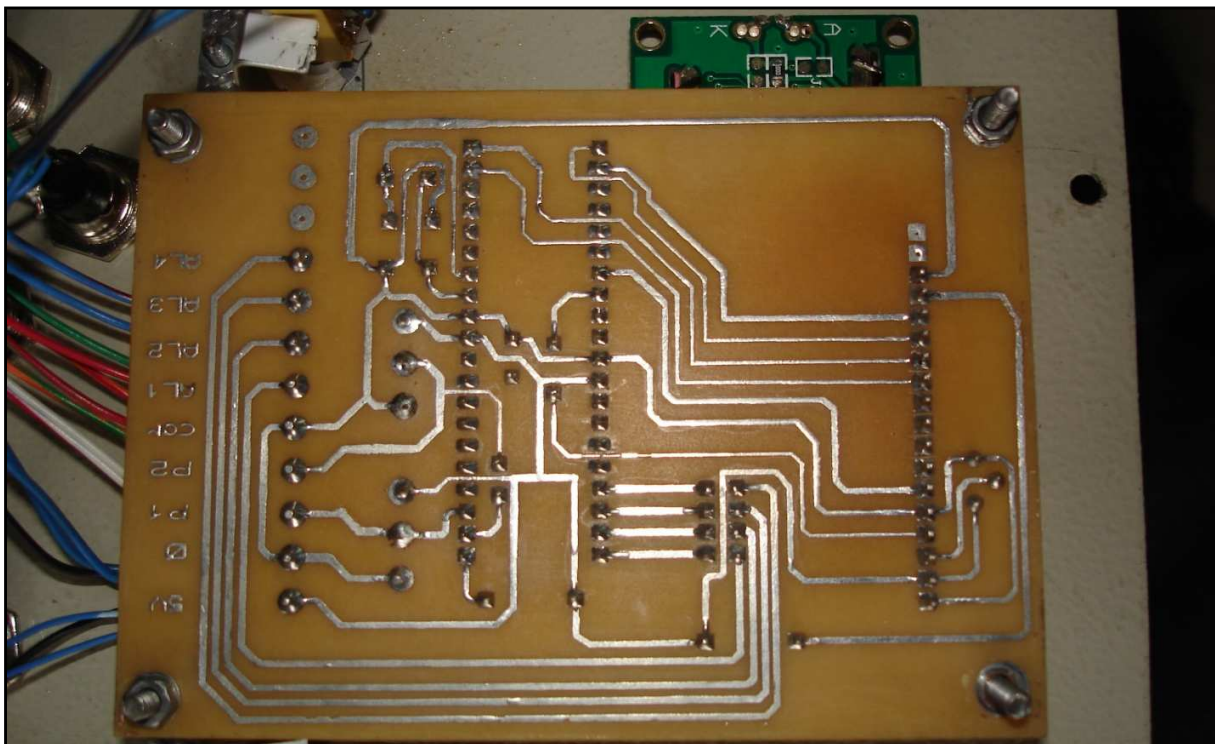


Figura 3-19. Tarjeta electrónica utilizada para el microcontrolador

3.2.3. MONTAJE DEL PLC Y ELEMENTOS DE CONTROL

El PLC ha sido montado dentro de uno de los gabinetes que se encuentran en la base de la bancada mediante un riel normalizado (DIN EN50022). El riel está sujeto a una placa y ésta a su vez está sujeta a la base del torno mediante pernos M8. En el riel no sólo se encuentra el PLC sino también los módulos de entradas y salidas tal como se puede apreciar en la Figura 3-20. En otra riel montada en la misma placa se encuentran 33 borneras, un contactor utilizado para encender o apagar el motor principal del torno, dos relés auxiliares de 12 voltios para accionar al motorreductor en el uno y otro sentido de giro y una tarjeta con transistores utilizada para permitir la alimentación de corriente a las terminales del motor paso a paso.

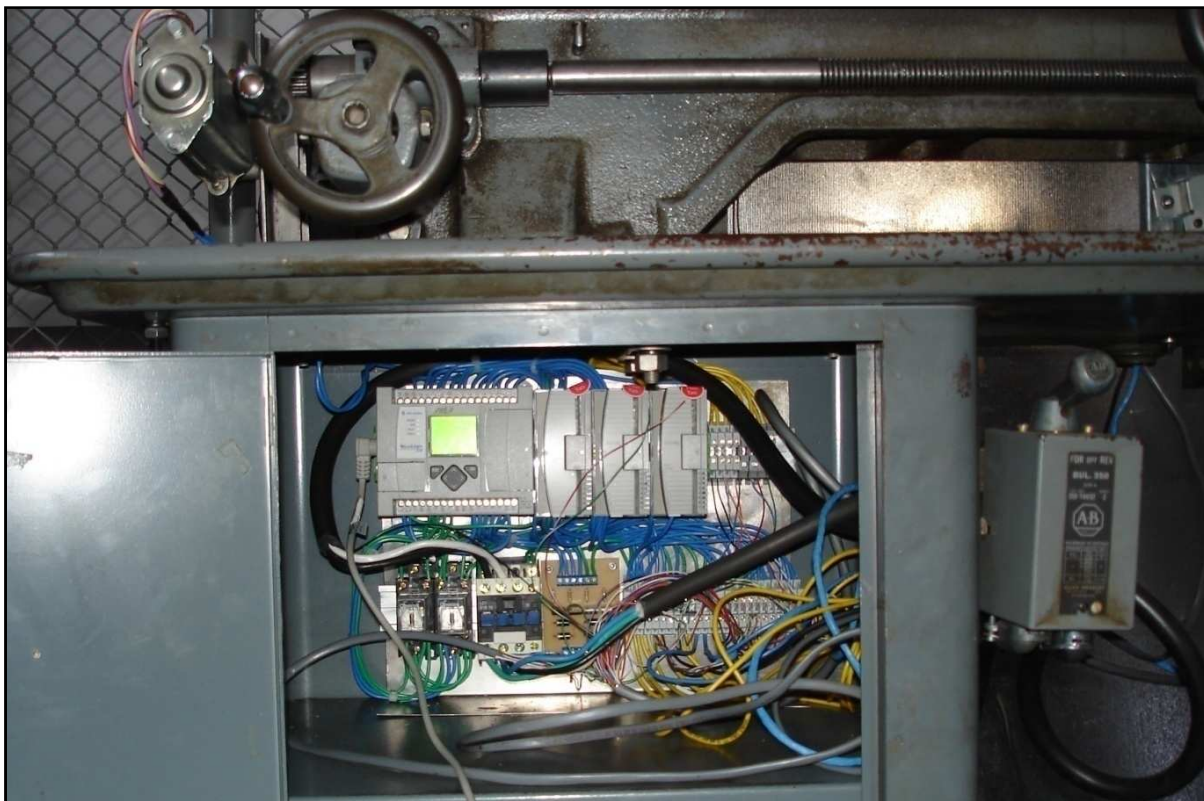


Figura 3-20. Gabinete utilizado para ubicar y proteger al PLC

3.23.1. Conexión de los elementos de control

El cableado fue realizado con un conductor multicable número 16 y 18. Los conductores que salen del contactor son número 10 ya que éstos alimentan al motor principal del torno. Se utilizaron canaletas para proteger los cables y para no afectar la estética del torno. En la Figura 3-21 se aprecia la ubicación de las canaletas dentro de las cuales se encuentran los conductores correspondientes al sensor inductivo y a los sensores magnéticos utilizados como fines de carrera del carro longitudinal. Las fuentes de poder mostradas en la Figura 3-22 del motor paso a paso, del motorreductor y del PLC se ubican en la cabina debajo del PLC, de modo que la longitud de los cables no sea excesiva y se puedan proteger las fuentes de poder.

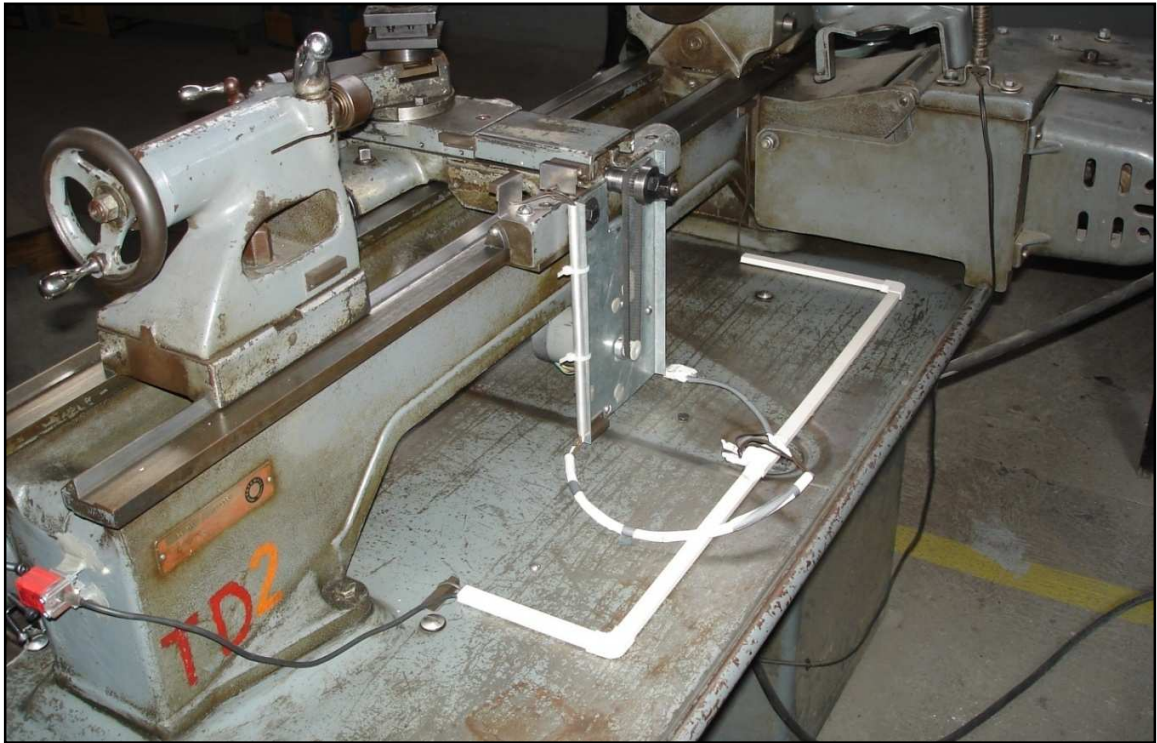


Figura 3-21. Canaletas utilizadas para proteger el cableado de los sensores.

