



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE:**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA ESTACIÓN  
DE MANUFACTURA FMS 2101 DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE  
LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.”**

**AUTOR: MUÑOZ JARAMILLO, FERNANDO PAUL**

**DIRECTOR: ING. OROZCO BRITO, LUIS ALBERTO, MSc.**

**SANGOLQUÍ**

**2020**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES.

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA FMS 2101 DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.**” fue realizado por el señor **MUÑOZ JARAMILLO, FERNANDO PAUL** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de enero del 2020

ING. LUIS ALBERTO OROZCO BRITO, MSc.

DIRECTOR

C. I.: 1710443803



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES.**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **MUÑOZ JARAMILLO, FERNANDO PAUL**, con cédula de identidad N°. 1722630694, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA FMS 2101 DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 17 de enero del 2020

.....*Fernando Muñoz*.....

**FERNANDO PAUL MUÑOZ JARAMILLO**

C. C.: 1722630694



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, MUÑOZ JARAMILLO, FERNANDO PAUL autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN DE LA ESTACIÓN DE MANUFACTURA FMS 2101 DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE.” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 17 de enero del 2020

  
...FERNANDO MUÑOZ.....

FERNANDO PAUL MUÑOZ JARAMILLO

C. C.: 1722630694

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis Padres, Manuel Muñoz y Alicia Jaramillo quienes son el pilar fundamental en mi vida, los cuales me han enseñado lo que es el esfuerzo, la dedicación y la paciencia, que sin ellos no estaría cumpliendo este sueño y tampoco sería la persona que soy.

A mis hermanos Darwin y Pamelita por ser mis compañeros de vida, de locuras y aventuras porque a pesar de las diferencias siempre voy a tener su amor y apoyo incondicional.

A mis abuelos paternos y maternos que hoy en día ya no se encuentran aquí, pero sé que están en el cielo observando mis pasos.

## AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer principalmente a Dios por darme la fuerza y tenerme siempre en su gloria.

A mi familia, mis padres y hermanos por apoyarme, por saber guiarme, aconsejarme y saber hablarme cuando estaba equivocado, siempre estaré eternamente agradecido.

A mis tíos, de ambas partes, por preocuparse por mí, mi carrera y siempre tener una palabra de aliento.

A mis abuelitos, que, aunque estén en el cielo quiero agradecerles por ser un ejemplo y por darme a padres maravillosos.

A mi novia Vivi mi corazón hermosa bebé, por acompañarme y darme su apoyo durante estos últimos años en mi carrera.

A mis amigos Julio, Marlon, Alex, Mauri, Jhon, Libi por acompañarme en esta etapa de mi vida, por vivir conmigo todos mis logros y fracasos pero siempre estando ahí apoyándome.

A mi maestro, Ing. Luis Orozco, por sus consejos, conocimientos y experiencias, lo cual me ayudaron a desarrollarme como estudiante y próximo profesional de esta prestigiosa universidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	i
CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación e importancia.....	4
1.3 Alcance.....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Objetivo general .....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	8
CAPITULO II MARCO TEÓRICO .....	9
2.1 Introducción a los sistemas de manufactura flexibles FMS o SFM. ....	9
2.1.1 Componentes de un FMS. ....	9
2.1.2 Fresadora .....	11
2.1.3 Tipos de fresas. ....	15
2.1.4 Normativas de seguridad para el uso de la fresadora. ....	16
2.1.5 Torno .....	19
2.1.6 Tipos de torno.....	21
2.1.7 Normativas de seguridad. ....	24
2.1.8 CNC (Control numérico computarizado). ....	25
2.1.9 Código G y Código M. ....	26
2.1.10 GRBL.....	29
2.1.11 UGS (Universal Gcode Sender).....	29
2.1.12 Microcontroladores.....	30

2.1.13	Interfaz de comunicación serial RS232.....	30
2.1.14	Codificador o encoder.....	32
2.1.15	Definición y tipos de filtros electrónicos.....	33
2.1.16	Filtro pasa bajo RC.....	33
2.1.17	Amplificador operacional.....	34
2.1.18	Ruido.....	36
2.1.19	Optoacopladores.....	37
2.1.20	Relés o relevadores.....	40
2.1.21	Interruptor termomagnético.....	42
CAPÍTULO III DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO.....		44
3.1	Estado anterior de la estación FMS 2101.....	44
3.1.1	Estado general.....	44
3.1.2	Componentes con los que cuenta la estación.....	45
3.2	Diagnóstico de la estación.....	60
3.2.1	Diagnóstico del sistema neumático.....	60
3.2.2	Diagnóstico del sistema mecánico de la fresadora NCM 2000.....	62
3.2.3	Diagnóstico del sistema electrónico de la fresadora NCM 2000.....	65
3.2.4	Diagnóstico del torno NCL 2000.....	69
3.2.5	Diagnóstico del riel de desplazamiento lineal.....	71
3.2.6	Diagnóstico del módulo de entradas y salidas digitales.....	72
3.2.7	Diagnóstico del teach box.....	73
3.2.8	Diagnóstico del tablero principal.....	74
3.3	Mantenimiento de los componentes de estación.....	74
3.3.1	Mantenimiento realizado al sistema neumático.....	75
3.3.2	Mantenimiento del sistema mecánico de la fresadora NCM 2000.....	76
3.3.3	Mantenimiento del torno NCL 2000.....	80
3.3.4	Mantenimiento realizado al riel de desplazamiento lineal.....	81
3.3.5	Mantenimiento del cable de alimentación de 220VAC.....	82
3.4	Ingeniería inversa de la estación FMS 2101.....	82
3.4.1	Investigación del tablero principal.....	82
3.4.2	Investigación de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000.....	87
3.4.3	Análisis de los circuitos eléctricos y electrónicos.....	89
3.4.4	Análisis del sistema neumático de la estación FMS 2101.....	107

3.4.5	Funcionamiento de la estación FMS 2101 .....	107
3.5	Pruebas de funcionamiento de los circuitos eléctricos, electrónicos.....	127
3.5.1	Prueba 1 – Diagnóstico de todos los componentes electrónicos, mecánicos .....	127
3.5.2	Prueba 2 – Control de los motorreductores DC.....	131
CAPÍTULO IV DISEÑOS DEL PROYECTO .....		137
4.1	Caracterización o requisitos para el diseño del controlador.....	137
4.2	Diseño propuesto de la estación FMS 2101 .....	138
4.2.1	Diseño del controlador principal .....	140
4.2.2	Diseño para la fresadora NCM 2000 .....	142
4.2.3	Diseño para el torno NCL 2000.....	143
4.2.4	Diseño del mando – FMS 2101 .....	144
4.2.5	Diseño para el tablero principal.....	144
4.3	Diseño del controlador para motorreductores DC.....	145
4.4	Diseño de los circuitos electrónicos de entrada y salida .....	147
4.5	Diseño del sistema de comunicaciones .....	149
4.6	Diseño de los cables que se conectan al controlador principal .....	151
4.7	Diseño del controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno .....	152
4.8	Diseño del controlador principal de la estación. ....	156
4.9	Diseño del mando FMS 2101.....	158
4.10	Diseño de los programa para la estación FMS 2101 .....	160
4.10.1	Programa de comunicación serial para la estación FMS 2101.....	160
4.10.2	Programa para el controlador principal .....	161
4.10.3	Programa para el controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno .....	162
4.10.4	Programa para el mando – FMS 2101 .....	165
4.11	Diseño de la guía de inicio para la estación FMS 2101 .....	166
2.1.1.	Práctica 1: FMS 2101 FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD .....	167
2.1.2.	Objetivo general .....	167
2.1.3.	Objetivo específico.....	167
2.1.4.	Alcance .....	168
2.1.5.	Diseño.....	168
CAPÍTULO V INTEGRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN .....		170
5.1	Prototipo del controlador e interfaz CNC.....	170
5.2	Pruebas de funcionamiento del prototipo.....	171

5.2.1	Prueba 3 – Funcionamiento de los motorreductores DC .....	171
5.3	Implementación de los diseños .....	175
5.4	Integración de todos los componentes de control en la estación FMS 2101 .....	177
5.4.1	Instalación del controlador principal .....	178
5.4.2	Instalación del controlador e interfaz CNC para las máquinas.....	179
5.4.3	Instalación del mando FMS 2101. ....	179
5.5	Ejecución y resultados de la guía de inicio de la estación FMS 2101 .....	180
5.6	Pruebas de funcionamiento de la estación FMS.....	181
5.6.1	Prueba 4 – Funcionamiento de la estación FMS 2101 .....	181
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		185
6.1	Conclusiones .....	185
6.2	Recomendaciones.....	186
BIBLIOGRAFÍA.....		188

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Estado tarjeta de control NCL 2000.....	2
Figura 2.	Módulo de relés y cables desconectados de la estación.....	3
Figura 3.	Estación FMS 2101 en el laboratorio de robótica y PLC .....	4
Figura 4.	Partes de una máquina fresadora .....	12
Figura 5.	Tipo de fresas y sus partes. ....	14
Figura 6.	Clasificación de fresas conforme el trabajo específico en fresadoras horizontales ....	15
Figura 7.	Clasificación de las fresas según el trabajo específico en fresadoras. ....	16
Figura 8.	Partes de un torno .....	20
Figura 9.	Partes de un buril .....	23
Figura 10.	Clasificación de fresas según normas ISO y DIN.....	23
Figura 11.	Circuito electrónico MAX232 .....	32
Figura 12.	Filtro RC pasa bajo. ....	34
Figura 13.	Amplificador operacional en configuración comparador .....	36
Figura 14.	Tipos de optoacopladores .....	39
Figura 15.	Configuración optoacoplador es PC817, salida inversora y no inversora .....	40
Figura 16.	Estación de manufactura flexible FMS 2101 .....	45
Figura 17.	Componentes generales antes de la repotenciación de la estación FMS 2101. ....	46
Figura 18.	Anterior diagrama de la estación FMS 2101, previo a la repotenciación.....	47
Figura 19.	Estado encontrado de la estación FMS 2101 previo a la repotenciación.....	48
Figura 20.	Torno NCL 2000 estado anterior y panel frontal.....	49
Figura 21.	Circuitos electrónicos de la maquinada de fresado FMS 2101 .....	49
Figura 22.	Electroválvulas de la fresadora no cuentan con tapones.....	50
Figura 23.	Cableado desconectado de las electroválvulas y finales de carrera. ....	50
Figura 24.	Primer contacto con el variador de frecuencia de la fresadora. ....	51
Figura 25.	Daños en el PCB del variador de frecuencia .....	51
Figura 26.	Estado del Interior del Gabinete de la fresadora.....	52
Figura 27.	Estado del Interior del Gabinete de la fresadora parte trasera. ....	52
Figura 28.	Estado de los circuitos del torno NCL 2000 .....	53
Figura 29.	PCB del torno NCL 2000.....	54
Figura 30.	Ausencia de mangueras neumáticas .....	54
Figura 31.	Electroválvulas y el relé de estado sólido desconectados.....	55
Figura 32.	Estado interno del gabinete del torno NCL 2000.....	55
Figura 33.	Estado del tablero principal .....	56
Figura 34.	Estado del PLC del tablero principal .....	57
Figura 35.	Estado de las conexiones externas de tablero principal .....	57
Figura 36.	Estado del módulo de entradas y salidas digitales.....	58
Figura 37.	Restos de cable de los módulos de entrada y salida.....	59
Figura 38.	Estado del riel de desplazamiento lineal.....	59
Figura 39.	Estado del teach box. ....	60
Figura 40.	Diagnóstico del sistema neumático.....	61
Figura 41.	Identificación del cableado de las electroválvulas.....	62
Figura 42.	Desarmado de los motorreductores DC. ....	63
Figura 43.	Desarmado de motorreductor DC del eje Z o vertical. ....	63

Figura 44.	Daño en el pistón de agarre de la fresadora .....	64
Figura 45.	Daño en el pistón de agarre de la fresadora .....	65
Figura 46.	Alimentación de los motorreductores DC de 24[VDC].....	66
Figura 47.	Movimiento de la mesa de la fresadora por los motorreductores DC.....	66
Figura 48.	PCB y daños del variador de frecuencia .....	67
Figura 49.	Variador de frecuencia y carcasa del panel de control .....	67
Figura 50.	Motor AC trifásico asíncrono de la fresadora.....	68
Figura 51.	Alimentación eléctrica del variador de frecuencia con 220[VAC].....	68
Figura 52.	Encendido del panel del variador de frecuencia. ....	69
Figura 53.	Estado del gabinete del torno .....	70
Figura 54.	Husillo principal y husillo de bolas del torno .....	70
Figura 55.	Daño en el portaherramientas del torno.....	71
Figura 56.	Funcionamiento del husillo principal del torno. ....	71
Figura 57.	Acople eje motor tipo mandíbula del riel .....	72
Figura 58.	Verificación de los carbones y encoder del motorreductor DC.....	72
Figura 59.	Diagnóstico del módulo de entradas y salidas digitales. ....	73
Figura 60.	Diagnóstico del teach box .....	73
Figura 61.	Diagnóstico del tablero principal .....	74
Figura 62.	Nuevos tapones en las electroválvulas.....	75
Figura 63.	Nuevas tuberías para el sistema neumático .....	75
Figura 64.	Desarmado del gabinete de la fresadora .....	76
Figura 65.	Fresadora sin su gabinete .....	76
Figura 66.	Desarmado total de la fresadora.....	77
Figura 67.	Placa de deslizamiento doblada de la fresadora.....	77
Figura 68.	Nueva placa de deslizamiento de la fresadora. ....	78
Figura 69.	Mantenimiento de los husillos de la fresadora.....	78
Figura 70.	Rearmado y lubricación de la fresadora.....	79
Figura 71.	Ajuste del carro transversal de la fresadora .....	79
Figura 72.	Estado de la fresadora luego del mantenimiento. ....	80
Figura 73.	Estado del torno luego del mantenimiento. ....	81
Figura 74.	Carbones del motorreductor del riel. ....	81
Figura 75.	Cambio de tomacorriente en la estación. ....	82
Figura 76.	Borneras fila 1, 2, 3 y 4 del tablero principal .....	83
Figura 77.	Arreglo de Leds indicadores del tablero principal.....	84
Figura 78.	Transformador1, transformador2, puente de diodos, capacitor y resistencia .....	84
Figura 79.	Finales de carrera del riel y cable de alimentación de 220VAC.....	85
Figura 80.	Conectores del tablero principal .....	86
Figura 81.	Borneras de alimentación, interconexión, relevadores RMI y RLT .....	88
Figura 82.	Fuente de alimentación de 5 y 24 VDC de las CNC.....	88
Figura 83.	Panel de control frontal de las CNC. ....	88
Figura 84.	Esquema eléctrico de alimentación y protección del tablero.....	90
Figura 85.	Alimentación de 24VDC y esquema del circuito eléctrico de velocidad del riel. ....	91
Figura 86.	Esquema del circuito electrónico para el movimiento del riel.....	92
Figura 87.	Esquema del circuito electrónico de error del tablero principal .....	93
Figura 88.	Esquemático del PLC KEYENCE y sus conexiones.....	94

Figura 89. Esquema de los circuitos adicionales del tablero principal .....	96
Figura 90. Esquema de los conectores SLIDE MOTOR y TEACH BOX.....	97
Figura 91. Esquema de los conectores MILLING, LATHE y CIM COMMUNICATION .....	97
Figura 92. Esquema de los circuitos electrónicos para el control automático del riel. ....	98
Figura 93. Esquemas de los circuitos electrónicos de alimentación de las CNC.....	100
Figura 94. Esquema de la Fuentes de alimentación de 5 y 24 [VDC] de las CNC.....	101
Figura 95. Esquemas de los circuitos de encendido para la fresadora y el torno.....	102
Figura 96. Esquema de un circuito electrónico del Panel Frontal de las CNC.....	103
Figura 97. Diagrama de bloques, conexión de salida típica del tablero principal.....	104
Figura 98. Esquemas de un circuito eléctrico, conexión de salida típica del tablero principal..	105
Figura 99. Diagrama de bloques, conexión de entrada típica del tablero principal.....	106
Figura 100. Circuito eléctrico, conexión de entrada típica del tablero principal .....	106
Figura 101. Diagrama esquemático del sistema neumático del FMS 2101.....	107
Figura 102. Diagrama aclaratorio sobre los diagramas esquemáticos .....	110
Figura 103. Componentes del riel de desplazamiento lineal.....	111
Figura 104. Diagrama esquemático del riel de desplazamiento lineal.....	111
Figura 105. Componentes del sistema mecánico de la fresadora.....	112
Figura 106. Diagrama esquemático del sistema mecánico de la fresadora.....	113
Figura 107. Componentes del sistema mecánico del torno.....	114
Figura 108. Diagrama esquemático del sistema mecánico del torno.....	114
Figura 109. Componentes del sistema neumático en el gabinete del torno.....	115
Figura 110. Componentes del sistema neumático en el gabinete de la fresadora .....	115
Figura 111. Diagrama esquemático del sistema neumático del FMS 2101.....	116
Figura 112. Diagrama esquemático del sistema eléctrico del husillo principal NCM.....	117
Figura 113. Diagrama esquemático del sistema eléctrico del husillo principal NCL .....	117
Figura 114. Ubicación de los componentes internos del tablero principal.....	118
Figura 115. Diagrama esquemático de los componentes eléctricos de la estación.....	120
Figura 116. Diagrama esquemático de los componentes electrónicos de la estación.....	121
Figura 117. Diagrama esquemático de la fresadora NCM 2000.....	123
Figura 118. Diagrama esquemático de los circuitos de la fresadora.....	124
Figura 119. Diagrama esquemático del torno NCL 2000.....	125
Figura 120. Diagrama esquemático de los circuitos del torno NCL .....	126
Figura 121. Calculo del error en el movimiento .....	129
Figura 122. Algoritmo de control ON-OFF .....	133
Figura 123. Algoritmo redundante de lectura de señal de movimiento.....	133
Figura 124. Algoritmo de medición de la señal del codificador.....	134
Figura 125. Gráfico de la señal recibida por el codificador del motor.....	135
Figura 126. Algoritmo de activación del motor por periodos de tiempo.....	135
Figura 127. Diseño de la estación de manufactura flexible FMS 2101 .....	140
Figura 128. Diseño del Controlador principal para la estación FMS 2101 .....	141
Figura 129. Diseño para la fresadora NCM 2000 .....	142
Figura 130. Diseño para el torno NCL 2000.....	143
Figura 131. Diseño del mando FMS 2101 .....	144
Figura 132. Diseño del tablero principal.....	145
Figura 133. Diagrama esquemático del circuito utilizado para pruebas en los motores DC.....	146

Figura 134. Diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento para el encoder .....	147
Figura 135. Esquema del circuito electrónico de entrada y salida acoplamiento ópticamente. ....	148
Figura 136. Esquema del circuito de comunicación serial utilizando integrado MAX232 .....	149
Figura 137. Conectores NCL, NCM y mando del controlador principal de la estación. ....	151
Figura 138. Conexión de los cables de la estación FMS 2101 .....	152
Figura 139. Diagrama esquemático del controlador e interfaz CNC de la fresadora.....	153
Figura 140. Diagrama esquemático del controlador e interfaz CNC del torno. ....	154
Figura 141. Esquema del circuito de cambio de voltaje .....	155
Figura 142. Diseño del PCB del controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno .....	156
Figura 143. Esquema de los circuitos de entrada y salida del controlador principal .....	157
Figura 144. Esquema de los circuitos de comunicación en el controlador principal .....	158
Figura 145. Diseño del PCB del controlador principal de la estación .....	158
Figura 146. Componentes de entrada y salida de información del mando FMS 2101.....	159
Figura 147. Diseño del PCB del mando FMS 2101 .....	160
Figura 148. Algoritmo de validación de los comandos de la estación FMS 2101. ....	161
Figura 149. Algoritmo de control para motorreductores DC. ....	163
Figura 150. El algoritmo del control de mecanizado manual.....	165
Figura 151. Menú de navegación del mando FMS 2101 .....	166
Figura 152. Prototipo del controlador e interfaz CNC instalado en la fresadora. ....	170
Figura 153. Señal de encoder luego de pasar por el filtro RC.....	172
Figura 154. Señal del encoder luego de pasar por el circuito de acondicionamiento. ....	173
Figura 155. Tiempo de respuesta del encoder de los motorreductores DC.....	173
Figura 156. PCB de los controladores de la estación. ....	175
Figura 157. PCB del controlador e interfaz CNC con algunos componentes. ....	176
Figura 158. PCB de mando FMS 2101 con algunos componentes. ....	176
Figura 159. PCB del controlador principal con algunos componentes. ....	177
Figura 160. Implantación en la estación FMS 2101 .....	178
Figura 161. Instalación del controlador principal en la estación.....	178
Figura 162. Instalación del controlador e interfaz CNC para las máquinas. ....	179
Figura 163. Instalación del mando FMS 2101 .....	180
Figura 164. Diseño de un cilindro y software CNC listo para mecanizar. ....	182
Figura 165. Circunferencias fresadas en un rectángulo de madera y acrílico. ....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conector DA-15F TEACH BOX y acciones que realiza en el PLC .....	95
Tabla 2. Diámetro de la circunferencia fresado, el error absoluto y relativo .....	183
Tabla 3. Diámetro del cilindro torneado, el error absoluto y relativo .....	184

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo repotenciar y modernizar del sistema de manufactura flexible FMS 2101 del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que consta de una máquina CNC de torneado, de fresado y un riel de desplazamiento lineal. Se realiza un diagnóstico, mantenimiento y pruebas de funcionamiento de la misma. Una vez que se verifica que los componentes de la estación funcionan correctamente; se realiza un diseño e implementación de un: controlador e interfaz para las máquinas CNC, un controlador principal para toda la estación y un mando. El controlador e interfaz CNC controla las máquinas, permitiendo manejar todos sus actuadores y motorreductores DC como si fueran motores paso a paso; además, permite conectarse a una computadora y mecanizar automáticamente un diseño que se implementa en código G. El controlador principal automatiza el proceso de producción en la estación y controla a las: CNC, el riel de desplazamiento lineal, el mando y un robot manipulador. El mando permite a un operador interactuar con la estación y mecanizar manualmente en las CNC. Se realizan pruebas del funcionamiento de la estación FMS 2101 y todos sus componentes. Finalmente se propone una guía de practica para que los estudiantes se inicialicen en la operación de la estación.

### **PALABRAS CLAVES:**

- **SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE**
- **FMS 2101**
- **REPOTENCIACIÓN Y MODERNIZACIÓN**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO**

## **ABSTRACT**

The purpose of this titling project to repower and modernize the flexible manufacturing system FMS 2101 of the Department of Electrical, Electronics and Telecommunications of the University of the Armed Forces ESPE, which have a CNC turning, milling machine and a rail of slide linear. A diagnosis, maintenance and functional tests of the same is carried out. Once it is verified that the station components work correctly; a design and implementation of a: controller and interface for CNC machines, a main controller for the entire station and a command is carried out. The CNC controller and interface controls the machines, allowing all its actuators and gearmotors DC to be operated as if they were stepper motors; In addition, it allows you to connect to a computer and automatically machine a design that is implemented in G code. The main controller automates the production process at the station and controls the: CNC, rail of slide linear, control and a manipulator robot. The control allows an operator to interact with the station and mechanize manually in the CNC. Function tests of the FMS 2101 station and all its components are performed. Finally, a practice guide is proposed for students to initialize in the operation of the station.

### **KEY WORDS:**

- **FLEXIBLE MANUFACTURE SYSTEMS**
- **FMS 2101**
- **REPOTENTIATION AND MODERNIZATION**
- **AUTOMATION**
- **COMPUTER NUMERICAL CONTROL**

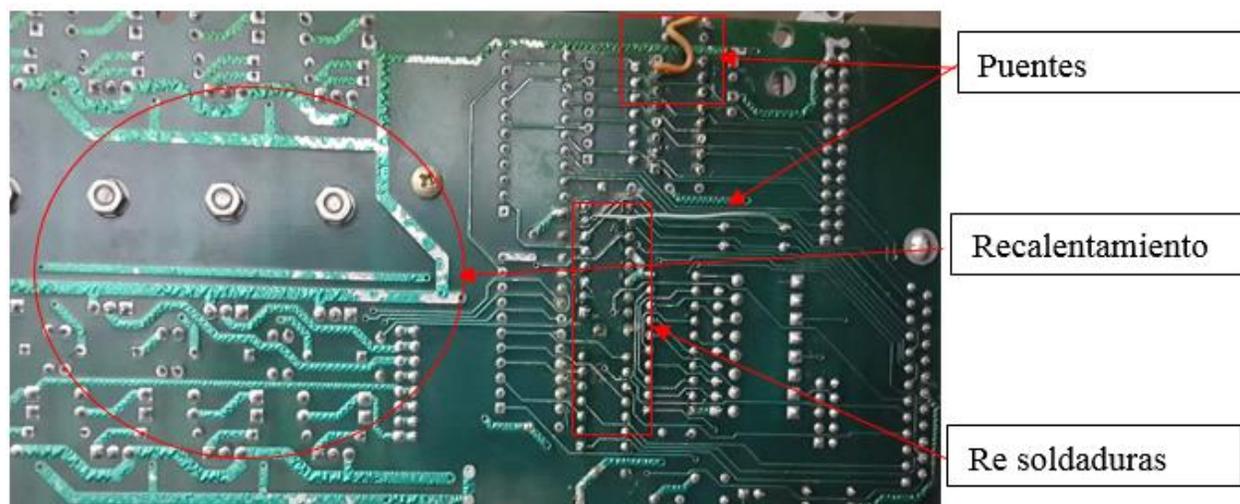
# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

### 1.1 Antecedentes

Los sistemas de fabricación flexible (FMS), son sistemas altamente automatizados, normalmente son un grupo de estaciones de trabajo, que permiten de manera integrada, reaccionar rápida y económicamente a los aspectos orientados a la producción de una empresa para hacer frente a cambios significativos en su entorno operativo. El conocimiento, la experiencia y la resolución rápida de problemas, de los estudiantes de electrónica automatización y control en el dominio de estos sistemas es determinante en el área profesional. debido a que para los FMS el rendimiento del tiempo impacta directamente en el presupuesto de fabricación de una empresa y con el crecimiento del mercado global, las empresas manufactureras compiten no solo por el costo y la calidad de fabricación sino también en el tiempo de comercialización. (Kashif Mahmood, 2017)

En la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, el departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones posee una estación de manufactura flexible (FMS 2101) que se utilizaba en el laboratorio de CIM para la capacitación de los estudiantes, en la Manufactura Integrada por Computadora (CIM). Se tiene registro en el repositorio de la Universidad que el último proyecto realizado en la estación es de hace 9 años atrás. (P. Córdor Chicaiza, M. Enriquez Segovia, 2010). La estación se dejó de utilizar con la llegada del Sistema Altamente Automatizado (HAS-200), adicionalmente el hardware controlador de los robots CRS-A255 y las tarjetas de control de la estación comenzaron a tener fallas y dejaron de funcionar como se muestra en la *Figura 1*.



**Figura 1.** Estado tarjeta de control NCL 2000.

Además, el software y el hardware de la estación se volvieron obsoletos por ejemplo: el software de control requería de una computadora SIEMENS, para que la máquina realice cualquier diseño se requería guardar el código M en un disco de 3 1/2 para su funcionamiento, Actualmente no se cuenta con la computadora ni con el software mencionado. El último proyecto realizado en el software de la estación, es de hace 13 años. (W. Peña Ortega, C. Proaño Raza, 2006)

Anteriormente se integró un PLC a la estación con el propósito de añadir un elemento industrial para la automatización, también para incluir una plataforma robusta, segura y que incluya comunicación mediante Ethernet. (P. Córdor Chicaiza, M. Enriquez Segovia, 2010) Sin embargo todas estas mejoras se han perdido ya que actualmente no se encuentra el PLC en la estación, solamente se aprecia un módulo de relés y cables desconectados que se desconoce su función. Ver *Figura 2*.



**Figura 2.** Módulo de relés y cables desconectados de la estación.

Con el tiempo se desarrollaron dos proyectos de titulación, en el que se repotenciación dos estaciones: NCM 2000 y NCL 2000, pertenecientes al laboratorio de CAD/CAM de la Universidad, ambos proyectos se desarrollaron en máquinas similares a las que conforman la estación FMS 2101, en la máquina NCM 2000 se realizó el proyecto en el año 2013. (Marcillo, 2013) Y en la otra máquina NCL 2000 en el año 2015. (Guayasamín, 2015) Ambos proyectos de titulación repotencian las estaciones debido al fallo de los actuadores y a que los controladores de la estación se encuentran obsoletos.

Actualmente la estación FMS 2101 se encuentra en el laboratorio de Robótica y PLC del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Como se muestra en la *Figura 3*.

La estación ha sido inspeccionada visualmente sin energía, posteriormente se constata el funcionamiento de sus actuadores mediante la alimentación externa. Constatando la posibilidad de la realización del presente proyecto.



*Figura 3.* Estación FMS 2101 en el laboratorio de robótica y PLC

## 1.2 Justificación e importancia

La evolución tanto de las industrias, la web y la educación a lo largo del tiempo han estado íntimamente relacionadas, pero siempre se ha caracterizado por un desfase entre ellas, siendo la educación la que evoluciona al final de todas ellas. Actualmente la industria 3.0 se encuentra a punto de enfrentarse a la reorganización de la industria 4.0, pero la web y la educación 3.0 que actualmente están vigentes aún siguen en desarrollo. Sin embargo, se puede mirar el mundo actual en las habilidades y competencias más relevantes para los estudiantes: estas deben ser aquellas que puedan soportar las auto-actualizaciones, autoajustes-continuos y progresivos, que sean transferibles y directamente aplicables en diversos entornos sociales, comerciales y profesionales. (C. Demartini, L. Benussi, 2017)

Estas competencias deben ser adquiridas por los estudiantes durante su formación como ingenieros y deben enfocarse en aspectos básicos de la futura industria 4.0 como: big data, robótica autónoma, ciberseguridad, fabricación aditiva, realidad aumentada, simulación de procesos, sistemas para integración vertical y horizontal, internet de las cosas, cloud computing. Para que al momento de terminada su formación académica, los estudiantes sean competitivos profesionalmente.

Una manera para que desarrollen estas habilidades, conocimientos y experiencias sobre la industria 4.0, es realizando prácticas de laboratorio con las herramientas adecuadas, como la estación FMS 2101 que cuenta con el potencial de capacitar sobre: manufactura flexible, mecanizado, robótica industrial. Pero es necesario su repotenciación y actualización para ser utilizada con este propósito.

La importancia de este proyecto se encuentra en la rehabilitación de la estación FMS 2101 que esta desaprovechada y que permitirá a los estudiantes, capacitarse sobre los principios mencionados de la industria 4.0 y los sistemas de fabricación flexibles (FMS), permitiendo realizar prácticas en la estación y aprovechar sus capacidades de flexibilidad de enrutamiento; que consiste en la capacidad del sistema de cambiar para producir nuevos tipos de productos y la capacidad para cambiar el orden de las operaciones ejecutadas; (A. De Toni, S. Tonchia, 1998) de esta manera podrán adquirir competencias y experiencias en: sistemas FMS, la robótica, la automatización de procesos, flexibilidad en la producción y la realización de prototipos.

Adicionalmente con la estación en funcionamiento, a futuro permitiría trabajar coordinadamente en red con las demás estaciones KUKA. Así a futuro integrar la segunda categoría de los sistemas FMS que es: la flexibilidad de la máquina; que consiste en la capacidad

de usar varias máquinas para realizar la misma operación en una parte, así como la capacidad del sistema para absorber cambios a gran escala, como el volumen, la capacidad o la cantidad. (A. De Toni, S. Tonchia, 1998)

### **1.3 Alcance**

Este proyecto tiene como finalidad repotenciar y actualizar la estación FMS 2101, que consta de una máquina de fresado de nombre NCM 2000, una máquina de torneado de nombre NCL 2000 y un solo riel de desplazamiento lineal, que se encuentran a cargo del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la ESPE matriz, para las asignaturas de Robótica Industrial y Robótica Social de las carreras afines.

Se pretende diagnosticar, dar mantenimiento y verificar visualmente el estado actual de las máquinas y los componentes de la estación FMS 2101 como se muestra en el Anexo A Diagramas del diseño inicial propuesto para la estación FMS 2101, realizar un diagnóstico de los componentes móviles, desarmar la estación, realizar un mantenimiento y posteriormente rearmar la estación. Verificar visualmente el funcionamiento de los circuitos de control, potencia y actuadores eléctricos, electrónicos y neumáticos mediante la energización de estos con una fuente de alimentación externa. Realizar ingeniería inversa de los circuitos electrónicos de control de: la máquina de fresado NCM 2000, la máquina de torneado NCL 2000 para determinar la estrategia de control utilizada y aplicar este conocimiento en el nuevo hardware que se va a diseñar.

Utilizando un controlador por ejemplo: tarjeta controladora, PLC o tarjeta de adquisición de datos, se propone controlar el proceso y funcionamiento de todos los componentes de la estación como: la fresadora NCM 2000, el torno NCL 2000, el riel de desplazamiento lineal, en base a los

dispositivos de maniobra con los que cuenta la estación y una interfaz humano máquina, como se muestra en el Anexo A. Diagramas del diseño inicial propuesto para la estación FMS 2101.

Se empleará un driver para el control de los motores DC de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000, este contará con un control principal retroalimentado con encoders y etapa de potencia. Se propone que el sistema integre un hardware que se conectará a una computadora mediante una interfaz de comunicación para el control con un software CNC, tanto la comunicación como el software dependerán del análisis y dimensionamiento del hardware. El control de la estación podrá ser realizado en una sola computadora o en tres para que cada estudiante pueda manejar a detalle cada componente de la estación, como se muestra en el Anexo A. Diagramas del diseño inicial propuesto para la estación FMS 2101.

Finalmente se pretende realizar una guía de inicialización para el estudiante que permita una adecuada operación de la estación y una introducción al aprendizaje de torneado y fresado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

- Efectuar una repotenciación y modernización a la estación FMS 2101 del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para que sea aprovechada y utilizada como una herramienta del laboratorio en el aprendizaje de los estudiantes.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- Detallar el diagnóstico, reparación, mantenimiento y verificación del funcionamiento de: la máquina de fresado NCM 2000, la máquina de torneado NCL 2000, el riel de desplazamiento lineal de la estación FMS 2101.
- Diseñar y construir un controlador de motores DC para la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000.
- Integrar un controlador para la automatización de la estación FMS 2101 y seguridad de los usuarios.
- Crear una guía de inicio para el aprendizaje en la operación de la estación FMS 2101.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Introducción a los sistemas de manufactura flexibles FMS o SFM.**

Una estación de manufactura flexible (FMS) es el conjunto de máquinas CNC, transporte de materiales y equipos auxiliares, interconectados y controladas automáticamente en su conjunto por un computador central, permitiendo la fabricación de piezas de forma automática.

Los estación de manufactura flexibles (FMS) puede producir un conjunto de piezas que tengas atributos, propiedad, características y especificaciones en común, lo que permite fabricar piezas de forma aleatoria, optimizar la producción, disminuir los tiempos de fabricación, fabricar piezas con de alta calidad y precisión, disminución de personal y otros beneficios

La desventaja es el alto costo inicial en equipos, en sistemas de transporte, en software y reestructuración completa de la producción por familias de piezas. (Angulo, 2001), (DEGEM)

#### **2.1.1 Componentes de un FMS.**

##### **2.1.1.1 Materiales.**

Se refiere a las piezas que van a fabricar, las herramientas y los accesorios de sujeción. Las piezas deben diseñarse para facilitar su montaje, fabricación y la eliminación de materiales en exceso. Las herramientas utilizadas deben ser estandarizadas y de fácil montaje para reducir tiempos de cambio y ensamblado.

##### **2.1.1.2 Máquinas.**

Los tipos de máquinas dependen de la producción que se realice, en los puestos de trabajo se utilizan máquinas de mecanizado tales como tornos, fresadoras e incluye alguna otro máquina

automatizada de control para medición y limpieza. Otros tipos de puesto de trabajo FMS podrían incluir control numérico por computador CNC, laminado, prensado, forjado, entre otros. Estos deben tener un alto rendimiento para soportar condiciones de trabajo duras y constantes, además las maquinas deben ser de alta precisión y estabilidad térmica.

#### **2.1.1.3 Transporte de material.**

Un FMS consigue ser flexible con el manejo de materiales, del almacenamiento, de la recuperación del producto y de los cambiadores automáticos de piezas y herramientas, la utilización de un sistema de identificación permite la administración, secuenciación y ejecución de un programa específico requerido en cada máquina, para conocer en cada momento el estado de las piezas que se están fabricando.

#### **2.1.1.4 Control del proceso**

Un computador central realiza el control de los procesos para la elaboración de una pieza o producto, el computador central realizará las funciones de alimentación, control y coordinación de los elementos del sistema, para cumplir con este objetivo se requiere programas de software adecuados que garanticen la operación del sistema de manufactura flexible (FMS). EL Sistema de Control Flexible (FMS) es constituido por dispositivos electrónicos (actuadores y sensores) conectados a dispositivos CNC, los mismos están conectados al computador central a través de una red de comunicación de datos. Todos los dispositivos de control disponen de programas, donde se encuentra el código adecuado para garantizar el funcionamiento de cada máquina.

#### 2.1.1.5 **Mano de obra**

Las estaciones de fabricación flexibles son sistemas altamente automatizados, pero es necesario recursos humanos para su operación y mantenimiento. El factor humano se encargará de controlar y mantener los sistemas de fabricaciones flexibles en funcionamiento.

#### 2.1.1.6 **Gestión**

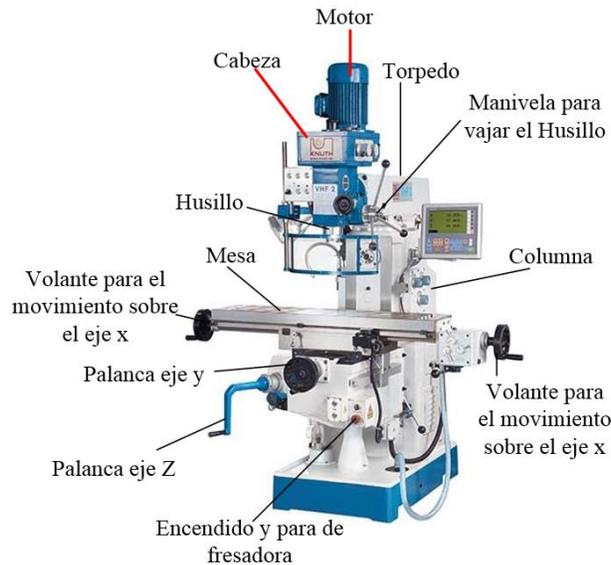
La gestión son todas las acciones o tramites que permiten el correcto funcionamiento de las FMS. Se tienen varios ámbitos que se deben administrar como las herramientas, materiales, recursos, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. También el análisis de la simulación de fabricación, estudio de colas, sobrecarga de máquinas, almacenes, utilización de máquinas. La transmisión de todos los datos generados a los ordenadores centrales de gestión. Y la elaboración de inventarios, estadísticas e informes. (Angulo, 2001), (Bilbao)

#### 2.1.2 **Fresadora**

La fresadora es una máquina utilizada para extraer viruta por medio de una fresa, la misma que gira dando forma y moldura a una pieza.

El fresado posibilita producir una o más superficies trabajadas exactas en la pieza de original. Se puede mecanizar distintos tipos de materiales, también superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras y de dentado. Las partes de una fresadora se observa en la *Figura 4*.

### 2.1.2.1 Partes de una fresadora



**Figura 4.** Partes de una máquina fresadora

Fuente: (Knuth-USA)

- Base: Sirve para soportar, dar rigidez y estabilizar a la fresadora.
- Volantes para movimientos sobre ejes X, Y y Z: Se facilita desplazamiento en dirección a x, y o z.
- Mesa: Sirve para colocar el soporte donde irán las piezas que van a ser mecanizados.
- Columna: Es la parte más grande de la máquina, se extiende desde la base hasta el torpedo y les suministra apoyo.
- Torpedo: El torpedo se encarga de unir el cabezal a la columna.
- Cabezal: En el cabezal están instalados piezas importantes como el motor, el husillo y el árbol.

- Manivela: es un volante permite girar los husillo que desplazan los ejes X, Y y Z de la fresadora.
- Husillo: es la pieza que hace girar la herramienta de corte.
- Motor: es motor es el encargado de hacer girar el husillo.

#### 2.1.2.2 Tipos de fresadora

Las fresadoras se clasifican según los siguientes aspectos: orientación del eje de giro o número de ejes de operación. La clasificación más usual son fresadora horizontal, fresadora vertical, fresadora horizontal universal.

#### 2.1.2.3 Funcionamiento de la fresadora

- Movimiento de la herramienta: El movimiento básico de la herramienta es el giro sobre su propio eje.
- Movimientos de la mesa: La mesa consta de varios movimientos automáticos o manuales que se pueden desplazar de forma longitudinal acorde al eje X, transversal al eje Y y vertical al eje Z.
- Movimiento relativo entre pieza y herramienta: Se clasifica en tres el movimiento de corte, el movimiento de avance y el movimiento de profundización.

#### 2.1.2.4 Características técnicas de la fresadora

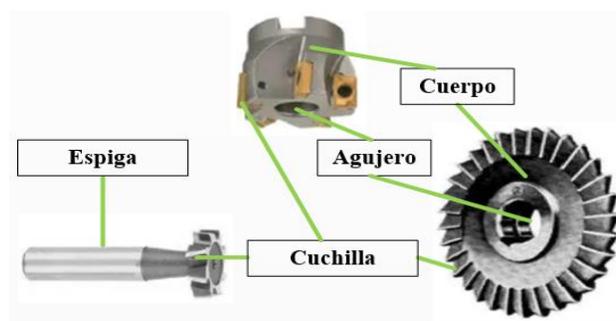
En las especificaciones técnicas que se debe considerar entre otras las siguientes características: El área de la mesa y así como la distancia del desplazamiento de los elementos determina las dimensiones de las piezas a mecanizar. Las piezas a ser mecanizadas establecen los

movimientos que deben realizar los distintos ejes de la fresadora, estos movimiento pueden ser realizados manual o automáticamente dependiendo del tipo de fresadora que se desee adquirir, además, se debe considerar los diámetros de fresas a ser utilizadas para el fresado, lo que determinara el diámetro del husillo, la potencia del motor, el tipo de cabeza y de demás elementos de la fresadora. Las especificaciones de la fresadora también deben incluir todos los elementos de seguridad, como paros de emergencia, protecciones de elementos móviles y de corte. (Kike, 2017) (Mecafenix, 2018)

#### 2.1.2.5 Herramientas de fresado

Las fresas son herramientas de corte giratorias utilizadas para mecanizar piezas con las fresadoras, aunque, también se puede utilizar brocas como herramienta de la fresadora. *Figura 5.*

Las fresas son herramientas de corte de forma, material y dimensiones variadas que se fabrican para elaborar piezas con distintos perfiles. La fresa se determina por la forma, material fabricado, diámetro, cantidad de cuchillas y a la forma como se acopla a la máquina. Las fresas son herramientas de corte formadas por cuchillas o filos de corte, ubicados simétricamente al contorno de su eje, los filos cortantes se incrustan y deslizan en la pieza a mecanizar para desprender el material en forma de viruta. (Solís, 2013)



**Figura 5.** Tipo de fresas y sus partes.

Fuente: (Solís, 2013)

### 2.1.3 Tipos de fresas

Existen muchos tipos de fresas que pueden clasificarse conforme al tipo de fresadora, tipo de montaje, forma del diente, construcción, material, entre otras. Las fresas se clasifican conforme al trabajo específico que realizan en fresadoras horizontales; por ejemplo: fresa de forma, fresa cilíndrica para planear, fresa cilíndrica para corte lateral y fresa tipo sierra. *Figura 6 y Figura 7.*



**Figura 6.** Clasificación de fresas conforme el trabajo específico en fresadoras horizontales

Fuente: (Solís, 2013) (Toll, s.f.)

