

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

“AUTOMATIZACIÓN Y HABILITACIÓN DEL SISTEMA DE ENGRANAJES PLANETARIOS PARA LA PRÁCTICA “CAJA DE CAMBIOS AUTOMÁTICA” DEL LABORATORIO DE MECANISMOS Y SERVOMEKANISMOS DEL DECEM”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

SEBASTIÁN ANDRÉS ÁLVAREZ RODRÍGUEZ

IVÁN ANDRÉS SALAZAR TORRES

DIRECTOR: ING. JUAN FERNANDO OLMEDO

CODIRECTOR: ING. HERNÁN LARA PADILLA

Sangolquí, 2012-04

INDICE DE CONTENIDOS

Indice de contenidos	iii
Lista de tablas	xi
Lista de figuras	xii
Resumen	1
Introducción	2
Objetivo	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Justificación e Importancia	4
Alcance	5
CAPITULO 1	6
MARCO TEÓRICO	6
1.1. Teoría de engranajes	6
1.1.1. Tren de engranajes	6
1.1.1.1. Relación de transmisión en trenes de engranajes	6
1.1.2. Engranajes epicicloidales o planetarios	7
1.1.3. Cálculo de relaciones de movimiento de engranajes planetarios	10
1.1.3.1. Relación de transmisión de cada relación	12
1.1.3.2. Relaciones de velocidades relativas en trenes epicicloidales	12
1.2. Teoría de caja de cambios	13
1.2.1. Introducción	14
1.2.2. Funcionamiento de las cajas de cambios automáticas	14
1.2.3. Convertidor de par hidráulico	16
1.2.4. Trenes epicicloidales	17
1.2.5. Elementos de mando para el cambio automático	19

1.2.5.1.	Embragues	20
1.2.5.2.	Frenos	21
1.2.5.3.	Frenos multidisco:	21
1.2.5.3.1.	Freno de cinta:	21
1.2.5.4.	Rueda libre	22
1.2.5.4.1.	Rueda libre de rodillos	22
1.2.5.4.2.	Rueda libre con cuerpos de apriete	23
1.2.5.5.	Rueda de aparcamiento	23
1.2.6.	Transmisión borg – warner	24
1.2.6.1.	Usos	25
CAPITULO 2		27
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		27
2.1.	Análisis actual del sistema	27
2.1.1.	Sistema mecánico	28
2.1.1.1.	Especificaciones	28
2.1.1.2.	Problemas y Soluciones	29
2.1.2.	Sistema eléctrico	35
2.2.	Estudio de alternativas	36
2.2.1.	Automatización utilizando microcontroladores	36
2.2.1.1.	Definición de microcontroladores	36
2.2.1.2.	Arquitectura interna	37
2.2.1.2.1.	Procesador	38
2.2.1.2.2.	Memoria de programa	39
2.2.1.2.3.	Memoria de datos	39
2.2.1.2.4.	Líneas de e/s para los controladores periféricos	40
2.2.1.3.	Software	40
2.2.1.4.	Ventajas	41
2.2.2.	Automatización utilizando PLC	41

2.2.2.1.	Definición de PLC	41
2.2.2.2.	Estructura general	42
2.2.2.2.1.	CPU	43
2.2.2.2.2.	Módulos auxiliares	43
2.2.2.2.3.	Memoria	43
2.2.2.3.	Hardware	44
2.2.2.4.	Software	45
2.2.2.5.	Ventajas	47
2.2.2.6.	Factores importantes para elección de PLC	47
2.2.2.7.	Estructura de una instalación con autómatas programables	48
2.2.2.8.	Formas de alimentación de los autómatas.	48
2.2.2.9.	Modo de funcionamiento	48
2.3.	Selección de la mejor alternativa	49
2.3.1.	Matriz de selección	50
2.3.2.	Interpretación	50
CAPITULO 3		51
DISEÑO		51
3.1.	Diseño de elementos mecánicos	51
3.1.1.	Diseño de sistema de reversión y transmisión	51
3.1.1.1.	Elementos	51
3.1.1.2.	Diseño de engranajes	52
3.1.1.2.1.	Material	52
3.1.1.2.2.	Análisis y diseño individual.	53
3.1.1.3.	Análisis de fuerzas para ejes móviles	54
3.1.2.	Diseño de sistema de frenado	56
3.1.2.1.	Diseño de la zapata anular	56
3.1.2.2.	Cálculo de la fuerza de frenado	56

3.2. Análisis de fuerza y movimiento	58
3.2.1. Análisis de marchas	59
3.2.1.1. Primera marcha	60
3.2.1.2. Segunda marcha	61
3.2.1.3. Tercera marcha	62
3.2.1.4. Reversa	63
3.2.1.5. Parking	64
3.2.2. Relaciones de transmisión	64
3.2.3. Análisis de torque	73
3.2.3.1. Análisis teórico	73
3.2.3.1.1. Dimensiones del diente	73
3.2.3.1.2. Esfuerzo de flexión	74
3.2.3.1.3. Cálculo de la carga	74
3.2.3.1.4. Cálculo del torque	75
3.2.3.2. Análisis experimental	75
3.3. Diseño de sistema neumático	77
3.3.1. Componentes de la red de aire comprimido	77
3.3.2. Distribución del sistema neumático	78
3.3.2.1. Caída de presión admisible	78
3.3.3. Actuadores	80
3.3.3.1. Pistones neumáticos	80
3.3.3.1.1. Simple efecto	80
3.3.3.1.2. Doble efecto	81
3.3.3.1.1 Cálculo de fuerza en pistones	81
3.3.3.1.2. Consumo de aire	83
3.3.3.2. Pinzas neumáticas	84
3.3.3.2.1. Cálculo de fuerza en pinzas	85
3.3.3.2.2. Consumo de aire.	86

3.3.3.2.3	Análisis de soportes	87
3.3.4.	Válvulas distribuidoras	91
3.3.4.1.	Características Principales	91
3.3.4.2.	Selección de las válvulas	91
3.3.4.2.1.	Parámetros	91
3.3.4.2.2.	Selección	93
3.3.4.2.3.	Datos técnicos	94
3.3.5.	Compresor	94
3.3.5.1.	Generalidades	94
3.3.5.2.	Tipos de compresores.	95
3.3.5.2.1.	El compresor de émbolo.	95
3.3.5.2.2.	El compresor de tornillo.	95
3.3.5.3.	Selección del compresor	96
3.3.5.4.	Cálculo de potencia	98
3.3.6.	Diseño neumático	100
3.3.6.1.	Longitud de tubería	100
3.3.6.2.	Cálculo de pérdidas de presión	101
3.3.7.	Diagrama de fuerza	102
3.3.8.	Diagrama de control	102
3.4.	Diseño de sistema eléctrico y electrónico	102
3.4.1.	Actuadores eléctricos	103
3.4.1.1.	Pasador de parking	103
3.4.1.1.1.	Activación	103
3.4.2.	Motor eléctrico	104
3.4.2.1.	Introducción a motores eléctricos	104
3.4.2.2.	Principio de Funcionamiento	105
3.4.2.3.	Clasificación	105
3.4.2.3.1.	Motor de corriente continua	106

3.4.2.3.1.1. Clasificación de motores de corriente continua.	107
3.4.2.3.2. Motor de corriente alterna	107
3.4.2.3.2.1. Asíncrono o de inducción.	107
3.4.2.4. Selección del motor	109
3.4.2.5. Especificaciones técnicas	110
3.4.2.6. Sistema de encendido	111
3.4.3. Variador de frecuencia	111
3.4.3.1. Introducción de variadores de frecuencia	111
3.4.3.1.1. Principio de funcionamiento	112
3.4.3.1.2. Sistema de variador de frecuencia	112
3.4.3.2. Selección del variador de frecuencia	113
3.4.3.3. Especificaciones técnicas	113
3.4.3.4. Conexiones eléctricas	113
3.4.3.5. Control de frecuencia	113
3.4.4. Alimentación	114
3.4.5. Transformador de voltaje	114
3.4.5.1. Generalidades	114
3.4.5.3. Selección	115
3.4.6. Automatización	116
3.4.6.1. Diagrama de flujo – Grafcet	116
3.4.6.2. Controlador lógico programable (PLC)	117
3.4.6.2.1. Selección de PLC	117
3.4.6.2.2. Programación	119
3.4.6.2.2.1. Definición de variables	119
3.4.6.2.2.2. Programación en ladder.	122
3.4.6.3. Interfaz hombre – máquina (HMI)	122
3.4.6.3.1. Introducción	135
3.4.6.3.2. Selección de la interfaz	135

3.4.6.3.3. Componentes del KTP400 Basic _____	136
3.4.6.3.4. Programación _____	137
3.4.6.3.4.1. Asignación de variables _____	137
3.4.6.3.4.2. Asignación de botones _____	138
3.4.6.3.4.3. Compilación _____	141
3.4.7. Circuito de potencia _____	146
CAPITULO 4 _____	147
ENSAMBLAJE _____	147
4.1. Lista de elementos _____	147
4.2. Proceso de ensamblaje _____	147
4.2.1. Ensamblaje mecánico _____	147
4.2.2. Ensamblaje eléctrico _____	149
4.2.3. Ensamblaje neumático _____	151
CAPITULO 5 _____	155
PRUEBAS Y CALIBRACIÓN _____	155
5.1. Pruebas _____	155
5.1.1. Pruebas eléctricas _____	155
5.1.2. Pruebas neumáticas _____	157
5.1.3. Pruebas mecánicas _____	158
5.2. Calibración _____	159
5.2.1. Calibración eléctrica _____	160
5.2.2. Calibración neumática _____	161
5.2.3. Calibración mecánica _____	162
CAPITULO 6 _____	165
EVALUACIÓN ECONÓMICA _____	165
6.1. Costos directos _____	165
6.1.1. Mano de obra directa _____	165
6.1.2. Materiales directos _____	165

6.1.2.1.	Sistema de reversión y transmisión	_____	166
6.1.2.2.	Sistema eléctrico y electrónico	_____	167
6.1.2.3.	Sistema Neumático	_____	168
6.1.3.	Total costos directos	_____	169
6.2.	Costos indirectos	_____	169
6.3.	Costo total del proyecto	_____	169
CAPITULO 7			170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES			170
7.1.	Conclusiones	_____	170
7.2.	Recomendaciones	_____	171
BIBLIOGRAFÍA			173
ANEXOS			¡Error! Marcador no definido.
A.1	Desarrollo de la guia practica	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2	Especificaciones tecnicas	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.1	Motor abb trifasico 0.5 hp	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.2	Variador de frecuencia lenze 0.5 hp	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.3	Electrovalvulas	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.4	Pinzas neumaticas SMC – MHK2	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.5	PLC SIEMENS S7-1200 1212C	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.2.6	KTP400 BASIC PANEL	_____	¡Error! Marcador no definido.
A.3	Planos	_____	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1 Elementos y funciones del engranaje epicicloidal.....	19
Tabla 2. 1 Matriz de selección de alternativas	50
Tabla 3. 1 Características de los engranajes del sistema de reversión y transmisión.....	53
Tabla 3. 2 Número de dientes de los engranajes.....	65
Tabla 3. 3 Cuadro de resumen de relaciones de transmisión	73
Tabla 3. 4 Pesos necesarios para inicio de movimiento	76
Tabla 3. 5 Caídas de presión admisibles	79
Tabla 3. 6 Consumo crítico de aire	97
Tabla 3. 7 Longitudes en líneas de tubería.....	100
Tabla 3. 8 Variables de programación	120
Tabla 3. 9 Partes de KTP400.....	137
Tabla 3. 10 Variables de programación de HMI.....	137
Tabla 6. 1 Costos de mano de obra directa	165
Tabla 6. 2 Costos sistema de reversión y transmisión.....	166
Tabla 6. 3 Costos del sistema eléctrico y electrónico	167
Tabla 6. 4 Costos del sistema neumático	168
Tabla 6. 5 Total costos directos	169
Tabla 6. 6 Costos indirectos	169
Tabla 6. 7 Costo total del proyecto	169

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1 Tren de engranajes _____	6
Figura 1. 2 Engranaje Planetario _____	8
Figura 1. 3 Estado de reducción _____	9
Figura 1. 4 Estado de supermarcha _____	9
Figura 1. 5 Estado de transmisión directa _____	10
Figura 1. 6 Estado de inversa _____	10
Figura 1. 7 Elementos del tren planetario _____	11
Figura 1. 8 Sentidos de giro de tren planetario _____	11
Figura 1. 9 Elementos relativos para el cálculo de velocidad _____	12
Figura 1. 10 Caja de cambios _____	14
Figura 1. 11 Elementos de una transmisión automática Hidramatic _____	15
Figura 1. 12 Esquema y sección de un convertidor de par hidráulico _____	16
Figura 1. 13 Funcionamiento del convertidor de par _____	16
Figura 1. 14 Funcionamiento interno del convertidor de par _____	17
Figura 1. 15 Esquema y sección de un engranaje epicicloidal _____	17
Figura 1. 16 Esquema y partes de engranaje epicicloidal _____	18
Figura 1. 17 Funcionamiento de engranaje epicicloidal _____	18
Figura 1. 18 Mecanismo con dos engranajes epicicloidales _____	19
Figura 1. 19 Mecanismos de bloqueo instalados en el engranaje epicicloidal _____	20
Figura 1. 20 Despiece de un conjunto embrague - tambor _____	20
Figura 1. 21 Esquema y funcionamiento del freno multidisco _____	21
Figura 1. 22 Cinta de freno de caja de cambios _____	22
Figura 1. 23 Rueda libre de rodillos _____	22
Figura 1. 24 Rueda libre con cuerpos de apriete _____	23
Figura 1. 25 Rueda de aparcamiento _____	24
Figura 2. 1 Estado original de la transmisión Borg - Warner.....	27
Figura 2. 2 Elementos principales de la transmisión Borg - Warner	28
Figura 2. 3 Engranajes solares del tren planetario.....	29
Figura 2. 4 Engranajes satélites.....	29
Figura 2. 5 Mal funcionamiento de la marcha reversa	30
Figura 2. 6 Acople disco azul.....	31

Figura 2. 7 Espaciamiento entre piezas.....	31
Figura 2. 8 Desplazamiento de piñones satélites.....	32
Figura 2. 9 Cambio de marchas mediante pasadores	34
Figura 2. 10 Actuadores electromecánicos en mal estado	35
Figura 2. 11 Microcontrolador	36
Figura 2. 12 Arquitectura interna de un microcontrolador	37
Figura 2. 13 Partes principales de un microcontrolador	38
Figura 2. 14 Procesador PIC.....	39
Figura 2. 15 Esquema explicativo del uso de la memoria.....	40
Figura 2. 16 PLC (Programmable logic controller).....	41
Figura 2. 17 Estructura general de un PLC.....	42
Figura 2. 18 Ejemplo de diagrama de contactos.....	45
Figura 2. 19 Ejemplo de funciones lógicas	46
Figura 2. 20 Ejemplo de GRAFCET	46
Figura 3. 1 Esquema y partes del sistema de reversión y transmisión	52
Figura 3. 2 Diseño de la zapata anular	56
Figura 3. 3 Esquema y partes del tren epicicloidal del sistema	58
Figura 3. 4 Simulación en SolidWorks de la primera marcha	60
Figura 3. 5 Simulación en SolidWorks de la segunda marcha.....	61
Figura 3. 6 Simulación en SolidWorks de la tercera marcha	62
Figura 3. 7 Simulación en SolidWorks de la marcha reversa.....	63
Figura 3. 8 Simulación en SolidWorks de la marcha Parking	64
Figura 3. 9 Flujo de potencia ADFGHJ	68
Figura 3. 10 Flujo de potencia ADFGHH ₁ K	69
Figura 3. 11 Flujo de potencia para tercera marcha	71
Figura 3. 12 Flujo de potencia para reversa	72
Figura 3. 13 Principales dimensiones del diente	73
Figura 3. 14 Análisis experimental de torque.....	76
Figura 3. 15 Red de aire comprimido.....	78
Figura 3. 16 Caída de presión admisible en líneas de aire	79
Figura 3. 17 Pistón neumático.....	80
Figura 3. 18 Esquema de pistón simple efecto	81
Figura 3. 19 Esquema de pistón de doble efecto.....	81

Figura 3. 20 Nomograma para hallar consumo de aire en pistones_____	84
Figura 3. 21 Pinza neumática de desplazamiento horizontal_____	84
Figura 3. 22 Esquema y partes de una pinza neumática_____	85
Figura 3. 23 Nomograma para hallar el consumo de aire en pinzas neumáticas _____	86
Figura 3. 24 Disposición de soportes de pinza neumática_____	87
Figura 3. 25 Asignación de cargas a soportes de pinza neumática_____	88
Figura 3. 26 Simulación y mallado para cálculo de esfuerzos_____	89
Figura 3. 27 Análisis de resultados para esfuerzos de Von Mises_____	89
Figura 3. 28 Análisis de resultados para el desplazamiento_____	90
Figura 3. 29 Análisis de resultados para el esfuerzo unitario_____	90
Figura 3. 30 Válvula neumática de distribución_____	91
Figura 3. 31 Válvulas electroneumáticas seleccionados_____	93
Figura 3. 32 Compresor de aire_____	94
Figura 3. 33 Funcionamiento de un compresor de embolo_____	95
Figura 3. 34 Esquema de compresor de tornillo_____	96
Figura 3. 35 Diagrama de movimientos del sistema neumático_____	96
Figura 3. 36 Compresor seleccionado_____	97
Figura 3. 37 Longitud de tubería_____	100
Figura 3. 38 Diagrama de fuerza_____	102
Figura 3. 39 Motor eléctrico_____	104
Figura 3. 40 Esquema y partes de un motor eléctrico_____	105
Figura 3. 41 Principio de funcionamiento_____	106
Figura 3. 42 Motor trifásico_____	108
Figura 3. 43 Conexión en estrella_____	108
Figura 3. 44 Conexión en triángulo_____	109
Figura 3. 45 Velocidades del motor_____	110
Figura 3. 46 Motor trifásico seleccionado_____	110
Figura 3. 47 Variador de frecuencia_____	111
Figura 3. 48 Relación par - velocidad_____	112
Figura 3. 49 Esquema de un transformador de voltaje_____	114
Figura 3. 50 Representación simbólica de un transformador_____	115
Figura 3. 51 Transformador de voltaje seleccionado_____	116
Figura 3. 52 Diagrama de flujo - GRAFCET_____	117
Figura 3. 53 PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/Rly_____	119

Figura 3. 54 Interfaz hombre – máquina _____	135
Figura 3. 55 Simatic touch panel KTP400 Basic _____	136
Figura 3. 56 Partes de KTP400 (1) _____	136
Figura 3. 57 Partes de KTP400 (2) _____	136
Figura 3. 58 Barra de herramientas de pantalla táctil _____	139
Figura 3. 59 Propiedades de botones _____	139
Figura 3. 60 Ubicación de botones en pantalla _____	140
Figura 3. 61 Asignación de eventos a botones _____	140
Figura 3. 62 Asignación de eventos con operaciones de bits _____	141
Figura 3. 63 Primera imagen _____	141
Figura 3. 64 Segunda imagen _____	143
Figura 3. 65 Tercera imagen _____	143
Figura 3. 66 Cuarta Imagen _____	144
Figura 4. 1 Pistón acoplado con eje móvil	147
Figura 4. 2 Eje móvil con soportes axiales.....	148
Figura 4. 3 Placa con Bocín.....	148
Figura 4. 4 Caja eléctrica con rieles DIN.....	149
Figura 4. 5 Montaje de elementos electrónicos	149
Figura 4. 6 Puerta de caja térmica con accesorios	150
Figura 4. 7 Conexión eléctrica de electroválvulas.....	150
Figura 4. 8 Base manifold y válvulas conectadas	151
Figura 4. 9 Silenciadores y tapón neumático	151
Figura 4. 10 Pisco conectores de 4mm.....	151
Figura 4. 11 Conjunto neumático ensamblado	152
Figura 4. 12 Accesorios de pistón.....	152
Figura 4. 13 Soportes angulares para pinzas neumáticas	152
Figura 4. 14 Ensamble de brazos y zapatas anulares de frenado	153
Figura 4. 15 Ensamblaje final.....	153
Figura 5. 1 Respuesta visual de activación de PLC.....	155
Figura 5. 2 Marcación de terminales de cables.....	156
Figura 5. 3 Verificación de la conexión del variador de frecuencia	156
Figura 5. 4 Potenciómetro de control de velocidad	157

Figura 5. 5 Bobinas.....	157
Figura 5. 6 Válvulas reguladoras de caudal unidireccionales	158
Figura 5. 7 Poleas y banda	159
Figura 5. 8 Placa de sujeción de pistón	159
Figura 5. 9 Modificación de duración de marchas en ciclo automático	160
Figura 5. 10 Regulación de límite de frecuencia máxima en el variador	160
Figura 5. 11 Relés de control de bobinas de válvulas 5/2.....	161
Figura 5. 12 Válvula reguladora de caudal	162
Figura 5. 13 Ampliación de ranuras en placa de sujeción.....	162
Figura 5. 14 Placa de sujeción de motor.....	163
Figura 5. 15 Motor empotrado.....	163
Figura 5. 16 Modelo terminado	164

RESUMEN

El presente proyecto de tesis contiene información básica a cerca de las transmisiones automáticas y su funcionamiento, con el fin de dar a conocer los diferentes elementos y mecanismos que lo constituyen y como trabajan estos en conjunto, esto se puede encontrar en el capítulo 1.

La observación del funcionamiento del sistema antes la intervención y adecuación se puede encontrar en el capítulo 2. El sistema se someterá a un análisis profundo y se expondrán todos los problemas y sus respectivas soluciones.

El capítulo 3 habla del diseño del proyecto, el cual está constituido de 3 grandes ramas de la ingeniería, la mecánica, electrónica y la informática. En el diseño mecánico se enfoca principalmente en la creación de mecanismos que transmitan potencia, velocidad y torque, además de abarcar el diseño neumático del sistema; en la parte electrónica, más precisamente en el control industrial, se diseñara el proceso de automatización, el cual se encargara de controlar la interacción de los componentes para lograr el fin propuesto; por ultimo en la parte informática se desarrollara la programación de los distintos dispositivos electrónicos (procesadores lógicos controlables), con el fin de una manera sencilla controlar el sistema.

Por último en los capítulos 4 y 5 se encontrara todo lo referente al ensamblaje, montaje, pruebas y calibración del nuevo sistema implementado. Además de la realización de la práctica demostrativa, haciendo que los estudiantes puedan utilizar el sistema de una manera sencilla y práctica.

INTRODUCCIÓN

El sistema de engranajes planetarios del laboratorio de mecanismos de la escuela politécnica del ejército en la actualidad se encuentra fuera de funcionamiento. El principal problema del equipo radica en que no es lo suficientemente didáctico para el uso de los estudiantes, debido a la falta de elementos que con el paso del tiempo sufrieron averías que comprometieron su funcionamiento.

En el aspecto mecánico podemos concluir que el problema radica en la falta de un mecanismo extra que permita la sincronización entre el disco motriz y los otros discos para el cambio de relaciones de velocidad. El segundo problema que se presenta es la inminente necesidad de remplazar los actuadores eléctricos por un sistema de frenado alternativo para los discos/embragues. Por último la falta de instrumentos de potencia y medición hacen que el sistema sea inservible hasta su adecuación.

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Automatizar y habilitar el sistema de engranajes planetarios para la práctica “Caja de cambios automática”, de tal manera que el equipo sea apto para su posterior utilización.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un mecanismo que permita la sincronización entre los discos/embrague y el tren planetario.
- Determinar qué tipo de dispositivo de frenado es el más adecuado para que los discos se detengan en el momento del cambio de marcha.
- Determinar el sistema de control electrónico más apto para que sea didáctico y de fácil manipulación para el usuario.
- Ensamblar los dispositivos.
- Realizar un modelo de práctica de laboratorio con el fin establecer parámetros de utilización del equipo y comprobar su funcionamiento teórico.
- Realizar pruebas para verificar funcionamiento adecuado.
- Realizar una evaluación económica.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El sistema de transmisión automática es uno de los sistemas más completos en el estudio de los mecanismos. El estudio de relaciones de transmisión y demás conceptos mecánicos hacen de este un tema básico para cualquier aspirante a ingeniero mecánico.

El laboratorio de mecanismos posee un modelo didáctico con el cual a través de algunos años se ha instruido a cerca del funcionamiento de la transmisión automática, lamentablemente el tiempo de uso ha contribuido en el deterioro del equipo haciendo que pierda parte de su potencial pedagógico.

Es necesaria la implementación de un sistema automático, moderno y eficiente, que sea capaz de reproducir y mejorar la manera de plasmar el conocimiento y así hacer de este una herramienta de estudio que permita conocer y entender el funcionamiento de la transmisión automática.

ALCANCE

El alcance de este proyecto es la automatización, habilitación y realización de pruebas de operación del sistema de transmisión automática obteniendo resultados satisfactorios y coherentes con los requerimientos del laboratorio de mecanismos. Se va a diseñar un mecanismo de reversión y transmisión que permitirá transmitir velocidad y par motor al sistema.

Se pretende construir un sistema de automatización utilizando un PLC el cual permitirá controlar las diferentes marchas y los accionamientos de los actuadores. Se construirá un sistema neumático el cual estará encargado del frenado de los discos y del control del sistema de reversión y transmisión.

CAPITULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Teoría de engranajes [52]

Un engranaje es una rueda dentada que se utiliza para transmitir potencia de un componente a otro. Un tren de engranajes es un sistema formado por varios engranajes conectados entre sí.

1.1.1. Tren de engranajes [24]

Los trenes de engranajes se emplean para conseguir mecanismos de transmisión con características que no podrían conseguirse con un sólo engranaje (por ejemplo una relación de transmisión elevada). Cada engranaje del tren se denomina etapa del tren de engranajes.

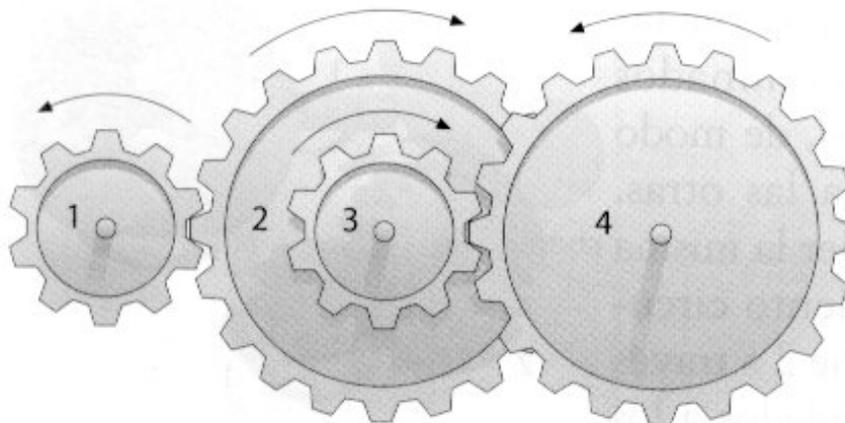


Figura 1. 1 Tren de engranajes. Fuente [24].

1.1.1.1. Relación de transmisión en trenes de engranajes

Es la relación de giro que existe entre el piñón conductor y la rueda conducida. La Relación de transmisión puede ser reductora de velocidad o multiplicadora de velocidad.

Hay tres tipos de transmisiones posibles que se establecen mediante engranajes:

- Transmisión simple
- Transmisión con piñón intermedio o loco
- Transmisión compuesta por varios engranajes conocida como tren de engranajes.

La ecuación general de transmisión es:

$$N_1 \cdot Z_1 = N_2 \cdot Z_2 \quad (1.1)$$

La transmisión simple la forman dos ruedas dentadas, el sentido de giro del eje conducido es contrario al sentido de giro del eje motor

La transmisión con piñón intermedio o loco está constituida por tres ruedas dentadas, donde la rueda dentada intermedia solamente sirve para invertir el sentido de giro del eje conducido y hacer que gire en el mismo sentido del eje motor. La relación de transmisión es la misma que en la transmisión simple.

La relación de transmisión en un tren de engranajes se rige a la siguiente fórmula:

$$N_1 \cdot Z_1 \cdot Z_3 \dots \dots Z_n = N_2 \cdot Z_2 \cdot Z_4 \dots \dots Z_{(n+1)} \quad (1.2)$$

1.1.2. Engranajes epicicloidales o planetarios [25] [26]

Es un sistema de engranajes (o tren de engranajes) que consiste en uno o más engranajes externos o planetas que rotan sobre un engranaje central o sol. Pueden incorporar también el uso de un engranaje anular externo o corona, que engrana con los planetas. Su principal aplicación se encuentra en la transmisión de los vehículos.

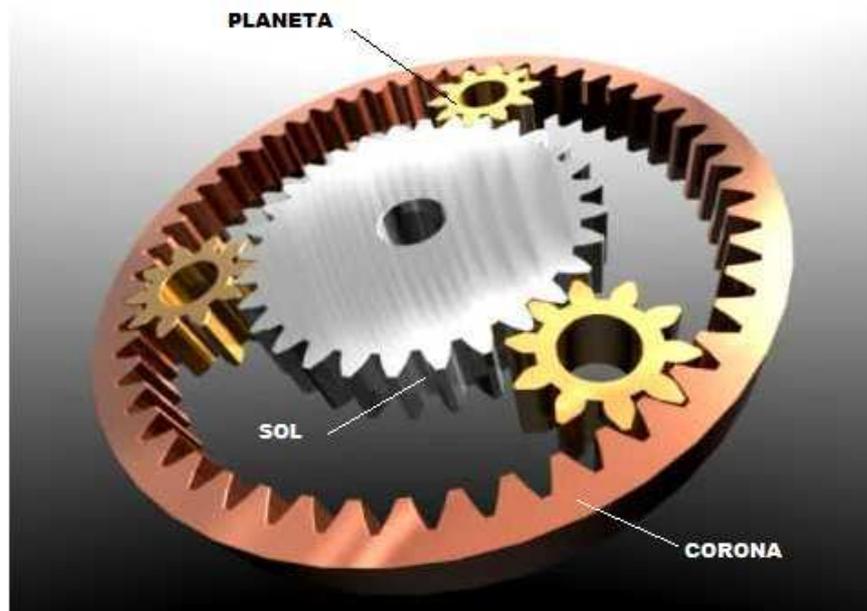


Figura 1. 2 Engranaje Planetario. Fuente [25].

Este tipo de sistema de engranajes tiene algunas ventajas:

- Son compactos
- Los planetarios siempre van engranados constante y completamente, eliminando la posibilidad de que se produzcan daños en los dientes debido a choques en las maniobras de engrane.
- Son fuertes y robustos, pudiendo soportar cargas de par mayores en comparación con otras combinaciones de engranajes de transmisiones manuales.

Su funcionamiento está gobernado por cinco estados que proporcionan la clave para entender los diferentes flujos de potencia de engranajes en las transmisiones automáticas.

Estado Neutro: Ninguno de los elementos del planetario está bloqueado. (Punto muerto). El piñón actúa como miembro de entrada conductor, y los satélites rotan libremente sobre sus ejes pues la corona también puede girar libremente.

Estado de Reducción: (Reducción de Marcha) Se pone un elemento de reacción (fijo) como ser la corona y que la salida sea el portasatélite el cual transmitirá el movimiento a las ruedas.

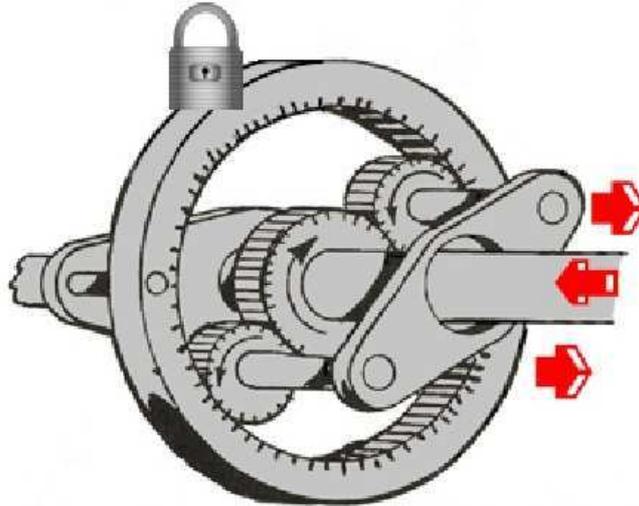


Figura 1. 3 Estado de reducción. Fuente [26].

Estado de Supermarcha: Cuando se tiene un elemento de reacción (fijo) y el portasatélites es la entrada, existe una multiplicación del giro, produciendo un efecto contrario al Estado de Reducción de Marcha, reduciendo el par y aumentando la velocidad.

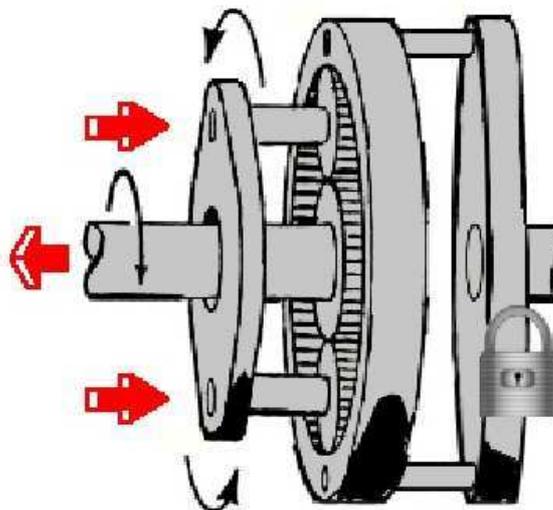


Figura 1. 4 Estado de supermarcha. Fuente [26].

Estado de transmisión directa: Se obtiene este estado bloqueando entre sí dos miembros cualesquiera del tren de engranajes planetarios. Conducir dos miembros al mismo tiempo con relación a la velocidad y en la misma dirección produce el mismo efecto.

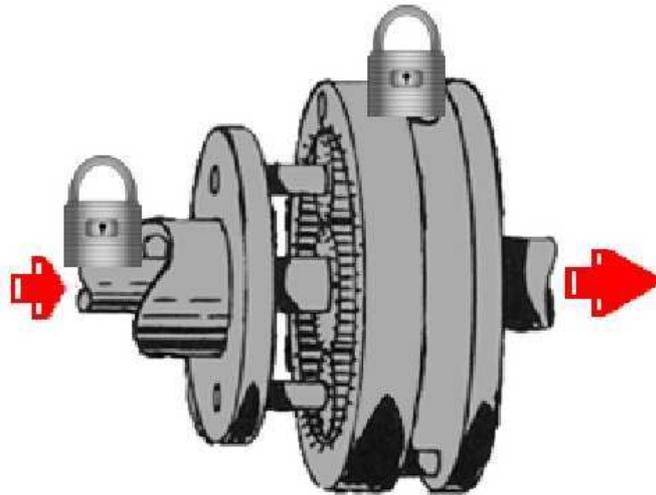


Figura 1. 5 Estado de transmisión directa. Fuente [26].

Estado de Inversa: Este estado lo se obtiene reteniendo el portasatélite para que no rote, entonces la corona y el piñón tendrán sentido de giro contrario, sea que la entrada fuere por el piñón y la salida por la corona o viceversa.

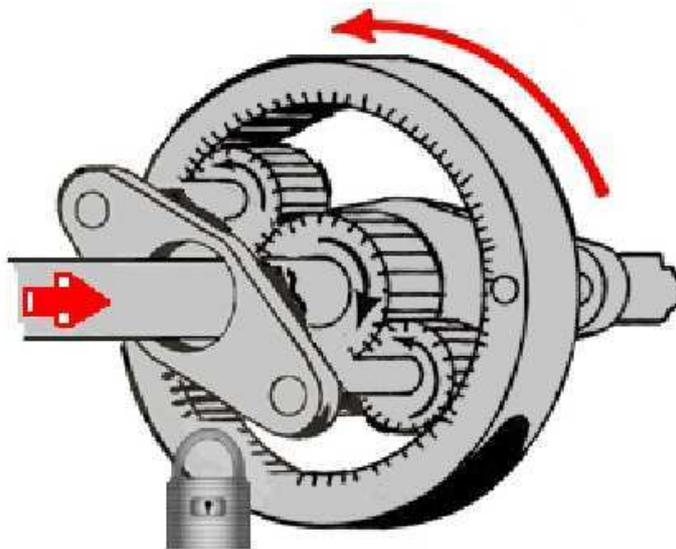


Figura 1. 6 Estado de inversa. Fuente [26].

1.1.3. Cálculo de relaciones de movimiento de engranajes planetarios [27]

El engranaje planetario funciona como un cambio con diferencial cuando el piñón central y el engranaje interior están acoplados.

El piñón central, instalado dentro de los piñones satélites, y el engranaje interior, instalado afuera de los piñones satélites, se acoplan con los engranajes relacionados.

El piñón central y el engranaje interior ruedan en el centro del engranaje planetario.

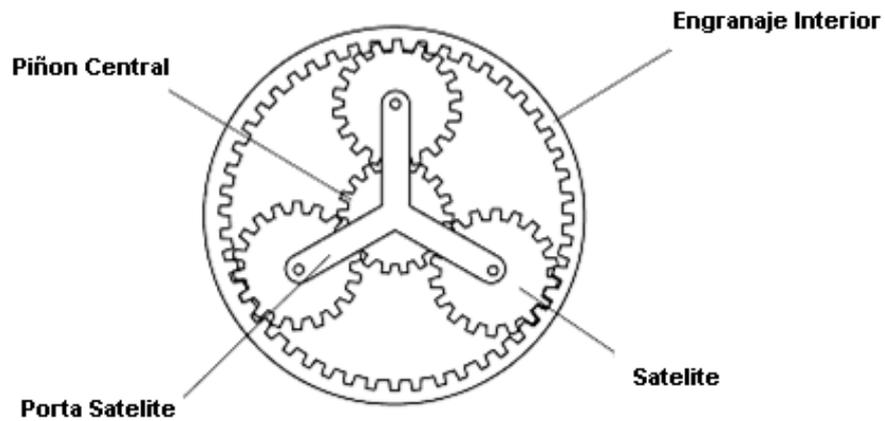


Figura 1. 7 Elementos del tren planetario. Fuente [27].

Los piñones satélites giran en las dos siguientes maneras:

- Sobre sus mismos centros (rotación)
- Sobre el centro del engranaje planetario (revolución)

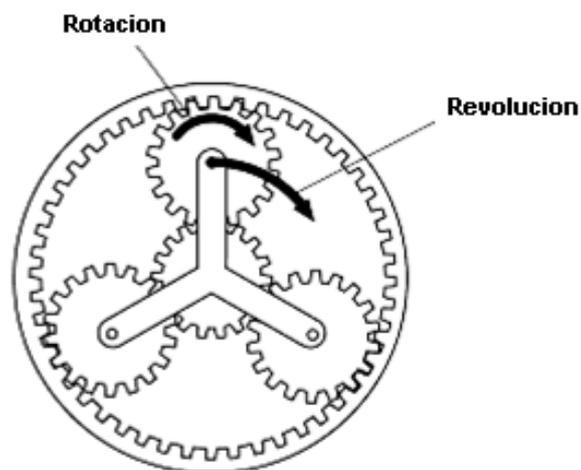


Figura 1. 8 Sentidos de giro de tren planetario. Fuente [27].

1.1.3.1. Relación de transmisión de cada relación

La relación entre cada elemento del engranaje planetario y la velocidad de rotación se indica con la fórmula siguiente.

$$(N_C + N_S) V_P = N_C V_C + N_S V_S \quad (1.3)$$

En esta fórmula N representa el número de dientes, V la velocidad de rotación, P, S, C indican el elemento de cada engranaje:

C = Corona

S = Engranaje Sol

P = Porta Satélite

1.1.3.2. Relaciones de velocidades relativas en trenes epicicloidales

Se obtienen efectos inusuales en un tren de engranes si se permite que algunos de los ejes de engranes giren respecto de otros. A estos trenes de engranes se les conoce como trenes de engranes planetarios o epicíclicos. Los trenes planetarios siempre incluyen un engrane sol, un portador planetario y uno o más engranes planetarios. Los trenes de engranes planetarios son mecanismos inusuales porque tienen dos grados de libertad, lo que significa que, para movimiento restringido, un tren planetario debe tener dos entradas.

Para el cálculo de las velocidades relativas de las velocidades angulares se tienen las siguientes fórmulas.

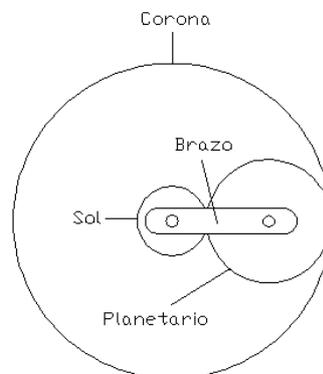


Figura 1. 9 Elementos relativos para el cálculo de velocidad. Fuente propia.

Para el cálculo de la velocidad angular del engrane sol relativa al brazo en rpm es:

$$n_{SB} = n_S - n_B \quad (1.4)$$

Para el cálculo de la velocidad de la corona con respecto al brazo en rpm es:

$$n_{CB} = n_C - n_B$$

Al dividir estas dos ecuaciones se expresada la relación entre la corona y el engrane sol, y ambas velocidades se toman con relación al brazo. Ahora esta relación es proporcional a los números de dientes, ya sea que el brazo gire o no. Es el valor del tren. Por lo tanto se puede expresar mediante:

$$e = \frac{n_C - n_B}{n_S - n_B} \quad (1.5)$$

Esta ecuación se emplea para despejar el movimiento de salida de cualquier tren planetario. Se escribe en forma más conveniente:

$$e = \frac{n_L - n_A}{n_F - n_A}$$

Dónde:

n_L = Rpm del primer engrane del tren planetario.

n_F = Rpm del último engrane del tren planetario.

n_A = Rpm del brazo.

1.2. Teoría de caja de cambios [27], [28], [29]

La caja de cambios de un vehículo es el sistema que se encarga de transmitir el movimiento generado por el motor a las ruedas. En pocas palabras es el mecanismo por el cual el automóvil consigue moverse.

1.2.1. Introducción

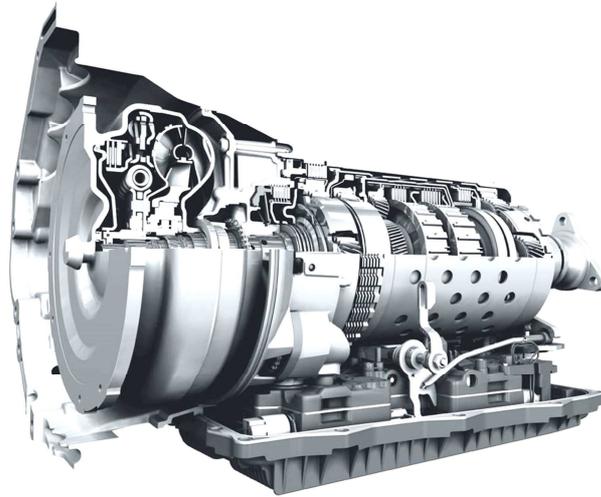


Figura 1. 10 Caja de cambios. Fuente [28].

Con la caja de cambios se "disminuye" o "aumenta" la velocidad del vehículo y de igual forma se "aumenta" o "disminuye" la fuerza generada por el motor.

La caja de cambios automática fue utilizada por primera vez a principios del siglo XX por Fred Lanchester y después adecuada al modelo T de Ford, pero fue Walter Wilson quien estudio a fondo el sistema de engranajes epicicloidales y dotó a la caja de cambios automática de una palanca selectora con la cual se podía cambiar las marchas.

En 1919 desarrollo el sistema epicíclico compuesto, dotado de 3 marchas y reversa, esta caja de cambios lleva su nombre.

A partir de ese momento hubo una serie de mejoras y poco a poco fueron adoptadas por la creciente industria automovilística de EEUU. A partir de los años 40 se optó por el sistema de embrague hidráulico, de esta manera se logró mayor comodidad al conductor y a la vez impartir suavidad en la transmisión de fuerza a las ruedas.

1.2.2. Funcionamiento de las cajas de cambios automáticas

La caja automática es un sistema que, de manera autónoma, determina la mejor relación entre los diferentes elementos, como la potencia del motor, la

velocidad del vehículo, la presión sobre el acelerador y la resistencia a la marcha, entre otros.

El cambio de una relación a otra se produce en función tanto de la velocidad del vehículo como del régimen de giro del motor, por lo que el conductor no necesita ni de pedal de embrague ni de palanca de cambios. El simple hecho de pisar el pedal del acelerador provoca el cambio de relación conforme el motor varía de régimen de giro. Por lo tanto el cambio automático no sólo proporciona más confort, sino que aporta al vehículo mayor seguridad activa.

Los elementos fundamentales que componen la mayoría de los cambios automáticos actuales son:

- Un convertidor hidráulico de par que varía y ajusta de forma automática su par de salida, al par que necesita la transmisión.
- Un tren epicycloidal o una combinación de ellos que establecen las distintas relaciones del cambio.
- Un mecanismo de mando que selecciona automáticamente las relaciones de los trenes epicycloidales. Este sistema de mando puede ser tanto mecánico como hidráulico, electrónico o una combinación de ellos.

La caja de cambios de turbo embrague con caja de cambio enteramente automática de engranajes planetarios, más conocida como Hidramatic, ha sido utilizada en muchos modelos.