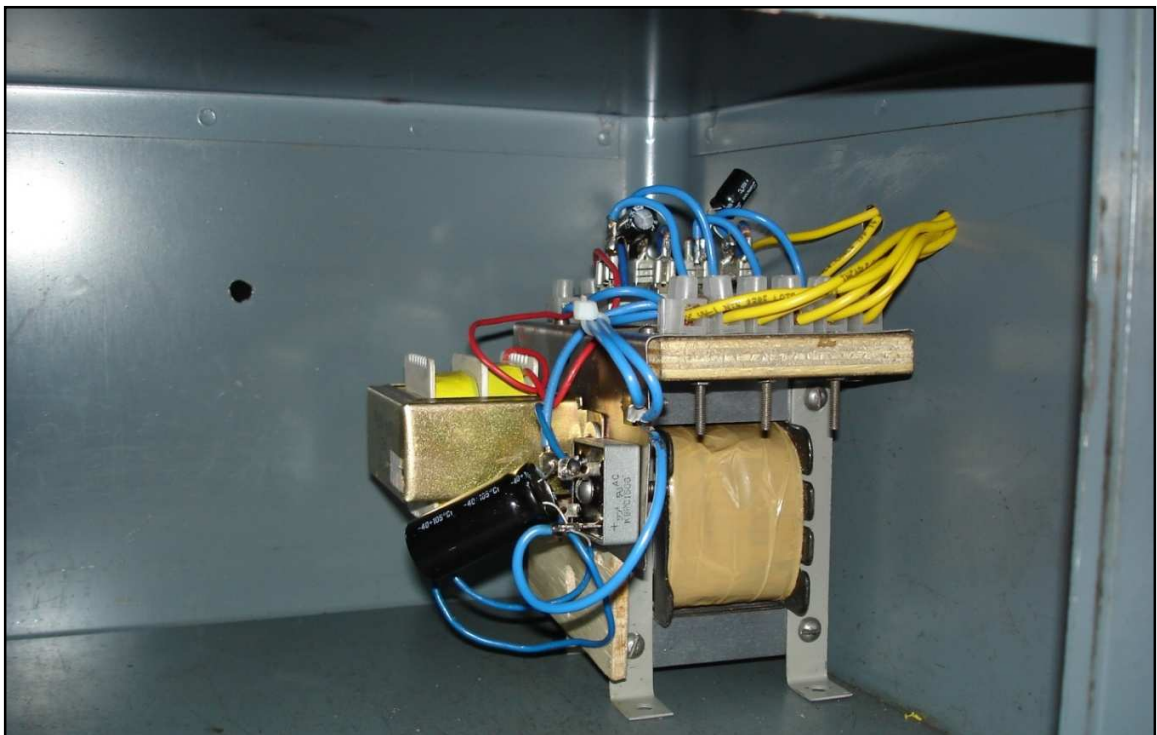


Figura 3-22. Fuentes de poder

3.2.4. DESCRIPCIÓN DEL CONEXIONADO DEL MOTORREDUCTOR

El diagrama de control y de potencia del motorreductor se indica en la Figura 3-23 donde se muestra el esquema de la estructura interna de las salidas del PLC, que básicamente consiste en relés. Para que el motorreductor gire en un sentido y luego en otro, se tiene que cambiar el sentido en el que circula la corriente eléctrica por el motor tal como se muestra en las Figuras 3-24 y 3-25, en las cuales las flechas azules indican el sentido de la corriente eléctrica de bajo amperaje a través de los elementos de control y las flechas rojas indican cómo va la corriente eléctrica de mayor amperaje en el circuito de potencia. Las salidas para accionar el motorreductor en los dos sentidos de giro son O/0 y O/1, en la Figura 3-24 se muestra la activación del motorreductor en un sentido de giro, de acuerdo al programa el PLC, éste energiza la bobina del relé para activar la salida O/0; de modo que se permite el paso de corriente a la bobina del relé auxiliar RA1. Al estar energizada la bobina se cierran sus contactos y se alimenta el motorreductor, pero la entrada O/1 no debe estar activada para que no se produzca un corto circuito.

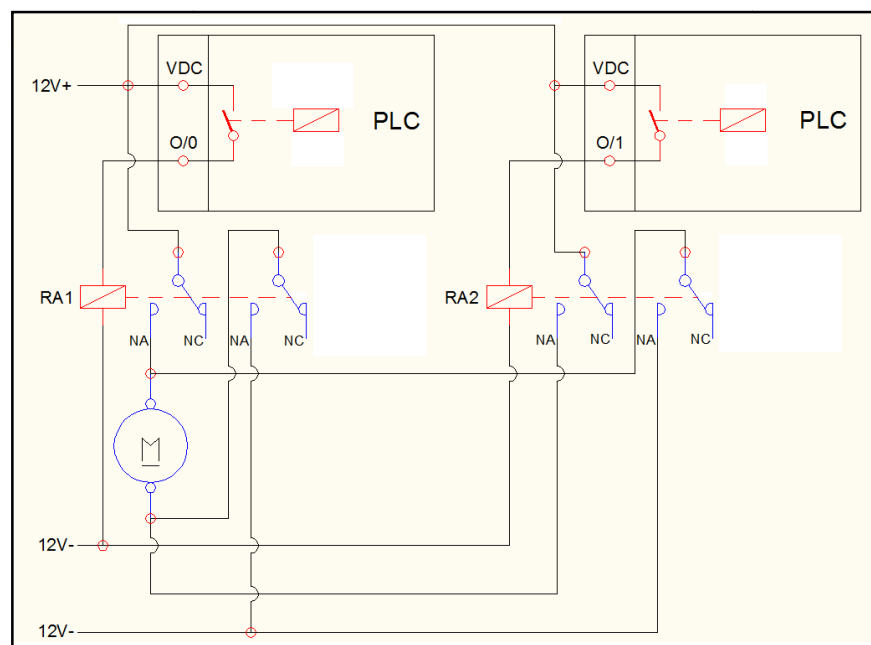


Figura 3-23. Circuito de control y de potencia del motorreductor

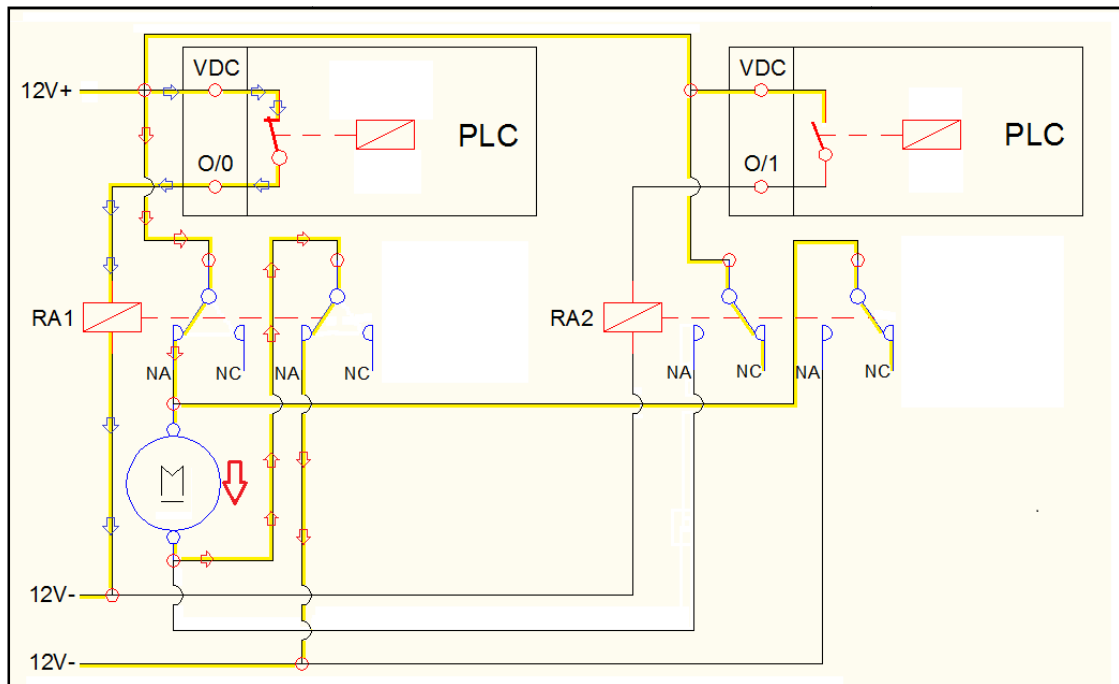


Figura 3-24. Giro horario del motorreductor

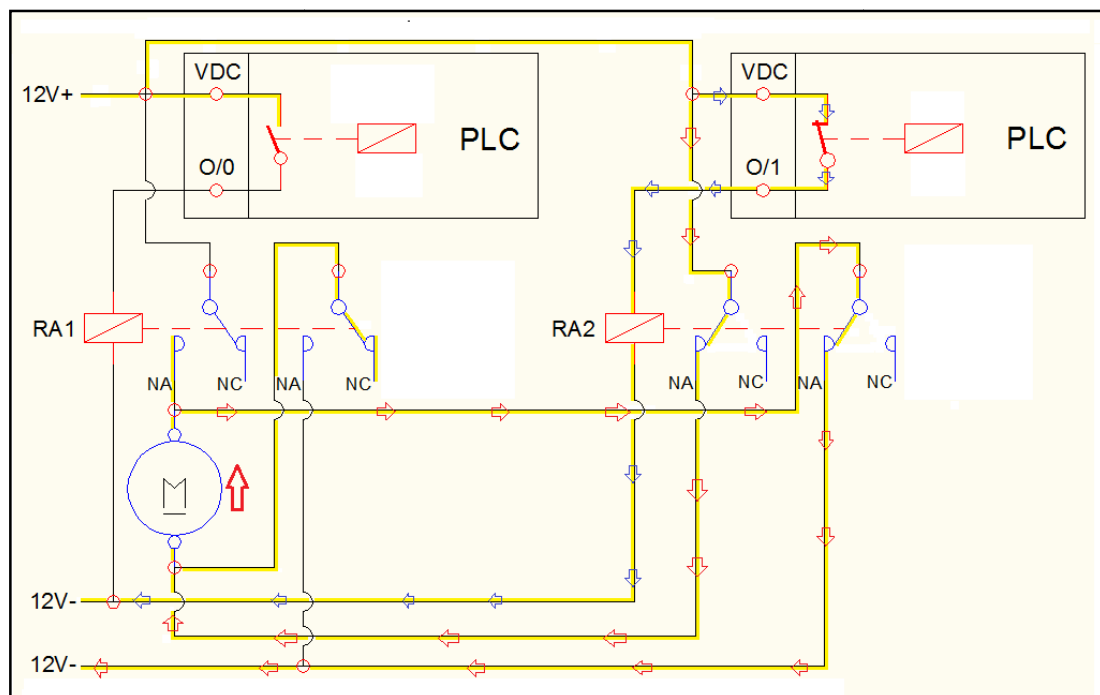


Figura 3-25. Giro antihorario del motorreductor

El relé auxiliar LY-2 de 12 V de 8 pines con 2 contactos normalmente abiertos utilizado para accionar el motorreductor en un solo sentido de giro es el mostrado en la Figura 3-26 y está ubicado debajo el PLC.