#### 2.1.3.1 Clasificación de las fresas según el trabajo específico en fresadoras Verticales o de Torreta

- Fresa de espiga o vástago: Las fresas de vástago es una herramienta de corte, conformada por un vástago cilíndrico liso o con dientes los cuales están provistos de bordes de corte tanto en la periferia como en el extremo. Estas fresas normalmente son usadas para copiado, matrices, ranurado, fresado de contornos y desbaste.
- Fresas de espiga: para rasurado en T y woodruft.
- Fresas con espiga cónicas: para realizar avellanados precisos de orificios
- Fresas con espiga angulares cola de milano (formas trapecoidales): para realizar ranurado y ensambles a cola de milano.



**Figura 7.** Clasificación de las fresas según el trabajo específico en fresadoras.

Fuente: (Solís, 2013) (Toll, s.f.)

#### 2.1.4 Normativas de seguridad para el uso de la fresadora

- Los conmutadores y mandos de puesta en marcha de la fresadora deben salvaguardarse para evitar la activación de forma involuntaria o accidental.
- Todos los elementos móviles de la fresadora deben estar correctamente cubiertos para evitar accidentes.
- Toda la instalación mecánica, eléctrica y electrónica debe estar conectada a tierra y protegida con interruptor termomagnético diferencial de sensibilidad adecuada.
- El área de trabajo destinado para la fresadora y su acceso debe ser adecuada, permitiendo una adecuada circulación y acceso del personal y materiales.
- Las pruebas de comprobación, medición, ajuste, y otras deben ejecutarse con la fresadora apagada. Durante la operación de la fresadora no se debe distraer en ningún momento.

(Arukasi, 2011)

#### 2.1.4.1 Antes de Comenzar a fresar

Antes de activar la fresadora e iniciar los trabajos de mecanizado, se deben considerar las siguientes recomendaciones:

- El mandril, plato divisor, o el módulo de sujeción de piezas, deben estar fuertemente sujetos a la mesa.
- La pieza a mecanizar debe estar perfectamente inmovilizada al módulo de sujeción.
- Que la fresa esté bien instalada en el eje del cabezal y fuertemente asegurada.
- La mesa no debe tener obstrucciones en su trayecto.
- Sobre la mesa de la fresadora no debe existir obstáculos que puedan toparse a la fresa en movimiento.
- Las carcasas de protección de los elementos móviles de la fresa, deben estar en su lugar y firmemente sujetas.
- Cuando se está ejecutando trabajos, se debe considerar la utilización de protecciones para la fresa, con el fin de prevenir accidentes por proyecciones de fragmentos, rotura de la fresa.

#### 2.1.4.2 Durante el fresado

- Durante el trabajo de mecanizado de forma manual o automática, las manos deben estar lejos de la fresa o de cualquier elemento móvil, además, no se puede poner ningún objeto sobre la mesa.
- No apartarse o descuidar el puesto de trabajo, no toparse la pieza en la que se está trabajando, no realizar ningún tipo de prueba, engrasado, ajuste y redireccionamiento del chorro de líquido refrigerante. Utilizar equipo de protección personal durante los trabajos de fresado,

guantes, gafas y botas. Se debe tener mucho cuidado con la manipulación de las fresas para evitar accidentes por cortadura. (Arukasi, 2011)

#### 2.1.4.3 Orden limpieza y conservación

- La fresadora debe estar en un buen estado de preservación, limpia y engrasada. Los repuestos, herramientas y accesorios de la fresadora deben estar adecuadamente almacenados y conservados, se debe mantener un adecuado ordenamiento para que sea posible identificar el repuesto, accesorio o herramienta que se necesite en el instante que lo requieran.
- El área de trabajo y los contornos de la fresadora deben mantenerse limpias y libres de obstáculos y manchas de aceite.
- El sitio de trabajo debe mantenerse limpio antes, durante y después de la operación de la fresadora.
- Las virutas y cualquier desperdicio deben ser retiradas normalmente durante el avance de la jornada de trabajo, al final deben quedar el sitio de trabajo y la fresadora limpias, se debe utilizar recipientes adecuados para almacenar los desperdicios del fresado. (Arukasi, 2011)

#### 2.1.4.4 Mantenimiento

- El mantenimiento preventivo o correctivo del sistema eléctrico de la fresadora debe ser realizado por un profesional.
- De existir un problema eléctrico se debe apagar la fresadora y llamar al profesional eléctrico.
- El cableado, conexiones eléctricas y sistemas electrónicos deben estar protegidos contra cortes y daños producidos por las virutas y/o herramientas. De existir algún inconveniente en este tema se debe solicitar ayuda profesional.

- Durante los trabajos de mantenimiento preventivo o correctivo de la fresadora, se debe colocar en el interruptor principal un cartel de “No tocar Peligro Hombres trabajando” y poner un candado en el interruptor termomagnético principal. (Arukasi, 2011)

#### 2.1.4.5 **Protección personal**

- El personal para realizar trabajos de presado debe estar perfectamente capacitado para ejecutar esa actividad.
- El personal debe utilizar ropa y equipo de protección personal (EPP), especialmente cuando se realice mecanizados en metales duros, quebradizos o que puedan desprender partículas.
- Para realizar trabajos de afilado de fresas se debe utilizar guantes y gafas de protección. Si penetra un cuerpo extraño en un ojo no lo frote; puede producir una lesión, diríjase rápidamente al médico.
- El retiro de virutas se la realiza con la fresadora apagada y no se la puede realizar con la mano, utilice brocha, cepillo o escobilla de goma y guantes.
- El personal debe estar vestido con ropa de trabajo bien ajustada, las mangas deben estar ajustadas a las muñecas, con elásticos o dobladas hacia adentro. Se usará calzado de seguridad con protección metálica. No se debe utilizar durante el trabajo de fresado, bisuterías o cualquier prenda que cuelgue. Además no se debe llevar cabellos largos ni sueltos, se debe recoger el cabello o barba con un moño o red. (Arukasi, 2011)

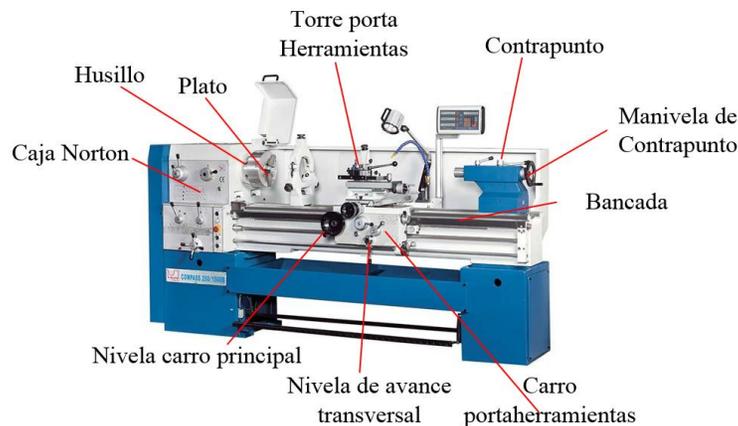
#### 2.1.5 **Torno**

##### 2.1.5.1 **Características generales del torno**

El torno es una máquina que permite mecanizar piezas de diferentes materiales que tengan forma similar a un cono o un cilindro.

El torno tiene tres movimientos básicos para dar la forma requerida a la pieza sin errores, movimiento de rotación, movimiento de avance y movimiento de penetración. Hay varias operaciones que se pueden realizar con un torno, que son: torneado, refrentado, mandrilado, entre otros. (REYES, 2010)

### 2.1.5.2 Partes de un torno



**Figura 8.** Partes de un torno

Fuente: (Machine tools)

- Bancada: Es la base del torno sobre ella están todas las partes del torno.
- Eje principal, husillo principal, mandril o plato: es la pieza encargada de sujetar y hacer girar la pieza que se está mecanizando.
- Carro longitudinal o principal: este carro se desplaza a lo largo de la bancada, hacia la izquierda o hacia la derecha.
- Carro transversal: es la parte encargada de acercar o alejar a la herramienta de corte de la pieza que se tornea.
- Carro auxiliar o portaherramientas: mecanismo móvil que sujeta la herramienta de corte.
- Caja Norton o caja de cambios: sirve para el ajuste rápido de las velocidades de giro del

mandril. (Goya) (REYES, 2010)

## **2.1.6 Tipos de torno**

### **2.1.6.1 Torno paralelo**

El torno trabaja en los planos horizontal y vertical (X, Y), a través del carro longitudinal que mueve el material hacia la pieza de corte y elabora torneados cilíndricos, y el refrendado se realiza mediante el movimiento del carro transversal de forma perpendicular de la pieza a mecanizar. Este tipo de torno realiza tareas propias del torneado, como taladrado, cilindrado, refrendado, roscado, conos, ranurado, escariado y moleteado entre otros.

### **2.1.6.2 Torno Vertical**

El torno vertical tiene colocados su eje verticalmente y un plato giratorio en un plano horizontal, diseñado para elaborar piezas de gran longitud y peso. El torno vertical carece de un contrapunto, la única posición existente para mecanizar las piezas está en el plano horizontal, por lo que se requiere sistemas de sujeción o fijación adecuados. (Goya) (REYES, 2010) (Pacheco Vega Juan Carlos, 2014)

### **2.1.6.3 Torno CNC**

Es un torno manejado por computadora, es utilizado para producción de piezas en serie y complejas. Es una máquina que ofrece una gran capacidad de elaboración y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque el trazado de la herramienta es controlada por un computador, el cual procesa información contenidas en un programa previamente diseñado. El torno CNC, permite trabajar de manera más rápida, efectiva y sin margen de error que los tornos convencionales, por tanto las fresas empleadas suelen ser de metal duro o de cerámica.

## **Funcionamiento torno CNC**

El funcionamiento de los tornos CNC se basan en 2 ejes (X, Y) o 3 ejes (X, Z, Y): El eje Z es el que corresponde al movimiento longitudinal de la herramienta en los trabajos de cilindrado. El eje X es el que realiza el desplazamiento transversal de la herramienta y corresponde a los trabajos de refrentado que es un movimiento perpendicular al eje longitudinal del torno. El eje Y en el caso de que el torno cuente con este corresponde a la altura de las herramientas del torno.

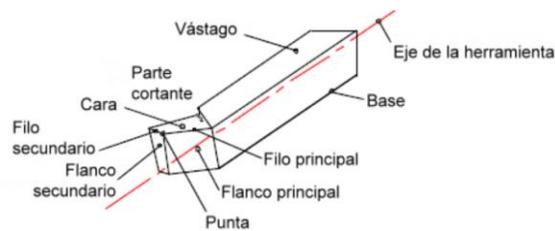
### **2.1.6.4 Funcionamiento del torno**

Una pieza se monta y fija al mandril del torno (entre el eje principal y el mandril). Se activa el torno que gira el mandril. Se desplaza los carros, donde está montada la cuchilla hasta la pieza. Con el carro auxiliar se desplaza la cuchilla hasta que toque la pieza y se desplaza el carro en el eje longitudinal.

La velocidad de giro del husillo principal es un factor importante, puede definir el volumen de producción y la duración de la herramienta de corte. Una velocidad baja del torno es poco eficiente en el tiempo; una velocidad muy alta puede hacer que la herramienta se desafilé muy pronto. Un equilibrio siempre es importante según las necesidades de producción. (Goya) (REYES, 2010) (Pacheco Vega Juan Carlos, 2014)

### **2.1.6.5 Clasificación de herramientas de torneado.**

Una de las herramientas más utilizadas en los tornos es el burril que se observa en la *Figura 9*, y algunas de sus partes, la parte que realiza el trabajo es el cabezal que cuenta con una parte cortante.

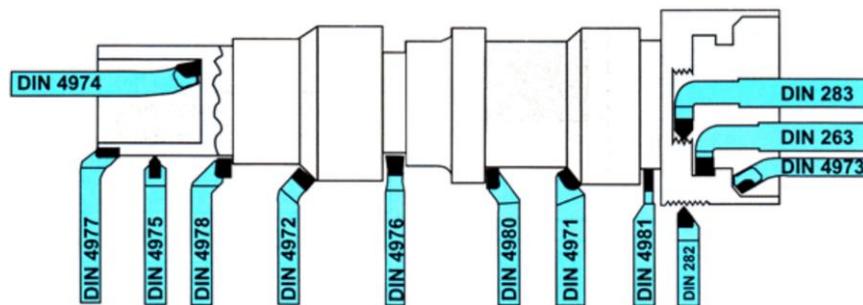


**Figura 9.** Partes de un buril

Fuente: (Herramientas, 2014)

La herramienta de corte deben tener alta dureza, incluso a temperaturas elevadas, alta resistencia al desgaste y gran ductilidad; estas propiedades dependen de los materiales con los cuales se fabrican las herramientas, ver *Figura 10*. Las herramientas de corte para torno pueden clasificarse:

- Según la dirección de avance de la herramienta: de corte derecho y de corte izquierdo
- Según el método de fabricación de la herramienta: enteras y compuestas.
- Según la forma del vástago de la herramienta: vástago recto y vástago acodado.
- Según el propósito o aplicación de la herramienta: cilindrado, refrentado, torneado cónico, roscado, torneado de forma, taladrado y escariado. (Goya) (REYES, 2010) (Pacheco Vega Juan Carlos, 2014)



**Figura 10.** Clasificación de fresas según normas ISO y DIN

Fuente: (Herramientas, 2014)

## **2.1.7 Normativas de seguridad.**

### **2.1.7.1 Generalidades.**

- Los interruptores y las palancas de embrague de los tornos, deben asegurarse para evitar un accionamiento involuntario o accidental.
- Las ruedas dentadas, correas de transmisión, acoplamientos, e incluso los ejes lisos, deben ser protegidos por carcasas protectoras, para evitar enganches o atascos.
- La instalación eléctrica del torno debe estar conectada a tierra, contar con interruptor termomagnético y diferencial de sensibilidad adecuada.
- Las pruebas, mediciones, correcciones, reemplazo de piezas, herramientas y otras, deben ser realizadas con el torno completamente apagado. (Arukasi, 2011)

### **2.1.7.2 Protección personal.**

- Para los trabajos de torneado se utilizarán gafas o mascarar de protección contra impactos, sobre todo cuando se mecanizan metales duros, frágiles o quebradizos.
- Si se introduce un objeto extraño en un ojo, no lo restriegue, puede provocarte una herida y se debe acudir inmediatamente al médico.
- Las virutas producidas durante el trabajo de mecanizado, nunca deben retirarse con la mano y para esto se empleara un desbarbador. Las virutas pequeñas se retirarán con un cepillo o rastrillo adecuado.
- La persona que va a realizar el torneado debe llevar ropa bien ajustada, mandil, sin cinturón y las mangas deben estar ajustadas a las muñecas. Se debe utilizar calzado de seguridad que

proteja contra los pinchazos y la caída de piezas pesadas. No trabajar en el torno con prendas colgantes o bisutería. Se debe evitar trabajar en un torno con cabellos sueltos, de hacerlo se deben recogerse con un moño, una red o gorra. (Arukasi, 2011)

### **2.1.7.3 Antes de comenzar el torneado.**

Antes de poner el torno en marcha para comenzar el trabajo de torneado, se realizarán algunas actividades como:

- Revisar que las mordazas del mandril estén correctamente aseguradas, y que no rozan otra ninguna pieza de la máquina, no olvidar retirar la llave de apreté del mandril.
- Revisar que la herramienta de corte, tornillos de ajustes y de fijación estén correctamente asegurada en el portaherramientas.
- Revisar que están bien sujetos los tornillos de fijación del carro que porta la herramienta.
- Si se utiliza contrapunto para el torneado, verificar que esté bien anclado a la bancada y que la palanca o tornillo de bloqueo del husillo del contrapunto está bien sujeta.
- Revisar que las carcasas protectoras y la pantalla transparente de protección contra virutas y taladrina estén correctamente instaladas.
- Revisar que no exista ninguna pieza o herramienta olvidada en el área de trabajo, que pueda caer, atorarse o salir disparada. (Arukasi, 2011)

### **2.1.8 CNC (Control numérico computarizado).**

Normalmente es una máquina de mecanizado que utiliza una computadora para controlar la posición de un elemento. En este proyecto específicamente las máquinas CNC controlan la

posición de una fresa y una cuchilla, las CNC son fabricadas para mecanizar materiales como madera, plástico, metal, fibropanel de densidad media MDF, entre otros. Automatizan secuencias industriales y fabrican piezas que manualmente no podían realizarse.

Durante la mecanización con máquinas CNC, las piezas a ser tratadas se sujetan a la mesa o mandril giratorio para que se mantengan firmes en el proceso, dependiendo del tipo de trabajo que se esté realizando una o varias herramientas pueden ser utilizadas. Una máquina CNC está compuesta por seis elementos fundamentales: código de la pieza son las instrucciones necesarias para fabricar una pieza, dispositivo de entrada es la interfaz por medio de la cual las instrucciones de pieza llega a la máquina, unidad de control de la máquina es la encargada de descifrar las instrucciones, sistema de accionamiento es la instrumentación del sistema, máquina es el componente mecánico encargado del mecanizado y operador es la persona que supervisa y controla el funcionamiento de la CNC. (CNCDIY, 2017)

### **2.1.9 Código G y Código M**

Los códigos G y M son instrucciones que corresponden a la programación utilizada para controlar máquinas CNC, como tornos, fresas, cortadoras, e impresoras 3D. Es un lenguaje de programación vectorial con el que se ordenan acciones específicas y formas geométricas simples, específicamente fragmentos de recta y arcos de circunferencia junto con sus medidas de maquinado que son las velocidades del husillo y el desplazamiento de la herramienta.

- Códigos G, agrupa todas las instrucciones de movimiento de la máquina, como movimiento rápidos, movimientos de mecanizado, etc.
- Códigos M, son las instrucciones misceláneas como encendido y paro del husillo, cambio de

la herramienta, paro de emergencia entre otros. (Kramer, 2000), (CADTECH, 1993)  
(CADTECH-Ltd, 1993)

#### 2.1.9.1 Comandos de los códigos G y M

- G38.3, G38.4, G38.5: instrucción utilizada para rastreo
- G40: instrucción utilizada para los modos de compensación del radio de corte
- G61: instrucción utilizada para modos de control de ruta
- G91.1: instrucción utilizada para modos de distancia arco
- G38.2: instrucción utilizada para el sondeo
- G43.1, G49: instrucción utilizada para las compensaciones de longitud de herramienta dinámica
- G0: instrucción utilizada para definir el movimiento lineal rápido, deslizamiento y posicionamiento rápido de la herramienta en un punto determinado, cuando no se está mecanizando.
- G1: instrucción utilizada para definir la Interpolación lineal durante el mecanizado,
- G2: instrucción utilizada para definir el recorrido circular (arco) o helicoidal en sentido de las manecillas del reloj.
- G3: instrucción utilizada para definir el recorrido circular (arco) o helicoidal en sentido contrario a las manecillas del reloj.
- G4: instrucción utilizada para definir el Tiempo de pausa o espera.
- G10 L2, G10 L20: Instrucciones utilizadas para establecer compensaciones de coordenadas de trabajo.
- G17: utilizada para señalar al control que se trabajara en el plano XY. El control toma este

comando por defecto, es decir que por defecto la máquina asume que se trabajará en el plano XY.

- G18: comando utilizado para indicar que se trabajara en el plano XZ.
- G19: comando utilizado para indicar que se trabajara en el plano YZ.
- G20: comando utilizado para indicar el uso de unidades imperiales (pulgadas).
- G21: comando utilizado para indicar el uso de unidades métricas (mm, cm).
- G28, G30: instrucción utilizada para desplazarse a una posición predeterminada.
- G28.1, G30.1: instrucción utilizada para establecer posición predeterminada.
- G53: instrucción utilizada para moverse en coordenadas absolutas.
- G54, G55, G56, G57, G58, G59: instrucción utilizada para definir el sistema de coordenadas de trabajo.
- G80: instrucción utilizada para cancelar el modo de movimiento.
- G90, G91: instrucción utilizada para definir los modos de distancia.
- G92: instrucción utilizada para el desplazamiento de coordenadas.
- G92.1: instrucción utilizada para borrar compensaciones del sistema de coordenadas.
- G93, G94: instrucción utilizada para los modos de avance.
- M0, M2, M30: instrucción utilizada para pausa y fin del programa.
- M3, M4, M5: instrucción utilizada para control de husillo.
- M8, M9: instrucción utilizada para control de refrigerante. (GitHub, 2019) (ESIME, s.f.)

### **2.1.10 GRBL.**

GRBL es un firmware para controlar el movimiento de máquinas CNC, está pensado para usarse en placas Arduino, ya que nos permite configurar el control y desplazamiento de una máquina. GRBL considera que todos los caracteres y los datos de transmisión enviados son código G y lo examinará e intentará procesarlos inmediatamente. GRBL también posee dos tipos de comandos de sistema separados que quedan fuera de la transmisión estándar de código G. Un tipo de comandos del sistema se transmite a GRBL como código G, anteponiendo el carácter “\$” para indicar a GRBL que no es un código G. Los tipos de comandos están compuestos por un conjunto especial de instrucciones que inmediatamente ordenan a GRBL que haga una tarea en tiempo real. Estos comandos no es parte del flujo de código G. Los comandos del sistema de GRBL hacen cosas como, informar que está haciendo, inspeccionar el estado de la máquina, informar parámetros guardados, almacenar o imprimir la configuración de la máquina, ordenar que la máquina se desplace más rápido o más lento de lo establecido. (GRBL, 2011)

### **2.1.11 UGS (Universal Gcode Sender)**

Es una plataforma de Código G con todas las funciones necesarias para interactuar con controladores CNC como GRBL o Tiny G. Universal Gcode Sender está desarrollado en el lenguaje de programación Java. Es un software gratuito pero acepta donaciones para su mantenimiento. El software UGS está construido sobre la plataforma Netbeans que permite aprovechar sus características. Las características más importantes de UGS son:

- Multiplataforma se puede utilizar en: Windows, OSX, Linux y Raspberry Pi.
- Archivo .JAR ejecutable: solo es necesario Java para iniciar el programa

- Visualizador 3D Gcode.
- Realiza estimaciones de duración del tiempo de mecanizado. (Winde, s.f.)

### **2.1.12 Microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito integrado que está formado por un microprocesador llamado CPU, memorias ROM y RAM para el programa y variables, puertos de entrada y salida que pueden o no tener diferentes funcionalidades programables.

Un microcontrolador ya tiene en el propio integrado los periféricos y memoria necesario para funcionar, son comúnmente utilizados para realizar el control de máquinas específicas que no requieren grandes cálculos ni procesamiento. Los lenguajes de programación para un microcontrolador normalmente es el ensamblador, pero también existe la posibilidad de utilizar código C u otros lenguajes. Un microcontrolador se utiliza para aplicaciones en proyectos de ingeniería, pruebas, robots, etc Actualmente los microcontroladores se los puede encontrar en los lugares menos esperados. (HETPRO, 2017)

### **2.1.13 Interfaz de comunicación serial RS232.**

Es una interfaz diseñada para la transmisión y recepción utilizada en comunicaciones serial, esta interfaz puede ser utilizada a una distancia no mayor a 15 metros y a una velocidad máxima de 19,200 bps. Es una forma de comunicación industrial que se utiliza en distancias cortas debido a que es vulnerable al ruido aditivo. (Américas)

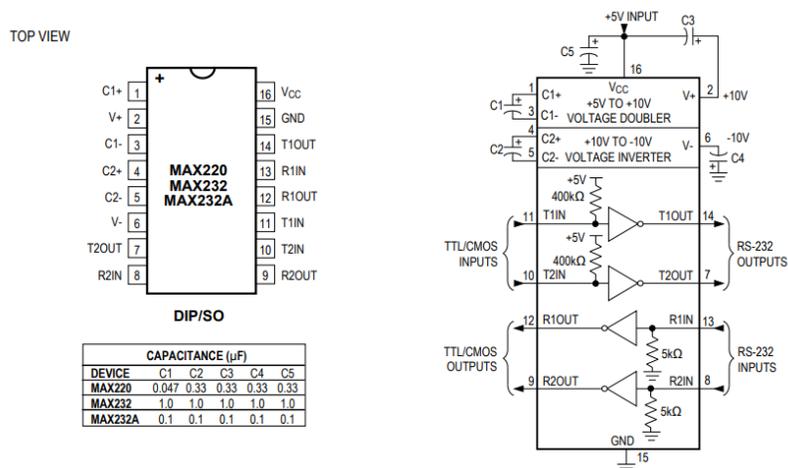
#### **2.1.13.1 Integrado MAX232**

El circuito electrónico MAX232 convierte las señales de comunicación seria en señales de la normativa EIA / TIA-232E y V.28 / V.24. Un diagrama esquemático *Figura 11*.

- La familia MAX220 – MAX249 están diseñados para utilizar la comunicación con interfaz EIA / TIA-232E y V.28 / V.24, cambiando las señales a TTL de circuitos lógicos, se utilizan particularmente en aplicaciones donde no hay disponible  $\pm 12V$ .
- El MAX225, MAX233, MAX235, MAX245, MAX246 y MAX247 no utiliza componentes externos y se recomienda para aplicaciones donde el espacio de la placa de circuito impreso es crítico.
- Los MAX220-MAX249 se ofrecen en 26 paquetes diferentes con temperaturas de 0 a + 70 ° C hasta -55 ° C a + 125 ° C.
- Se utilizan en: traducción de interfaz, redes multipunto RS-232, equipo de diagnóstico portátil.

#### 2.1.13.2 Ventajas y características

- Ahorra espacio en la placa.
- Elimina la necesidad de un suministro bipolar de  $\pm 12V$ .
- Permite la operación con un único voltaje de suministro de + 5V.
- Ahorro de energía.
- En apagado consume una potencia de 5 [ $\mu W$ ]. (Integrated, 2019)



**Figura 11.** Circuito electrónico MAX232

Fuente: (Integrated, 2019)

### 2.1.14 Codificador o encoder

Está compuesto por un fototransistor, un diodo emisor de luz (Led) y un disco con agujeros, que colocado el disco en un eje gira y dependiendo cuando active y desactive del fototransistor enviara señales. Se utilizan para proporcionar la posición, velocidad y aceleración del rotor de un motor.

Hay dos categorías de codificadores de posición, los incrementales y los absolutos. El encoder incremental que genera señales digitales cada vez que la marca del disco interrumpe o permite el paso de luz hacia el sensor óptico a medida que el disco rota. Cuando se activa un encoder incremental, no indica la posición angular absoluta. Un encoder absoluto señala sin equívoco su posición absoluta, en otras palabras cuando un encoder absoluto se activa, indica su posición angular sin requerir de un punto de referencia o movimiento. (Requena, 2009)

### 2.1.15 Definición y tipos de filtros electrónicos

Un filtro en electrónica es un circuito diseñado para atenuar, dejar pasar o eliminar un grupo de frecuencias de una señal eléctrica.

Los filtros pueden ser pasivos o activos. Los filtros pasivos están formados de capacitores, inductores y resistencias. Los filtros activos utilizan amplificadores operacionales, resistencia y capacitores, no se suele utilizar inductores.

#### 2.1.15.1 Filtro pasa altos y bajos

El filtro pasa altos permite el paso de las frecuencias superiores a la frecuencia de corte  $F_c$ , atenuando enormemente las frecuencias inferiores a dicha frecuencia. Y el filtro pasa bajos realiza el funcionamiento inverso al filtro pasa altos.

### 2.1.16 Filtro pasa bajo RC

Es un circuito formado por una resistencia y un condensador, que dejan pasar las frecuencias de una señal por debajo de la frecuencia de corte  $F_c$  y suprime las que sean superiores a  $F_c$ . La reactancia capacitiva  $X_C$  de un condensador cambian con la frecuencia, para frecuencias altas la reactancia capacitiva es baja, por tanto las señales con frecuencias superiores a  $F_c$  son atenuadas. Lo contrario sucede con las frecuencias más bajas de la frecuencia de corte, la reactancia capacitiva es grande, por tanto estas frecuencias se afectan un poco por el filtro. Utilizando la ley de Ohm:

$$V_{in} = I * Z = I * \sqrt{R^2 + CX^2}$$

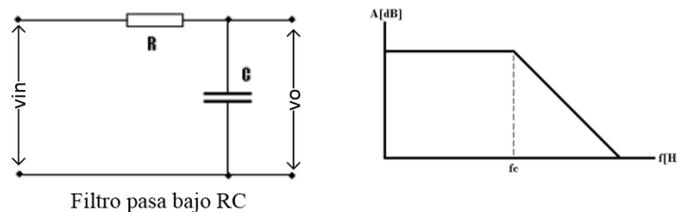
$$V_o = I * XC$$

$$V_o = \frac{V_{in}}{\sqrt{1 + (2\pi * f * RC)^2}}$$

Dónde:  $Z$  = impedancia,  $\pi = 3.14159$ ,  $f$  = frecuencia en Hertz,  $R$  = valor de la resistencia,  $C$  = valor del condensador. Cuando la amplitud de la señal de ingreso disminuye hasta un 70.7 % de su valor máximo se dice que esta es la frecuencia de corte, esto ocurre cuando  $X_C = R$ . (reactancia capacitiva = resistencia), en consecuencia, la frecuencia de corte será:

$$F_c = \frac{1}{2\pi * R * C}$$

Las frecuencias por debajo de la frecuencia de corte ( $F_c$ ) se llama banda de paso, y las frecuencias por arriba de  $F_c$  se llama banda de atenuación. (HETPRO, 2017)



**Figura 12.** Filtro RC pasa bajo.

### 2.1.17 Amplificador operacional

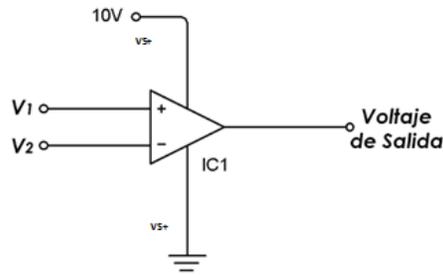
Es un componente electrónico muy utilizado en distintas aplicaciones de la electrónica analógica y digital, permite realizar operaciones tales como: suma, resta, integración, diferenciación y también para filtros activos. El amplificador está formado por dos entradas y una salida, la salida es la diferencia de las dos señales de entrada multiplicada por un factor de ganancia ( $G$ ). Un amplificador operacional tiene una alta ganancia de amplificación para una

señal de entrada, se alimenta con una fuente de voltaje de alimentación de corriente continua positiva y negativa esto permite que la señal de salida pueda obtener cualquier valor que se encuentre entre los voltajes de alimentación. El amplificador operacional se caracteriza por su respuesta en: frecuencia, ganancia y cambio de fase que se establecen por la realimentación externa introducida y por los límites máximos dados por el fabricante. Por su diseño, el amplificador operacional tiene una alta impedancia  $Z$  de entrada y una muy baja impedancia de salida.

Las configuraciones básicas de un amplificador operacional son: amplificador inversor, no inversor, diferencial, sumador inversor, integrador, diferenciador, seguidor de tensión y comparador.

#### 2.1.17.1 Amplificador operacional en configuración comparador

En la *Figura 13* se observa un esquema de un amplificador operacional en configuración de comparador. El funcionamiento básico del amplificador operacional en configuración comparador es el siguiente: Si a un amplificador operacional se coloca un voltaje fijo en el terminal inversor ( $V_2$ ), pero en el terminal no inversor ( $V_1$ ) se tiene un voltaje menor a dicho potencial, la salida del amplificador operacional tendrá el voltaje conectado a la alimentación negativa del amplificador, si en el terminal no inversor el voltaje es igual o mayor que el voltaje del terminal no inversor, en la salida del amplificado operación se tendrá el voltaje conectado a la alimentación positiva del amplificador. (Panamahitex, 2013)



**Figura 13.** Amplificador operacional en configuración comparador

Fuente: (Panamahitex, 2013)

## 2.1.18 Ruido

El ruido eléctrico se conoce como toda componente de tensión o corriente no deseada que afecta a una señal eléctrica. Esto incrementa los errores aleatorios en la señal cuando es medida. El ruido en los sistemas electrónicos es consecuencia de señales eléctricas imprevistas que se añaden en circuitos. El ruido se presenta en los circuitos eléctricos de alimentación, de potencia, entre otros. Pero generalmente, son un problema cuando se presentan en circuitos que transportan información. Los circuitos de datos son vulnerables al ruido, debido a que trabajan a altas velocidades y con niveles tensión bajos. Si la tensión de la señal es menor, más probable es que pueda ser afectada por ruido. La relación señal-ruido indica la cantidad de ruido que un circuito puede soportar antes de que la información sea afectada. (Santamaría)

### 2.1.18.1 Tipos de fuentes de ruido

El ruido de un sistema electrónico se puede clasificar en uno de los dos siguientes grupos:

- El ruido interno o inherente: Se generan en los dispositivos electrónicos como resultado de su composición física como el ruido electro térmico, ruido de semiconductor, ruido en amplificadores, ruido electroquímico, entre otros.
- El ruido externo o interferencias: Son perturbaciones producidas por otras partes del sistema o

por elementos exteriores, como por ejemplo el acoplamiento eléctrico o magnético, de origen eléctrico (capacitancias parásitas), magnético (inductancias mutuas), electromagnético (cada terminal, conexión o pista puede funcionar como una antena), sistemas naturales (tormentas, ruido ambiental), entre otros.

- El ruido externo o por interferencias puede ser periódico, intermitente o aleatorio.
- El ruido externo o interferencias se lo puede reducir disminuyendo el acople eléctrico o electromagnético, con blindajes, aumentando la distancia o con la reorientación de los diferentes componentes y conexiones. (Moyano, 2005)

#### **2.1.18.2 Técnicas de eliminación de ruido**

Las técnicas de reducción del ruido consisten en evitar la propagación de la fuente de ruido determinando y eliminando las señales no deseadas mediante filtros, a veces no es posible eliminar la fuente de ruido así que se puede seguir otras estrategias como atenuar el ruido en la señal, aumentando la relación de señal con respecto al ruido S/R aumentando el voltaje o corriente de transmisión de la señal, si es posible digitalizar la señal y transferirla mediante protocolos o interfaces de comunicación robustos, entre muchas otras técnicas que se pueden utilizar.

#### **2.1.19 Optoacopladores**

Un optoacoplador es un dispositivo semiconductor que cuenta con un fotoemisor, un fotoreceptor y entre estos componentes hay un camino donde se transmite luz que proviene del fotoemisor y es recibida por el fotoreceptor. Estos componentes están encapsulados para evitar cualquier perturbación externa.

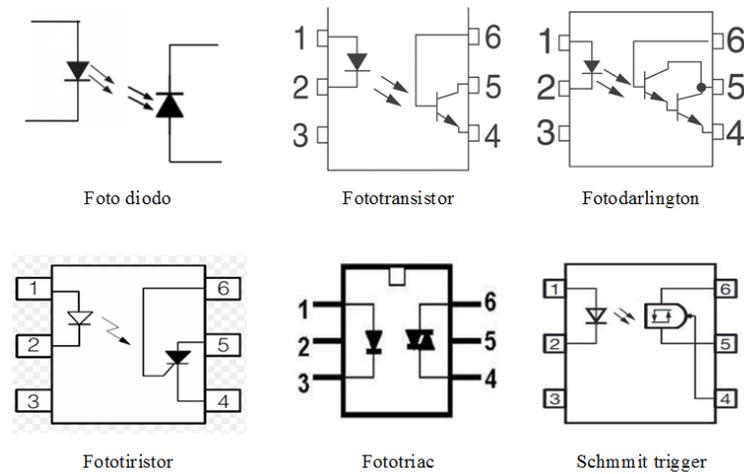
### 2.1.19.1 Funcionamiento del optoacoplador

El optoacoplador al recibir una corriente en la entrada del fotoemisor, lo que hace es transformar la señal eléctrica en señal luminosa modulada equivalente a la corriente de entrada y es transmitida hacia un sensor o fotoreceptor que detecta la señal luminosa y cuando la intensidad de luz llegue a un nivel adecuado el foto sensor entra en saturación dejando que la corriente circule por el circuito de salida. El momento que la corriente deja de circular por el Led emisor, el módulo fotosensible deja de conducir y se apaga. El optoacoplador trabaja normalmente como interruptor, proporcionando un aislamiento eléctrico a dos circuitos eléctricos que requieren comunicarse acoplándolos ópticamente.

### 2.1.19.2 Tipos de optoacopladores

Se observa la *Figura 14*, se puede clasificar conforme el dispositivo de salida con el que está fabricado el optoacoplador:

- Fotodiodo: está diseñado con un diodo a su salida.
- Fototransistor: está diseñado con un transistor a su salida, controla la corriente directa en su salida.
- Fotodarlington: está diseñado con un fototransistor en configuración Darlington a su salida, lo que permite en una gran ganancia de corriente.
- Fototiristor: es diseñado con un tiristor a su salida, se utiliza para manejar grandes cantidades de corriente y voltaje.
- FotoTRIAC: está diseñado con un tríodo para corrientes alternas o TRIAC a su salida, permite controlar corriente alterna en su salida. (Granada)



**Figura 14.** Tipos de optoacopladores

Fuente: (Granada)

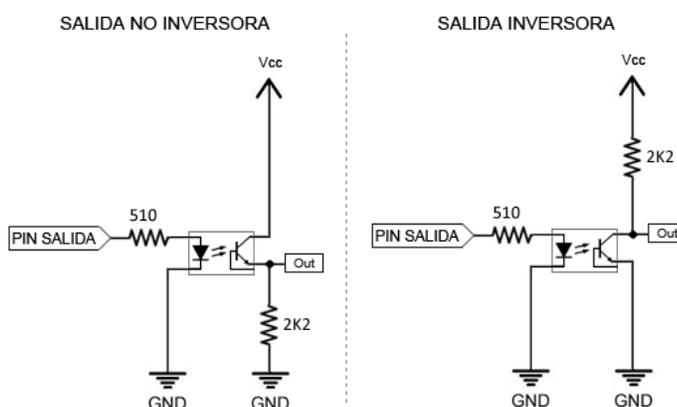
### 2.1.19.3 Optoacoplador es PC817

La serie PC817X contiene un Led ópticamente acoplado a un fototransistor. Está contenido en un empaquetado tipo DIP (paquete de doble hilera) de 4 pines, pero también se encuentra disponible en configuraciones para tecnología de montaje superficial SMD. El voltaje de aislamiento de entrada y salida es de 5.0k [V]. El voltaje del colector-emisor es de 80V y la relación de transferencia de corriente CTR es del 50% hasta 600% a una corriente de entrada de 5 [mA]. Algunas características importantes de este componente son:

- Encapsulado DIP de 4 pines.
- Alto voltaje colector-emisor  $V_{ceo} = 80V$ .
- Relación de transferencia de corriente (CTR: mínimo del 50% a  $I_f = 5 \text{ mA}$ ,  $V_{ce} = 5V$ )
- Varios rangos de CTR disponibles.
- Alto voltaje de aislamiento entre entrada y salida hasta 5.0k [V].
- Paquete de resina: grado de inflamabilidad UL (94V-0).

#### 2.1.19.4 Aplicaciones.

Aislamiento de entradas y salidas digitales de un microcontrolador, supresión de ruido en circuitos de conmutación, transmisión de señal entre circuitos de diferentes voltajes e impedancias, terminales de computadora, accesorios sistemas e instrumentos de medición, registradoras, fotocopiadoras, máquinas expendedoras automáticas, electrodomésticos, instrumentos médicos y entre otros. La configuración típica se observa en la *Figura 15*. (SHARP, 2003)



**Figura 15.** Configuración optoacoplador es PC817, salida inversora y no inversora  
Fuente (SHARP, 2003)

#### 2.1.20 Relés o relevadores

Es un componente eléctrico formado por un circuito electromagnético (electroimán) y un circuito de contactos, trabaja con el principio del electromagnetismo por lo que es un dispositivo electromecánico, funciona como interruptor, accionado eléctricamente por una bobina y un electroimán, permitiendo abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes a través de los contactos.

### 2.1.20.1 **Funcionamiento del relé**

El relé está básicamente fabricado con contactos abiertos (NC) y contactos cerrados (NO), al poner corriente por la bobina del relé, se produce un campo magnético y se crea un electroimán que hala los contactos para cambiar de posición, el contacto normalmente abierto se cierra y contacto normalmente cerrado se abre, al quitar la corriente en la bobina, los contactos regresan a su posición inicial.

El circuito de la bobina (circuito de control) cuando es accionado por corriente eléctrica cambia el estado de los contactos y el circuito de contactos (circuito de potencia) abre o cierra los contactos en respuesta al estado que se encuentre la bobina.

### 2.1.20.2 **Tipos de Relés**

Existen muchos tipos de relés creados para diferentes aplicaciones y necesidades, existen relés según el número de contactos, la corriente máxima que soporta, del tipo de corriente de activación AC o DC, del tiempo de activación y desactivación y muchos otros. Básicamente existen los siguientes tipos de relés: relés electromecánicos, estado sólido, de corriente alterna, de acción retardada y con retención de posición. Los relés que controlan grandes potencias se denominan contactores. (Granada)

### 2.1.20.3 **Aplicación de los relés.**

Las aplicaciones del relé son ilimitadas especialmente en la industria donde son ampliamente utilizados. También se los utiliza en circuitos eléctricos, circuitos de potencia como rectificadores, para la selección de circuitos eléctricos si existe más de un circuito en un sistema, construcción, fabricación, entre otros. (Granada)

### **2.1.21 Interruptor termomagnético**

Es un dispositivo que aprovecha los efectos del magnetismo y el calor, para producir la interrupción de la corriente eléctrica de un circuito eléctrico en el instante que se detectan valores que sobrepasan los límites establecidos por el tipo y las especificaciones técnicas del dispositivo. El propósito del dispositivo es proteger las instalaciones eléctricas y todos los equipos conectados a la misma en el momento que se produce un fallo. El interruptor termomagnético hace la misma función que un fusible, pero, al fallar un fusible este debe reemplazarse, en cambio el interruptor termomagnético no necesita ser sustituido.