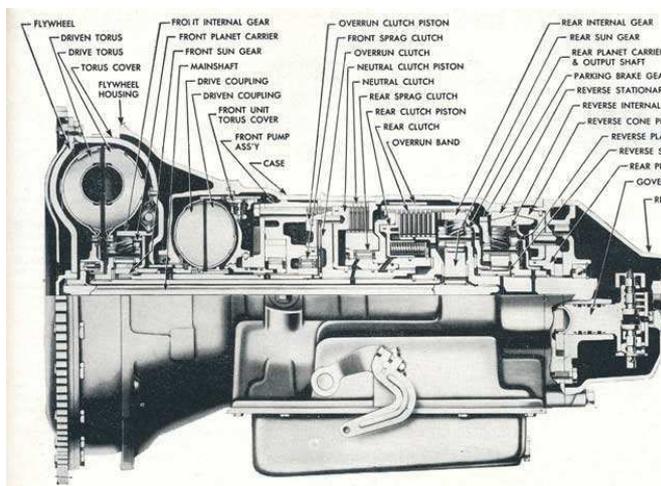


Figura 1. 11 Elementos de una transmisión automática Hidramatic. Fuente [28].

1.2.3. Convertidor de par hidráulico

Es utilizado en las transmisiones automáticas en remplazo del embrague. Se encarga de independizar el giro del eje motor del giro del eje que proporciona movimiento a las ruedas del vehículo

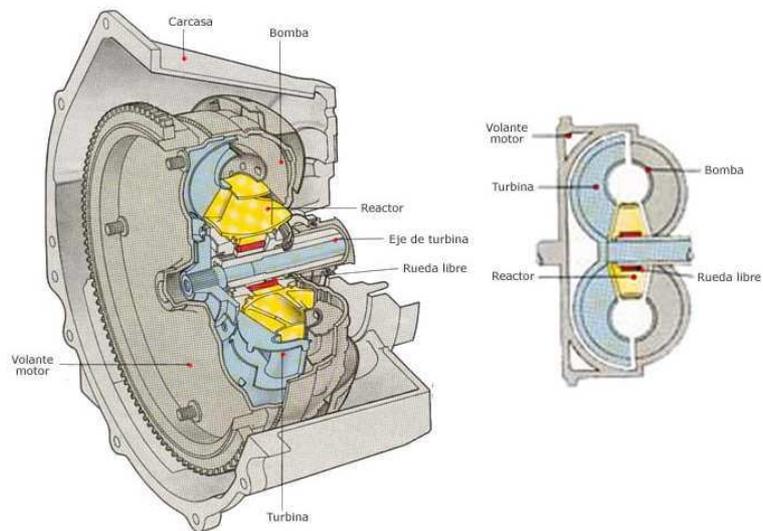


Figura 1. 12 Esquema y sección de un convertidor de par hidráulico. Fuente [27].

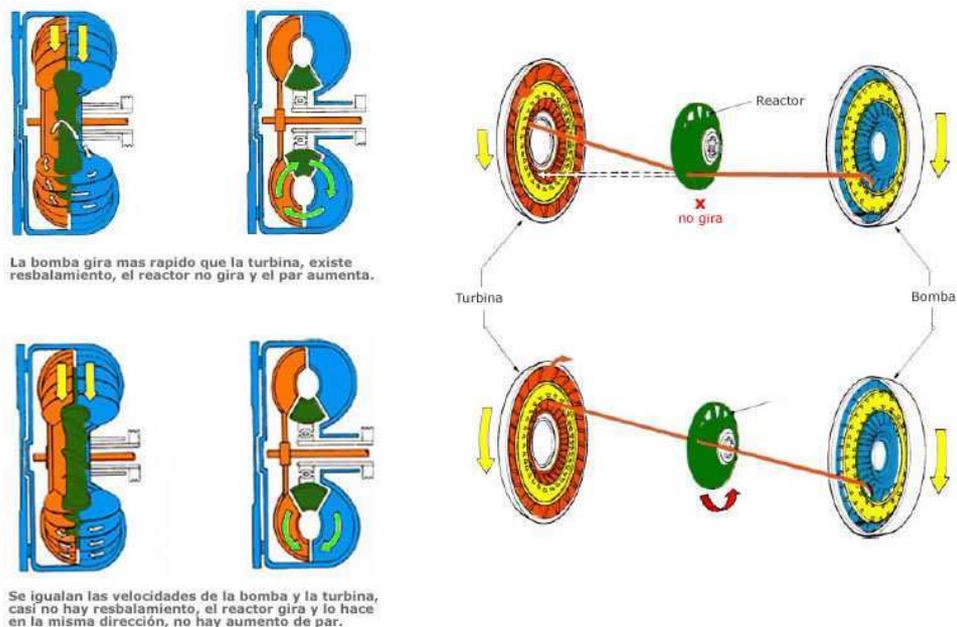


Figura 1. 13 Funcionamiento del convertidor de par. Fuente [27].

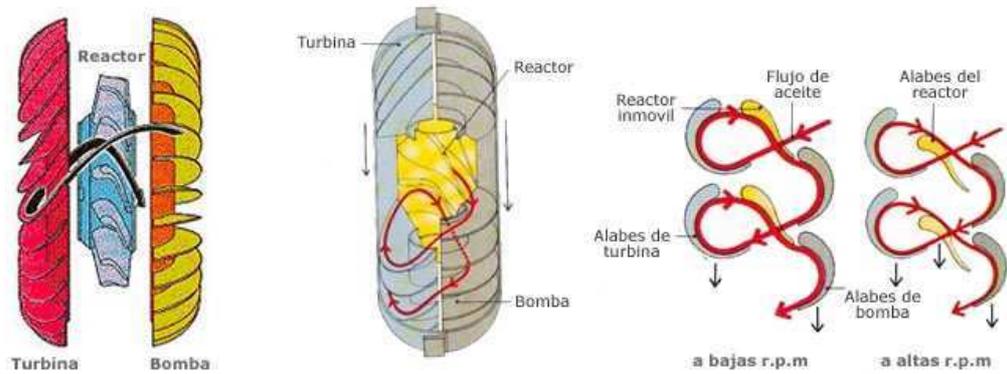


Figura 1. 14 Funcionamiento interno del convertidor de par. Fuente [27].

La ventaja fundamental del convertidor hidráulico de par sobre el embrague hidráulico es que el primero permite, en situaciones donde se necesita mayor tracción como subida de pendientes o arranques, el movimiento del reactor con lo que el par transmitido se ve aumentado respecto al proporcionado por el motor en caso de necesidad. Además el convertidor hidráulico amortigua a través del aceite cualquier vibración del motor antes de que pase a cualquier parte de la transmisión.

1.2.4. Trenes epicicloidales

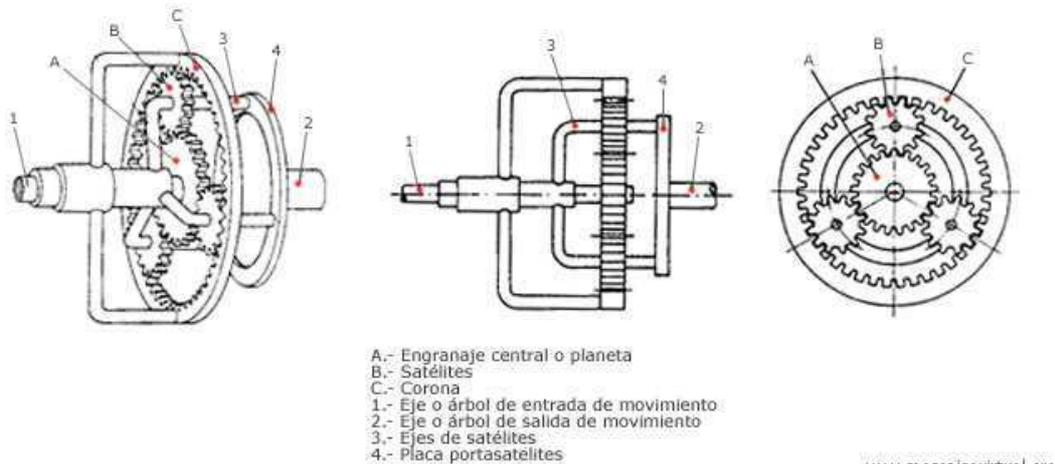


Figura 1. 15 Esquema y sección de un engranaje epicicloidales. Fuente [26].

La ventaja fundamental de los engranajes planetarios frente a los engranajes utilizados por las cajas de cambio manuales es que su forma es más compacta y permiten un reparto de par en distintos puntos a través de los satélites, pudiendo transmitir pares más elevados.

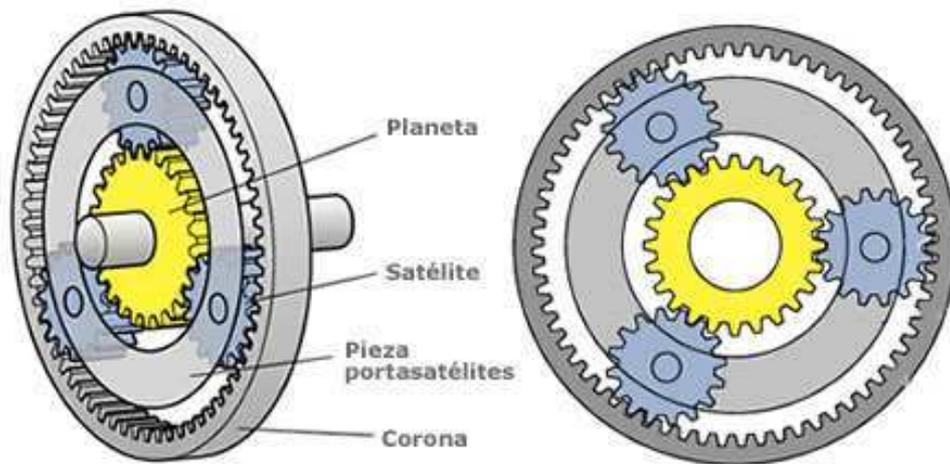


Figura 1. 16 Esquema y partes de engranaje epicicloidial. Fuente [27].

Estos tres componentes (planeta, satélites y corona) del tren epicicloidial pueden moverse libremente sin transmitir movimiento alguno, pero si se bloquea uno de los componentes, los restantes pueden girar, transmitiéndose el movimiento con la relación de transmisión resultante según la relación existente entre sus piñones. Si se bloquean dos de los componentes, el conjunto queda bloqueado, moviéndose todo el sistema a la velocidad de rotación recibida por el motor.

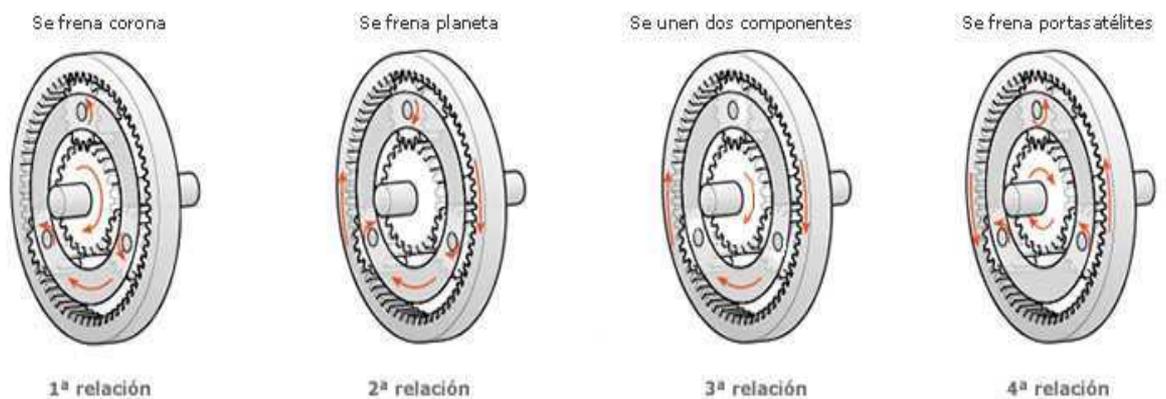


Figura 1. 17 Funcionamiento de engranaje epicicloidial. Fuente [26].

Tabla 1. 1 Elementos y funciones del engranaje epicicloidal

Relación	Corona	Planeta	Portasatélites	Desmultiplicación
1 ^a	Fija	Salida de fuerza	Impulsión	Grande
2 ^a	Salida de fuerza	Fijo	Impulsión	Menor
3 ^a	Fija	Fijo	Salida de fuerza	Sin desmultiplicación
4 ^a	Impulsión	Salida de fuerza	Fijo	Inversión de giro

Para poder combinar tres o más velocidades se usan habitualmente combinaciones de engranajes epicicloidales. Las cajas de cambio automáticas utilizan combinaciones de dos o tres trenes epicicloidales que proporcionan tres o cuatro relaciones hacia adelante y una hacia atrás.

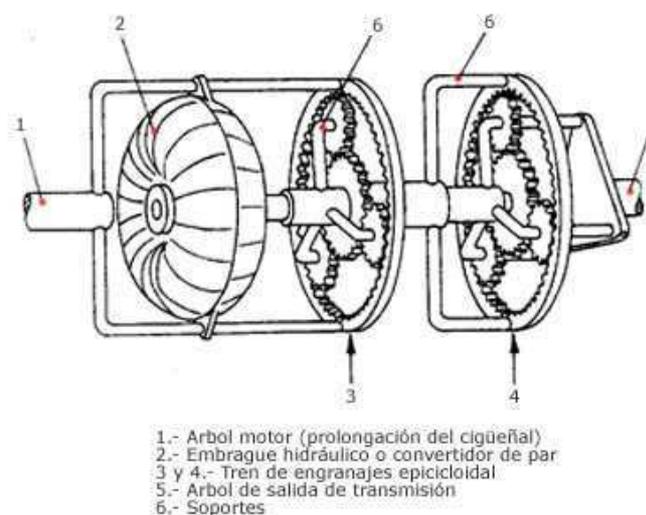


Figura 1. 18 Mecanismo con dos engranajes epicicloidales. Fuente [27].

1.2.5. Elementos de mando para el cambio automático [30], [31]

El sistema de transmisión automática para su funcionamiento requiere de ciertos elementos mecánicos, los más importantes son citados a continuación:

1.2.5.1. Embragues

Los embragues consisten en una serie de placas que tienen una relación directa entre elementos de la transmisión, tales como el portasatélites y el tren planetario. Gracias a la presión del aceite se logra la relación entre los elementos y se produce fenómenos como el “bloqueo” del tren epicíclico, lo cual hace posible el cambio de relación de transmisión.

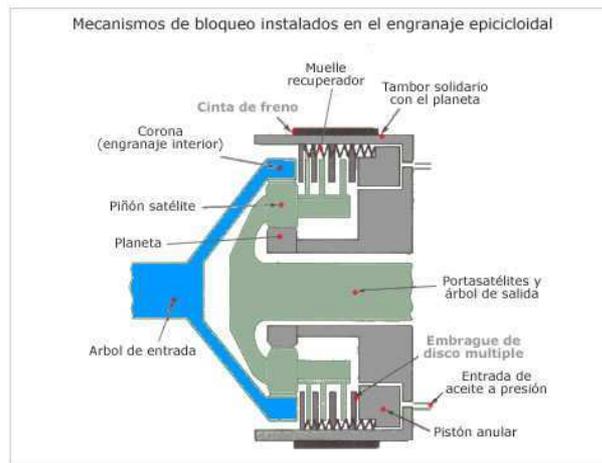


Figura 1. 19 Mecanismos de bloqueo instalados en el engranaje epicicloidal. Fuente [29].

El dispositivo de la figura superior es solo uno de los varios que se usan en las cajas de cambios automáticas. No obstante, en todas las cajas de cambios automáticas el principio es el mismo. Hay reducción de marcha cuando está aplicada la cinta y hay transmisión en directa cuando está aplicado al embrague.

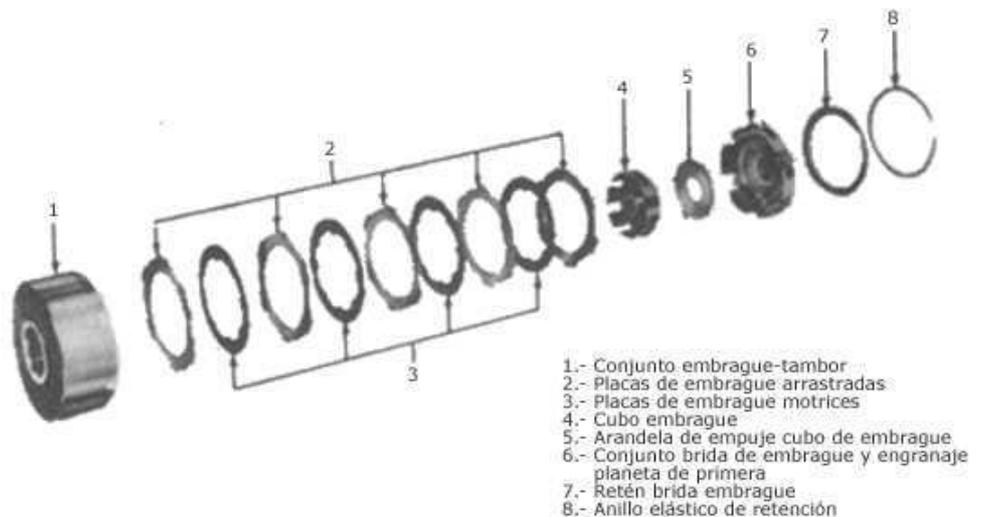


Figura 1. 20 Despiece de un conjunto embrague – tambor. Fuente [29].

1.2.5.2. Frenos

El freno es un dispositivo capaz de modificar el estado de movimiento de un sistema mecánico mediante fricción, pudiendo incluso detenerlo completamente. En el cambio automático asumen la función de establecer las transmisiones de las marchas a base de retener componentes específicos en el conjunto planetario. En el cambio automático de marchas se implantan diversos tipos de frenos:

- Freno multidisco
- Freno de cinta.

1.2.5.3. Frenos multidisco

Contrariamente a los embragues, que impulsan componentes móviles del conjunto planetario, los frenos multidisco frenan estos componentes.

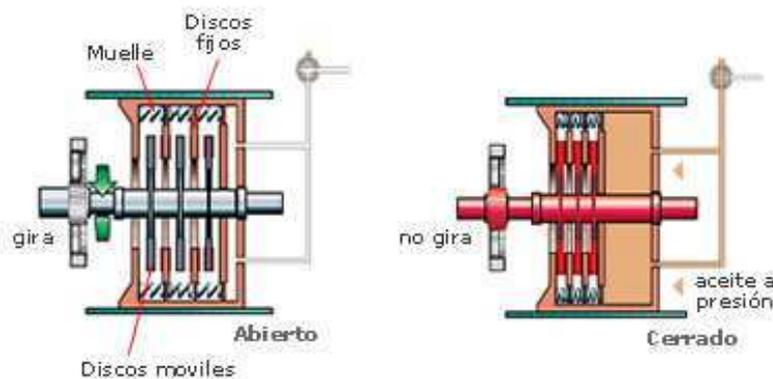


Figura 1. 21 Esquema y funcionamiento del freno multidisco. Fuente [30].

1.2.5.3.1. Freno de cinta

La caja de cambios automática utiliza para el frenado de sus elementos móviles algunos frenos de cinta, que se emplean para el control de los embragues, piñones y planetarios; causan a través de la misma, un cambio en la relación de transmisión. Está fabricada con acero y tiene un forro de materias de asbesto resistente aplicado a él.

El elemento de trabajo es una banda metálica elástica, generalmente de acero, que rodea el tambor. Esta banda está recubierta con un material especial con alto coeficiente de fricción para aumentar la fuerza de frenado.



Figura 1. 22 Cinta de freno de caja de cambios. Fuente [30].

1.2.5.4. Rueda libre

En algunos modelos de cajas de cambio automática se utiliza una "rueda libre" para el bloqueo de uno de los componentes del tren epicycloidal. La rueda libre tiene la particularidad de bloquear el giro en uno de los sentidos y en el otro sentido permite girar libremente.

1.2.5.4.1. Rueda libre de rodillos

En las aberturas entre el anillo interior y exterior se encuentran unos rodillos. En el sentido de bloqueo, éstos se colocan en las aberturas que van estrechándose. De este modo se unen los anillos interior y exterior.

Unos muelles oprimen los rodillos en el intersticio, a fin de conseguir un bloqueo seguro.

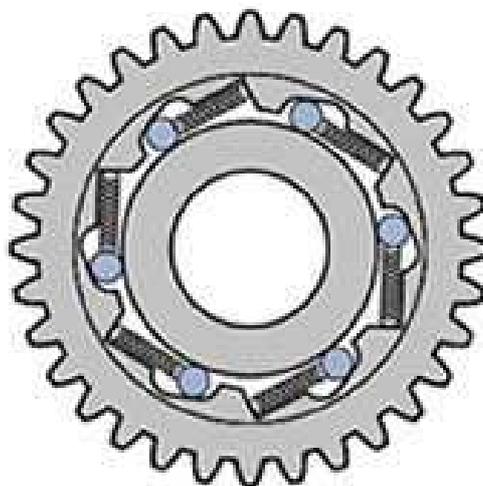


Figura 1. 23 Rueda libre de rodillos. Fuente [31].

1.2.5.4.2. Rueda libre con cuerpos de apriete

Es de técnica más costosa que el piñón libre de rodillos, pero para un mismo tamaño permite una mayor transmisión de pares.

En una jaula de muelle dispuesta entre los anillos interior y exterior se encuentran cuerpos de apriete. Por acción de la fuerza elástica están permanentemente aplicados. En el sentido de marcha libre, los cuerpos de apriete se abaten, sin impedir la marcha libre. En el sentido de bloqueo, se levantan.

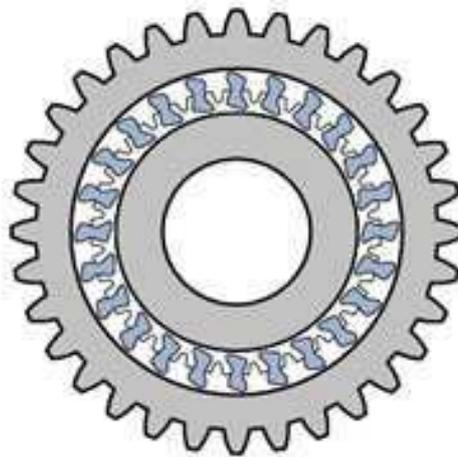


Figura 1. 24 Rueda libre con cuerpos de apriete. Fuente [31].

1.2.5.5. Rueda de aparcamiento

Es un mecanismo de enclavamiento de la transmisión automática, que se acciona cuando la palanca selectora de mando se lleva a la posición (P). La rueda de aparcamiento puede estar montada en el árbol de salida y dispone de una corona dentada, en cuyo dentado se enclava una pieza que evita que pueda girar y así se impide el giro y la transmisión de movimiento por parte de la caja de cambios.¹

¹ ARIAS PAZ, M. Manual de automóviles. Madrid. ed. Dossat. 1990. pp. 501-548

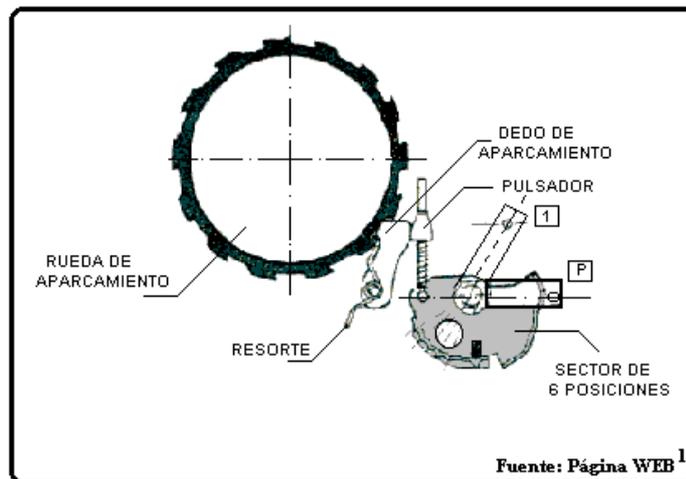


Figura 1. 25 Rueda de aparcamiento. Fuente [6].

1.2.6. Transmisión Borg – Warner [6], [12]

La misión de una transmisión automática es la de efectuar las operaciones de cambio de marchas de manera automática sin la intervención humana.

Los elementos más significativos de cualquier transmisión automática son: uno o varios engranajes planetarios (epicicloidales), paquetes de embragues, frenos de banda, y válvulas de pilotaje.

Cuando la transmisión del vehículo sin movimiento es puesta en Drive, la transmisión permite que el vehículo se mueva en primera marcha, luego se cambiara a segunda y luego a tercera basado en el aumento de la velocidad. La caja de cambios BW-35 disminuirá de tercera a segunda y de segunda a primera, también basándose en la carga.

Como es común en las transmisiones automáticas de su generación, el poder es llevado a la transmisión a través del convertidor de par de fluido hidráulico. Mientras se mueven los engranajes más rápido o más lento, la presión del fluido se incrementa o disminuye para cada caso. El cambio de marchas mecánico se activa por el aumento o la disminución de la presión. No hay sensores electrónicos o interruptores como los que se encuentran en las transmisiones modernas

La transmisión automática Borg Warner 35 cuenta con un convertidor de par y un sistema automático de 3 velocidades controlando hidráulicamente el

tren de engranajes epicicloidales. La transmisión automática cuenta con tres marchas adelante y una relación de marcha atrás.

El sistema de control hidráulico consta de un arreglo de válvulas y una bomba accionada por el motor. La transmisión automática contiene un conjunto de engranajes planetarios que consta de dos engranes sol, dos grupos de tres piñones planeta contenida dentro del portador del planetario y la corona. Varias relaciones de velocidad se obtienen por la paralización de varias combinaciones de elementos del tren planetario. Esto se realiza mediante dos bandas, dos embragues multidisco y un embrague de un solo sentido.

La Borg Warner 35 fue diseñado para su uso con fluido Tipo F Transmisión Automática (ATF), que es mucho menos común hoy en día que el tipo Mercon / Dexron.

1.2.6.1. Usos

Inicialmente producido en los EE.UU. en la década de 1950 específicamente para los motores de menos de 200 centímetros cúbicos de desplazamiento del motor y menos de 100 hp (75 kW) (American Motors Rambler y Studebaker, principalmente). Las transmisiones automáticas previas y actuales son muy ineficientes y sólo funcionan con motores de mayor potencia, e incluso cuando se utiliza en esas aplicaciones, los motores a menudo tienen una mayor relación de compresión y más potencia que las versiones de transmisión manual

Además, los menores diferenciales de relación se utilizan generalmente en otras aplicaciones de transmisión automática para mejorar el kilometraje de gasolina (de nuevo debido a la ineficiencia de las cajas automáticas anteriores). El BW 35 fue una transmisión más eficiente y tuvo bastante éxito en los EE.UU. con los coches con motor más pequeño. Esto también la hizo que sea la elección natural para los coches europeos que solían tener motores mucho más pequeños que los coches americanos de la época. La producción fue transferida en 1960 a la planta de Borg-Warner en Letchworth en Gran Bretaña.

El BW-35 se ofreció a los productores europeos de automóviles en el que fue ampliamente utilizada.²

² http://en.wikipedia.org/wiki/Borg-Warner_35_transmission.

CAPITULO 2

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1. Análisis actual del sistema

El modelo didáctico representativo de la práctica del laboratorio de mecanismos y servomecanismos correspondiente al funcionamiento y estructura general de una transmisión automática, es de suma importancia en el estudio de los mecanismos y de muchas otras ramas, tales como la tecnología automotriz y el diseño de elementos mecánicos.

Existen algunos tipos de transmisiones automáticas desarrolladas a través de los años, por ejemplo la Wilson, Hydramatic, robotizada, doble embrague, variación continua, entre otras. En general el funcionamiento básico de las cajas automáticas no ha sufrido cambios significativos desde 1948.

En el caso del modelo didáctico de laboratorio, la empresa Sanderson construyó una transmisión automática tipo Borg – Warner. Esta transmisión se caracteriza por ser sencilla y eficiente, motivo de más para que sea estudiada por los alumnos y se lleven una idea clara del funcionamiento de las ya citadas transmisiones automáticas.



Figura 2. 1 Estado original de la transmisión Borg – Warner. Fuente propia.

2.1.1. Sistema mecánico

El equipo simula el funcionamiento de todos los elementos que integran una transmisión automática e introduce al alumno una idea clara del entorno.

La Transmisión Automática consta de tres marchas hacia delante y una marcha hacia atrás, las cuales pueden ser seleccionadas insertando el actuador mecánico adecuado en los distintos discos dispuestos para frenar los diferentes componentes de tren planetario. Actualmente el sistema de frenado es obsoleto.

2.1.1.1. Especificaciones

El equipo está compuesto principalmente por:

- Conjunto planetario formado por:
 - 2 engranajes planetarios, uno para marcha adelante y otro para marcha atrás.
 - 2 sets de engranajes satélites: satélites largos y satélites cortos.
 - Soporte común de los satélites.
 - Corona.
- 2 Discos graduados que están situados en los ejes de entrada y salida.
- 2 Discos de entrada para simulación de embrague de marchas.
- Distintos actuadores mecánicos que simulan las válvulas de pilotaje utilizadas para frenar los diferentes componentes del planetario.

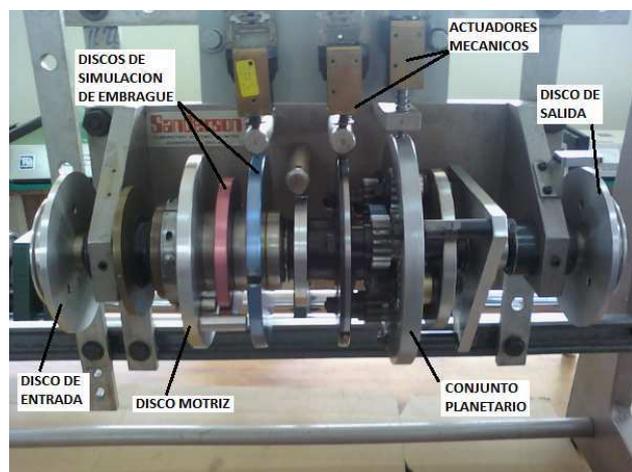


Figura 2. 2 Elementos principales de la transmisión Borg – Warner. Fuente propia.

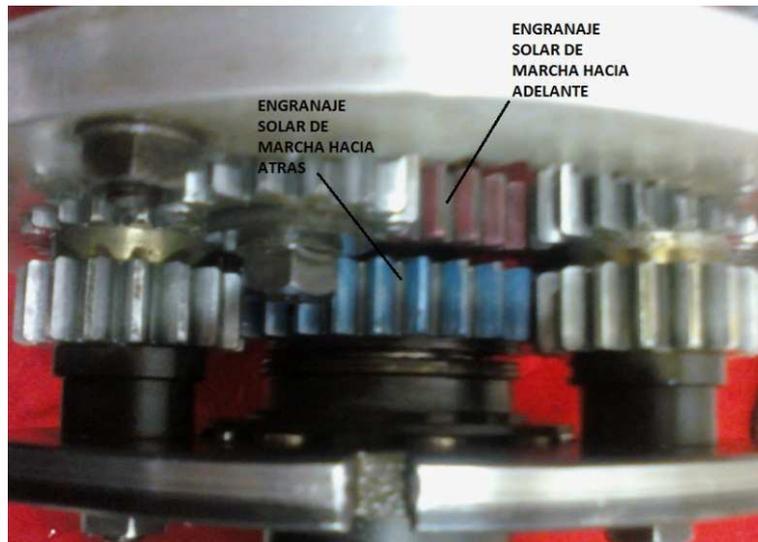


Figura 2. 3 Engranajes solares del tren planetario. Fuente propia.

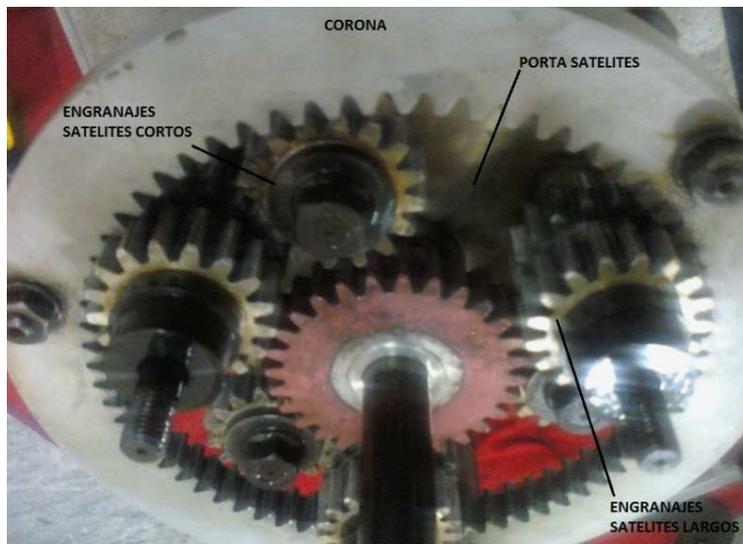


Figura 2. 4 Engranajes satélites. Fuente propia.

Los ejes del equipo están todos fabricados en acero de transmisión. Los discos y engranajes están fabricados en aluminio para facilitar la realización de las prácticas.

2.1.1.2. Problemas y Soluciones

Existen algunos problemas en la parte mecánica que no permiten el buen funcionamiento del equipo.

a) Mal funcionamiento de la marcha reversa

Para conseguir que el sistema se ponga en marcha reversa se tiene que cumplir ciertas condiciones:

- El disco/embrague de reversa debe estar conectado con el disco motriz
- El mismo disco de reversa a su vez debe transmitir movimiento y potencia al engranaje solar de reversa

El problema radica que al girar el disco/embrague de reversa no se refleja ningún movimiento en el engranaje solar de reversa, esto hace que el eje final gire en la misma dirección de las otras marchas, en otras palabras, la marcha reversa no se realiza.

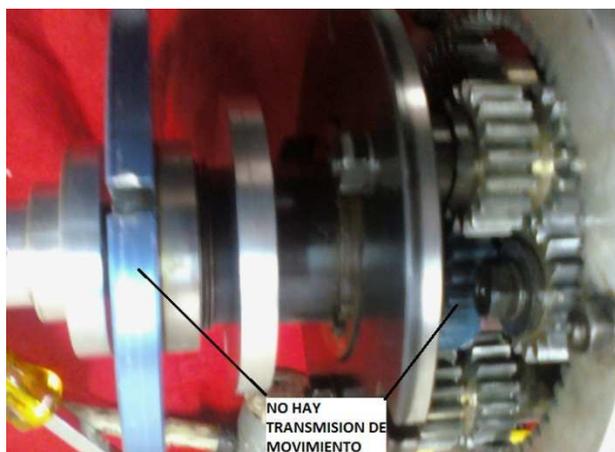


Figura 2. 5 Mal funcionamiento de la marcha reversa. Fuente propia.

Haciendo un análisis después de haber desarmado el equipo se llega a la conclusión que no existía un ajuste de presión entre el eje central y el acople del disco/embrague de reversa, haciendo imposible la transmisión de movimiento.

Solución

La solución a este problema radicó en la unión del engranaje solar de reversa y el acople del disco/embrague de reversa. Dicha unión se la realizó con un prisionero de 3/16”.



Figura 2. 6 Acople disco azul. Fuente propia.

Para la colocación del prisionero hay que tomar en cuenta que este debe asegurar las dos partes, así que se procede a elaborar un agujero que abarque tanto el acople como el engranaje. Finalmente con un machuelo se elabora la rosca.

b) Espaciamiento entre piezas en los ejes

El sistema está compuesto en su mayoría por discos o engranajes concéntricos a sus respectivos ejes. Algunos de estos discos cuentan con rodamientos, los cuales por cuestiones de mal uso y falta de mantenimiento han perdido el juego de ajuste a presión provocando así un pequeño movimiento axial entre algunas de las piezas.

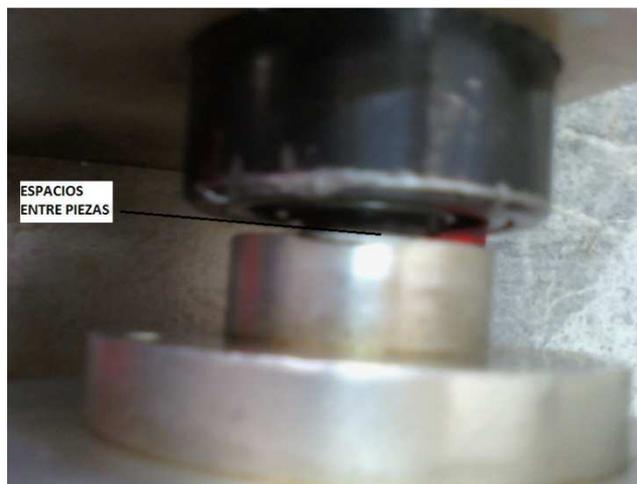


Figura 2. 7 Espaciamiento entre piezas. Fuente propia.

Este problema ocasiona una pérdida de alineación que puede afectar a la transmisión de potencia del sistema, y además provoca un mal funcionamiento de los actuadores electromecánicos encargados del frenado de los discos.

Solución

Hay que tener mucho énfasis en la posición de cada una de las piezas con respecto a la posición de los actuadores. Lo más recomendable es un cuidadoso ensamblaje y remplazo de rodamientos si se requiere.

c) Pérdida de ajuste de presión entre rodamientos y agujeros en el porta satélites

Así como muchos de los rodamientos del sistema, el rodamiento del porta satélites ha sufrido los efectos del tiempo y ha perdido dramáticamente el ajuste de presión, siendo este el que más molestias causa debido a que su movimiento axial es muy grande.

Dicho movimiento causa algunos inconvenientes principalmente en el tren planetario, ya que produce que la corona se desplace axialmente, y con esto los engranajes satélites pierden contacto y a su vez pierden la capacidad de transmitir potencia, en otras palabras el sistema puede colapsar.



Figura 2. 8 Desplazamiento de piñones satélites. Fuente propia.

Solución

Una solución lógica sería reemplazar el rodamiento afectado, pero en este caso especial no es aconsejable debido a que el agujero del porta satélites aumento su diámetro en unas pocas décimas de milímetro.

Por eso la solución implementada es la construcción de un tope en forma de bocín, ubicado justo después del rodamiento y con tope final en la placa porta satélites. Esto hace que el movimiento axial quede restringido y que la alineación de los engranajes satélites no se pierda, dando seguridad al buen funcionamiento del sistema.

d) Falta de lubricación en el sistema

Este problema se debe principalmente a la falta de uso y mantenimiento del sistema. Es muy importante una buena lubricación en rodamientos y engranajes. Con esto se asegura una vida útil más larga para las piezas y para el funcionamiento del sistema en sí.

Solución

Se utilizarán lubricantes especialmente diseñados para rodamientos y engranajes, y se lubricará el sistema adecuadamente.

e) Cambio de marchas

Más que un problema mecánico, este problema es de tipo conceptual. El sistema actual utiliza para el frenado de discos/embrague, y por consiguiente cambios de marchas, pasadores que son colocados manualmente y que por supuesto cumplen con su propósito.

Este sistema se considera obsoleto, debido a que hoy en día la ingeniería ha evolucionado, abriéndose campo cada vez más la automatización por sobre las acciones manuales. Este sistema no puede ser la excepción.



Figura 2. 9 Cambio de marchas mediante pasadores. Fuente propia.

Solución

La modernización del sistema de pasadores manual será remplazada por actuadores electro neumáticos y un sistema de reversión y transmisión que relacione directamente el disco motriz con los discos/embrague. Todo esto será comandado a través de un sistema de automatización que será analizado en capítulos posteriores.

f) Aporte pedagógico

Este problema resulta el más crítico de todos, ya que debido a los problemas ya mencionados el sistema prácticamente no cumple con su principal objetivo: El aprendizaje. Las prácticas de laboratorio hechas con este sistema resultan poco productivas, ya que no se puede hacer otra cosa que observar la estructura.

Solución

Definitivamente la reparación de todas las fallas y la implementación de un mejor sistema enfocado en la enseñanza a los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

2.1.2. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico del sistema actual prácticamente es escaso, ya que no cuenta con ningún tipo de aplicación del mismo, con excepción de los pasadores que se activan con una señal eléctrica.

El sistema tiene la gran carencia que no se mueve a menos que se lo haga manualmente, así que resulta contraproducente realizar cualquier tipo de explicación si no se puede observar realmente lo que sucede en tiempo real.

Los actuadores del sistema actual cumplen con la función de frenado de los discos/embrague, pero a falta de un sistema de control se limitan a ser un adorno.



Figura 2. 10 Actuadores electromecánicos en mal estado. Fuente propia.

Primero que todo se necesita un sistema de control automático que tenga la capacidad de gobernar los actuadores para que cumplan su función.

El anexo de un motor eléctrico es sumamente necesario, con este se puede generar el movimiento de rotación, simulando el giro del eje del motor de un automóvil.

La implementación de nuevos actuadores es necesaria, ya que en el mercado hoy en día hay diferentes tipos de tecnologías que permiten más eficacia.

2.2. Estudio de alternativas

Se utiliza en la industria tres formas distintas de realizar automatizaciones:

- Mediante relés. Este método, empleado de forma clásica, está prácticamente en desuso.
- Mediante equipos específicos realizados con microcontroladores. Se utiliza para grandes series de máquinas iguales, pero tiene la dificultad de que su programación es compleja, por lo que solo está al alcance de unos pocos técnicos especialistas en su diseño y programación.
- Mediante PLC, la más extendida en la industria actual, dado que se apoya en equipos industriales de amplia difusión, que se pueden programar de forma simple, con lenguaje de programación estandarizados, mediante potentes herramientas de desarrollo ofrecidas por los propios fabricantes.

2.2.1. Automatización utilizando microcontroladores [11], [33], [34]

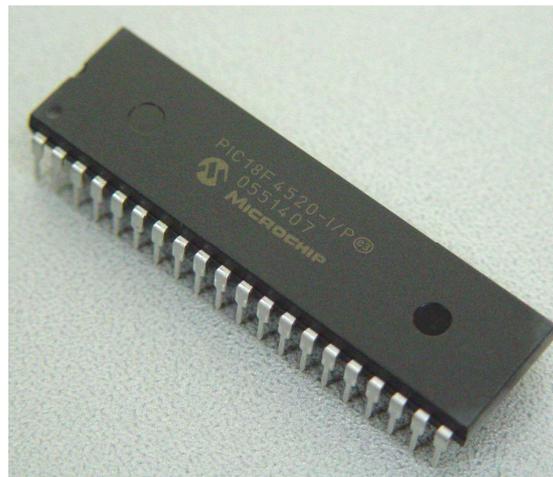


Figura 2. 11 Microcontrolador. Fuente [32]

2.2.1.1. Definición de microcontroladores

Un microcontrolador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última

característica es la que le confiere la denominación de “controlador incrustado” (embedded controller).³

El microcontrolador es un computador dedicado. En su memoria solo reside un programa designado a gobernar una aplicación determinada. Sus pines de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar, y todos los recursos complementarios disponibles tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignada.

2.2.1.2. Arquitectura interna

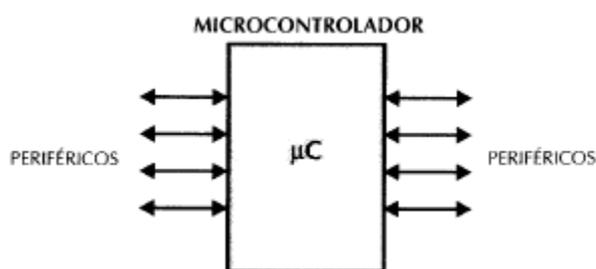


Figura 2. 12 Arquitectura interna de un microcontrolador. Fuente [33].

Un microcontrolador posee todos los componentes de un computador pero con unas características fijas que no pueden alterarse.

Las partes principales de un microcontrolador son:

- Procesador.
- Memoria no volátil para contener el programa.
- Memoria de lectura y escritura para guardar los datos.
- Línea de entrada/salida para controladores de periféricos.
 - Comunicación paralelo.
 - Comunicación serie.
 - Diversas puertas de comunicación (bus, etc.).
- Recursos auxiliares.
 - Circuito de reloj.
 - Temporizadores.

³ ANGULO, J. y ANGULO, I. Microcontroladores PIC, diseño práctico de aplicaciones. 3ra ed. McGraw Hill. 2005. Cap 1, pp 1-26.

- Perro guardián (watch dog).
- Conversores analógico/digital y digital/analógico.
- Comparadores analógicos.
- Protección ante fallos de alimentación.
- Estado de reposo o de bajo consumo.