Figura 3-26. Relé auxiliar⁶³

3.2.5. DESCRIPCIÓN DEL CONEXIONADO DEL MOTOR PASO A PASO

En la Figura 3-27 se puede ver el circuito de control y de potencia del motor paso a paso. Este motor es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, es decir, que se pueden mover un paso por cada pulso que se aplique. A diferencia de un motor convencional de corriente continua que gira de forma ininterrumpida y que difícilmente logrará girar una vuelta completa y detenerse inmediatamente. El motor paso a paso es capaz de avanzar una serie de grados o pasos a la vez; de modo que si queremos que gire exactamente una vuelta completa, éste lo hará si le damos la cantidad de pulsos adecuados. Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición si una o más de sus bobinas están energizadas y pueden ser gobernados por impulsos procedentes de sistemas lógicos, tales como microcontroladores, PLC's u ordenadores. En el diseño electrónico y debido a las características del PLC se decidió no utilizar un microcontrolador para controlar al motor paso a paso. El PLC controla el motor mediante una tarjeta mostrada en la Figura 3-28.

⁶³ <http://www.camsco.com.tw/pdf/p232.pdf>

3.25.1. Principio de funcionamiento del motor paso a paso

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator. Cuando una corriente eléctrica atraviesa una de estas bobinas, se forman los polos norte-sur necesarios para impulsar el motor. El conexionado interno del motor paso a paso se lo puede apreciar en la Figura 3-27.

Para mover el rotor se debe energizar las bobinas en el orden y con la frecuencia adecuada, es decir, excitamos el estator, creando los polos N-S. Al variar dicha excitación energizando las bobinas en orden, el campo magnético formado efectúa un movimiento giratorio, el motor seguirá el movimiento de dicho campo, produciéndose de este modo el giro del rotor. Existen tres secuencias posibles para este tipo de motores que se indican en las Tablas 3-1, 3-2 y 3-3. Para revertir el sentido de giro simplemente se deben ejecutar las secuencias en modo inverso. Para aumentar la velocidad de giro del motor paso a paso se debe aumentar la frecuencia, es decir se debe disminuir el tiempo que demora un paso. Por ejemplo este tiempo sería desde cuando energizó una bobina y la apagó, justo antes de energizar la otra bobina, según la secuencia mostrada en la Tabla 3-2.

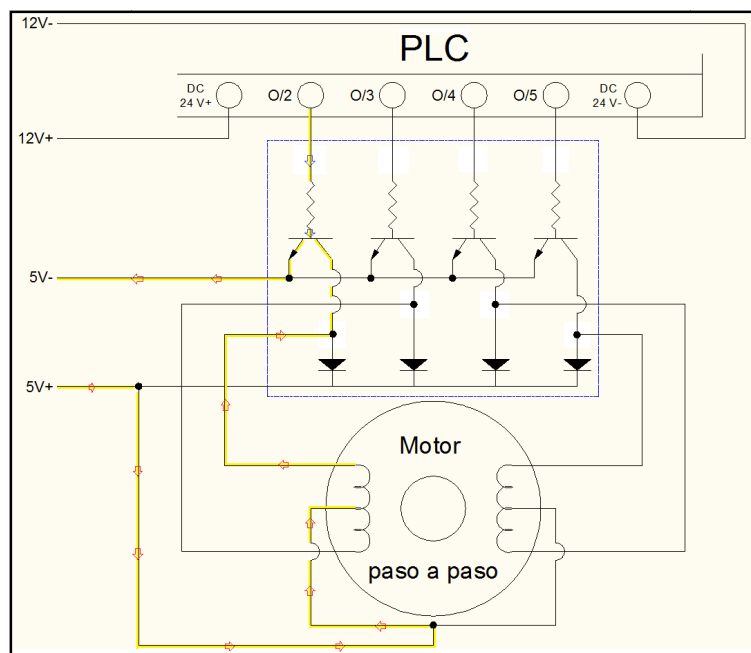


Figura 3-27. Circuito de control y de potencia del motor paso a paso

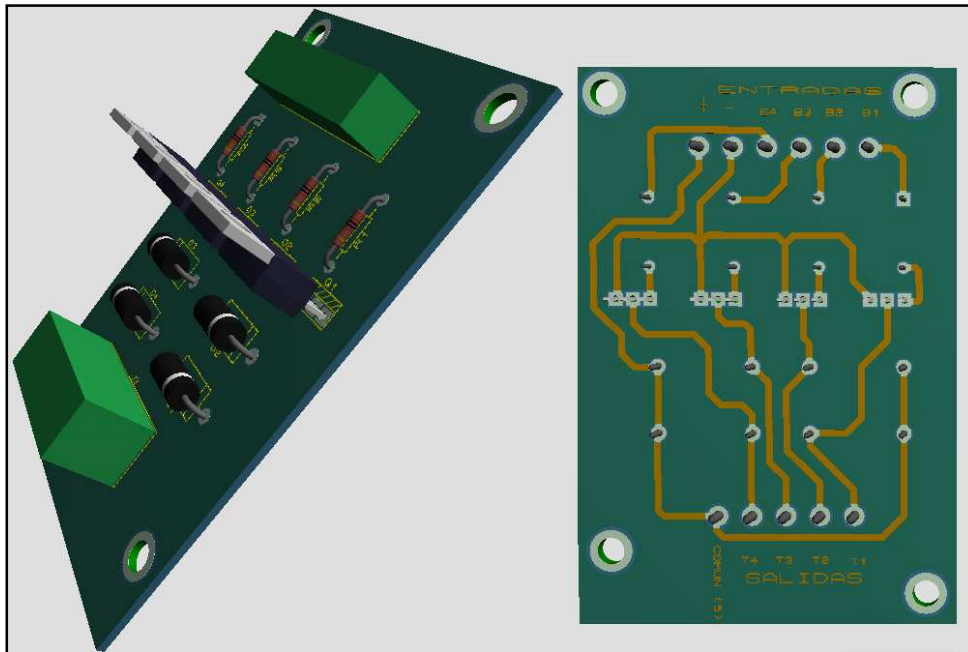


Figura 3-28. Tarjeta utilizada para el control del motor paso a paso

3.252. Secuencia de encendido de las bobinas motor paso a paso

Secuencia Normal: Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque de paso y de retención.

Tabla 3-1. Secuencia Normal de encendido de las bobinas del motor paso a paso⁶⁴

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	ON	OFF	OFF
2	OFF	ON	ON	OFF
3	OFF	OFF	ON	ON
4	ON	OFF	OFF	ON

⁶⁴ <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

Secuencia del tipo wave drive: En esta secuencia se activa sólo una bobina a la vez. El funcionamiento del motor es más suave, pero al estar sólo una bobina activada.

Tabla 3-2. Secuencia del tipo wave drive de encendido de las bobinas del motor paso a paso⁶⁵

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

Secuencia del tipo medio paso: En esta secuencia se activan las bobinas de tal forma de brindar un movimiento igual a la mitad del paso real. Para ello se activan primero 2 bobinas y luego solo 1 y así sucesivamente. Como vemos en la tabla la secuencia completa consta de 8 movimientos en lugar de 4.

Tabla 3-3. Secuencia del tipo medio paso de encendido de las bobinas del motor paso a paso⁶⁶

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

⁶⁵ <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

⁶⁶ <http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>

En la Figura 3-27 se observa activada sólo una bobina de acuerdo a la secuencia del tipo wave drive. Se utilizó la secuencia de tipo medio paso para aumentar el torque del motor.

3.253. Justificación del uso de transistores en la tarjeta del motor paso a paso

El transistor es un dispositivo semiconductor que permite el control y la regulación de una corriente grande mediante una señal muy pequeña. Tiene 3 patillas con los siguientes nombres: base (B), colector (C) y emisor (E), coincidiendo siempre, el emisor, con la patilla que tiene la flecha en el gráfico de transistor que se puede apreciar en la Figura 3-29. Existe una gran variedad de transistores pero los utilizados en la tarjeta del motor paso a paso son bipolares. El transistor bipolar es un amplificador de corriente, es decir, que si le introducimos una cantidad de corriente por una de sus patillas (base) el transistor disminuirá su resistencia entre colector y emisor y la corriente que se entregará por otra (emisor), tendrá una cantidad mayor a ésta. La corriente que pasa por la patilla emisor es del mismo valor que la corriente que pasa por el colector y la dirección del flujo de la corriente en cada caso, lo indica la flecha que se ve en el gráfico de cada tipo de transistor.

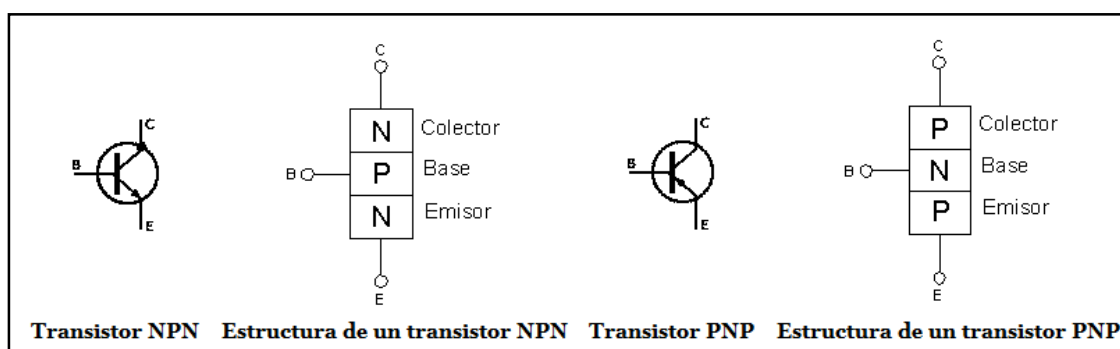


Figura 3-29. Transistores bipolares⁶⁷

⁶⁷ <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/El-transistor.php>

De este modo en el Figura 3-27 la salida del O/2 envía una corriente que permite que el transformador actúe como amplificador. Cuando no circula intensidad por la Base la intensidad de Colector y Emisor también es nula. La tensión entre Colector y Emisor es la de fuente y el Transistor, entre Colector y Emisor se comporta como un interruptor abierto de modo que sólo una bobina del motor paso a paso se energiza.