#### **2.1.21.1 Funcionamiento de un interruptor termomagnético**

El Interruptor termomagnético está diseñado con una parte térmica y otra electromagnética, la parte térmica está hecha con dos láminas metálicas que tienen la propiedad de dilatarse y contraerse según la cantidad de corriente que circulan por ellas. Cuando la intensidad de corriente se incrementa, el metal emite calor y se dilata, lo que causa que el circuito abra y corte la circulación de corriente eléctrica. La parte magnética del dispositivo en cambio interviene en caso de originarse un cortocircuito, al aumenta de forma excesiva la intensidad de la corriente, se crea un campo electromagnético que produce una fuerza de atracción hacia el núcleo interior del dispositivo, el interruptor electromagnético se dispara, interrumpiendo la circulación de corriente; luego que se restituir la circulación de corriente de forma normal y se eliminando el origen de la falla, entonces solo se deberá levantar la palanca del interruptor termomagnético con el fin de restablecer el sistema interior del dispositivo y regrese a su funcionamiento normal. Existen interruptor termomagnético automáticos que no requieren se accione la palanca para que el dispositivo se restablezca y trabajo con normalidad. (Allen-Bradley)

### 2.1.21.2 Tipos de interruptores termomagnéticos y usos

Los tipos de interruptor termomagnético están determinados por la velocidad y el tiempo en que se disparan, como consecuencia del aumento de la intensidad de la corriente eléctrica. Entonces, hay dispositivos que operan por efecto térmico, los cuales son más lento, en cambio, los dispositivos de efecto magnético son más rápidos. La diferencia en cada tipo de interruptor, es el tiempo que necesitan para su disparo cuando la corriente excede el límite establecido por el tipo de dispositivo.

De curva B: trabajan por efecto magnético, cuando la carga excede en 3 veces la corriente nominal y por efecto térmico cuando excede 1,3-1,4 de intensidad. Se usan en edificios donde existen limitaciones de acceso.

De curva C: el corte se produce por efecto térmico con cargas de entre 1.1 y 1.4 veces la corriente nominal y de entre 3-5 veces de la tensión nominal. Es utilizado en domicilios, garajes y pequeños circuitos.

De curva D: este interruptor se dispara cuando la corriente nominal aumenta entre 1.1 y 1.4 en el caso del efecto térmico y entre 10-14 veces en el caso del efecto magnético. Se utiliza en la industria y maquinarias fijas.

De curva MA: para este interruptor, la desactivación de energía se causa cuando se superan en 12 veces la corriente nominal, por medio del efecto magnético.

De curva Z: se dispara cuando la tensión nominal es de entre 1.1 y 1.4 en la zona térmico y de entre 2.4 y 3.6 veces la zona magnética. (Allen-Bradley)

## **CAPÍTULO III**

### **DIAGNÓSTICO, MANTENIMIENTO Y FUNCIONAMIENTO**

En primer lugar se describe el estado previo a la realización del proyecto, para apreciar las condiciones iniciales, además de mostrar el estado de la estación desde el último trabajo realizado en la misma. Si bien se mencionó en los antecedentes los problemas de la estación, en este capítulo se los detalla.

Posteriormente, se realiza ingeniería inversa, donde se determina el funcionamiento de la estación para finalmente realizar pruebas sobre todos los actuadores y verificar su correcto funcionamiento para comenzar con el diseño.

#### **3.1 Estado anterior de la estación FMS 2101**

##### **3.1.1 Estado general**

El sistema de manufactura flexible (FMS) en el que se realiza la repotenciación se encuentra en el laboratorio de Robótica y PLC del departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. La estación FMS 2101, estación de manufactura flexible FMS 2101 o FMS2101, se encontró en las condiciones que se observan en la *Figura 16*.



**Figura 16.** Estación de manufactura flexible FMS 2101

Se procede a recabar e investigar información, características técnicas y funcionamiento de la misma. A la par de una revisión visual de la estación en general de sus: actuadores, componentes, mecanismos y sistema neumático, para comenzar con la repotenciación de la estación FMS 2101 se procede a identificar los componentes principales con los que cuenta en un inicio; de esta manera al finalizar el capítulo se podrá conocer los cambios que ha tenido para obtener el resultado final.

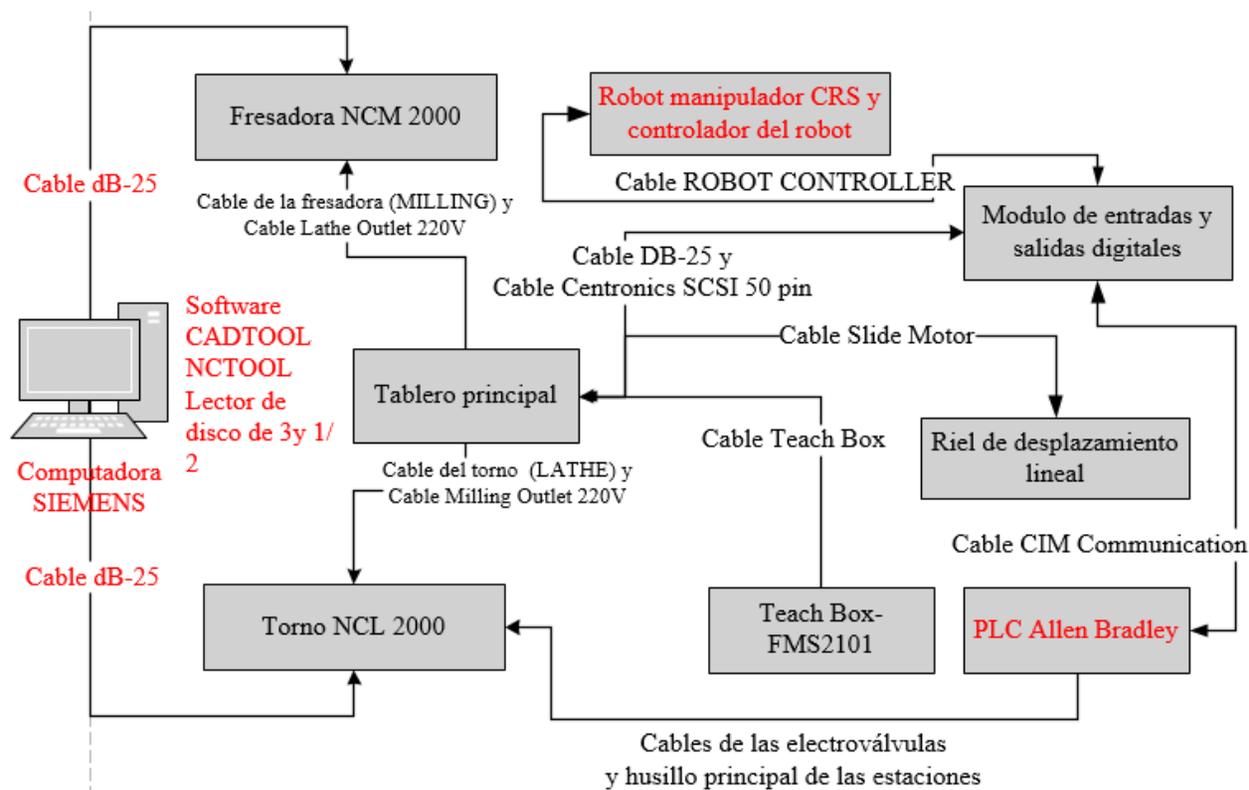
### **3.1.2 Componentes con los que cuenta la estación**

La estación FMS 2101 antes de la repotenciación cuenta con los siguientes componentes generales que se muestran en la *Figura 17*.



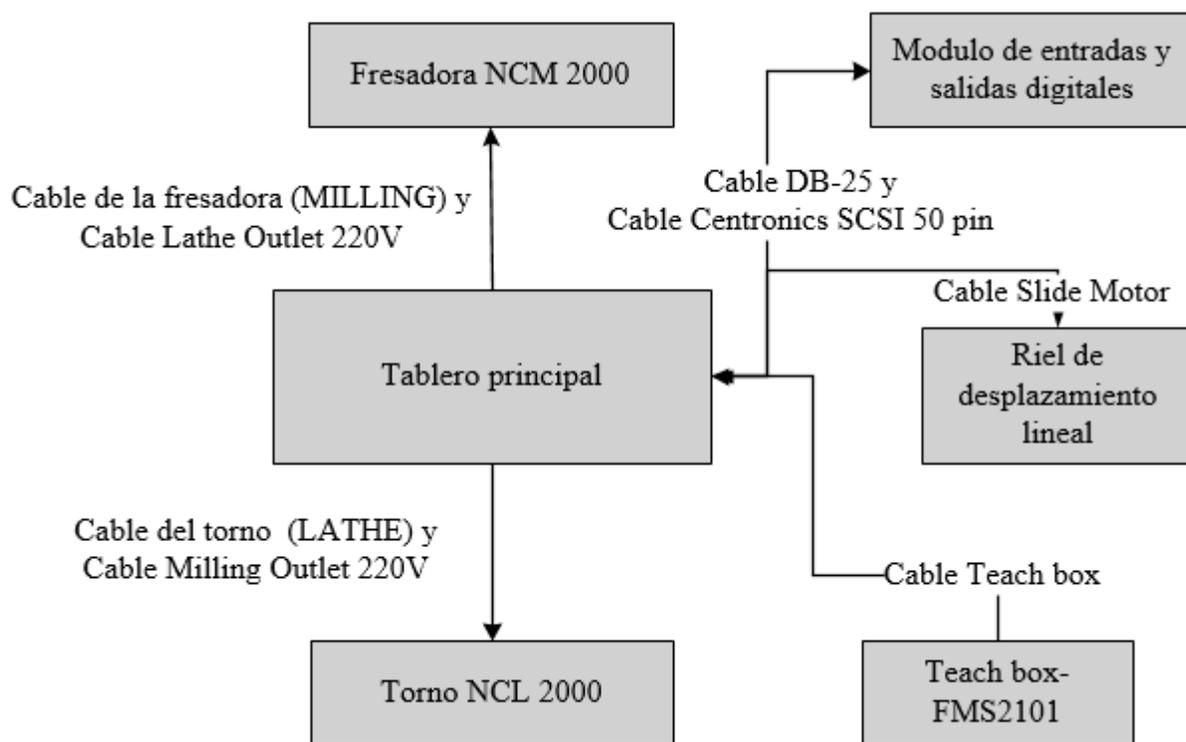
**Figura 17.** Componentes generales antes de la repotenciación de la estación FMS 2101.

La *Figura 18* se basa en la información previa obtenida de los proyectos anteriores, (P. Córdor Chicaiza, M. Enriquez Segovia, 2010); pero la estación se encontró sin varios de estos componentes, que se encuentran marcados en color rojo.



**Figura 18.** Anterior diagrama de la estación FMS 2101, previo a la repotenciación

Como resultado la estación con la que se encuentra, al inicio del proyecto, se muestra en el diagrama de bloques de la *Figura 19*.



**Figura 19.** Estado encontrado de la estación FMS 2101 previo a la repotenciación.

### 3.1.2.1 Estado anterior de la fresadora NCM 2000

En la *Figura 20* se observa la fresadora, a continuación se detalla las primeras observaciones realizadas a los componentes electrónicos de la parte trasera de la fresadora, se determina que no existe manipulación en estos componentes, sin embargo no existe ningún cable con el cual se pueda controlar la estación. El cable DB-25 que anteriormente se utilizaba para el control mediante una computadora, no está presente. Todos los circuitos se observan en buenas condiciones, no existe rastros de cortocircuitos o algún indicio de piezas que necesiten ser reemplazadas. Como se muestran en la *Figura 21*.



*Figura 20.* Torno NCL 2000 estado anterior y panel frontal



*Figura 21.* Circuitos electrónicos de la maquinada de fresado FMS 2101

El sistema neumático también es fácilmente identificable, se observa que las electroválvulas de la fresadora y el torno no cuentan con tapones como se ve en la *Figura 22*.



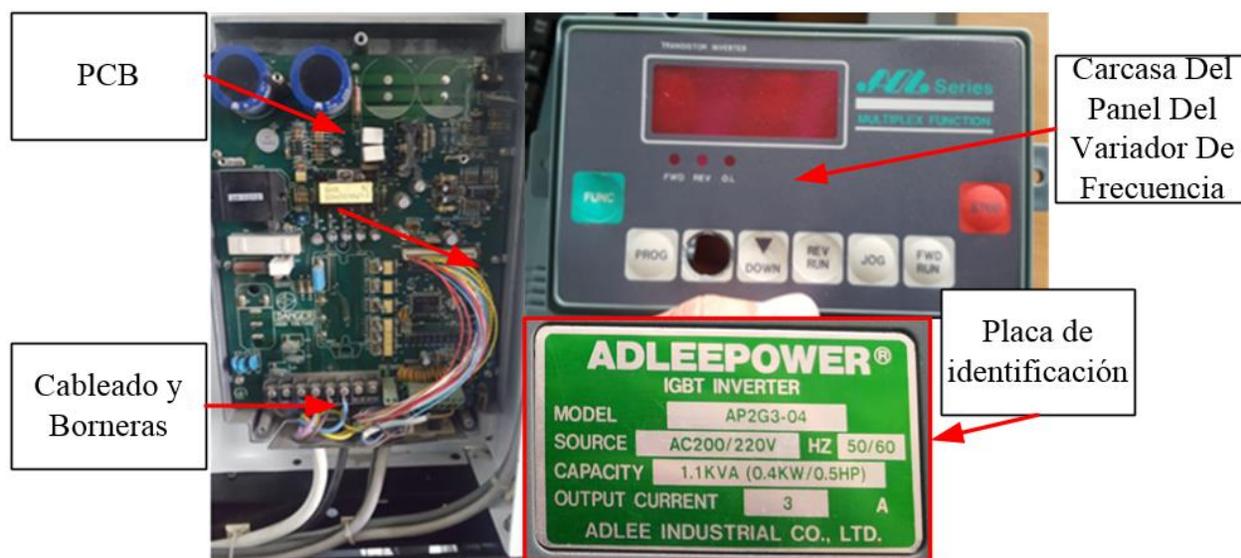
**Figura 22.** Electroválvulas de la fresadora no cuentan con tapones.

Revisando más a detalle las electroválvulas, se observa que los cables que se conectan a estas, se encuentran unidos a borneras que no están conectadas a ningún lugar; al igual que los fines de carrera de la estación. Como se observa en la *Figura 23*.



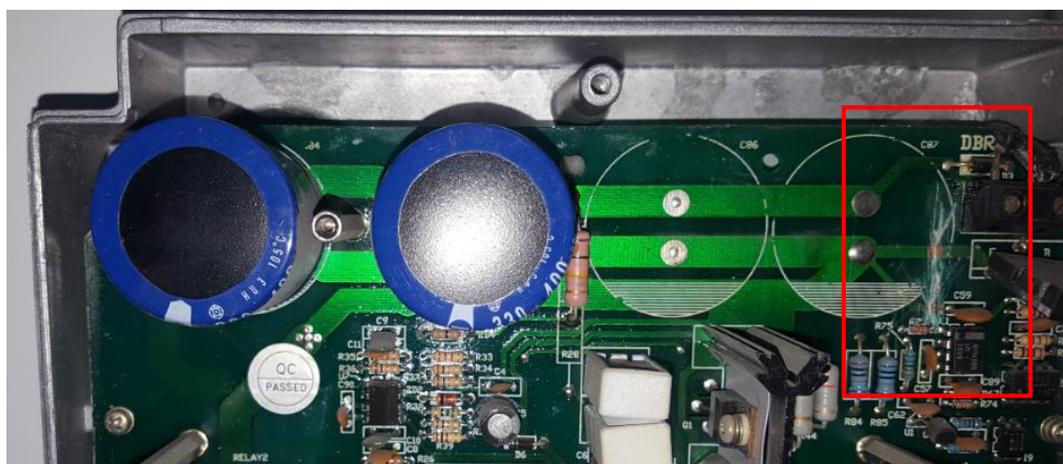
**Figura 23.** Cableado desconectado de las electroválvulas y finales de carrera.

Regresando a los circuitos de la máquina, más a la derecha se encuentra el variador de frecuencia AP2G3-04, sacando un tornillo permite observar: la placa de identificación del fabricante, una carcasa y el PCB (Placa de circuito impreso) del variador de frecuencia. Como se muestra la *Figura 24*.



**Figura 24.** Primer contacto con el variador de frecuencia de la fresadora.

En el variador de frecuencia de la fresadora llama la atención la parte superior derecha del PCB como se observa en la *Figura 25*, aparecen signos de manipulación y posiblemente daños causados. Los daños se obtendrán en el diagnóstico y el mantenimiento de la fresadora. Aparte de esto, todo luce normal en el variador de frecuencia tampoco parece existir evidencia de algún otro problema adicional.

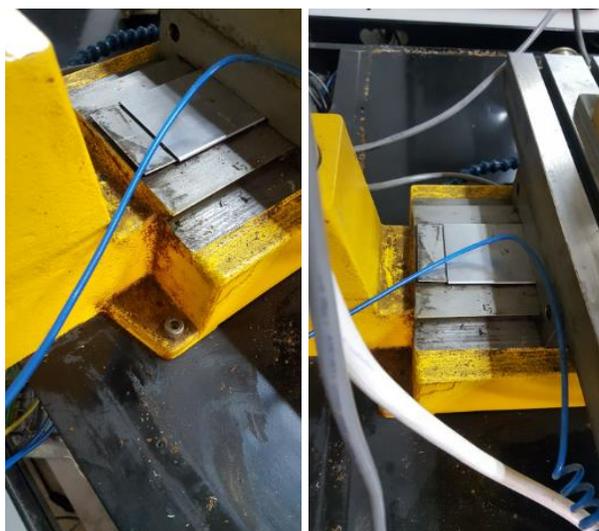


**Figura 25.** Daños en el PCB del variador de frecuencia

Retomando la revisión del FMS 2101, estando en la parte frontal de la fresadora, se abre la compuerta manualmente y se observa en primer lugar que la estación está llena de polvo y que aparentemente se encuentra en buen estado mecánico. En la *Figura 26* y *Figura 27* se muestra el estado encontrado de la estación.



**Figura 26.** Estado del Interior del Gabinete de la fresadora.

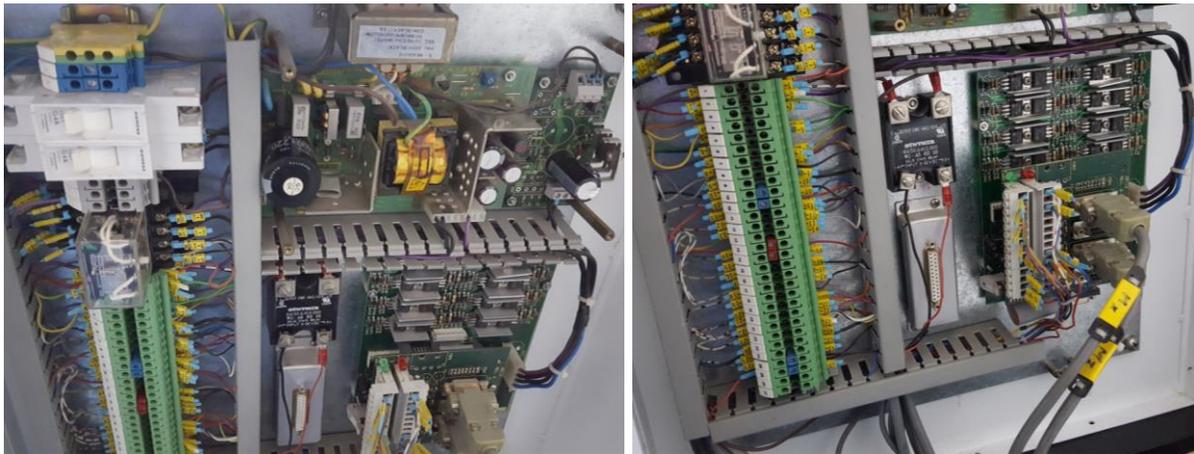


**Figura 27.** Estado del Interior del Gabinete de la fresadora parte trasera.

El estado del panel de control y los dispositivos de maniobra se observan en buenas condiciones.

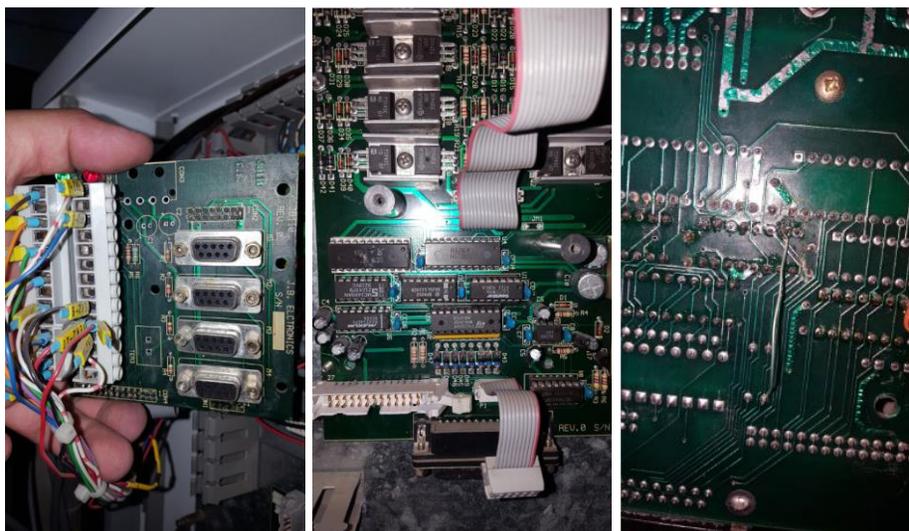
### 3.1.2.2 Estado anterior del torno NCL 2000

Se realiza una inspección del torno observando los circuitos electrónicos, donde no parece existir manipulación, ni cortos circuitos, ni algún indicio que advierta de algún problema en el sistema eléctrico del torno. El cable DB-25 que anteriormente se utilizaba para el control mediante una computadora no está presente. En cuanto a las fuentes de alimentación de 24VDC y 5VDC, se observan en buenas condiciones; como se observa en la *Figura 28*.



**Figura 28.** Estado de los circuitos del torno NCL 2000

Posteriormente se desarma los PCB del torno, donde se observa que ha tenido un sobrecalentamiento y que algunos integrados se encuentran en malas condiciones; como se muestra en la *Figura 29*.



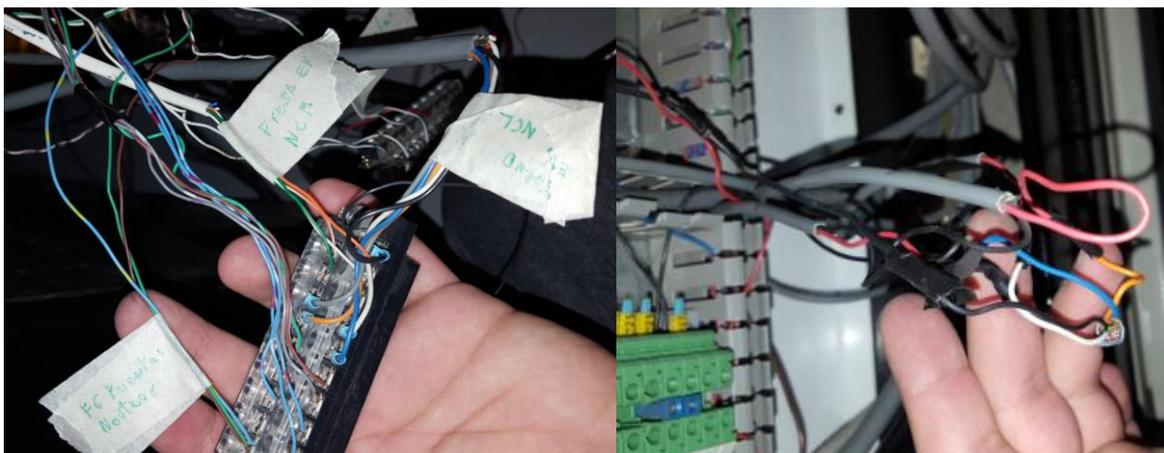
**Figura 29.** PCB del torno NCL 2000

Al lado de los componentes electrónicos, se encuentran las electroválvulas y el regulador de presión del sistema neumático. Se observa que falta una manguera para conectar el sistema; como se observa en la *Figura 30*.



**Figura 30.** Ausencia de mangueras neumáticas

Además, se observa que las electroválvulas y el relé de estado sólido que activa el motor AC de la máquina de torneado están desconectados; porque se conectan a borneras que no tienen conexión hacia ningún lugar; como se muestra en la *Figura 31*.



**Figura 31.** Electroválvulas y el relé de estado sólido desconectados

En cuanto a la parte frontal e interna del gabinete del torno se encuentra con polvo, pero el estado mecánico aparentemente está bien. En la *Figura 32* se muestra el estado del torno previo al proyecto.

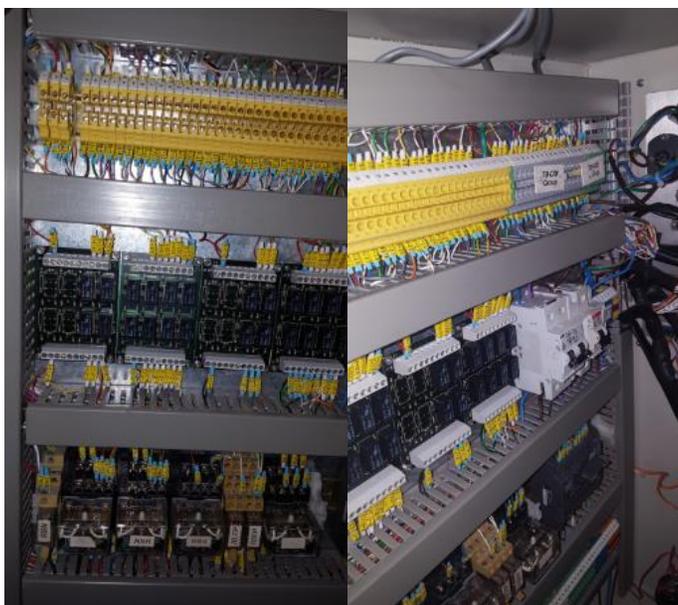


**Figura 32.** Estado interno del gabinete del torno NCL 2000.

El estado del panel de control se observa en buenas condiciones, pero el estado de los dispositivos de maniobra se explicara en su diagnóstico. También la estación de torneado no cuenta con una cuchilla para el torneado.

### 3.1.2.3 Estado anterior del tablero principal

El tablero principal es el que se observa en mejores condiciones de toda la estación, al estar protegido en un gabinete industrial todos los componentes internos se observan conservados, en perfectas condiciones, no se observan evidencias de corto circuito, manipulación, ni daños en su interior, como se muestra en la *Figura 33*.



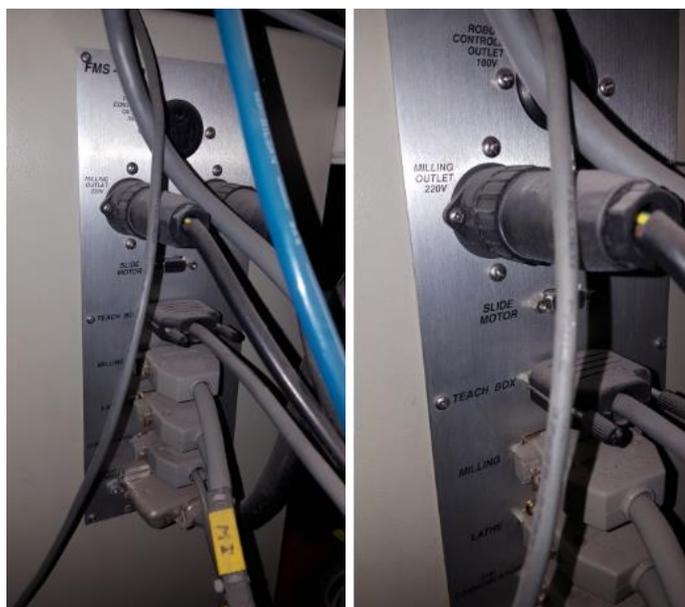
*Figura 33.* Estado del tablero principal

El tablero principal cuenta con un PLC Keyence este se observa en buenas condiciones, como se muestra en la *Figura 34*.



**Figura 34.** Estado del PLC del tablero principal

En cuanto la parte externa del tablero se encuentran sus cables correctamente conectados, menos el cable de alimentación para el robot y el del riel de desplazamiento lineal; como se observa en la *Figura 35*.



**Figura 35.** Estado de las conexiones externas de tablero principal

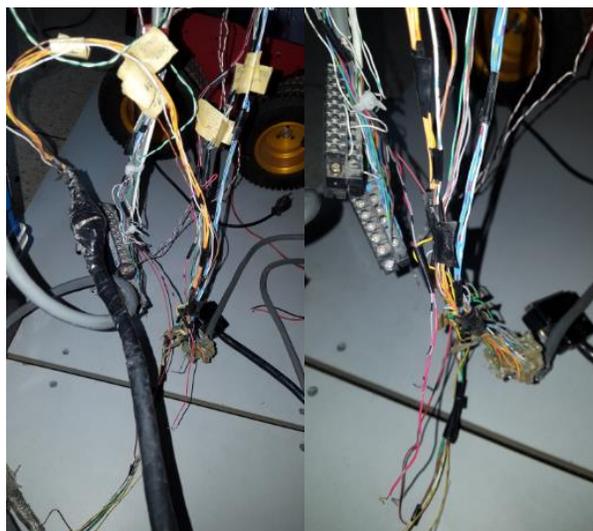
### 3.1.2.4 Módulo de entradas y salidas digitales

El módulo de entradas y salidas digitales del proyecto anterior y todo su cableado se encuentra justo debajo del torno y la fresa de la estación. Es una caja azul con indicadores Led, esta atornillado a una placa metálica en forma de T como se observa a en la *Figura 36*.



*Figura 36.* Estado del módulo de entradas y salidas digitales

Además, se observa un cable DB25 que se une a dos cables uno está conectado al conector del tablero principal y el otro no está conectado. En el caso de las borneras que se muestran en la *Figura 37* están conectadas a los actuadores neumáticos de la estación.



*Figura 37.* Restos de cable de los módulos de entrada y salida.

### 3.1.2.5 Riel de desplazamiento lineal y teach box

Como se observa en la *Figura 38*, el riel y el motor se encuentran en buenas condiciones, afortunadamente el guarda polvos con el que cuenta, evita que el tornillo sin fin pierda lubricación y entre suciedad. El riel no cuenta con la base que soporta al robot manipulador; y los fines de carrera no encuentran en su posición, pero están enrollados sobre el tablero principal.



*Figura 38.* Estado del riel de desplazamiento lineal.

En la *Figura 39* se muestra el teach box y las condiciones, en las que se encuentra. Pero a pesar de la suciedad los pulsadores funcionan y visualmente no cuentan con ningún problema.



*Figura 39.* Estado del teach box.

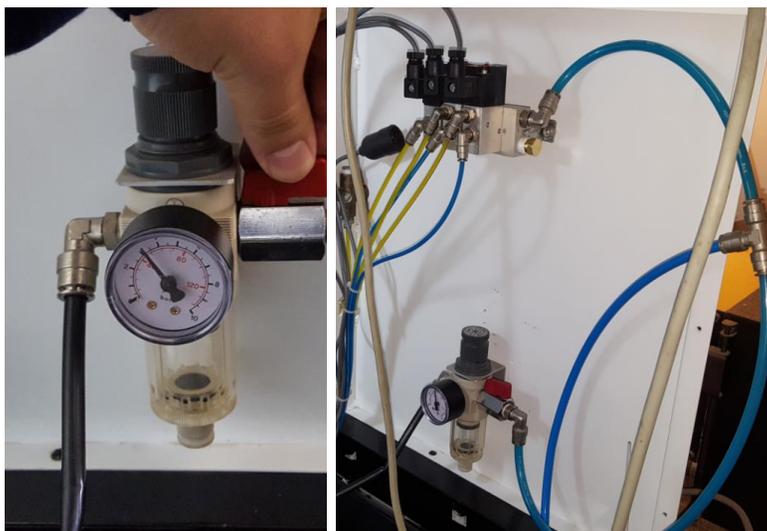
### 3.2 Diagnóstico de la estación

Para el diagnóstico se realiza la inspección visual, búsqueda de especificaciones del fabricante, verificación del funcionamiento mediante la energización eléctrica con una fuente de energía externa adecuada para los actuadores eléctricos y electrónicos. Para los componentes neumáticos se utiliza aire comprimido a 4 [PSI]. En el caso de los componentes mecánicos de las máquinas se realiza una verificación del funcionamiento a través del accionamiento manual. Finalmente se comprueba los sistemas eléctricos de la estación FMS 2101 mediante la alimentación de energía eléctrica en toda la estación.

#### 3.2.1 Diagnóstico del sistema neumático

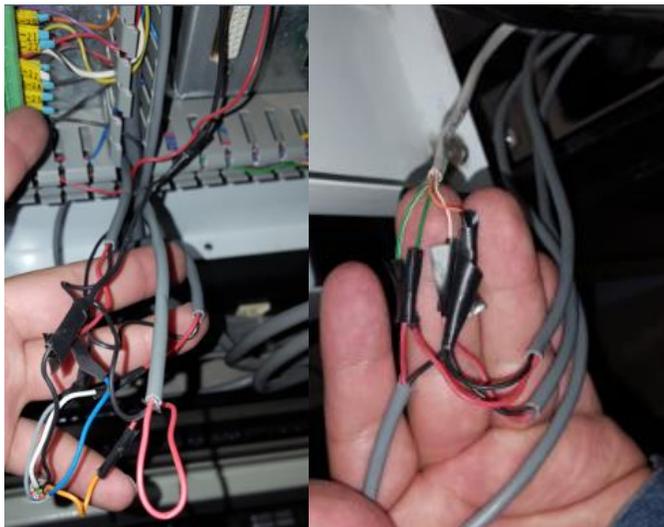
Para determinar el estado de los actuadores se procedió a colocar una línea de alimentación neumática de 4 [PSI] en las electroválvulas de la máquina de fresado y torneado de la estación;

como se muestra en la *Figura 40*. Para la estación de fresado fue necesario adquirir dos tapones para poder realizar la comprobación.



**Figura 40.** Diagnóstico del sistema neumático.

Entonces se coloca una manguera de presión neumática de 8[mm] con una presión de 4 [psi] en las electroválvulas y se procedió a presionar los botones de activación de cada una para comprobar el funcionamiento mecánico de las válvulas. A su vez se comprobó el funcionamiento de los actuadores como el pistón de agarre de material, pistón de apertura y cierre de la puerta del gabinete y los tubos de refrigerante del torno y la fresadora. Como resultado se obtuvo que cada electroválvula funciona y controla a los actuadores neumáticos correctamente. Posteriormente se identificó los cables de cada electroválvula en la máquina de fresado y torneado en la *Figura 41*.



*Figura 41.* Identificación del cableado de las electroválvulas

Se procede a la energización de las electroválvulas con un voltaje de 24 [VDC] indicado en la etiqueta, se comprueba el funcionamiento eléctrico y neumático al observar a los pistones desplazándose. Como resultado se obtiene que las electroválvulas y los actuadores neumáticos funcionan correctamente.

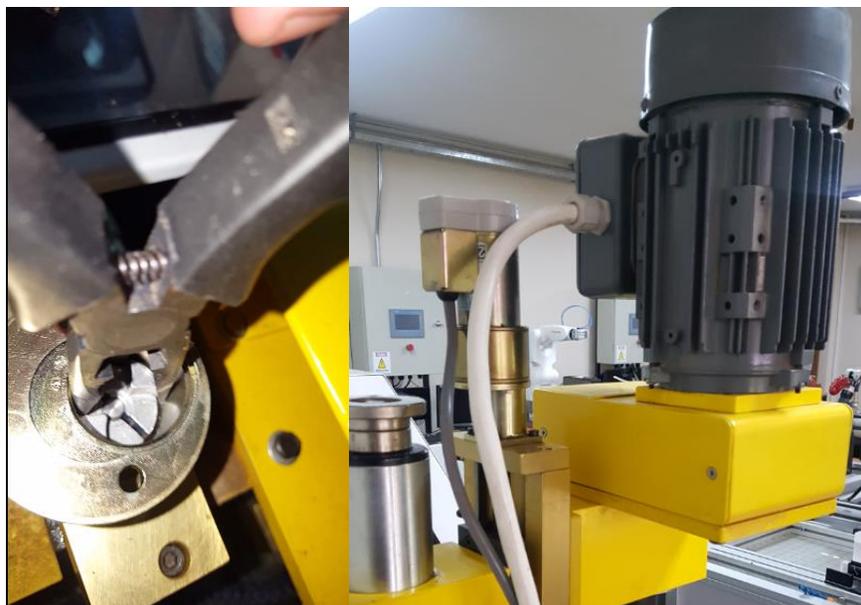
### **3.2.2 Diagnóstico del sistema mecánico de la fresadora NCM 2000**

Para determinar el estado del sistema mecánico de la fresadora es necesario, realizar el desarmado de los actuadores electrónicos y neumáticos. Se comienza con el desarmado de los motorreductores DC de cada eje de la máquina fresadora; como se observa en la *Figura 42*.



**Figura 42.** Desarmado de los motorreductores DC.

En el caso del eje Z fue necesario sostener todo lo que está acoplado al carro vertical como se observa en la *Figura 43*. Ya que el motorreductor DC mantiene en su posición todo el sistema mecánico gracias a su torque.



**Figura 43.** Desarmado de motorreductor DC del eje Z o vertical.

Se procede a un realizar una inspección visual en la cual se encontró que la lubricación en los husillos de bolas es casi inexistente, se procede a girar el eje X manualmente y se comprueba que la fuerza que se debe aplicar no es constante, hay momento cuando se gira el eje donde se

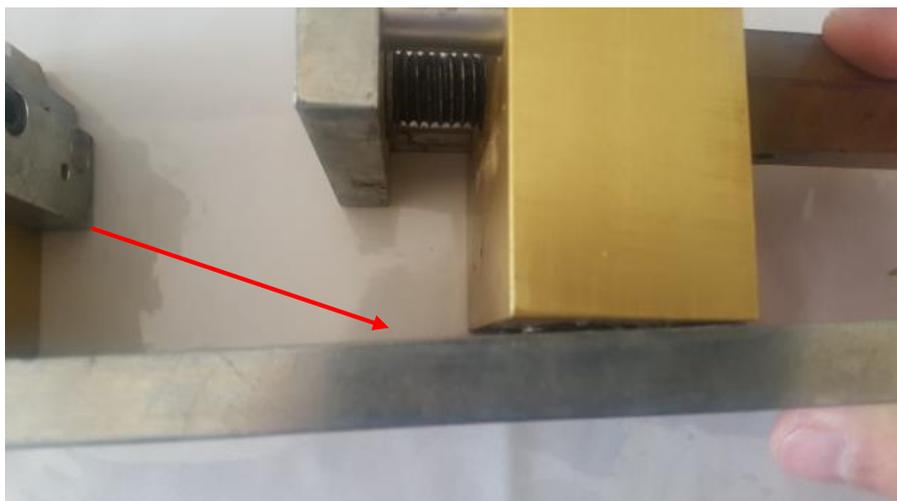
requiere mayor fuerza para que este gire. En el caso del eje Z no se tiene este comportamiento ya que ha conservado la mayoría de la lubricación. El eje Y está funcionando con algunas dificultades debido a la poca lubricación pero su funcionamiento es correcto, el eje X por otro lado parece tener un problema en el eje, ya que no tiene la misma suavidad en el giro.

Al desarmar la pieza de agarre del material, se nota que ha tenido un accidente en el cual ha resultado fresada la pieza de agarre neumático, afortunadamente esto no compromete el funcionamiento de la misma, como se observa en la *Figura 44*.



**Figura 44.** Daño en el pistón de agarre de la fresadora

En el desarmado de esta pieza se nota que el agarre mecánico mediante tornillo, tiene una ligera flexión al manipular el tornillo de ajuste como se observa en la *Figura 45*. Aparentemente los tornillos que sostiene esta pieza ya no realizan su función correctamente.



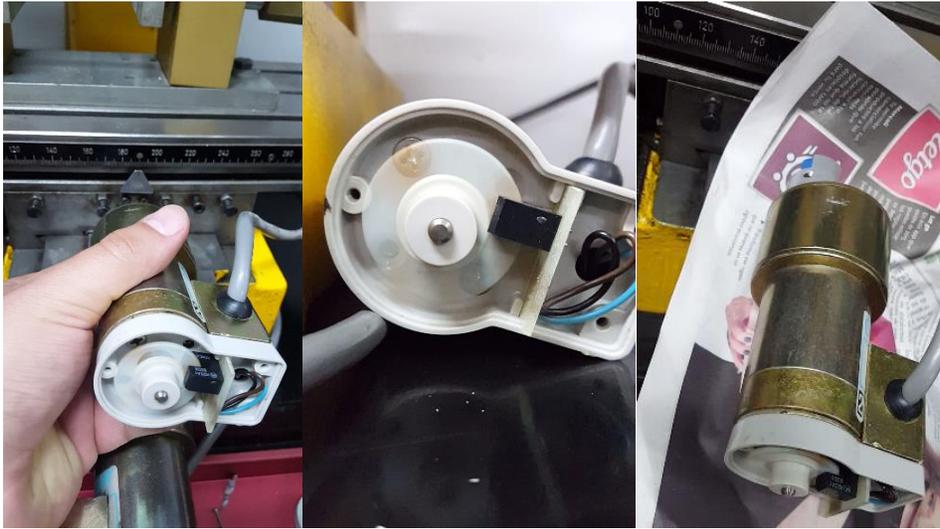
*Figura 45.* Daño en el pistón de agarre de la fresadora

### **3.2.3 Diagnóstico del sistema electrónico de la fresadora NCM 2000**

Para el sistema eléctrico se realizó una inspección visual de los actuadores en búsqueda de las placas o etiquetas con las características del fabricante, se procede al desarmado para energizar la pieza en vacío y si esta funciona correctamente, comprobar de nuevo su funcionamiento pero esta vez en la máquina de fresado.

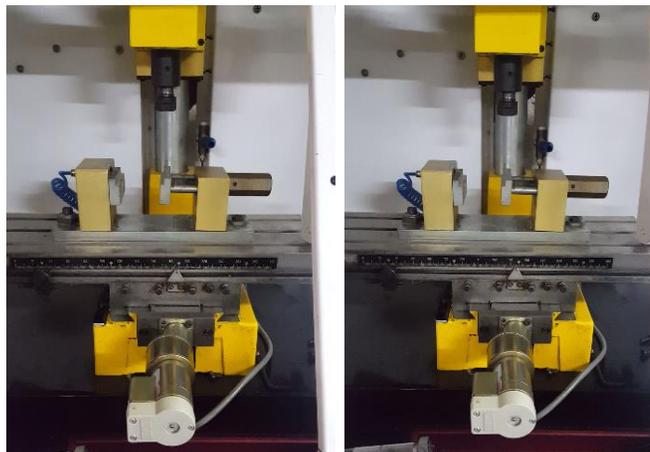
#### **3.2.3.1 Motorreductor DC**

En la fresadora se desarmó los tres motorreductores DC y luego se procedió a la alimentación con 24 [VDC] como se observa en la *Figura 46*, siguiendo las especificaciones del fabricante.