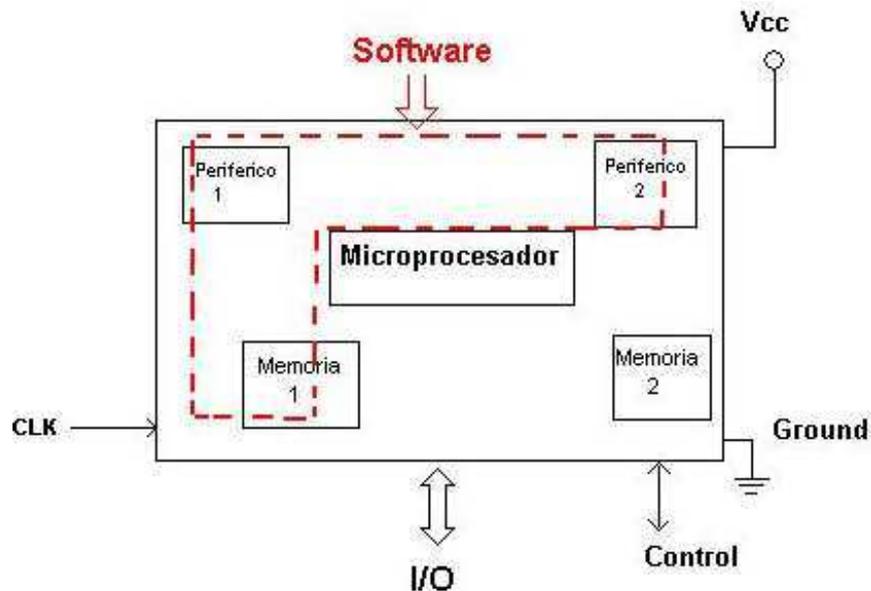


Figura 2. 13 Partes principales de un microcontrolador. Fuente [34]

2.2.1.2.1. Procesador

El procesador de los modernos microcontroladores responde a la arquitectura RISC (Computadores de Juego de Instrucciones Reducidos), que se identifica por poseer un repertorio de instrucciones máquina pequeño y simple, de forma que la mayor parte de las instrucciones se ejecute en un ciclo de instrucción.

Otra aportación frecuente que aumenta el rendimiento del computador es el fomento del paralelismo implícito, que consiste en la segmentación del procesador (pipe line), descomponiéndolo en etapas para poderlo procesar una instrucción diferente en cada una de ellas y trabajar con varias a la vez.

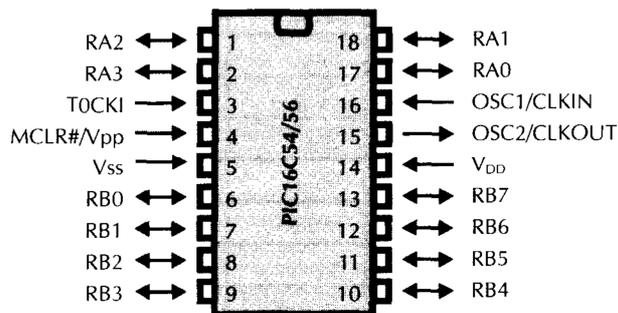


Figura 2. 14 Procesador PIC. Fuente [35].

2.2.1.2.2. Memoria de programa

El microcontrolador está diseñado para que en su memoria de programa se almacenen todas las instrucciones del programa de control. No hay posibilidad de utilizar memorias externas de ampliación.

Como el programa a ejecutar siempre es el mismo, debe estar grabado de forma permanente.

Los tipos de memoria adecuados para soportar esta función admiten cinco versiones diferentes:

- ROM
- EPROM
- OTP
- EEPROM
- FLASH

2.2.1.2.3. Memoria de datos

Los datos que manejan los programas varían continuamente, y esto exige que la memoria que les contiene deba ser de lectura y escritura, por lo que la memoria RAM estática (SRAM) es la más adecuada, aunque sea volátil.

Hay microcontroladores que también disponen como memoria de datos una de lectura y escritura no volátil, del tipo EEPROM. De esta forma, un corte en el suministro de la alimentación no ocasiona la pérdida de la información, que está disponible al reiniciarse el programa.

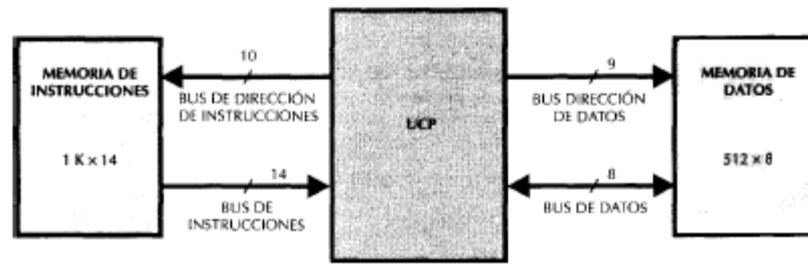


Figura 2. 15 Esquema explicativo del uso de la memoria. Fuente [35].

2.2.1.2.4. Líneas de e/s para los controladores periféricos

A excepción de dos patitas destinadas a recibir la alimentación, otras dos para el cristal de cuarzo, que regula la frecuencia de trabajo, y una más para provocar el Reset, las restantes patitas de un microcontrolador sirven para soportar su comunicación con los periféricos externos que controla.

Las líneas de E/S que se adaptan con los periféricos manejan información en paralelo y se agrupan en conjuntos de ocho, que reciben el nombre de Puertas. Hay modelos con líneas que soportan la comunicación en serie; otros disponen de conjuntos de líneas que implementan puertas de comunicación para diversos protocolos.

2.2.1.3. Software

La utilización de los lenguajes más cercanos a la máquina (de bajo nivel) representan un considerable ahorro de código en la confección de los programas, lo que es muy importante dada la estricta limitación de la capacidad de la memoria de instrucciones. Los programas bien realizados en lenguaje Ensamblador optimizan el tamaño de la memoria que ocupan y su ejecución es muy rápida.

Los lenguajes de alto nivel más empleados con microcontroladores son el C y el BASIC, de los que existen varias empresas que comercializan versiones de compiladores e intérpretes para diversas familias de microcontroladores. En el caso de los PIC es muy competitivo e interesante el compilador de C PCM de la empresa CCS y el intérprete PBASIC de PARALLAX.

El lenguaje que utilizan los profesionales para la programación de las microcontroladores es el Ensamblador, que es el más cercano a la máquina.

También son frecuentes los programas en lenguaje C y en BASIC, siendo este último el más fácil de aprender.

2.2.1.4. Ventajas

Las principales ventajas de los microcontroladores son:

- Su coste es comparativamente inferior al de los competidores.
- Poseen una elevada velocidad de funcionamiento.
- Tienen un juego reducido de instrucciones: 35 en la gama media.
- Los programas son compactos.
- Bajo consumo unido a un amplio rango de voltajes de alimentación.

2.2.2. AUTOMATIZACIÓN UTILIZANDO PLC [3], [36]



Figura 2. 16 PLC (Programmable logic controller). Fuente [36].

2.2.2.1. Definición de PLC

El autómata programable PLC (Programmable Logic Controller), también denominado API (Autómata Programable Industrial), es un conjunto de elementos industriales que constituyen un equipo electrónico a través del cual pueden controlarse a tiempo real procesos secuenciales para aplicaciones industriales de muy diversos tipos.

El autómata programable ha supuesto una innovación tecnológica muy importante en el campo de los automatismos eléctricos, sustituyendo a las

funciones lógicas, que han sido durante un cuarto de siglo, la base de los automatismos industriales.

El autómatas programable es el corazón de la actual automatización de instalaciones ya que es el elemento al que llega y controla la información y después distribuye las señales a los actuadores para que ejecuten órdenes de realización.

2.2.2.2. Estructura general

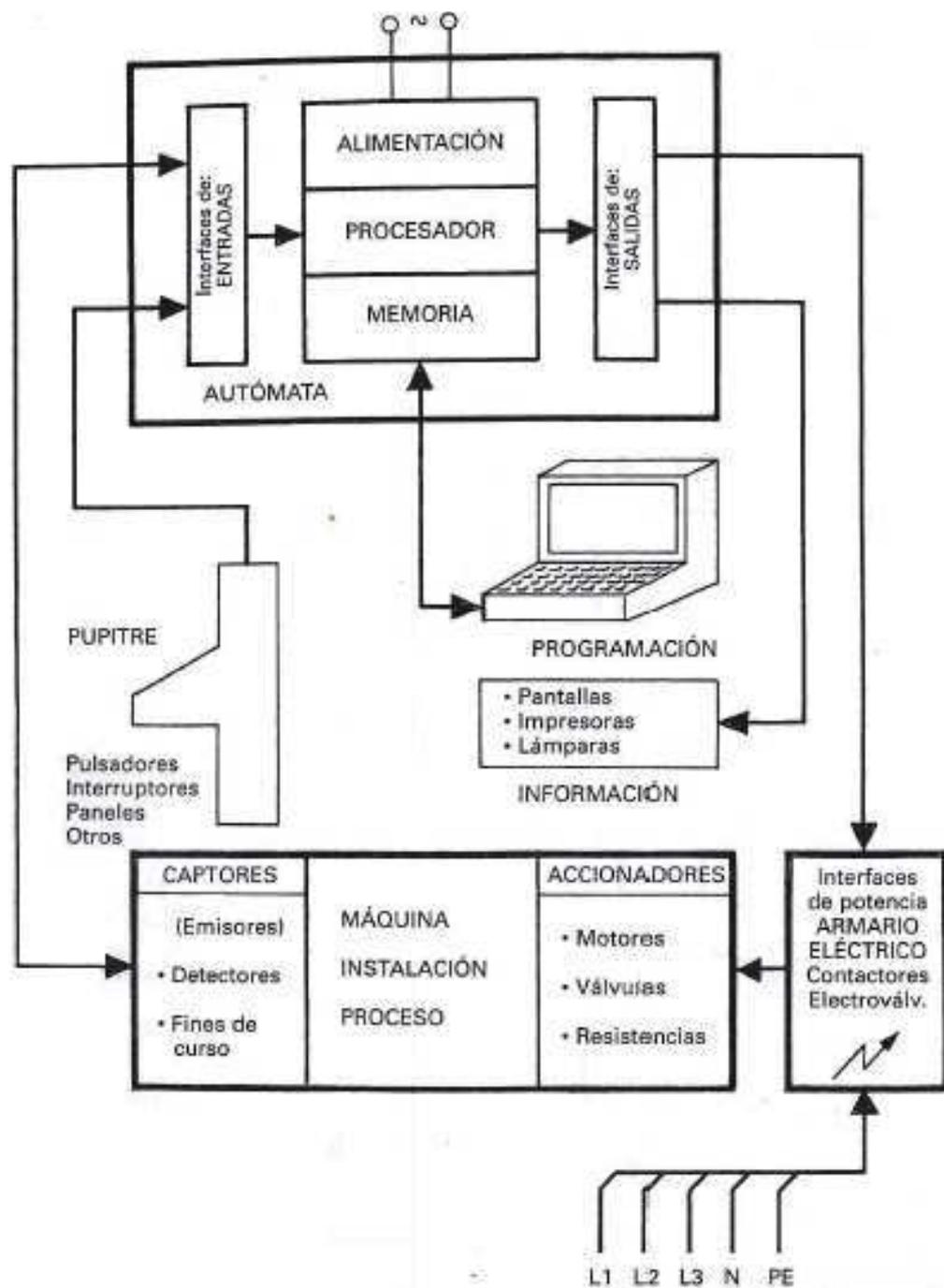


Figura 2. 17 Estructura general de un PLC. Fuente [3].

2.2.2.2.1. CPU

Es la parte más importante del equipo, se compone al igual que la del PC de:

- La unidad de control (UC).
- ALU (Unidad aritmético/lógica).
- Registros:
 - Registro de control.
 - Puntero de programa (PC).
 - Registro de interrupciones.
 - STACK (zona de memoria interna para salvaguardar registros).
 - Puntero de STACK.

2.2.2.2.2. Módulos auxiliares

En este apartado caben una serie de elementos que se utilizan para acondicionar las señales de entrada y salida del PLC a los distintos actuadores y detectores. Se podrían indicar como más generales a los siguientes:

- Módulos de Entrada/Salida.
- Módulos convertidores de señales Analógicos/Digitales.
- Módulos de regulación P, PI, PID, etc.
- Módulos de entrada de contadores rápidos.
- Módulos de temporizadores.

En los PLC de alto nivel es fácil encontrar entradas integradas en el que ya poseen alguna aplicación de los tipos indicados. No obstante frecuentemente o bien son insuficientes o no llevan este tipo de entradas/salidas. Por ello permiten adicionarles módulos de los anteriormente descritos.

2.2.2.2.3. Memoria

Existe una cantidad de memoria dedicada al almacenamiento del programa propio a ejecutar. Esta memoria suele ser del tipo RAM, la cual mantiene el programa al desconectar la alimentación del suministro eléctrico, por mediación de unas baterías que suelen llevar.

Existen modelos de PLCs que se les puede adicionar un módulo de memoria EPROM o EEPROM, en la cual se le graba el programa, no existiendo riesgo de pérdida del mismo.

A diferencia de los PCs la cantidad de memoria que poseen estos equipos es comparativamente reducida. Se puede decir que hoy en día que un PLC con 32 K de memoria ya es un equipo que permite la automatización de montajes complejos y grandes, siendo poco usual encontrar equipos con más memoria.

2.2.2.3. Hardware

Esta parte corresponde al propio autómata y está constituida fundamentalmente por:

a) Unidad central.

En ella se aloja el programa

b) Puertos de entrada.

Permite conectar el autómata con señales de todo o nada, como son las producidas por detectores, pulsadores, fines de curso, fotocélulas, etc.

c) Puertos de salida.

Permite al autómata accionar los mandos de la parte operativa, los accionadores, como son los relés, contactores, electroválvulas, lámparas, etc.

d) Puertos de entradas analógicas.

Permite conectar al autómata con señales analógicas, tales como potenciómetros, captosres de medida analógicos, etc.

e) Puertos de salida analógicas.

Actúan sobre el mando de electroválvulas, variadores, válvulas proporcionales, etc., con señales eléctricas, generalmente de 0 a 10 V o de 4 a 20 mA.

b) Funciones lógicas

Se fundan en los símbolos de la lógica cableada.

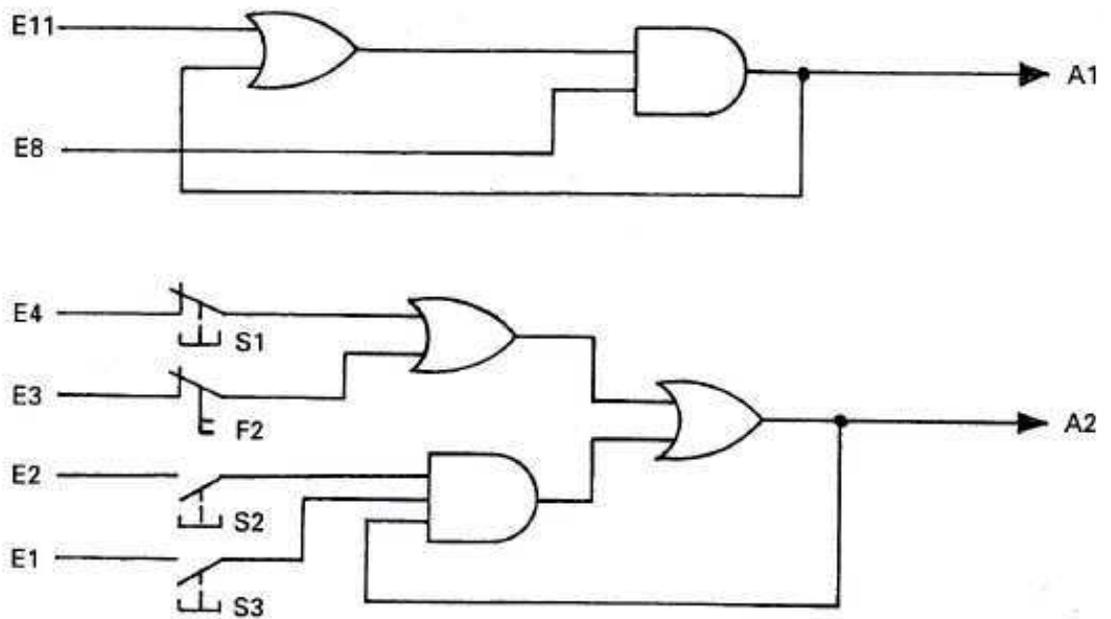


Figura 2. 19 Ejemplo de funciones lógicas. Fuente [3].

c) Grafcet

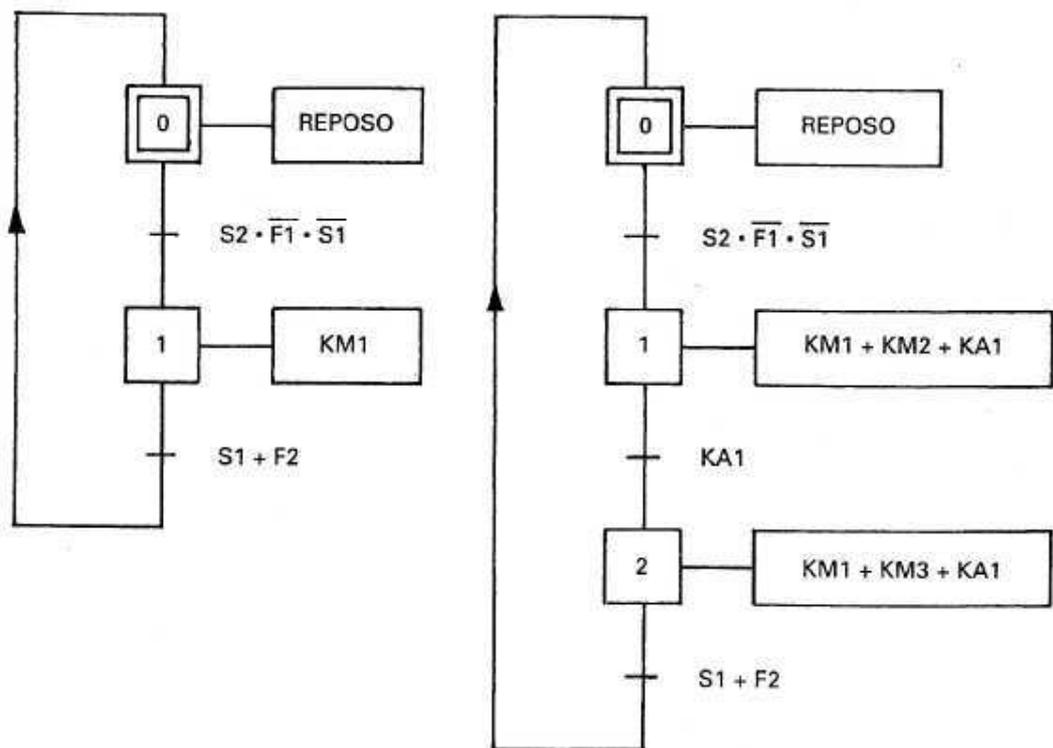


Figura 2. 20 Ejemplo de GRAFCET. Fuente [3].

Se basan en la secuencia paso a paso y es una forma de programación que se adopta muy bien para mando secuencial.

2.2.2.5. Ventajas

La utilización del autómeta programable supone una serie de ventajas algunas de las cuales se enumeran a continuación.

- Mayor nivel de automatismo, control y simplicidad en los procesos en los que interviene.
- Facilitar a los operarios de las máquinas las operaciones de maniobra.
- Mejorar el control de los procesos.
- Permite introducir cambios rápidos en las maniobras y procesos que controla.
- Controla y protege a los aparatos eléctricos.
- Ayuda con mensajes al control de las averías.
- Ayuda al mantenimiento.
- Puede estar unido a ordenadores que controlen los procesos.
- Tener salidas de información a impresoras y pantallas TV.
- Reducir el volumen de los automatismos.
- Aumentar el grado de seguridad de las instalaciones que controla.
- Obtener mayor productividad de las máquinas o instalaciones
- Otras muchas prestaciones que hacen que el autómeta programable se esté generalizando a todos los niveles y aplicaciones.

2.2.2.6. Factores importantes para elección de PLC

- Necesidades a cubrir en función al volumen de la instalación.
- Prestaciones del autómeta.
- Precio y calidad de producto.
- Marca del producto.
- Proximidad del proveedor.
- Asistencia técnica.

2.2.2.7. Estructura de una instalación con autómata programable

El autómata programable se aloja generalmente en el armario eléctrico. La instalación eléctrica lleva los siguientes cableados:

- Cableado de captores a autómata.
- Cableado de pupitres a autómata
- Cableado de salidas autómatas a: Información, interfaces de potencia.
- Cableado de armario eléctrico o accionadores en máquina.
- Cableado de armario eléctrico.

2.2.2.8. Formas de alimentación de los autómatas.

a) Fuente de alimentación

Tensión de alimentación: $U = 220 \text{ V C.A.}$ (normalmente)

Procedencia:

- Directamente de la red.
- De transformador (por ejemplo, 380/220 V)
- De ondulator (si lo hay)

b) Alimentación de puertos de entrada (Captore)

Tensión: $U = 24 \text{ V, C.C.}$

c) Alimentación de puertos de salida (Accionadores)

Tensión: $U = 110 \text{ V, C.A.}$

Puede alimentarse a otras tensiones, si así se pide, por ejemplo 48 V.

2.2.2.9. Modo de funcionamiento

Principalmente hay que resaltar que, en funcionamiento normal, estos equipos ejecutan el programa almacenado en su memoria en forma lineal y cíclica. Es decir la CPU lee las instrucciones del programa y las ejecuta de

modo secuencial, y al llegar al final del listado de instrucciones vuelve a comenzar la ejecución por la primera de ellas.

2.3. Selección de la mejor alternativa

Una vez conocido todo lo referente a microcontroladores y PLC's, se tiene que decidir cuál sistema de control es el apropiado para el presente proyecto.

El mecanismo de decisión a ser utilizado será la matriz de decisión y serán considerados los siguientes parámetros:

a) Costo

Se tomará en cuenta el costo incluyendo el dispositivo en sí y sus componentes secundarios.

b) Robustez

Se analizará la fragilidad a las variaciones de tensión eléctrica de cada dispositivo.

c) Complejidad de Programación

El software, los comandos y la interconexión entre dispositivos se tomarán en cuenta.

d) Aplicación Industrial

Se medirá el uso de cada sistema en aplicaciones directas en la industria a gran escala.

e) Interfaz

Se pondrá a prueba si el sistema es de fácil uso para el usuario.

f) Utilización de Memoria

Se va a analizar el espacio de memoria usado por los dispositivos.

g) Tipo de Ensamblaje

La complejidad de montaje y el espacio utilizado se medirá.

2.3.1. Matriz de selección

Se utilizará una escala de 1 a 5, siendo 1 el valor menos adecuado y 5 el más adecuado.

Tabla 2. 1 Matriz de selección de alternativas

	COSTO	ROBUSTEZ	PROGRAMACIÓN	APLICACIÓN	INTERFAZ	MEMORIA	ENSAMBLAJE
MICRO	5	1	2	2	3	4	4
PLC	2	4	4	5	4	2	4

Total Micro: 21/35

Total PLC: 25/35

2.3.2. Interpretación

Analizando la matriz de selección, podemos comprobar que la manera más adecuada de automatizar el proyecto es mediante el uso de PLC's. Los parámetros clave que hacen la diferencia son la robustez y la aplicación industrial.

Al ser un proyecto didáctico, el manejo va a estar a cargo de los estudiantes en la realización de sus prácticas respectivas, lo que hace necesario que el sistema sea resistente a cualquier tipo de mala manipulación o a los altibajos de tensión existentes en la red eléctrica local.

Como ingenieros mecánicos es necesario estar actualizado en muchos aspectos de la industria, como por ejemplo en el campo del control industrial. Los PLC's son los dispositivos más usados en la industria a la hora de controlar máquinas o sistemas complejos. Por eso es necesario que el estudiante se familiarice con estos dispositivos.

CAPITULO 3

DISEÑO

3.1. Diseño de elementos mecánicos

El diseño y construcción de un mecanismo con el cual se transmita la potencia del motor a los discos/embrague, además de un sistema eficiente de frenado de embragues, se analizarán en este capítulo.

3.1.1. Diseño de sistema de reversión y transmisión [4]

El sistema de reversión y transmisión remplazará al sistema que usa actuadores electromecánicos. Este sistema estará constituido por 7 engranajes dispuestos en tal forma que haya una directa relación entre el engranaje motriz y los discos/embrague.

3.1.1.1. Elementos

El sistema de reversión y transmisión está constituido de:

- Engranaje motriz.
- Engranaje de marcha ascendente.
- Engranaje de marcha descendente.
- Piñón móvil de marcha ascendente.
- Piñón móvil de marcha descendente.
- Piñón loco.
- Piñón de acople entre loco y de marcha ascendente.
- Placas de sujeción.
- Ejes de rotación.
- Bocines.
- Cojinetes.

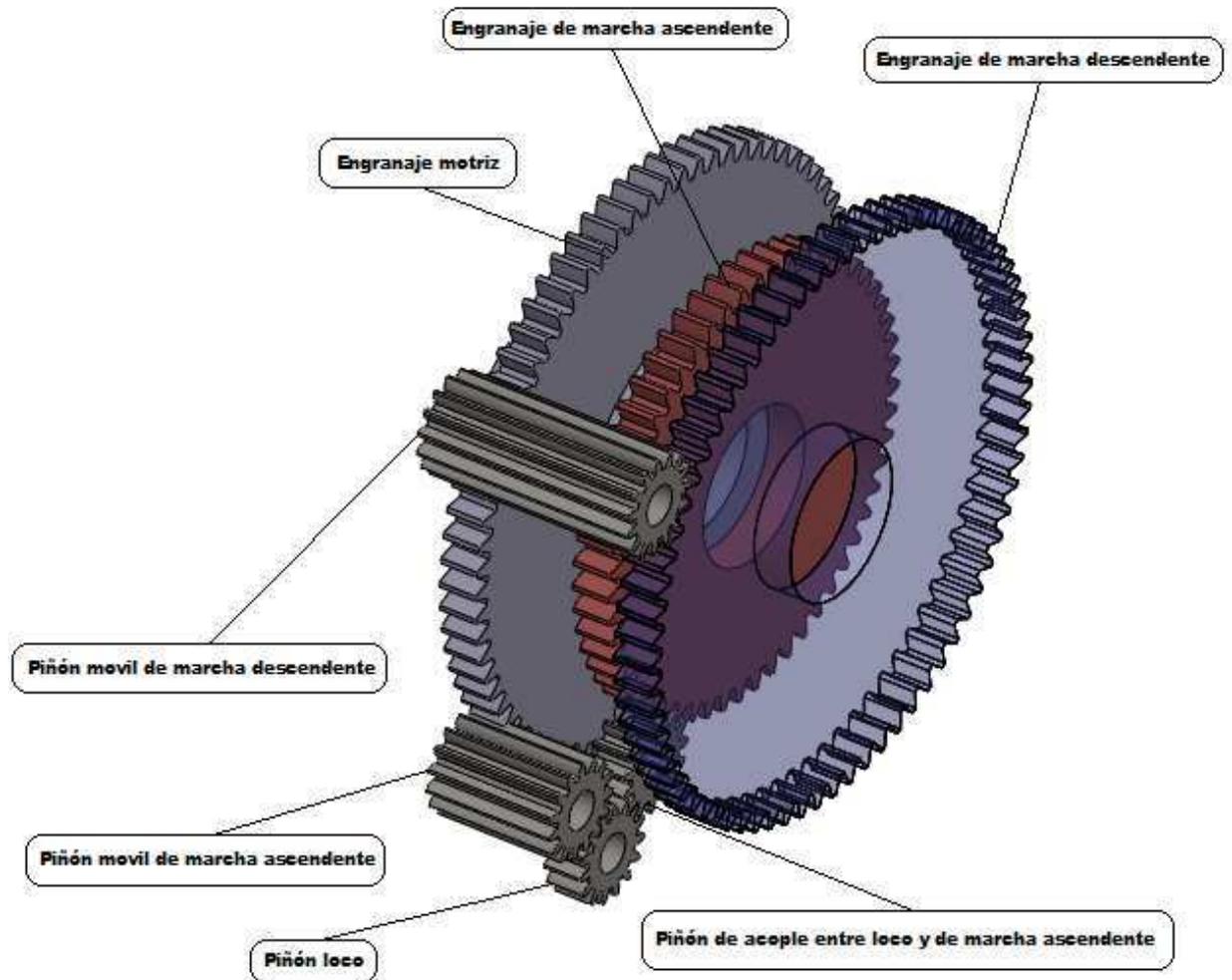


Figura 3. 1 Esquema y partes del sistema de reversión y transmisión. Fuente propia.

3.1.1.2. Diseño de engranajes

En el diseño de engranajes es importante tomar en cuenta algunos parámetros básicos tales como el material, el modulo, número de dientes, esfuerzos permisibles, todo referente al tipo de trabajo que se vaya a desarrollar.

3.1.1.2.1. Material [13]

Para proporcionar una buena durabilidad en los engranajes es necesario un material que sea resistente y tenaz, y además tenga una baja resistencia mecánica para un fácil maquinado. El acero nos ofrece diversas opciones, en este caso nos centraremos básicamente en los aceros de bajo carbono, ya que cumplen con los requisitos establecidos y su precio es relativamente accesible.

El acero utilizado para realizar tanto engranajes como ejes es el **AISI 1018** cuyas propiedades son las siguientes:

Propiedades mecánicas⁴:

- Dureza 126 HB (71 HRb).
- Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI).
- Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI).
- Elongación máxima 15% (en 50 mm).
- Reducción de área 40%.
- Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI).
- Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%).

Propiedades físicas:

- Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³).

Usos

Se utiliza en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina.

3.1.1.2.2. Análisis y diseño individual.

Tabla 3. 1 Características de los engranajes del sistema de reversión y transmisión

Elemento	Modulo	N. de dientes	D.Ex. (mm)	D.I. (mm)	Ancho de cara (mm)
Engranaje motriz	2	73	150	40	10
Engranaje de marcha ascendente	2	55	114	40	10
Engranaje de marcha descendente	2	73	150	40	10
Engranaje móvil de marcha ascendente	2	15	34	14	34
Engranaje móvil de marcha descendente	2	15	34	14	58

⁴ <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>

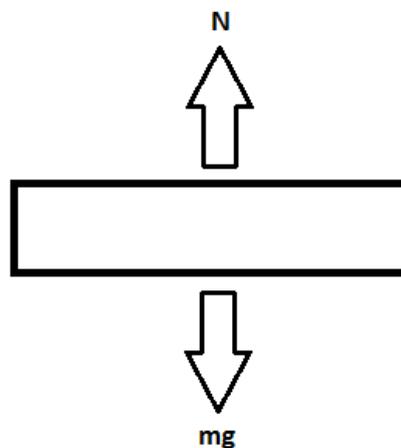
Elemento	Modulo	N. de dientes	D.Ex. (mm)	D.I. (mm)	Ancho de cara (mm)
Engranaje loco	2	15	34	14	10
Engranaje de acople	2	15	34	14	10

3.1.1.3. Análisis de fuerzas para ejes móviles

El sistema de reversión y transmisión contarán con 2 ejes móviles, los cuales se encargaran de engranar y desengranar los engranajes móviles de marcha ascendente y descendente.

Los ejes en los cuales estarán ubicados dichos engranajes serán limitados solo a movimiento axial. El movimiento rotacional se logrará a partir de la incorporación de rodamientos de agujas, ubicados en las caras exteriores de cada engranaje.

Como el movimiento de los ejes será axial, es necesario saber la fuerza mínima que se debe ejercer para que el eje comience su movimiento.



$$\sum Fy = ma \quad (3.1)$$

$$ma = 0$$

$$\therefore a = g$$

$$mg - N = 0$$

$$mg = N$$



$$\sum F_x = ma$$

$$F - F_r = ma$$

$$F = F_r + ma$$

$$F = \mu N + ma$$

$$F = \mu(mg) + ma$$

$$F = \mu(mg) + m\left(\frac{v_f - v_o}{t}\right)$$

$$v_o = 0$$

El coeficiente de rozamiento μ se obtiene de valores tabulados para rozamiento estático de acero sobre acero⁵. El valor en este caso es $\mu = 0.74$.

La masa del eje es 0.062 kg, y el valor de la velocidad final es 15 mm/s, dado que según el diseño establecido el eje debe moverse 15mm en 1 segundo para engranar y desengranar.

$$F = 0.74(0.062)(9.8) + 0.062\left(\frac{0.015 - 0}{1}\right)$$

$$F = 0.45 \text{ N}$$

Entonces se deduce que la fuerza mínima necesaria para el movimiento de los ejes es 0.45 N, este valor es bajo debido a que no hay mayor oposición al movimiento.

⁵ <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento>

3.1.2. Diseño de sistema de frenado [2]

El funcionamiento de la transmisión Borg – Warner incluye muchos componentes en los cuales se destacan los discos embrague, estos discos cumplen la función de cambio de relación de potencia mediante el frenado de los mismos.

Para el presente proyecto se utilizarán elementos neumáticos y zapatas anulares para el frenado de los discos embragues.

3.1.2.1. Diseño de la zapata anular

Para el diseño de este accesorio la geometría y el material a ser usado son los parámetros indispensables.

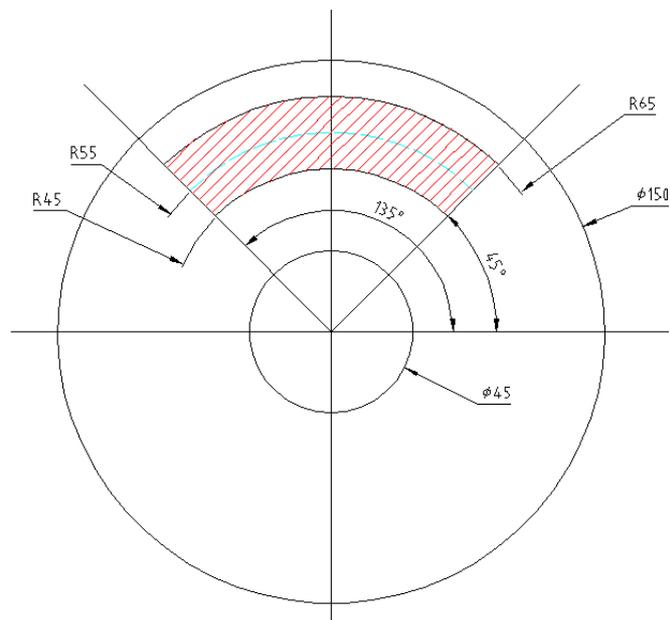


Figura 3. 2 Diseño de la zapata anular. Fuente propia.

El material seleccionado para la zapata es el caucho, debido a su alto coeficiente de fricción con el acero. El espesor de la zapata es 10mm.

3.1.2.2. Cálculo de la fuerza de frenado

Para el cálculo de la fuerza se enunciarán los siguientes datos:

Masa = 1.22 kg

Radio = 0.075 m

Se comienza calculando el momento de inercia de masa del engranaje a frenar, utilizando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2) \quad (3.2)$$

$$I = \frac{1}{2}(1.22)(0.045^2 + 0.075^2)$$

$$I = 0.0046 \text{ kg. m}^2$$

Es indispensable saber las características de rotación del engranaje, en especial su aceleración angular, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$\omega_f = \omega_o + \alpha t \quad (3.3)$$

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t}$$

Siendo: $\omega_f = 0$

La ω_o se obtiene a partir de las rpm del motor, es decir 300rpm.

$$\omega_o = 300 \text{ rpm} = 31.41 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El tiempo necesario para que se detenga completamente es:

$$t = 1 \text{ s}$$

Remplazando en la fórmula:

$$\alpha = \frac{0 - 31.41}{1}$$

$$\alpha = -31.41 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

El siguiente paso es calcular el torque al que está expuesto el disco. Este se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$T = I. \alpha$$

$$T = (0.0046)(-31.41) \quad (3.4)$$

$$T = -0.144 \text{ N. m}$$

Según la ecuación 16-31⁶, del libro de diseño de elementos mecánicos de Shigley, se calcula la fuerza de frenado utilizando los datos ya calculados anteriormente:

$$re = \frac{T}{\mu \cdot F} \quad (3.5)$$

$$F = \frac{T}{\mu \cdot re}$$

$$F = \frac{0.144}{(0.4)(0.045)}$$

$$F = 8.027 \text{ N}$$

3.2. Análisis de fuerza y movimiento

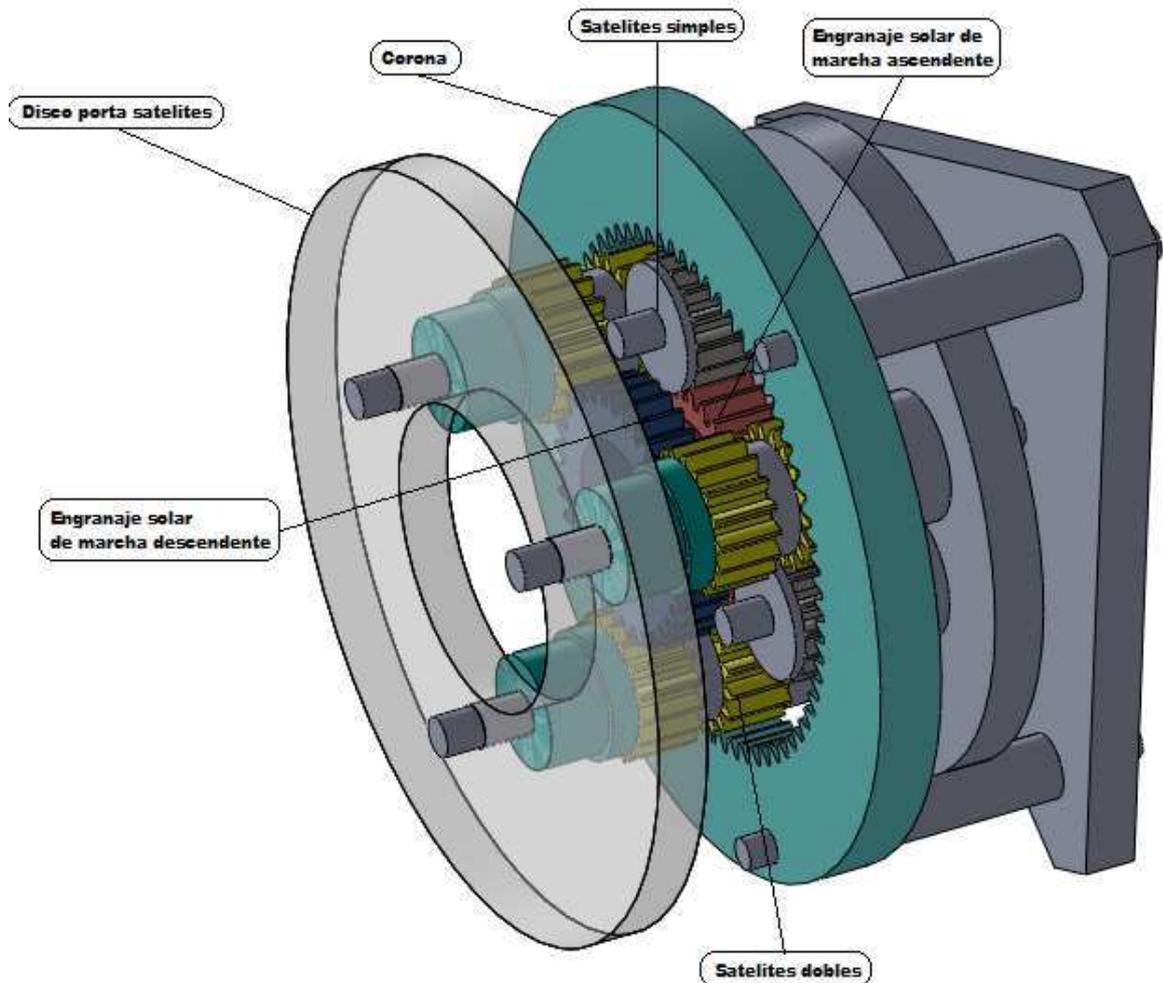


Figura 3. 3 Esquema y partes del tren epicycloidal del sistema. Fuente propia.

⁶ Diseño de elementos de máquinas de Shigley, Cap 16, ec. 16-31

3.2.1. ANÁLISIS DE MARCHAS

El sistema de caja de cambios automática Borg Warner está constituido por tres marchas ascendentes (primera, segunda, tercera), una marcha descendente (reversa), y una marcha estacionaria (parking). A continuación se detallara cada marcha.

Para el presente análisis se va a utilizar la siguiente simbología:

Sistema de reversión y transmisión:

- **A:** Engranaje Motriz.
- **B:** Engranaje móvil de marcha ascendente.
- **C:** Engranaje móvil de marcha descendente.
- **D:** Engranaje de marcha ascendente.
- **E:** Engranaje de marcha descendente.
- **X:** Engranaje loco.
- **Y:** Engranaje de acople entre loco y de marcha ascendente.

Tren epicicloidal:

- **F:** Engranaje solar de marcha ascendente.
- **G:** Engranaje satélite simple.
- **H:** Engranaje satélite doble.
- **J:** Corona.
- **K:** Engranaje solar de marcha descendente.
- **L:** Portasatélites.
- **M:** Portasatélites posterior.

3.2.1.1. Primera marcha

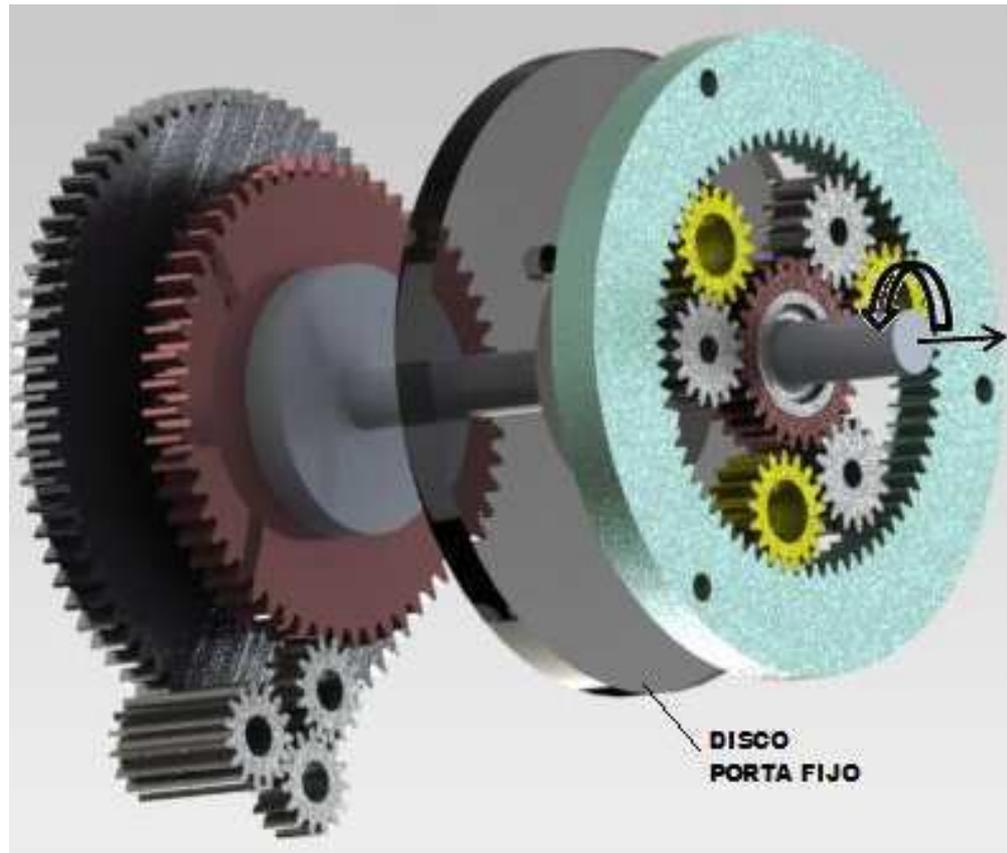


Figura 3. 4 Simulación en SolidWorks de la primera marcha. Fuente propia.

El motor eléctrico transfiere la potencia a través de la banda hacia la pulea de entrada del sistema y por consiguiente al engranaje motriz. Utilizando el sistema de reversión y transmisión, específicamente el piñón móvil de marcha ascendente, accionado mediante un pistón neumático, transmitirá la potencia al engranaje de marcha ascendente. En esta marcha debe existir un elemento fijo el cual es el disco portasatélites, que será frenado mediante un actuador neumático.

La potencia entra al tren epicicloidal a través del engranaje solar de marcha ascendente el cual comparte el mismo eje y por consiguiente el mismo movimiento que el engranaje de marcha ascendente. Al girar dicho engranaje transmite el movimiento al satélite simple el cual está restringido a rotar y transmitir el movimiento al satélite doble.

Este último es el encargado de transmitir el movimiento a la corona, que es la que transmite el movimiento al eje de salida, y al engranaje solar de marcha descendente que gira libremente y en sentido opuesto al de la corona.