3.2.6. DESCRIPCIÓN DEL CONEXIONADO DEL MOTOR PRINCIPAL

El motor principal del torno es un motor monofásico que tiene dos bobinas. En la Figura 3-30 se indica el circuito de potencia y de control del motor principal del torno. Para accionar el motor principal del torno se utilizó un contactor de corriente alterna LC1-D1810, cuyas especificaciones son las siguientes:

Tabla 3-4. Especificaciones contactor.

I_{th} : 32A U_i : 660V Numero de contactos: 3p + NA			
U_e (V)	220	380	660
I_e (A)	16	16	10.6
P_e (kW)	4	7.5	9

Donde U_e es voltaje nominal, I_e es intensidad nominal P_e es potencia nominal I_{th} es la máxima intensidad que puede soportar el contactor durante 8 horas de servicio, U_i es la tensión de aislamiento y el contactor tiene 3 pines y un contacto auxiliar normalmente abierto.

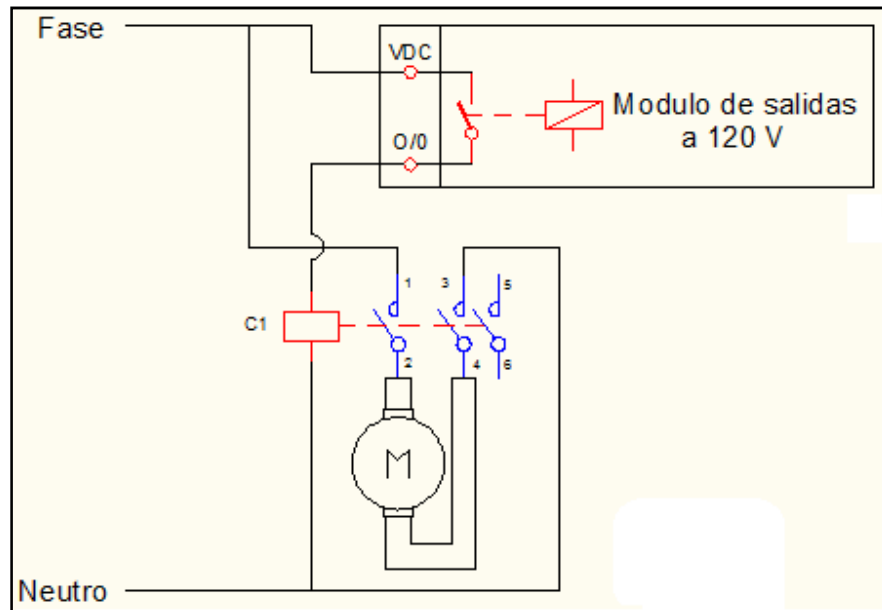


Figura 3-30. Circuito de control y de potencia del motor principal del torno

3.2.7. CIRCUITO DE CONTROL

La conexión de los sensores a las entradas del PLC dependerá del tipo de salida que cada sensor proporcione. En el caso de los sensores inductivos, mostrado en la Figura 3-31 se aprecia la forma en la que estos sensores deben ser conectados con la fuente y con la carga.

Cuando el sensor detecta el elemento metálico, el circuito electrónico interno del mismo excita la base del transistor, esto provoca la circulación de corriente desde el emisor hacia el colector del transistor, provocando la alimentación correspondiente a la carga, que para nuestro caso es la entrada del PLC.

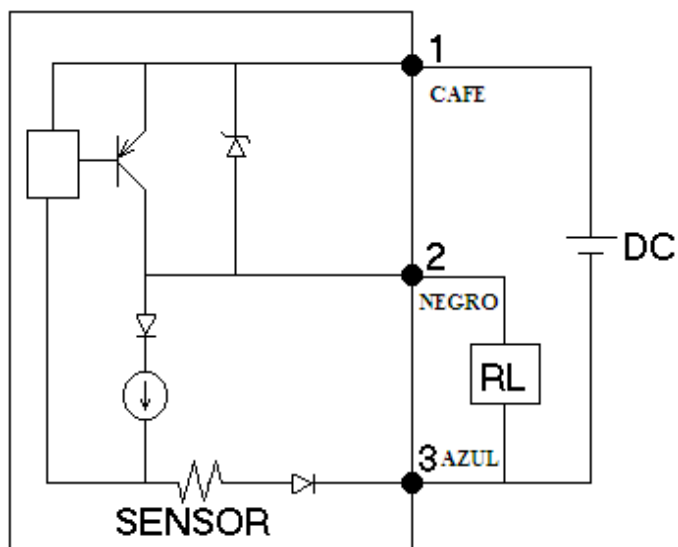


Figura 3-31. Forma de conexión del sensor inductivo

En la Figura 3-32 se aprecia la forma en la que estos sensores están conectados tanto a la fuente como al PLC.

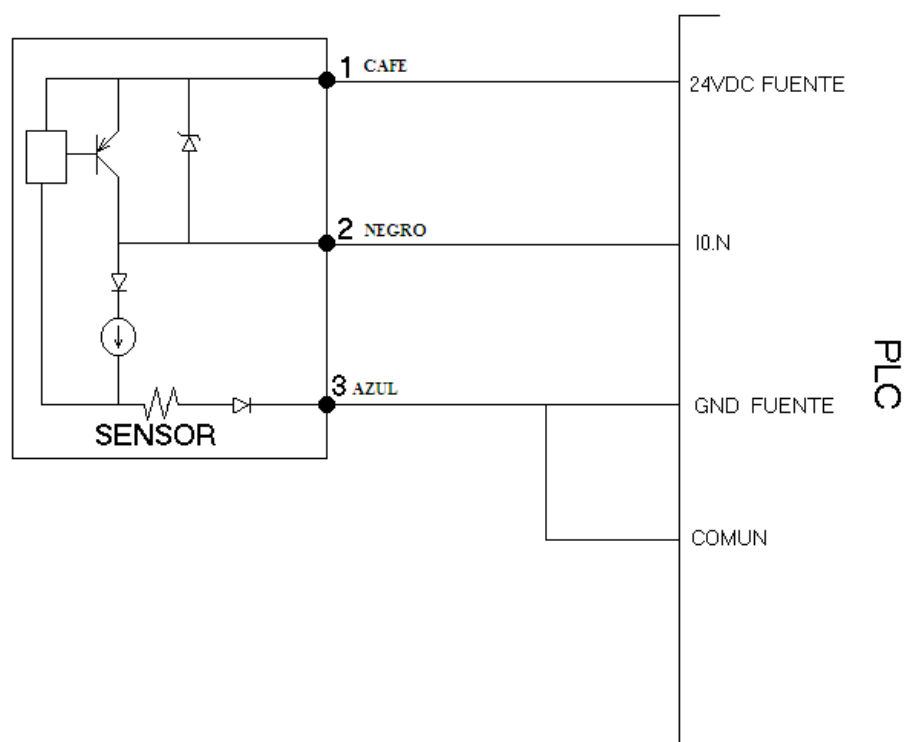


Figura 3-32. Conexión del sensor inductivo al PLC

En la Figura 3-33 se muestra el diagrama de control el cual indica como están conectadas los pulsadores del tablero de control a las entradas del PLC y al módulo de entradas; las salidas del PLC y las del módulo de salidas a 120 V están conectadas directamente a los actuadores electromecánicos de control que permiten accionar el motor paso a paso, el motorreductor y el motor principal del torno. El módulo de salidas a 24 V está conectado directamente a las entradas del microcontrolador. Los finales de carrera están representados como contactos normalmente abiertos. Los fines de carrera del carro longitudinal lo constituyen tres contactos mientras que el fin de carrera del transversal por uno. Los potenciómetros de precisión están conectados a las entradas análogas del PLC.

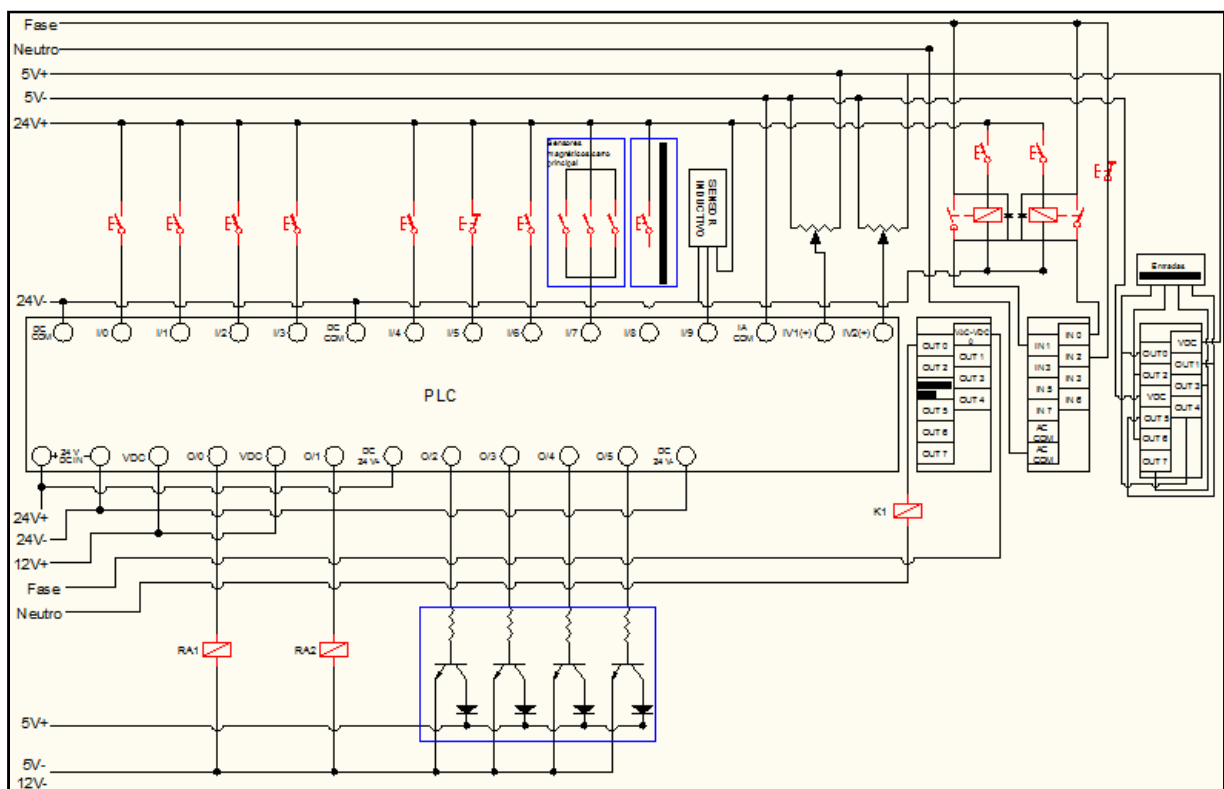


Figura 3-33. Circuito de control completo del Torno

3.2.8. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

El microcontrolador es utilizado como interfaz entre el operario y el PLC de modo que por medio de un display el operario conozca el valor de las variables analógicas que se van a ingresar al PLC, saber si se guardaron los valores ingresados y poder borrar el último o todos los datos ingresados. Una imagen de la simulación del microcontrolador realizado en el programa Proteus se lo puede apreciar en la Figura 3-34.