**Figura 46.** Alimentación de los motorreductores DC de 24[VDC].

Se observa que los motorreductores DC funcionan correctamente. Se procede a colocar los motores en la máquina y se realiza la misma prueba, en el eje X se encontrar un problema, en la *Figura 47* los ejes Y y Z, los motores se mueven regularmente y tienen un sonido regular igual a cuando son energizados en vacío, pero en el eje X se observa que el movimiento de la mesa de la fresadora tiene pausas y el sonido del motor al moverse se escucha que tiene problemas.



**Figura 47.** Movimiento de la mesa de la fresadora por los motorreductores DC.

### 3.2.3.2 Sistema eléctrico del husillo principal de la fresadora NCM

El variador de frecuencia de la fresadora es una pieza fundamental para el funcionamiento de la misma, al realizar el desarmado se observa en la *Figura 48* que tiene un daño en la PCB.



*Figura 48.* PCB y daños del variador de frecuencia

Cuando se quita la carcasa protectora del variador de frecuencia se encuentra un panel extra que tiene los botones desgastados como se observa en la *Figura 49*, aparte de esto y el daño del PCB, el variador de frecuencia no tiene más problemas.



*Figura 49.* Variador de frecuencia y carcasa del panel de control

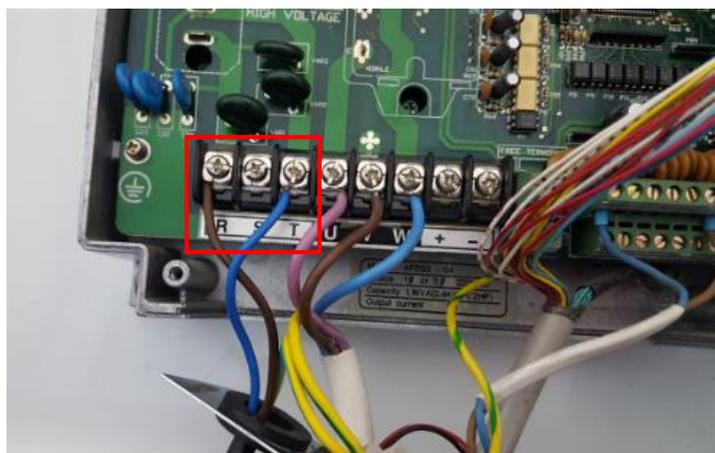
El motor AC que se encuentra en el eje Z de la fresadora, se observa en buenas condiciones.

*Figura 50*



**Figura 50.** Motor AC trifásico asíncrono de la fresadora

Para comprobar el funcionamiento tanto del variador de frecuencia como del motor AC se energiza el variador de frecuencia con 220VAC, no es necesario conectar el cable de neutro. Como se observa en la *Figura 51*, R y T es donde se coloca las líneas de alimentación de corriente alterna de 220[VAC].



**Figura 51.** Alimentación eléctrica del variador de frecuencia con 220[VAC].

Se activa la energía e inmediatamente se energiza el variador de frecuencia y el panel frontal muestra la frecuencia máxima de funcionamiento del motor como se observa en la *Figura 52*.



*Figura 52.* Encendido del panel del variador de frecuencia.

Solo es necesario presionar el botón RWD RUN para que el husillo principal comience a girar lentamente hasta llegar a la máxima velocidad, al mismo tiempo se observa en el panel del variador el incremento de frecuencia a la par de la velocidad que alcanza el husillo. A pesar del daño del PCB del variador de frecuencia, se encuentra un correcto funcionamiento. El motor AC trifásico asíncrono de la fresadora se encuentra en buen funcionamiento, solo es necesario limpiar la parte superior del motor.

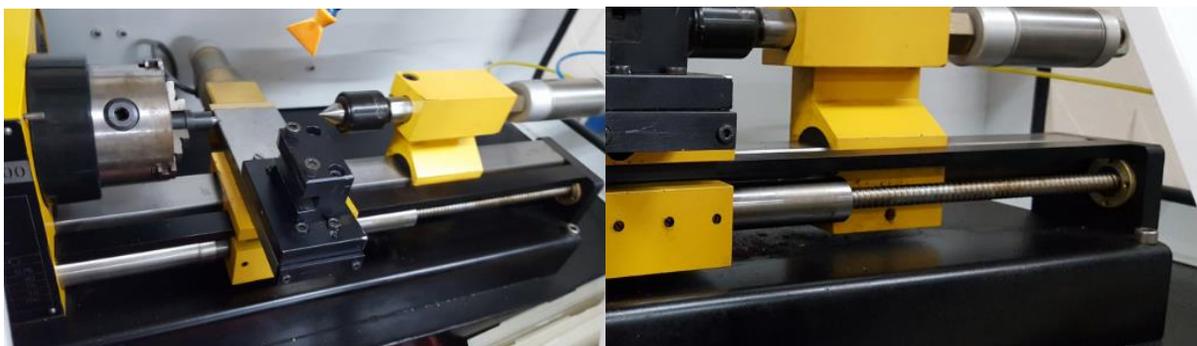
### 3.2.4 Diagnóstico del torno NCL 2000

En el caso del sistema mecánico del torno se tomó la experiencia previa en el diagnóstico realizado a la fresadora por lo que, para realizar el diagnóstico mecánico se decide realizar la limpieza de los husillo de bolas y una lubricación, esta decisión se tomó debido a que los husillos están expuestos a simple vista y las partes más sensibles como los motores están protegidos como se observa en la *Figura 53* y *Figura 54*.



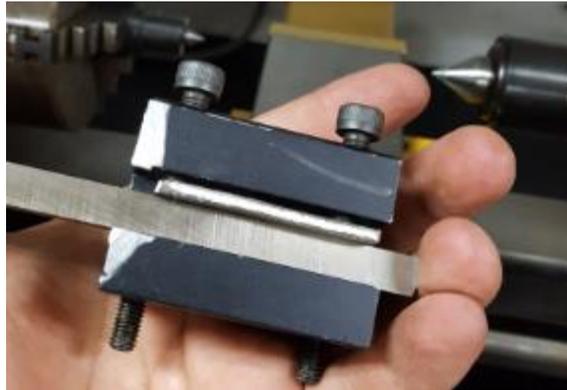
**Figura 53.** Estado del gabinete del torno

Además de la experiencia tomada del diagnóstico de la fresadora, los husillos de bolas que dan el movimiento a los ejes, se encuentran en buenas condiciones. Se realiza la limpieza y lubricación de los husillos de bolas y el husillo principal que se observa en la *Figura 54*.



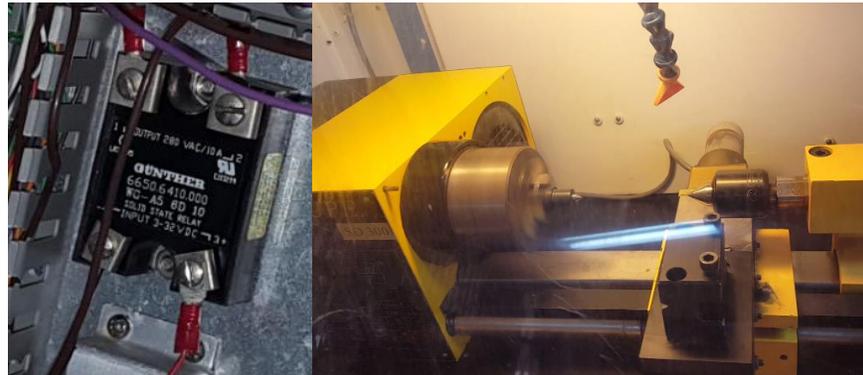
**Figura 54.** Husillo principal y husillo de bolas del torno

Se realiza la energización de los motorreductores DC, como resultado los ejes se mueven correctamente y no existe ningún problema mecánico en la estación de torneado. Solamente se observa que el porta herramientas llegó a tener un choque contra el mandril del torno. Como se muestra en la *Figura 55*.



**Figura 55.** Daño en el portaherramientas del torno.

Esto no afectó el funcionamiento del mandril como se observa en la *Figura 56*; se encuentra funcionando correctamente y para su activación se necesita alimentar el relé de estado sólido con 24VDC. Además, se alimenta el motor AC con 220 VAC, como resultado el mandril del torno gira y funciona correctamente.



**Figura 56.** Funcionamiento del husillo principal del torno.

### 3.2.5 Diagnóstico del riel de desplazamiento lineal

En primer lugar se debe realizar el giro manual del riel de desplazamiento lineal para comprobar que el husillo (tornillo sin fin) y el motor giren libremente. Como se observa en la *Figura 57*. El acople eje motor tipo mandíbula esta visible y puede ser girado de forma manual.

Realizando un giro manual de esta pieza se tiene como resultado que el eje gira de manera libre y correcta.



*Figura 57.* Acople eje motor tipo mandíbula del riel

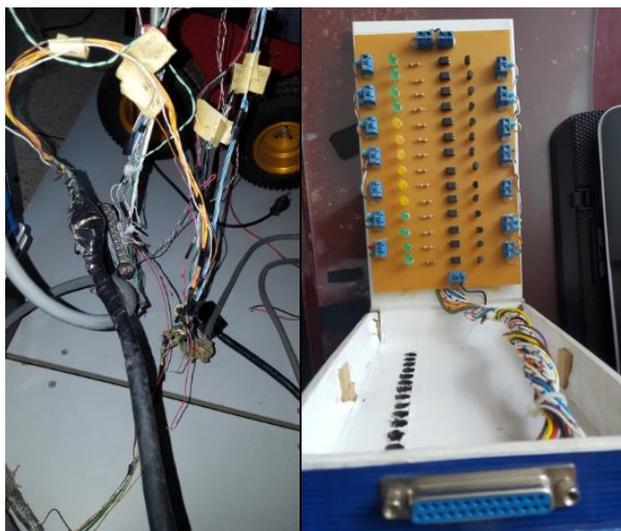
Luego, se realizó la comprobación de los carbones del motorreductor DC y el encoder como se observa en la *Figura 58*. Alimentando el riel de desplazamiento lineal con una fuente de 24[VDC], se logra que el riel se mueva en la dirección adecuada.



*Figura 58.* Verificación de los carbones y encoder del motorreductor DC.

### 3.2.6 Diagnóstico del módulo de entradas y salidas digitales

El diagnóstico para el módulo de relés se realiza activando de manera secuencial todas las borneras comprobando que funcionan correctamente, adicionalmente se comprobó que no se utiliza todos los cables que se encuentran conectados a esta como se muestra en la *Figura 59*.



**Figura 59.** Diagnóstico del módulo de entradas y salidas digitales.

### 3.2.7 Diagnóstico del teach box

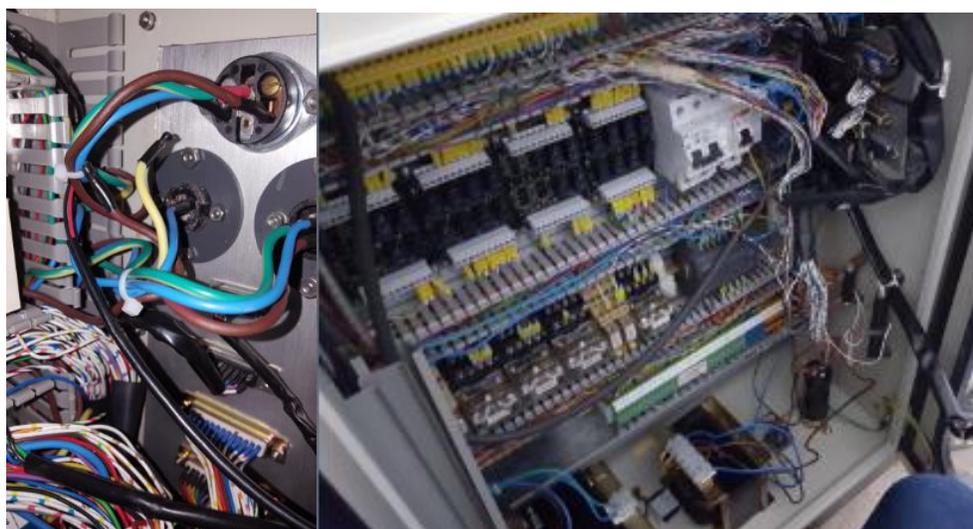
Para el teach box el diagnóstico se realiza con un multímetro comprobando la continuidad de los contactos, debido a que son interruptores como se muestra en la *Figura 60*. Además, se energiza el Led indicador con una fuente de 24VDC. Comprobando que todos los componentes de este funcionan correctamente.



**Figura 60.** Diagnóstico del teach box

### 3.2.8 Diagnóstico del tablero principal

Para el diagnóstico del tablero principal se realiza una medición de los terminales de alimentación comprobando que no exista algún corto circuito en el tablero; además de verificar que no existan cables sueltos en la estación. Se realiza la reparación de los cables que se encuentran dañados y se procede a alimentar la estación con 220VAC y a observar; en la *Figura 61* se observa el tablero principal y un cable de alimentación desconectado.



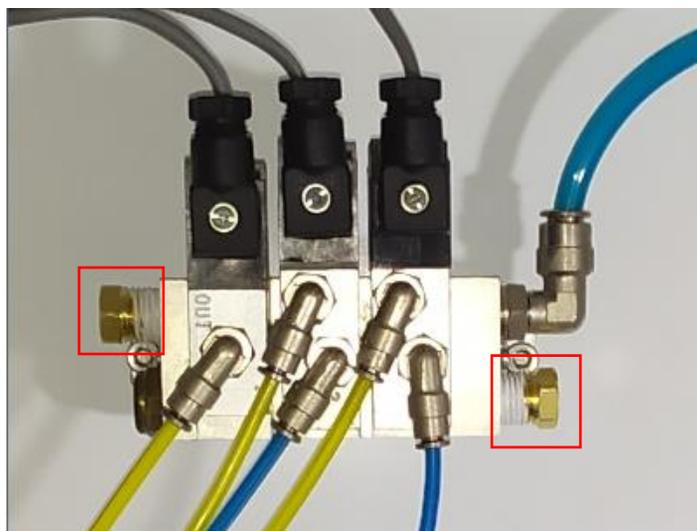
*Figura 61.* Diagnóstico del tablero principal

### 3.3 Mantenimiento de los componentes de estación.

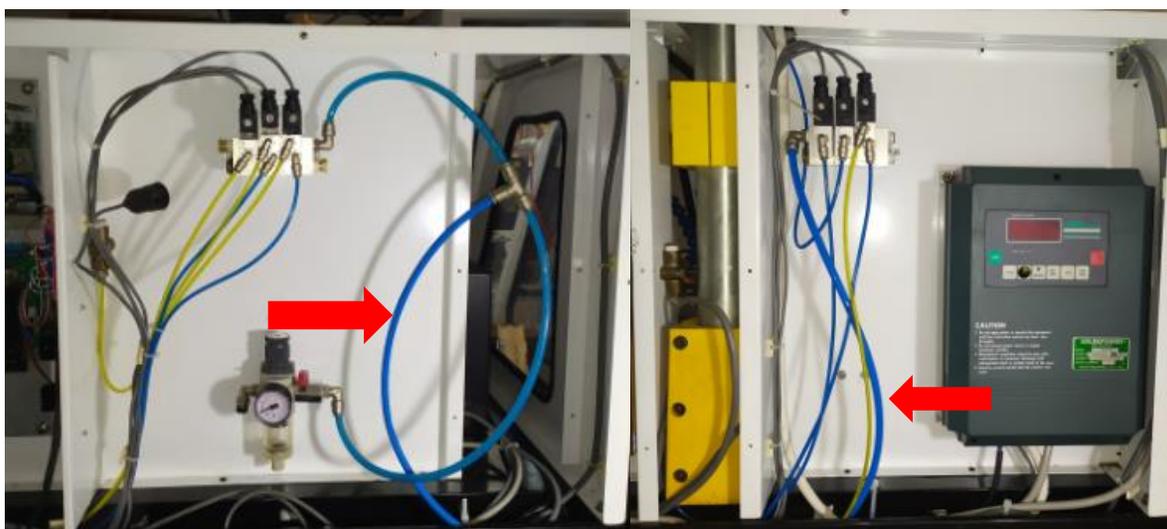
En el mantenimiento de todos los componentes se realiza, diferentes procesos, dependiendo del componente, por ejemplo se puede realizar: limpieza, desarmado, verificación visual, reemplazo de piezas dañadas, lubricación y pruebas de funcionamiento. El procedimiento que se realiza para cada pieza se describe a continuación.

### 3.3.1 Mantenimiento realizado al sistema neumático

El sistema neumático como se menciona en el diagnóstico no cuenta con problemas en su funcionamiento. Solo es necesario añadir 2 tapones en las electroválvulas *Figura 62* y colocar una tubería de 8 mm de diámetro y 2 metros de longitud, esta tubería conecta las electroválvulas del torno con las de la fresadora, conectando así todo el sistema; ver *Figura 63*.



*Figura 62.* Nuevos tapones en las electroválvulas.



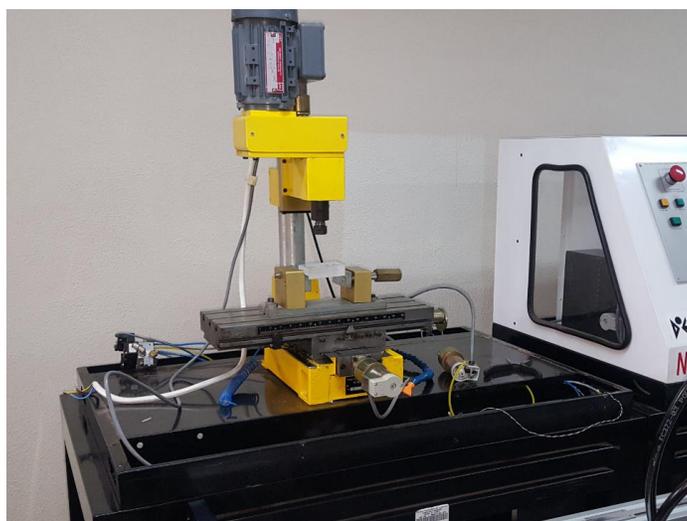
*Figura 63.* Nuevas tuberías para el sistema neumático

### 3.3.2 Mantenimiento del sistema mecánico de la fresadora NCM 2000

Se realiza una limpieza total de la estación, posteriormente se desarma la estación debido al problema presente en el husillo de bolas del eje X o carro longitudinal. Se realiza el desarmado del gabinete que protege toda la fresadora; como se observa en la *Figura 64* y *Figura 65*.

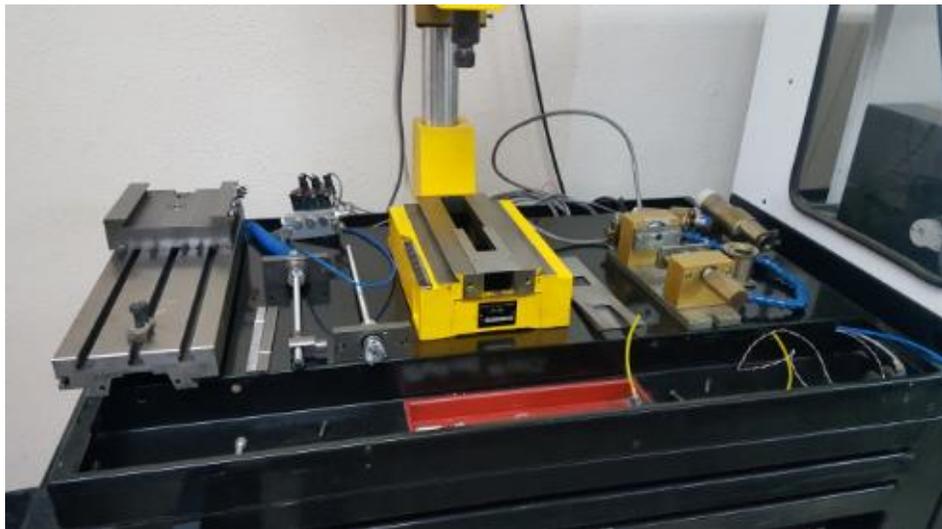


*Figura 64.* Desarmado del gabinete de la fresadora



*Figura 65.* Fresadora sin su gabinete

Una vez desarmado el gabinete como se observa en la *Figura 66*, se procede a verificar su funcionamiento manualmente. Al no encontrarse explicaciones visibles sobre el problema en el eje X, se realiza el desarmado, limpieza, revisión manual y lubricación de los componentes mecánicos.



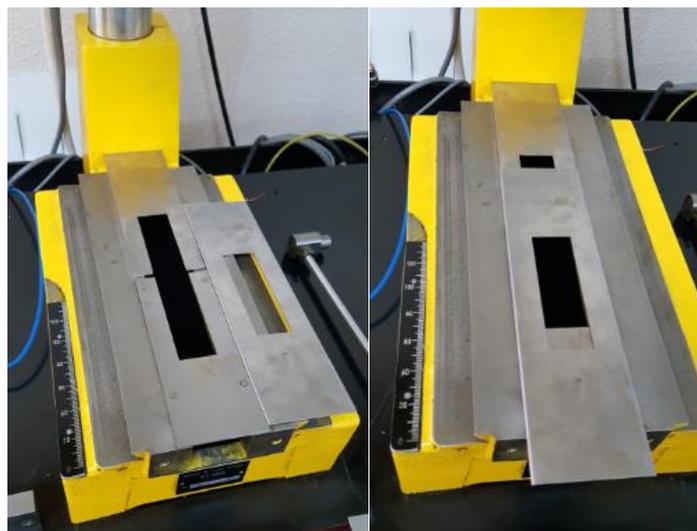
**Figura 66.** Desarmado total de la fresadora.

Una vez desarmada completamente la fresadora se observa en la *Figura 67*, que la placa de deslizamiento y guardapolvos de la máquina se encuentra doblada y suelta.



**Figura 67.** Placa de deslizamiento doblada de la fresadora.

Luego se procede a crear una nueva pieza y reemplazarla por la pieza dañada como se muestra en la *Figura 68*. Además, se comprueba que encaje correctamente con las demás piezas y que realice su función de deslizamiento.



**Figura 68.** Nueva placa de deslizamiento de la fresadora.

Se realiza una limpieza y lubricación de los husillos de bolas junto con sus turcas, como se observa en la *Figura 69*. Posteriormente se hace un desarmado completo y limpieza de los husillos; además de ajustar los rodamientos y tuercas que se encuentran con holguras.



**Figura 69.** Mantenimiento de los husillos de la fresadora

Para el husillo de bolas del eje X se decide realizar un cambio de las bolas de metal para descartar que el problema en el giro sea provocado por algún desgaste de estas piezas que se encuentran en fricción. Posteriormente a la limpieza y lubricación de todas las piezas se realiza el armado procurando ajustar todas las piezas especialmente los husillos con los carros longitudinal y transversal. Se realiza pruebas manuales a los ejes, verificando que se muevan libre y

fácilmente, como se muestra en la *Figura 70*. Como resultado el eje Y o transversal se mueve suavemente casi no es necesario ejercer fuerza sobre el eje para lograr el movimiento. Para el eje X o longitudinal luego de realizar la limpieza, cambio de piezas y lubricación, se observa que continúa teniendo problemas para el movimiento.



**Figura 70.** Rearmado y lubricación de la fresadora.

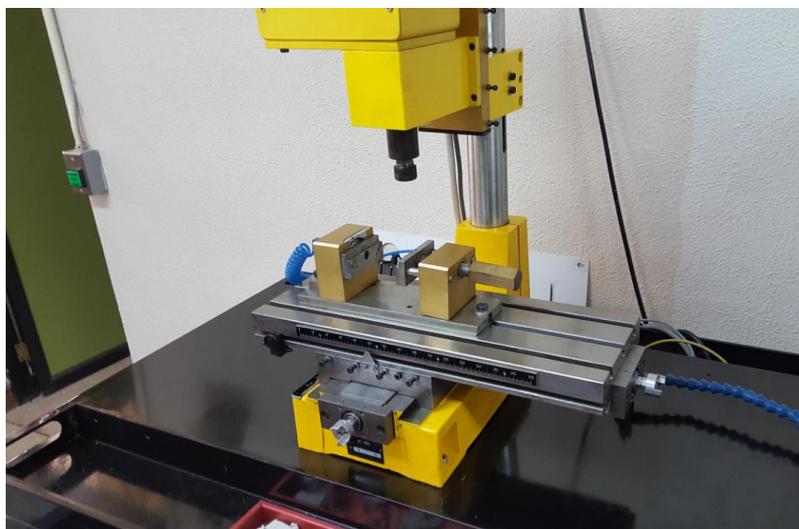
En este caso luego de realizar una revisión manual y visual, se determina que el eje para su correcto movimiento debe estar perfectamente centrado y ajustado en el carro transversal; como se muestra en la *Figura 71*.



**Figura 71.** Ajuste del carro transversal de la fresadora

Por lo tanto cualquier desviación del eje X, de la posición original de la que fue diseñado, produce un movimiento anormal en el mismo. Una vez que el eje es: centrado, armado, lubricado y ajustado, se moverá suavemente como los demás ejes de la fresadora. Debido al mantenimiento

realizado a la fresadora, todos los ejes X, Y y Z se mueven con suavidad y la máquina se encuentra lista para el funcionamiento, como se ve la *Figura 72*; se realiza el rearmado del gabinete y de todos los demás componentes desarmados debido al mantenimiento.



*Figura 72.* Estado de la fresadora luego del mantenimiento.

### 3.3.3 Mantenimiento del torno NCL 2000

Para el torno a diferencia de la fresadora no presentó ningún problema de funcionamiento mecánico ni eléctrico. Por lo tanto, el mantenimiento se limita a la limpieza de los actuadores y también la lubricación de todos los husillos de la máquina, el resultado del mantenimiento se muestra en la *Figura 73*.



*Figura 73.* Estado del torno luego del mantenimiento.

### 3.3.4 Mantenimiento realizado al riel de desplazamiento lineal

En el riel de desplazamiento lineal, no se encuentra ningún problema de funcionamiento, por lo tanto se realiza una limpieza y lubricación del husillo. También se revisó el estado de los carbones del motorreductor DC que se observan en la *Figura 74*, determinando que estos miden aproximadamente 2 cm de longitud, mediante la revisión de los resortes y la longitud de los carbones se determinó que estos todavía tienen 1 cm de uso antes de ser necesario su reemplazo.



*Figura 74.* Carbones del motorreductor del riel.

### 3.3.5 Mantenimiento del cable de alimentación de 220VAC

Él toma corriente de la estación se cambió por uno similar de tipo I que se pueda conseguir fácilmente en el mercado; como se observa en la *Figura 75*.



*Figura 75.* Cambio de tomacorriente en la estación.

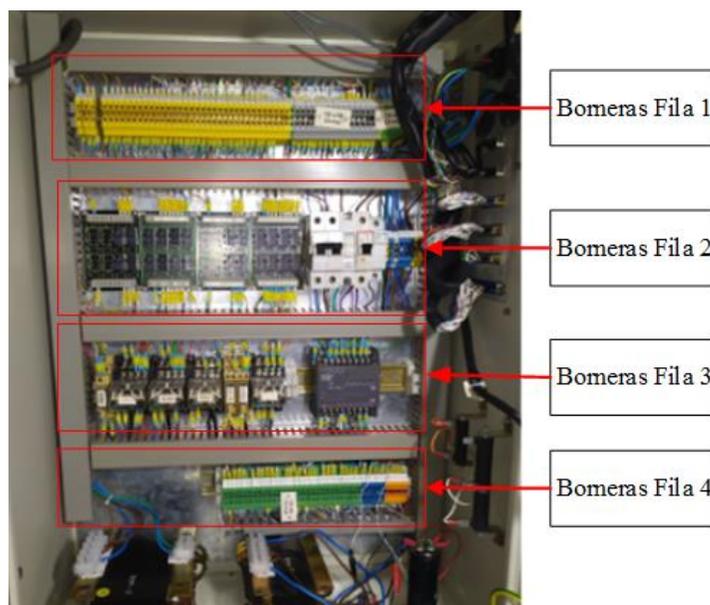
## 3.4 Ingeniería inversa de la estación FMS 2101

Se realiza la investigación de información, se procede a agrupar y clasificar los datos utilizando tablas, diagramas y circuitos eléctricos y electrónicos para entender el funcionamiento de la estación.

### 3.4.1 Investigación del tablero principal

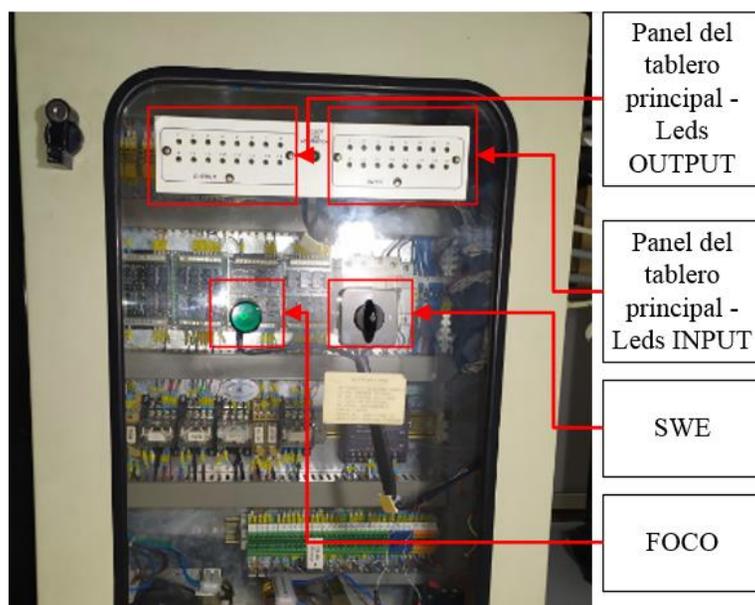
El tablero principal es el componente principal de la estación y tiene en su interior una gran cantidad de conexiones, que se deben organizar y agrupar, para esto se hace una verificación de las interconexiones que existen entre las borneras, pines y cables del tablero principal. Se realiza la división del tablero en partes según su: agrupación, similitud, posición o tipo de componente en el tablero y finalmente se asigna un nombre como se muestra en la *Figura 76*, *Figura 77*, *Figura 78*, *Figura 79* y *Figura 80*.

Dentro del tablero principal se encuentra lo que se muestra en la *Figura 76*, se observa cómo se han dividido las borneras del tablero principal.



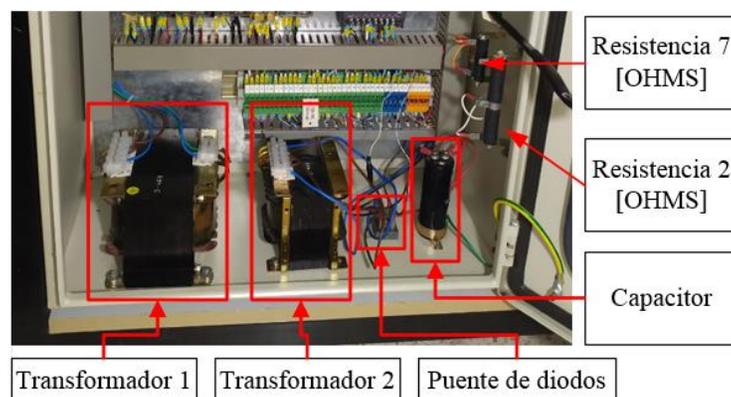
**Figura 76.** Borneras fila 1, 2, 3 y 4 del tablero principal

En la *Figura 77* se muestra la puerta de apertura del tablero principal, en ella se encuentra el panel en donde existe un arreglo de Leds indicadores de conexiones internas, el interruptor de encendido de la estación FMS 2101 y el indicador luminoso llamado FOCO que indica que hay alimentación de 220V en la estación FOCO.



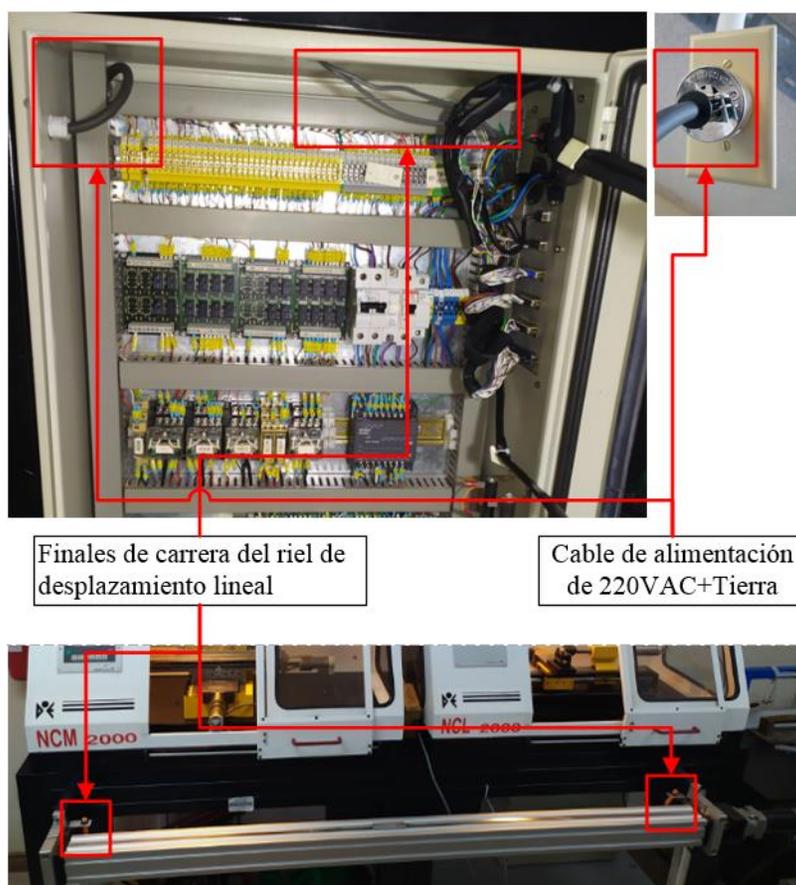
**Figura 77.** Arreglo de Leds indicadores del tablero principal

Adicionalmente, en el piso del tablero se encuentra lo que se ve en la *Figura 78*.



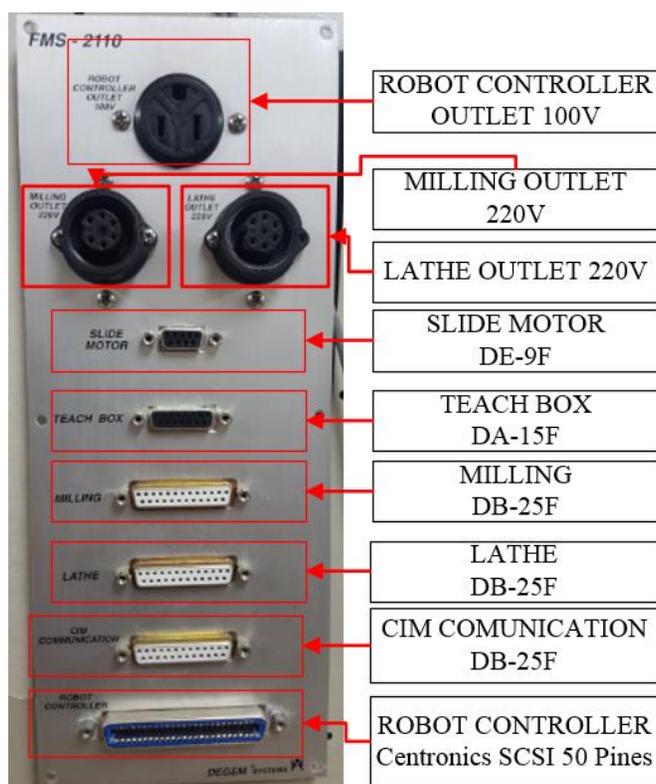
**Figura 78.** Transformador1, transformador2, puente de diodos, capacitor y resistencia

En la *Figura 79* se encuentra algunos componentes como los: finales de carrera del riel de desplazamiento lineal y el cable de alimentación de 220VAC+Tierra, ilustrando desde donde ingresan al tablero principal y donde se los puede encontrar en la estación.



**Figura 79.** Finales de carrera del riel y cable de alimentación de 220VAC

Los conectores se encuentran en la parte lateral opuesta al cable de alimentación del tablero principal o en la Parte derecha del mismo. La ubicación de cada conector se observa en la *Figura 80*.



**Figura 80.** Conectores del tablero principal

Se realiza la comprobación de interconexiones midiendo continuidad y resistencia eléctrica en todos los: componentes, borneras, pines y cables del tablero principal. Como resultado se genera las siguientes tablas. Ver Anexo B: Tablas de conexiones de los circuitos eléctricos y electrónicos del tablero principal.

#### 3.4.1.1 Agrupación y Clasificación de la información obtenida del tablero principal

Para lograr comprender el funcionamiento del tablero, los datos obtenidos se proceden a agruparlos según su interconexión y relación de esta manera se generan los diagramas de bloques del tablero principal. Los diagramas de bloques se muestran en Anexo D: Diagramas de bloques de las conexiones del tablero principal

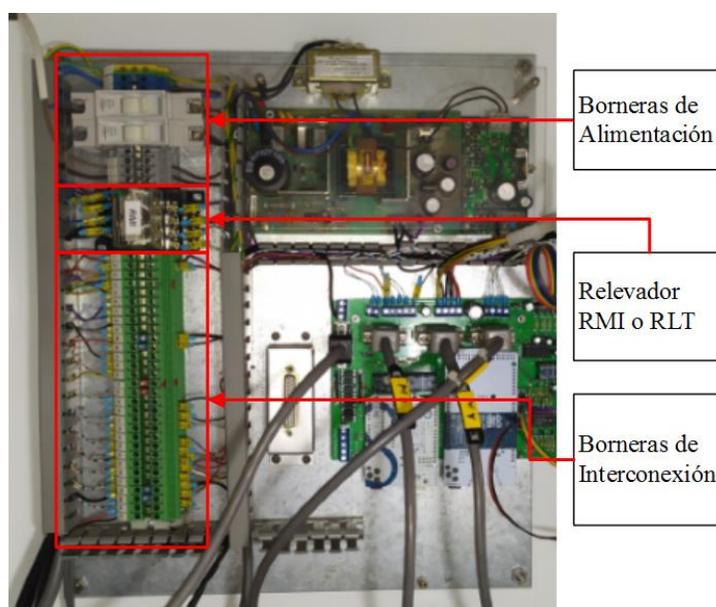
Una vez ya se conociendo las interconexiones se procede a construir los circuitos eléctricos, electrónicos y los diagramas esquemáticos del tablero principal. Ver Anexo E: Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101.

### 3.4.2 Investigación de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000

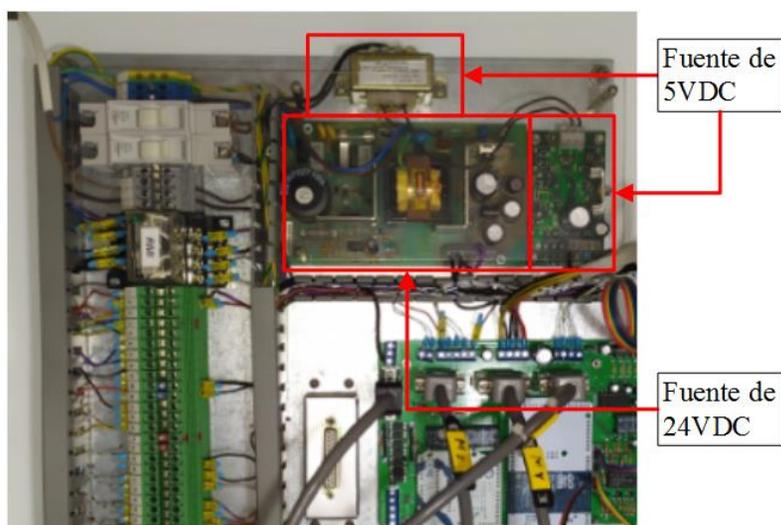
La fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 son los componentes de mecanizado del FMS 2101 para determinar su funcionamiento se realiza la investigación de las conexiones, que existen entre los: componentes, borneras, pines y cables en la máquina.

Primero se realiza la división en partes de los circuitos electrónicos de ambas CNC, las partes se han dividido según su: agrupación, similitud, posición o tipo de componente en el tablero. Finalmente se le ha asignado un nombre como se muestra en la *Figura 81*, *Figura 82* y *Figura 83*.

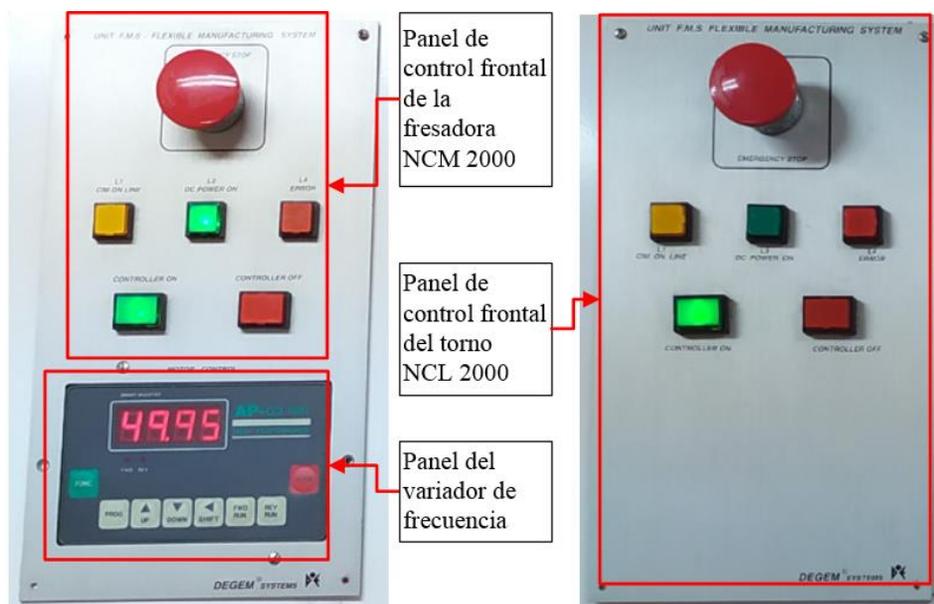
La división realizada funciona tanto para la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000, debido a que estas máquinas tienen la misma distribución.



**Figura 81.** Borneras de alimentación, interconexión, relevadores RMI y RLT



**Figura 82.** Fuente de alimentación de 5 y 24 VDC de las CNC.



**Figura 83.** Panel de control frontal de las CNC.

Se realiza la comprobación de conexiones mediante continuidad y resistencia eléctrica de todas las borneras, pines, cables de la fresadora y el torno. Y como resultado se genera las siguientes tablas. Ver Anexo C: Tablas de conexiones del sistema eléctrico y electrónico de NCM y NCL.