3.2.1.2. Segunda marcha

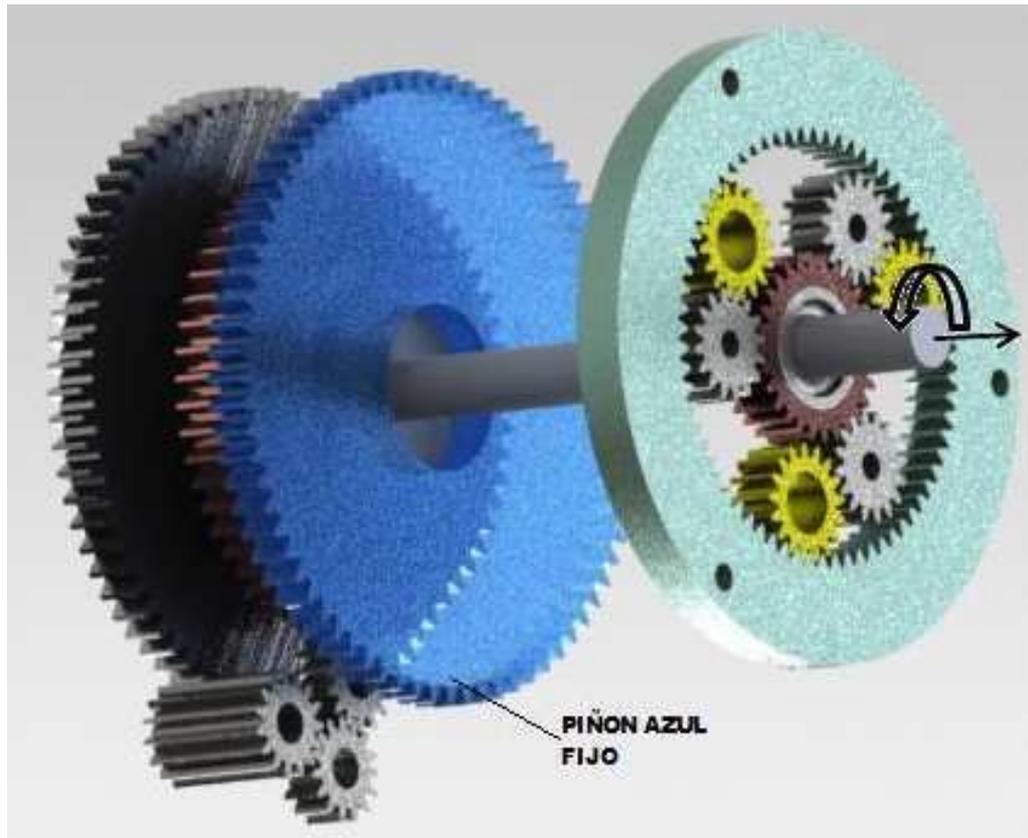


Figura 3. 5 Simulación en SolidWorks de la segunda marcha. Fuente propia.

Tomando la potencia del engranaje motriz y transmitiéndola al engranaje de marcha ascendente, se transmite el movimiento directamente al engranaje solar de marcha ascendente. En este caso el elemento fijo es el engranaje de marcha descendente el cual será frenado por un actuador neumático. Al rotar el engranaje solar ascendente, los satélites simples y dobles tendrán movimiento translacional y rotacional.

Como el engranaje de marcha descendente está fijo, comparte las mismas condiciones con el engranaje solar de marcha descendente, este último también estará fijo haciendo que los satélites dobles roten alrededor de él. Los satélites dobles también transmiten movimiento a la corona y al eje de salida.

3.2.1.4. Reversa



Figura 3. 7 Simulación en SolidWorks de la marcha reversa. Fuente propia.

En este caso especial el engranaje motriz transmite la potencia al engranaje de marcha descendente a través del piñón móvil. El elemento fijo va a ser el disco portasatélites, limitando el movimiento de los satélites a la rotación. La potencia ingresa al tren epicíclico a través del engranaje solar de marcha descendente, transmitiendo el movimiento a los satélites dobles los cuales hacen girar la corona haciendo que el eje de salida rote en sentido contrario.

La corona hace rotar a los satélites simples y estos a su vez a los satélites dobles le transmiten movimiento al engranaje solar de marcha ascendente haciéndolo rotar en sentido contrario al engranaje de marcha descendente.

3.2.1.5. Parking

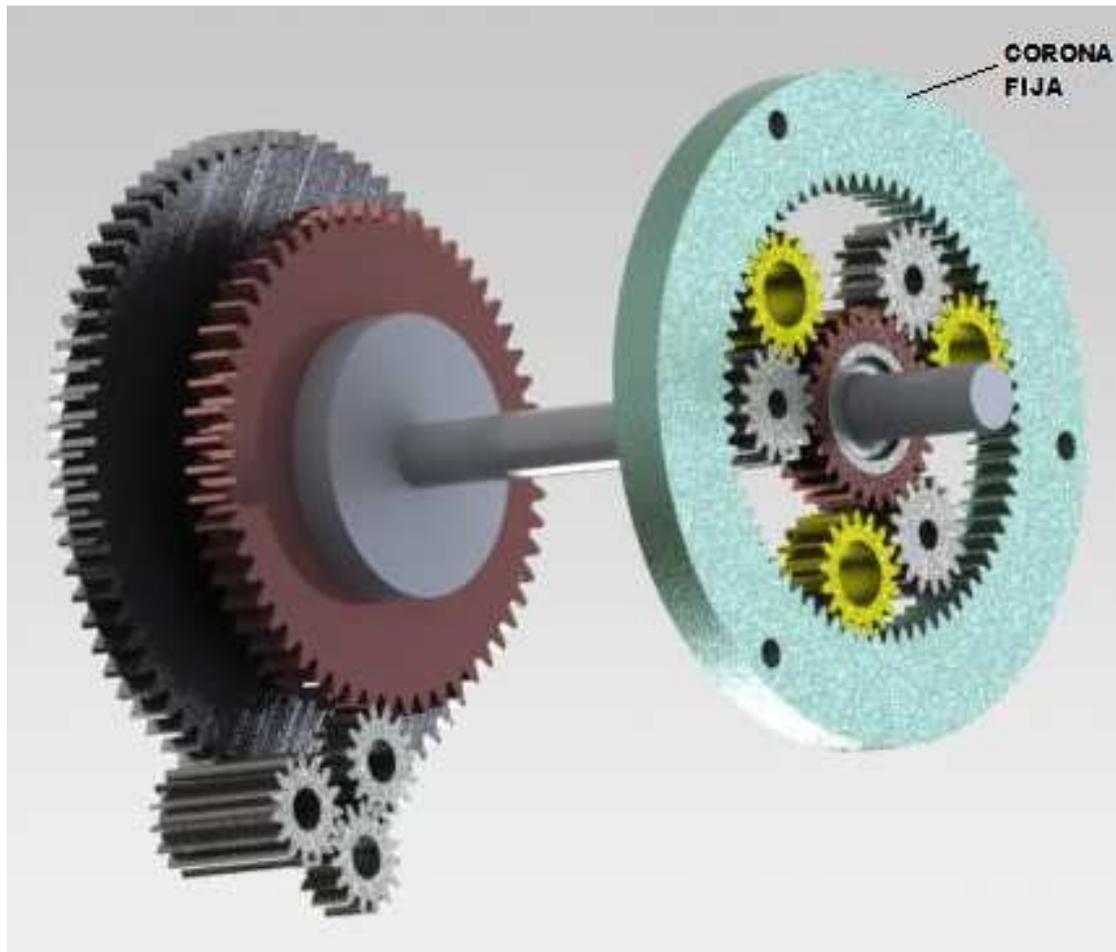


Figura 3. 8 Simulación en SolidWorks de la marcha Parking. Fuente propia.

En esta marcha solo está engranado el engranaje de marcha ascendente, pero el elemento fijo será la corona, por consiguiente no va a existir movimiento en el eje de salida.

3.2.2. Relaciones de transmisión

Para el cálculo de las relaciones de transmisión de la caja automática Borg Warner, además de tomar en cuenta el tren epicicloidial se debe añadir las relaciones de transmisión del sistema de reversión y transmisión previamente diseñado. Se realizará el análisis de transmisión para cada marcha.

Tabla 3. 2 Número de dientes de los engranajes

DENOMINACIÓN	ELEMENTO	Nº DE DIENTES
A	Engranaje Motriz	73
B	Engranaje móvil de marcha ascendente	15
C	Engranaje móvil de marcha descendente	15
D	Engranaje de marcha ascendente	55
E	Engranaje de marcha descendente	73
X	Engranaje loco	15
Y	Engranaje de acople entre loco y de marcha ascendente	15
F	Engranaje solar de marcha ascendente	28
G	Engranaje satélite simple	16
H	Engranaje satélite doble	17
J	Corona	67
K	Engranaje solar de marcha descendente	32

a) Primera marcha

Haciendo un breve resumen de la primera marcha destacamos los siguientes aspectos:

- **Portasatélites:** Fijo
- **Engranaje rojo:** Entrada de potencia
- **Engranaje azul:** Libre

Flujo de potencia ABXYDFGHJ

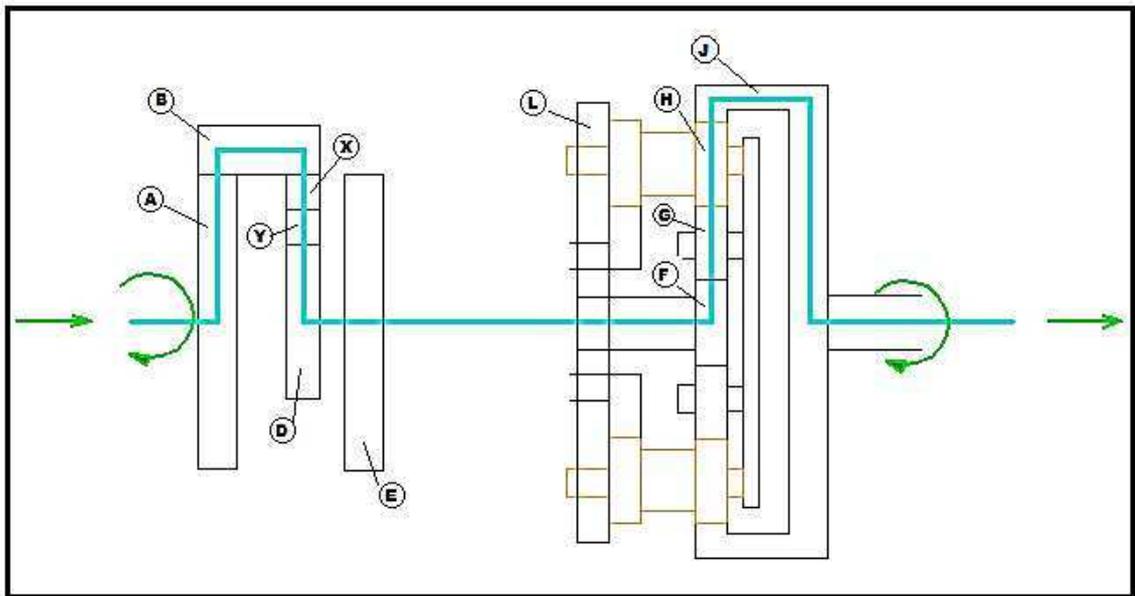


Figura 3. 9 Flujo de potencia para primera marcha. Fuente propia.

Para la primera marcha el comportamiento del sistema es de un tren de engranajes compuesto, así que se usarán las fórmulas correspondientes.

$$r_t = \frac{\text{conducidos}}{\text{conductores}} \quad (3.6)$$

$$r_t = \left(\frac{Po2}{Po1}\right) \left(-\frac{ZB}{ZA}\right) \left(-\frac{ZX}{ZB}\right) \left(-\frac{ZY}{ZX}\right) \left(-\frac{ZD}{ZY}\right) \left(-\frac{ZG}{ZF}\right) \left(-\frac{ZH}{ZG}\right) \left(+\frac{ZJ}{ZH}\right)$$

$$r_t = \left(\frac{Po2}{Po1}\right) \left(+\frac{ZD}{ZA}\right) \left(+\frac{ZJ}{ZF}\right)$$

$$r_t = \left(\frac{4''}{2.5''}\right) \left(\frac{55}{73}\right) \left(\frac{67}{28}\right)$$

$$r_t = 2.883$$

Una vez obtenida la relación de transmisión, se procede al cálculo de las revoluciones de salida:

$$\frac{r_{entrada}}{r_{salida}} = 2.883 \quad (3.7)$$

$$r_{salida} = \frac{r_{entrada}}{2.883}$$

Se asume las revoluciones de entrada con el valor de 1:

$$r_{salida} = \frac{1}{2.883}$$

$$r_{salida} = 0.347$$

Esto significa que por **1** revolución de entrada al sistema, existirán **0.347** revoluciones de salida en la corona y por consiguiente en el eje de salida la relación es:

$$\mathbf{1: 0.347}$$

b) Segunda marcha

En esta marcha se tienen los siguientes aspectos:

- **Portasatélites:** Libre.
- **Engranaje rojo:** Entrada de potencia.
- **Disco azul:** Fijo.

A diferencia de la primera marcha se tiene que tomar en cuenta el tren de engranajes planetario, ya que su comportamiento va a depender exclusivamente de este. Debido a la complejidad del mismo se analizará los respectivos flujos de potencia existentes para obtener la relación de transmisión total.

La relación de transmisión del sistema de reversión será multiplicada a la relación de transmisión del tren planetario, así que para los análisis se omitirá temporalmente la relación del sistema de reversión.

El valor de la velocidad de entrada esta dado en rpm. Este valor depende directamente de las revoluciones que nos entregue el motor eléctrico, la cual va a ser diferente en cada uso. Por motivos de facilidad asumiremos la velocidad de entrada en 1000 rpm.

Igualando (a) y (b)

$$\frac{28}{67} = \frac{\omega_J - \omega_A}{1000 - \omega_A} \quad (c)$$

Flujo de potencia ADFGHH₁K

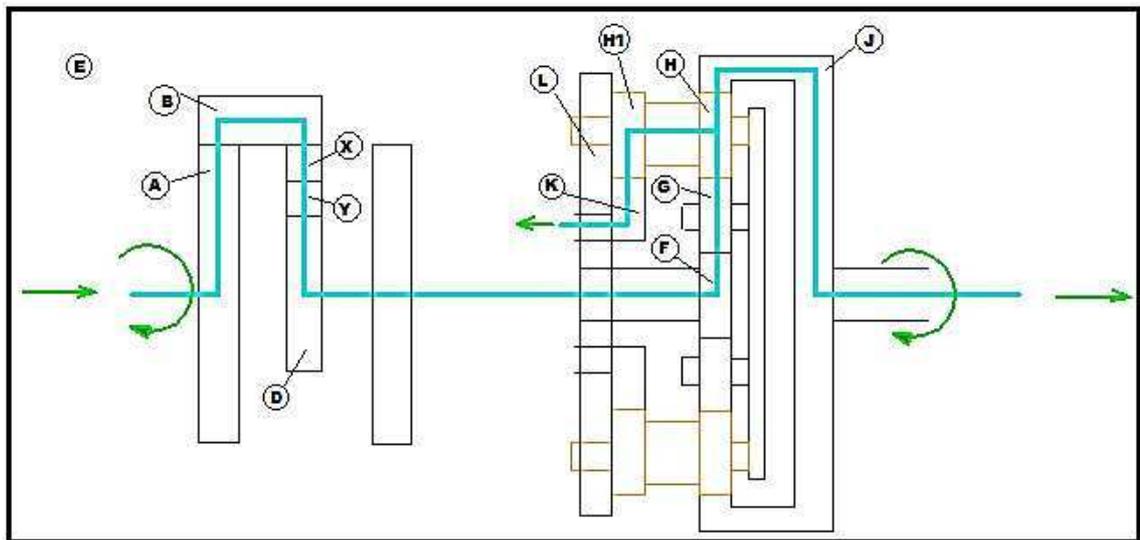


Figura 3. 11 Flujo de potencia ADFGHH₁K. Fuente propia.

Partiendo de la ecuación general:

$$\frac{\omega_{LA}}{\omega_{FA}} = \frac{\omega_L - \omega_A}{\omega_F - \omega_A}$$

Analizando el flujo de potencia se destacan algunos aspectos:

- Los engranajes planetarios son H, H₁, G.
- El engranaje F es el primero en tener contacto con los planetarios.
- El engranaje K es el último en tener contacto.

Rescribiendo la ecuación general para el presente caso:

$$\frac{\omega_{KA}}{\omega_{FA}} = \frac{\omega_K - \omega_A}{\omega_F - \omega_A}$$

Ya que el engranaje solar de marcha descendente (w_k) va a estar sin movimiento debido a su relación con el engranaje de marcha descendente (E), se deduce que la velocidad de salida de dicho engranaje va a ser igual a 0.

$$\frac{\omega_{KA}}{\omega_{FA}} = \frac{0 - \omega_A}{\omega_F - \omega_A} \quad (\text{d})$$

Considerando A detenido:

$$\frac{\omega_{KA}}{\omega_{FA}} = \left(-\frac{ZF}{ZG}\right) \left(-\frac{ZG}{ZH}\right) \left(-\frac{ZH_1}{ZK}\right)$$

$$\frac{\omega_{KA}}{\omega_{FA}} = \left(-\frac{ZF}{ZH}\right) \left(+\frac{ZH_1}{ZK}\right)$$

$$\frac{\omega_{KA}}{\omega_{FA}} = -\frac{28}{32} \quad (\text{e})$$

Se igualan las ecuaciones (d) y (e), y se asume nuevamente la velocidad de entrada de 1000 rpm.

$$-\frac{28}{32} = \frac{0 - \omega_A}{1000 - \omega_A} \quad (\text{f})$$

Finalmente se resuelve el sistema de ecuaciones (c) y (f), de nuevo asumiendo la velocidad de entrada de 1000 rpm. Se obtienen los siguientes valores para las velocidades:

$$w_A = 466.666 \text{ rpm}$$

$$w_J = 689.552 \text{ rpm}$$

Con estos valores se calcula la relación de transmisión:

$$r_t = \frac{\omega_{entrada}}{\omega_{salida}} = \frac{1000}{689.552}$$

$$r_t = 1.450$$

Finalmente introduciendo el factor del tren de reversión y transmisión, se obtiene la relación de transmisión total para la segunda marcha:

$$r_t = \left(\frac{1000}{689.552} \right) \left(\frac{55}{73} \right) \left(\frac{4''}{2.5''} \right)$$

$$r_t = 1.748$$

Para el cálculo de las revoluciones de salida se procede al mismo cálculo hecho para la primera marcha, obteniendo:

$$1: 0.572$$

c) Tercera marcha

Al estar conectados los dos discos de engranajes de marchas, ascendente y descendente, los dos engranajes solares de marcha dejan de tener una rotación contraria haciendo que los dos giren en un mismo sentido. Este fenómeno hace que la potencia se transmita directamente del engranaje motriz a la corona y posteriormente al eje de salida, por esta razón la relación de transmisión es de 1:1

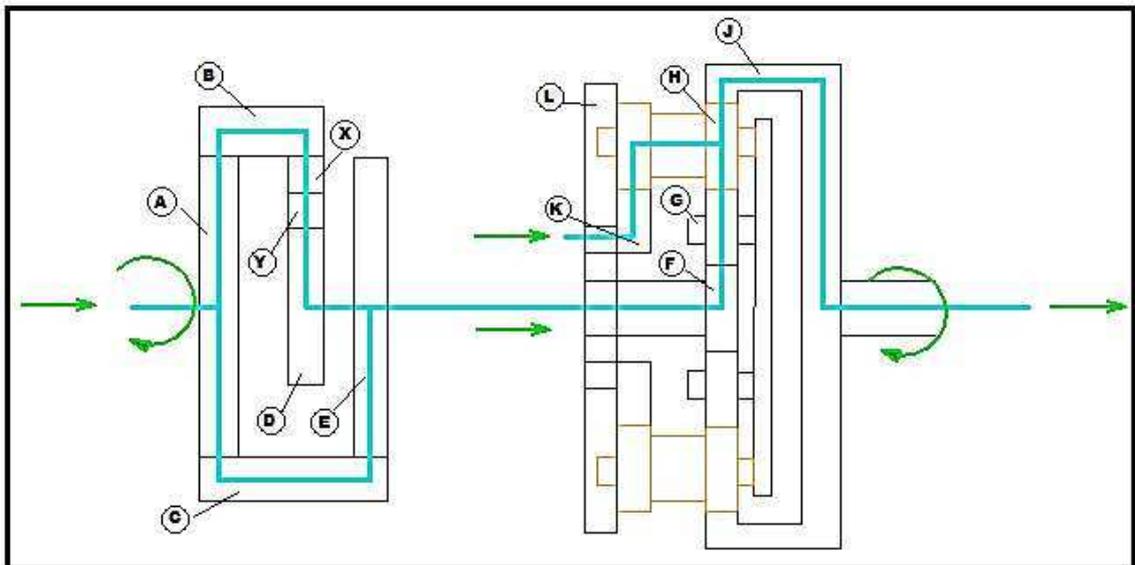


Figura 3. 12 Flujo de potencia para tercera marcha. Fuente propia.

Al tomar en cuenta el factor de la relación de transmisión del sistema de reversión la relación para la tercera marcha es:

$$r_t = \left(\frac{1}{1} \right) \left(\frac{55}{73} \right) \left(\frac{4''}{2.5''} \right)$$

$$r_t = 1.205$$

Las revoluciones de salida serán entonces:

$$1: 0.829$$

d) Reversa

Para la marcha reversa se tienen los siguientes parámetros:

- **Portasatélites:** Fijo
- **Engranaje rojo:** Libre
- **Engranaje azul:** Entrada

Al igual que la primera marcha, el comportamiento para este caso es de un tren de engranajes compuesto.

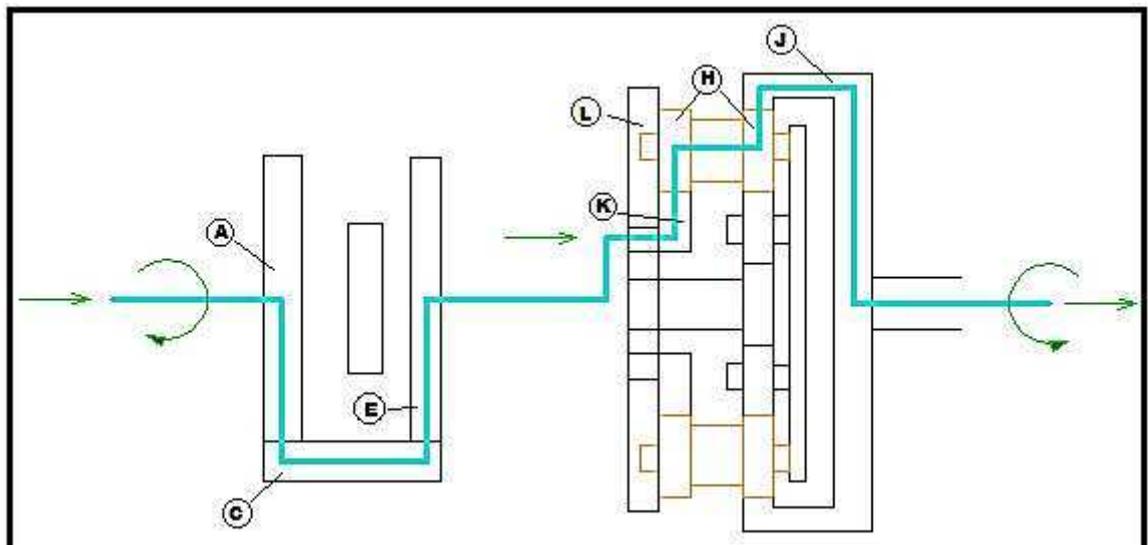


Figura 3. 13 Flujo de potencia para reversa. Fuente propia.

$$r_t = \frac{\text{conducidos}}{\text{conductores}}$$

$$r_t = \left(-\frac{ZJ}{ZH}\right) \left(+\frac{ZH_1}{ZK}\right)$$

$$r_t = -\frac{ZJ}{ZK} = -\frac{67}{32}$$

$$r_t = -2.093 \left(\frac{4''}{2.5''}\right)$$

Finalmente para esta marcha las revoluciones de salida son:

$$1: 0.298$$

En este caso se omite la multiplicación por el factor del sistema de reversión y transmisión, ya que para esta marcha en particular existe una relación de 1:1 de dicho sistema. Esto se debe a que el engranaje motriz tiene la misma cantidad de dientes que el engranaje de marcha descendente.

Cuadro de resumen

Se asumirá como valor de revoluciones de entrada 1000 rpm.

Tabla 3. 3 Cuadro de resumen de relaciones de transmisión

Marcha	Engranaje de marcha ascendente	Engranaje de marcha descendente	Disco Portasatélites	Corona	Relación de transmisión	ω de salida (rpm)
1	Libre	Libre	Fijo	Libre	0.347	347
2	Libre	Fijo	Libre	Libre	0.572	572
3	Libre	Libre	Libre	Libre	0.829	829
Reversa	Libre	Libre	Fijo	Libre	0.298	298
Parking	Libre	Libre	Libre	Fijo	0	0

3.2.3. Análisis de torque [2]

Para este análisis se considerarán los aspectos teórico y experimental.

Análisis teórico

El diente de un engranaje es considerado para el análisis como una viga, así que se procederá como tal.

3.2.3.1.1. Dimensiones del diente

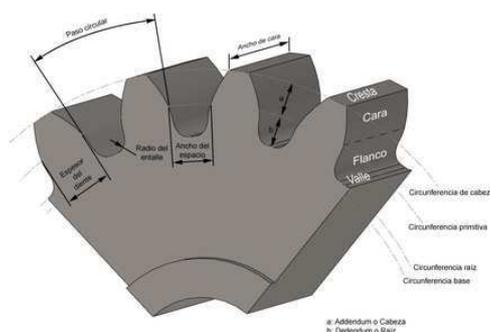


Figura 3. 14 Principales dimensiones del diente. Fuente [37].

$$\text{Altura del diente} = 2.25 * M = 2.25 * 2 = 4.5 \text{ mm} = 0.0045\text{m} \quad (3.9)$$

$$\text{Ancho de cara} = 10 \text{ mm} = 0.01\text{m}$$

$$\text{Pie del diente} = 1.25 * M = 1.25 * 2 = 2.5 \text{ mm} = 0.0025\text{m} \quad (3.10)$$

3.2.3.1.2. Esfuerzo de flexión [23]

$$\sigma = \frac{S_y}{n} \quad (3.11)$$

El valor del factor de seguridad se lo puede obtener mediante cálculos o bien basándose en criterios ya establecidos por normas, como lo es la norma AGMA 2105-C95⁷, la cual recomienda que para el mecanizado de engranajes diseñados para fatiga, el valor del factor de seguridad puede oscilar entre 1.5 y 2. Por esta razón se utilizará 2 como factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{220}{2}$$

$$\sigma = 110 \text{ MPa}$$

3.2.3.1.3. Cálculo de la carga

Ya que los dientes de un engranaje funcionan de una manera parecida a una viga en voladizo, lo más conveniente es realizar un análisis aplicando la ecuación de flexión de Lewis⁸, la cual depende de la forma del diente y lo analiza en su totalidad.

$$\sigma = \frac{6 * W^t * x * l}{F * t^2} \quad (3.12)$$

⁷ <http://es.scribd.com/doc/61018936/norma-agma>

⁸ BUDYNAS, R. Y NISBETT, K. Diseño de ingeniería mecánica de SHIGLEY. 8^{va} ed. Ciudad de México. McGraw Hill. 2008.

Dónde:

σ = Esfuerzo de flexión en dientes de engranes.

W^t = Carga tangencial uniformemente distribuida a lo largo del ancho de la cara F.

L = Longitud.

F = Ancho de cara.

t = Sección transversal.

$$110 \times 10^6 = \frac{(6)(W^t)(0.0045)}{(0.01)(0.0025^2)}$$

$$W^t = \frac{(110 \times 10^6)(0.01)(0.0025^2)}{(6)(0.0045)}$$

$$W^t = 254.62 \text{ N}$$

3.2.3.1.4. Cálculo del torque

Para encontrar el torque se multiplica la carga tangencial hallada (W^t) por el radio del engranaje (d). Este torque encontrado es la mitad del torque máximo que puede aguantar el diente del engrane ya que al momento de calcular el esfuerzo lo dividimos para un factor de seguridad de 2, con lo cual se asegura de no superar este valor para darle la mayor vida a los componentes de la transmisión.

$$T = F \times d \tag{3.13}$$

$$T = W^t \times d$$

$$T = 254.62 \times 0.075$$

$$T = 19.096 \text{ N.m}$$

3.2.3.2. Análisis experimental

El propósito de este análisis fue calcular el torque resistivo máximo que ofrece el prototipo en cualquiera de sus marchas, para compararlo con el torque máximo teórico que puede resistir los engranajes. Este análisis se

realizó aplicando pesas en la polea de entrada para cada una de las marchas hasta que el prototipo comience a tener movimiento rotatorio, y ya que se tiene el radio de la polea y la fuerza con la que se movió, se puede calcular sin ningún problema el torque.



Figura 3. 15 Análisis experimental de torque. Fuente propia.

Tabla 3. 4 Pesos necesarios para inicio de movimiento

Marcha	Peso (Kg)
Libre	0.190
Primera	1.25
Segunda	0.75
Tercera	0.5
Retro	0.88
Parking	-----

Como se puede ver en la tabla anterior, el torque máximo lo proporciona la primera marcha ya que es la que tiene una mayor fuerza resistiva y produce el mayor esfuerzo de flexión en los dientes de los engranajes. Es por este motivo que solo se analizarán los esfuerzos para esta marcha.

$$F = m \times a$$

$$F = 1.25 \times 9.8$$

$$F = 12.25 \text{ N}$$

$$T = F \times d$$

$$T = 12.25 \times 0.04$$

$$T = 0.49 \text{ N.m}$$

Como conclusión, basándose en los resultados obtenidos del cálculo de torque, se obtienen 2 valores diferentes, el torque teórico y el torque experimental. El torque teórico debe ser mucho mayor al torque experimental, ya que este se puede interpretar como un valor máximo que no debe sobrepasarse, para evitar riesgos de rotura en los dientes. Por otro lado el torque experimental, es el valor mínimo a vencer para que el sistema comience a funcionar. Este valor es pequeño en comparación con el torque teórico ya que el sistema no presente cargas significativas que se opongan al movimiento.

3.3. Diseño de sistema neumático [7] [8] [10]

La finalidad de la red de aire comprimido es ofrecer la cantidad correcta de aire a la presión y cantidad adecuada, con economía en los costos.

3.3.1. Componentes de la red de aire comprimido

Los principales componentes de una red de aire comprimido son:⁹

- Unidad de compresión.
- Línea principal.
- Línea de distribución.
- Línea de servicio.
- Herramientas.
- Separador.
- Válvula de paso.

⁹ ATLAS COPCO. Guía de instalación de aire comprimido. 1986. 16 p

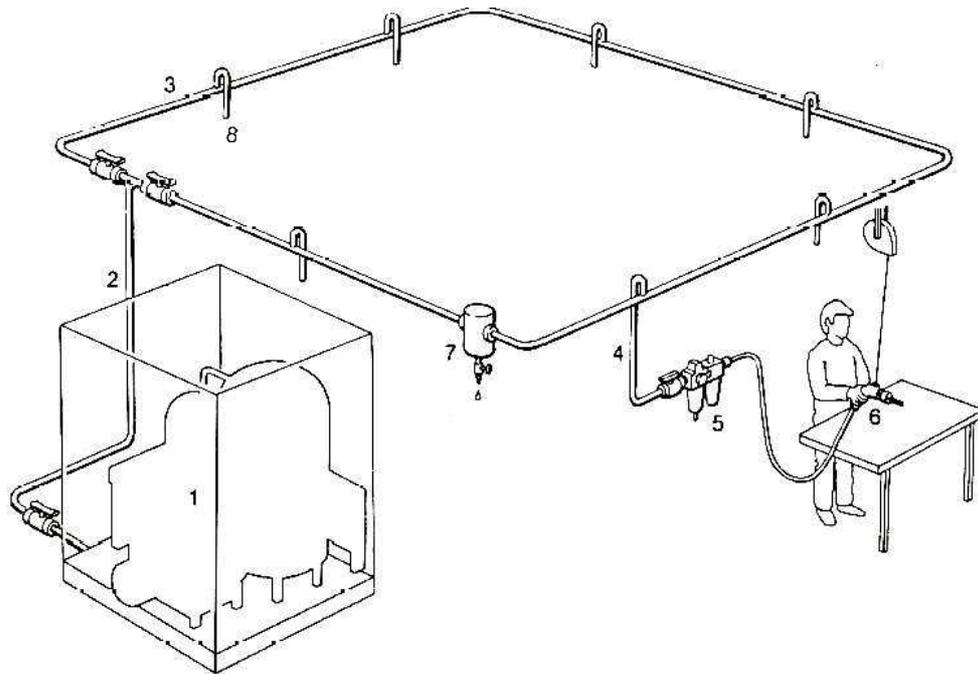


Figura 3. 16 Red de aire comprimido. Fuente [8].

3.3.2. Distribución del sistema neumático

La función de una red de aire comprimido es la de ofrecer aire con una presión que dé a cada herramienta la potencia necesaria para su correcto funcionamiento. Lamentablemente son inevitables ciertas pérdidas en forma de caída de presión.

3.3.2.1. Caída de presión admisible

La caída de presión en instalaciones fijas, no puede sobrepasar 0.1 bar, desde la instalación del compresor hasta la llave de servicio que quede a mayor distancia en el sistema. De esta caída de presión, la línea de servicio responde con 0.03 bar. La forma como los restantes 0.07 bar son distribuidos depende del modo de instalación.

La caída de presión desde la salida de servicio hasta la entrada de la herramienta, no debe exceder los 0.6 bar. Cuando la instalación esté en funcionamiento, las impurezas son retenidas en los filtros, aumentando así la caída de presión en 0.3 bar en sus funciones de limpieza.

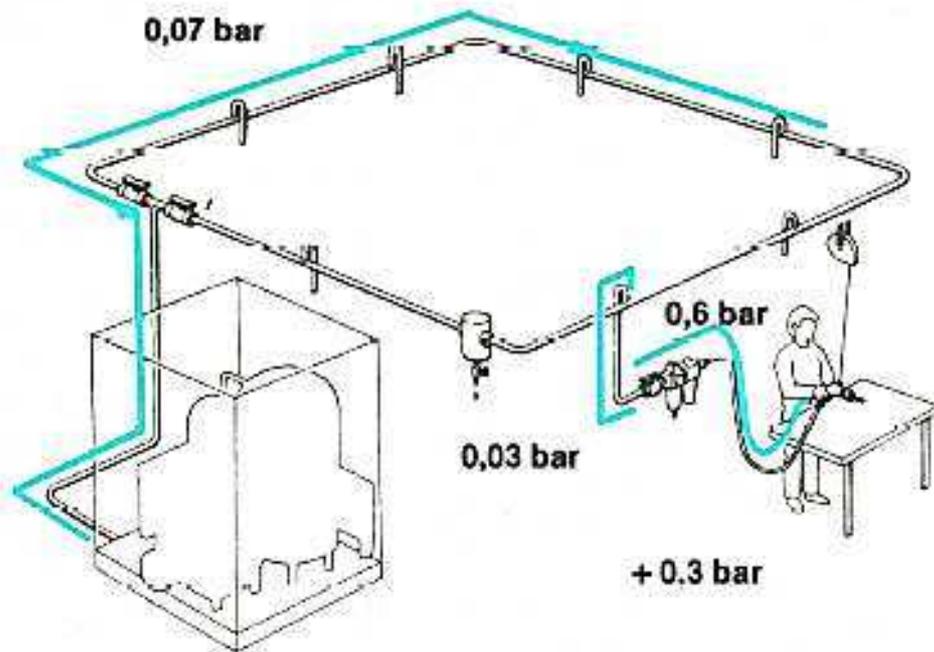


Figura 3. 17 Caída de presión admisible en líneas de aire. Fuente [8].

Para saber cuál es la presión con la que se tendrá que contar, hay que sumar la presión prescrita en la herramienta, a la caída de presión que presentara la línea y los accesorios de acuerdo con el razonamiento antes descrito.

La mayoría de las sistemas neumáticos trabajan a una presión prescrita de 6 bares, y su utiliza este valor para fines de diseño.

Tabla 3. 5 Caídas de presión admisibles

Caída de presión	Presión (bar)
Línea principal	0.07
Línea de servicio	0.03
Accesorios	0.6
Filtro obstruido	0.3
Total	1

La presión al comienzo de la línea principal deberá ser por tanto de 7bar para que la herramienta sea suplida por la presión de aire prescrita de 6bar.

3.3.3. Actuadores

Los actuadores son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico.

3.3.3.1. Pistones neumáticos [16]



Figura 3. 18 Pistón neumático. Fuente propia.

Los pistones son dispositivos motrices en los equipos neumáticos ya que transforman la energía estática del aire a presión, en movimientos rectilíneos de avance y retroceso.

Las acciones que realizan los cilindros son las de empujar y/o halar. Estos realizan su mayor esfuerzo cuando empujan, ya que la presión actúa sobre la cara del embolo que no lleva vástago y así se aprovecha la mayor superficie, cumpliendo con el principio de que a mayor área mayor fuerza.

Según el principio de operación existen 2 tipos de pistones neumáticos: Simple efecto y Doble efecto.

3.3.3.1.1. Simple efecto

Su característica principal es que puede producir movimiento solamente en un solo sentido o dirección; por un lado recibe presión, el cilindro ejecuta un trabajo mecánico de avance y su retorno puede darse por efecto de un muelle de reposición, o bien por fuerza externa. Debe tener además una conexión para escape de aire.

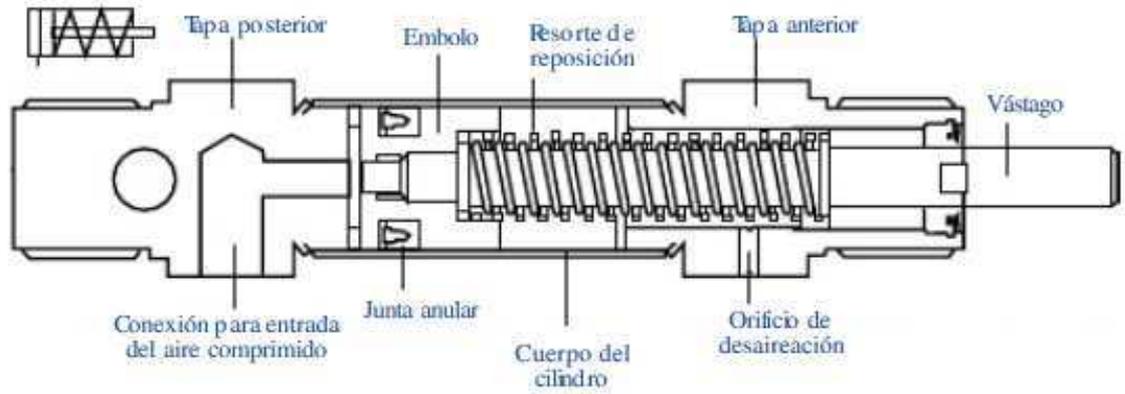


Figura 3. 19 Esquema de pistón simple efecto. Fuente [38].

3.3.3.1.2. Doble efecto

Al igual que los cilindros de simple efecto realizan el movimiento en una sola dirección. La gran diferencia radica en el retorno, ya que estos cilindros necesariamente necesitan presión para salir y también para regresar; por eso se tienen 2 conexiones de aire.

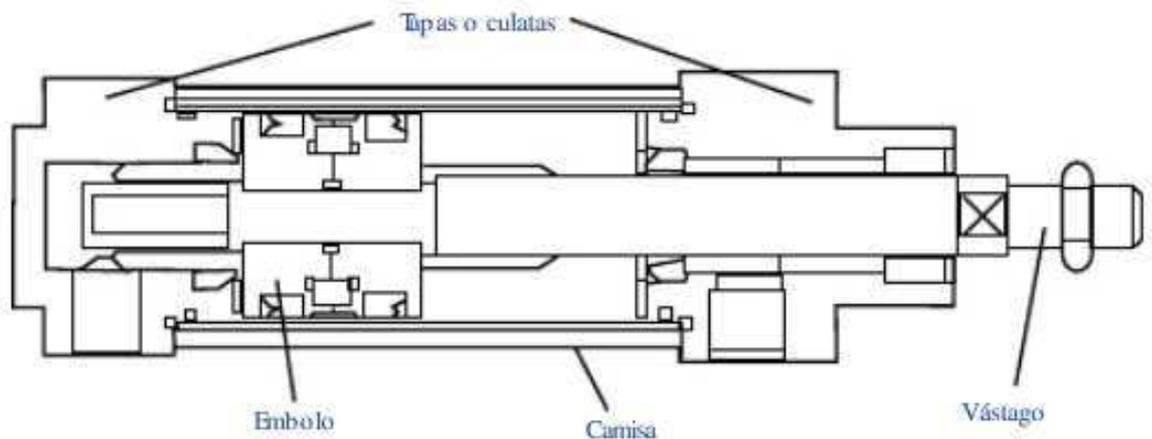


Figura 3. 20 Esquema de pistón de doble efecto. Fuente [38].

3.3.3.1.1 Cálculo de fuerza en pistones

Para el cálculo de la fuerza del pistón se parte del concepto básico de presión y su correspondiente fórmula:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.14)$$

Dónde:

P = Presión en N/cm^2 .

F = Fuerza en N.

A = Área del embolo en cm^2 .

Despejando la fuerza de la fórmula, tenemos:

$$F = P \cdot A$$

A nivel industrial el valor de la presión por lo general esta estandarizado en 6bar, entonces la fuerza del pistón depende directamente del área del embolo.

En el presente proyecto los pistones neumáticos serán utilizados para el desplazamiento axial de los ejes móviles del sistema de reversión y transmisión. Previamente se calculó que la fuerza mínima para que los ejes comiencen el movimiento es de 0.45N (sección 4.1.1.3.). Con este valor ahora se debe calcular el área del embolo con la cual escogeremos el pistón adecuado.

$$A = \frac{F}{P} \quad (3.15)$$

$$A = \frac{0.45}{60} \frac{N}{\frac{N}{cm^2}}$$

$$A = 0.0075 \text{ cm}^2$$

Como se puede observar el valor del área necesaria es muy pequeño, debido a que la fuerza requerida también lo es. Para la selección del pistón adecuado es lógico seleccionar alguno que tenga el área del embolo mayor a la calculada.

Se hará un análisis con un micro cilindro MCM1 15-16-15, el cual tiene un diámetro de embolo de 16mm y carrera de 15mm. Para hallar el área de embolo se utiliza la fórmula:

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{1.6^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 2.01 \text{ cm}^2$$

Finalmente se calcula el valor de la fuerza:

$$F = P \cdot A$$

$$F = (60)(2.01)$$

$$F = 120.6 \text{ N}$$

Comparando estos valores de A y F con los valores mínimos requeridos por el sistema, se puede ver que son mucho mayores, llegando a la conclusión de que el pistón seleccionado es adecuado para el correcto funcionamiento.

3.3.3.1.2. Consumo de aire

El consumo de aire se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$Q = 2 \cdot n \cdot s \cdot q \tag{3.16}$$

Dónde:

Q = Consumo de aire (l/min).

n = N° de ciclos por minuto.

s = Longitud de carrera (cm).

q = Consumo específico de aire.

El sistema está diseñado para cumplir un ciclo en 1 minuto, entonces el valor de n es 1.

Para calcular el consumo específico de aire, se utiliza un nomograma en el cual sabiendo el diámetro del embolo y la presión de funcionamiento, se halla el consumo en l/cm.

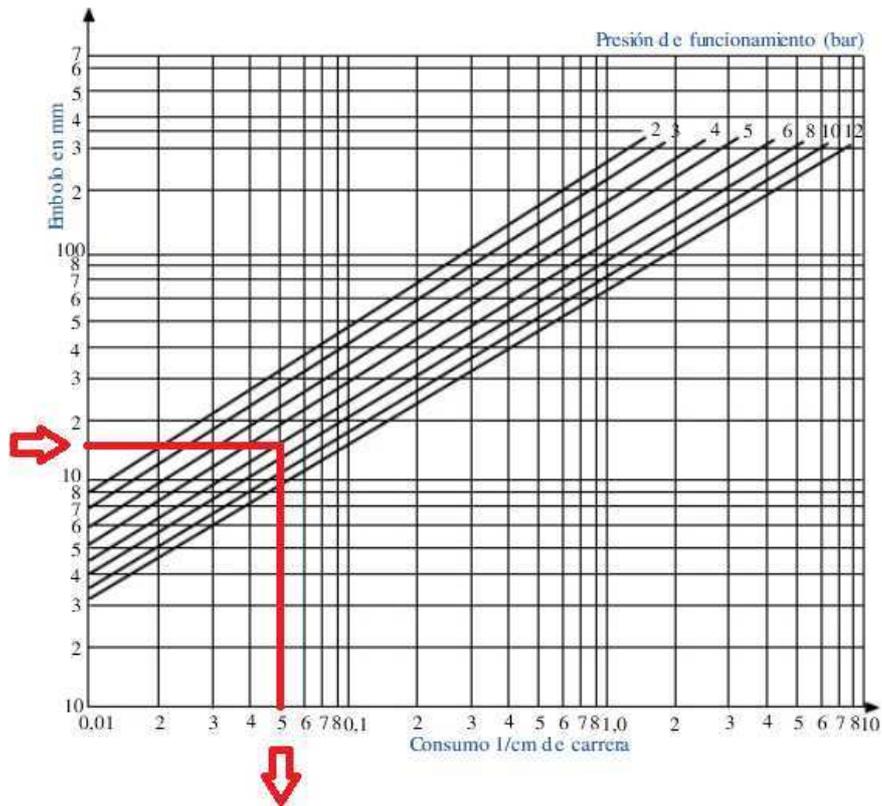


Figura 3. 21 Nomograma para hallar consumo de aire en pistones. Fuente propia.

El valor obtenido para el consumo específico de aire en el pistón es de 5 l/cm.