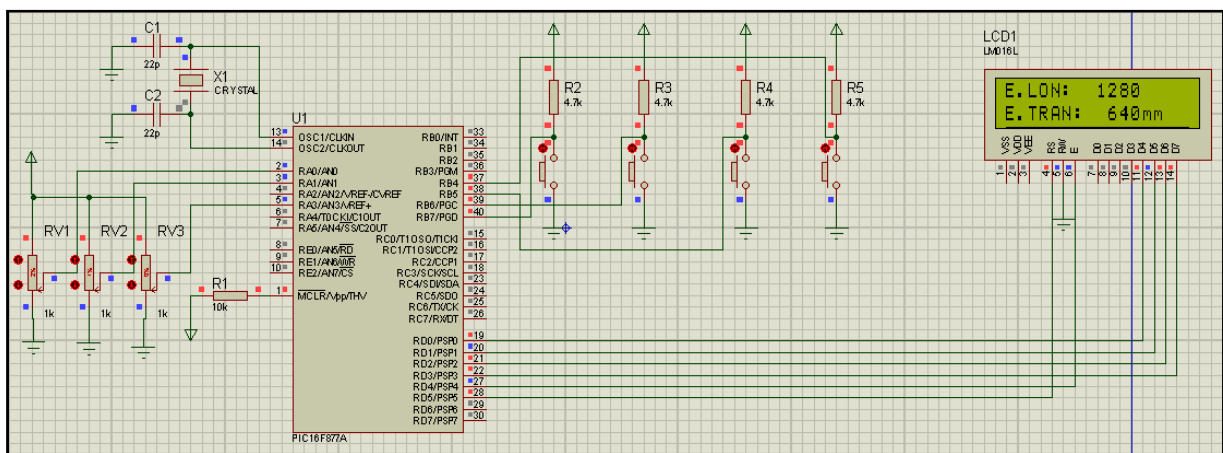


Figura 3-34. Simulación del microcontrolador

En la anterior figura se puede observar a los pulsadores conectados a las entradas RB4, RB5, RB6 y RB7 del microcontrolador, y representan las señales que envía el PLC cuando un dato se ha grabado, cuando el último dato se ha borrado, cuando todos los datos se han borrado o cuando la memoria está llena.

3.3. DETALLE DE COSTOS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

Descripción	Unidad	Valor Unitario (USD)	Valor Total (USD)
Materia Primas			
Eje de acero de 21 mm de diámetro y 100 mm de longitud	1	1	1
*Tocho de aluminio	1	5	5
Adquisiciones			
Piezas			
*Banda	1	1	1
<i>Acople motorreductor</i>			
Perno prisionero M3x0.50x10	2	0.17	0.34
Perno de cabeza hexagonal M4x0.70x30	1	0.06	0.06
Arandelas de presión SAE 5/32"	1	0.04	0.04
Perno de cabeza hexagonal M6x1x10	3	0.05	0.15
Perno de cabeza hexagonal M8x1.25x25 c	3	0.17	0.51
Tuerca M8x1.25	3	0.06	0.18
Arandelas de presión SAE 3/8"	3	0.04	0.12
<i>Acople motor paso a paso</i>			
*Rueda Dentada	1	10	10
*Banda	1	1	1
Tuerca M12x1.75	2		0
Pernos de cabeza hexagonal M8x1.25x25	2	0.17	0.34
Placa de tol doblada	1	4	4
Tornillos M5x0.80x25 con tuerca	3	0.11	0.33
Arandelas 3/16"	3	0.1	0.3
Perno prisionero M5x0.80x10	3	0.2	0.6
<i>Encoder</i>			0
Perno allen M5x0.80x25	12	0.1	1.2
Tuerca y tornillo M3x 25	2	0.4	0.8
<i>Tablero de control</i>			
Caja metálica de control	1	5	5
Placa de tol doblada	1	4	4
Rieles	1	2	2
Elementos eléctricos y electrónicos			
Sensor inductivo 4mm SEN 5mm	2	5.54	11.08
Transformador de 12V y 3V	1	40	40

Transformador de 24 V	1	10	10
Fuente de 5V 1500mA para microcontrolador	1	2.75	2.75
Minirelay 12VDC con base	2	4.28	8.56
Riel DIN 35mm Aluminio	1	3	3
Cable cuenca flexible 16	30	0.2	6
Contactador 18A 110V	1	8.86	8.86
Reles Auxiliares	2	0.7	1.4
Cable UTP 6pares	3	0.55	1.65
Cable UTP 4pares	3	0.41	1.23
Bornera riel DIN #12 20A	30	0.71	21.3
Barra unión equipotencial	1	4.05	4.05
Switch magnéticos	6	2	12
Borne para riel DIN 2.5mm	2	0.97	1.94
Motoreductor	1	20	20
Motor paso a paso	1	8	8
Potenciómetros de precisión	2	38	76
Tarjeta motor paso a paso	1	40	40
Tarjeta microcontrolador	1	70	70
Caja tablero de control	1	5	5
Pulsadores	8	0.47	3.76
Pulsador de paro de emergencia	1	4	4
Canaleta Y accesorios	1	1.68	1.68
Switch On/Off	1	50	50
Conectores	1	2.6	2.6
Cable sucre 3x18	2	0.75	1.5
Cable sucre 2x10	1	2.6	2.6
		IVA(12%)	54.06
		Total	504.59

CAPÍTULO IV

PROGRAMACIÓN DEL PLC

4.1. OPERACIONES QUE REALIZA EL PLC

Para utilizar las operaciones automáticas de la máquina, mediante el PLC, se utiliza un switch ubicado en el tablero de control, el cual activa dos funciones, la primera es el modo manual y la segunda el modo automático. En el modo manual el PLC recibe órdenes de los usuarios cada vez que éste pulse o mantenga pulsado los pulsadores del tablero de control. Por consiguiente se tiene las siguientes operaciones:

- Cuando se mantenga pulsado I:0/0 el motorreductor se acciona y el carro principal del torno avanza longitudinalmente.
- Cuando se mantenga pulsado I:0/1 el motorreductor se acciona y el carro principal del torno regresa longitudinalmente.
- Cuando se mantenga pulsado I:0/2 el motor paso a paso se acciona y el carro transversal del torno avanza.
- Cuando se mantenga pulsado I:0/3 el motorreductor se acciona y el carro transversal del torno regresa.
- Cuando se pulse una sola vez I:0/4 se acciona el motor principal del torno.
- Cuando se pulse una sola vez I:0/5 se apaga el motor principal del torno.
- Cuando se pulse una sola vez I:2/0 se almacenan los dos datos de posición seleccionados en los potenciómetros de precisión.
- Cuando se pulse una sola vez I:2/1 se borra el último par de datos ingresado. Si se mantiene presionado I:2/1 se borrarán todos los datos.
- Si se guardan más de 20 datos en el display aparecerá un mensaje que dice Memoria Llena.

En el modo automático el PLC ya no recibe órdenes del usuario ya que éste no puede ingresar datos, tampoco borrarlos, no puede apagar el motor del torno y no

puede accionar el motorreductor ni el motor paso a paso. En este modo el PLC automáticamente realiza las siguientes operaciones:

1. Encendido del Motor principal del torno
2. Accionamiento del motor paso a paso y avance del carro transversal hasta la primera coordenada en X fijada por el usuario en el modo manual.
3. Accionamiento del motorreductor y avance del carro longitudinal hasta la primera coordenada fijada en Z por el usuario en el modo manual.
4. Accionamiento del motor paso a paso y regreso del carro transversal al origen de coordenadas en X fijada por el usuario en el modo manual.
5. Accionamiento del motor paso a paso y regreso del carro transversal al origen de coordenadas en Z fijada por el usuario en el modo manual.
6. Se repiten los pasos del 2 al 5 moviéndose los carros a todos los puntos fijados por el usuario.
7. Al final del proceso se apaga el motor principal del torno y suena una alarma que indica al usuario que el proceso ha terminado.

Además de estos modos en los que opera el PLC se tiene el paro de emergencia que al accionarlo en cualquier modo se apagan todos los actuadores del torno y para poder volver a utilizar la máquina se debe quitar el paro de emergencia que queda enclavado y pasar de modo manual a automático y otra vez a manual.

4.2. PROGRAMA DEL PLC Y MICROCONTROLADOR

Para que el PLC pueda realizar todas estas operaciones se realizó un programa en lenguaje Leader o de escalera que se muestra en el Anexo A-3. Se utilizó el software RSLogix 500.

Del mismo modo el programa que utiliza el micro se muestra en el Anexo A-4. Este programa está escrito en lenguaje Basic y controla principalmente al display

mostrando los valores que van a ser ingresados al PLC y también los siguientes mensajes:

- Cuando se pulse una sola vez I:2/0 en el display aparecerá un mensaje que dice “Dato guardado”.
- Cuando se pulse una sola vez I:2/1 en el display aparecerá un mensaje que dice “último dato borrado”.
- Si se mantiene presionado I:2/1 en el display aparecerá un mensaje que dice “Todos los datos borrados”.
- Si se guardan más de 20 datos en el display aparecerá un mensaje que dice “Memoria Llena”.

La escala de visualización de los puntos de coordenadas está en décimas de milímetro. Por tanto el punto máximo para el desplazamiento longitudinal llega a 4000 que equivale a 400mm; así mismo el punto máximo para ingresar en el desplazamiento transversal es de 300, equivalente a 30mm.

Para enviar las señales desde el PLC al microcontrolador se utilizan 2 salidas a 5V por cada mensaje que aparecerá en el display. De este modo se utiliza un módulo de expansión de 8 salidas digitales. En la Figura 4-1 se muestra como deben configurarse y conectarse el primer par de salidas al PLC para mostrar en el display el mensaje de “Memoria Llena”. Cuando la salida O:3/0 esta activada y la salida O:3/4 desactivada, el PLC manda “1 lógico” al microcontrolador y no se visualiza nada en el display pero cuando la salida O:3/0 esta desactivada y la salida O:3/4 se activa, el PLC manda “0 lógico” al microcontrolador visualizándose “Memoria Llena” en el display. En la simulación del microcontrolador mostrada en la Figura 3-34 el par de salidas es reemplazado por un pulsador. En la Tabla 4-1 se muestra el mensaje correspondiente de acuerdo a las salidas en el módulo de expansión.