### 3.4.2.1 Agrupación y clasificación de la información de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000

Para lograr comprender el funcionamiento del tablero, los datos obtenidos se proceden a agrupar según su interconexión, se clasifican y se generan los diagramas de bloques de la fresadora NCM 2000 y del torno NCL 2000. Los diagramas de bloques se muestra en el Anexo D: Diagramas de bloques de la estación FMS 2101

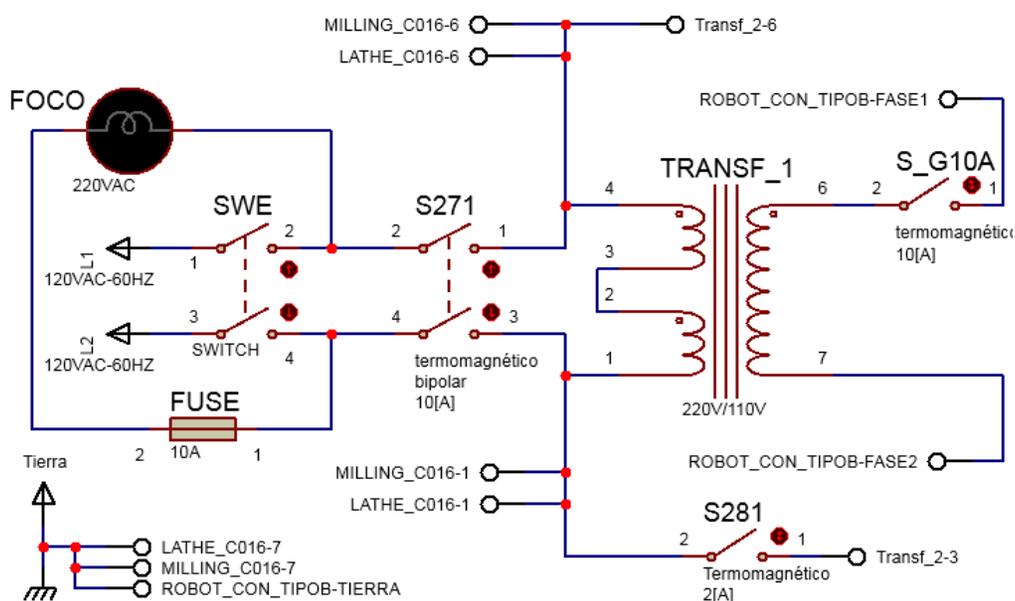
Conociendo las interconexiones de las máquinas de mecanizado, se procede a realizar los circuitos eléctricos y electrónicos de la fresadora y el torno, estos se muestran en el Anexo E: Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101.

### 3.4.3 Análisis de los circuitos eléctricos y electrónicos.

#### 3.4.3.1 Circuitos del tablero principal

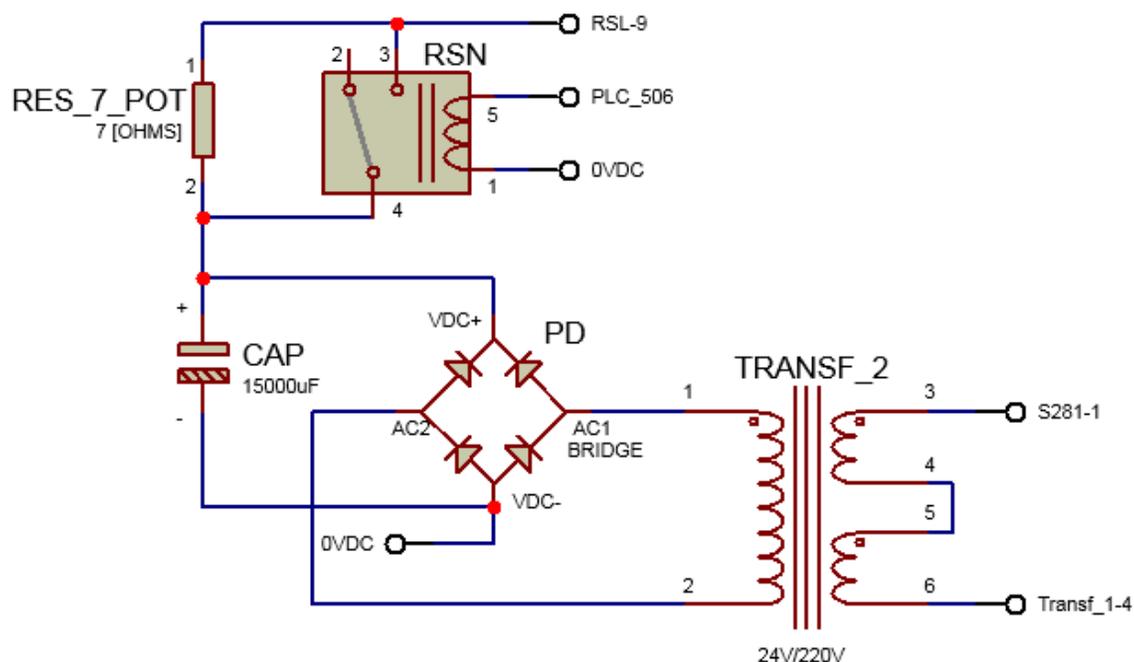
El tablero principal recibe energía eléctrica de 220 [VAC] más un cable de tierra mediante un cable de 3 hilos L1, L2 y Tierra, calibre 18 AWG para cada hilo y una chaqueta protectora que envuelve a los cables. Cuenta con un interruptor de encendido, protecciones como un interruptor termomagnético bifásico para toda la estación FMS 2101, un interruptor termomagnético monofásicos, el transformador 1 y otro de iguales características para el transformador 2. El esquema del circuito eléctrico de estos componentes se muestra en *Figura 84*. Además se puede observar que luego de S271 se encuentran las líneas de alimentación para la fresadora Milling\_C016-6 y 1 y para el torno LATHE\_C016-6 y1. Ambos cables salen del tablero por dos conectores tipo AMPLENOL 6+T C016 hacia las máquinas. TRANSF\_1 es el transformador 1 y se observa que se conecta hacia el tomacorriente hembra de tipo B y cuenta con un

termomagnético S\_G10A. Adicionalmente, se identifica que las conexiones Transf\_2-6 y Transf\_2-3 alimentan el transformador 2 o Transf\_2, cuenta con un interruptor termomagnético de protección S281.



**Figura 84.** Esquema eléctrico de alimentación y protección del tablero.

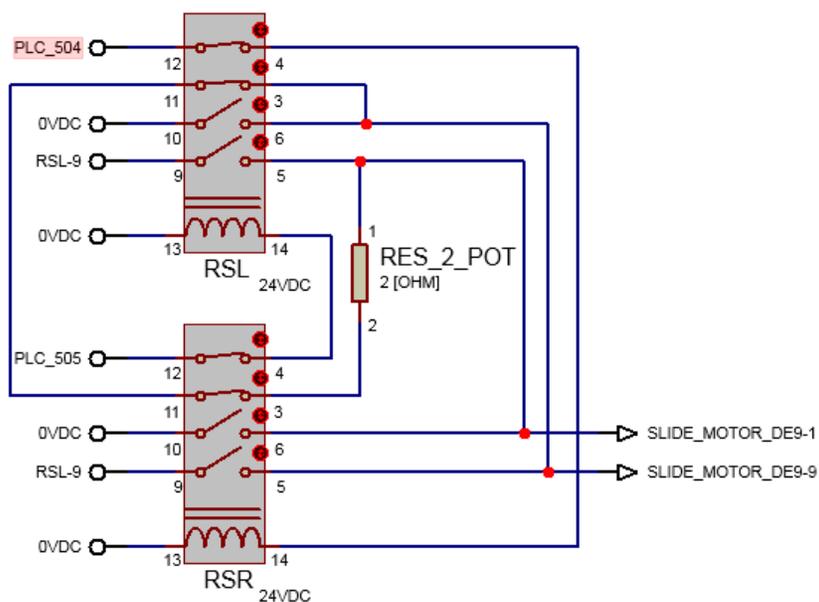
En la *Figura 85* se muestra a RSN que es el relevador que hace la función de dar 2 velocidades de movimiento al riel de desplazamiento lineal. Cuando no está activado la energía que recibe desde el transformador 2, tiene que pasar por la resistencia de 7 [OHMS] esto hace que el riel se mueva a una velocidad baja, pero cuando RSN es activado por el PCL, la resistencia hará un circuito paralelo con los contactos de RSN y la velocidad del riel será máxima. EL transformador 2, el puente de diodos y el capacitor rectifican los 220VAC que reciben y alimentan a RSN con 24VDC para el movimiento del motorreductor DC del riel de desplazamiento lineal.



**Figura 85.** Alimentación de 24VDC y esquema del circuito eléctrico de velocidad del riel.

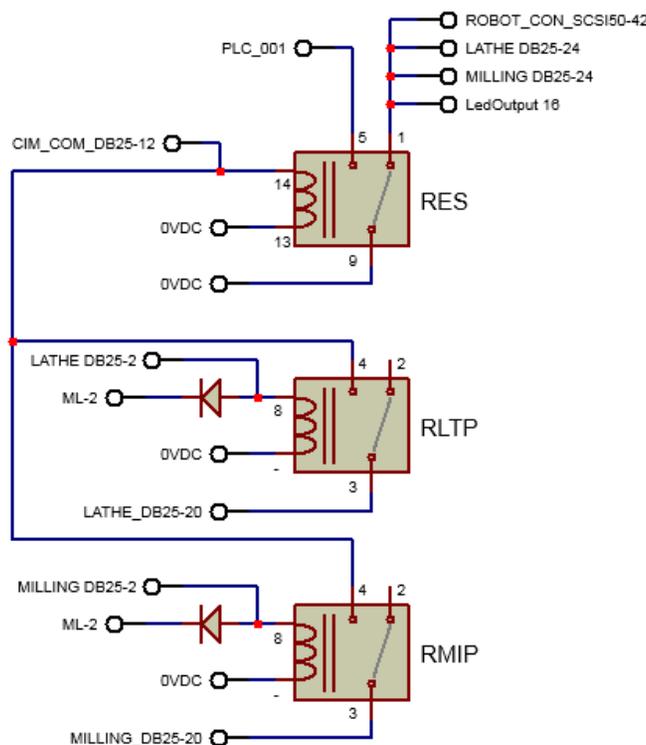
Los relevadores RSR y RSL que se observan en la *Figura 86*, son los encargados de mover el riel de desplazamiento lineal hacia la derecha e izquierda respectivamente. RSR y RSL están conectados de una manera ingeniosa porque la resistencia de 2 [OHMS] está conectada al motorreductor DC del riel de desplazamiento lineal por: SLIDE\_MOTOR\_DE9-1 y SLIDE\_MOTOR\_DE9-9. Descargando siempre cualquier carga que pueda generarse en el motor: cuando está detenido, se mueve manualmente, cuando es energizado y se realiza un cambio de giro. Se descarga la FEM (Fuerza electromotriz) por esta resistencia.

Otra característica del circuito es que evita la activación accidental de los dos relevadores al mismo tiempo, haciendo que las señales de activación se crucen por sus contactos, para cuando una de las señales se activa la otra es inmediatamente deshabilitada e imposible de activar. Por ejemplo si de PLC\_504 hay una señal de activación, se aprecia que la señal del PLC\_505 no podrá activarse debido a que hay un circuito abierto en su camino.



**Figura 86.** Esquema del circuito electrónico para el movimiento del riel.

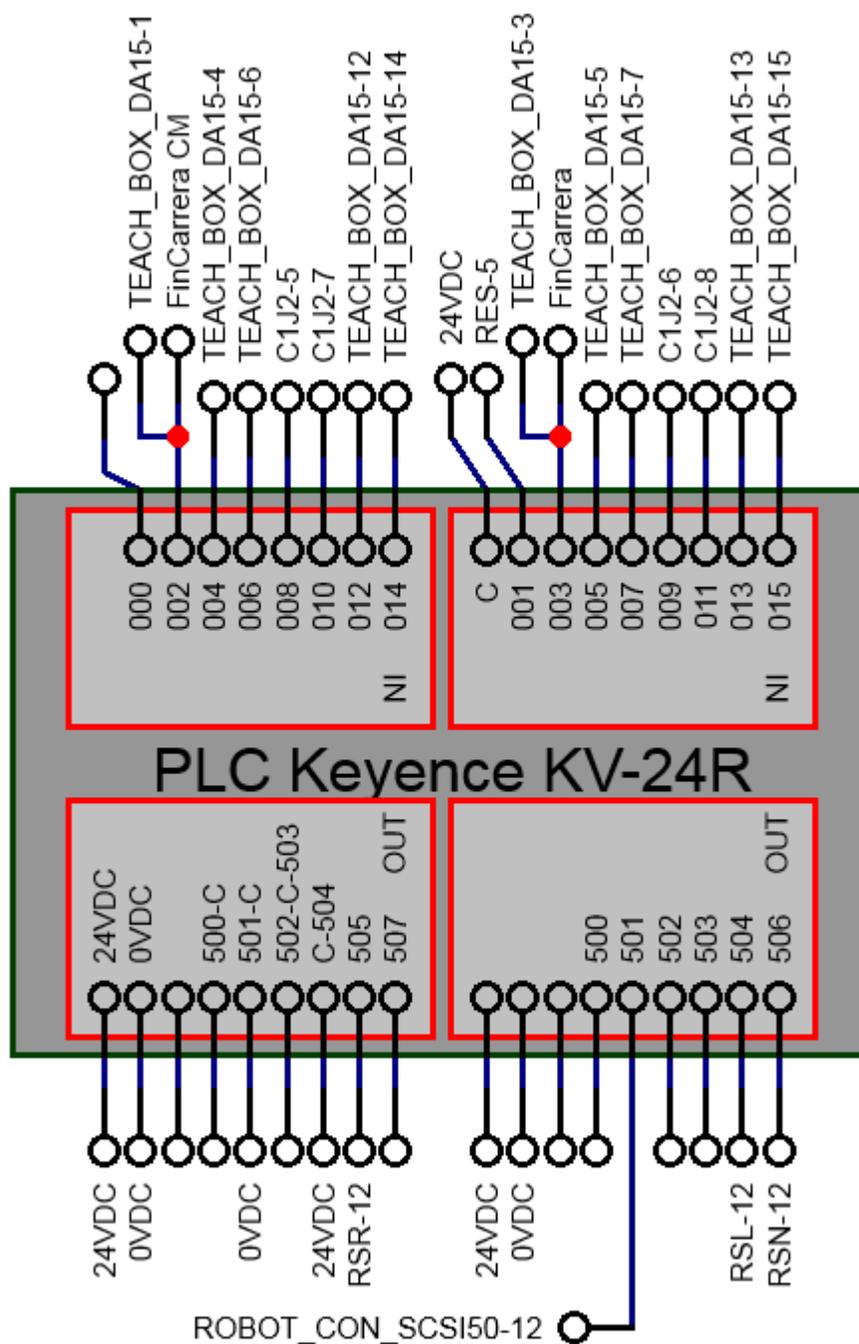
EL relevador RES que se entra en la *Figura 87*. Es muy importante para la estación FMS 2101 debido a que es necesario una señal de 24VDC por CIM\_COM\_DB25-12 para activar la estación de lo contrario, esta se encontrará en modo error, en este caso se puede observar en el panel de control frontal del torno y la fresadora que se encuentra en Error. RLTP y RMIP dependen de CIM\_COM\_DB25-12 para alimentar LATHE\_DB25-20 y MILLING\_DB25-20 estos se conectan directamente a los botones de paro de emergencia y estos a su vez dan la alimentación necesaria para encender la fresadora y el torno. Por lo que no se encenderá la estación hasta que no se energice CIM\_COM\_DB25-12. Esta característica se puede utilizar para implementar un paro de emergencia para el controlador principal.



**Figura 87.** Esquema del circuito electrónico de error del tablero principal

El PLC Keyence KV-24R del tablero principal que se muestra en la *Figura 88*. Es fundamental para el funcionamiento del riel de desplazamiento lineal dividido a que lo controla, Pero actualmente la función autónoma del PLC no funciona; esta función permite que el riel de desplazamiento lineal se mueva hacia una posición determinada; Si el PLC recibe una señal en PLC\_000, este entrara en error y solo volverá a funcionar conectando y desconectando la alimentación al PLC. Se ha intentado comunicarse con el PLC pero este responde siempre con un Comando de Error. Este problema se lo trata en el Diseño del controlador principal de la estación. Las borneras desde 000 astas 015 son las entradas digitales se activan en bajo (0VDC) y las borneras 500 hasta 507 son las salidas a relé del PLC. La mayoría de entradas pertenecen a él mando teach box y realizan las acciones que se muestra en la *Tabla 1*. Y C1J2-4 hasta C1J2-7 pertenecen a la activación automática del PLC y van hacia el conector Centronics SCSI 50

ROBOT CONTROLLER y la salida ROBOT\_CON\_SCSI50-12 indica cuando ya se ha cumplido la activación automática del riel. Como se muestra en la *Figura 92*. Las Salidas del PLC\_504, PLC\_505 y PLC\_506 se ven en las *Figura 85* y *Figura 86*.

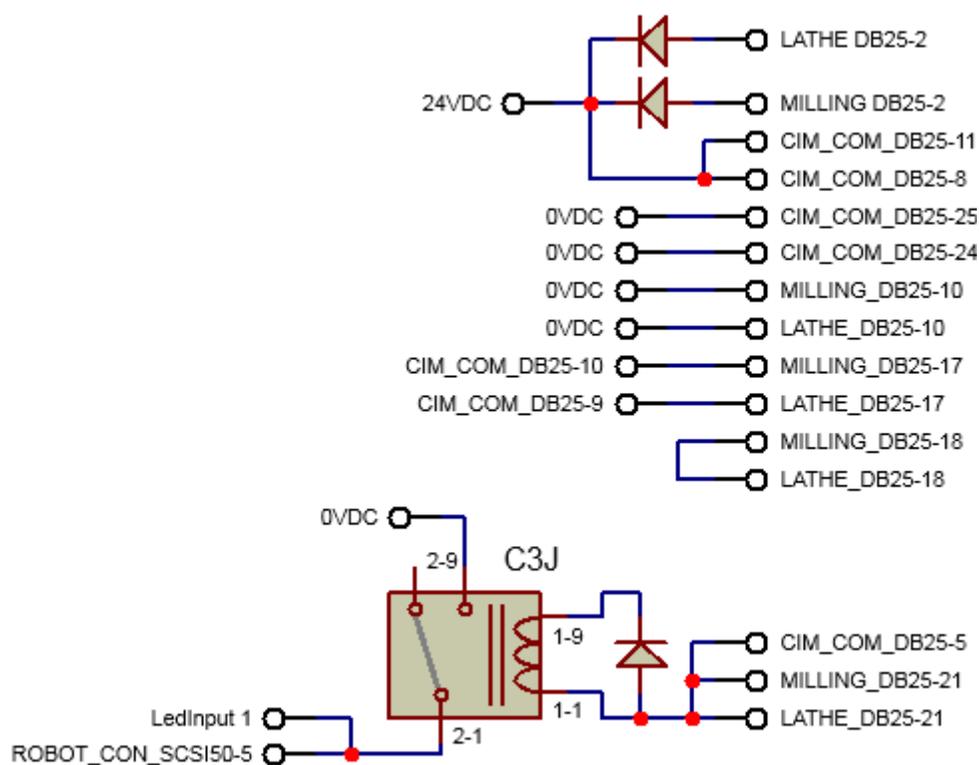


*Figura 88.* Esquemático del PLC KEYENCE y sus conexiones.

**Tabla 1***Conector DA-15F TEACH BOX y acciones que realiza en el PLC*

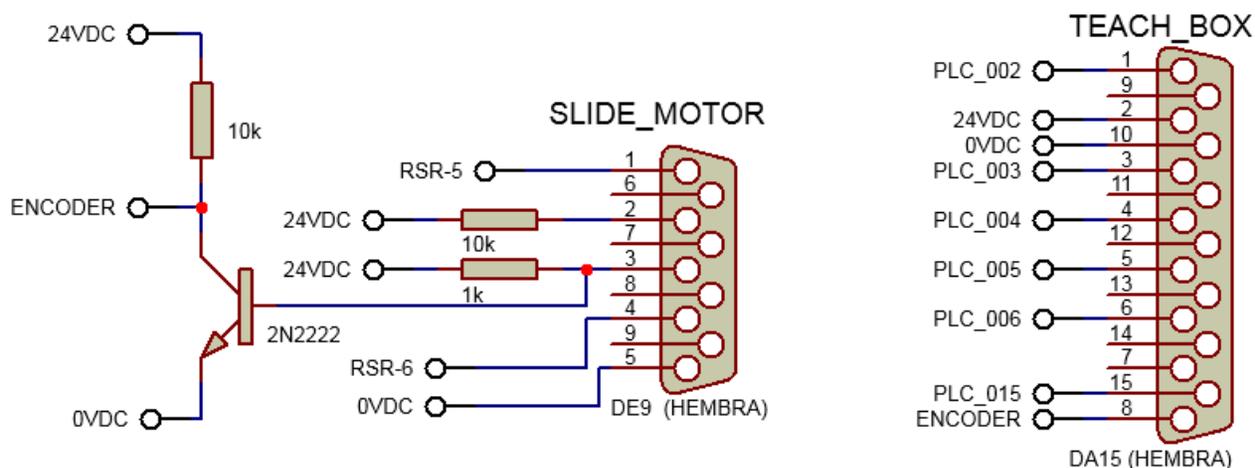
<b>Nombre del Pin:</b>	<b>Conectado a:</b>	<b>Acciones:</b>
<b>TEACH_BOX_DA15-2</b>	24VDC+	Alimenta con 24VDC a TEACH BOX.
<b>TEACH_BOX_DA15-4</b>	PLC_004	Mueve el riel hacia la derecha.
<b>TEACH_BOX_DA15-5</b>	PLC_005	Mueve el riel hacia la izquierda.
<b>TEACH_BOX_DA15-6</b>	PLC_006	Selecciona el modo Manual/Automático.
<b>TEACH_BOX_DA15-7</b>	PLC_007	Hace que el PLC Guarda la posición actual en la posición dada por Dato_0, Dato_1 y Dato_2.
<b>TEACH_BOX_DA15-10</b>	0VDC	Alimenta con 0VDC a TEACH BOX.
<b>TEACH_BOX_DA15-12</b>	PLC_012	Dato_0
<b>TEACH_BOX_DA15-13</b>	PLC_013	Dato_1
<b>TEACH_BOX_DA15-14</b>	PLC_014	Dato_2
<b>TEACH_BOX_DA15-15</b>	PLC_015	Mueve el riel hacia la posición dada por Dato_0, Dato_1 y Dato_2.

Otros circuitos importantes se muestran en *Figura 89* son la alimentación eléctrica que llega por parte de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000, Representados por: MILLING\_DB25-2, 24, 25 y LATHE\_DB25-2, 24, 25 respectivamente, estos entregan 24VDC al tablero principal después de pasar por diodos. Esta alimentación permite el funcionamiento del PLC y los relevadores. Los demás Pines se utilizan para interconexión entre los dispositivos de maniobra de la fresadora y el torno, además se algunas salidas hacia el Controlador principal CIM\_CIM\_DB25-8, 9, 10, 11, 24, 25.



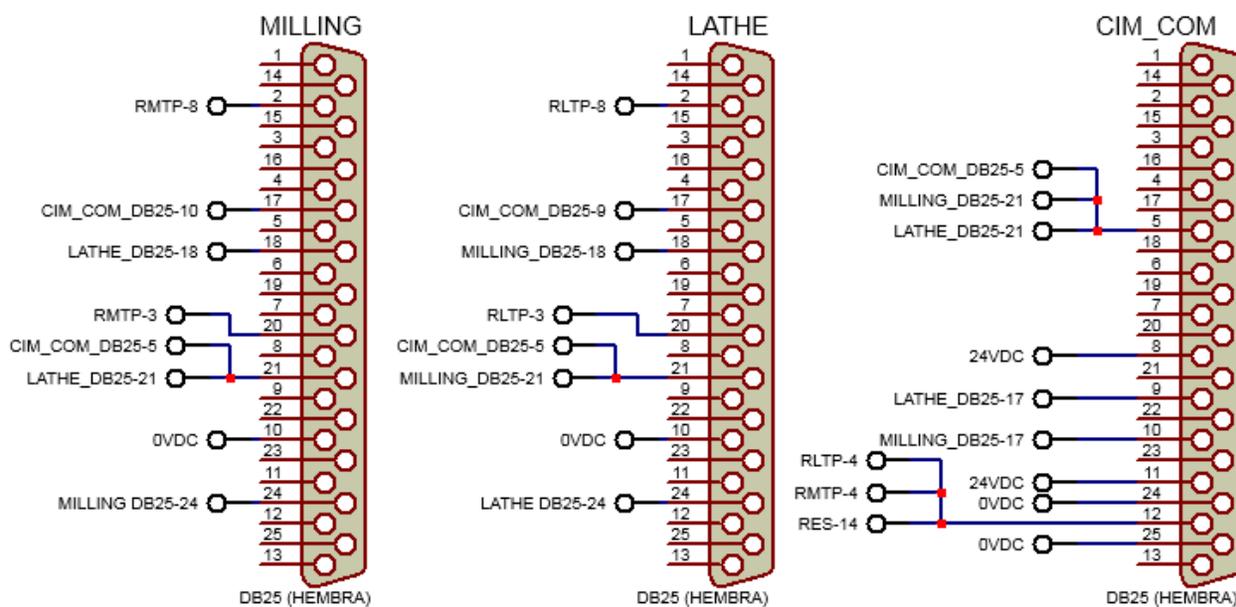
**Figura 89.** Esquema de los circuitos adicionales del tablero principal

Los Circuitos del Conector SLIDE MOTOR en la *Figura 90*. Se conectan al motorreductor del riel de desplazamiento lineal. Por otro lado se observa que se conecta al PLC y al relevador RSR. Ver *Figura 86* y *Figura 88*. El conector TEACH BOX se conecta directamente al PLC y cuenta con la mayoría de las acciones que puede realizar el PLC. Ver *Figura 88*, *Tabla 1* y *Figura 90*.



**Figura 90.** Esquema de los conectores SLIDE MOTOR y TEACH BOX.

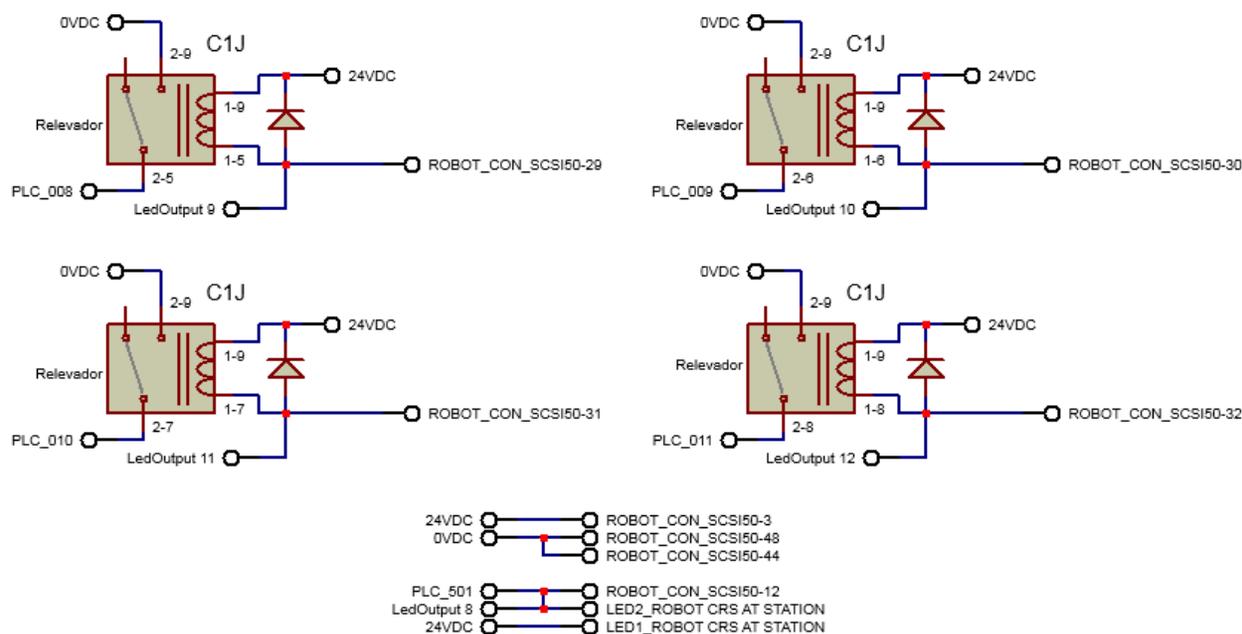
Los conectores MILLING, LATHE y CIM COMMUNICATION se muestran en la *Figura 91* las conexiones que tienen en el circuito electrónico del tablero.



**Figura 91.** Esquema de los conectores MILLING, LATHE y CIM COMMUNICATION

Algunos circuitos importantes del conector del ROBOT CONTROLLER se muestran en *Figura 92*. Como el ROBOT\_CON\_SCSI50-29, 30, 31, 32 se utilizan para controlar el riel de desplazamiento lineal en el modo automático, los pines ROBOT\_CON\_SCSI50-3, 44 y 48 son la

alimentación del conector. ROBOT\_CON\_SCSI50 indica cuando el riel de desplazamiento lineal ha llegado a la posición requerida. Ver *Figura 88*.



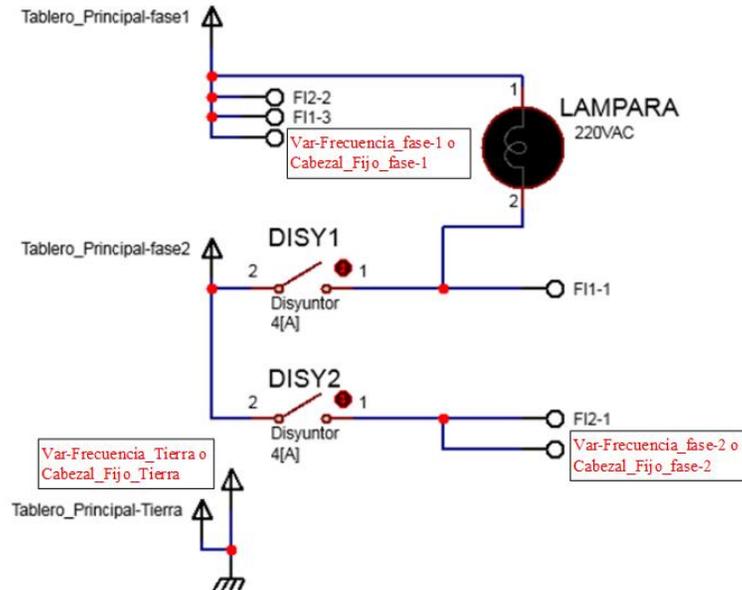
**Figura 92.** Esquema de los circuitos electrónicos para el control automático del riel.

### 3.4.3.2 Circuitos de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000

Realizando el análisis de los datos se determinó que las conexiones eléctricas y electrónicas de las 2 CNC son similares, pero no se conectan directamente, para ello se conectan primero al tablero principal y luego a la otra CNC. Además se determinó que a pesar de que no se conectan directamente son muy similares solo se diferencian en conexiones puntuales. Como por ejemplo: la conexión con el variador de frecuencia en el caso de la fresadora. Ver: *Figura 48*, *Figura 49*, *Figura 51* y *Figura 52*. Y el husillo principal en el caso del torno. Ver: *Figura 56*. Otra diferencia se encuentra en el panel de control frontal de la fresadora que incluye el panel de control del variador de frecuencia y en el panel de control frontal del torno no lo tiene, como se observa en la *Figura 83*. Por lo tanto es fundamental diferenciar las conexiones que pertenecen exclusivamente

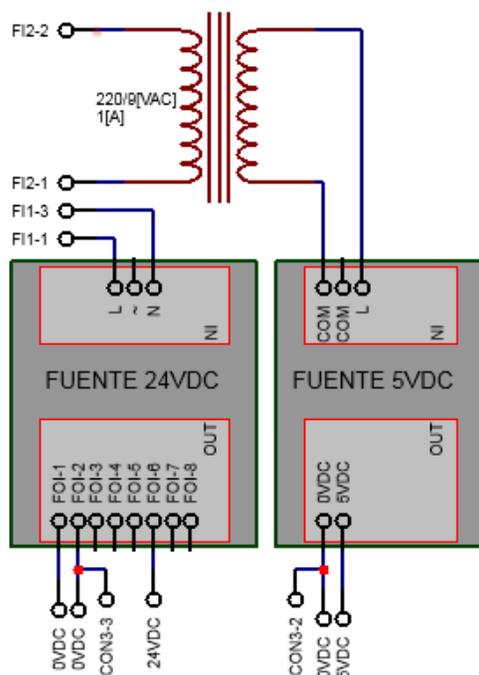
a la fresadora y las que pertenecen al torno. Para esto se utiliza el siguiente concepto cuando se habla de las CNC o máquinas CNC se debe tener presente que se está hablando de ambos y por lo tanto el circuito que se muestre es de las dos CNC, por lo que existen dos circuitos iguales uno para la fresadora y otro para el torno. Entonces todo lo que se dice sobre el circuito aplica para ambos. Sobre todo no confundir o interpretar cuando se hable de las CNC o máquinas CNC que solo existe un solo circuito que la fresadora y el torno lo comparten porque esto es un error. Cuando se habla de un circuito exclusivo de una sola de las CNC, siempre se aclara si pertenece a la fresadora o el torno.

En el circuito de la *Figura 93*, se muestra la alimentación de 220[VAC] que viene del tablero principal: *tablero\_principal-fase1*, *tablero\_principal-fase2* y *tablero\_principal-Tierra* de este circuito existe uno para la fresadora y otro igual para el torno. La diferencia se encuentra en la alimentación del variador de frecuencia para la fresadora y en el otro la alimentación del motor AC para el torno. Se aprecia la lámpara que ilumina el área de trabajo de las CNC, esta se enciende exactamente cuándo se energiza la estación lo que nos indica que hay energía eléctrica de 220VAC en las máquinas CNC. Otras características son las protecciones eléctricas como 2 interruptores termomagnéticos de 4[A] cada uno que alimentan a FI1 y FI2, ambos son la alimentación de energía alterna para las fuentes de 24[VDC] y 5[VDC] como se observa en la *Figura 94*.



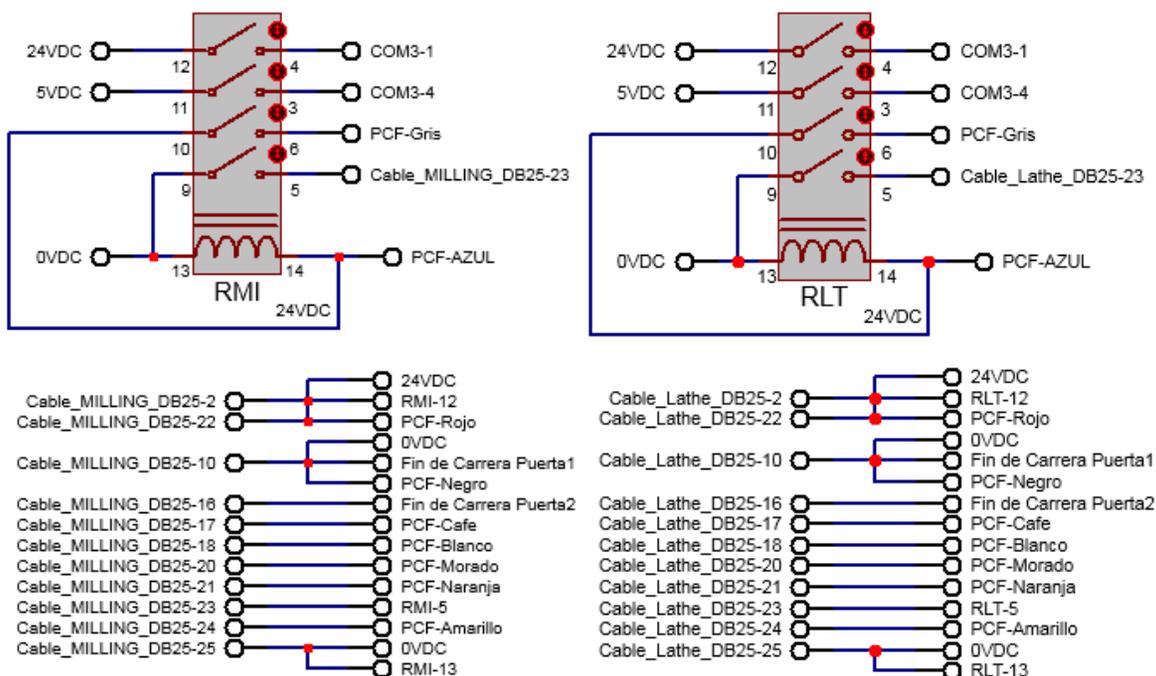
**Figura 93.** Esquemas de los circuitos electrónicos de alimentación de las CNC.

Las fuentes de alimentación de 5VDC y 24VDC para las CNC se observan en la *Figura 94*, donde existe una fuente de 24VDC y una de 5VDC para la fresadora y otras iguales pero solo para el torno. Y COM3-1, COM3-2, COM3-3 y COM3-4 son los encargados de entregar la alimentación en corriente continua a los circuitos de control de las CNC.



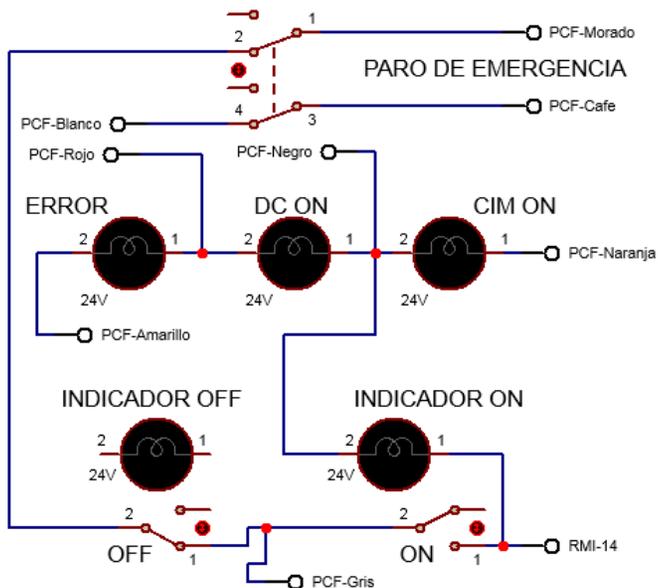
**Figura 94.** Esquema de la Fuentes de alimentación de 5 y 24 [VDC] de las CNC.

En el circuito de la *Figura 95* se muestra los relevadores RMI y RLT que se encuentran en la fresadora y el torno respectivamente. Las conexiones son iguales pero la nomenclatura varia para cada máquina. Los relevadores RMI y RLT son los encargados de energizar al controlador CNC de las máquinas, atreves de los conectores COM3-1, COM3-2, COM3-3 y COM3-4. Por lo tanto RMI o RLT están conectados al Panel de control frontal de las máquinas y una vez que se presione encendido RMI o RLT se enclavan y dan energía a los controladores de las CNC. Los conectores cable\_MILLING\_DB23 y cable\_LATHE\_DB23 se conectan al Panel de control frontal de las máquinas CNC. También se aprecia la conexión entre el tablero principal y el panel de control frontal de las CNC. Como se puede apreciar PCF-Rojo, Negro, Café, Morado, Naranja y Amarillo se conectan a los cables que vienen del tablero principal: cable\_MILLING\_DB25 y al cable\_LATHE\_DB25.



**Figura 95.** Esquemas de los circuitos de encendido para la fresadora y el torno.

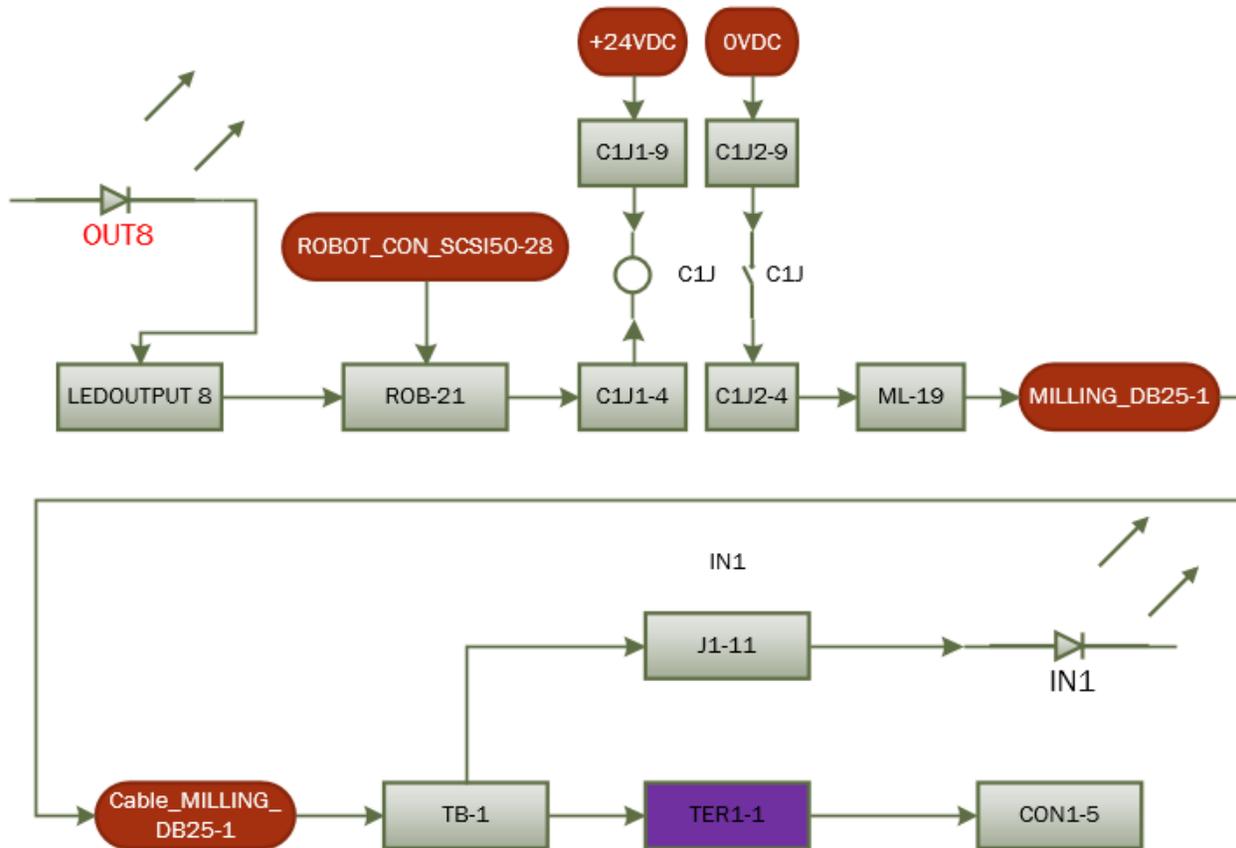
El circuito eléctrico del panel frontal se muestra en la *Figura 96*, en este se observa cómo funciona los indicadores luminosos del panel y los dispositivos de maniobra. El conector PCF-Morado que se conoce que lleva 24VDC; al estar conectado a cable\_MILLING\_DB25-20 y cable\_LATHE\_DB25-20 como se observa en la *Figura 87* es el que permite el encendido de las CNC; Es el que produce el enclavamiento de RMI o RLT dependiendo de la máquina de fresado o Torneado, por lo tanto el Paro de Emergencia interrumpe la energía en el FMS 2101 y quita la energía de las fuentes de alimentación de 24 [VDC] y 5 [VDC] a los controladores de las CNC, cumpliendo así su función.