Finalmente remplazando en la fórmula, se tiene que:

$$Q = 2(1)(1.6)(5)$$

$$Q = 16 \text{ lts}/\text{min}$$

3.3.3.2. Pinzas neumáticas [9], [39]



Figura 3. 22 Pinza neumática de desplazamiento horizontal. Fuente propia.

Una pinza neumática es un tipo específico de accionamiento neumático que normalmente implica movimiento, ya sea paralela o angular de sus dedos, los cuales son los que van a sujetar el objeto deseado. Por lo general las pinzas neumáticas se usan combinadas con sistemas eléctricos o hidráulicos, para realizar su labor de sujeción de piezas.¹⁰

El principio de funcionamiento se basa en un mecanismo que al ser movido por un embolo activado por el ingreso de aire comprimido, transforma el movimiento vertical en horizontal.

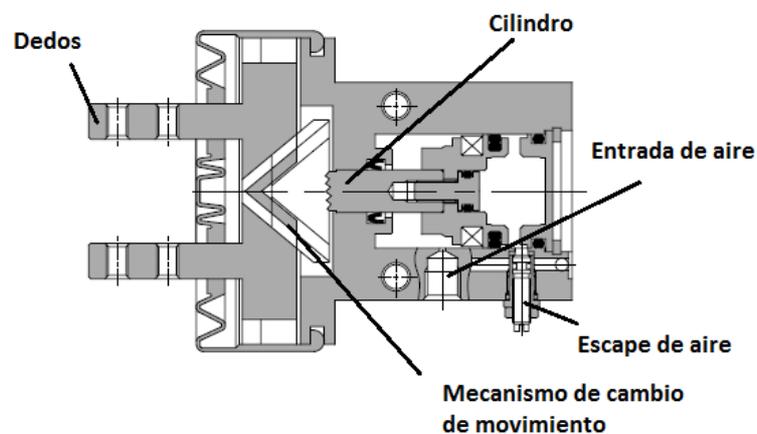


Figura 3. 23 Esquema y partes de una pinza neumática. Fuente [38].

3.3.3.2.1. Cálculo de fuerza en pinzas

El principio de funcionamiento con los cilindros neumáticos es similar, así que el cálculo de la fuerza también lo es. Se utilizara entonces el mismo procedimiento y fórmulas de la sección (4.3.3.1.1.).

Primero que todo se necesita saber cuál es la fuerza que se necesita ejercer para que sea adecuada para el sistema, dicho valor fue calculado anteriormente (sección 4.1.2.2.), y es 8.027N. Entonces:

$$A = \frac{F}{P}$$

$$A = \frac{8.027}{60}$$

$$A = 0.134 \text{ cm}^2$$

¹⁰ WOLF, A y SCHUNK, H. Grippers in motion. ed Springer. Italy. 2005. pp 70 – 158.

Con este valor se procede al análisis de una pinza con un área igual o superior a la ya antes calculada. Se selecciona la pinza neumática MHK2-12D, la cual cuenta con un diámetro de embolo de 12mm.

Recurriendo al catálogo de la pieza (**VER ANEXO A.2.4**), se pueden observar los valores de fuerza ya tabulados. Para la presente pieza los valores de fuerza efectiva de sujeción por cada dedo, y trabajando a una presión de 6bar es de 16N.

$$16N > 8.027N$$

Este valor es superior al requerido, haciendo que esta pinza sea adecuada para el correcto funcionamiento del sistema.

3.3.3.2.2. Consumo de aire

Partiendo de la fórmula:

$$Q = 2 \cdot n \cdot s \cdot q$$

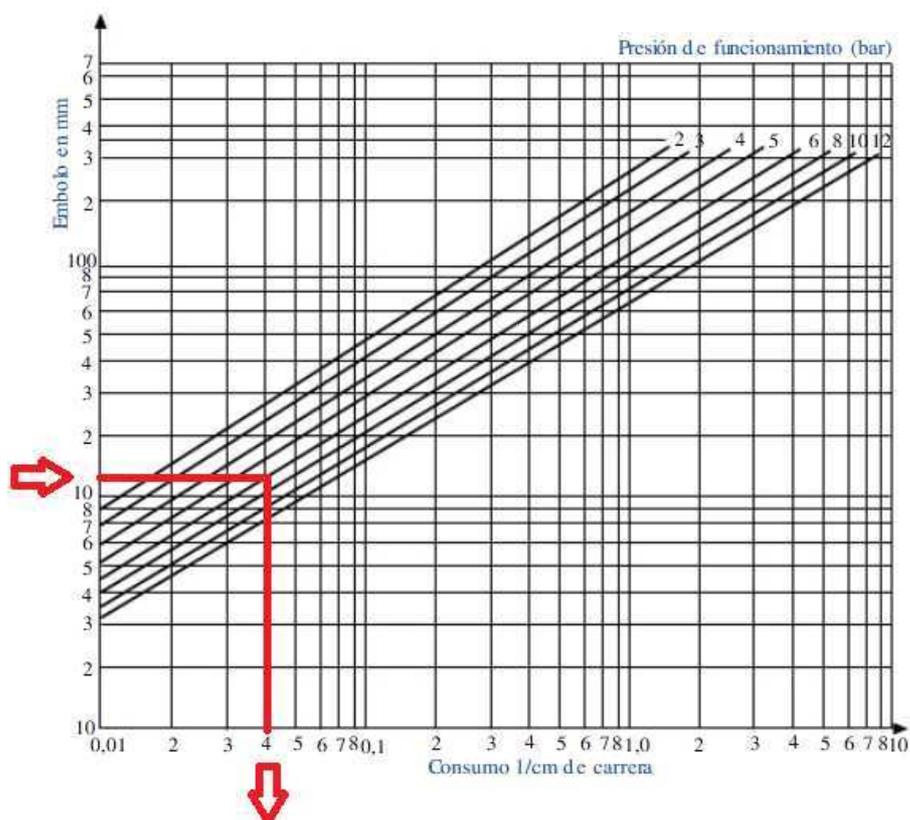


Figura 3. 24 Nomograma para hallar el consumo de aire en pinzas neumáticas. Fuente [8].

Observando en el catalogo se encuentra que la carrera es de 0.4cm.

$$Q = (2)(1)(0.4)(q)$$

Para hallar el valor de q, se utiliza el nomograma:

Finalmente se tiene que el consumo de aire de la pinza neumática es:

$$Q = (2)(1)(0.4)(4.1)$$

$$Q = 3.28 \text{ lts/min}$$

3.3.3.2.3 Análisis de soportes

Las pinzas neumáticas estarán sostenidas en la pared posterior a través de soportes dispuestos de la siguiente forma:

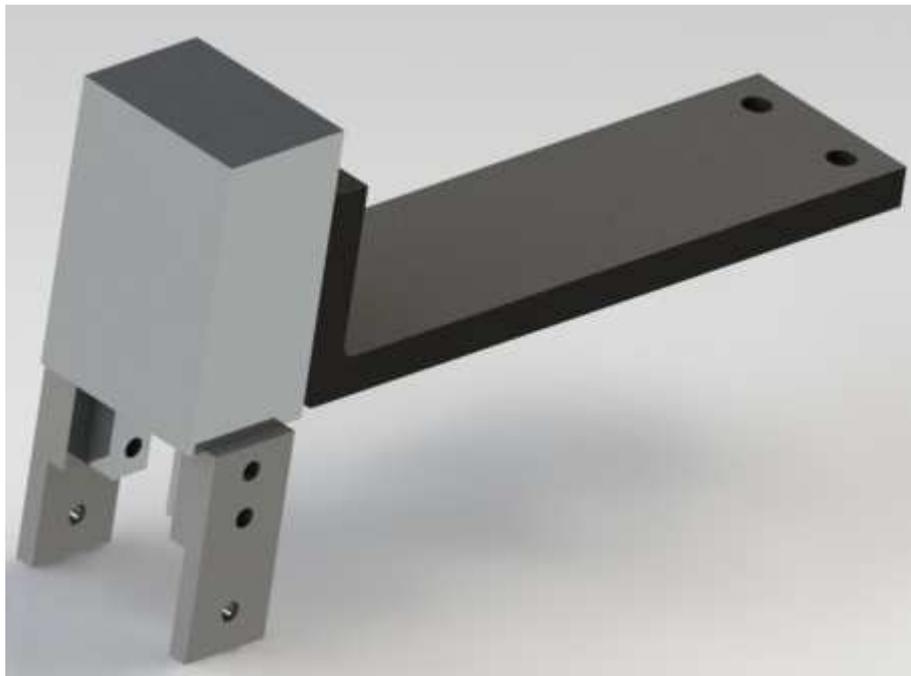


Figura 3. 25 Disposición de soportes de pinza neumática. Fuente propia.

Para analizar los esfuerzos y deformaciones que van a existir en la placa se utilizara un análisis mediante el método de los elementos finitos por discretización de triángulos. A través de la herramienta Solid Motion de Solid Works, se asignan las cargas y restricciones de la pieza ya diseñada.

Es importante saber que los soportes sufrirán cargas en 2 ejes diferentes. La primera carga a tener en cuenta es la tangencial, o la fuerza que ejercen los dedos de la pinza. La segunda carga se debe al efecto de frenado en sí; el sentido de giro de disco es perpendicular al movimiento de los dedos de las pinzas, haciendo que la fuerza también sea perpendicular.

El análisis de elementos finitos se realizó utilizando las siguientes fuerzas:

- En la dirección $-Z$ se ubicó una fuerza de 16 N
- En la dirección $+Z$ se ubicó una fuerza de 16 N
- En la dirección $+X$ se ubicó una fuerza total de 12.8 N, la cual se divide en 2, dando una fuerza de aplicación de 6.4 N en cada soporte.

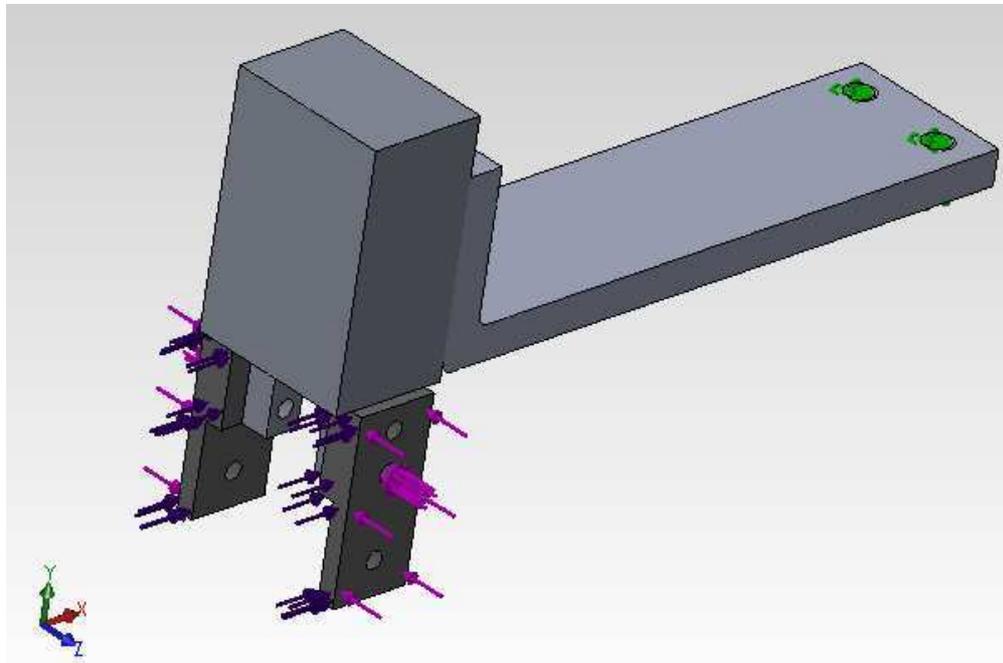


Figura 3. 26 Asignación de cargas a soportes de pinza neumática. Fuente propia.

Una vez asignadas las cargas se procede al mallado, el cual puede ser configurado a través del programa mismo. A menor área de cada división, más exacto será el valor.

- La malla utilizara elementos triangulares con las siguientes características:
- Malla triangular basada en curvatura
- Tamaño máximo del elemento 6.563 mm

- Tamaño mínimo del elemento 1.312 mm
- Número mínimo de elementos en un círculo 8
- Cociente de crecimiento del tamaño del elemento 1.6

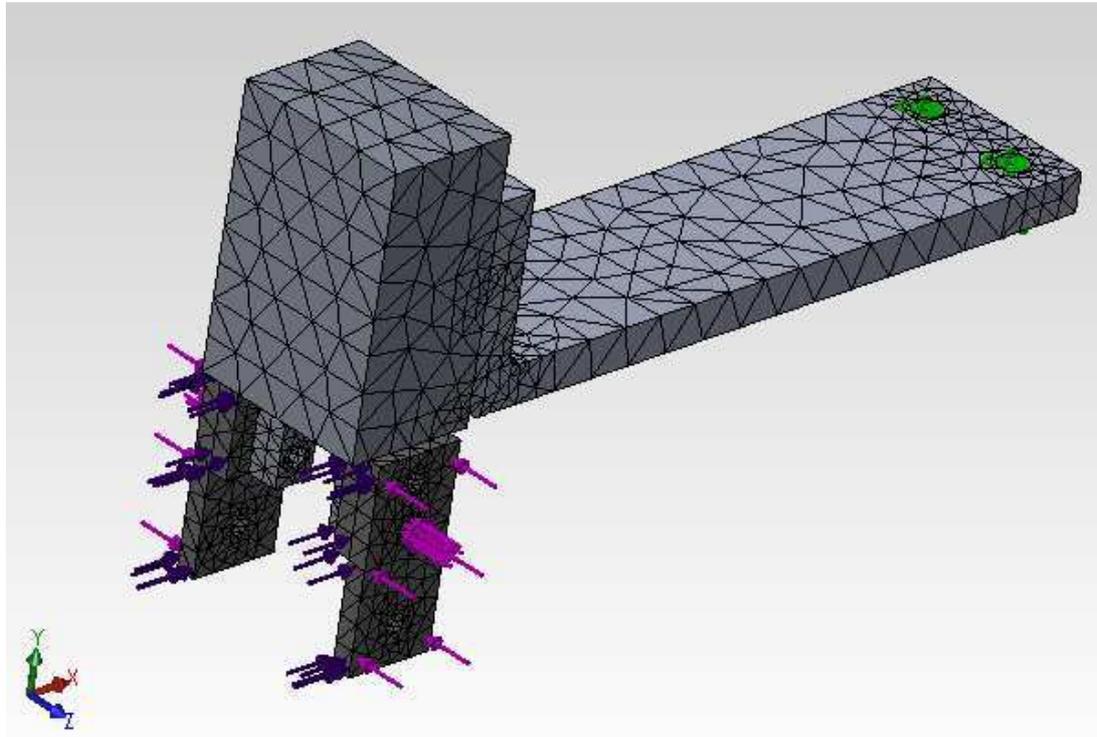


Figura 3. 27 Simulación y mallado para cálculo de esfuerzos. Fuente propia.

Una vez terminada a compilación se procede al análisis de los resultados:

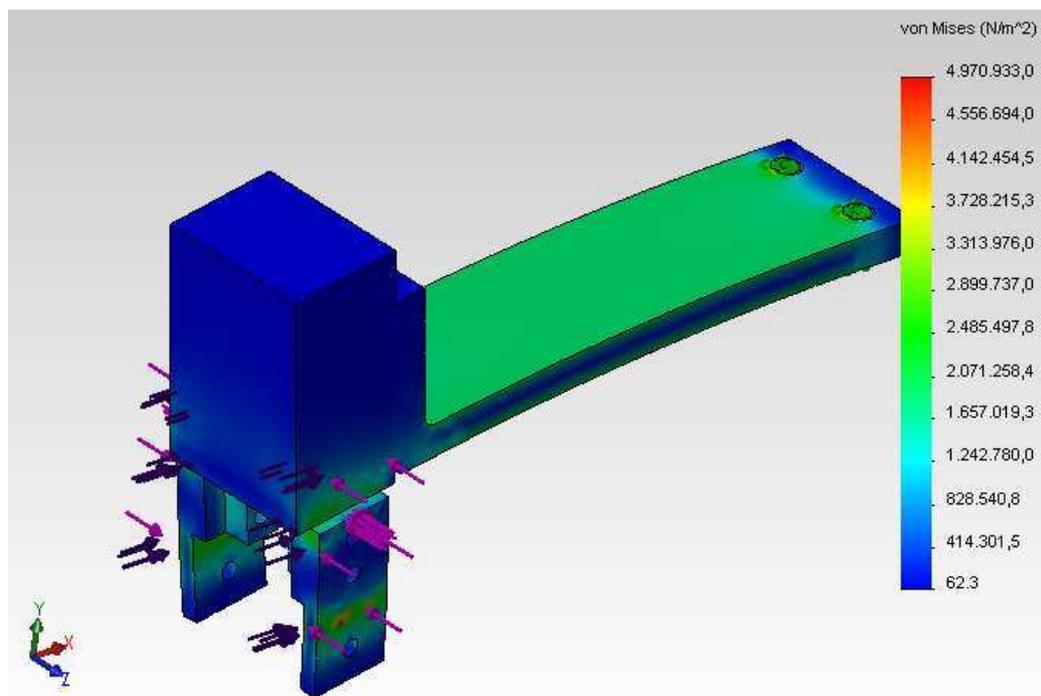


Figura 3. 28 Análisis de resultados para esfuerzos de Von Mises. Fuente propia.

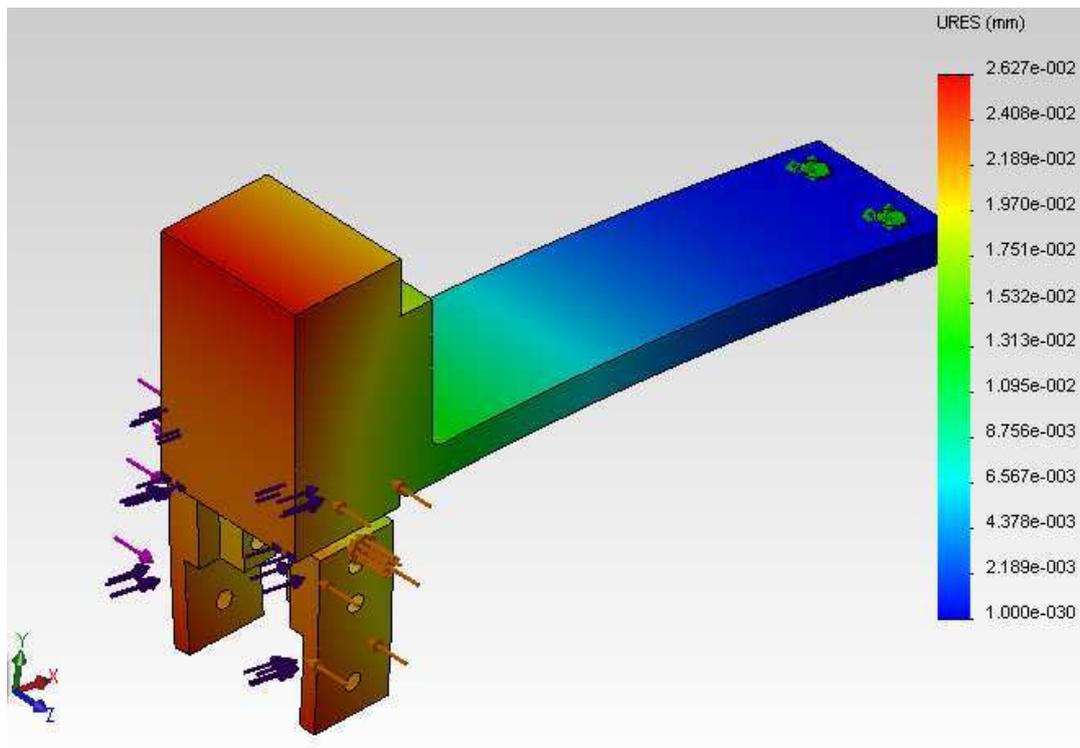


Figura 3. 29 Análisis de resultados para el desplazamiento. Fuente propia.

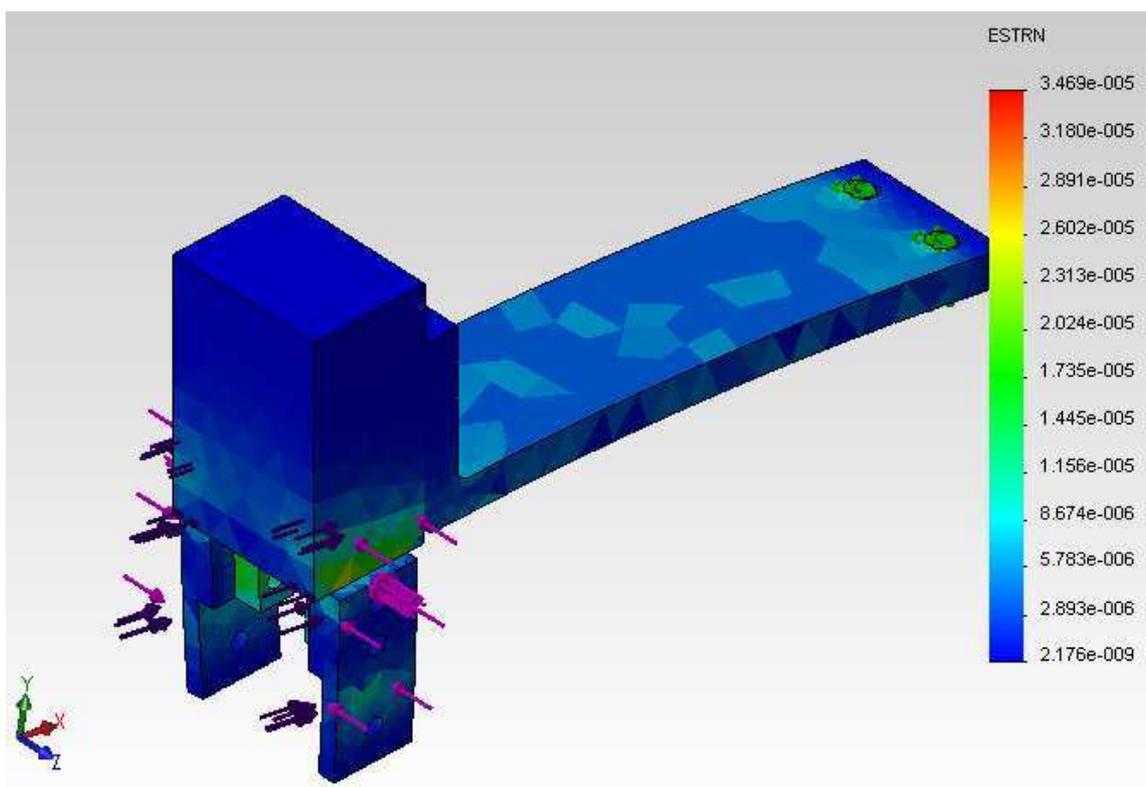


Figura 3. 30 Análisis de resultados para el esfuerzo unitario. Fuente propia.

Como se puede observar en los gráficos, las fuerzas asignadas pueden ser perfectamente toleradas por los soportes, teniendo como desplazamiento máximo de 0.0287 mm, lo cual es muy poco para considerar un rediseño.

3.3.4. Válvulas distribuidoras [18], [19]

Las válvulas distribuidoras o válvulas de vías, son las encargadas de dirigir el aire hacia los lugares previstos en el sistema de mando.¹¹

3.3.4.1. Características Principales

Constituyen los órganos de mando de un circuito, es decir, aquellos que gobiernan el movimiento de los órganos motores de mismo.

Existen varios tipos de válvulas, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- Por el número de posiciones.
- Por el número de vías.
- Por su accionamiento.



Figura 3. 31 Válvula neumática de distribución. Fuente [18].

3.3.4.2. Selección de las válvulas

Para una correcta selección de las válvulas neumáticas, se debe tener en cuenta algunos factores que serán especificados a continuación:

3.3.4.2.1. Parámetros

a) Elementos a intervenir.

Como se sabe, las válvulas se encargan de dirigir el aire que proporciona el compresor a herramientas neumáticas y/o actuadores en general.

¹¹ <http://www.castelloxxi.com/escaparate/producto-13998-VALVULA-DIRECCION.5/2-Y-5/3.-TIPO-740-NEUMATICA..htm>

En el presente proyecto se cuenta con 4 actuadores neumáticos, 2 pistones y 2 pinzas neumáticas. Cada uno de estos actúa de una manera independiente, lo que significa que se necesita una válvula por cada actuador que se tenga. En conclusión se necesitan 4 válvulas neumáticas de distribución.

b) Presión de trabajo.

Las válvulas pueden soportar presiones de trabajo establecidas por el fabricante, ósea que varían según la disponibilidad del cliente. La presión de trabajo para este sistema será de 6bar, y tomando en cuenta las pérdidas de presión admisibles y su debida compensación, tendríamos una presión de trabajo de 7bar. Lo que significa que las válvulas a ser utilizadas deberán tener un valor de presión máxima de trabajo de 7bar o más.

c) Número de vías.

Es el número de orificios controlados en la válvula, exceptuando los de pilotaje. Se pueden tener válvulas de 2, 3, 4, 5 o más vías.

Normalmente se conoce que en cilindros de simple efecto solo se necesitan 3 vías, ya que el trabajo de retorno del embolo es realizado por el muelle. En cambio para cilindros de doble efecto es necesario 2 vías más para la realización del trabajo de retorno del embolo.

Como se tienen 2 cilindros de simple efecto y 2 pinzas neumáticas que funcionan como cilindros de doble efecto, se necesitan dos válvulas de 3 vías, y dos válvulas de 5 vías.

d) Número de posiciones.

Se refiere al número de posiciones estables del elemento de distribución. Pueden tenerse válvulas de 2, 3, 4 o más posiciones.

El número de posiciones casi siempre para labores sencillas es de 2, y en el presente caso dado que es un circuito sencillo el número de posiciones de las válvulas será de 2.

e) Accionamiento.

Como se va a trabajar con equipo eléctrico (PLC), es necesario que las válvulas se accionen a través del envío de señales eléctricas. Por esta razón el accionamiento de las válvulas será a través de solenoides.

f) Propiedades específicas.

Como ya se determinó con anterioridad, se va a utilizar 2 cilindros de simple efecto y 2 pinzas de doble efecto. En otras palabras, se necesitarán 2 válvulas monoestables y 2 biestables.

3.3.4.2.2. Selección

Según el análisis de los parámetros requeridos, se necesitan 4 válvulas, 2 de ellas 3/2 monoestables y con accionamiento eléctrico; y las otras 2 deben ser 5/2 biestables y con accionamiento eléctrico. Las 2 válvulas deben trabajar a presiones de hasta 7bar o superiores. Las válvulas escogidas son las AVS-5211-120A y AVS-5221-120A, de la marca NITRA pneumatics.



Figura 3. 32 Válvulas electroneumáticas seleccionados. Fuente [40].

3.3.4.2.3. Datos técnicos [40]

VER ANEXO A.2.3

3.3.5. COMPRESOR [20], [17]

Un compresor es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles, tal como lo son los gases y los vapores. Esto se realiza a través de un intercambio de energía entre la máquina y el fluido en el cual el trabajo ejercido por el compresor es transferido a la sustancia que pasa por él convirtiéndose en energía de flujo, aumentando su presión y energía cinética impulsándola a fluir.



Figura 3. 33 Compresor de aire. Fuente [17].

3.3.5.1. Generalidades

Los compresores son ampliamente utilizados en la actualidad en campos de la ingeniería:¹²

- Sistemas de refrigeración.
- Sistemas de generación eléctrica.
- Sistemas neumáticos.

¹² http://pdf.directindustry.es/pdf/compair/compresores-de-piston-serie-m/5576-61306-_5.html

3.3.5.2. Tipos de compresores.

Hay diferentes tipos de compresores de aire, pero todos realizan el mismo trabajo: tomar aire de la atmósfera, comprimirlo para realizar un trabajo regresarlo para ser reutilizado.

3.3.5.2.1. El compresor de émbolo. [41]

Es un compresor de aire simple. Utiliza el principio del mecanismo de biela – manivela para su movimiento. En cada movimiento hacia abajo del émbolo, el aire es introducido a la cámara mediante una válvula. En cada movimiento hacia arriba del émbolo, se comprime el aire y otra válvula es abierta para comprimir dichas moléculas de aire; durante este movimiento la primera válvula mencionada se cierra. El aire comprimido es guiado a un tanque de reserva. Este tanque permite el transporte del aire mediante distintas mangueras en el compresor. La mayoría de los compresores de aire de uso doméstico son de este tipo.

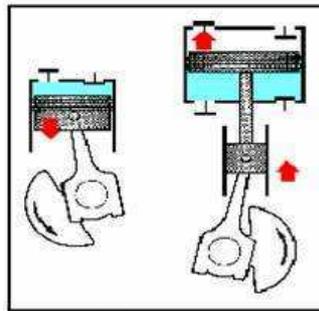


Figura 3. 34 Funcionamiento de un compresor de embolo. Fuente [40].

3.3.5.2.2. El compresor de tornillo.

Aún más simple que el compresor de émbolo, el compresor de tornillo también es impulsado por motores eléctricos. La diferencia principal radica es que el compresor de tornillo utiliza dos tornillos largos para comprimir el aire dentro de una cámara larga. Para evitar el daño de los mismos tornillos, aceite es insertado para mantener todo el sistema lubricado. El aceite es mezclado con el aire en la entrada de la cámara y es transportado al espacio entre los dos tornillos rotadores. Al salir de la cámara, el aire y el aceite pasan a través de un largo separador de aceite donde el aire ya pasa listo a través de un pequeño orificio filtrador. El aceite es enfriado y reusado mientras que el aire va al tanque de reserva para ser utilizado para un trabajo.

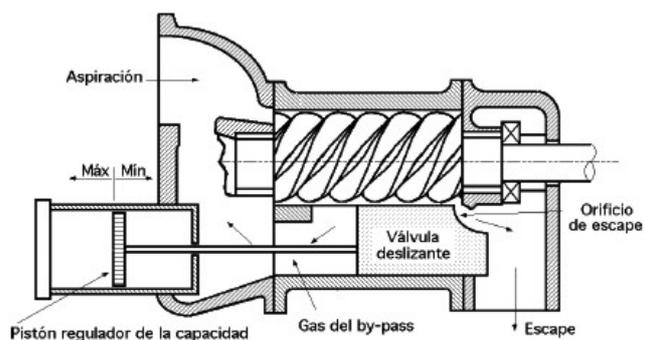


Figura 3. 35 Esquema de compresor de tornillo. Fuente [41].

3.3.5.3. Selección del compresor

Para seleccionar el compresor de cualquier sistema es importante conocer cuál es el consumo de aire total.

El sistema actual consta de 4 actuadores neumáticos, 2 pistones y 2 pinzas. Previamente se calculó el consumo de aire individual, pero para obtener el consumo de aire total se debe conocer el punto crítico en que se consumirá más aire. Para este cálculo es necesario conocer la secuencia del sistema, así que se analizará el diagrama de movimientos.

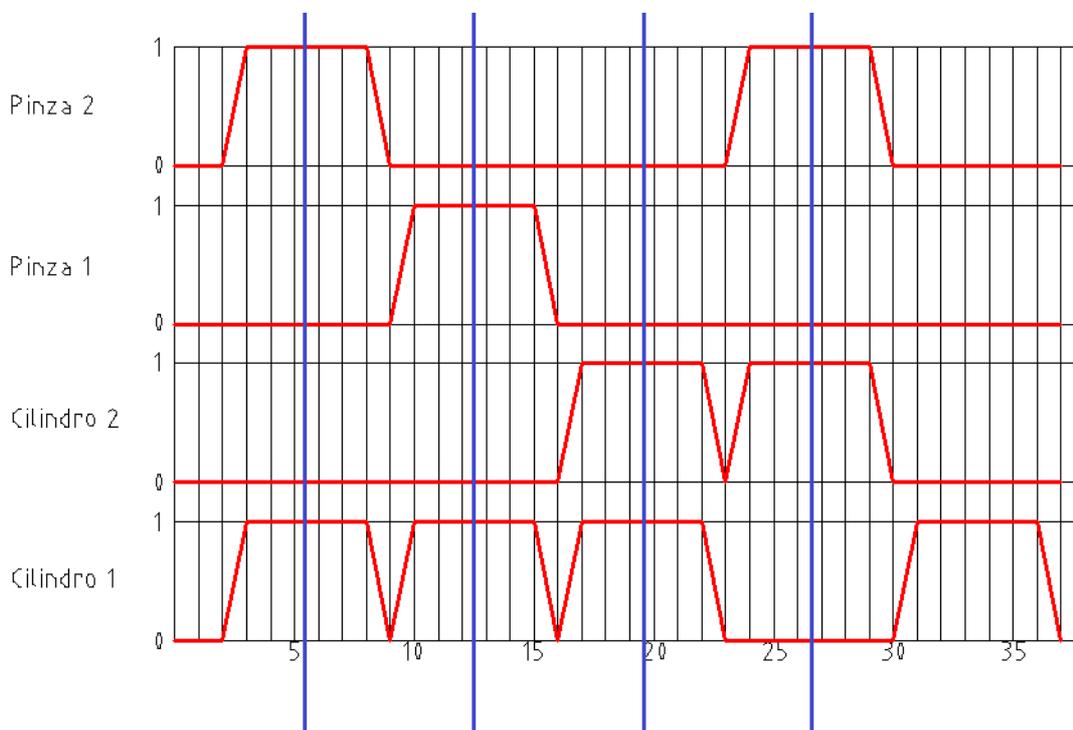


Figura 3. 36 Diagrama de movimientos del sistema neumático. Fuente propia.

Para hallar el consumo crítico de aire hay que analizar el uso de los actuadores, especialmente en la simultaneidad de los mismos. En el diagrama de movimiento se puede observar que la simultaneidad no supera las 2 piezas, lo que significa que el consumo crítico va a ser la suma de los 2 consumos de aire individuales.

Tabla 3. 6 Consumo crítico de aire

Actuador	Consumo de aire (lts/min)
Pistón 1	16
Pistón 2	16
Total	32

Una vez calculado el consumo crítico de aire, se debe seleccionar un compresor el cual abastezca al menos este consumo.

Dado que el consumo es bajo, es práctico seleccionar un compresor de baja potencia. La línea de compresores CompAir ofrece el compresor de serie MKK-125 DW, el cual tiene una entrega de aire efectiva de 72 l/min, y trabaja hasta una presión de 10bar, con una potencia de motor de 0.75Kw.

Como se puede observar cumple con los requerimientos del sistema, haciéndolo el compresor indicado.



Figura 3. 37 Compresor seleccionado. Fuente [41].

3.3.5.4. Cálculo de potencia

En este proceso no hay transferencia de calor entre el sistema y su entorno, y todo el trabajo añadido es agregado a la energía interna del gas, resultando un incremento de temperatura y presión. Por eso este sistema es adiabático.

Para el cálculo de la potencia requerida por el compresor es necesario utilizar la siguiente fórmula:

$$n = \frac{W_i}{W_r} \quad (3.17)$$

Donde

n = Eficiencia adiabática total.

W_i = Potencia isentrópica.

W_r = Potencia real.

Por catálogo se conoce que la eficiencia adiabática total del compresor es del 66%. Entonces despejando la potencia real se tiene:

$$W_r = \frac{W_i}{n}$$

Para el cálculo de la potencia isentrópica se utiliza la siguiente ecuación:

$$W_i = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)^{13} \quad (3.18)$$

Dónde:

m = masa en kg.

C_p = Capacidad calorífica específica, 1.0062KJ/KgK

T_1 = Temperatura ambiente en condiciones normales, 20°C (293°K).

T_2 = Temperatura de trabajo de fluido.

¹³ MAJUMDAR, S. Sistemas neumáticos: Principios y Mantenimiento. S.L. McGraw Hill. 1997. pp 43-45.

Se calcula la masa partiendo de la ecuación de los gases ideales:

$$Pv = mRT \quad (3.19)$$

Dónde:

$$R = 0.287 \text{ KJ/KgK}$$

$v = 0.091 \text{ m}^3/\text{min}$. Este valor es obtenido del catálogo.

Despejando se tiene:

$$m = \frac{P_1 \frac{v}{60}}{R \cdot T_1}$$

$$m = \frac{100 \frac{0.091}{60}}{(0.287)(293)}$$

$$m = 0.0017 \text{ kg/s}$$

La temperatura del fluido, T2, se calcula con la ecuación:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3.20)$$

Dónde:

$k = 1.4$ coeficiente de expansión adiabático para el aire.

$P_1 = 100\text{kpa}$. Presión absoluta de admisión.

$P_2 = 700\text{kpa}$. Presión absoluta de trabajo.

$$T_2 = 293 \left(\frac{700}{100} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}}$$

$$T_2 = 510.87 \text{ }^\circ\text{K}$$

Remplazando m y T_2 , se calcula la potencia isentrópica:

$$W_i = (0.0017)(1.0062) \cdot (510.87 - 293)$$

$$W_i = 0.3726 \text{ KW}$$

Finalmente se calcula la potencia real:

$$Wr = \frac{0.3726}{0.66}$$

$$Wr = 0.564 \text{ KW} = \mathbf{0.75 \text{ HP}}$$

Se concluye que la potencia requerida es de 0.75 HP o superior.

3.3.6. Diseño neumático [21], [22]

Una vez seleccionados los actuadores neumáticos y el compresor, se procede al cálculo de las pérdidas de presión, para finalmente obtener el diámetro de tubería adecuado para un correcto desempeño del sistema.

3.3.6.1. Longitud de tubería

En el presente proyecto se utilizará tubería de poliuretano, contará con 5 líneas las cuales se detallarán a continuación.

Tabla 3. 7 Longitudes en líneas de tubería

Referencia	Longitud (m)
Línea 1	1.8
Línea 2	0.20
Línea 3	0.25
Línea 4	1.3
Línea 5	1.3
TOTAL	4.85

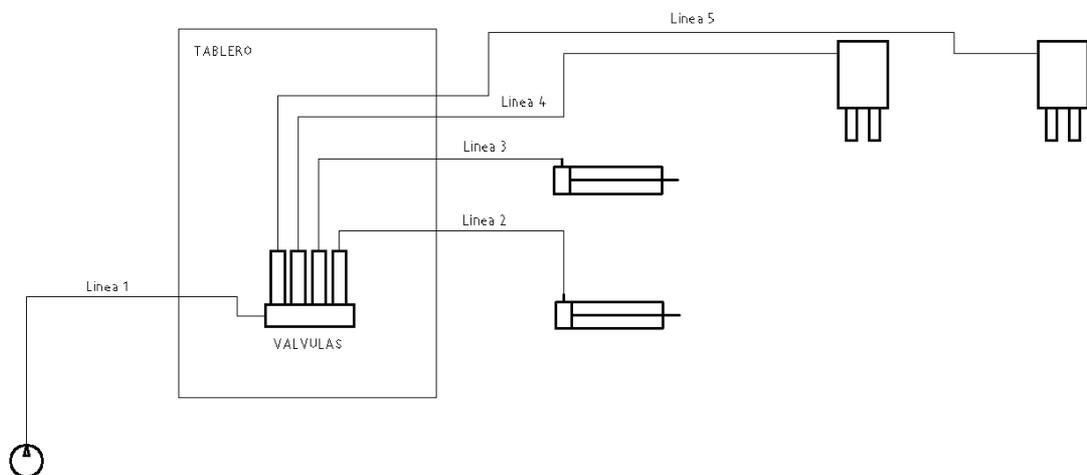


Figura 3. 38 Longitud de tubería. Fuente propia.

Para las pinzas neumáticas es necesario 2 tuberías, una de alimentación y la otra de desfogue.

3.3.6.2. Cálculo de pérdidas de presión

Debido a la fricción del flujo en el interior de la tubería y a otras pérdidas y resistencias, siempre existe una caída en la presión del aire saliente. Una fórmula muy común utilizada en ingeniería es:

$$\Delta P = \frac{(1.6)(10^3)(Q^{1.85})(L)}{(d^5)(P1)} \quad (3.21)$$

Donde

ΔP = Caída en la presión, en Pa.

L = Longitud de la tubería, en m.

Q = Volumen del aire libre, en m³/s.

d = Diámetro interior del tubo, en m.

P1 = Presión absoluta del aire a la entrada del tubo, en Pa.

El valor del consumo total de aire fue calculado previamente en la sección (4.3.5.2.) con un valor de 32 lts/min o 0.00053 m³/s.

Con respecto al valor del diámetro de la tubería, dado que se utilizará tubería flexible de poliuretano, tenemos que regirnos a los diámetros que se pueden encontrar en el mercado. Comúnmente se encuentran tuberías de 4mm en adelante, así que se asumirá este valor.

La presión absoluta del aire a la entrada del tubo va a ser la presión manométrica sumada a la presión atmosférica. El compresor entrega una

¹⁴ MAJUMDAR, S. Sistemas neumáticos: Principios y Mantenimiento. S.L. McGraw Hill. 1997. pp 15.

presión de 6bar, y sumando este valor a la presión atmosférica, ósea 1bar, se obtiene que la presión absoluta es de 7bar.

Finalmente se remplaza en la fórmula:

$$\Delta P = \frac{(1.6)(10^3)((0.00053)^{1.85})(4.85)}{(0.004^5)(700000)}$$

$$\Delta P = \frac{0.00675}{0.0000007168}$$

$$\Delta P = 9416.85 \text{ Pa} = \mathbf{0.09416 \text{ bar}}$$

Como se puede comprobar la perdida de presión es menor a la permitida:

$$0.04241 \text{ bar} < 0.1 \text{ bar}$$

De esta manera también se comprueba y se acepta que el diámetro de la tubería sea de 4mm.

3.3.7. Diagrama de fuerza

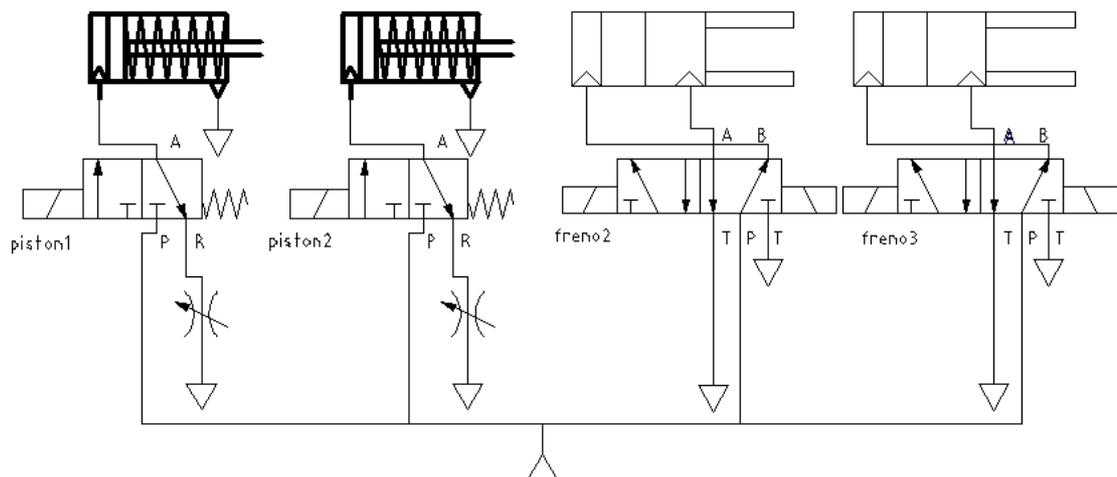


Figura 3. 39 Diagrama de fuerza. Fuente propia.

3.3.8. Diagrama de control

VER ANEXO A.3

3.4. Diseño de sistema eléctrico y electrónico

En esta sección se analizara todo lo referente al control eléctrico y electrónico que operará el sistema.

3.4.1. Actuadores eléctricos

En la automatización de la caja de cambios BORG – WARNER, específicamente para lograr la marcha parking, se va a usar un actuador que sea de fácil adaptación al mecanismo y que cumpla con la función que se requiere. Para esto se implementó el uso de un electroimán.

3.4.1.1. Pasador de parking

El electroimán está formado por un núcleo de hierro dulce y una bobina de cobre enrollada en torno a dicho núcleo. Cuando la corriente eléctrica pasa a través de la bobina, se genera un campo magnético que hace que el núcleo se convierta en un imán.

Es importante destacar que la bobina debe estar energizada en todo momento, a menos que se quiera poner la caja en estado de parking. Al dejar de pasar corriente a la bobina el pasador cae por gravedad sobre la cara externa de la corona. Dicha cara consta de agujeros previamente taladrados, con el propósito de que cuando caiga el pasador, quede incrustado en dichos agujeros, y de esta manera se logre que la corona se detenga.

Para evitar que el pasador se caiga o se salga de la bobina se instalará un pequeño resorte, el cual mantendrá siempre una parte del pasador en el interior de la bobina.

3.4.1.1.1. Activación

Para la activación el uso de un relé resulta factible, ya que se puede tener energizada a la bobina durante el tiempo que se lo requiera. Esto se lo logra direccionando directamente la fase hacia un contacto cerrado del relé y por consiguiente a la bobina. Mediante un pulso externo se genera otra señal eléctrica que direccionándola a la bobina del relé, producirá que el contacto cerrado se abra y deje de energizar la bobina del pasador, produciendo así el freno de la corona.

3.4.1.2. Activación de pinzas neumáticas

Las pinzas neumáticas antes de iniciar cualquier tipo de movimiento rotacional de los discos y engranajes deben estar totalmente abiertas, dado

que estas pinzas son de doble efecto significa que debe ingresar aire para cerrarse y también para abrirse. Como la activación de las válvulas es eléctrica significa que deben existir señales para los dos movimientos de la pinza.