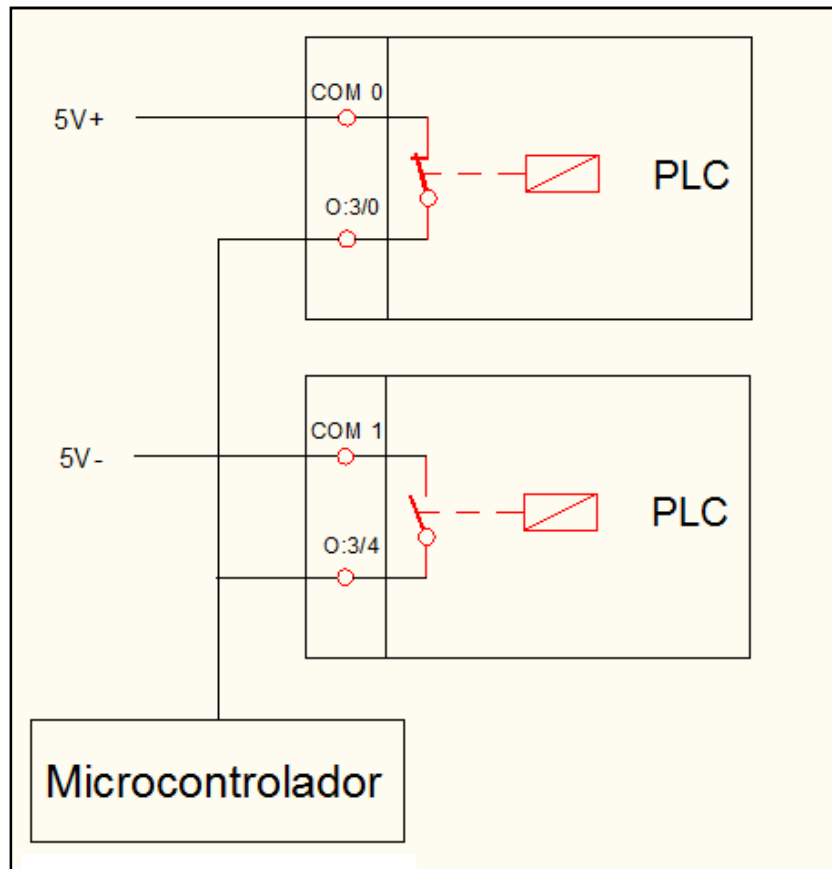


Figura 4-1. Conexión de las salidas del PLC para el display

Tabla 4-1. Mensajes que se muestran en el display

Salidas	Mensaje que aparece en el display
O:3/0 ; O:3/4	"Memoria llena"
O:3/1 ; O:3/5	"Dato grabado"
O:3/2 ; O:3/6	"Dato borrado"
O:3/3 ; O:3/5	"Todos los datos borrados"

CAPÍTULO V

RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Con el prototipo ya diseñado y construido, se hace necesaria la verificación del funcionamiento del mismo y comprobar que se cumplió con los objetivos propuestos en este proyecto. Para lo cual se planifica a continuación acciones con objeto de ensayo que permitan evaluar el desempeño del prototipo construido.

5.1.1. SISTEMA ELÉCTRICO

5.1.1.1. Encendido principal de la máquina

Se comprueba si el selector de encendido general permite la alimentación de energía eléctrica tanto al motor del torno (en sentido antihorario), al tablero de control, y al circuito eléctrico de potencia.

5.1.1.2. Funcionamiento del tablero de control

Se verifica que cada botón o pulsador del tablero cumpla con su función, es decir:

- El botón de encendido del mandril: presionando una o dos veces verificamos su funcionamiento
- El botón de apagado del mandril: mientras está girando el mandril presionamos este botón, y repetimos este proceso al menos una vez más.
- Cuatro pulsadores para los movimientos en el modo manual, dos para el movimiento longitudinal, y los dos restantes para el movimiento transversal: presionamos cada botón y confirmamos el movimiento de los carros.
- Dos perillas para ingresar puntos de posición: giramos las perillas para ingresar puntos diferentes de posición, con coordenadas en X y Z.
- Un botón para grabar puntos de trayectoria: presionando este botón grabamos varios puntos que son ingresados mediante las perillas, de tal manera que se llene la memoria.

- El interruptor para cambio de mando manual a automático y viceversa: con los puntos de trayectoria ingresados accionamos el modo automático de la máquina mediante este interruptor.
- Un botón para borrar la memoria: presionando este botón verificamos que la memoria quede vacía.

Además se verifica si la pantalla para visualización de los datos ingresados, marca los puntos de trayectoria que se registren mediante las perillas de ingreso.

5.1.13. Funcionamiento de los fines de carrera

Con ayuda del tablero de control movemos el carro longitudinal y transversal y comprobamos si los motores se apagan cuando los carros llegan a sus límites establecidos por los sensores cuando entran en contacto.

5.1.14. Funcionamiento del encoder

Ingresando puntos de trayectoria en el tablero de control movemos el carro longitudinal, y verificamos que la distancia en el eje Z sea la que se ingreso en la memoria de la máquina.

5.1.15. Funcionamiento del pulsador para apagado de emergencia

Se realiza dos o tres apagados de la máquina mediante este botón de emergencia, verificando si éste cumple su función satisfactoriamente.

5.1.2. SISTEMA MECÁNICO

5.1.2.1. Operación de refrentado

Se realiza en el torno esta operación en ejes de diferente material, tales como madera, aluminio y acero. Verificamos si es posible refrentar cada uno de estos materiales y hasta que espesor de desbaste, de forma que el motor funcione eficientemente sin paros o sobrecargas.

5.1.2.2. Operación de cilindrado

Posteriormente se ejecuta el cilindrado en cada eje del material antes mencionado. De igual forma verificamos la posibilidad del motor para desbastar cada material sin disminuir su eficiencia.

5.1.2.3. Ejecución de un contorno curvo o inclinado

Ingresando puntos de una trayectoria curva o inclinada intentamos realizar un contorno en la pieza, con el objetivo de usar los movimientos combinados de los carros.

5.2. REALIZACIÓN DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

Tabla 5-1. Cuadro de ejecución del protocolo de pruebas

Nº	Elemento / Acción	Descripción	Verificación
1	Sistema eléctrico		
1.1	Selector de encendido general	Este selector es el propio de la máquina, posee tres posiciones, dos laterales de encendido para sentido horario y antihorario del mandril, pero para el diseño del prototipo debe funcionar sólo en el sentido antihorario. Además debe encender a todo el sistema eléctrico de la máquina.	En las posiciones laterales el selector enciende al mandril en el sentido antihorario y en la posición central se apaga el equipo
1.2	Tablero de control	El tablero debe presentar la estabilidad necesaria cuando se presione los diferentes pulsadores del mismo.	Si

1.2.1	Botón de encendido del mandril	Este botón debe encender el mandril.	Si
1.2.2	Botón de apagado del mandril	Con éste debemos apagar el mandril.	Si
1.2.3	Cuatro pulsadores para los movimientos en el modo manual	Los dos pulsadores ubicados de forma horizontal deben mover al carro longitudinal, y los otros dos pulsadores ubicados de forma vertical deben mover al carro transversal.	Si, y se consigue un avance aproximado de 263,6 mm/min en Z y de 64,7 mm/min en X
1.2.4	Dos perillas para ingresar puntos de posición	La perilla de la izquierda sirve para ingresar los valores en el eje Z, y la perilla de la derecha para los valores en el eje X.	Si
1.2.5	Botón para grabar puntos de trayectoria	Los puntos de trayectoria ingresados con las perillas deben ser grabados en la memoria mediante este pulsador, hasta 20 puntos de posición.	Si
1.2.6	El interruptor para cambio de mando manual a automático y viceversa	Cuando el interruptor esté en modo automático la máquina debe moverse sola, siguiendo los puntos de trayectoria grabados en la memoria. Regresando al modo manual con el mismo interruptor los carros solamente se moverán con ayuda de los pulsadores previstos para este fin.	Si

1.2.7	Botón para borrar la memoria	Al pulsar este botón se deben borrar los puntos ingresados en la memoria y en el display debe aparecer un mensaje que indique "memoria vacía".	Si
1.3	Fines de carrera	Deben apagarse los motores cuando los sensores magnéticos entren en contacto.	Si
1.4	Encoder	La distancia ingresada en la memoria, que debe moverse el carro longitudinal, deberá coincidir con la distancia real recorrida del carro.	No
1.5	Apagado de emergencia	Debe apagarse todo el sistema eléctrico al presionar este botón, también debe tener la característica de quedar enclavado al ser presionado.	Si
2	Sistema mecánico		
2.1	Refrentado	Se debe poder refrentar al menos un eje de madera, sin que el motor a pasos se detenga, medir el espesor del material desbastado. Experimentar también con aluminio y acero, éste último no es necesario.	Si se logró refrentar y los espesores se muestran en la Tabla 5-2
2.2	Cilindrado	Así mismo es primordial que al menos se pueda desbastar madera sin que el motor reductor se detenga o sobrecargue, medir	Si se logró cilindrar y los espesores se muestran en la

		también el espesor del material desbastado. También ensayar con aluminio y acero.	Tabla 5-2
2.3	Contorno curvo o inclinado*	Se debe poder realizar en madera un contorno curvo o inclinado, sin importar el acabado del mismo. Se debe probar con los 20 puntos de trayectoria que se pueden ingresar en la memoria.	Se ingresaron 18 puntos y se realizó el mecanizado satisfactoriamente

* Para realizar el paso 2.3 del protocolo de pruebas se escoge una figura curva y se debe obtener los puntos necesarios para que se pueda fabricar esta pieza en el torno de control numérico. La Figura 5-1 muestra un esquema de la pieza a ser realizada; donde el eje de aluminio será maquinado en modo manual hasta que su diámetro posea 20mm y después en modo automático realizar la semiesfera. Los puntos de trayectoria se obtiene utilizando el software AutoCAD y su método se muestra en la Figura 5-2, donde la separación entre cada línea es de 0.5mm, pues, de acuerdo a la Tabla 5-2 es la profundidad de corte adecuada para aluminio.