**Figura 96.** Esquema de un circuito electrónico del Panel Frontal de las CNC.

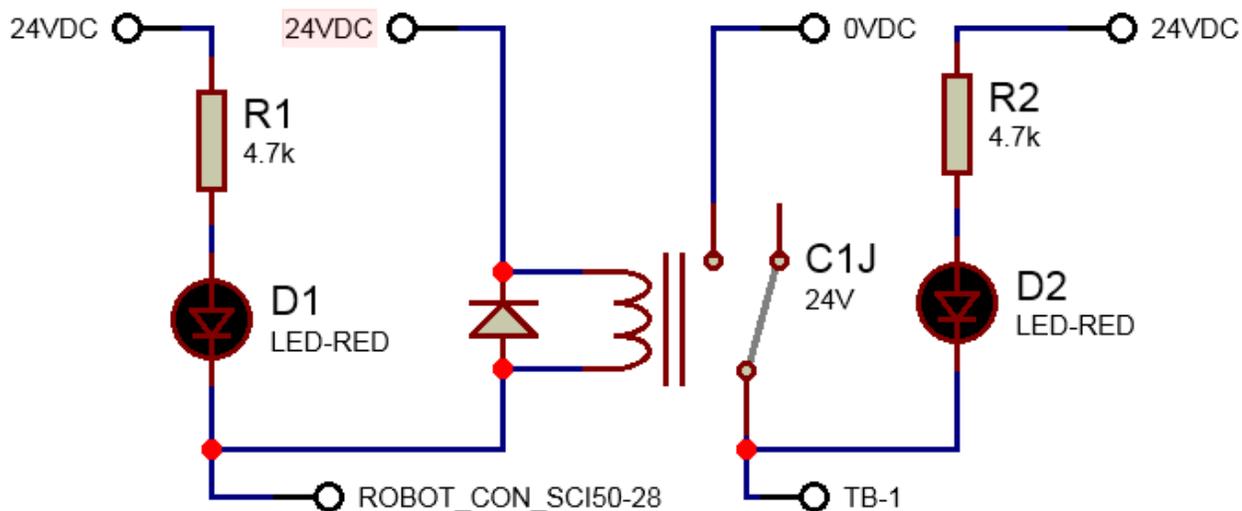
### 3.4.3.3 Circuitos de entrada y salida

En el diagrama de bloque de la *Figura 97* se muestra una de las conexiones típicas del tablero principal, en este caso se trata de una salida digital desde ROBOT\_CON\_SCI50-28 hacia el la fresadora TB-1. Como se observa cuando desde el tablero se ROB-21 recibe una señal de 0VDC, se activa el LEDOUTPUT 8 (OUT 8) en el panel del tablero principal y también el relé C1J produciendo que una señal de 0VDC pase por ML-19, MILLIG\_DB25-1, cable\_MILLIG\_DB25-1, TB-1, TER1-1, CON1-5 y el Led j1-11 (IN1). Este es el recorrido que normalmente se produce en la estación para enviar señales de control.



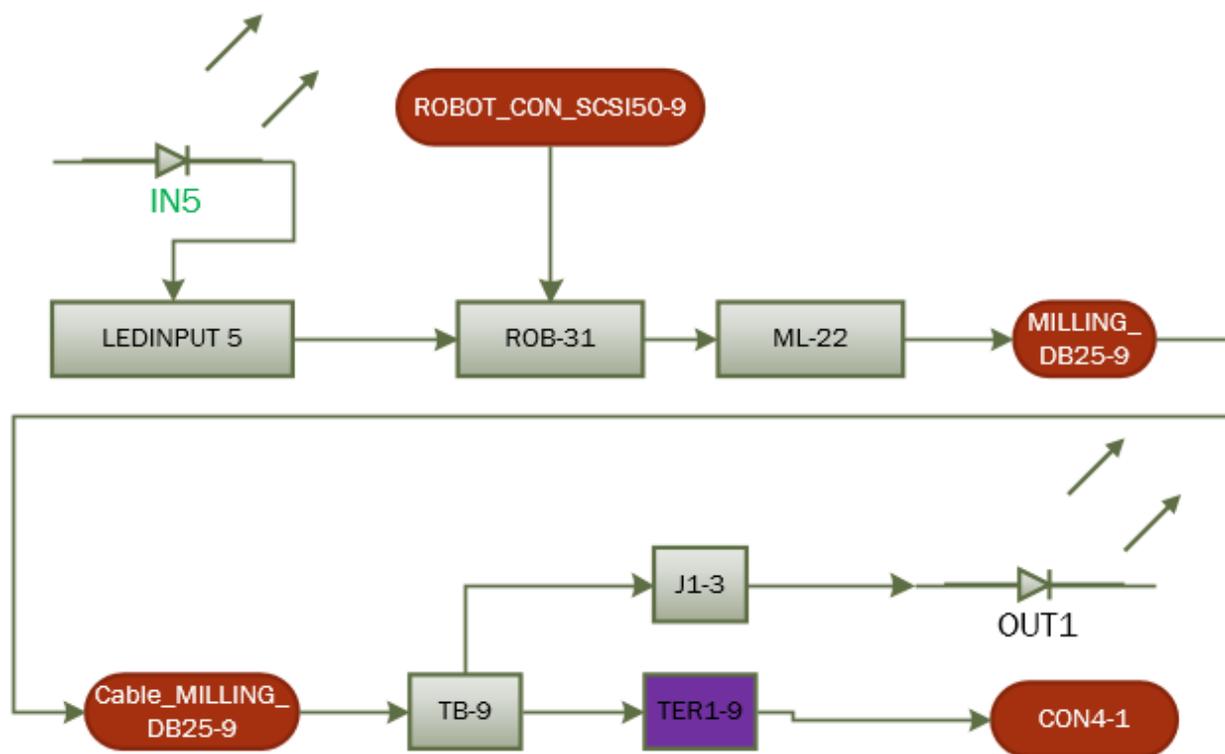
**Figura 97.** Diagrama de bloques, conexión de salida típica del tablero principal.

El diagrama de bloques de la *Figura 97*, se puede interpretar y resumir en el circuito de la *Figura 98*, en este caso este circuito es de salida desde el tablero principal hacia la fresadora y sus componentes, se puede destacar que todo el funcionamiento se realiza con 0VDC o lógica en bajo.



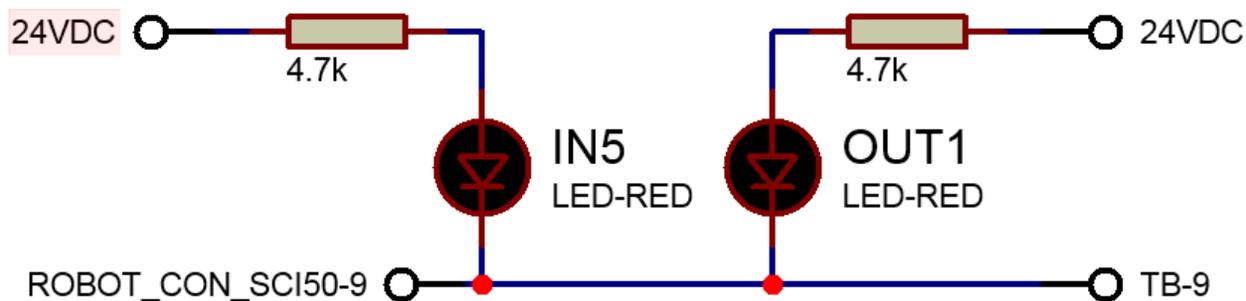
**Figura 98.** Esquemas de un circuito eléctrico, conexión de salida típica del tablero principal

Para el diagrama de la *Figura 99*. Se muestra lo contrario en CON4-1 debe cambiar a 0VDC para lograr la activación de los LED OUT1 y LED INPUT 5 (IN5), adicionalmente en ROBOT\_CON\_SCI50-9 obtendrá una salida de 0VDC. A diferencia del otro diagrama en este no se utiliza un relé.



**Figura 99.** Diagrama de bloques, conexión de entrada típica del tablero principal.

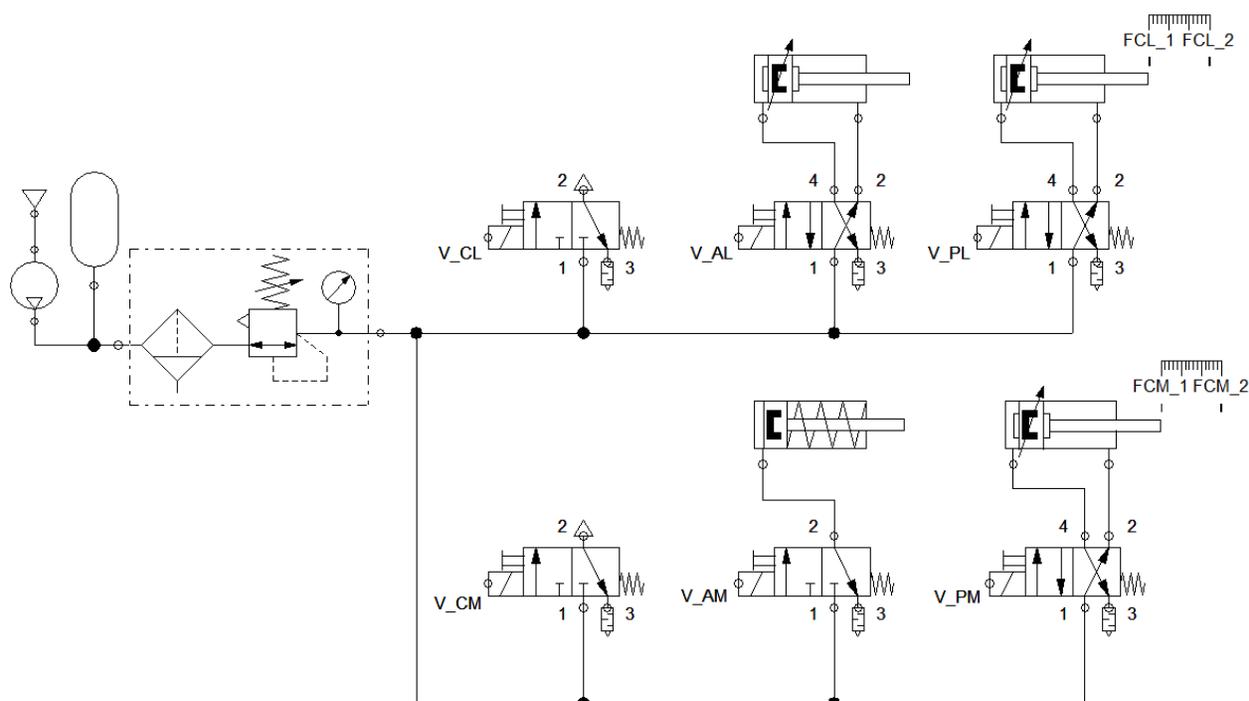
El circuito de la *Figura 100* muestra y resume el diagrama de bloques anterior *Figura 99*, que es una entrada al ROBOT CONTROLLER desde el PCB del controlador antiguo del torno. Igualmente para el funcionamiento es necesario una señal de lógica en bajo o 0 [VDC] para su funcionamiento.



**Figura 100.** Circuito eléctrico, conexión de entrada típica del tablero principal

### 3.4.4 Análisis del sistema neumático de la estación FMS 2101

El sistema neumático del FMS 2101, se encuentra a simple vista y las conexiones son intuitivas, gracias a la investigación y análisis de las conexiones del sistema, se realiza el diagrama neumático del FMS 2101 que se muestra en la *Figura 101*. Se compone de unos pocos componentes y todos son accesibles. Como se observa el compresor alimenta a un almacén, luego se tiene el acondicionar de aire comprimido y finalmente las electroválvulas NCL y NCM que controlan los actuadores neumáticos de la estación.



*Figura 101.* Diagrama esquemático del sistema neumático del FMS 2101.

### 3.4.5 Funcionamiento de la estación FMS 2101

Mediante la investigación, clasificación y análisis de los datos, el funcionamiento de la estación FMS 2101 se ha resumido en varios diagramas esquemáticos que explican de manera clara y rápida su funcionamiento adicionalmente se complementa los diagramas con imágenes,

que indican la ubicación de los componentes que se está mostrando, junto con una explicación detallada; para entender con mayor profundidad la estación. Lo que se va a mostrar en los diagramas e imágenes es:

- Que función realiza cada componente y donde está ubicado en la estación.
- La relación que existe entre los diferentes componentes de la estación.
- Como se encuentran ordenados los componentes en la estación.
- La nomenclatura que se le ha asignado a cada componente.

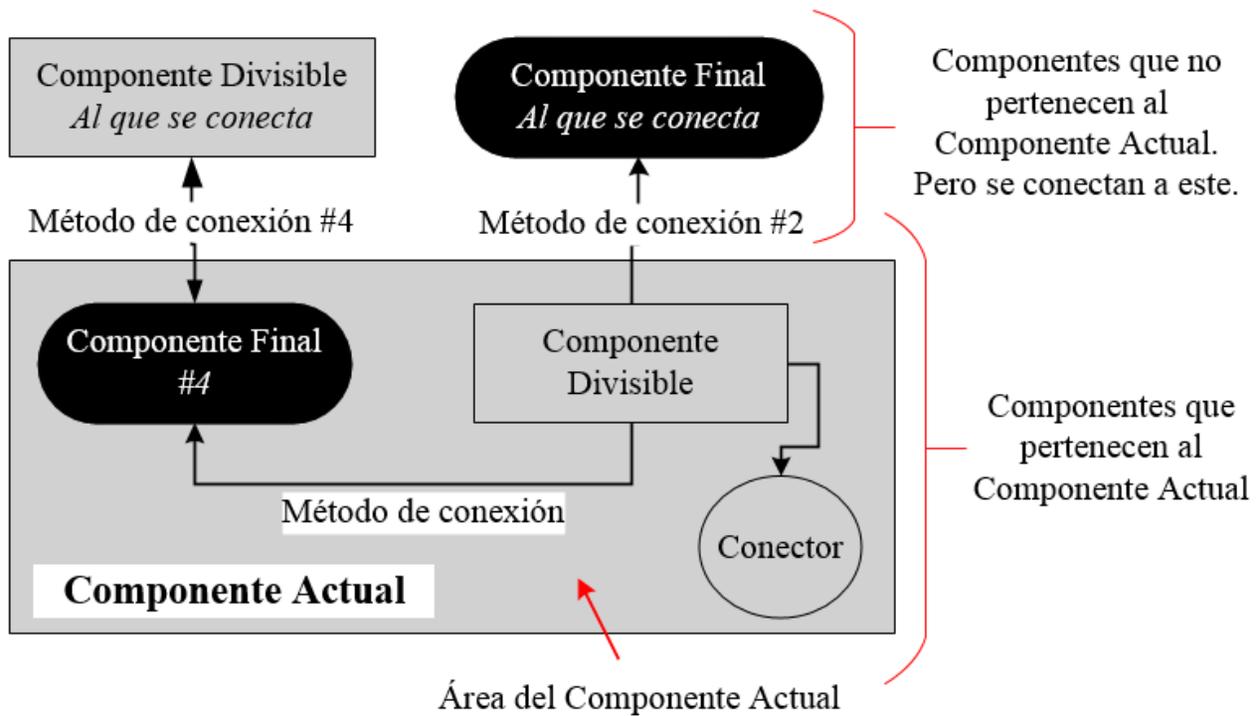
#### 3.4.5.1 **Aclaraciones sobre los diagramas esquemáticos.**

Para comprender los diagramas esquemáticos mire el diagrama que se muestra en la *Figura 102*. El significado de cada parte del diagrama se muestra a continuación:

- Componentes finales o componente final: son los bloques que tienen los bordes curvos y son de color rojo o negro, estos pueden o no agrupar componentes más pequeños de la estación, pero sobre todo representan a uno o varios componentes que realizan una función específica.
- Conector: es el círculo de color gris el cual simplemente conecta los diferentes bloques de los diagramas y se le asigna un nombre para identificar que bloques se están interconectando.
- Componentes divisibles o componente divisible: son los bloques rectangulares y de color gris, su función es la de resumir y agrupar todos los componentes de la estación, por lo tanto estos pueden agrupar a: componentes finales, componentes divisibles y/o conectores.

- **Componente Actual** es un componente divisible que está delimitado por un rectángulo gris; el más grande del diagrama; de nombre área del componente actual y que muestra los componentes que este agrupa.
- **Método de conexión:** es la flecha que se observa unir a dos bloques esta flecha normalmente contiene el nombre del método por el cual los bloques están interconectados. Por ejemplo: cables, atornillado, manguera neumática, etc. Si no se especifica el método de conexión siempre se debe considerar de que el método de conexión es mecánico mediante tornillos, a menos que se indique lo contrario en el diagrama.
- **Componentes que no pertenecen al componente actual:** los componentes divisibles y componentes finales que están fuera del área del componente actual no pertenecen a este componente pero si están conecta conectado a este. Es una manera fácil de identificar a que componentes está conectado el componente actual y el método de conexión que se utiliza.
- **Componentes que pertenecen al componente actual:** como su nombre lo indica son los componentes que agrupa el componente actual y se identifican fácilmente por los componentes que están dentro del rectángulo más grande del diagrama o área del componente actual.
- **Símbolo numeral más un numero:** En algunos diagramas existe el símbolo de numeral luego un número, justo al final de la descripción del componente o el método de conexión; esto representa el número de componentes o métodos de conexión iguales que existen por ejemplo: si se tiene un componente final #4 o electroválvula #4, eso quiere decir que existen 4 componentes finales o 4 electroválvulas iguales en la estación, si se tiene método de conexión

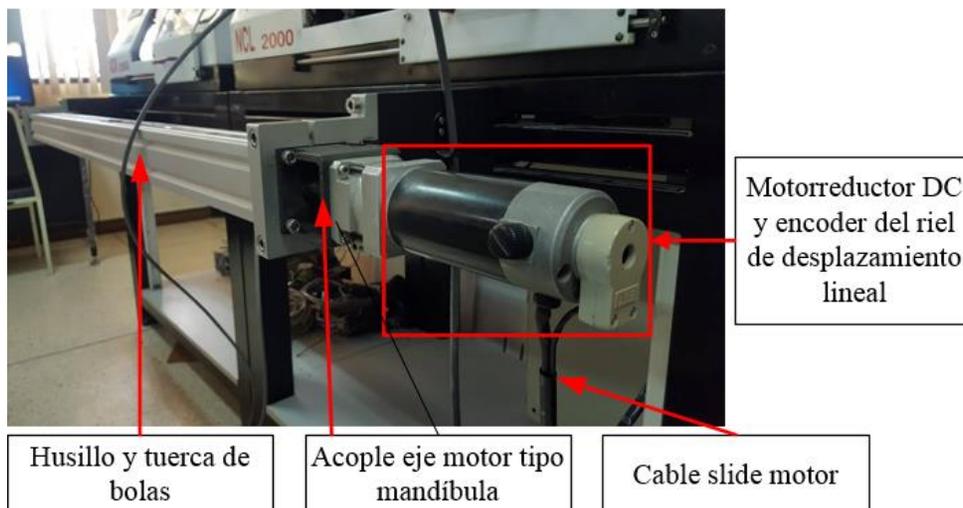
#4 o cables #4 esto quiere decir que en la realidad existe 4 método de conexión o 4 cables entre los componentes.



**Figura 102.** Diagrama aclaratorio sobre los diagramas esquemáticos

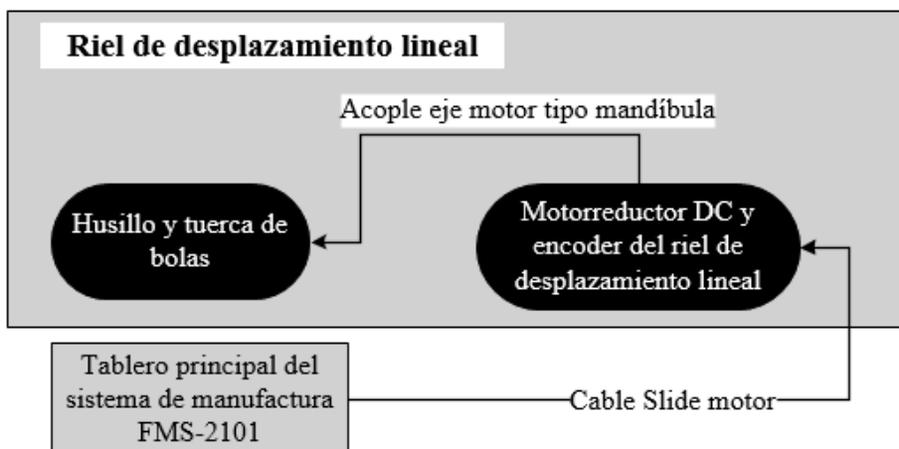
### 3.4.5.2 Funcionamiento del riel de desplazamiento lineal

Es el sistema de la estación que permite a un robot manipulador desplazarse entre las máquinas de torneado y fresado para la cargar y descargar de piezas, incluye la capacidad de movilizarse por toda la longitud del riel para almacenar las piezas ya maquinadas o recoger una nueva pieza para su maquinado. En la *Figura 103*, se muestran los componentes del riel de desplazamiento lineal, también se aprecia que está colocado justo al frente de la estación; delante de la fresadora y el torno.



**Figura 103.** Componentes del riel de desplazamiento lineal

En el diagrama esquemático de la *Figura 104* se puede apreciar cómo se conectan los diferentes componentes del riel de desplazamiento lineal. El riel es controlado por el tablero principal, mediante la alimentación del motorreductor DC y cuando se mueve el encoder registra su movimiento, para así realizar el control de la posición del riel.

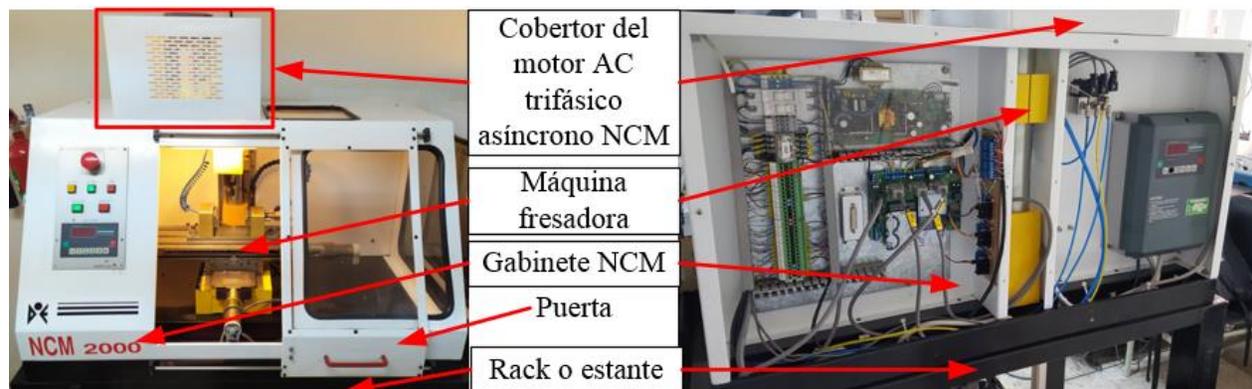


**Figura 104.** Diagrama esquemático del riel de desplazamiento lineal

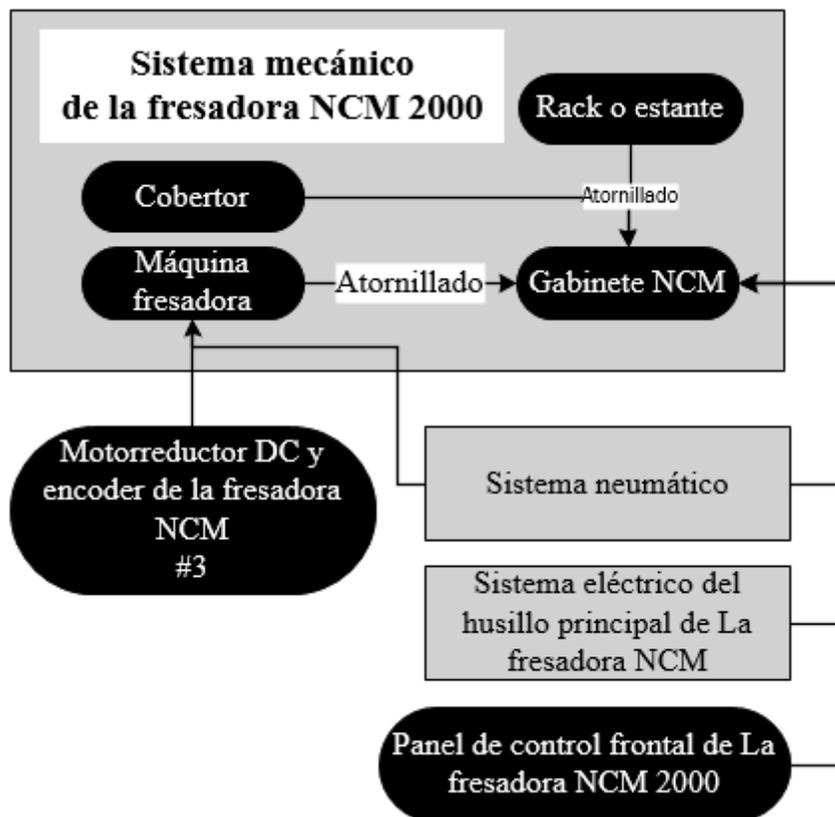
### 3.4.5.3 Funcionamiento del sistema mecánico.

El sistema mecánico son todas las máquinas, mecanismos y componentes que no son ni neumáticos ni electrónicos. Adicionalmente dan soporte a todas las partes eléctricas y neumáticas

de la estación y son los que permiten el mecanizado de piezas mediante torneado o fresado. En la *Figura 105*. Se muestra el gabinete NCM que tiene un cobertor para el motor AC que mueve el husillo de fresado, también al frente se encuentra el panel de control frontal NCM y una puerta que se activa neumáticamente para protección del operador y también evitar la salida de partículas del material que se realice el fresado. En su interior contiene y protege a la máquina de fresado y varios componente neumáticos y electrónicos. En la parte posterior se encuentran atornillados el variador de frecuencia, las electroválvulas NCM y también a los circuitos eléctricos y electrónicos de la fresadora. Toda la estación se encuentra sobre un Rack o estante específicamente diseñado para la estación y debajo del torno se encuentra el tablero principal de la estación. En la *Figura 106*. Se observa como está integrada la estación de fresado en el sistema mecánico.

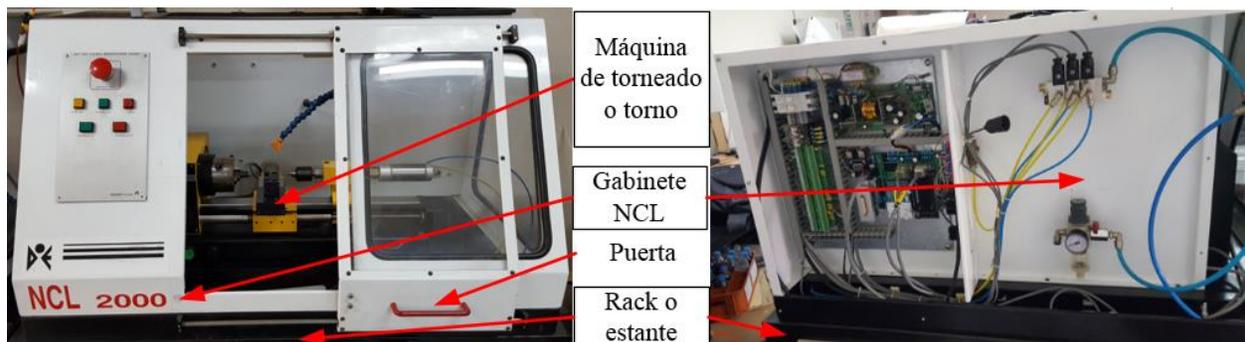


*Figura 105.* Componentes del sistema mecánico de la fresadora

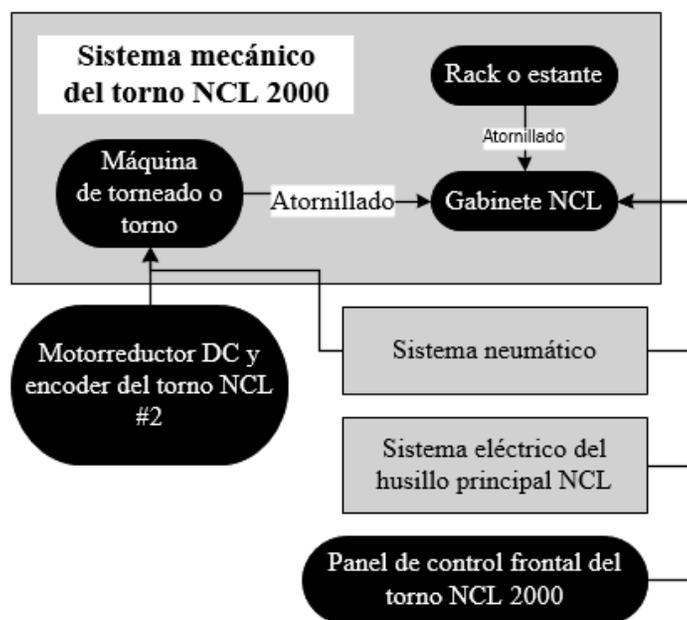


**Figura 106.** Diagrama esquemático del sistema mecánico de la fresadora.

En la *Figura 107*. Se muestra el gabinete NCL al frente se encuentra el panel de control frontal NCL y una puerta que se activa neumáticamente para protección del operador y también evitar la salida de partículas del material que se realice el torneado. En su interior contiene y protege a la máquina de torneado y varios componente neumáticos y electrónicos. En la parte posterior se encuentran atornillados el relé de estado sólido para la activación del husillo principal, las electroválvulas NCL, el acondicionador de aire a presión y también a los circuitos eléctricos y electrónicos de la fresadora. Toda la estación se encuentra sobre un rack o estante específicamente diseñado para la estación y debajo se encuentra el tablero principal de la estación. En la *Figura 108*. Se observa como está integrada la estación de torneado en el sistema mecánico.



*Figura 107.* Componentes del sistema mecánico del torno.

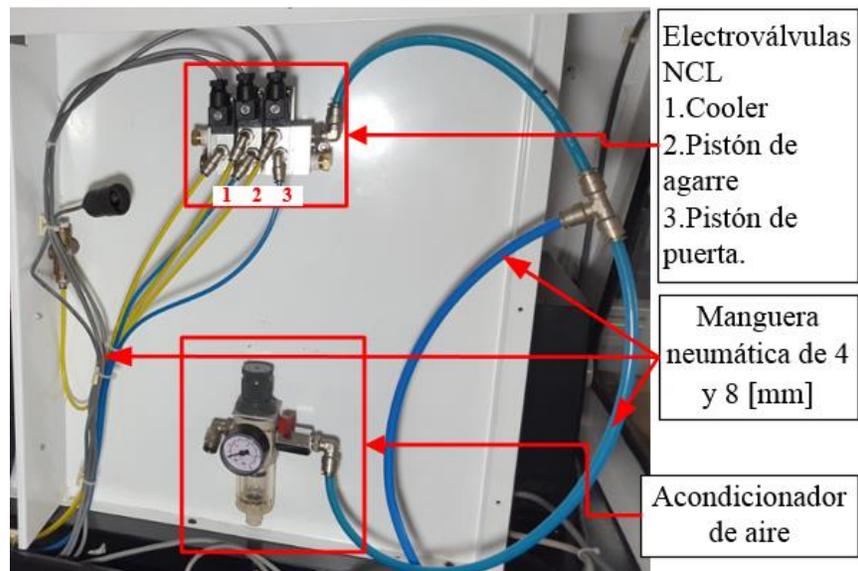


*Figura 108.* Diagrama esquemático del sistema mecánico del torno.

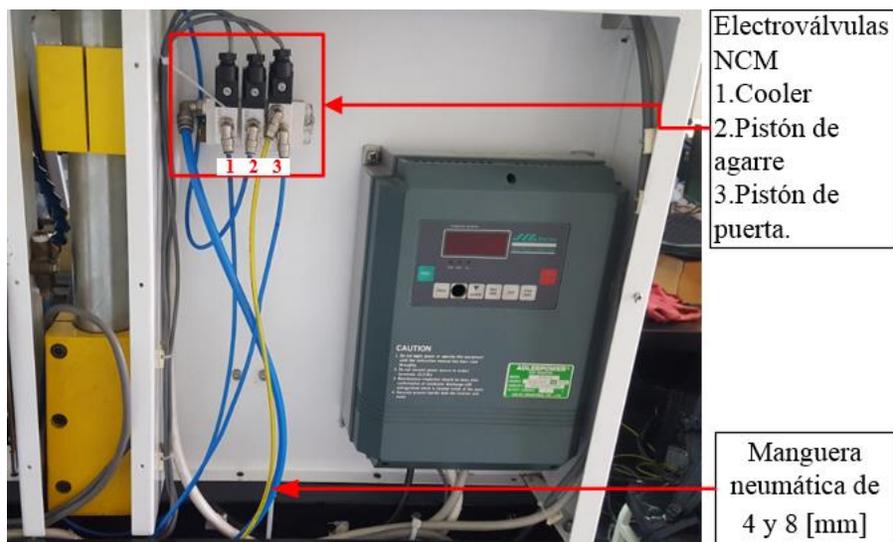
#### 3.4.5.4 Funcionamiento del sistema neumático.

El sistema neumático de la estación está encargado de realizar varias acciones en el proceso de mecanizado de la estación, las funciones que realiza en la estación es la apertura y cierre de las puertas del torno y la fresadora, el agarre de las piezas a tornear o fresar y el enfriamiento o limpieza de la cuchilla del torno o la fresa en la fresadora. Como se observa en la *Figura 109* el sistema neumático que se encuentra en el torno y en la *Figura 110* se observa el sistema

neumático de la estación que se encuentra en la fresadora. En la *Figura 111* se observa el diagrama esquemático del sistema de neumático de la estación se puede observar que no se encuentra conectado a ningún controlador. Por lo que es necesario integrar este sistema para un funcionamiento automático de la estación.



*Figura 109.* Componentes del sistema neumático en el gabinete del torno.



*Figura 110.* Componentes del sistema neumático en el gabinete de la fresadora

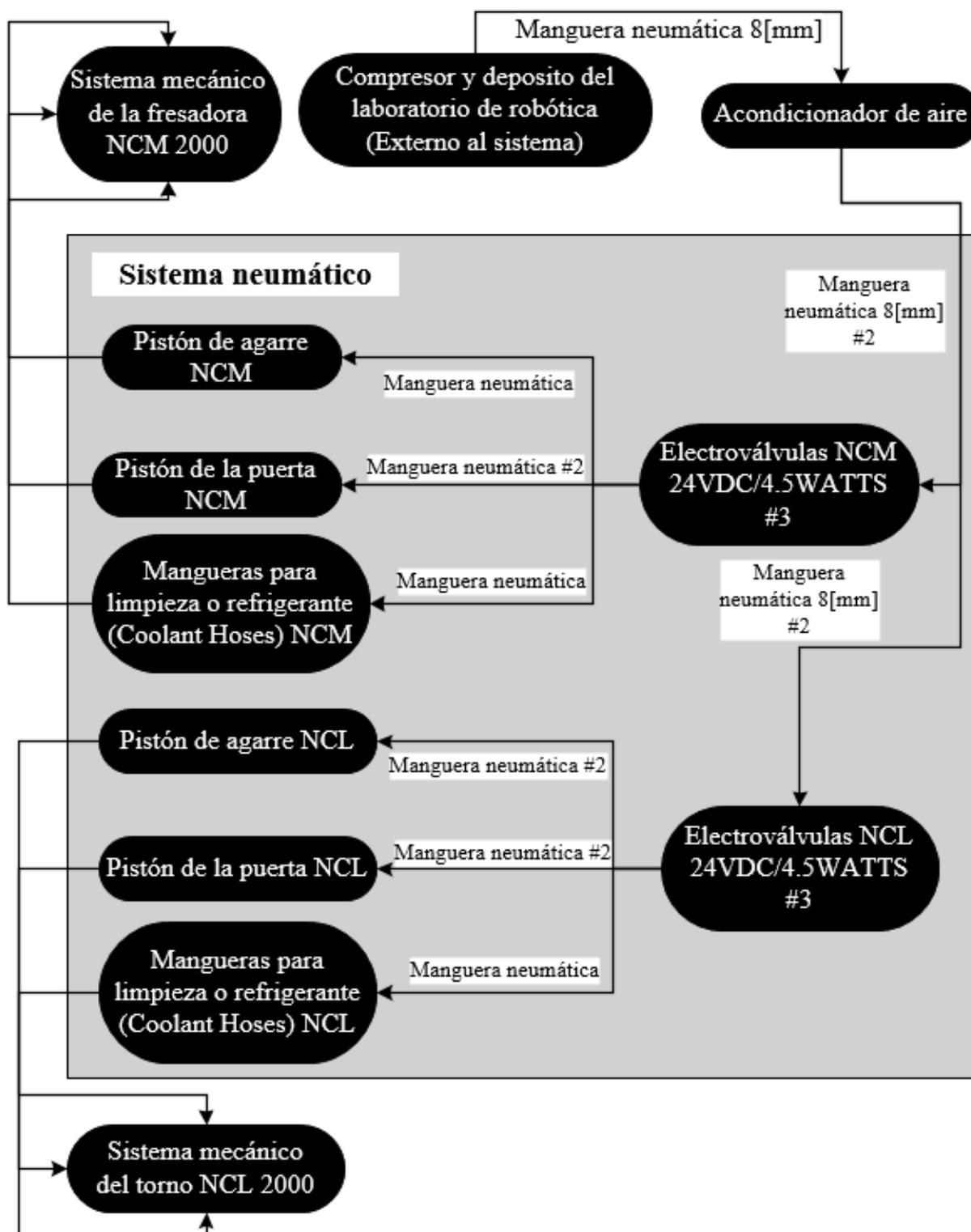
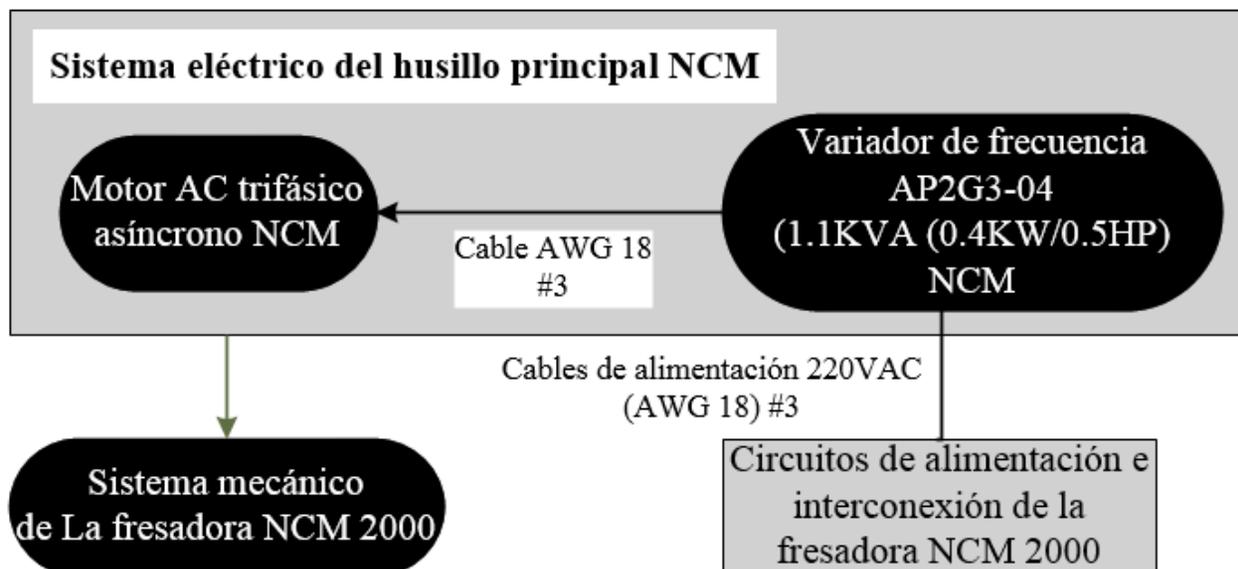


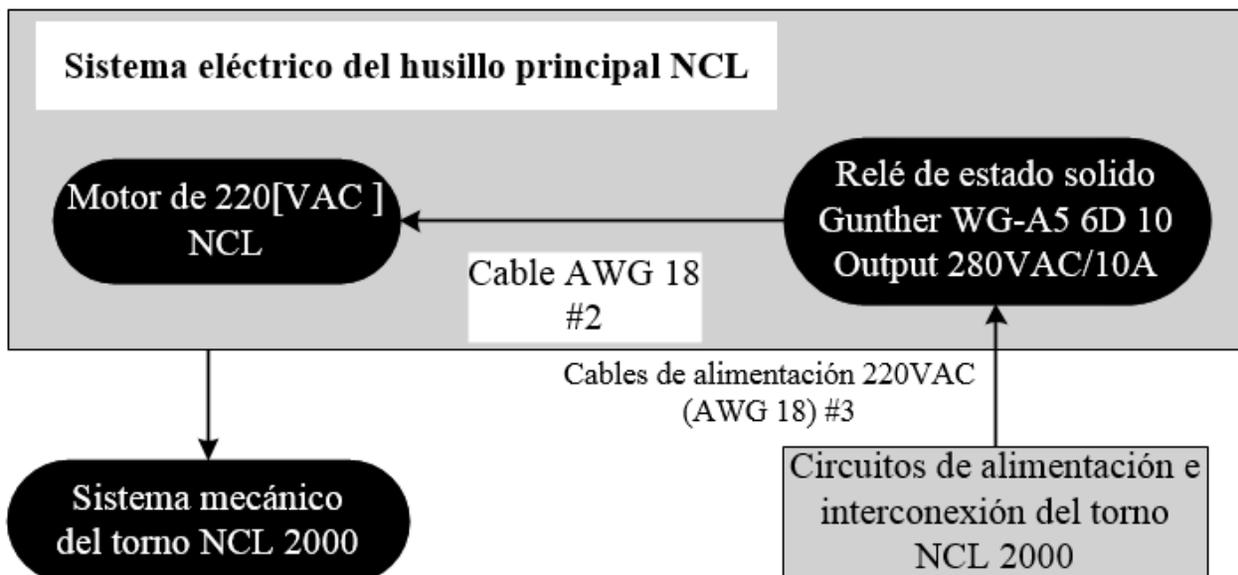
Figura 111. Diagrama esquemático del sistema neumático del FMS 2101.