Según la programación las pinzas deben estar abiertas cuando no sea necesario frenar un disco, significa entonces que debe estar pasando una señal eléctrica directamente a la bobina de la válvula controladora para mantenerla abierta; cuando se necesite que se cierre, el PLC debe enviar una señal para que se anule la señal que mantiene la pinza abierta y se active la otra bobina de la válvula y se cierre la pinza. Esto se logra mediante el uso de un relé.

Para ver en detalle la conexión del relé:

VER ANEXO A.3

3.4.2. Motor eléctrico [43], [44]



Figura 3. 40 Motor eléctrico. Fuente [43].

3.4.2.1. Introducción a motores eléctricos

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares.

3.4.2.2. Principio de Funcionamiento

Los motores de corriente alterna y los de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cual establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

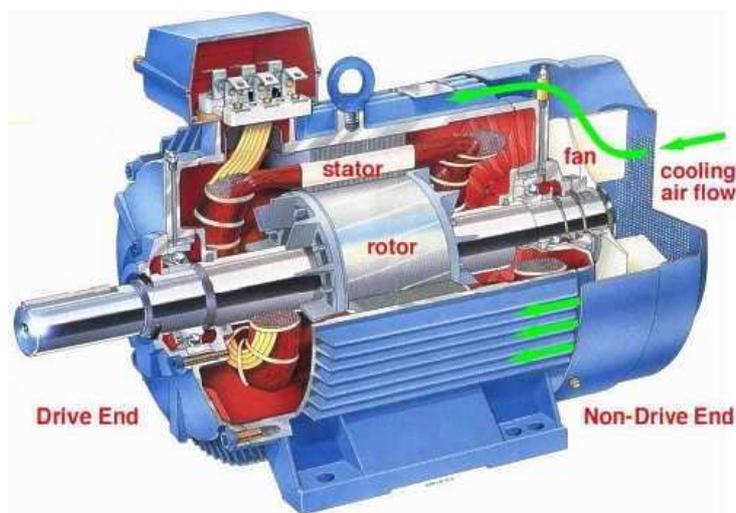


Figura 3. 41 Esquema y partes de un motor eléctrico. Fuente [43].

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un eje.

3.4.2.3. Clasificación

Los motores eléctricos se clasifican en motores de corriente directa (DC) y motores de corriente alterna (AC).

3.4.2.3.1. Motor de corriente continua

Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil manejo lo ha convertido en una herramienta muy útil en la industria. Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria.

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

$$F = B.l.I \quad (3.22)$$

Dónde:

- F = Fuerza en Newtons.
- l = Longitud del conductor en metros.
- I = Intensidad que recorre el conductor en amperios.
- B = Densidad de campo magnético.

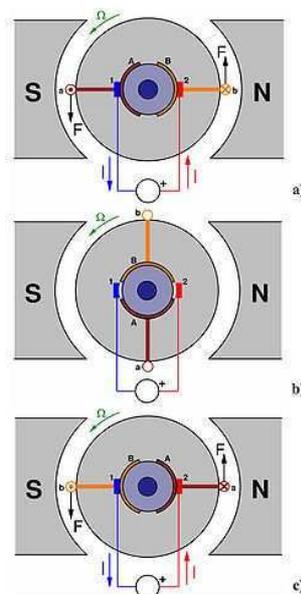


Figura 3. 42 Principio de funcionamiento. Fuente [44].

3.4.2.3.1.1. Clasificación de motores de corriente continua.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

- Motor serie
- Motor compound
- Motor shunt
- Motor eléctrico sin escobillas

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

- Motor paso a paso
- Servomotor
- Motor sin núcleo

3.4.2.3.2. Motor de corriente alterna

Los motores de C.A. se clasifican de la siguiente manera:

3.4.2.3.2.1. Asíncrono o de inducción.

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias.

a) Monofásicos.

- Motor de arranque a resistencia. Posee dos bobinas una de arranque y una bobina de trabajo.
- Motor de arranque a condensador. Posee un condensador electrolítico en serie con la bobina de arranque la cual proporciona más fuerza al momento de la marcha y se puede colocar otra en paralelo la cual mejora la reactancia del motor permitiendo que entregue toda la potencia.

- Motor de marcha.
- Motor de doble condensador.
- Motor de polos sombreados o polo sombra.

b) Trifásicos.

La mayoría de los motores trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V.

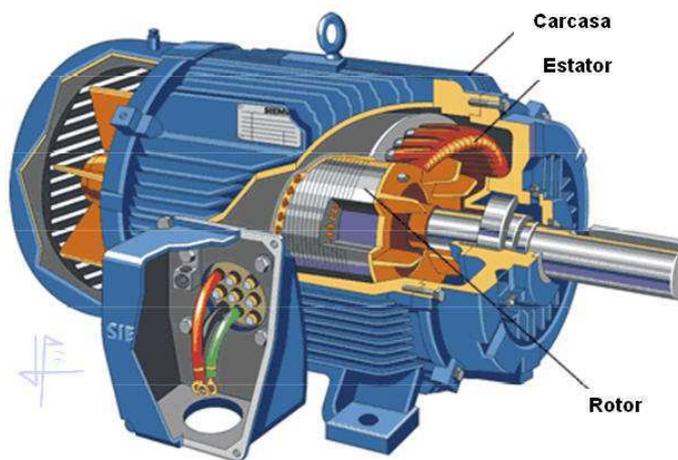


Figura 3. 43 Motor trifásico. Fuente [45].

Conexión en Estrella

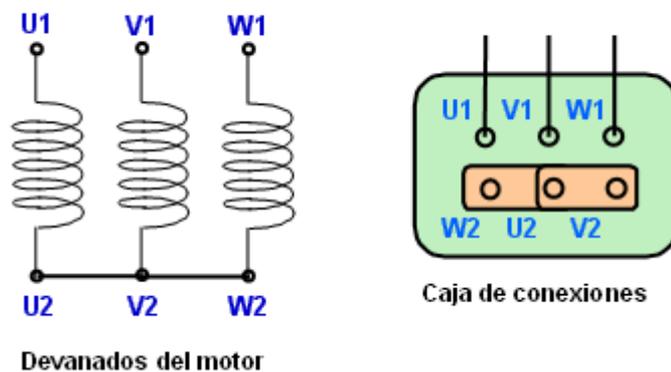


Figura 3. 44 Conexión en estrella. Fuente [44].

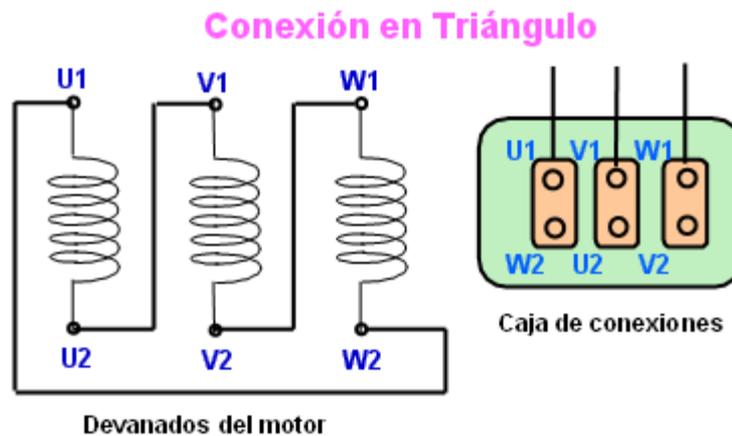


Figura 3. 45 Conexión en triángulo. Fuente [44].

3.4.2.3.2.2. Síncrono

En este tipo de motores y en condiciones normales, el rotor gira a las mismas revoluciones que lo hace el campo magnético del estator.

3.4.2.4. Selección del motor

Las dos variables fundamentales que hay que tener en cuenta en el momento de elegir un motor son:

- El suministro de energía al cual estará conectado el motor
- El tipo de cierre de carcasa.

En el presente proyecto el sistema será alimentado por 120v, que es lo que se encuentra en la mayoría de tomacorrientes domésticos. Pero el motor al ser trifásico necesita funcionar con 220v, así que además se necesita un transformador de voltaje.

El tipo de cierre de carcasa es de hierro fundido completamente cerrado.

a) Carga (kW)

La carga se determina según el equipo que se accionará y según el par disponible en el eje. Los motores eléctricos tienen potencias estándares por tamaño de carcasa.

El par disponible en el eje del sistema es 0.49 Nm, definitivamente un torque muy pequeño, tanto así que el motor de más poca potencia en el mercado tiene el torque suficiente para un funcionamiento correcto.

b) Velocidad

El motor de inducción es una máquina fija a velocidad única. Su velocidad depende de la frecuencia del suministro de energía y del diseño de devanado del estator.

Velocidades del motor				
Número de polos	50 Hz velocidad r/min		60 Hz velocidad r/min	
	Sincronismo	Plena carga	Sincrónico típica	Plena carga típica
2	3.000	2.900	3.600	3.450
4	1.500	1.440	1.800	1.740
6	1.000	960	1.200	1.150
8	750	720	900	850
10	600	580	720	700
12	500	480	600	580
16	375	360	450	430

Figura 3. 46 Velocidades del motor. Fuente [46].

Se utilizara entonces el motor ABB modelo M2QA71M4A. Un motor trifásico de inducción de jaula de ardilla, de baja tensión para aplicaciones varias en hierro fundido, de **4 polos**, con una velocidad de **1800rpm** y una potencia de **0.5HP**.

3.4.2.5. Especificaciones técnicas



Figura 3. 47 Motor trifásico seleccionado. Fuente [46].

VER ANEXO A.2.1

Se puede comprobar en la tabla que el torque nominal del motor es 2.2 Nm, siendo este valor superior al torque experimental calculado de 0.49 Nm, lo cual significa que el motor va a tener la suficiente fuerza para que la caja de cambios pueda trabajar sin problema alguno.

3.4.2.6. Sistema de encendido

El motor eléctrico debe encenderse mediante un sistema que sea de fácil uso para el usuario, lo más recomendable es mediante un pulso. Dado que el motor es trifásico, es necesaria la implementación de otro dispositivo para su control, el variador de frecuencia, el cual debe estar conectado directamente al motor.

Mediante el pulso se activara una señal eléctrica que debe energizar al motor y activarlo, por eso es necesario la utilización de los contactos abiertos de un relé, que al quedar energizado produce que se cierren los contactos y pase la energía para cumplir el propósito. Tras recibir la señal eléctrica el relé por parte del pulsador, esta activa el variador de frecuencia, el cual controlará al motor.

3.4.3. Variador de frecuencia [47], [48]



Figura 3. 48 Variador de frecuencia. Fuente [47].

3.4.3.1. Introducción de variadores de frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de

la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad.

3.4.3.1.1. Principio de funcionamiento

Los dispositivos variadores de frecuencia operan bajo el principio de que la velocidad síncrona de un motor de corriente alterna (CA) está determinada por la frecuencia de CA suministrada y el número de polos en el estator, de acuerdo con la relación:

$$RPM = \frac{120 \times f}{p} \quad (3.23)$$

Dónde:

RPM = Revoluciones por minuto

f = frecuencia de suministro CA (Hercio)

p = Número de polos (adimensional)

3.4.3.1.2. Sistema de variador de frecuencia

Un sistema de variador de frecuencia (VFD) consiste generalmente en un motor de CA, un controlador y una interfaz operadora.

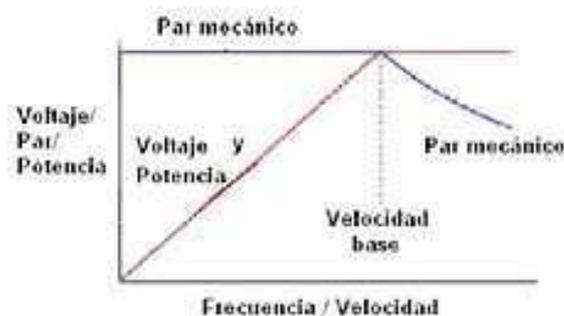


Figura 3. 49 Relación par – velocidad. Fuente [48].

3.4.3.1.3. Motor a ser controlado

El motor usado en un sistema VFD es normalmente un motor de inducción trifásico. Algunos tipos de motores monofásicos pueden ser igualmente usados, pero los motores de tres fases son normalmente preferidos.

Varios tipos de motores síncronos ofrecen ventajas en algunas situaciones, pero los motores de inducción son más apropiados para la mayoría de propósitos y son generalmente la elección más económica. Motores diseñados para trabajar a velocidad fija son usados habitualmente, pero la mejora de los diseños de motores estándar aumenta la fiabilidad y consigue mejor rendimiento del variador de frecuencia.

3.4.3.2. Selección del variador de frecuencia

La programación se realiza directamente en el convertidor o a través de un equipo de programación EPM con baterías. De esta forma, las configuraciones se pueden realizar o editar cómodamente offline. El equipo almacena hasta 30 programas de accionamiento distintos en formato de fichero.

El convertidor de frecuencia dispone de una protección contra sobrecarga del motor integrada. Un microprocesador calcula la carga del motor independientemente de la velocidad de salida, protegiéndolo y eliminando la necesidad de hardware adicional. El variador de frecuencia adecuado para el control del motor trifásico es el variador LENZE de 0.5 HP.

3.4.3.3. Especificaciones técnicas

VER ANEXO A.2.2

3.4.3.4. Conexiones eléctricas

VER ANEXO A.3

3.4.3.5. Control de frecuencia

El variador de frecuencia tiene la particularidad de fijar límites de giro a un motor justamente como su nombre lo dice, variando la frecuencia. En el presente proyecto dado que las revoluciones requeridas son bajas, se ha fijado la frecuencia máxima en 10Hz, mediante programación interna del dispositivo mismo.

Dado que el sistema se utilizara como practica de laboratorio se da la opción de que el rango de frecuencia del variador sea de 0 a 10Hz, con esto la velocidad del motor será distinta conforme se varíe la frecuencia.

Utilizando los puertos 7, 8 y 9, conectados a un potenciómetro, se puede manipular la velocidad del motor a placer dentro del rango establecido. Para ver la conexión del potenciómetro al variador de frecuencia:

VER ANEXO A.3

3.4.4. Alimentación

El sistema será ubicado en el laboratorio de mecanismos y servomecanismos del DECEM, el cual posee tomacorrientes de 110v. El variador de frecuencia debe ser conectado a 220v, así que se utilizara un transformador de voltaje de 110-220v para que tenga un funcionamiento correcto.

En conclusión el sistema va a trabajar con 220v, tomando energía de la red eléctrica de 110v.

3.4.5. Transformador de voltaje [49]

Es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.

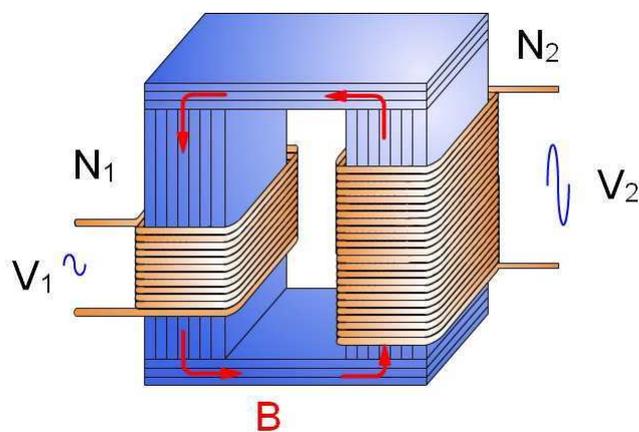


Figura 3. 50 Esquema de un transformador de voltaje. Fuente [49].

3.4.5.1. Generalidades

Convierte la energía eléctrica alterna de un cierto nivel de tensión, en energía alterna de otro nivel de tensión, por medio de interacción electromagnética. Está constituido por dos o más bobinas de material

conductor, aisladas entre sí eléctricamente y por lo general enrolladas alrededor de un mismo núcleo de material ferromagnético. La única conexión entre las bobinas la constituye el flujo magnético común que se establece en el núcleo.

Las bobinas o devanados se denominan primario y secundario, según correspondan a la entrada o salida del sistema en cuestión, respectivamente. También existen transformadores con más devanados; en este caso, puede existir un devanado "terciario", de menor tensión que el secundario.

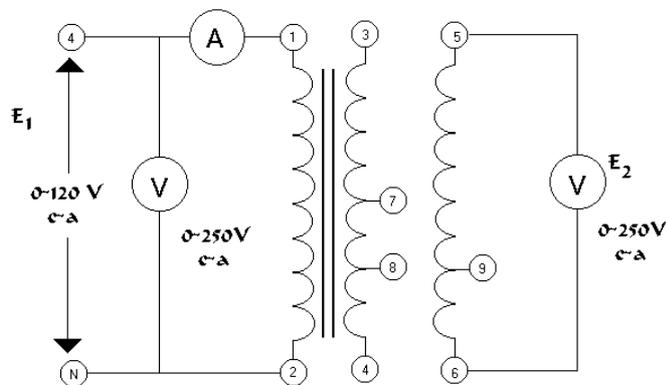


Figura 3. 51 Representación simbólica de un transformador. Fuente [49].

3.4.5.2. Funcionamiento

Si se aplica una fuerza electromotriz alterna en el devanado primario, circulará por éste una corriente alterna que creará a su vez un campo magnético variable. Este campo magnético variable originará, por inducción electromagnética, la aparición de una fuerza electromotriz en los extremos del devanado secundario.

3.4.5.3. Selección

En la situación del presente proyecto es necesario transformar el voltaje de 110v a 220v, ya que para un correcto funcionamiento del variador de frecuencia y por consiguiente del motor trifásico, es necesario un voltaje de 220v.

En conclusión se debe implementar un transformador del tipo elevador. Este tipo de transformadores permiten, como su nombre lo dice, elevar la tensión de salida con respecto a la tensión de entrada. Esto quiere decir que la relación de transformación de estos transformadores es menor a uno.

El modelo 9T50K2802, de General Electric, brinda la posibilidad de transformación de voltaje incluso hasta 480v, gracias a su complejo sistema de bobinado y devanado y a sus conexiones específicas.



Figura 3. 52 Transformador de voltaje seleccionado. Fuente propia.

3.4.6. Automatización [50]

Para proceder con la automatización del sistema, una vez ya seleccionado el dispositivo de automatización y el motor, el siguiente paso es considerar algunos parámetros extra para la realización de dicho proceso, los cuales se analizan a continuación.

3.4.6.1. Diagrama de flujo – Grafcet

El GRAFCET (GRAFica de Control de Etapas de Transición) es un grafo o diagrama funcional normalizado, que permite hacer un modelo del proceso a automatizar, contemplando entradas, acciones a realizar, y los procesos intermedios que provocan estas acciones.

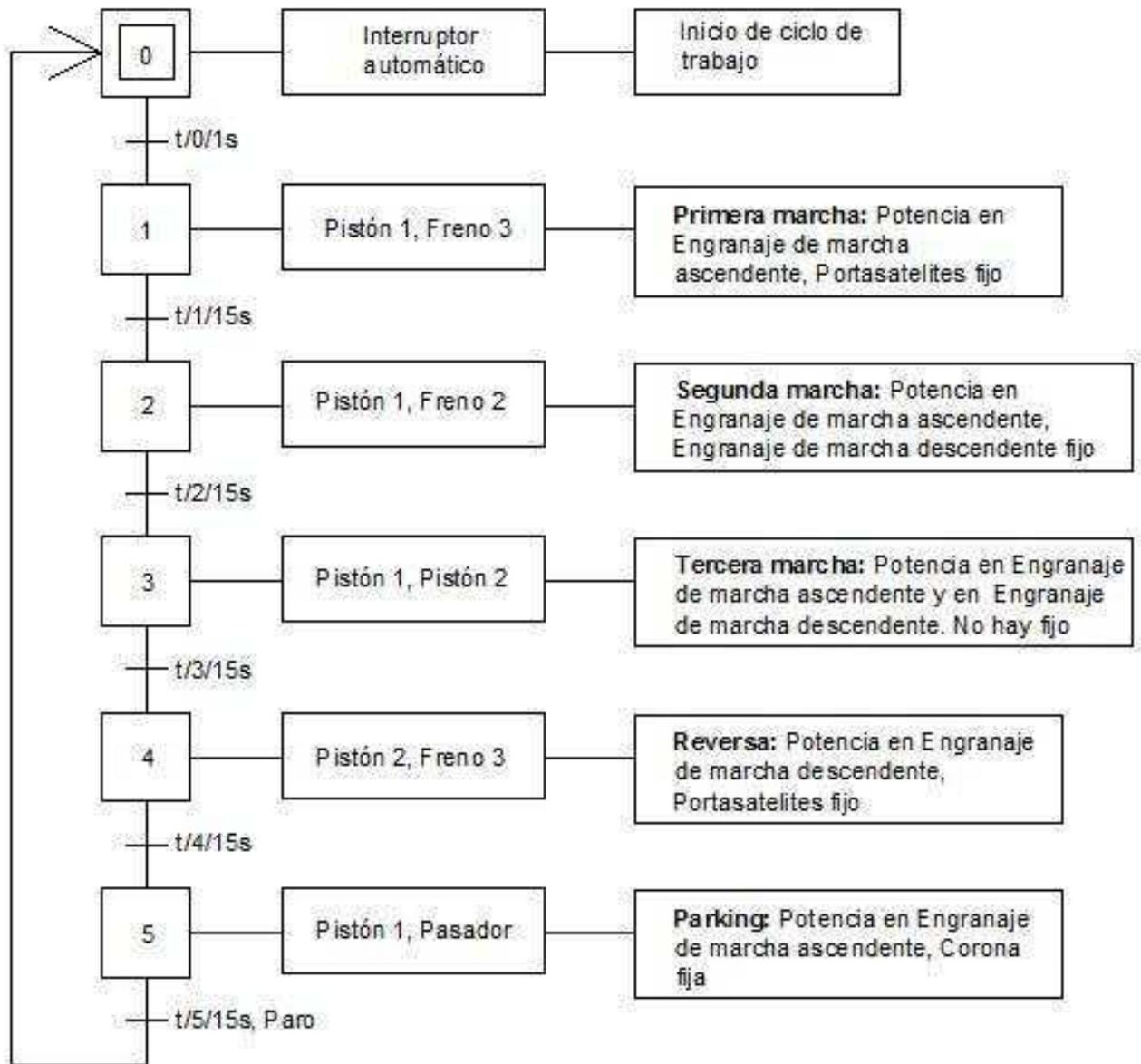


Figura 3. 53 Diagrama de flujo – GRAFCET. Fuente propia.

3.4.6.2. Controlador lógico programable (PLC)

Como se concluyó en la sección (2.3.2.), la mejor opción para automatizar el sistema es mediante el uso de un PLC.

3.4.6.2.1. Selección de PLC

Cuando se selecciona un PLC, el primer parámetro que se debe tener en cuenta es el número de entradas y salidas. En este caso se puede hacer la siguiente analogía:

- Número de entradas – Número de accionamientos eléctricos y/o señales de sensores
- Número de salidas – Número de actuadores

a) Número de entradas.

El sistema necesita de un selector en el cual se pueda escoger su funcionamiento entre manual y automático. En el modo automático necesita de un pulsador para iniciar la secuencia. En el modo manual necesita de 5 pulsadores, uno para cada marcha. Además de esto se requiere un pulsador de paro general y uno para regresar al estado inicial.

Contabilizando se necesitan 10 acciones distintas, las cuales también pueden ser llamadas entradas.

b) Número de salidas.

El sistema cuenta con 5 actuadores, 2 cilindros neumáticos, 2 pinzas neumáticas y un pasador eléctrico. Además de esto se necesita una salida adicional para el motor. Entonces se necesitan 6 salidas

Se tienen entonces 10 entradas y 6 salidas, las cuales deben ser controladas con un PLC que tenga el mismo número o más de entradas y salidas. El problema radica en que se tienen demasiadas entradas, y esto resulta poco recomendable debido a que los PLC's que cuentan con mayor número de entradas son mucho más costosos. Hoy en día se ha desarrollado mucho la tecnología HMI, la cual brinda muchos beneficios, uno de los cuales es que a través de una pantalla se puedan controlar el número de entradas físicas como si fueran entradas virtuales, reduciendo el número de entradas físicas a una.

El PLC que mejor cumple estas necesidades, por su rápido procesamiento, su calidad y confiabilidad es el Siemens s7-1200 1212C AC/DC/Rly, el cual consta de 8 entradas y 6 salidas digitales, además de contar con 2 entradas análogas.



Figura 3. 54 PLC Siemens S7-1200 1212C AC/DC/Rly. Fuente [51].

3.4.6.2.2. Programación

El S7-1200 es un PLC muy versátil y permite una fácil programación a través de una computadora, utilizando el software Step7, diseñado especialmente por Siemens para la programación de dichos dispositivos.

Una vez analizado el diagrama de flujo y entendiendo el propósito del sistema se procede a la programación; para esto hay que tener en cuenta las variables a ser usadas y el lenguaje de programación. A continuación se analizará cada uno de estos aspectos.¹⁵

3.4.6.2.2.1. Definición de variables

Las variables con dirección %M son utilizadas como virtuales, o sea como memorias internas del programa en sí. Al no existir entradas físicas, debido a la utilización de una pantalla táctil, se usaran entradas virtuales con este mismo tipo de dirección.

Las variables con dirección %Q son variables físicas de salida, es decir envían señales hacia los actuadores eléctricos.

15

http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/S7-1200_Paso_a_Paso_v1.0.pdf

Tabla 3. 8 Variables de programación

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
Primera	Bool	%M0.1
Segunda	Bool	%M0.2
Tercera	Bool	%M0.3
Reversa	Bool	%M0.4
Parking	Bool	%M0.5
Piston1	Bool	%Q0.0
Piston2	Bool	%Q0.1
Freno1	Bool	%Q0.2
Freno2	Bool	%Q0.3
Freno3	Bool	%Q0.4
Pasador	Bool	%Q0.5
Paro	Bool	%M2.1
Auto	Bool	%M2.2
M1	Bool	%M1.1
M2	Bool	%M1.2
M3	Bool	%M1.3
M4	Bool	%M1.4
M5	Bool	%M1.5
M6	Bool	%M0.6
M7	Bool	%M0.7
M8	Bool	%M1.0
M9	Bool	%M1.6
M10	Bool	%M1.7
M11	Bool	%M2.0
M12	Bool	%M2.3
M13	Bool	%M2.4
M14	Bool	%M2.5
M15	Bool	%M2.6
M16	Bool	%M2.7
M17	Bool	%M3.0

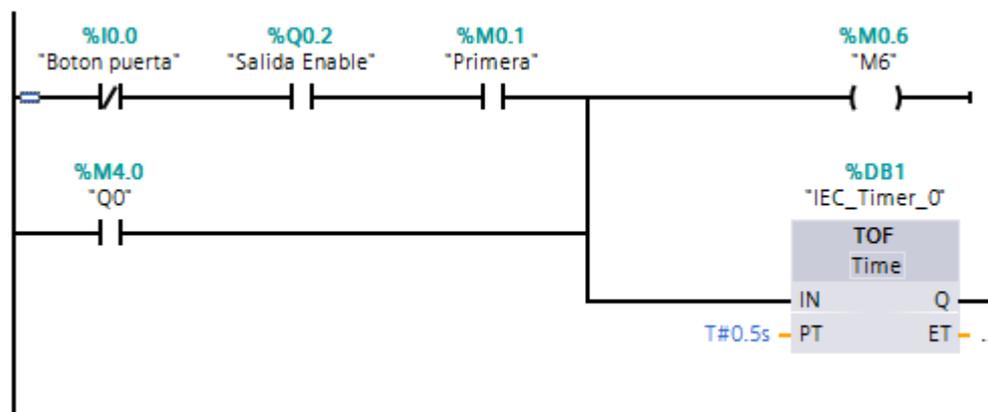
NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
M18	Bool	%M3.1
M19	Bool	%M3.2
Q0	Bool	%M4.0
Q1	Bool	%M4.1
Q2	Bool	%M4.2
Q3	Bool	%M4.3
Q4	Bool	%M4.4
Voltaje Físico	Word	%IW64
Voltaje Interno	Real	%MD20
Mul Vol	Real	%MD24
Sol1	Real	%MD28
Sol2	Real	%MD32
Tecla Enable	Bool	%M4.5
Salida Enable	Bool	%Q0.2
Anima Primera	Bool	%M4.6
Anima Segunda	Bool	%M4.7
Anima Tercera	Bool	%M5.0
Anima Reversa	Bool	%M5.1
Anima Parqueo	Bool	%5.2
Des Automático	Bool	%5.3

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
Mem Des Automático	Bool	%5.4
Sol3	Real	%MD36
Sol4	Real	%MD40
rev1	Real	%MD44
rev2	Real	%MD48
rev3	Real	%MD52
revR	Real	%MD56
Botón puerta	Bool	%I0.0
Paro puerta	Bool	%M5.5

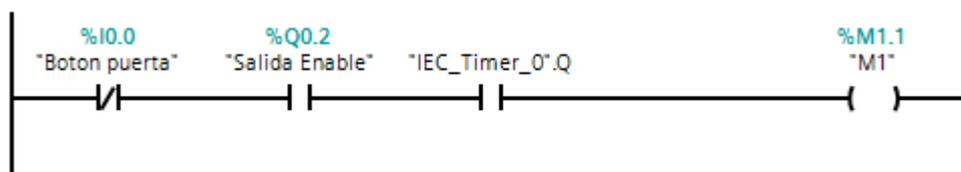
3.4.6.2.2.2. Programación en ladder.

Para el inicio de las marchas es necesario que el motor esté previamente encendido, por esa razón se creó la variable “Salida Enable”, la cual funciona como un seguro virtual.

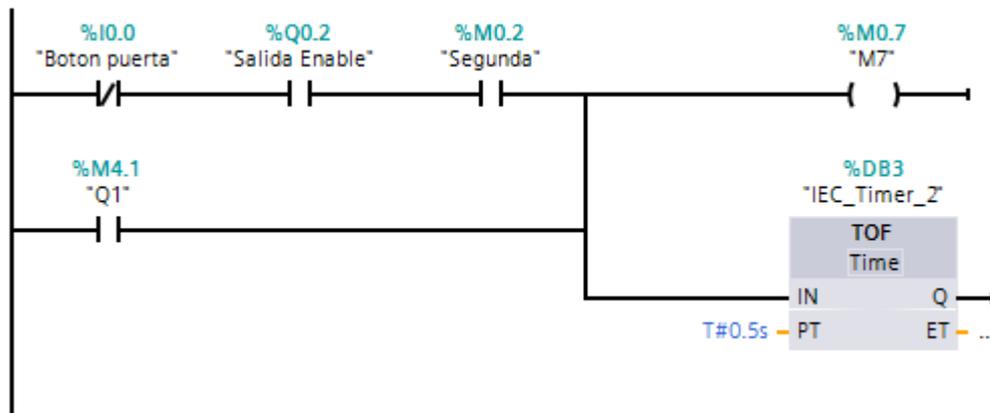
Inicio primera marcha manual por pantalla.



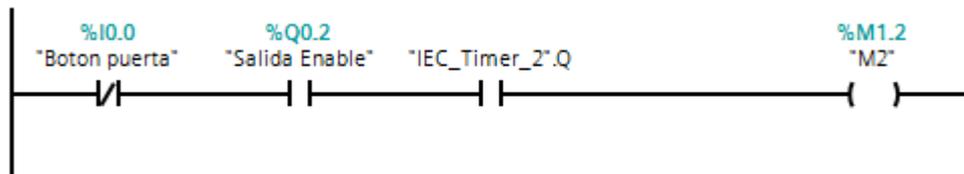
Activación de variable virtual M 1.



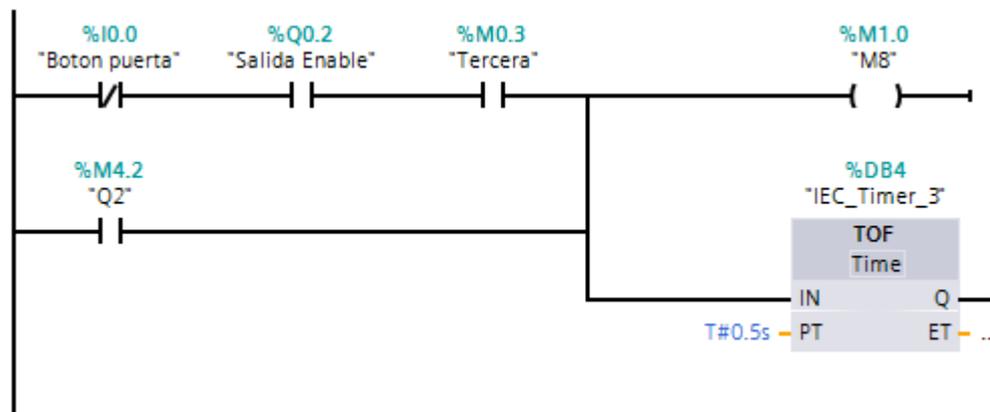
Activación segunda marcha por pantalla.



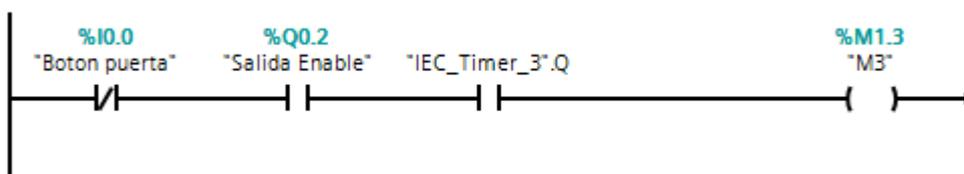
Activación variable virtual M 2.



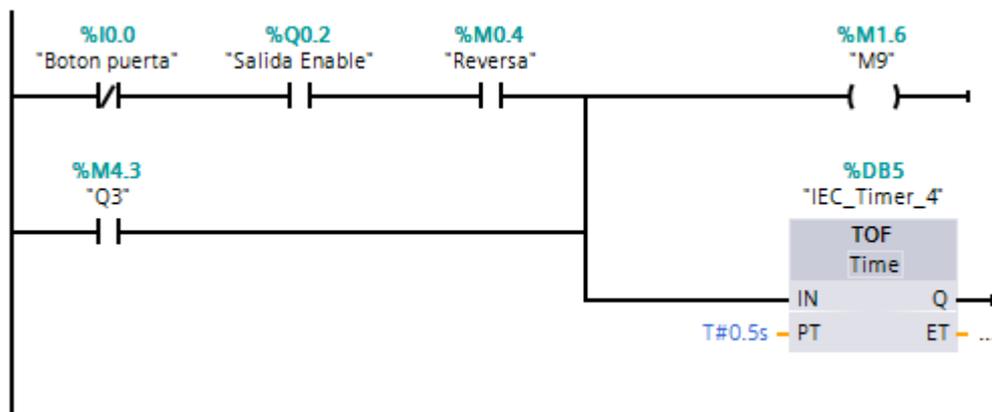
Activación tercera marcha por pantalla.



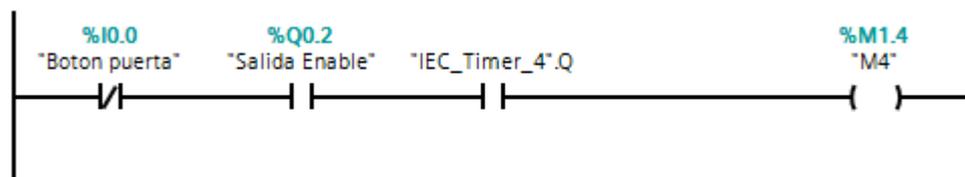
Activación variable virtual M 3.



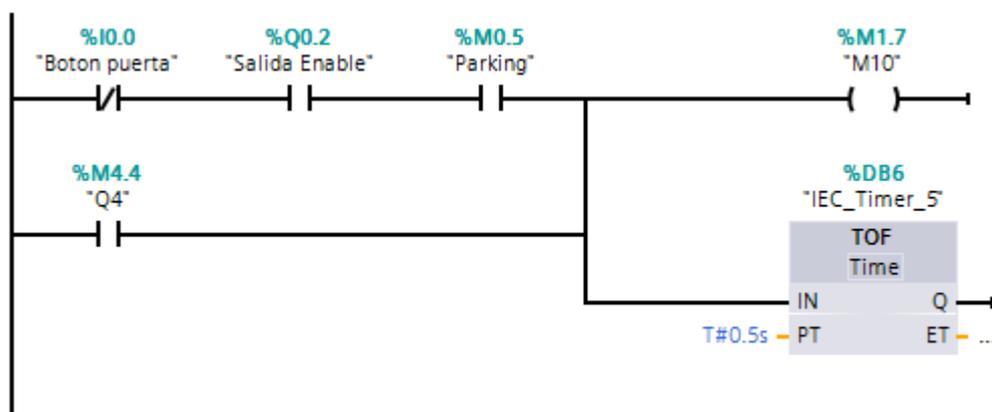
Activación marcha reversa por pantalla.



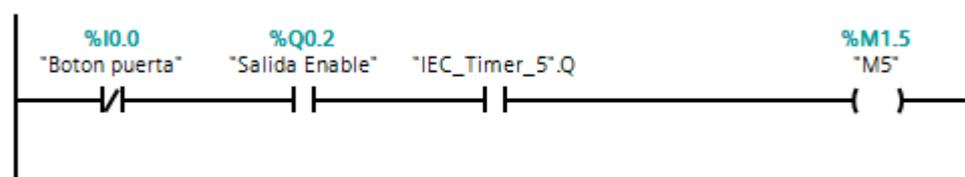
Activación variable virtual M 4.



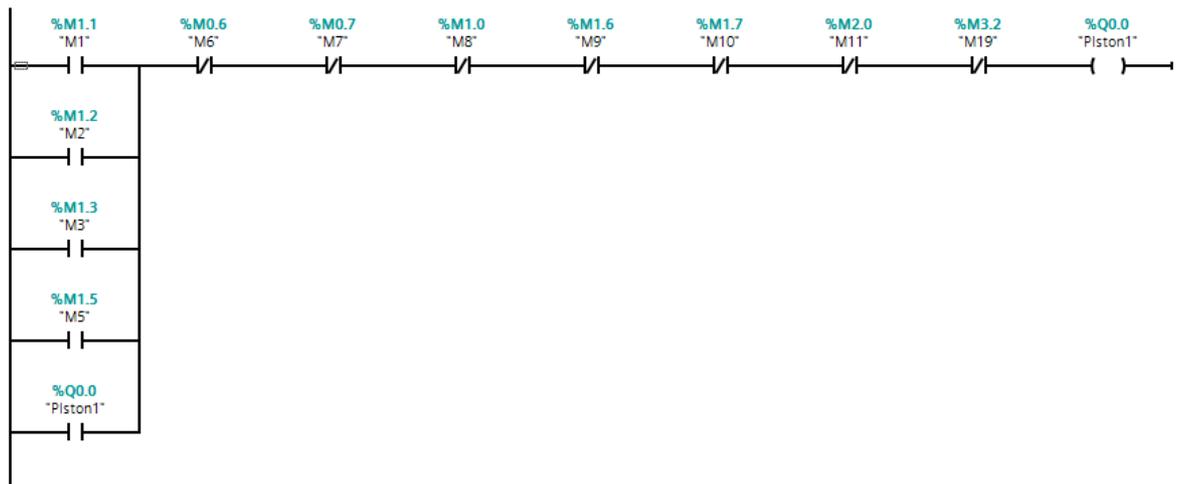
Activación marcha parking por pantalla.



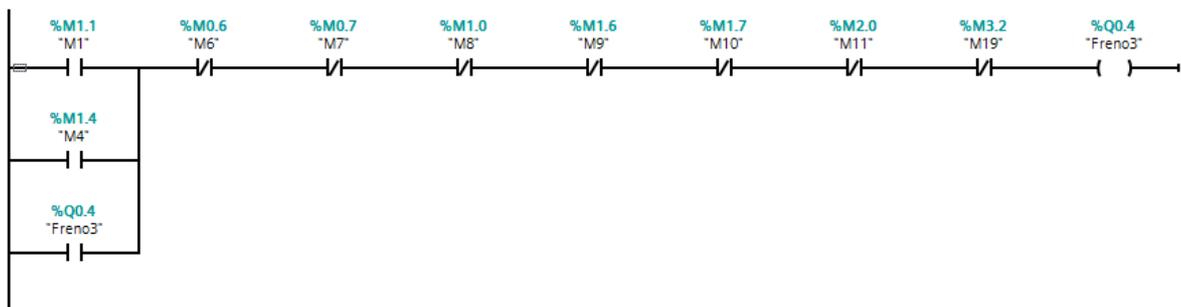
Activación variable virtual M 5.



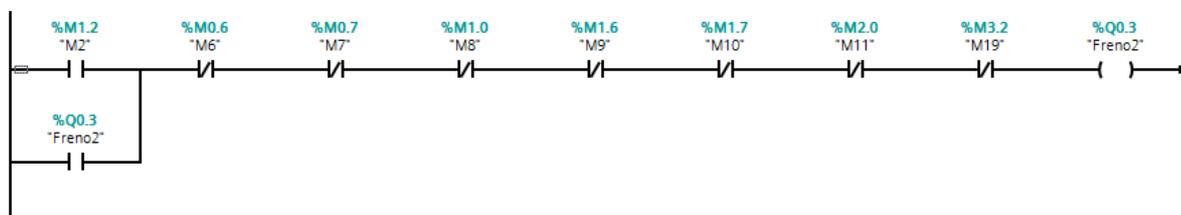
Activación del pistón 1 mediante variables virtuales (M1, M2, M3, M5).



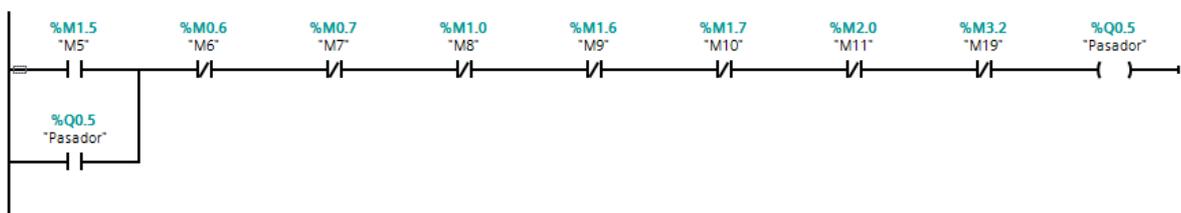
Activación del Freno 3 mediante variables virtuales (M1, M4).



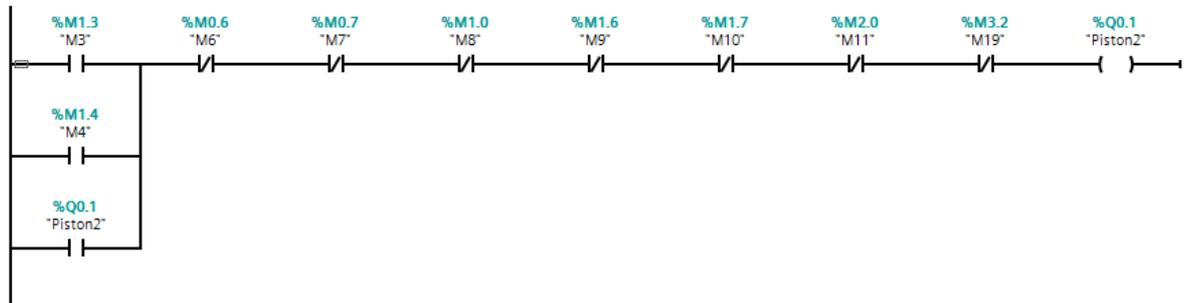
Activación del Freno 2 mediante variables virtuales (M2).



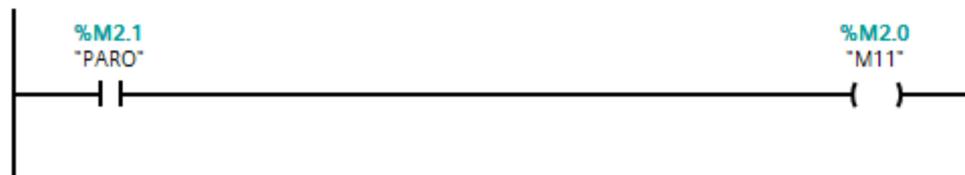
Activación de Pasador mediante variables virtuales (M5).



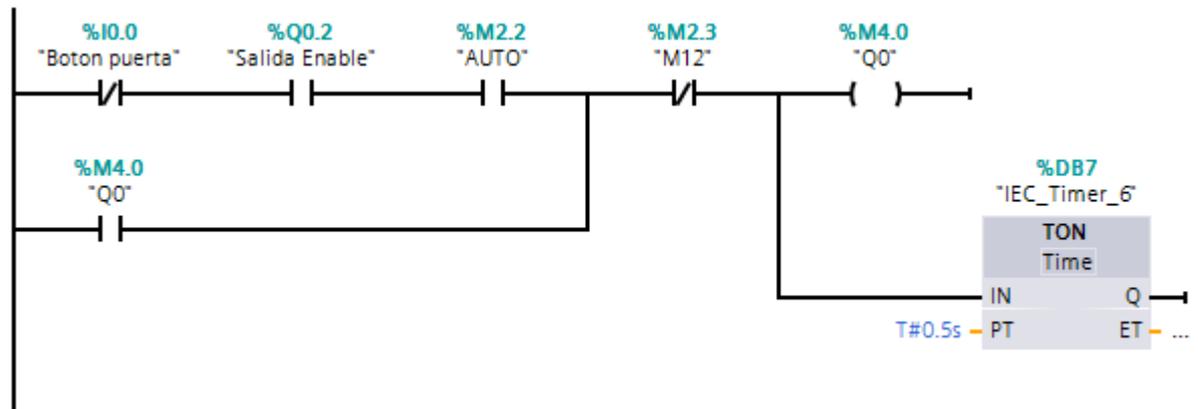
Activación del pistón 2 mediante variables virtuales (M3, M4).