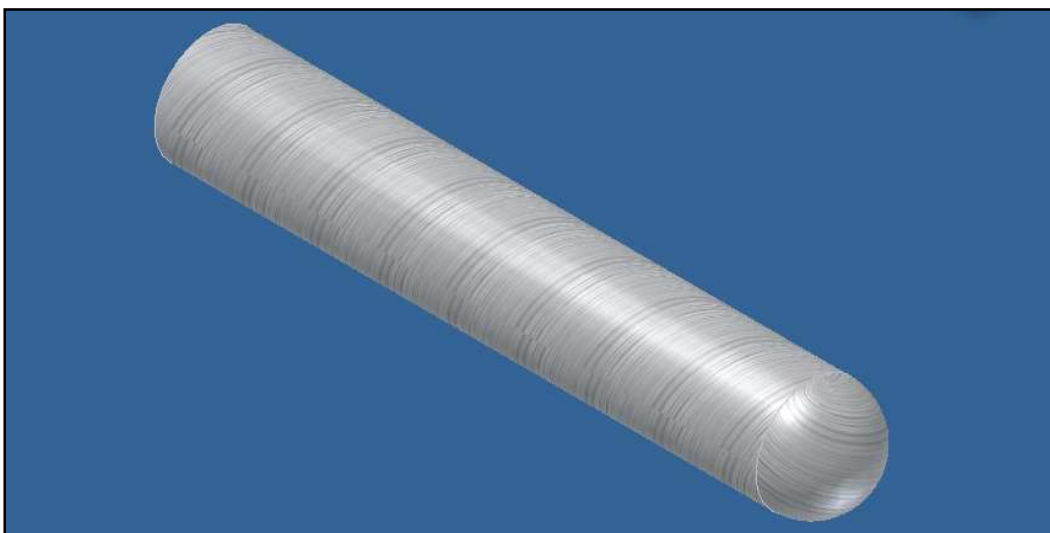


Figura 5-1. Pieza a obtener con el protocolo de pruebas

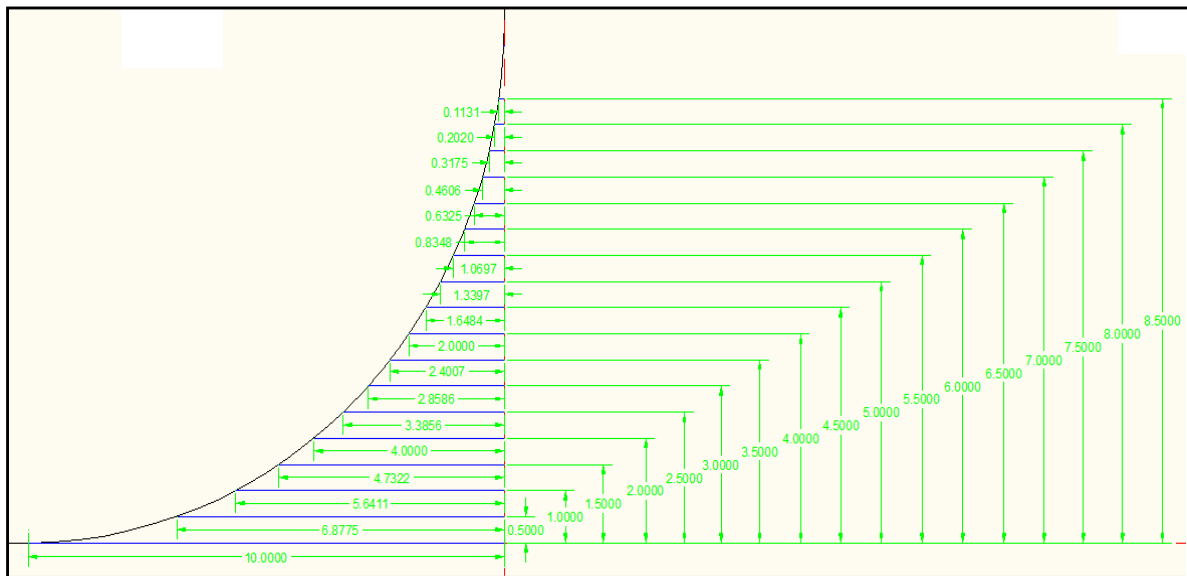


Figura 5-2. Método para la obtención de puntos de la semiesfera⁶⁸

5.3. RESULTADOS

5.3.1. ESPESORES DE DESBASTE

Al tener buen torque el motorreductor no presentó inconvenientes con respecto al espesor a desbastar al realizar la operación de cilindrado en los materiales ensayados, sin embargo su velocidad de avance es alta por lo que la cuchilla se puede recalentar si se mecaniza acero o materiales que tengan alta dureza. Con el motor paso a paso si se presentaron inconvenientes al realizar la operación de refrentado. De este modo se tiene la Tabla 5-2 donde se indican los espesores, de acuerdo al material, que fue posible desbastar.

Tabla 5-2 Resultados de las pruebas realizadas al torno de control numérico

Material Mecanizado	Espesor del material desbastado [mm]
Madera	1
Aluminio	0.5
Acero	0.2

⁶⁸ En el manual de operación de la máquina ubicado en el anexo A-6 se explica el ingreso de datos.

5.3.2. ERRORES DETECTADOS

En la tabla 5-3 y 5-4 se indica la distancia ingresada en la memoria y la distancia real recorrida por los carros longitudinal y transversal.

Tabla 5-3. Desplazamientos en el eje Z

Distancia ingresada a la memoria del PLC	Distancia real recorrida por el carro longitudinal
50	65
250	277
450	510
650	729
850	947
950	1064

Tabla 5-4. Desplazamientos en el eje X

Distancia ingresada a la memoria del PLC	Distancia real recorrida por el carro transversal
50	64
100	123
150	184
200	250
250	315
300	377

5.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 5-5 se calcula la relación entre la distancia real recorrida por el carro longitudinal y la distancia ingresada a la memoria del PLC:

Tabla 5-5. Error producido en el eje Z

Distancia ingresada a la memoria del PLC Z_0	Distancia real recorrida por el carro longitudinal Z_1	Z_1/Z_0
50	65	1.3
250	277	1.108
450	510	1.133
650	729	1.121
850	947	1.114
950	1064	1.12

En la Tabla 5-6 se calcula la relación entre la distancia real recorrida por el carro transversal y la distancia ingresada a la memoria del PLC.

Tabla 5-6. Error producido en el eje X

Distancia ingresada a la memoria del PLC X_0	Distancia real recorrida por el carro transversal X_1	X_1/X_0
50	64	1.28
100	123	1.23
150	184	1.227
200	250	1.25
250	315	1.26
300	377	1.257

Para entender el origen de este error se usa lo descrito en la sección 3.2.1.1, en donde se especificó que el encoder puede sensar distancias de 0.25mm, sin embargo, los valores que ingresan al PLC están en décimas de milímetro y debe ser un valor entero. De este modo el PLC realiza la comparación entre el valor ingresado por el usuario y el valor que cuenta el encoder al momento de accionar el motorreductor utilizando un factor de multiplicación. El valor contado en el encoder se multiplica por un número entero y éste debe ser igual al valor ingresado por el usuario al PLC. El número a ser multiplicado en este caso debe ser 2.5, pero éste no es un valor entero por tanto se utiliza 3, como se muestra en la Figura 5-5. De este modo el valor real medido siempre será mayor al valor ingresado al PLC y como se

puede apreciar en la Figura 5.4 el error aumenta a medida que se ingresan valores más grandes.

3028		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MUL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Source A</td> <td>N7:40</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>0<</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>N7:42</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0<</td> </tr> </tbody> </table>	MUL		Source A	N7:40	Source B	0<	Dest	N7:42		0<
MUL												
Source A	N7:40											
Source B	0<											
Dest	N7:42											
	0<											
3029		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">MUL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Source A</td> <td>N7:41</td> </tr> <tr> <td>Source B</td> <td>16<</td> </tr> <tr> <td>Dest</td> <td>N7:43</td> </tr> <tr> <td></td> <td>48<</td> </tr> </tbody> </table>	MUL		Source A	N7:41	Source B	16<	Dest	N7:43		48<
MUL												
Source A	N7:41											
Source B	16<											
Dest	N7:43											
	48<											

Figura 5-3. Parte del programa del PLC donde se indica el factor de multiplicación

De igual modo ocurre con el motor paso a paso donde el factor es de 2. Para intentar corregir estos errores se debe ingresar un valor menor al PLC, este nuevo valor a ingresar se obtiene al usar el promedio de las relaciones obtenidas en las Tablas 5-6 y 5-7, de modo que se plantearon las siguientes ecuaciones:

$$Z_1/Z_0 = Rz$$

$$Z_1/Z_0 = 1.25 \quad (\text{Ec. 5-1})$$

$$X_1/X_0 = Rx$$

$$X_1/X_0 = 1.15 \quad (\text{Ec. 5-2})$$

Donde:

Z_1 : es el valor real medido en Z

Z_0 : es el valor que se ingresa al PLC

X_1 : es el valor real medido en X

X_0 : es el valor que se ingresa al PLC

De las ecuaciones anteriores se busca obtener los nuevos valores a ingresar en el PLC. De modo que ahora Z_1 y X_1 se cambia por Z_2 y X_2 , también Z_0 y X_0 se cambia por Z_c y X_c , obteniendo:

$$Z_c = Z_2/1.25 \quad (\text{Ec. 5-3})$$

$$X_c = X_2/1.15 \quad (\text{Ec. 5-4})$$

Por tanto se tiene:

Z_2 : es el valor real que se moverá en Z

Z_c : es el valor corregido que ingresará al PLC para obtener Z_2

X_2 : es el valor real que se moverá en X

X_c : es el valor corregido que ingresará al PLC para obtener X_2

La siguiente Tabla ejemplifica como obtener los valores que se deben ingresar al PLC, para obtener el contorno de la pieza mostrada en la Figura 5-2. Cabe recalcar que el valor a ingresar en el PLC se tomará aproximándolo a un número entero.