### 3.4.5.5 Funcionamiento de sistema eléctrico del husillo principal NCM



*Figura 112.* Diagrama esquemático del sistema eléctrico del husillo principal NCM

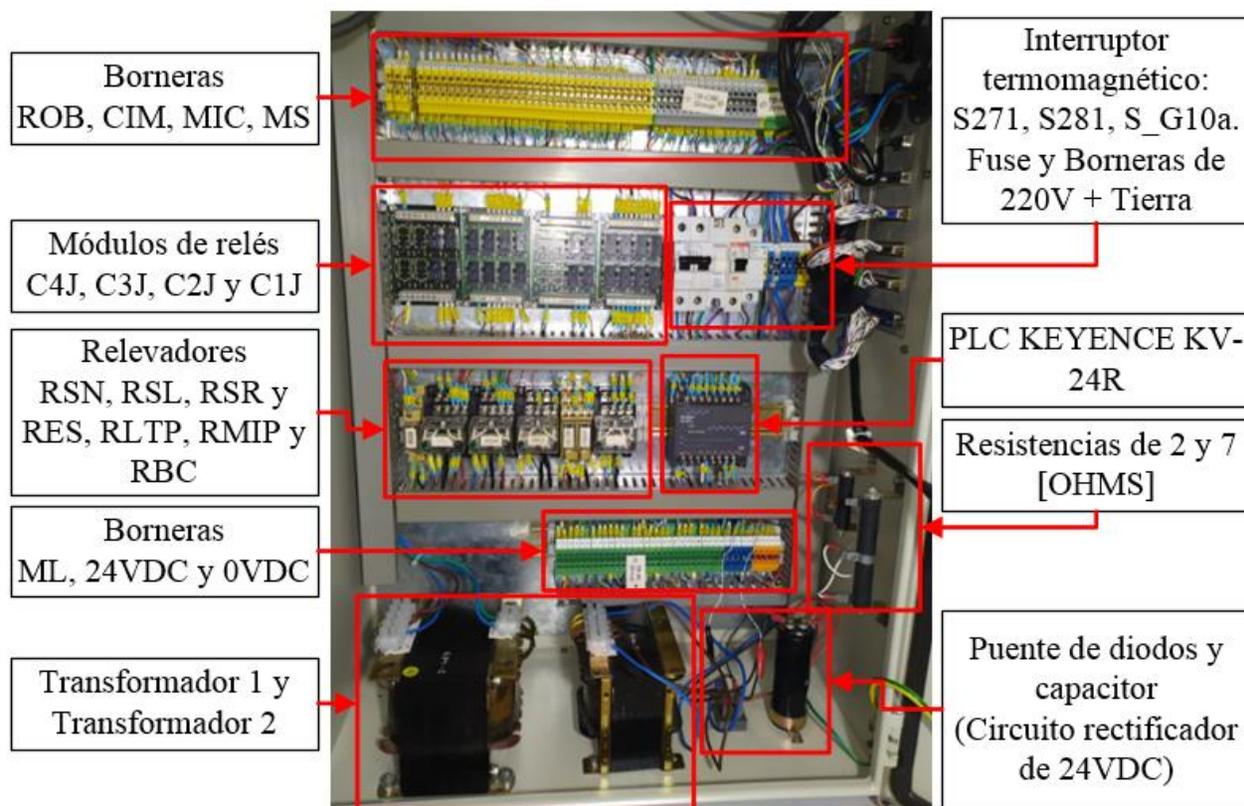
### 3.4.5.6 Funcionamiento del sistema eléctrico del husillo principal NCL



*Figura 113.* Diagrama esquemático del sistema eléctrico del husillo principal NCL

### 3.4.5.7 Funcionamiento del tablero principal

El tablero principal de la estación FMS 2101 es principalmente la fuente de alimentación eléctrica del sistema, adicionalmente cuenta con un PLC que controla el riel de desplazamiento lineal y todos los circuitos electrónicos necesarios para realizar esta función, otra característica del tablero principal es la de interconectar entre todos los dispositivos de maniobra tanto de la fresadora y el torno. En la *Figura 114* se observa los componentes internos del tablero principal y su ubicación en el mismo.



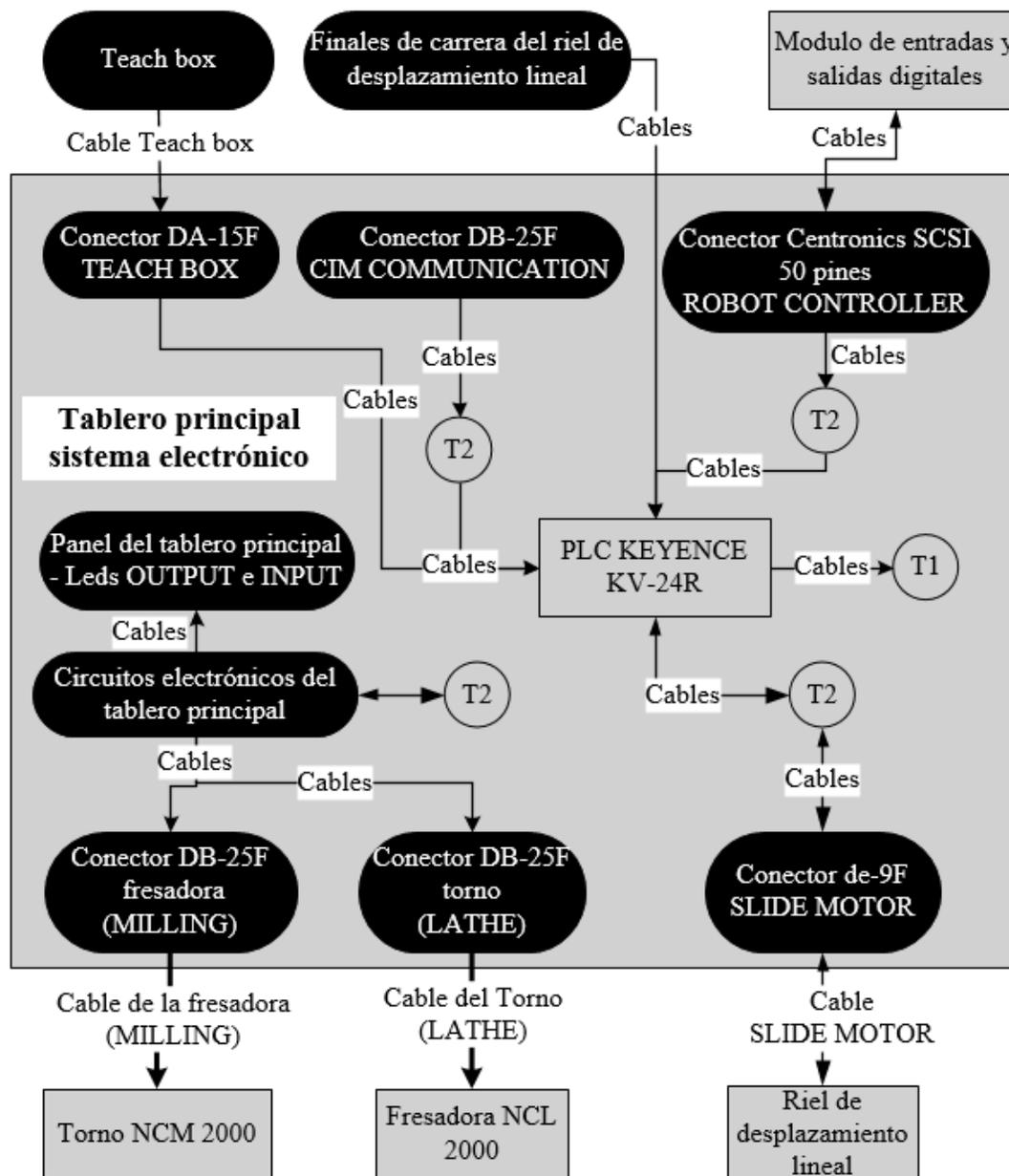
**Figura 114.** Ubicación de los componentes internos del tablero principal.

Una vez que se conoce los componentes del tablero es necesario saber cómo interactúan y se conectan. Para esto en la *Figura 115* se muestran cómo se conectan los componentes eléctricos del tablero principal, en la parte superior se observa de donde proviene la alimentación de la

estación, que SWE permite el paso de corriente y es el interruptor de encendido de la estación. Luego se tiene la protección mediante interruptor termomagnético y desde aquí se distribuye a los transformadores 1 y 2, también a los conectores de alimentación para la fresadora Conector Lathe Outlet 220V y para el torno Milling Outlet 220V. Luego se tiene que al transformador 1 alimenta el Conector ROBOT CONTROLLER OUTLET 100V con 100VAC. Y el otro transformador 2 pasa por un circuito de rectificación de la señal alterna a continua para luego pasar por varios relevadores que al final alimentara exclusivamente el riel de desplazamiento lineal con 24[VDC].



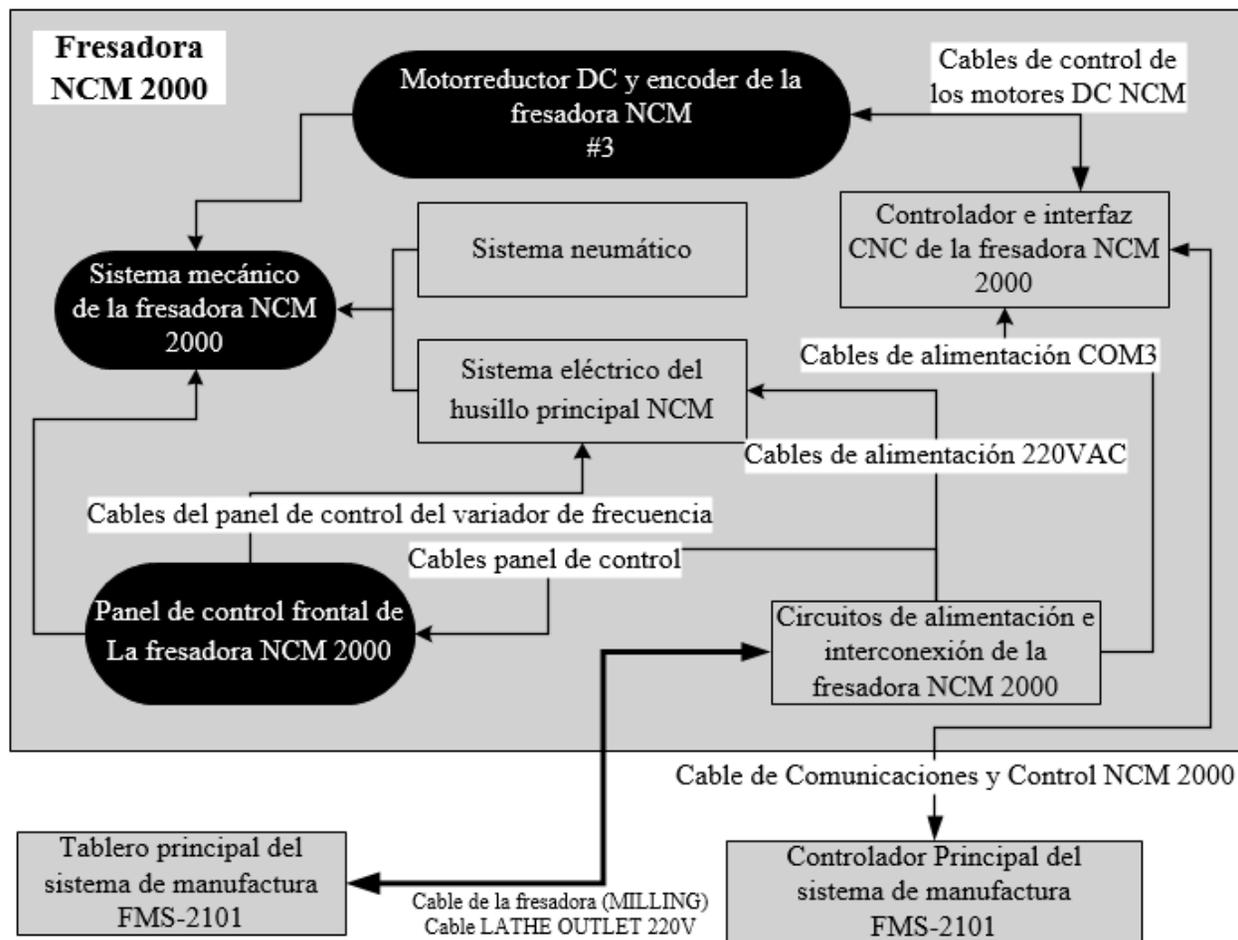
tablero principal. Los conectores que se mencionan en el diagrama se observan en la *Figura 80*. El PLC KEYENCE KV-24R es controlado principalmente por el mando TEACH BOX. Desde el conector ROBOT CONTROLLER se maneja el modo automático del PLC y CIM COMMUNICATION maneja un bit de habilitación de funcionamiento del PLC.



*Figura 116.* Diagrama esquemático de los componentes electrónicos de la estación.

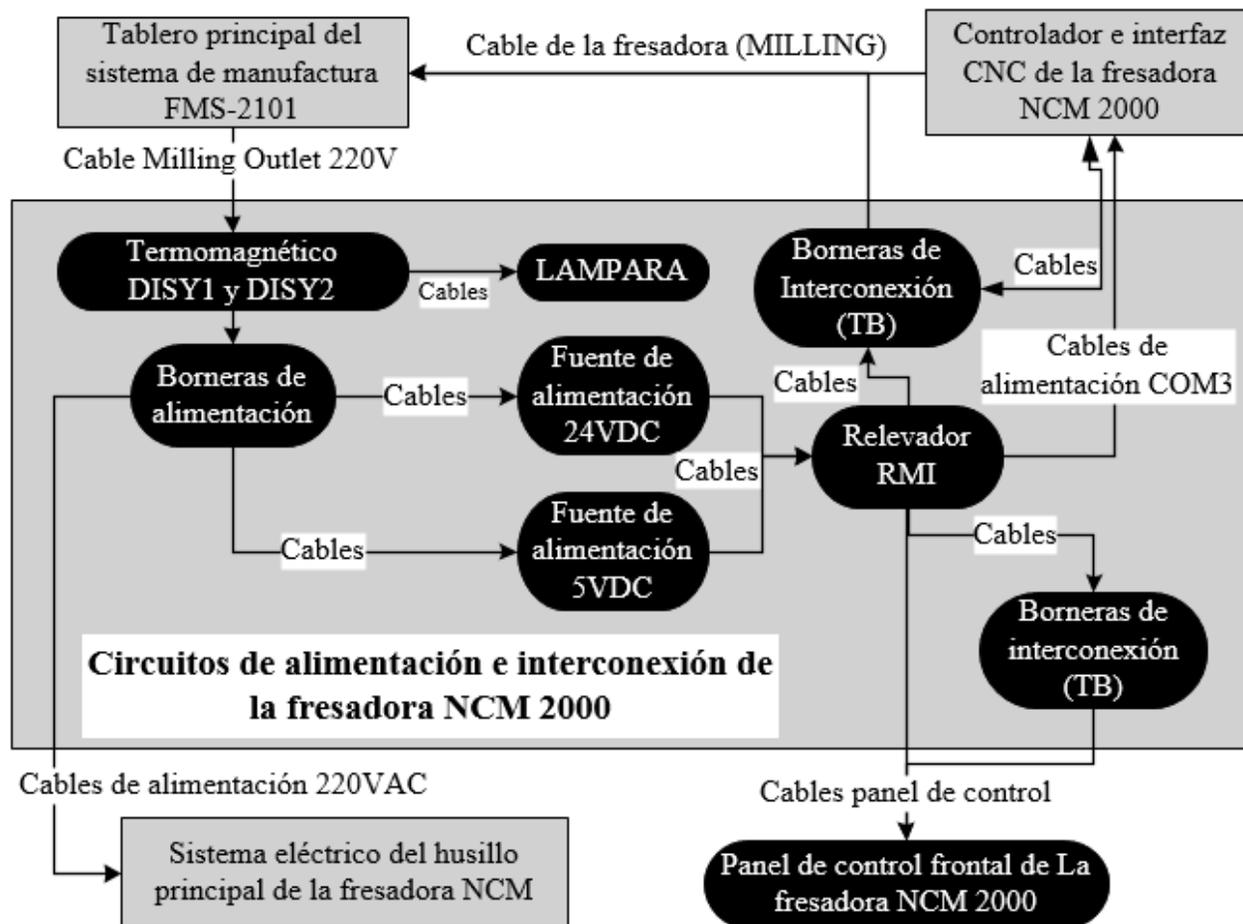
### 3.4.5.8 Funcionamiento de la fresadora NCM 2000

En la *Figura 117* se muestra el diagrama esquemático de la fresadora NCM 2000, en este diagrama todas las flechas que no tienen descripción significan que están atornillados al sistema mecánico de la fresadora NCM 2000. Los motorreductores DC están atornillados a los husillos que mueven los ejes X, Y y Z en la fresadora. Y se conectan al controlador principal de la fresadora como se muestra en la *Figura 105* y *Figura 106*. El sistema neumático de la fresadora no se encuentra conectado a un sistema de control como se muestra en la *Figura 101*. El sistema eléctrico del husillo principal NCM se encuentra conectado a la alimentación y al panel de variador de frecuencia, sin embargo los cables de control para el encendido y apagado de este por el momento se encuentran desconectados. El cable de alimentación COM3 sale de las fuentes de alimentación de 24VDC y 5VDC pero solo energizan al controlador cuando se ha presionado el botón de encendido del panel de control frontal de la fresadora y el torno que se muestra en la *Figura 83*. Revise los Circuitos de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 para más detalles.



**Figura 117.** Diagrama esquemático de la fresadora NCM 2000.

En la *Figura 118* se observa el diagrama esquemático de los circuitos de la fresadora, estos componentes se observan en la *Figura 81*, *Figura 82* y *Figura 83*. Como se puede observar estos componentes son los encargados del encendido de la fresadora y su controlador además de solo alimentar a la estación con 24VDC y 5VDC cuando se ha pulsado el botón de encendido en el panel de control frontal ver la *Figura 83*, esto también tiene relación con el botón de paro de emergencia debido a que cuando se pulsa se corta la energía en la estación inmediatamente. Revise los Circuitos de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 para más detalles.

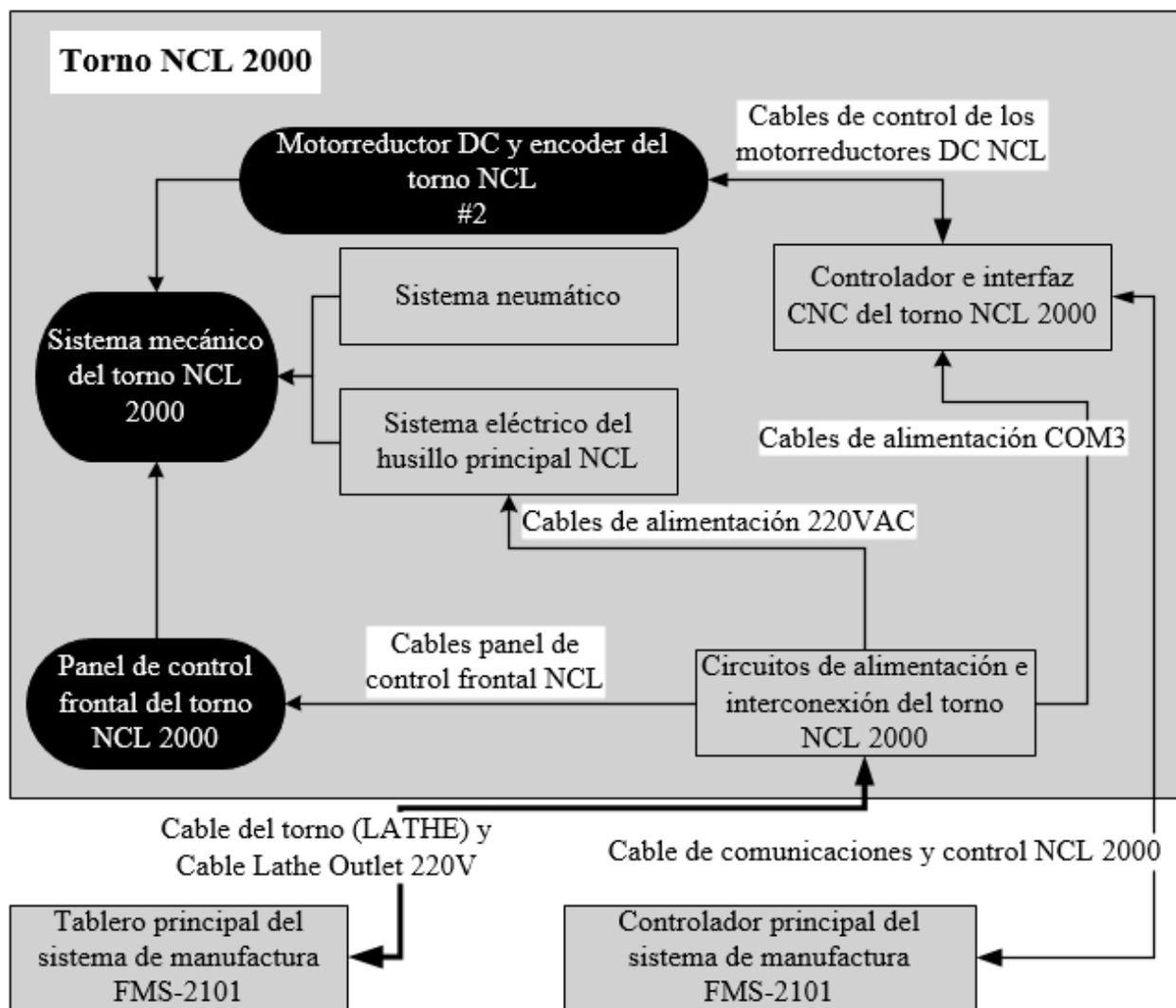


**Figura 118.** Diagrama esquemático de los circuitos de la fresadora

### 3.4.5.9 Funcionamiento del torno NCL 2000

En la *Figura 119* se muestra el diagrama esquemático de la fresadora NCM 2000, en este diagrama todas las flechas que no tienen descripción significan que están atornillados al sistema mecánico del torno. Los motorreductores DC están atornillados a los husillos que mueven los ejes X, Y y Z en la fresadora, se conectan al controlador principal de la fresadora como se muestra en la *Figura 107* y *Figura 108*. El sistema neumático del torno no se encuentra conectado a un sistema de control como se muestra en la *Figura 101*. El sistema eléctrico del husillo principal NCM se encuentra conectado a la alimentación y al panel de variador de frecuencia, sin embargo

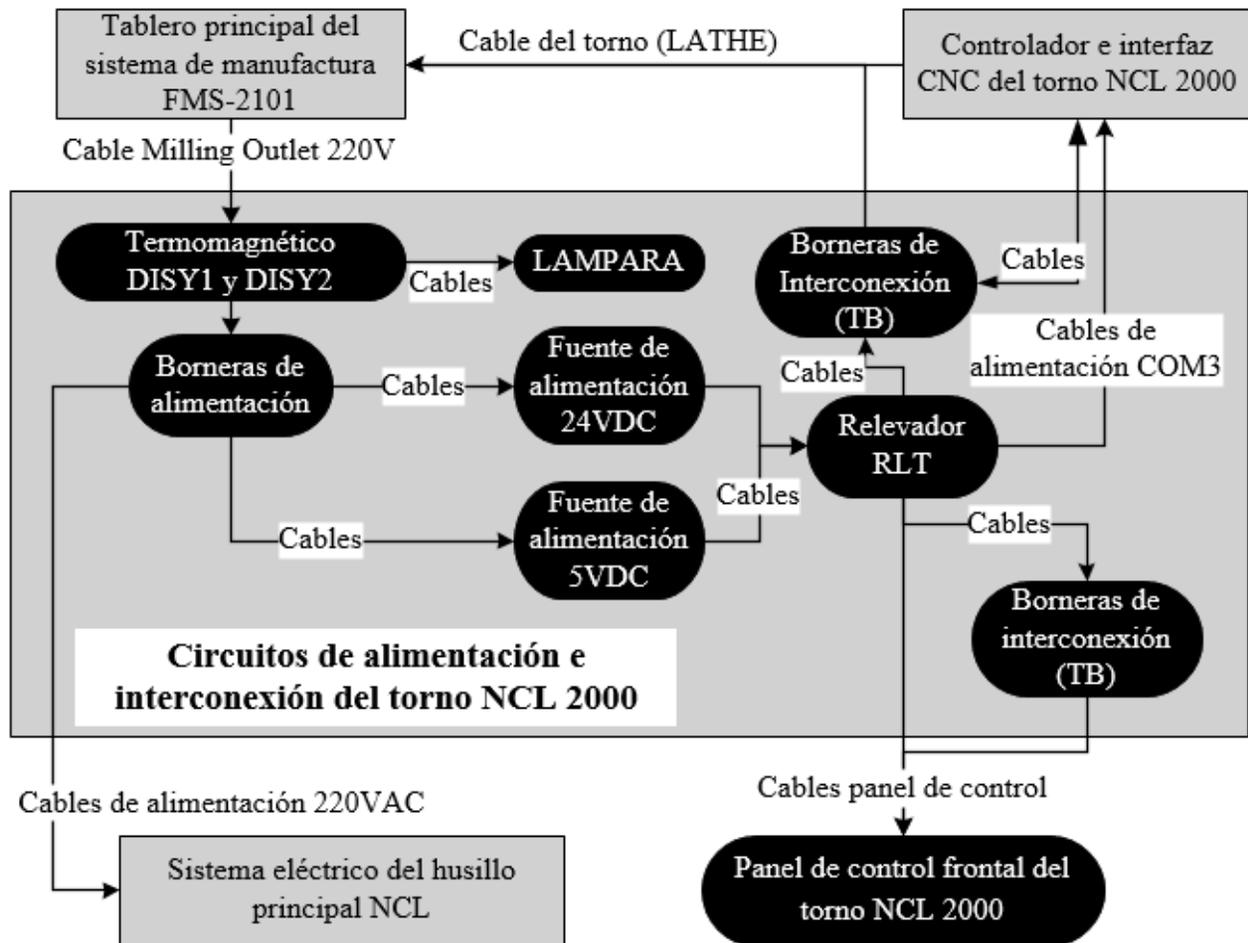
los cables de control para el encendido y apagado de este por el momento se encuentran desconectados. El cable de alimentación COM3 sale de las fuentes de alimentación de 24VDC y 5VDC pero solo energizan al controlador cuando se ha presionado el botón de encendido del panel de control frontal de la fresadora y el torno que se muestra en la *Figura 83*. Revise los Circuitos de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 para más detalles.



*Figura 119.* Diagrama esquemático del torno NCL 2000.

En la *Figura 120* se observa el diagrama esquemático de los circuitos del torno, estos componentes se observan en la *Figura 81*, *Figura 82* y *Figura 83*. Como se puede observar estos

componentes son los encargados del encendido del torno y su controlador además de solo alimentar a la estación con 24VDC y 5VDC, cuando se ha pulsado el botón de encendido en el panel de control frontal. Ver la *Figura 83*, esto también tiene relación con el botón de paro de emergencia debido a que cuando se pulsa se corta la energía en la estación inmediatamente. Revise los Circuitos de la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 para más detalles.



*Figura 120.* Diagrama esquemático de los circuitos del torno NCL

### **3.5 Pruebas de funcionamiento de los circuitos eléctricos, electrónicos**

#### **3.5.1 Prueba 1 – Diagnóstico de todos los componentes electrónicos, mecánicos**

##### **3.5.1.1 Objetivo**

- Diagnosticar el funcionamiento de todos los componentes electrónicos, mecánicos y neumáticos de la estación de manufactura FMS 2101.

##### **3.5.1.2 Hipótesis**

A través de la observación visual de los componentes y el conocimiento de que la estación se dejó de utilizar debido a la llegada de una nueva herramienta más moderna para los estudiantes. Es posible que la gran mayoría de los actuadores estén funcionando correctamente.

##### **3.5.1.3 Procedimiento**

- Desmontar el actuador con el que se va a realizar la prueba.
- Ubicar la etiqueta o placa con el nombre del actuador.
- Investigar la hoja de datos técnicos del actuador.
- En el caso de un actuador electrónico: proceder a la energización del actuador con el voltaje y corriente adecuado.
- En el caso de un actuador mecanismo: proceder manualmente a verificar el estado del componente.

- En el caso de un actuador neumático: proceder a conectar el sistema neumático, realizar una prueba manual del funcionamiento de las electroválvulas, luego energizar el actuador con el voltaje y corriente adecuado.
- Anotar el resultado.

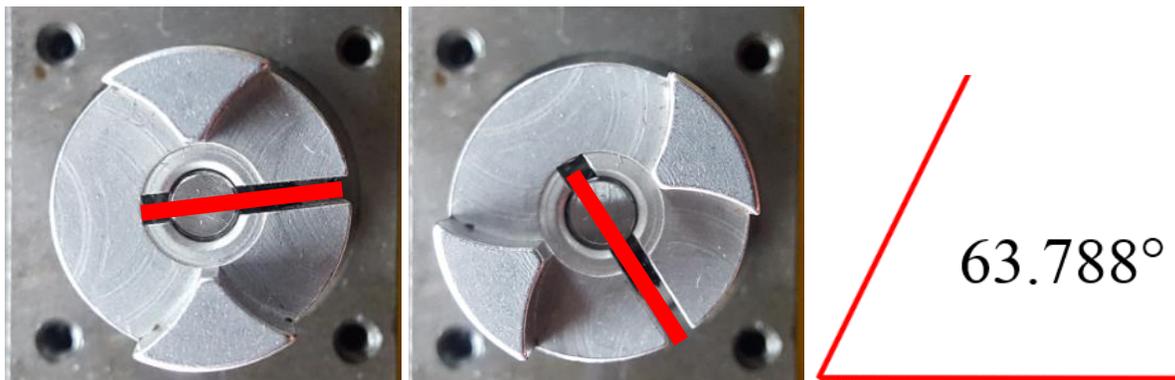
#### 3.5.1.4 Resultados

Todos los componentes mecánicos que permiten el movimiento como los husillos de bolas que están unidos mecánicamente a los carros longitudinal, transversal y vertical, que proporcionan movimiento en los ejes cartesianos X, Y y Z respectivamente para la fresadora y en el caso del torno no se tiene el movimiento en el eje Y; presentan un movimiento dificultoso cuando se realiza un accionamiento manual. En el eje X se requiere de un torque manual alto para que el mecanismo se desplace inicialmente. Luego es necesario realizar una fuerza repetitivamente en cada vuelta que da el husillo. Al intentar que el motorreductor DC mueva el eje X, no es capaz. El movimiento del eje presenta constantemente aceleración y desaceleración que no corresponden al movimiento regular y constante de los otros ejes, al ser alimentados con una fuente de 24VDC. Esto se debe a la ausencia de lubricante y la combinación de aceite lubricante y polvo en los mecanismos horizontales como los ejes X y Y de ambas estaciones.

Se realiza el desarmado de la estación y de los componentes, limpieza de polvo y aceite, ajuste de cada pieza para evitar holguras que puedan afectar en la precisión de la estación y finalmente su rearmado y lubricación de los componentes que lo requieran.

También se determinan que los husillo de los ejes X e Y de la fresadora como se observa en la *Figura 121*, tienen un error cuando se produce el cambio de giro del husillo; por ejemplo

cuando el husillo gira en dirección anti horaria, se detiene y luego gira en dirección contraria. El husillo no mueve el carro hasta que haya girado  $63.78^\circ$  grados momento en el cual el husillo, mueve el carro y el error se corrige. Este error siempre ocurre cuando se hace un cambio de giro y es constante. Por lo que el error existente es de 17 pasos del encoder o 0.18 [mm].



*Figura 121.* Cálculo del error en el movimiento

Todos los motores DC de la estación se encuentran con un correcto funcionamiento; además se determinó la precisión máxima que puede tener la máquina de fresado y torneado. Esta es de 0.0104 [mm], se calculó contando el número de agujeros que tienen los encoders que son tres agujeros en total. El motor del riel de desplazamiento lineal es la única excepción ya que tiene 16 agujeros en el encoder; se multiplica por el número de vueltas del encoder necesarias para que el acople tipo mandíbula del motorreductor DC de una revolución completa en este caso son 32 revoluciones del encoder y este valor es multiplicado por el número de agujeros del encoder que son 3 y da un total de 96 pasos que son necesarios para que el acople tipo mandíbula del motorreductor DC de una revolución completa. En el caso de la fresadora el husillo de bolas por cada vuelta que da el motorreductor DC, recorre 1 [mm] exacto para los ejes X, Y y Z. En el caso del torno el husillo de bolas por cada vuelta que da el motorreductor DC recorre 2 [mm] exactos para los ejes X y Z.

Se verifica el estado de las escobillas del motor DC del riel de desplazamiento lineal, las que se encuentran en correctas condiciones y cuenta todavía con una cantidad de material considerable por lo cual no es necesario su reemplazo.

Se verifica que el funcionamiento del relé de estado sólido y del motor AC para el funcionamiento del mandril de la estación de torneado NCL, es correcto además de realizar el aceitado correspondiente al motor.

El variador de frecuencia de la estación de fresado NCM a pesar de contar con daños en su placa de circuitos electrónicos no interfiere con su correcto funcionamiento, el motor AC y el mecanismo que proporciona el movimiento al husillo de fresado en el eje Z de la máquina funcionan correctamente.

Los componentes neumáticos de la estación tanto las electroválvulas, pistones, filtro y regulador de presión se encuentran en correcto funcionamiento. Para el funcionamiento del sistema neumático de ambas máquinas es necesario añadir tubería neumáticas de 8 [mm] y 2 tapones para las electroválvulas.

Para el tablero principal de la estación se encuentra en perfectas condiciones en cuanto a todo su cableado interno y los transformadores con los que cuenta la estación. El PLC Keyence KV-24r se encuentra presentando un fallo en el su programación interna, por lo cual este defecto será tratado en el diseño del sistema de control para la estación.

En cuanto al anterior proyecto y su sistema de control que utilizaba un PLC Allen Bradley, este controlador no está presente actualmente y el cableado está totalmente desconectado.

### **3.5.2 Prueba 2 – Control de los motorreductores DC**

#### **3.5.2.1 Objetivo**

- Analizar el funcionamiento de los motorreductores DC y el codificador con el que cuentan.
- Analizar si es posible realizar un control de motorreductores DC, implementando un control ON-OFF, para que estos tengan un comportamiento igual a motores paso a paso y puedan ser utilizados con software e interfaz CNC.
- Aplicar varios algoritmos para identificar problemas y características del motorreductor.

#### **3.5.2.2 Hipótesis**

- Es posible realizar un control de motorreductores DC con un simple control ON-OFF, debido a que solo es necesario energizar el motor hasta recibir una señal del codificador. de esta manera con cada pulso que se reciba de la interfaz CNC el motor se moverá hasta recibir una señal del codificar, logrando así un comportamiento similar a un motor paso a pasos.
- Mediante la energización de los actuadores se conoce el correcto funcionamiento de los motores y de los codificares, solo sería necesario para su control conectar a un microcontrolador el codificador y utilizar un puente H para cada motor.

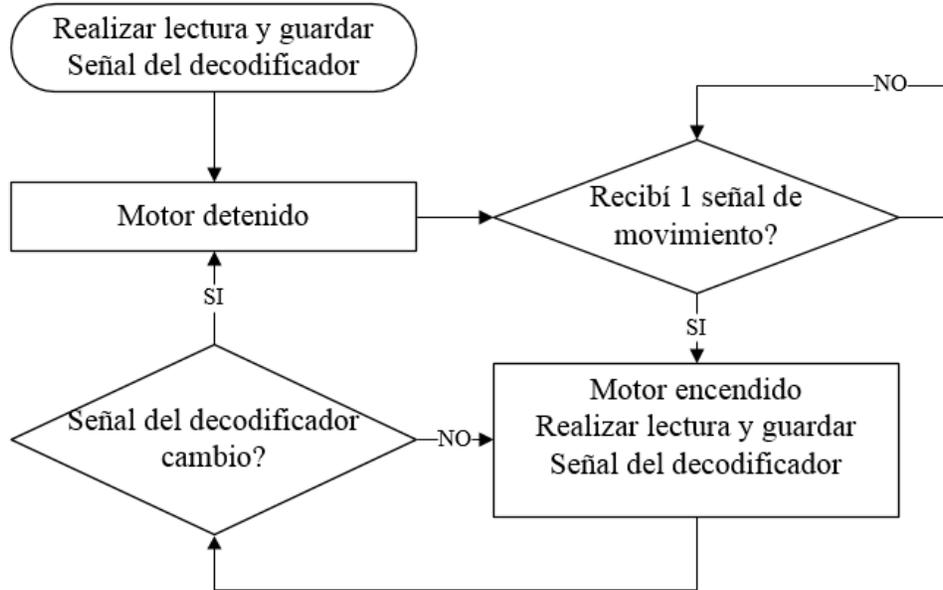
#### **3.5.2.3 Procedimiento**

- Desmontar un motorreductor del FMS 2101 para realizar la prueba.
- Investigar la hoja de datos técnicos del actuador.

- Conectar a un puente H el motorreductores DC.
- Conectar a un microcontrolador el codificar y el puente H.
- Realizar un algoritmo o programa de control ON-OFF que utilice interrupciones.
- Realizar pruebas del control ON-OFF.
- Obtener características del motorreductor y posibles problemas.
- Anotar el resultado.

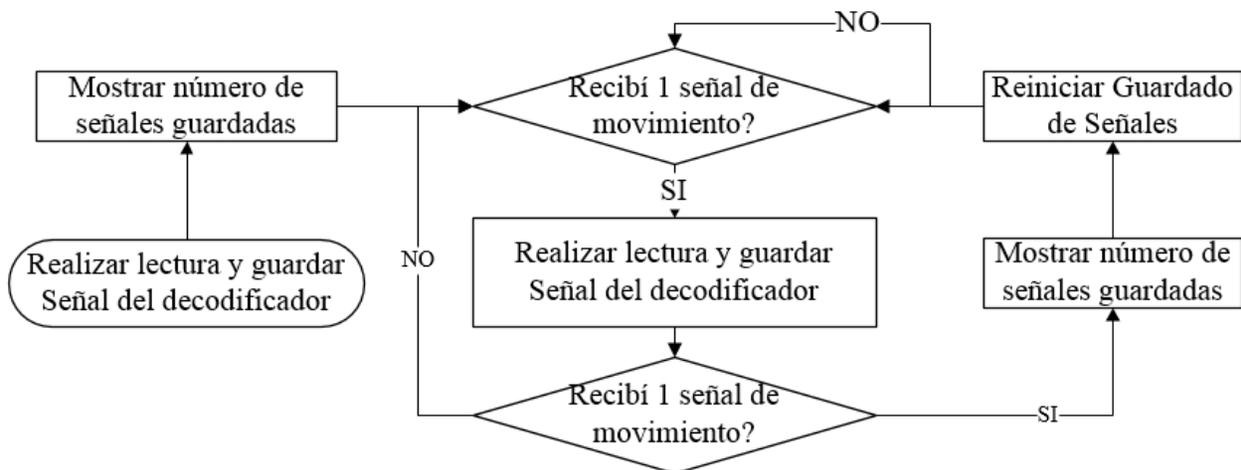
#### 3.5.2.4 **Resultados**

El codificador a pesar de entregar una correcta medida con el multímetro, cuando se implementa el algoritmo de medición de la *Figura 122*, el número de señales del codificador no corresponden con las señales de movimiento, incluso cuando se envía una única señal de movimiento.



**Figura 122.** Algoritmo de control ON-OFF

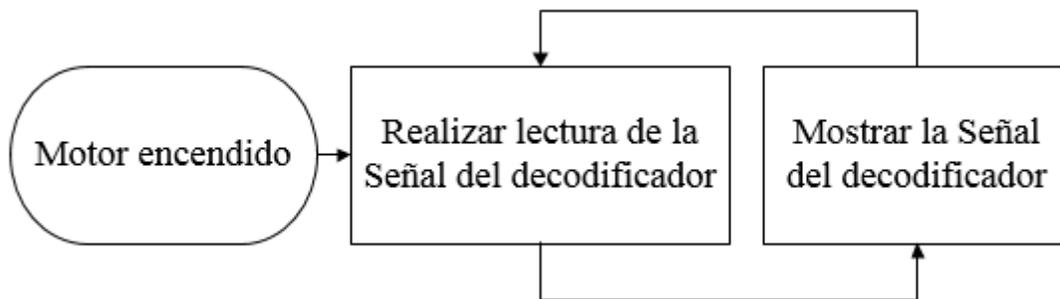
El número de señales que se pueden visualizar observando el codificador es mucho mayor y no parecen tener ningún patrón. Por lo tanto se implementó este segundo algoritmo de la *Figura 123*. En otro microcontrolador para contar el número de señales del codificador, comprobando si existe algún programa en la lectura de los datos.



**Figura 123.** Algoritmo redundante de lectura de señal de movimiento.

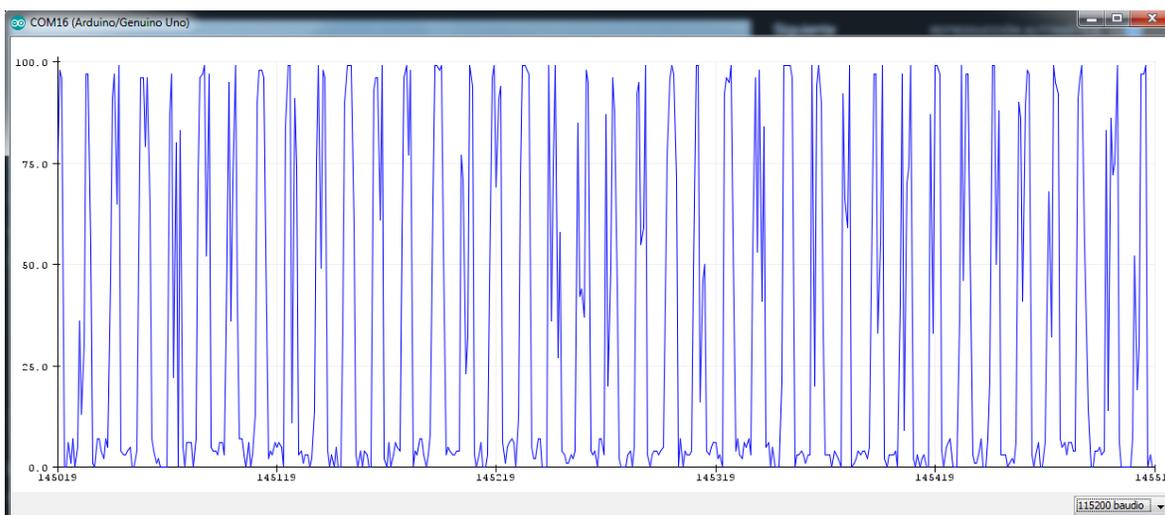
Se comprueba que los microcontroladores reciben el mismo número de señales de movimiento y que a pesar de que solo se envié una señal, el número de señales discretas del decodificador que se recibe van en un rango desde una hasta nueve señales discretas.

Por lo cual se realiza una medición en frecuencia de la señal del encoder y se obtiene una frecuencia que varía desde los 40KHZ hasta los 50KHZ. Entonces se implementa el algoritmo de la *Figura 124*, para determinar la señal que se recibe por parte del codificador cuando está en funcionamiento.