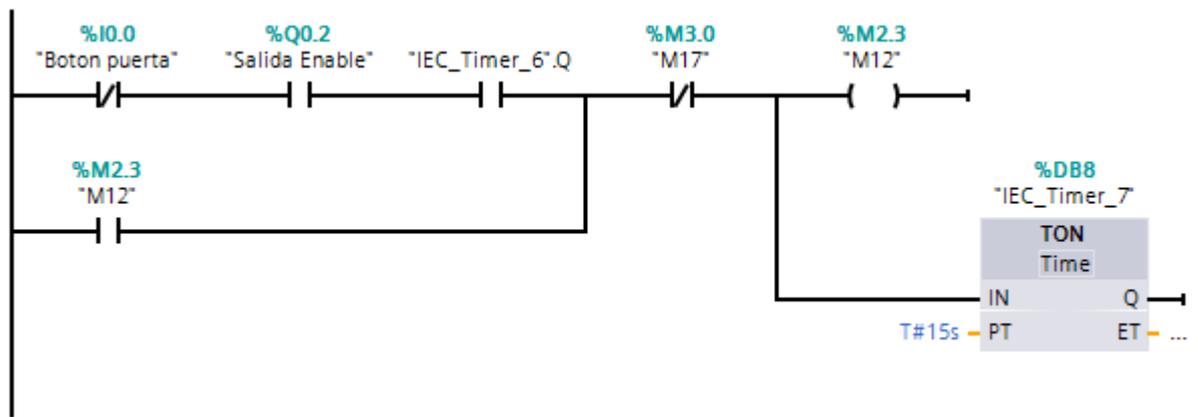
Paro general por pantalla.



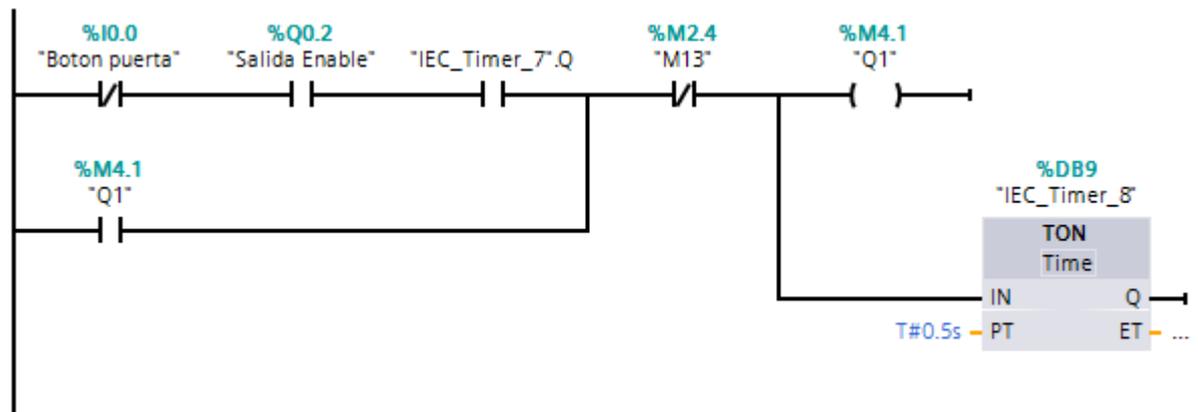
Activación secuencia automática por pantalla e inicio de primera marcha.



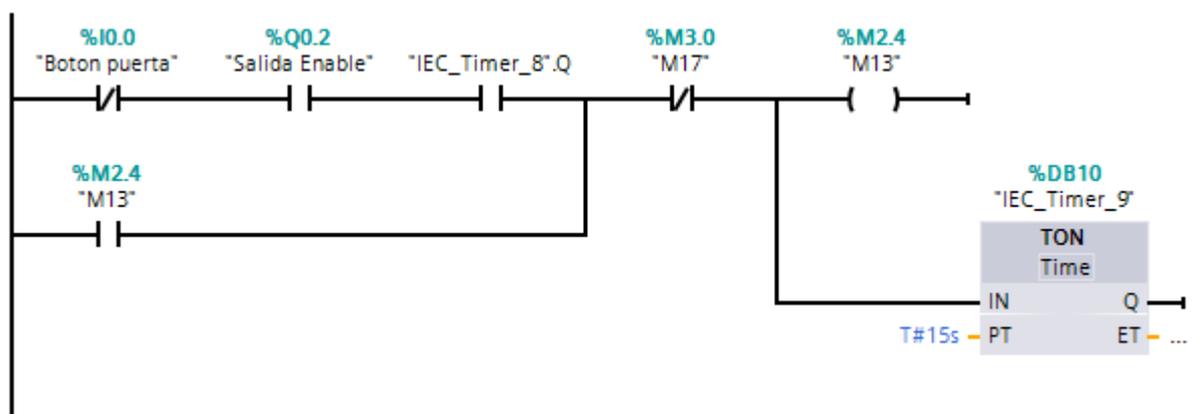
Enclavamiento variable virtual M12 y activación de temporizador on delay para activación del siguiente segmento.



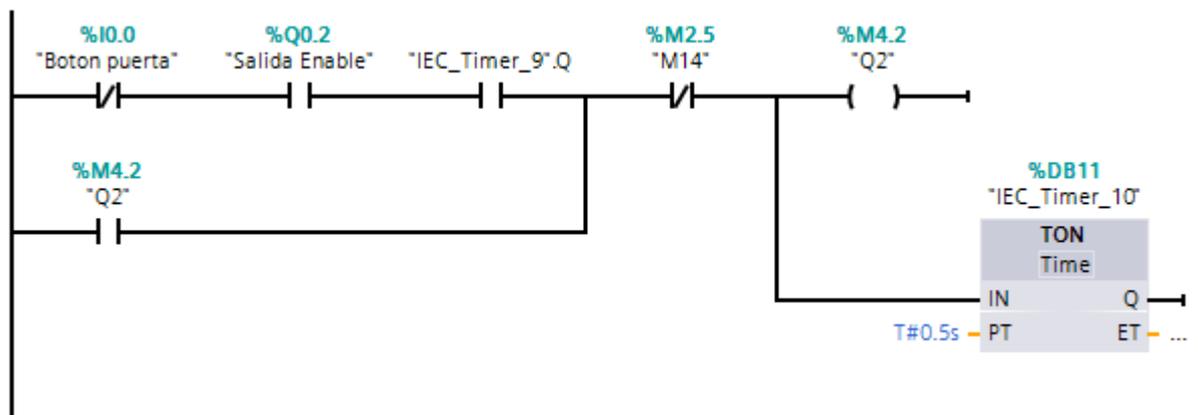
Inicio de segunda marcha.



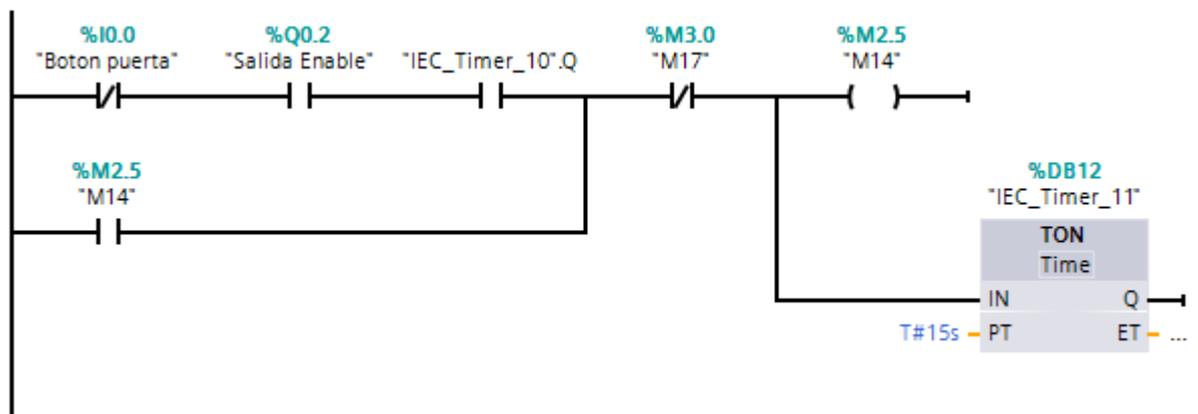
Enclavamiento variable virtual M13 y activación de temporizador on delay para activación del siguiente segmento.



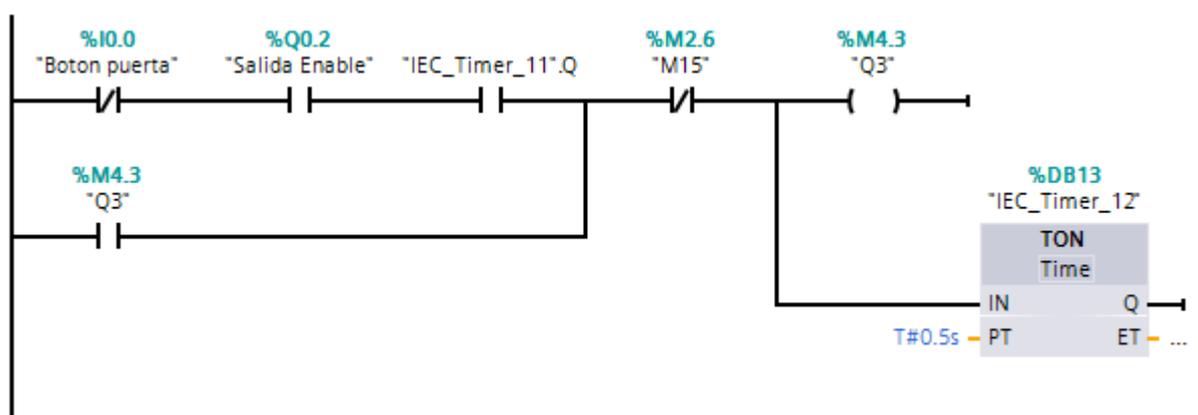
Inicio tercera marcha.



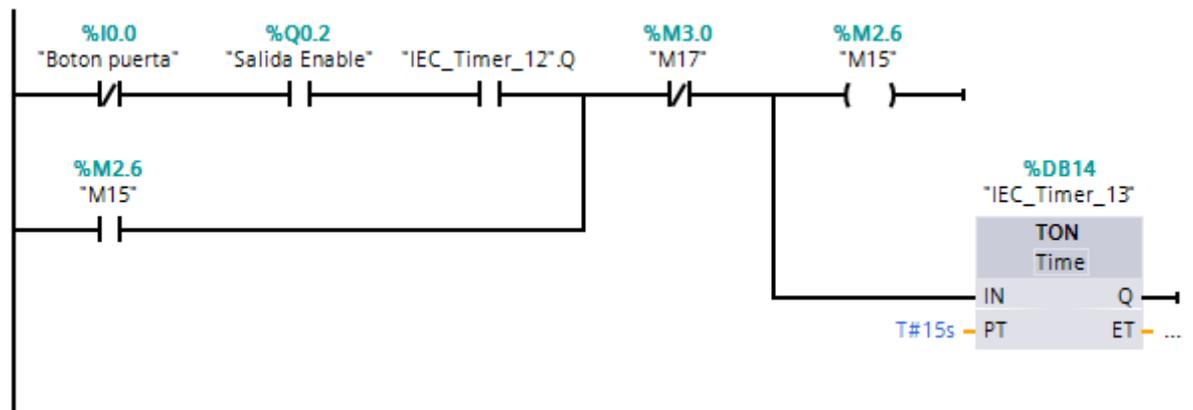
Enclavamiento variable virtual M14 y activación de temporizador on delay para activación del siguiente segmento.



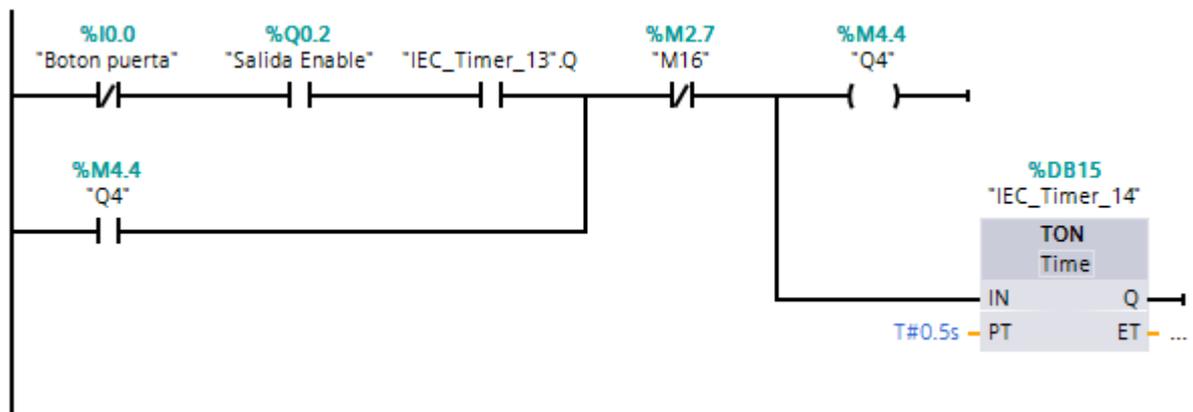
Inicio marcha reversa.



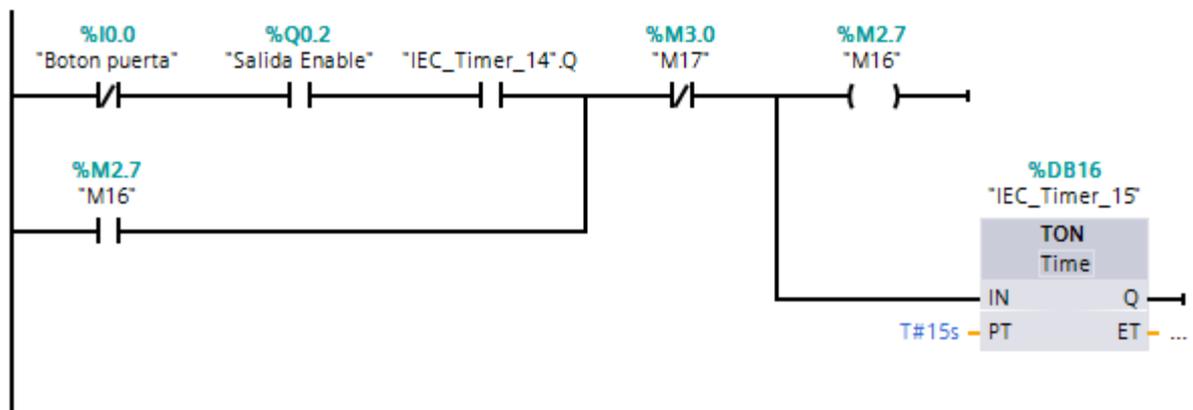
Enclavamiento variable virtual M15 y activación de temporizador on delay para activación del siguiente segmento.



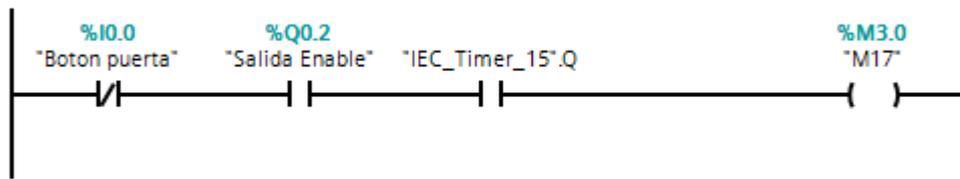
Inicio Parking.



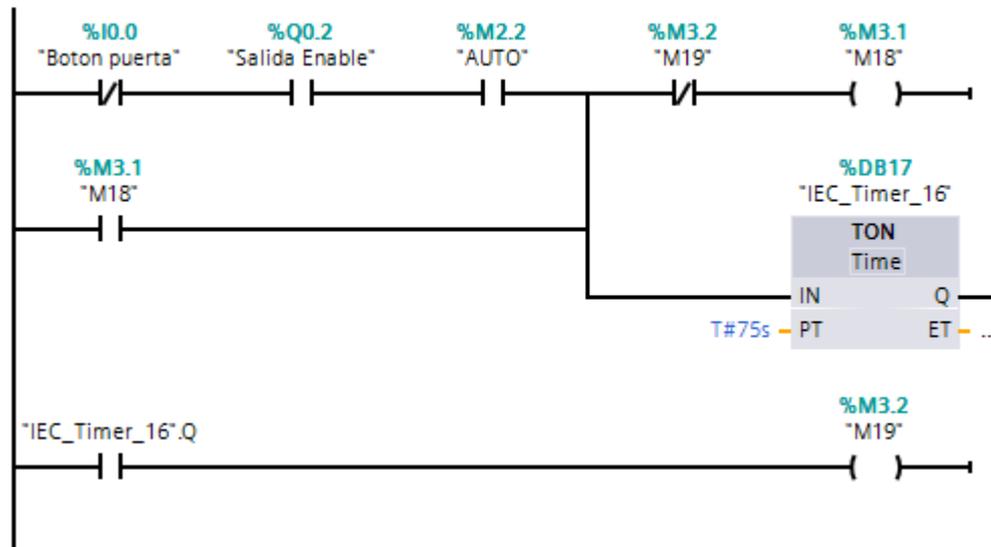
Enclavamiento variable virtual M16 y activación de temporizador on delay para activación del siguiente segmento.



Reset de secuencia automática parcial.

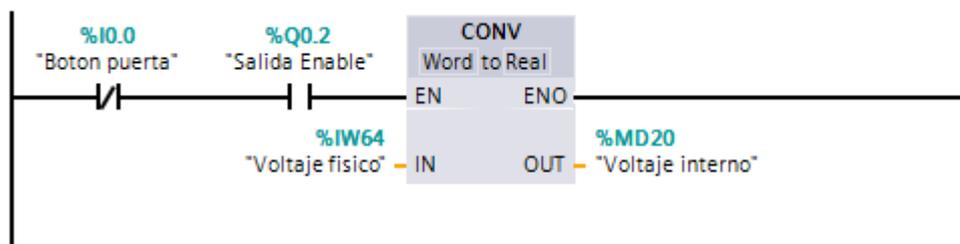


Reset de secuencia automática final.



Control de revoluciones del motor

Para este control es necesario la utilización de las salidas analógicas del PLC. Estas deben conectarse con el variador de frecuencias y por consiguiente con el potenciómetro. Primero que todo se debe transformar el voltaje físico a un voltaje virtual para el posterior cálculo.



Para hallar el número de revoluciones se debe hacer un análisis y posterior comparación entre la frecuencia del variador, el voltaje y las revoluciones. Esto se lo logra con 2 reglas de 3 simples:

El voltaje interno es un valor que entrega la pantalla, es adimensional pero varía según la cantidad de voltaje físico que se le asigne. Ya que se

asignó como valor máximo de la frecuencia 10Hz, se debe observar que voltaje interno muestra la pantalla al fijar la frecuencia del motor en 10Hz.

Entonces se procede a plantear la siguiente relación:

$$\begin{array}{r} \text{Voltaje} \\ 23720 \\ \text{Voltaje interno} \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Frecuencia (Hz)} \\ 10 \\ x \end{array}$$

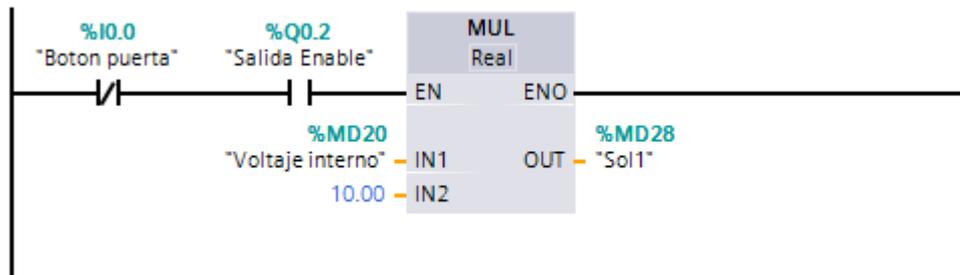
Con esta relación se puede hallar la frecuencia a partir del voltaje interno que siempre va a ser variable.

Para calcular las rpm hay que conocer otros valores. El motor gira a una velocidad máxima de 1800 rpm, y el variador de frecuencias permite esta velocidad cuando se encuentra a una frecuencia de 60 Hz. Sabiendo esto se plantea la relación:

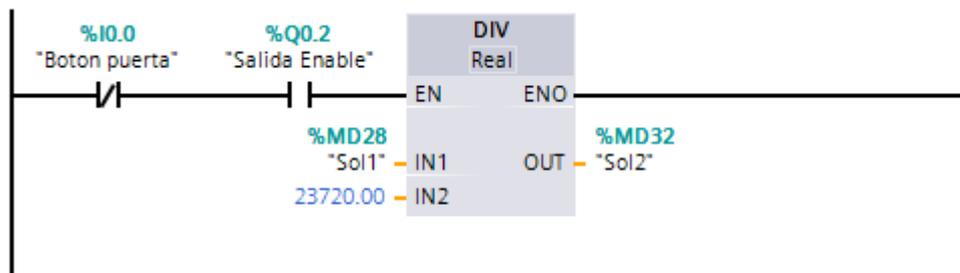
$$\begin{array}{r} \text{RPM} \\ 1800 \\ \text{rpm motor} \end{array} \quad \begin{array}{r} \text{Frecuencia} \\ 60 \\ x \end{array}$$

Finalmente se calcula las revoluciones del motor partiendo desde un voltaje interno. Para llevar a cabo esta operación en el PLC es necesario programar de la siguiente manera:

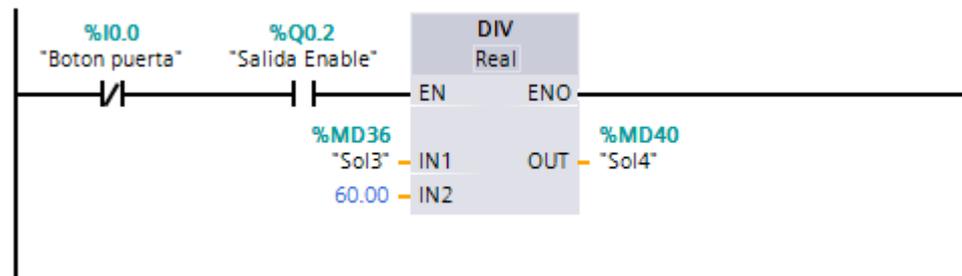
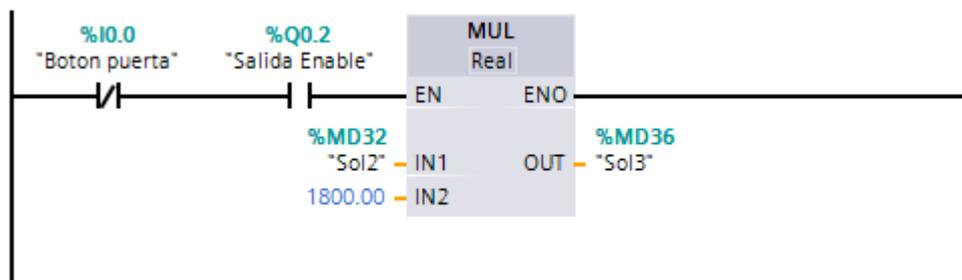
Multiplicación del voltaje interno por 10



División para el voltaje entregado por pantalla

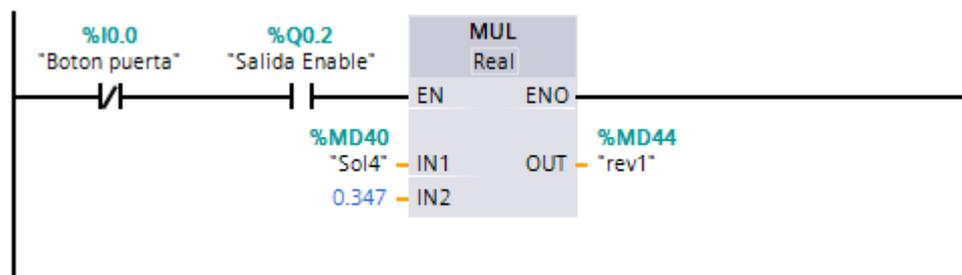


Obtención de las revoluciones de salida del motor

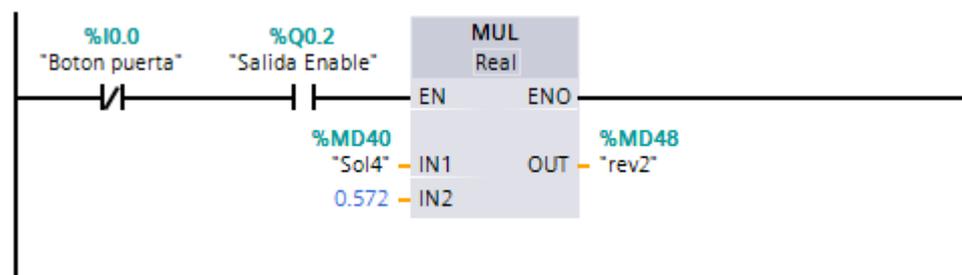


Visualización en pantalla de las revoluciones de salida de la corona en cada marcha

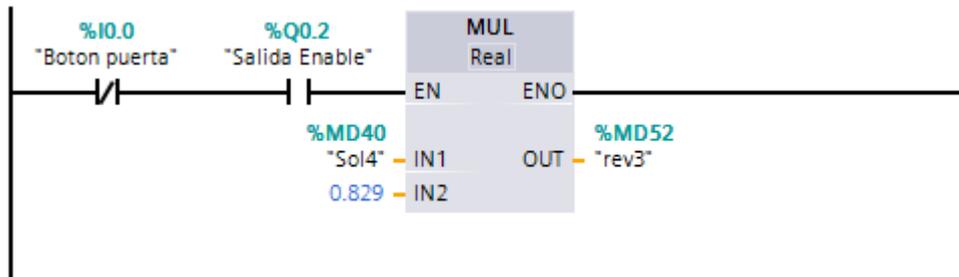
Primera



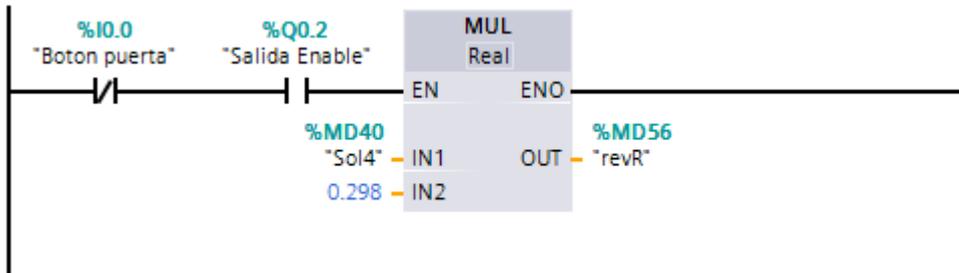
Segunda



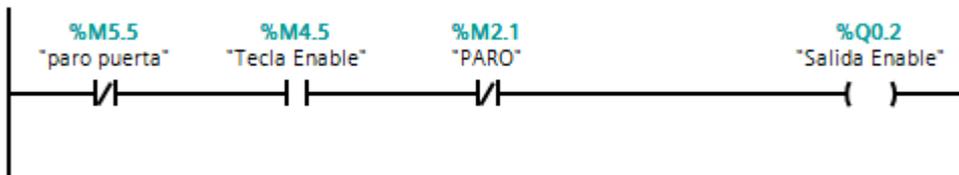
Tercera



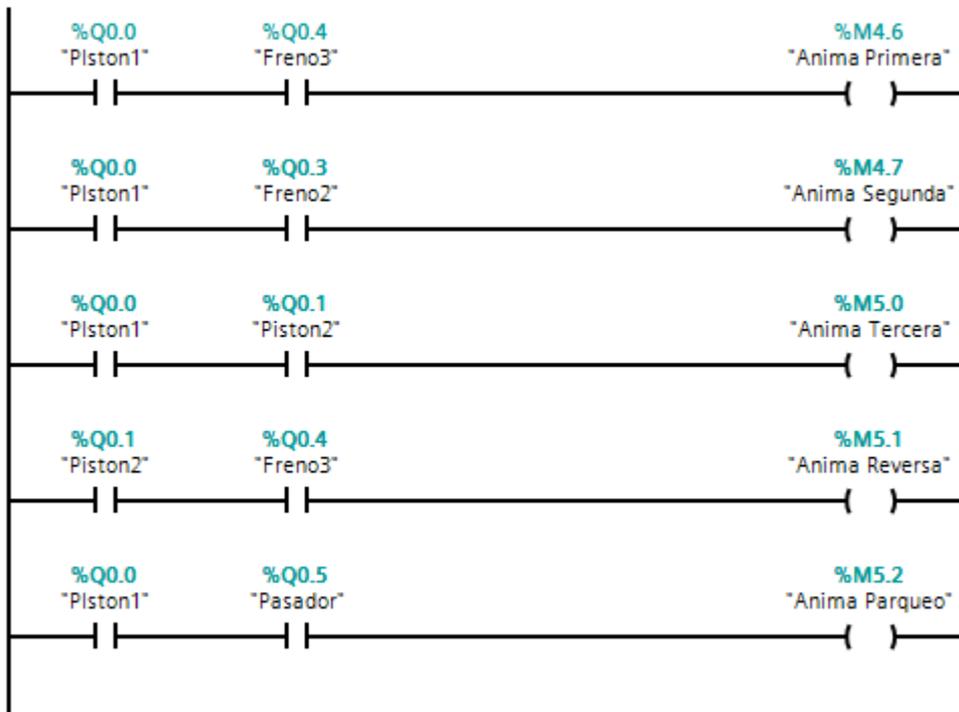
Reversa



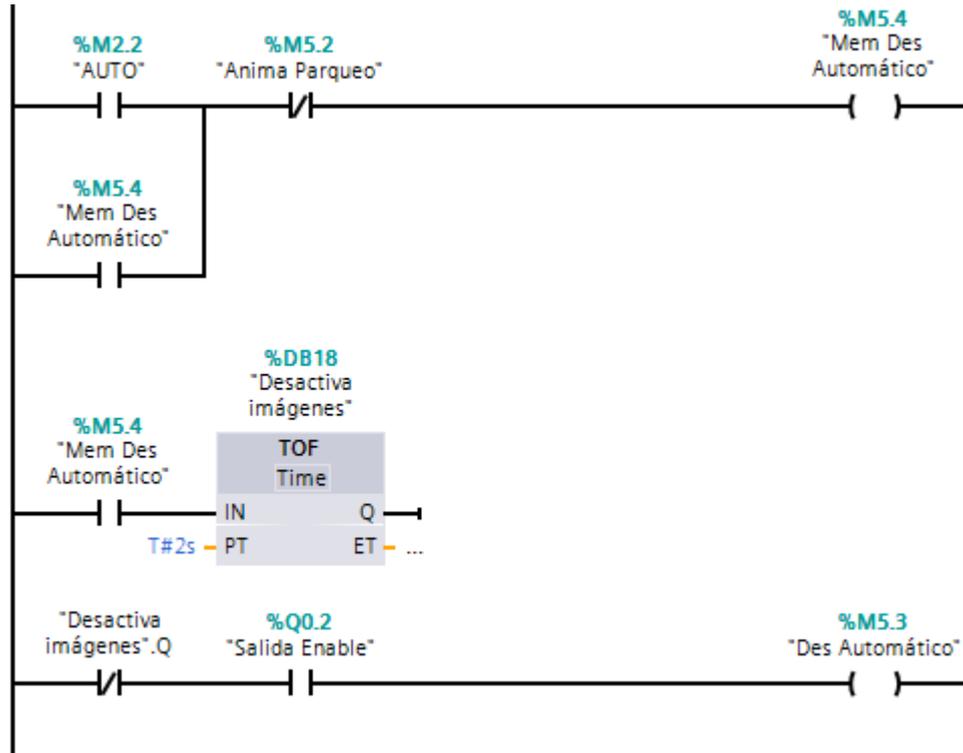
Activación de Salida enable



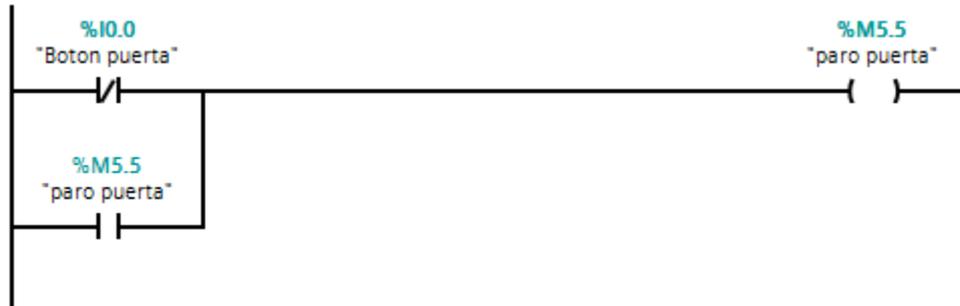
Activación de variables de marcha para publicación en pantalla



Bloqueo del botón automático mientras se encuentre activo el proceso



Botón de paro general



3.4.6.3. Interfaz hombre – máquina (HMI) [15]

Para trabajar con un sistema, los usuarios tienen que ser capaces de controlar el sistema y evaluar el estado de dicho sistema. El término interfaz de usuario a menudo se utiliza en el contexto de los sistemas informáticos y dispositivos electrónicos. La interfaz de usuario de un sistema mecánico, un vehículo, o una instalación industrial se refiere muchas veces como la interfaz hombre-máquina.¹⁶

¹⁶ <http://es.encydia.com/ca/HMI>



Figura 3. 55 Interfaz hombre – máquina. Fuente [51].

3.4.6.3.1. Introducción

La interfaz de usuario es el medio con que el usuario puede comunicarse con una máquina, un equipo o una computadora, y comparan todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo, normalmente suelen ser fáciles de entender y fáciles de accionar.

En el presente proyecto debido a que su complejidad no es muy extensa, se necesita un dispositivo que sea relativamente sencillo y que su programación sea compatible con el PLC.

3.4.6.3.2. Selección de la interfaz

La serie S7-1200 de Siemens fue la escogida acorde a las necesidades del sistema. Por motivos de compatibilidad los dispositivos anexos al PLC también deben ser de la marca Siemens, es por esto que los dispositivos más acordes a los requerimientos establecidos son los de la serie KTP.

Dentro de todos los modelos KTP, la pantalla monocromática KTP400 es la indicada debido a su desempeño, fácil programación y funcionalidad.

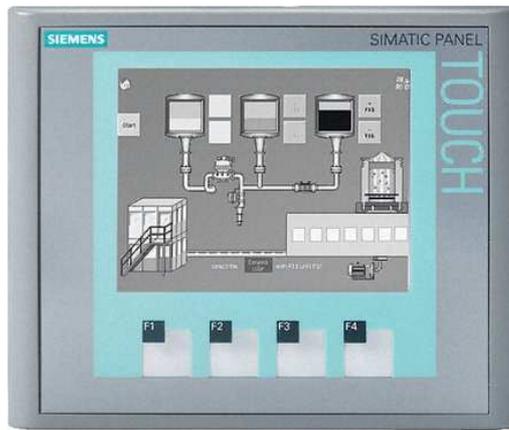


Figura 3. 56 Simatic touch panel KTP400 Basic. Fuente [50].

3.4.6.3.3. Componentes del KTP400 Basic

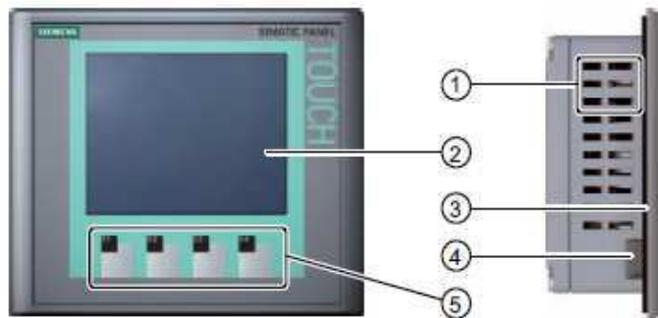


Figura 3. 57 Partes de KTP400 (1). Fuente [50].

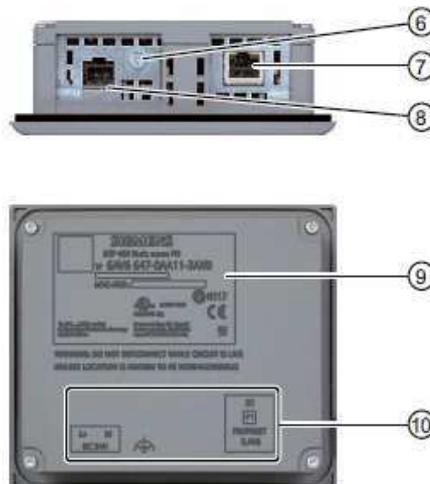


Figura 3. 58 Partes de KTP400 (2). Fuente [50].

Tabla 3. 9 Partes de KTP400

N°	Descripción
1	Escotaduras para las mordazas de fijación
2	Display / pantalla táctil
3	Junta de montaje
4	Guía para las tiras rotulables
5	Teclas de función
6	Conexión para tierra funcional
7	Interfaz PROFINET
8	Conexión para la fuente de alimentación
9	Placa de características
10	Nombre del puerto

3.4.6.3.4. Programación

La pantalla táctil SIEMENS KTP400 debe ser programada directamente utilizando su propio software, WinCC, el cual viene integrado junto con el Step7 BASIC en un programa mayor llamado Totally Integrated Automation (TIA).

3.4.6.3.4.1. Asignación de variables

Tabla 3. 10 Variables de programación de HMI

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
Primera	Bool	Acceso simbólico
Segunda	Bool	Acceso simbólico
Tercera	Bool	Acceso simbólico
Reversa	Bool	Acceso simbólico
Parking	Bool	Acceso simbólico
Auto	Bool	Acceso simbólico
Paro	Bool	Acceso simbólico
Q0	Bool	Acceso simbólico
Q1	Bool	Acceso simbólico

NOMBRE	TIPO DE DATOS	DIRECCIÓN
Anima primera	Bool	
Anima segunda	Bool	Acceso simbólico
Anima tercera	Bool	Acceso simbólico
Anima reversa	Bool	Acceso simbólico
Anima parqueo	Bool	Acceso simbólico
rev1	Real	Acceso simbólico
rev2	Real	Acceso simbólico
rev3	Real	Acceso simbólico
revR	Real	Acceso simbólico
Salida enable	Bool	Acceso simbólico
Sol1	Real	Acceso simbólico
Sol2	Real	Acceso simbólico
Sol4	Bool	Acceso simbólico
Tecla eneble	Bool	Acceso simbólico
Voltaje fisico	Word	Acceso simbólico
Voltaje interno	Real	Acceso simbólico
Des automatico	Bool	Acceso simbólico

3.4.6.3.4.2. Asignación de botones

Para la asignación de botones lo primero que se debe tener en cuenta es el entorno y las herramientas a ser usadas. El programa simula el display de la pantalla táctil, esto sirve para visualizar el lugar exacto en los que van a ir

situados los botones o elementos que vayan a ser usados. Con respecto a las herramientas, existe un menú en el cual se muestran todos los elementos que pueden ser utilizados en su programación.



Figura 3. 59 Barra de herramientas de pantalla táctil. Fuente propia.

Para el uso de estos elementos simplemente se selecciona con el mouse y se sitúa en la pantalla en el lugar y con las dimensiones deseadas por el usuario.

Cada botón puede ser modificado por el usuario a través del menú propiedades, dando clic derecho con el mouse sobre el botón. En este menú se puede modificar algunos parámetros como apariencia, diseño, texto, seguridad, misceláneos, animación, y eventos.

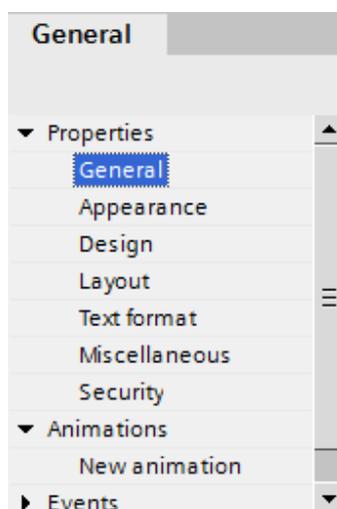


Figura 3. 60 Propiedades de botones. Fuente propia.

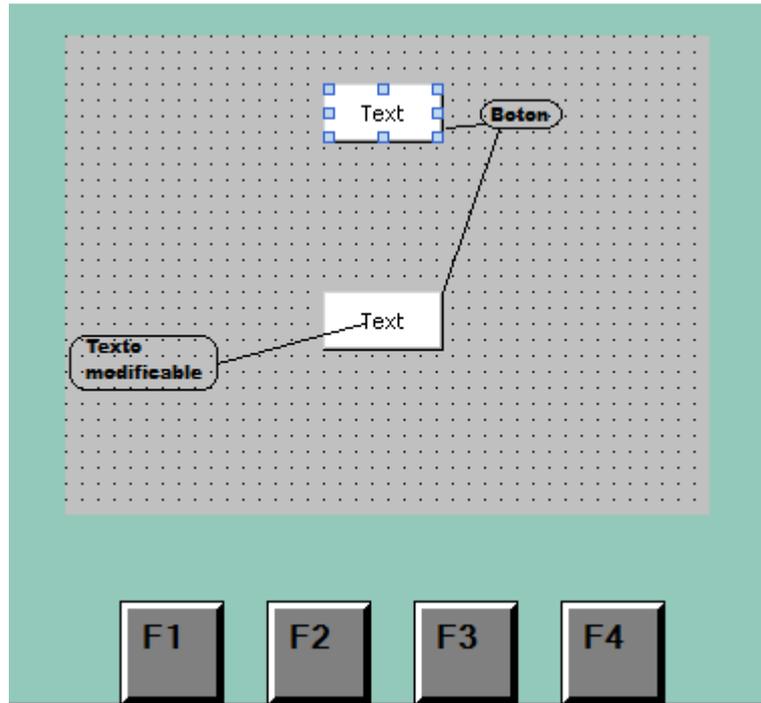


Figura 3. 61 Ubicación de botones en pantalla. Fuente propia.

La principal característica de un botón es que al pulsarlo realice una acción, para esto el programa ofrece una herramienta que sirve para asignar variables, con esto se tiene la seguridad que la acción deseada va a ejecutarse con el accionamiento del botón.

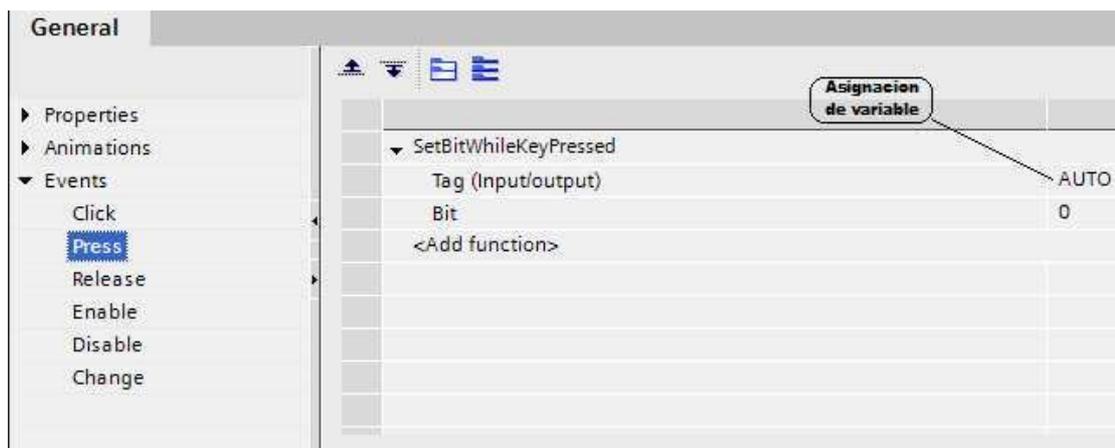


Figura 3. 62 Asignación de eventos a botones. Fuente propia.

Al seleccionar la variable deseada se debe también asignar un tipo de función específica. Dado que la complejidad del programa del PLC no es relativamente mucha se va a limitar a las operaciones con bits, las cuales son

activar, invertir y activar mientras este presionado. Las operaciones con bits tienen un parecido con el álgebra booleana, así que se limita a 1 y 0.