Tabla 5-7. Puntos de trayectoria del contorno de la Figura 5-1

Punto	X_2	X_c	Z_2	Z_0
1	5	4.34972393	100	79.9644602
2	10	8.69944785	69	55.1754776
3	15	13.0491718	56	44.7800977
4	20	17.3988957	47	37.5832963
5	25	21.7486196	40	31.9857841
6	30	26.0983436	34	27.1879165
7	35	30.4480675	29	23.1896935
8	40	34.7977914	24	19.1914705
9	45	39.1475153	20	15.992892
10	50	43.4972393	17	13.5939582
11	55	47.8469632	13	10.3953798
12	60	52.1966871	11	8.79609063
13	65	56.5464111	8	6.39715682
14	70	60.896135	6	4.79786761
15	75	65.2458589	4	3.19857841
16	80	69.5955828	3	2.39893381
17	85	73.9453068	2	1.5992892
18	90	78.2950307	1	0.7996446

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Con el presente proyecto se puede evidenciar la base que fundamenta las operaciones automatizadas de máquinas herramientas y del papel importante que ocupa un PLC en este tipo de tecnologías.
- Se ha logrado automatizar el torno satisfactoriamente utilizando el PLC Micrologix 1100, el mismo que ofrece 40 registros donde es posible ingresar variables enteras en las cuales se guardan las coordenadas en X y Z dadas por el usuario.
- Los objetivos planteados al comienzo de este proyecto se han cumplido a cabalidad, recalcando que se obtuvo un módulo didáctico que permite visualizar las operaciones automatizadas de máquinas herramientas, específicamente las de torneado.
- En la automatización de una máquina herramienta mediante un PLC se hace necesario tener conocimientos suficientes de electricidad y electrónica, lo cual dificultó notablemente el proceso de trabajo para conseguir los objetivos planteados.
- Durante las pruebas se comprobó que todas las operaciones ejecutadas por el torno y controladas por PLC se cumplieron sin fallos, exceptuando que el microcontrolador se reiniciaba continuamente debido a ruidos eléctricos. Lo importante es sin duda el PLC, esencial en la automatización de la máquina ya que durante el mecanizado es éste el que no debe fallar.
- La automatización de un torno depende de las dimensiones de los elementos a los cuales se va a acoplar los motores, del torque necesario para mover los carros, de las condiciones en las que se encuentre la máquina, de la disponibilidad de espacio y especialmente del presupuesto que es directamente proporcional con la precisión y la interfaz del usuario.

- La automatización del torno cumple con las operaciones que debe realizar una máquina de control numérico porque se controlan los movimientos tanto transversal como longitudinal de la cuchilla logrando hacer piezas de formas variadas a excepción de roscas. No se utiliza una codificación normalizada para el ingreso de datos, en su lugar, sólo se ingresan coordenadas en X y Z, y mediante el tablero de control se dan las órdenes de maquinado al PLC.
- Es notable la extensa programación que se hizo necesaria para lograr todo lo obtenido en el torno, lo que pone en tela de duda, la justificación del uso de PLC's. Sin embargo se debe tomar en cuenta que se busca fundamentar el uso de los mismos apelando al hecho de que incluso es posible automatizar equipos en desuso promoviendo o incentivando la investigación y desarrollo de nuevos proyectos mejorados y rentables.
- No se utilizó un simulador del PLC ya que el software utilizado para la programación permite trabajar en línea con el PLC, logrando activar las entradas mediante el software sin utilizar los pulsadores que están conectados físicamente al controlador lógico.
- Durante las pruebas la máquina presentó dificultades al desbastar acero, lo que confirma el inconveniente de usar motores de bajos torques para este propósito, sin embargo materiales menos duros permiten apreciar la funcionalidad de la máquina y sobretodo del PLC.
- La disminución de costos se logró al construir el encoder, y otros elementos a partir de materiales reciclados y utilizando un sensor inductivo el cual es mucho más barato que un encoder que regularmente se encuentra en el mercado.

6.2. RECOMENDACIONES

- El proyecto deja cimentada las bases para mejoras, por lo que se recomienda a generaciones futuras continuar con investigaciones en temas relacionados y conseguir el desarrollo o adaptación de este tipo de tecnologías.
- En la facultad también se debería promover un mayor conocimiento en electrónica y electricidad en el área del control automático, pues son áreas estrechamente relacionadas.
- Así también se debe incentivar la enseñanza de microcontroladores PIC o AVR por su bajo costo y para la realización de proyectos, puesto que son un complemento importante en la automatización, como es la visualización de variables que ingresan al PLC mediante la utilización de un display.
- En cuanto al uso del equipo se recomienda no utilizar el mismo, para desbastar aceros o materiales duros debido al bajo torque que ofrecen los motores especialmente el del paso a paso.
- Para automatizar completamente el torno y éste pueda trabajar como una máquina de control numérico por computadora se recomienda utilizar una tarjeta DAQ producida por Nacional Instrument, que permiten una programación gráfica y que a través del software LabView se puede crear una interfaz hombre - máquina. También se puede controlar en tiempo real todas las variables. Estos sistemas poseen entradas y salidas igual que un PLC.
- Si se desea utilizar el mismo PLC para convertir el torno de Control Numérico a un torno de Control Numérico por Computadora se recomienda utilizar un software como el AutoCAD que permite obtener coordenadas de los puntos dibujados de un contorno, y mediante Visual-Basic crear una interfaz hombre - máquina.
- Debido al desgaste y antigüedad del torno automatizado se recomienda utilizarlo sólo como un módulo didáctico y no para la producción de piezas. Esta máquina es una introducción a las máquinas de control numérico y puede servir de mucha ayuda para entender el funcionamiento de dispositivos de este tipo y las partes que lo componen.

- Se recomienda utilizar fuentes separadas para la alimentación de los motores, microcontroladores y PLCs, ya que los motores consumen mucha energía mientras que los controladores necesitan que su voltaje y corriente permanezcan estables.
- El mantenimiento del motor principal debe tomarse en cuenta, así como el mantenimiento preventivo de todo el equipo, pues no debe dejarse de lado el hecho que la máquina es muy antigua. Además tener mucho cuidado con la limpieza, pues las virutas podrían causar interrupciones en el funcionamiento del sistema eléctrico.

BIBLIOGRAFÍA

- HEINRICH GERLING; Alrededor de las Máquinas Herramientas; Editorial Reverté; 1981; Barcelona.
- RIOJA G., SÁNCHEZ A.; Máquinas y Control Numérico; Editorial Cultural; 2002; Madrid
- OGATA KATSUHIKO; Ingeniería de Control Moderna; Prentice-Hall Hispanoamericana; 1993; México
- RIBA CARLES; Diseño Concurrente; ETSEIB – UPC; 2002; España
- SHIGLEY J; Manual de Diseño Mecánico; Tomo I; McGraw Hill; 1989; México
- www.crouzet.com.mx/pdf/telemecanique/finaldecarrera.pdf
- uandesve.angelfire.com/surigato/automatizamanufactura.pdf
- www.taringa.net/posts/ebooks-tutoriales/2687778/Tipos-de-Tornos.html
- www.sebyc.com/descargas/telesquemario/ManualElecTeleme.pdf
- www.schneider-electric.cl/documents/local/cap03.pdf
- es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Nachformdrehen.jpg
- es.wikipedia.org/wiki/Torno
- www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/mecanizadodematerialescnc/default4.asp
- www.scribd.com/doc/19347391/Plc-Completo
- observatorio.cnice.mec.es/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=505
- galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/13_S7_200.PDF
- galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PDF_S/24_SENORES_INDUCTIVOS.PDF
- www.camsco.com.tw/pdf/p232.pdf
- www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm
- <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/El-transistor.php>
- http://invader.vtrbandaancha.net/Pulsadores_chinitos.jpg

ANEXOS

ANEXO A-1. VELOCIDAD DE CORTE RECOMENDADA EN EL TORNEADO

Tabla A-1.1. Velocidad de corte recomendada para torneado⁶⁹

Esta tabla válida para HERRAMIENTAS de:

- Metal duro (plaquitas) cuando:
Se trabaja en seco
La duración del filo es $T_c = 15$ min
- Acero rápido (HSS) cuando:
Se trabaja con taladrina (σ aceite)
La duración del fijo es $T_c = 60$ min.

MATERIAL	HERRAMIENTA	DESBASTE			ACABADO			
		V_c [m/min]	a_p [mm/rev]	p_s [mm]	V_c [m/min]	a_p [mm/rev]	p_s [mm]	
ACERO INOXIDABLE	M.D.	60	≤ 1	≤ 8	100	$\leq 0,25$	≤ 2	
ACERO MOLDEADO	M.D.	50	≤ 1	≤ 10	80	$\leq 0,25$	≤ 2	
FUNDICIÓN GRIS	HSS	15	≤ 2	≤ 10	20	$\leq 0,25$	≤ 2	
	M.D.	75	≤ 2	≤ 10	120	$\leq 0,25$	≤ 2	
ALUMINIO	HSS	80	≤ 1	≤ 8	100	$\leq 0,2$	≤ 1	
	M.D.	1250	≤ 1	≤ 8	1750	$\leq 0,2$	≤ 1	
DURALUMINIO	M.D.	300	≤ 1	≤ 8	400	$\leq 0,2$	≤ 1	
LATÓN	HSS	30	≤ 1	≤ 10	45	$\leq 0,2$	≤ 1	
	M.D.	450	≤ 1	≤ 8	550	$\leq 0,2$	≤ 1	
BRONCE	HSS	25	≤ 1	≤ 10	35	$\leq 0,2$	≤ 1	
	M.D.	250	≤ 1	≤ 8	350	$\leq 0,2$	≤ 1	
ACERO AL CARBON O	$\sigma_s \leq 50$ daN/mm ²	HSS	22	0,5 - 1	≤ 10	30	0,1 - 0,2	≤ 2
		M.D.	150	1 - 2,5	≤ 15	250	0,1 - 0,25	≤ 2
	$\sigma_s 50 - 70$	HSS	20	0,5 - 1	≤ 10	24	0,1 - 0,2	≤ 2
		M.D.	120	1 - 2,5	≤ 15	200	0,1 - 0,25	≤ 2
	$\sigma_s 70-85$	HSS	15	0,5 - 1	≤ 10	20	0,1 - 0,2	$\leq 1,5$
		M.D.	80	1 - 2	≤ 15	140	0,1 - 0,2	$\leq 1,5$
	$\sigma_s \cong 100$	HSS	12	0,5 - 1	≤ 8	16	0,1 - 0,2	≤ 1
		M.D.	30	0,5 - 1	≤ 5	50	0,1 - 0,2	≤ 1

Nota: La calidad del HSS es la normal (F.552) y las calidades del M.D. utilizado serian las P.10/P.20; K.10/K.20 o M.10/M.20 según corresponda a acabado o desbaste, del acero, la fundición o el acero inoxidable respectivamente.

⁶⁹ http://www.4shared.com/file/72601330/8b2ef3a7/tablas_velocidad_de_corte_pa.html?s=1

ANEXO A-2. INTERRUPTORES DE POSICIÓN

ANEXOS A-3. PROGRAMACIÓN DEL PLC EN EL SOFTWARE RS Logix

ANEXOS A-4. PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR EN BASIC

ANEXOS A-5. DETALLE DE FACTURAS DE LA MATERIA PRIMA

ANEXOS A-6. MANUAL DE OPERACIÓN DEL TORNO

ANEXOS A-7. PLANOS DE MONTAJE