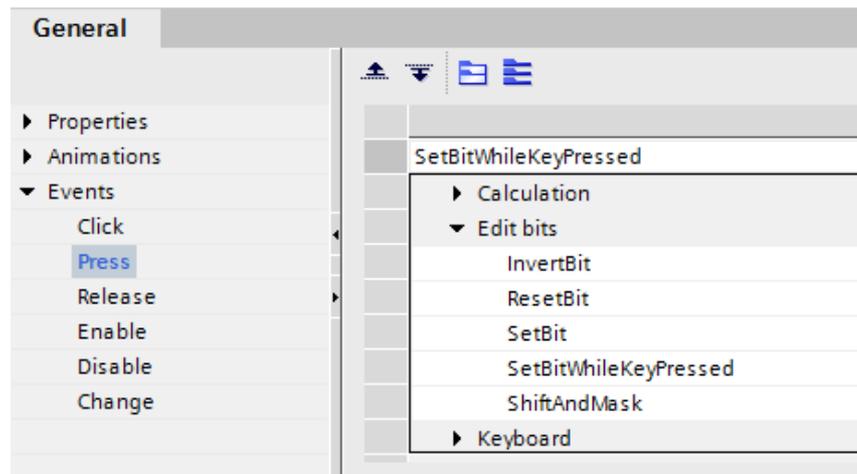


Figura 3. 63 Asignación de eventos con operaciones de bits. Fuente propia.

3.4.6.3.4.3. Compilación

Una vez listo el diseño se procede a la compilación para verificar que el sistema esté trabajando acorde a lo establecido. Conforme al diseño establecido las imágenes a utilizar son las siguientes:

a) Primera imagen



Figura 3. 64 Primera imagen. Fuente propia.

Esta imagen es llamada también “presentación”, ha sido programada para que una vez se encienda el sistema sea la primera imagen que aparezca en pantalla. Consta de 4 botones, modo manual, modo automático, motor y créditos, los cuales 2 de ellos (manual y automático) van a ser invisibles mientras se encuentre detenido el motor.

Como se puede notar esta imagen funciona como selector, en primera instancia de la selección del modo de funcionamiento del sistema, y en segunda instancia el control del motor. Además de ello cuenta con otro botón que nos llevara a los créditos del sistema. Cada botón es configurado para abrir una imagen diferente.

b) Segunda Imagen

Esta imagen también es llamada modo manual. Consta de 5 botones encargados de seleccionar las marchas, los cuales tendrán las siguientes funciones:

- El botón 1 activa la marcha primera.
- El botón 2 activa la marcha segunda.
- El botón 3 activa la marcha tercera.
- El botón R activa la marcha reversa.
- El botón P activa la marcha parking

Además de estos botones esta pantalla consta de un botón de paro de motor, el cual detiene el motor y reinicia el sistema.

Esta pantalla tiene la particularidad de poder observar el número de revoluciones de entrada y salida. Finalmente los botones VOLVER y MOTOR activan otras pantallas.

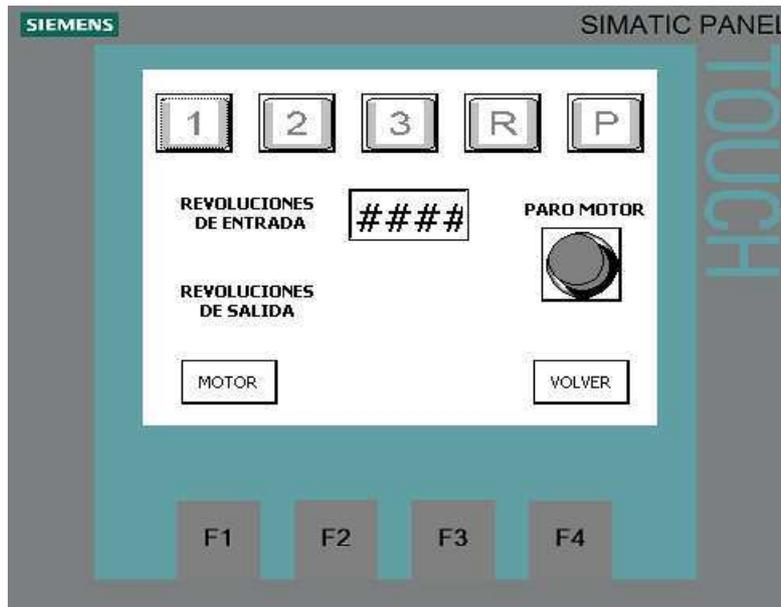


Figura 3. 65 Segunda imagen. Fuente propia.

c) Tercera Imagen

Esta imagen representa el funcionamiento automático del sistema. Esta imagen tiene algunas características importantes, por ejemplo el bloqueo del inicio del ciclo automático mientras el motor se encuentre desactivado.

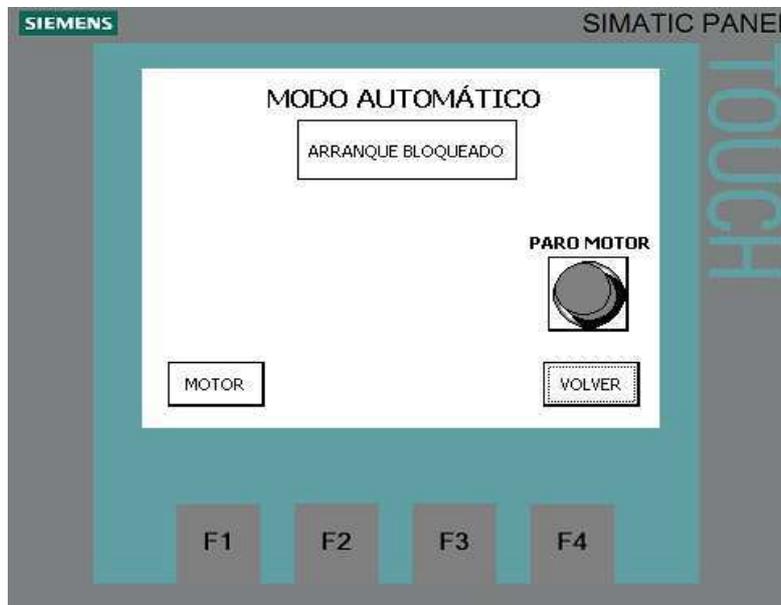


Figura 3. 66 Tercera imagen. Fuente propia.

Una vez se haya iniciado el ciclo automático se puede observar en la mitad de la pantalla un número que representa la marcha en la que se encuentra el sistema. Además esta pantalla cuenta con 2 botones de cambio

de pantalla, uno que lleva a la pantalla de presentación, y otro a la pantalla del control de motor.

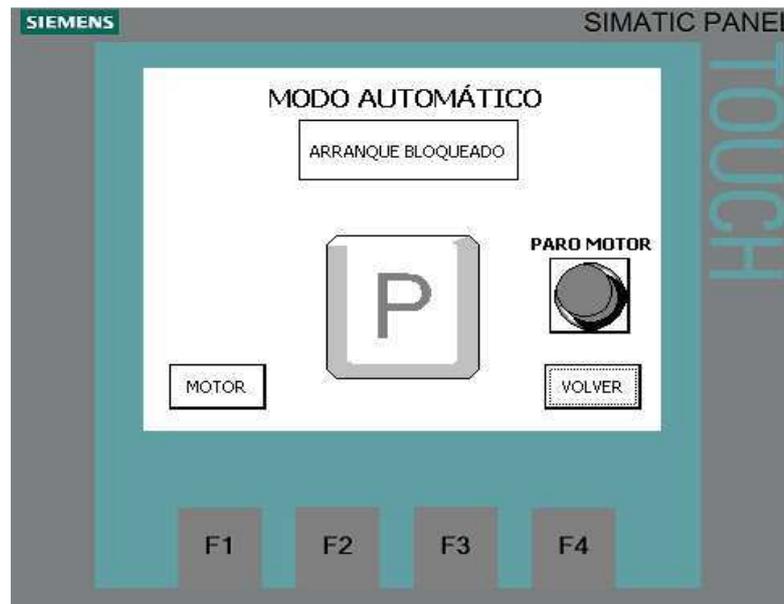


Figura 3. 67 Tercera imagen - 2. Fuente propia.

d) Cuarta Imagen

Esta imagen es llamada control de velocidad de motor. Posee un selector el cual activa o desactiva el motor, además de contar con un cuadro de visualización de la velocidad del motor, la cual va a ser variable dependiendo del uso del potenciómetro.



Figura 3. 68 Cuarta Imagen. Fuente propia.

Además de lo mostrado en la imagen esta pantalla cuenta con 3 botones para cambiar de imagen, MANUAL, AUTOMÁTICO Y VOLVER, de estos los dos primeros serán invisibles mientras el selector del motor este apagado.



Figura 3. 69 Cuarta imagen - 2. Fuente propia.

e) Quinta Imagen

Esta imagen es llamada créditos, la cual posee la información de los realizadores de dicho proyecto de tesis, así como los directores. El único botón que posee esta pantalla es para regresar a la imagen principal.



Figura 3. 70 Pantalla de créditos. Fuente propia.

3.4.7. Circuito de potencia

VER ANEXO A.3

CAPITULO 4

ENSAMBLAJE

4.1. LISTA DE ELEMENTOS

VER ANEXO A.3

4.2. PROCESO DE ENSAMBLAJE

El proceso de ensamblaje se realizó en tres fases:

- Mecánico
- Neumático
- Eléctrico

4.2.1. ENSAMBLAJE MECÁNICO

Una vez ya armada la transmisión Borg Warner, se procede al montaje del sistema de reversión y transmisión.

Para la sujeción de los pistones neumáticos se construyeron apoyos, los cuales estarán unidos a la base principal y tendrán la finalidad de adaptarse a la geometría del pistón.



Figura 4. 1 Pistón acoplado con eje móvil. Fuente propia.

El eje móvil se une al pistón mediante una unión roscada en un extremo, y en el otro extremo está sujeto por otro apoyo el cual tiene un bocín.

El piñón móvil está ubicado en el eje entre dos anillos de retención, este tiene dos cojinetes internos de agujas los cuales hacen posible el giro y se mueve axialmente gracias a la acción del pistón.



Figura 4. 2 Eje móvil con soportes axiales. Fuente propia.

Para el montaje de los piñones loco y de acople con el engranaje de marcha ascendente se construyó otro soporte el cual posee dos ejes donde van a estar ubicados estos piñones. También poseen cojinetes de agujas y para su seguridad anillos de retención en cada extremo del eje.

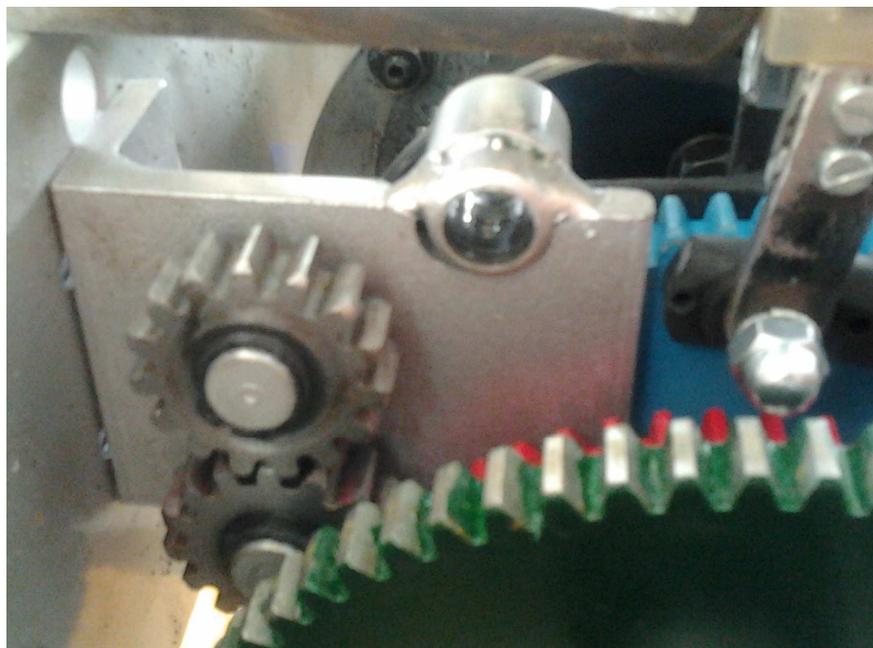


Figura 4. 3 Placa con Bocín. Fuente propia.

4.2.2. Ensamblaje eléctrico

Todos los implementos eléctricos y electrónicos estarán ubicados en una caja térmica, la cual contara con rieles DIN normalizados, canaletas y perforaciones para botones externos y pantalla.



Figura 4. 4 Caja eléctrica con rieles DIN. Fuente propia.

Se procedió a ubicar en los rieles los dispositivos, disyuntor, borneras, PLC, variador de frecuencia, transformador de voltaje, y se continuó con el respectivo cableado.

Fue necesaria la inclusión de cuatro relés y de un grupo de borneras extra.



Figura 4. 5 Montaje de elementos electrónicos. Fuente propia.

Una vez terminado el cableado se añadió la conexión de la pantalla táctil, potenciómetro, botón de paro y luz piloto en los agujeros troquelados de la puerta de la caja térmica.



Figura 4. 6 Puerta de caja térmica con accesorios. Fuente propia.

Finalmente se conectaron las salidas del PLC a las bobinas de las electroválvulas.

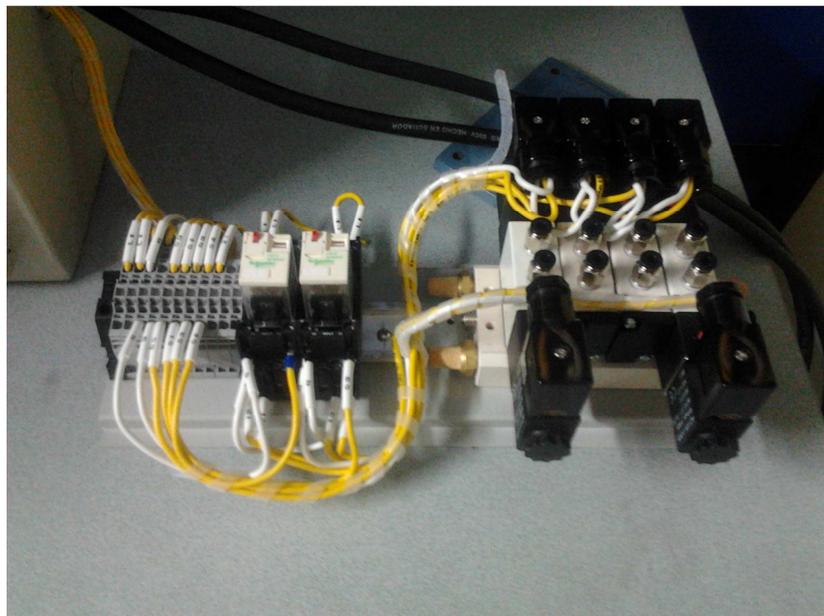


Figura 4. 7 Conexión eléctrica de electroválvulas. Fuente propia.

4.2.3. Ensamblaje neumático

En este proceso de ensamblaje se colocan las válvulas sobre la base manifold P/M VSC – 180 4 válvulas, mediante tornillos y un empaque colocado entre las dos superficies. Dependiendo del uso de la base es necesaria la colocación de silenciadores y/o tapones.



Figura 4. 8 Base manifold y válvulas conectadas. Fuente propia.



Figura 4. 9 Silenciadores y tapón neumático. Fuente propia.

Fue necesario colocar piscos conectores en las entradas y salidas de las válvulas, estos son aptos para tubería de 4 mm de diámetro.



Figura 4. 10 Pisco conectores de 4mm. Fuente propia.

Una vez conectado todos estos accesorios, se puede proceder a la colocación de los tubos de poliuretano.



Figura 4. 11 Conjunto neumático ensamblado. Fuente propia.

Los pistones necesitan accesorios extra, pisco conector y silenciador, como se muestra a continuación.



Figura 4. 12 Accesorios de pistón. Fuente propia.

Para la sujeción de las pinzas se utilizó soportes angulares de acero y también extensiones para los dedos los cuales a su vez estarán conectados con las pastillas de frenado.



Figura 4. 13 Soportes angulares para pinzas neumáticas. Fuente propia.

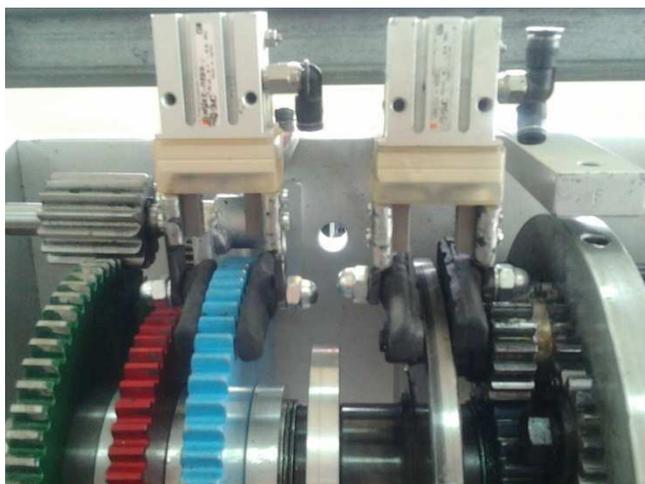


Figura 4. 14 Ensamble de brazos y zapatas anulares de frenado. Fuente propia.
El ensamblaje eléctrico y neumático final se puede apreciar a continuación:



Figura 4. 15 Ensamblaje final. Fuente propia.

Las herramientas utilizadas para el ensamblaje de todos estos elementos fueron las siguientes:

- Pie de rey 0 – 160mm.
- Flexómetro 3m.
- Martillo de goma.
- Machuelos.
- Llave de pico.
- Llaves de corona.
- Playo.

- Destornillador plano.
- Destornillador en estrella.
- Juego de llaves hexagonales.
- Cortador de cable.
- Cautín.
- Lima.
- Marcador de cable.
- Multímetro.
- Teflón.
- Taladro.

CAPITULO 5

PRUEBAS Y CALIBRACIÓN

5.1. Pruebas

Para el análisis de las pruebas se tomaran en cuenta los tres parámetros principales, los cuales son:

- Eléctrico.
- Neumático.
- Mecánico.

5.1.1. Pruebas eléctricas

La realización de las pruebas eléctricas se desarrolló con una alimentación de 110 V. Una vez finalizada la programación del PLC y la pantalla, se procedió a la transferencia de los programas a los respectivos dispositivos y de esta manera se comprobó el correcto funcionamiento de la pantalla y de funciones asignadas a cada botón, comprobando mediante las salidas físicas del PLC que encienden leds en la secuencia programada.



Figura 5. 1 Respuesta visual de activación de PLC. Fuente propia.

Para la comprobación del correcto cableado minuciosamente se hizo una marcación en todos los terminales de los cables a ser conectados, basándose en los planos eléctricos de potencia se procedió a la conexión de cada uno de los cables, finalmente al energizar el sistema no se produjo ningún error y todo funcionó correctamente.



Figura 5. 2 Marcación de terminales de cables. Fuente propia.

Para la utilización del motor trifásico es necesario verificar una correcta conexión con el transformador de 110 – 220V y con el variador de frecuencia

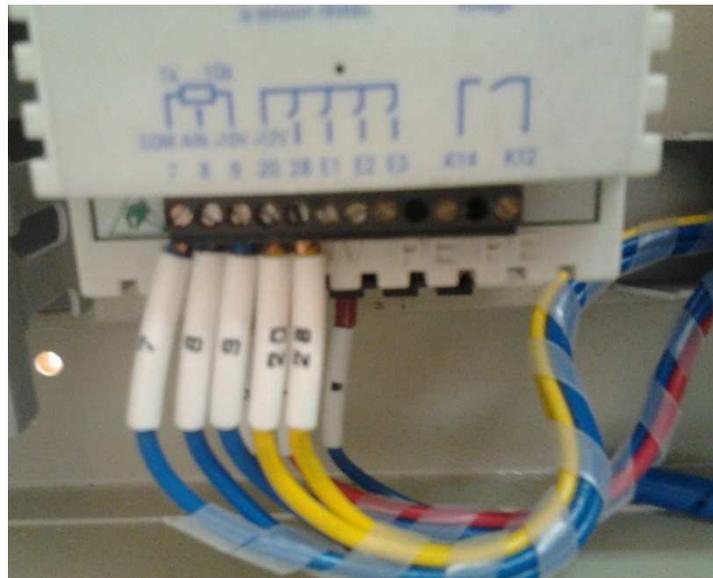


Figura 5. 3 Verificación de la conexión del variador de frecuencia. Fuente propia.

Una vez comprobadas las conexiones se activó el motor y se comprobó que se podía controlar las revoluciones mediante el uso del potenciómetro.



Figura 5. 4 Potenciómetro de control de velocidad. Fuente propia.

Se realizaron las pruebas correspondientes a la bobina del pasador de parking dando resultados negativos para el propósito de la práctica. Según la lógica del programa la bobina del pasador debe estar energizada todo el tiempo a excepción de que se elija la marcha parking, por esta razón la bobina se sobrecalienta en muy poco tiempo y no alcanza a cumplir la función encomendada. Incluso se construyó otra bobina con capacidad para soportar hasta 3 A pero lamentablemente el resultado fue el mismo.

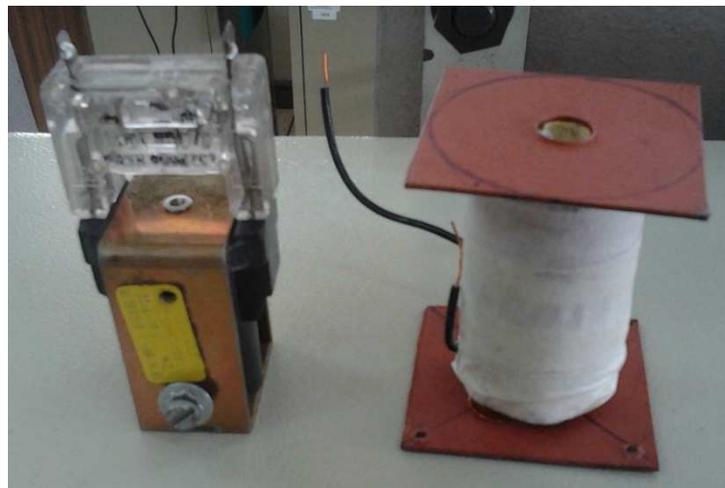


Figura 5. 5 Bobinas. Fuente propia.

5.1.2. Pruebas neumáticas

Los actuadores neumáticos se probaron individualmente a una presión de 6bar para verificar su funcionamiento y la ausencia de fugas. Se comprobó

el correcto funcionamiento de los actuadores ya que los pistones ejercieron una fuerza suficiente para mover los ejes sin ningún inconveniente y las pinzas lograron detener los discos al instante.

Se colocó teflón a todos los conectores antes de su colocación para evitar fugas de aire. Una vez comprobadas las conexiones se procedió a la colocación de la tubería de poliuretano de 4mm y 6mm en los respectivos conectores, teniendo en cuenta las longitudes respectivas para cada actuador.

Una vez conectado al compresor se procedió a alimentar el sistema y a la posterior comprobación; dando como resultado un correcto funcionamiento del mismo. El único detalle a tener en cuenta fue la velocidad de salida de los pistones, la cual era demasiado rápida en comparación con la requerida, para esto la implementación de las válvulas reguladoras de caudal fue la solución más acertada.



Figura 5. 6 Válvulas reguladoras de caudal unidireccionales. Fuente propia.

5.1.3. Pruebas mecánicas

Se comprobó la rotación del sistema adicionando al motor un sistema de poleas el cual transfiere el par del motor a la caja de cambios. La rotación de todo el sistema fue óptima exceptuando el sonido que produce el contacto de los dientes de los engranajes.



Figura 5. 7 Poleas y banda. Fuente propia.

En cuanto al sistema de reversión y transmisión se pudo comprobar que existe un bloqueo el cual paraliza la rotación de los piñones debido esencialmente a la desalineación de la placa de sujeción del pistón, lo cual no permite que no haya un cambio de marchas.



Figura 5. 8 Placa de sujeción de pistón. Fuente propia.

5.2. Calibración

La calibración se realizó luego de la realización de las pruebas y la detección de los principales inconvenientes.

5.2.1. Calibración eléctrica

En el proceso automático es necesaria la variación del tiempo de duración de cada marcha, ya que por motivos de programación se optó por tiempos muy cortos. Se calibro entonces el tiempo entre cada marcha en 15 segundos.

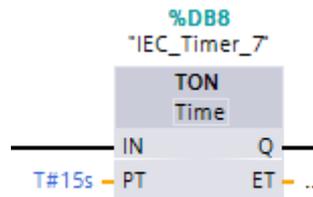


Figura 5. 9 Modificación de duración de marchas en ciclo automático. Fuente propia.

El variador de frecuencia se calibro entre un rango de 0 – 10 Hz para limitar las revoluciones del sistema, para realizar esta operación se utilizó el comando C11 del variador y se lo regulo a 10Hz.



Figura 5. 10 Regulación de límite de frecuencia máxima en el variador. Fuente propia.

Debido al uso de pinzas neumáticas sin retorno con muelle, fue necesario reconsiderar la lógica del programa, haciendo visible la necesidad de aumentar dos salidas fijas para permitir el retorno de las pinzas. Tomando una herramienta eléctrica muy utilizada en ingeniería, el relé, se pudo omitir la necesidad de aumentar el número de salidas físicas.

A los relés se los alimentó directamente de la fuente y conectados a las válvulas mediante los contactos cerrados se logró que las pinzas se mantengan abiertas antes de iniciar cualquier marcha. El cierre de las pinzas es activado mediante una de las salidas físicas del PLC que fueron programadas con anterioridad.

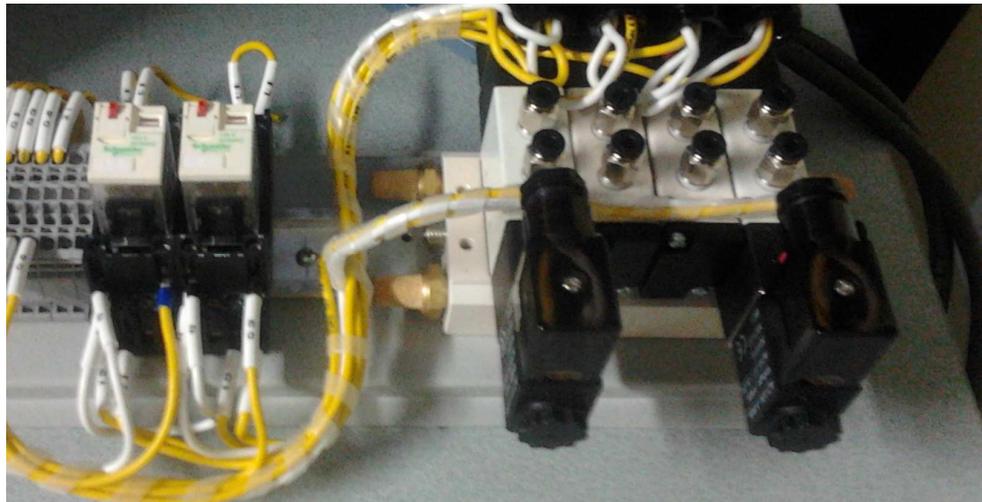


Figura 5. 11 Relés de control de bobinas de válvulas 5/2. Fuente propia.

Uno de los puntos más críticos fue la comprobación del correcto funcionamiento de las bobinas de las electroválvulas, más específicamente las bobinas de las válvulas que controlan las pinzas neumáticas o 5/2, ya que la lógica del programa hace que estén conectadas durante la mayor cantidad de tiempo de duración de la práctica. Por motivos de comprobación se dejó pasar corriente directamente a las bobinas durante un tiempo de 30 minutos, incrementándose la temperatura hasta 42°C , siendo esta temperatura aceptable para el funcionamiento correcto de las bobinas.

En cuanto a la ineficacia del sistema de electroimán para esta práctica, se procedió a la utilización del pasador de una manera manual. Al seleccionar la marcha parking se deja caer por el agujero un pasador el cual entrara en los agujeros de la corona haciendo que esta se detenga y completando las condiciones requeridas.

5.2.2. Calibración neumática

Para calibrar la velocidad de salida de los pistones fue necesario controlar el caudal mediante unas válvulas de regulación de caudal, las cuales se situaron entre la salida de las válvulas 3/2 y las entradas de los pistones.



Figura 5. 12 Válvula reguladora de caudal. Fuente propia.

5.2.3. Calibración mecánica

Para un correcto acople entre los piñones se procedió a la alineación de la placa de sujeción del pistón la cual debe asegurar que la posición sea óptima para el acople y desacople del engranaje móvil de marcha ascendente.

La placa donde están ubicados los piñones loco y de acople también sufrió alteraciones, por esta razón fue necesario aumentar la longitud de las ranuras de sujeción, permitiendo que la placa puede deslizarse unos cuantos milímetros hacia arriba. Con esta adecuación los ejes del pistón neumático y el móvil quedan completamente alineados.

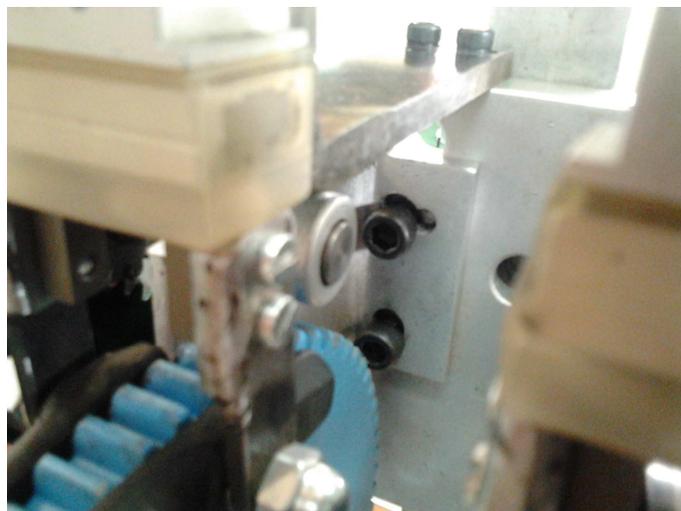


Figura 5. 13 Ampliación de ranuras en placa de sujeción. Fuente propia.

Para el montaje del motor fue necesaria la construcción de una placa la cual se encuentra emperrada en la estructura principal, con el motivo de empotrar el motor y asegurar su correcta posición mediante ranuras en dicha placa.



Figura 5. 14 Placa de sujeción de motor. Fuente propia.

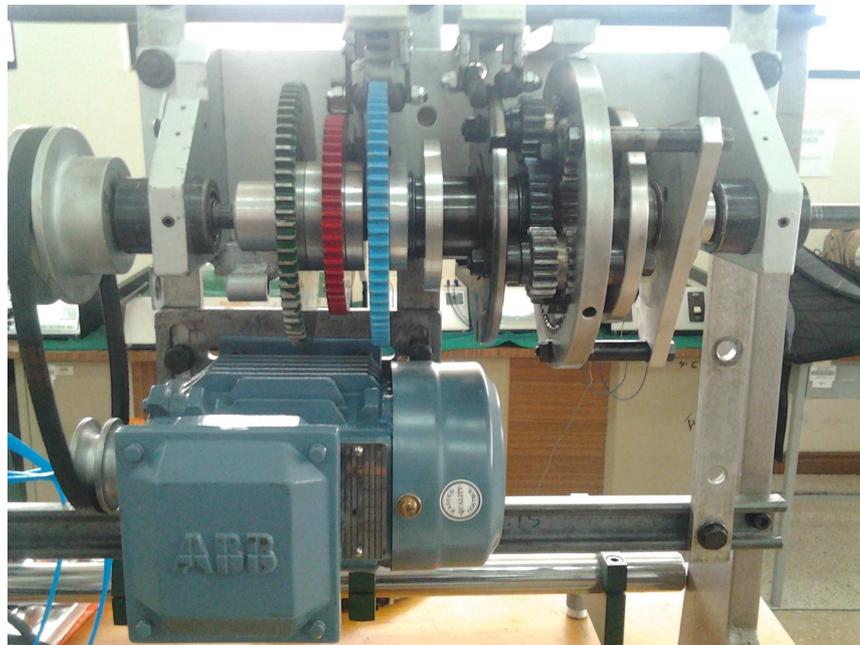


Figura 5. 15 Motor empotrado. Fuente propia.

Para una mayor comodidad y estética se situó el grupo neumático y los relés de control de bobinas a un lado de la caja térmica, teniendo en cuenta que el equipo eléctrico debe situarse por arriba del equipo neumático, debido al riesgo que existe de condensación de agua en alguno de los terminales.

Finalmente el modelo totalmente ensamblado y calibrado se puede apreciar a continuación:



Figura 5. 16 Modelo terminado. Fuente propia.

CAPITULO 6

EVALUACIÓN ECONÓMICA

6.1. COSTOS DIRECTOS

Estos costos son los que intervienen directamente en la construcción de la parte del sistema y su ensamblaje, estos costos se detallan a continuación.

6.1.1. MANO DE OBRA DIRECTA

Tabla 6. 1 Costos de mano de obra directa

Servicio	Hora	Valor / h (USD)	Valor total (USD)
Tornero	5	8.68	43.40
Fresador	15	13.90	208.60
Pintura	-	-	50.00
TOTAL			302.00

TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA	302.00
-----------------------------------	---------------

6.1.2. MATERIALES DIRECTOS

Los materiales directos se dividen en 3:

- Materiales para el sistema de reversión y transmisión.
- Materiales para el sistema eléctrico y electrónico.
- Materiales para el sistema neumático.

6.1.2.1. Sistema de reversión y transmisión

Tabla 6. 2 Costos sistema de reversión y transmisión

Descripción	Cant.	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Acero 1018, 6" x 15mm	2	10.66	21.32
Acero 1018, 4"1/2 x 15mm	1	5.99	5.99
Acero 1018, 2"1/2 x 45mm	1	4.13	4.13
Acero 1018, 1"1/2 x 130mm	1	4.16	4.16
Rodamiento FAG HK1210	4	4.91	19.62
Rodamiento FAG HK1012	2	4.74	9.48
Anillos de retención	6	0.10	0.60
Eje de acero, 10mm x 200mm	1	2.56	2.56
Grasa azul	1	3.65	3.65
Banda alternador	1	4.00	4.00
Polea 4"x 1 y 2"1/2 x 1	2	3.15	6.30
TOTAL			81.81

TOTAL SISTEMA DE REVERSIÓN Y TRANSMISIÓN	81.81
---	--------------

6.1.2.2. Sistema eléctrico y electrónico

Tabla 6. 3 Costos del sistema eléctrico y electrónico

Descripción	Cant.	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Motor ABB trifásico 0.50HP, 1679RPM, 0.37KW	1	103.94	103.94
PLC Siemens s7- 1200 CPU 1212C AC/DC/Rly	1	299.00	299.00
Pantalla Simatic KTP400	1	400.00	400.00
Disyuntor	1	6.00	6.00
Potenciómetro	1	5.00	5.00
Cable D18	10m	0.40	4.00
Caja Térmica	1	70.00	130.00
Variador de frecuencia Lenze	1	130.00	130.00
Transformador de voltaje 110v – 220v	1	50.00	50.00
Cable ethernet	2m	1.75	3.50
Cable 3x14	3m	1.53	4.59
Enchufe 110v	1	2.05	2.05
Relé Telemecanic	4	11	44
Bobina 110v	1	40	40
TOTAL			1222.08

TOTAL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	1222.08
--	----------------

6.1.2.3. Sistema Neumático

Tabla 6. 4 Costos del sistema neumático

Descripción	Cant.	Costo unitario (USD)	Subtotal (USD)
Microcilindro SE Diam 16 x 15 carr pivot rd	2	53.74	107.48
Electroválvula 5/2 1/8" monoestable	4	45.00	180.00
Base manifold P/M VSC – 180 4 válvulas	1	18.60	18.60
Pisco conector recto inst. 4mm x 1/8"	8	1.30	10.40
Silenciador Bronce 1/4"	4	1.92	7.68
Pisco conector codo inst. 6mm x 1/4"	1	2.14	2.14
Pisco conector recto inst. 8mm x 1/4"	1	1.61	1.61
Pisco conector recto inst. 4mm x M5	2	1.58	3.16
Tapón hex 1/4"	1	1	0.93
Silenciador bronce M5	2	1.05	2.10
Tubo de poliuretano	10m	0.48	4.57
Pinzas Neumáticas	2	56.50	113.00
Valvulas reguladoras de caudal unidireccionales 1/8"	2	9.45	18.90
TOTAL			470.57

TOTAL SISTEMA NEUMATICO	470.57
--------------------------------	---------------

6.1.3. Total costos directos

Tabla 6. 5 Total costos directos

TOTAL COSTOS DIRECTOS=TOTAL MANO DE OBRA DIRECTA+TOTAL MATERIALES DIRECTOS	2076.46
---	----------------

6.2. Costos indirectos

Tabla 6. 6 Costos indirectos

Ítem	Costo (USD)
Transporte	40
Servicios Básicos	10
Internet	10
Impresiones	20
Copias	10
TOTAL	90

6.3. Costo total del proyecto

Tabla 6. 7 Costo total del proyecto

Concepto	Costo (USD)
Costos Directos	2076.46
Costos Indirectos	90
Imprevistos (10% de CD+CI)	216.64
TOTAL GENERAL	2383.11

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La construcción del sistema de reversión y transmisión, fue la solución con mejores resultados al momento de solucionar el problema de la sincronización entre el disco motriz y los demás discos/embrague.
- Para el frenado de los discos/embrague, se optó por un sistema neumático. A través de actuadores (Pinzas neumáticas), se logra obtener la fuerza de cerrado necesaria para el frenado de los discos/embrague, y también con la ayuda de unas zapatas de caucho, anexadas a las pinzas, se obtiene el resultado esperado.
- De todas las opciones de automatización, el uso de un PLC resultó la opción más viable. Su aplicación en la industria es muy extensa, y para motivos didácticos resulta excelente la posibilidad que el alumno se pueda familiarizar con este tipo de dispositivos.
- El control de todo el sistema debe ser de fácil manejo para el usuario y seguro de manipular. Por esta razón se utilizó una pantalla táctil con las principales funciones del sistema.
- En comparación con la anterior práctica, que se efectuaba en el equipo sin su implementación, se puede concluir que el sistema eléctrico/electrónico fue el principal aporte al sistema, ya que con el proceso de automatización se logró que la práctica sea entendida de mejor manera.
- El uso de un motor trifásico fue una elección acertada, ya que este tipo de motores permite un control mucho más fácil y eficiente, además de la posibilidad de invertir el giro.
- La repotenciación de elementos que se consideran obsoletos, debido a su falta de uso y/o mantenimiento, resulta factible con una buena inversión y planificación.

7.2. Recomendaciones

- Para la construcción de piñones es necesario un exhaustivo análisis en su diseño, especialmente en el módulo. Los costos de fabricación en el mercado dependen mucho del número de dientes, en otras palabras, dependen del módulo. Es necesario hacer un balance entre la necesidad del número de dientes y el presupuesto.
- La caja Borg – Warner debe ser ensamblada con precisión y respetando las distancias establecidas por el fabricante. Se recomienda un especial cuidado a la hora del ensamblaje.
- Es importante contar con las herramientas adecuadas para la manipulación de la caja Borg – Warner, al no contar con estas herramientas se corre el riesgo de daños en piezas importantes.
- La lubricación es un factor importante en el buen funcionamiento del sistema, pero hay que diferenciar el tipo de lubricante. Al existir rodamientos se debe tener en cuenta otro tipo de lubricante específico para estos.
- Se recomienda verificar la disponibilidad y costo en el mercado de las piezas requeridas. Muchas veces resulta más conveniente importar estos elementos, ya que se pueden conseguir en distintas presentaciones y mejor precio.
- Es importante conocer completamente el funcionamiento y los alcances de todo tipo de dispositivos que se utilicen. Muchas veces por la falta de conocimientos se llegan a cometer errores, que involucran un rediseño y pérdida de tiempo.
- Es importante elegir un PLC que cumpla con los requerimientos establecidos, además de tener un lenguaje de programación sencillo y eficiente, relación con la tecnología HMI, debe brindar confiabilidad al programador de que sus componentes funcionaran correctamente.
- El montaje del motor debe hacerse con una planificación previa del sitio exacto y con una distancia entre ejes que sea adecuada para que la banda no se tense demasiado.

- Para un correcto funcionamiento del sistema de reversión y transmisión se debe regular la velocidad de salida de los pistones, esto se hace a través de las válvulas de regulación de caudal.
- Se recomienda que el maquinado de las piezas sea con precisión, ya que en elementos críticos, como ejes, es importante mantener la concentricidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] GIECK, K. y GIECK, R. Manual de fórmulas técnicas. 30^{va} ed. S.L. Alfaomega. Abril 2003. p. 149
- [2] BUDYNAS, R. Y NISBETT, K. Diseño de ingeniería mecánica de SHIGLEY. Traducido del Inglés por Miguel Ángel Ríos. 8^{va} ed. Ciudad de México. McGraw Hill. 2008. pp 654 – 745. 807 – 846.
- [3] CEMBRANOS, J. Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos. 5ta ed. Thomson Paraninfo. pp 183 – 223.
- [4] LARBURU, N. Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas. Madrid: Thomson Editores. 2004.
- [5] Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN). Normas de dibujo técnico. 2012.
- [6] ARIAS PAZ, M. Manual de automóviles. Madrid. ed. Dossat. 1990. pp. 501-548
- [7] MAJUMDAR, S. Sistemas neumáticos: Principios y Mantenimiento. S.L. McGraw Hill. 1997. pp 12 – 63.
- [8] ATLAS COPCO. Guía de instalación de aire comprimido. 1986. 16 p.
- [9] WOLF, A y SCHUNK, H. Grippers in motion. ed Springer. Italy. 2005. pp 70 – 158.
- [10] MOTT, R.L. Mecánica de fluidos. 6^{ta} ed. Pearson Prentice Hall. México. 2006. pp 52 – 70.
- [11] ANGULO, J. y ANGULO, I. Microcontroladores PIC, diseño práctico de aplicaciones. 3ra ed. McGraw Hill. 2005. Cap 1, pp 1-26.

Referencias Web

- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Borg-Warner_35_transmission

- [13] <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201018.pdf>
- [14] <http://www.antechsv.com/>
- [15] <http://es.encydia.com/ca/HMI>
- [16] <http://es.scribd.com/doc/2741243/Elementos-neumaticos>
- [17] http://pdf.directindustry.es/pdf/compair/compresores-de-piston-serie-m/5576-61306-_5.html
- [18] <http://www.castelloxxi.com/escaparate/producto-13998-VALVULA-DIRECCION.5/2-Y-5/3.-TIPO-740-NEUMATICA..htm>
- [19]
http://www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/sistoleo/sistemasneumaticos/05_080617_ValvulasDireccionales.pdf
- [20]
http://members.tripod.com/eribera_bo/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/problemascocompresores.pdf
- [21] http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA/Capitulo2/C2_apartado4.htm
- [22] http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica11.htm
- [23] <http://es.scribd.com/doc/61018936/norma-agma>
- [24]
<http://www.google.com.ec/imgres?q=TREN+DE+ENGRANAJES&hl=es&biw=1280&bih=636&gbv=2&tbn=isch&tbnid=2pssSdU1ZpJEdM:&imgrefurl>
- [25]
<http://www.sabelotodo.org/automovil/imagenes/cajaambios/planetario.png&w=250&h=251&ei=YEOxT5SDG4-y8QTbnN3XCA&zoom=1>
- [26] <http://my.opera.com/oyarzun/blog/engranaje-epicicloidial>
- [27] <http://www.transpart.com/7.html>

- [28] <http://transmisionautomaticatapia.blogspot.com/>
- [29] <http://jesustroya-puro.blogspot.com/>
- [30] <http://www.aficionadosalamecanica.com/caja-cambios8.htm>
- [31] <http://seritiummecanismos.wikispaces.com/Rueda+libre>
- [32] http://www.msebilbao.com/tienda/product_info.php?products_id=349
- [33] <http://www.monografias.com/trabajos12/microco/microco.shtml>
- [34] http://www.oocities.org/micros_uan/cap16.html
- [35] <http://gomezgonzalez-lab2.blogspot.com/2011/05/microcontroladores.html>
- [36] <http://maleonhe.blogspot.com/2010/05/plc.html>
- [37] <http://fundmaq1karinaharonjavier.blogspot.com/2010/08/caracteristicas-que-definen-un.html>
- [38] <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- [39] <http://smc138.valuehost.ru/c5/mhk2.pdf>
- [40] <http://control.sdindustrial.com.mx/valve-cv08-120vac-single-solenoid-port-posit-p-14035.html?osCsid=da84f95799eb5b897a3004585eb1aa05>
- [41] <http://www.monografias.com/trabajos63/compresores-embolo-piston/compresores-embolo-piston.shtml>
- [42] http://www.sapiensman.com/ESDictionary/S/Technical_vocabulary_Spanish%28S4%29.php
- [43] <http://vertigo2040.wordpress.com/2012/02/28/motor-electrico-tipos-y-fundamentos>
- [44] http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

- [45] <http://www.taringa.net/posts/info/6222991/Motores-asincronos-trifasicos.html>
- [46] <http://www.my-gk.cn/pid10054001/M2QA71M4A.htm>
- [47] <http://www.directindustry.es/prod/lenze/variadores-de-frecuencia-6239-746089.html>
- [48] <http://www.infoplcn.net/blog4/category/variadores-de-frecuencia-inverter>
- [49] <http://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/tag/transformador/>
- [50]
http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/aut_simatic/Documents/S7-1200_Paso_a_Paso_v1.0.pdf
- [51] <http://www.mewdevenezuela.com/productos/hmiHome.htm>
- [52] <http://es.wikipedia.org/wiki/Engranaje>
- [53] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/rozamiento/general/rozamiento>