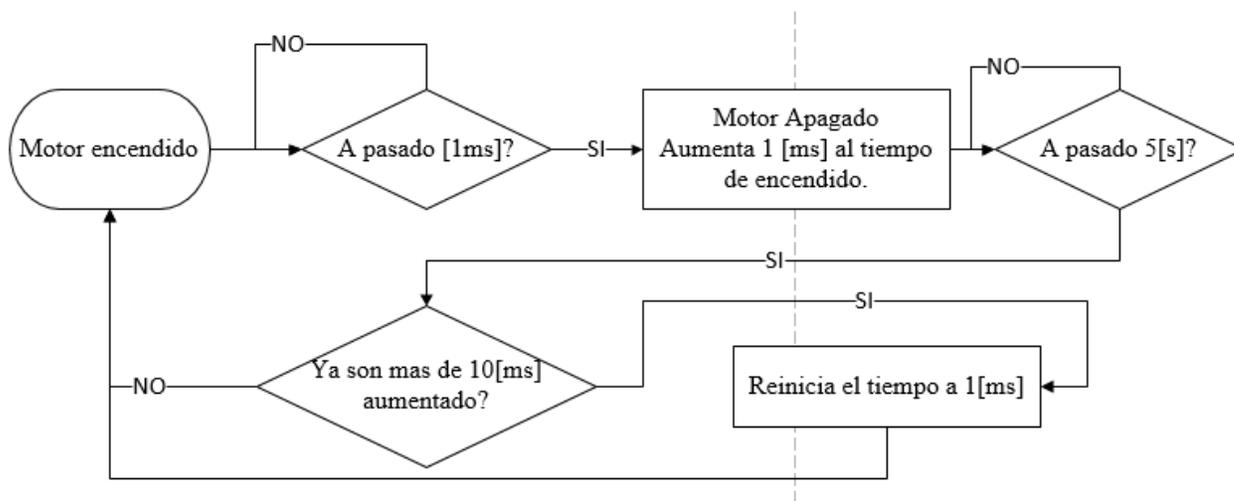
*Figura 124.* Algoritmo de medición de la señal del codificador.

Se procede a dibujar todas las señales que se reciben y se obtiene la *Figura 125*. Considerando que se está utilizando interrupción para determinar los cambios de señal del codificador. Por parte del fabricante del microcontrolador ATMEGA indica que un cambio superior al 75% de la señal acciona la interrupción, entonces se está recibiendo falsas señales debido al ruido.



**Figura 125.** Gráfico de la señal recibida por el codificador del motor.

Adicionalmente, se realiza pruebas de movimiento de los motores, con el algoritmo de la *Figura 126*, el cual va a energizar el motor por un periodo de tiempo, luego se desenergiza, se espera un tiempo y se energiza otra vez los motores por un periodo de tiempo mayor.



**Figura 126.** Algoritmo de activación del motor por periodos de tiempo.

El resultado no es el esperado debido a que el motor al ser alimentado por un periodo de tiempo de 1 a 4 [ms], el motor da como máximo un cuarto de giro; pero a partir de 5[ms] el motor

se mueve a veces un poco más de medio giro y a veces da una vuelta completa, incluso más. Esto representa en pulsos del encoder que cuando se alimenta el motor por más de 5[ms], dará desde 1 hasta 4 pulsos. Lo que se aleja del comportamiento de un motor paso a paso que se busca.

#### 3.5.2.5 Análisis

A partir de los resultados obtenidos se hace claro que es necesario la implementación de un filtro en la señal del codificador de los motorreductores DC. Se debe determinar la frecuencia de corte que será dada por la velocidad máxima a la que se mueve el encoder. Como se planteó en un inicio controlar los motores con un control ON-OFF resulta difícil principalmente porque el motor no para exactamente cuando el controlador deja de energizar el motor. Este se detiene unos instantes después, lo suficiente para moverse hasta 4 veces el movimiento que se desea inicialmente.

## **CAPÍTULO IV DISEÑOS DEL PROYECTO**

En este Capítulo se realiza el diseño del controlador para la estación FMS 2101, se muestran las características, los detalles, las diferencias respecto a lo que existe actualmente, el diseño de los circuitos eléctricos y electrónicos, la programación necesaria, la placa de circuitos electrónicos PCB y se finaliza con el diseño de la guía de inicio para la estación FMS 2101.

### **4.1 Caracterización o requisitos para el diseño del controlador.**

El nuevo controlador de la estación FMS 2101 debe cumplir las siguientes características generales:

- Controlador principal: permite automatizar el proceso, controlar toda la estación y también comunicar y recibir información de todo el sistema.
- Modularidad: el diseño debe ser modular, por lo tanto cada componente general de la estación debe ser capaz de funcionar de manera autónoma y tener la capacidad de conectarse con un controlador principal para poder funcionar de manera automática recibiendo órdenes por parte de este controlador.
- Controlador de motorreductores DC y encoder: el controlador de la fresadora y el torno debe ser capaz de controlar motorreductores DC para que puedan ser manejados por una interfaz que maneje código G.
- Interfaz CNC: debe contar con una interfaz de código G capaz de conectarse a una computadora y poder realizar mecanizados automáticos de piezas diseñadas desde una computadora.

- Mando de control: toda la estación debe poder ser manejada a distancia, con la posibilidad a futuro de poder ser integrada a una red industrial para su funcionamiento remoto.
- Diseño robusto e industrial: el controlador debe ser capaz de manejarse en un ambiente industrial, debe contar con protecciones contra el ruido y utilizar protocolos de comunicación industrial.

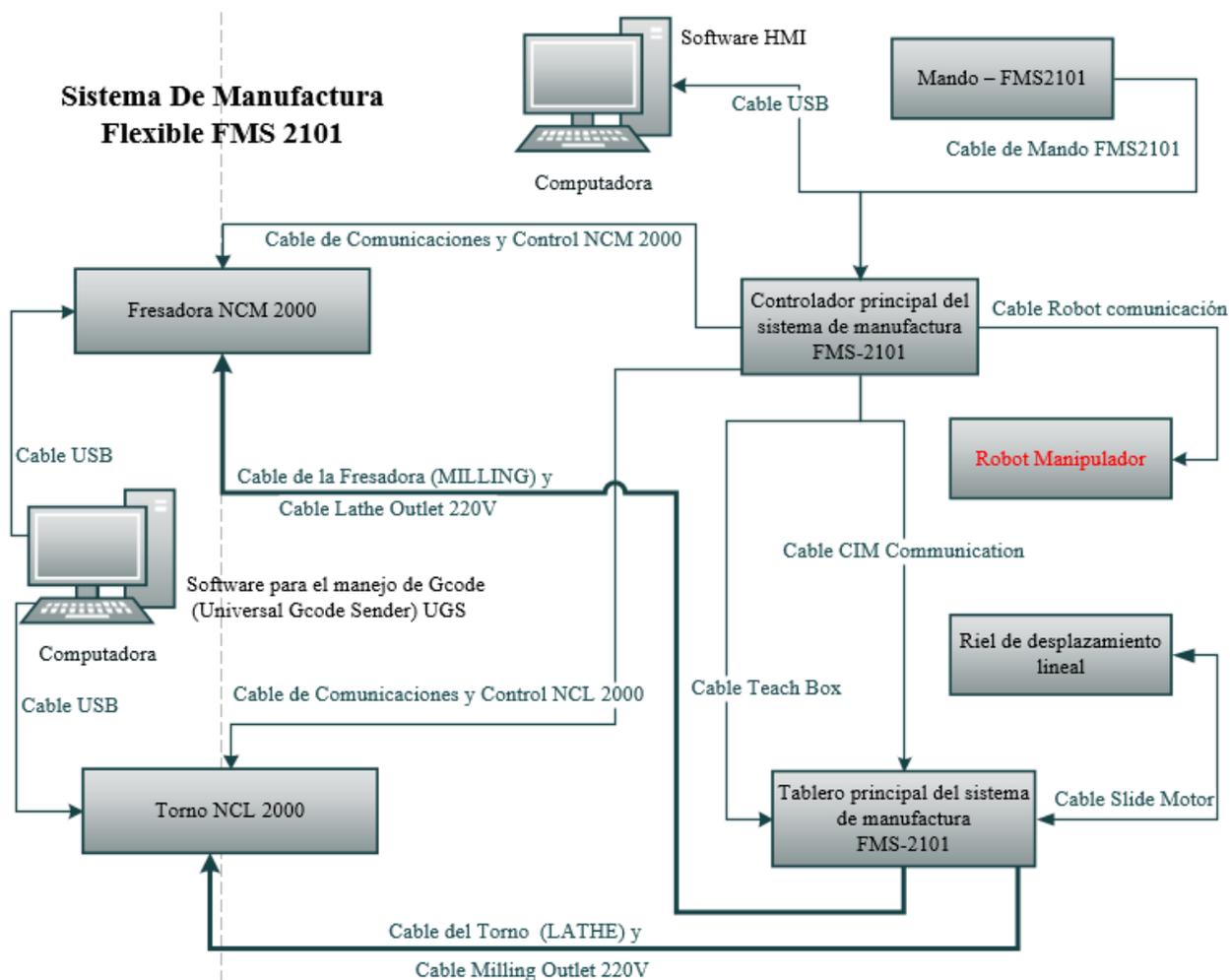
#### **4.2 Diseño propuesto de la estación FMS 2101**

Para dar solución a los requisitos o características requeridas para el control de la estación FMS 2101 se ha planteado la siguiente propuesta de diseño:

- Controlador principal: se propone un controlador principal al cual toda la estación va a estar conectada y de esta manera ser capaz de controlar y comunicarse con los demás componentes.
- Modularidad: para la estación se plantea que existan cuatro controladores independientes para que la estación sea modular. Uno para la fresadora, uno para el torno, uno para el mando de control a distancia y el último para el controlador principal de la estación, además cada controlador realizará una función específica y tendrá la capacidad de funcionar autónomamente, adicionalmente dividir los controladores permiten concentrar la gran cantidad de entradas y salidas, ordenando y haciendo más eficiente el control de la estación.
- Controlador de motorreductores DC y encoder: para el control de posición de los motorreductores DC y encoder, se realizará un control en lazo cerrado. Permitiendo que los motores respondan de manera eficiente a la interfaz CNC.

- Interfaz CNC: se realizará con un microcontrolador capaz de comunicarse vía USB a una computadora para realizar el control numérico. Además de enviar al controlador de motorreductores DC y encoder, las acciones que deben realizar los motores.
- Mando de control: para esto se realiza un diseño con un microcontrolador que tendrá la capacidad de control de toda la estación. Permitiendo a futuro realizarse el control por esta vía y ser integrada a una red industrial para su funcionamiento remoto.
- Diseño robusto e industrial: para esto se utilizará todos los conocimientos aprendidos de la ingeniería inversa de la estación, adicionalmente de utilizar los protocolos de comunicación que se encontró en la estación.

El diseño propuesto para la estación se muestra en la *Figura 127*. En este diseño se puede observar la adición tanto del controlador principal del sistema de manufactura FMS-2101, del mando - FMS 2101, de tres computadoras o una sola con tres puertos USB para el control de la estación FMS 2101. A diferencia de lo que se encuentra en el estado de la estación inicialmente proporcionada que se muestra en la *Figura 19*. El diseño integra a toda la estación y tiene conexión directa con todos los sistemas de ésta, permitiendo la comunicación, monitoreo y automatización de todo el sistema. El mando FMS 2101 como se observa tiene conexión directa con el controlador principal y permite interactuar directamente con el operador para que controle la estación. El bloque que muestra al robot manipulador a pesar de que en este proyecto el robot no se integra con la estación, si se tiene en el diseño entradas y salidas digitales reservadas y conectadas directamente con el controlador principal para este propósito.



**Figura 127.** Diseño de la estación de manufactura flexible FMS 2101

#### 4.2.1 Diseño del controlador principal

El controlador principal en su interior cuenta con varios componentes que se muestran en la *Figura 128*. El microcontrolador que se utiliza es una tarjeta Arduino mega 2560, debido a su gran cantidad de entradas y salidas que son necesarias para el volumen que debe manejar. Adicionalmente, los circuitos añaden robustez a las entradas y salidas digitales. El protocolo de comunicación industrial que utiliza le permite blindarse contra el ruido que pueda existir haciendo la comunicación de la estación segura esto se ve a detalle en el Diseño de los circuitos electrónicos de entrada y salida y el Diseño del sistema de comunicaciones.

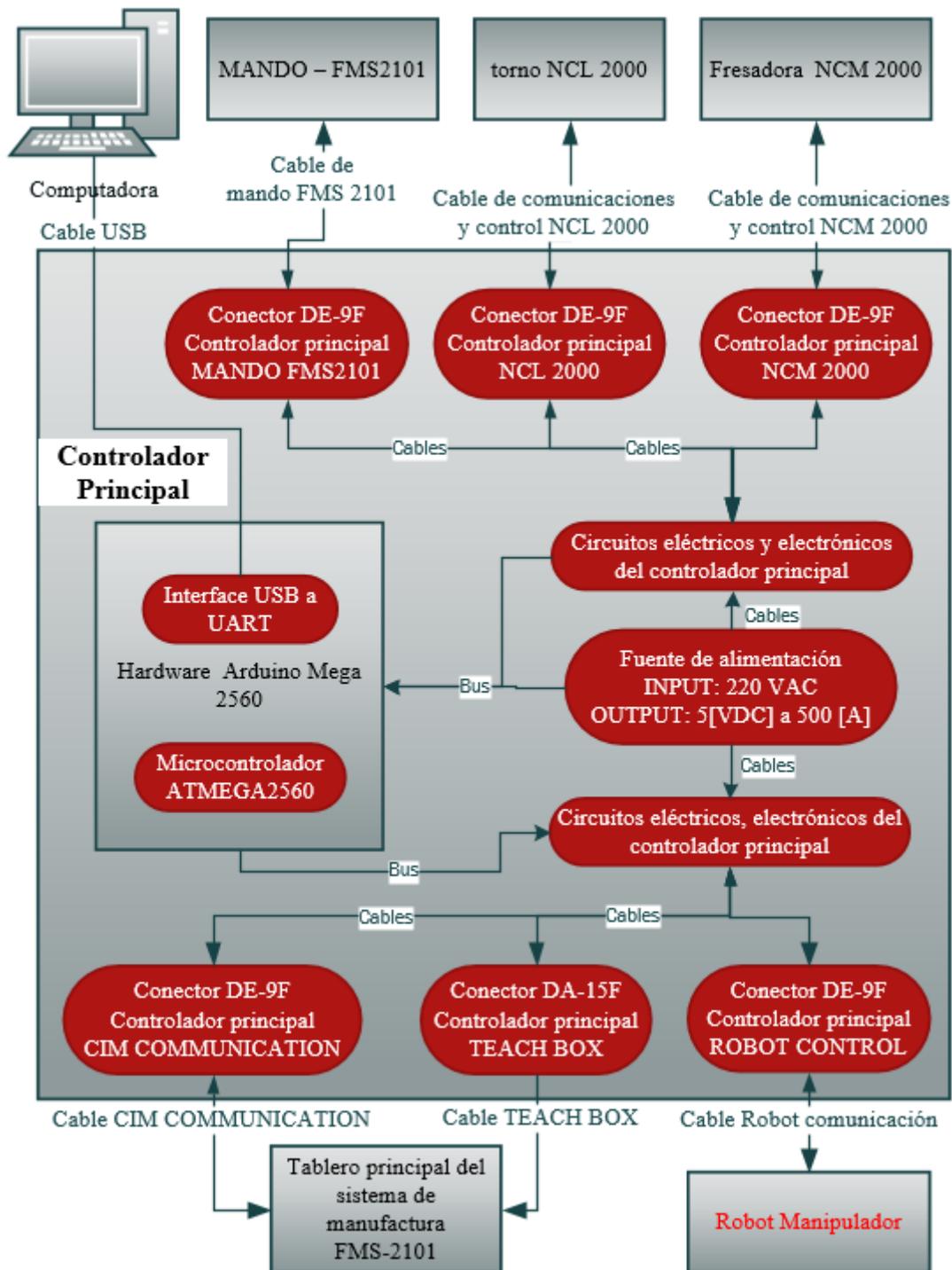
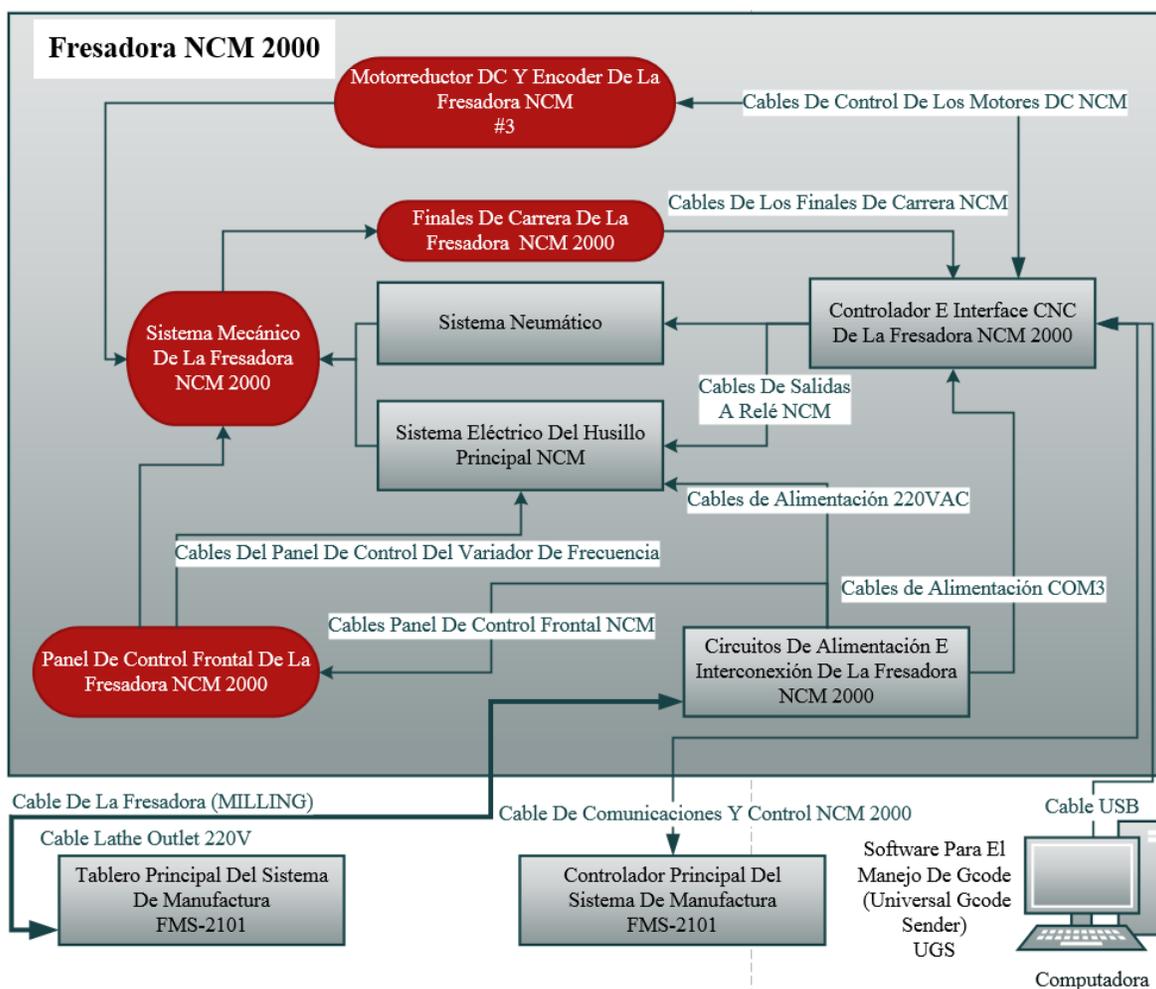


Figura 128. Diseño del Controlador principal para la estación FMS 2101

#### 4.2.2 Diseño para la fresadora NCM 2000

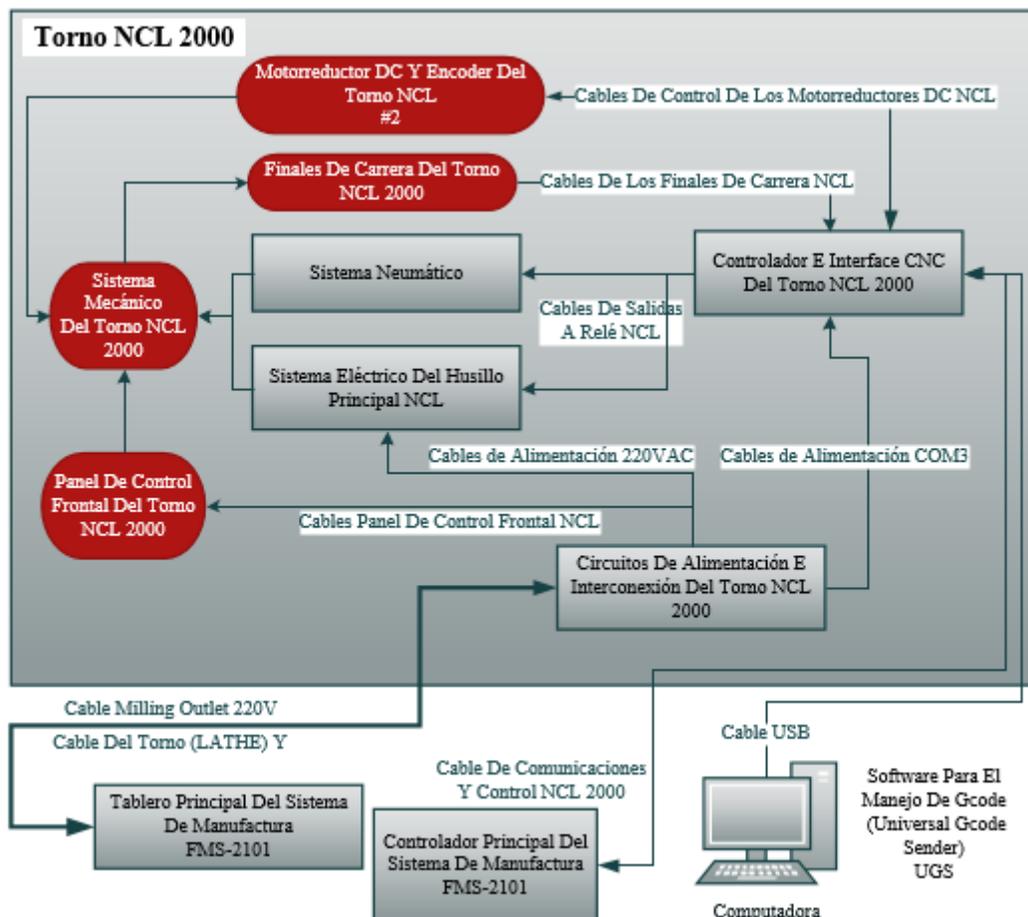
En la *Figura 129* se observa el diseño propuesto para la fresadora y los cambios que se realiza con respecto a la estación inicialmente proporcionada. Se añade el controlador e interfaz CNC de la fresadora NCM 2000, todos los finales de carrera de la fresadora NCM 2000 y la posibilidad de comunicación a una computadora mediante USB. Además, se observa que el controlador e interfaz CNC agrupa a todo los actuadores y sensores para el control de toda la estación y se comunica con el controlador principal a través del cable de comunicaciones y control NCM 2000 y control NCM 2000.



*Figura 129.* Diseño para la fresadora NCM 2000

### 4.2.3 Diseño para el torno NCL 2000

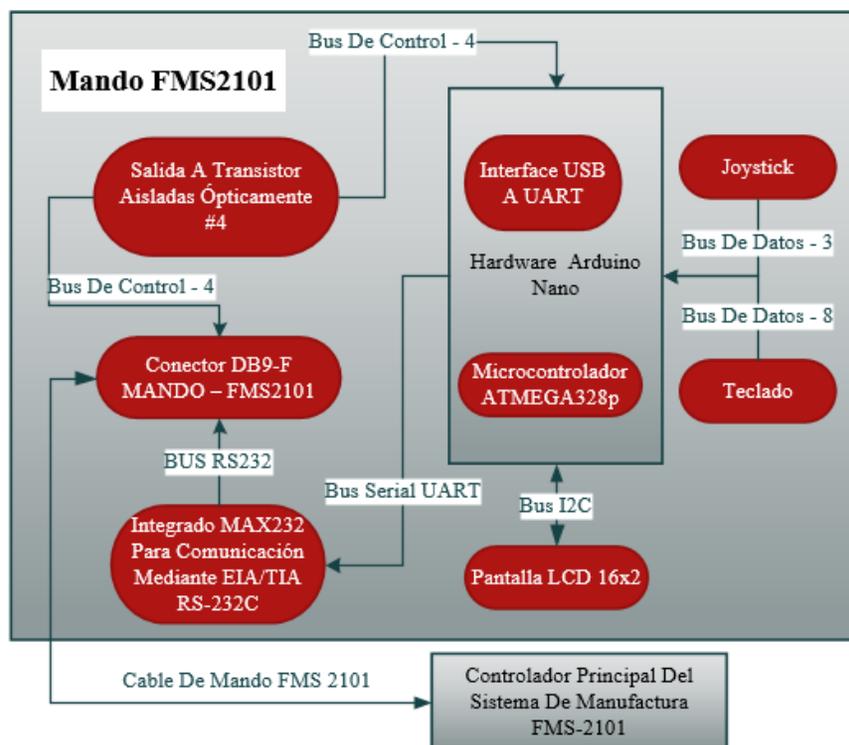
En la *Figura 130* se observa el diseño propuesto para el torno y los cambios que se realiza con respecto a la estación inicialmente proporcionada. El diseño es similar al de la fresadora, con los componentes propios del torno. Se añade el controlador e interfaz CNC del torno NCL 2000, todos los finales de carrera del torno NCL 2000 y la posibilidad de comunicación a una computadora mediante USB. Además, se observa que el controlador e interfaz CNC agrupa a todos los actuadores, sensores para el control de toda la estación y se comunica con el controlador principal a través del cable de comunicaciones y control NCL 2000.



*Figura 130.* Diseño para el torno NCL 2000

#### 4.2.4 Diseño del mando – FMS 2101

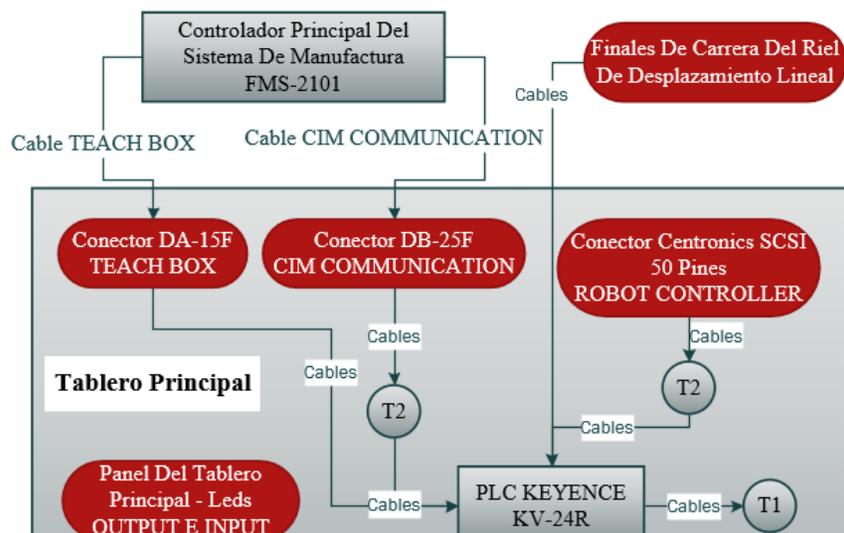
En la *Figura 131* se observa el diseño propuesto para el mando FMS 2101 que es la interfaz humano máquina de la estación. Cuenta con un microcontrolador Atmega328p para el control del mando y la comunicación serial con el controlador principal. Cuenta con una pantalla LCD, un potenciómetro, un joystick y un teclado para que el operador pueda interactuar con la estación. El mando cuenta con salidas digitales para la comunicación adicionales a la interfaz RS-232 con la que cuenta. El mando se conecta al controlador principal con el cable de mando FMS 2101.



*Figura 131.* Diseño del mando FMS 2101

#### 4.2.5 Diseño para el tablero principal

Para el tablero principal se ha eliminado el mando TEACH BOX y se ha conectado al tablero principal, el controlador principal utilizando los cables TEACH BOX y cable CIM COMMUNICATION.



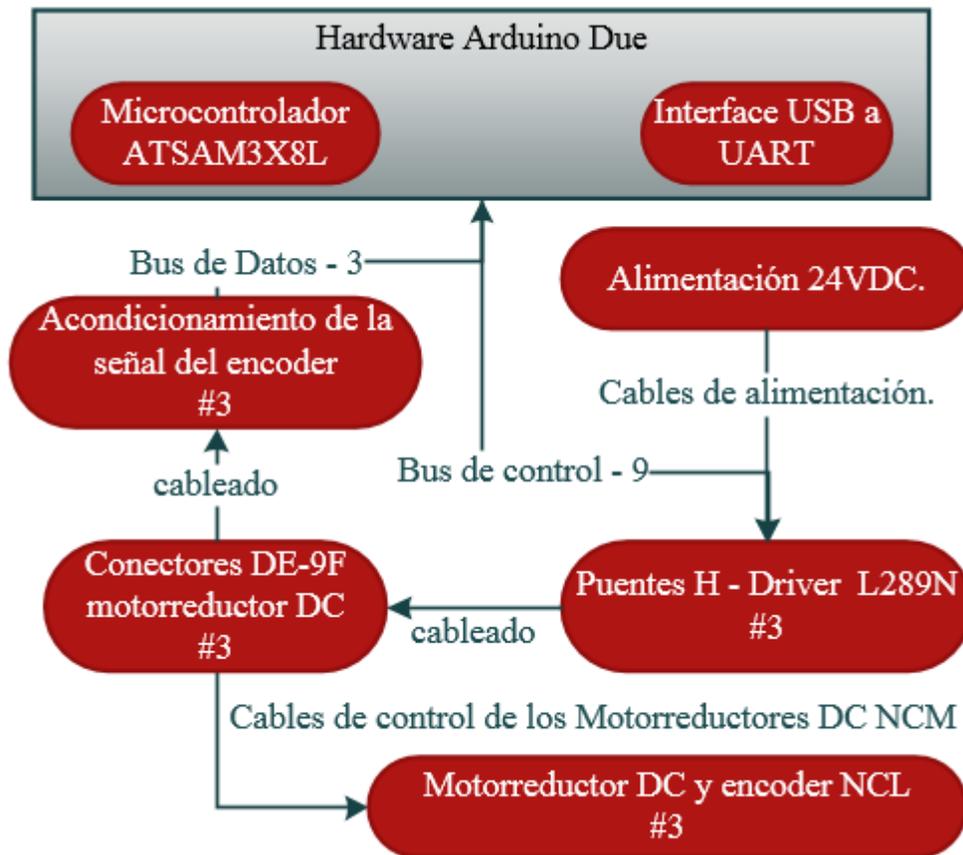
**Figura 132.** Diseño del tablero principal

### 4.3 Diseño del controlador para motorreductores DC

Para el diseño del controlador de motores se toma la experiencia de las pruebas realizadas al motorreductor y su funcionamiento. Por lo tanto se propone un circuito de control retroalimentado simple, igual al del diagrama esquemático que se muestra en la *Figura 133*.

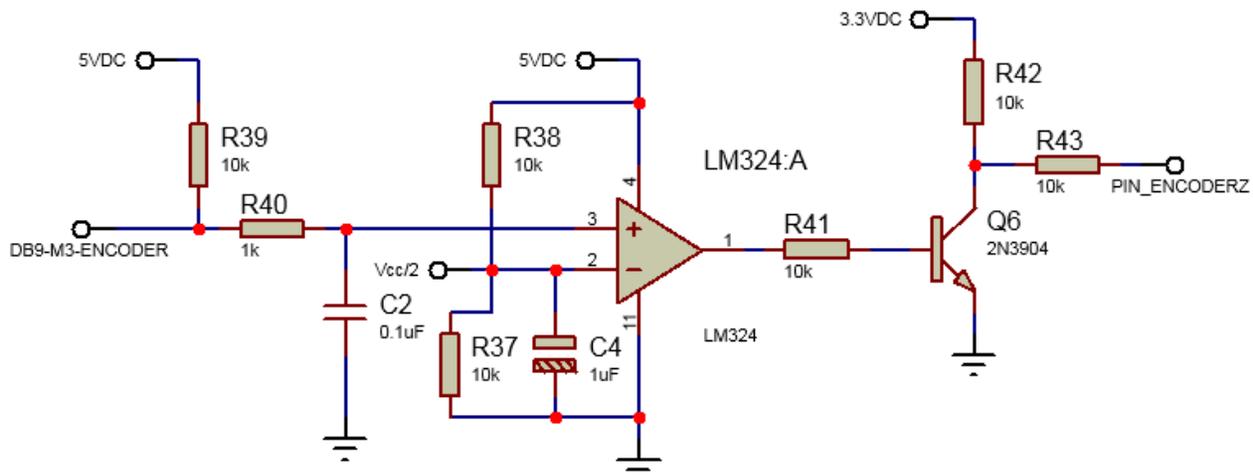
En este se identifica un microcontrolador, para el diseño se utiliza 3 salidas digitales por motor, 2 de ellas controlan la dirección de giro del motor, una de ellas debe soportar modulación por ancho de pulso o PWM para el control de velocidad del motor. Además, el controlador cuenta con 1 una entrada digital por motor con la capacidad de activación mediante interrupciones debido a que el encoder del motor puede generar un cambio en la señal en cualquier momento.

La alimentación para el puente H y los motores es de 24 [VDC], esto se debe a las características técnicas del motor.



**Figura 133.** Diagrama esquemático del circuito utilizado para pruebas en los motores DC.

Para resolver el problema en la señal del encoder que se observa en los resultados de la Prueba 2 – Control de los motorreductores DC, se propone realizar un circuito de acondicionamiento como el que se muestra en la *Figura 134*. Este circuito tiene un filtro pasa bajos pasivo de primer orden RC y un circuito comparador para convertir la señal del encoder en digital y para que las interrupciones del microcontrolador funcionen correctamente. El filtro de primer orden pasa bajos se calcula con la fórmula  $F_c = 1/(2\pi RC)$  donde la resistencia es de 1K [ $\Omega$ ] y el capacitor es de 0.1 [ $\mu F$ ]. Por lo tanto la frecuencia de corte  $F_c$  es de aproximadamente 1.6K [Hz], este filtro da una respuesta óptima sin desfazar la señal del encoder.



**Figura 134.** Diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento para el encoder

#### 4.4 Diseño de los circuitos electrónicos de entrada y salida

Para la estación es necesario implementar un circuito de entrada y salida robusto al ruido y acoplamiento óptico, para aislar la etapa de potencia, de control y evitar dañar a cualquier dispositivo que se conecte a la estación, en el caso de existir alguna falla eléctrica.

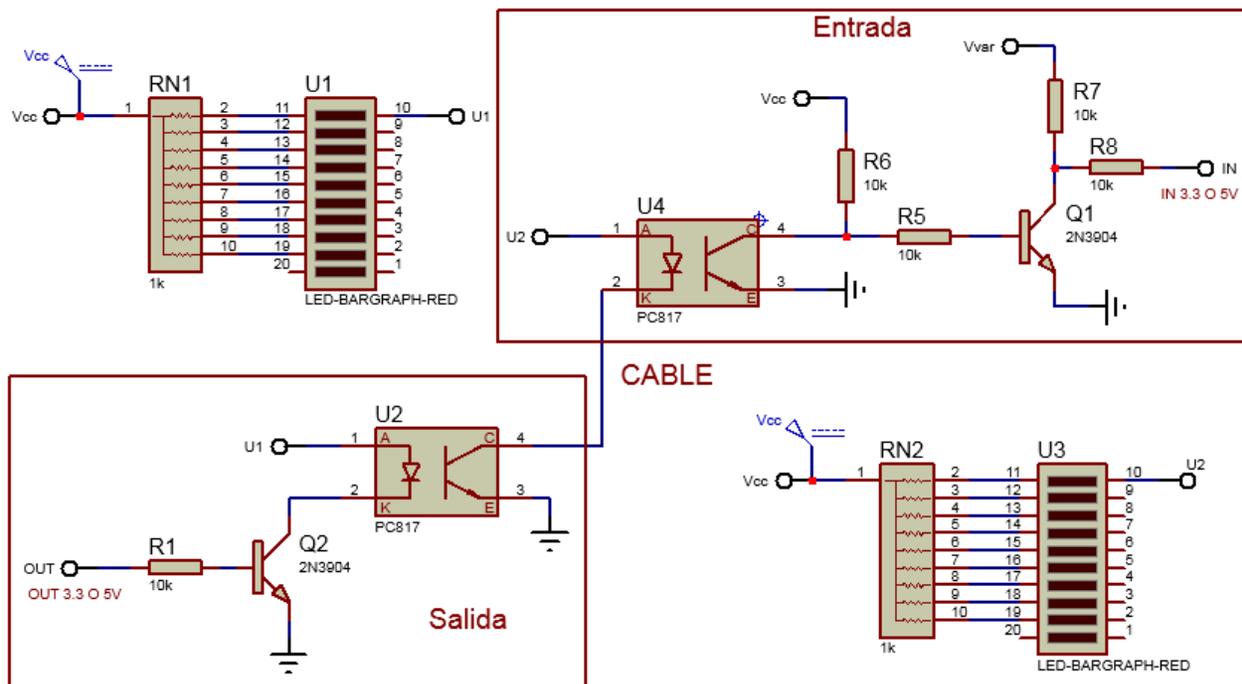
Se ha diseñado un circuito con las características que se mencionan y se muestra en el esquema de la *Figura 135*. El diseño cuenta con transistores BJT y optoacopladores, además de resistencias y Leds para comprobar el encendido y apagado del circuito.

En el esquema de los circuitos de entrada y salida existen dos circuitos unidos por un cable, el circuito que tiene a U2, Q2 y R1 es el circuito de salida y el circuito que está conectado con U4 y Q1 es de entrada.

El circuito de entrada contiene a U4, Q1, R5, R6, R7 y R8. Es un arreglo de resistencia y transistor que entrega al microcontrolador una señal de corriente continua o referencia. Según se requiera para el diseño se utilizan variaciones de este circuito; sin embargo, todos los circuitos de

entrada y salida realizan la misma función, la diferencia radica en el número de componentes y la posibilidad de invertir la señal.

Para el circuito de entrada se utiliza un transistor para activar el Led del optoacoplador, esto hace que la energía necesaria para activar el Led salga de la fuente de alimentación y no del controlador. En el optoacoplador de entrada se observa que está conectado a la referencia o tierra y por el otro simplemente sale un cable hacia U4. Como se observa el transistor de U2 y el Led de U4 forman un circuito simple de encendido de un Led. En esto se basa la robustez del circuito ya que por el cable solo circula la referencia del circuito o 0VDC. Por el lado del circuito de entrada U4 siempre está conectado el Led del optoacoplador a un voltaje de corriente continua y solo cuando reciba la señal de referencia se activara.

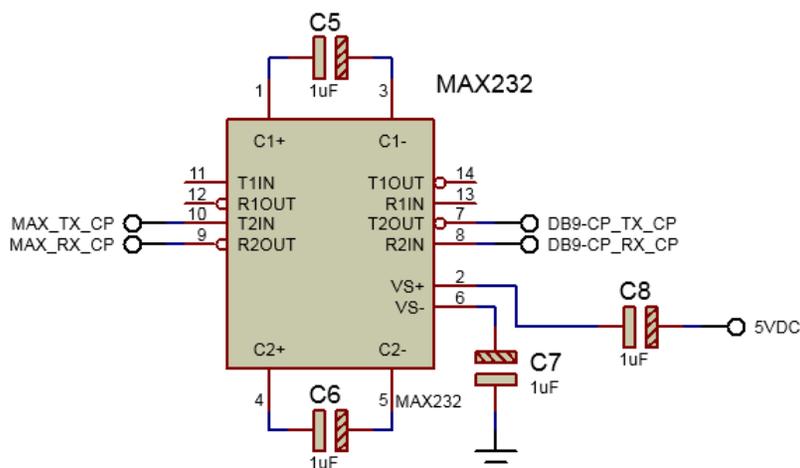


**Figura 135.** Esquema del circuito electrónico de entrada y salida acoplamiento óptico.

#### 4.5 Diseño del sistema de comunicaciones

La estación FMS 2101 utiliza comunicación mediante entradas y salidas digitales, para esto es necesario una gran cantidad de cables, debido a la cantidad de actuadores, indicadores Led, puntos de falla y sensores con los que cuenta. Por esta razón para la repotenciación se diseñó un sistema de comunicación serial que utiliza la interfaz de comunicación industrial RS-232. Debido al reducido número de cables que utiliza. La distancia máxima que existe entre todos los módulos de la estación es de máximo 3 metros. Existen varios módulos que se requiere comunicar y esta opción permite utilizar microcontroladores que manejen comunicación serial y proporcionar robustez utilizando la interfaz RS-232.

En la *Figura 136* se muestra el esquema del circuito de comunicaciones que se utiliza en el diseño del sistema de comunicaciones para la estación y todos los módulos de control. Se utiliza un integrado MAX232 debido a que solo es necesario añadir capacitores de 1 [uF] para utiliza la interfaz RS232. Adicionalmente para el diseño es necesario solo añadir un integrado MAX232 en cada placa de control para lograr una comunicación segura.



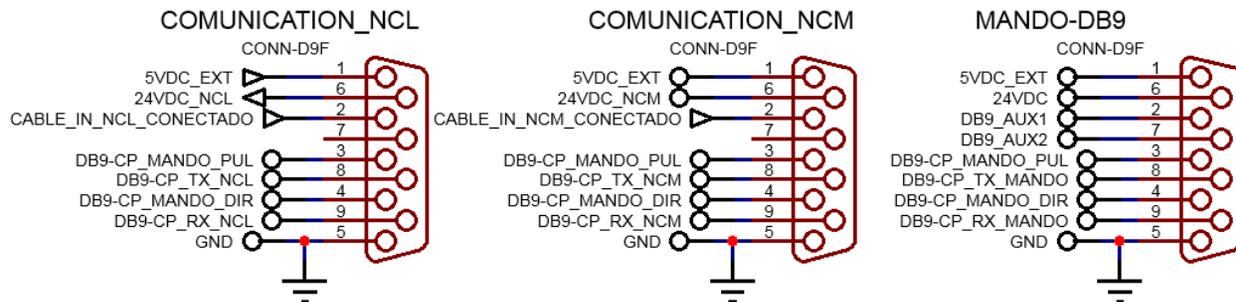
**Figura 136.** Esquema del circuito de comunicación serial utilizando integrado MAX232

Adicionalmente a la interfaz RS-232 para la comunicación serial. Se añadió bits digitales de seguridad para la estación utilizando el Diseño de los circuitos electrónicos de entrada y salida, estos bits se conectan a los microcontroladores y consisten en:

Dos bits digitales que se conectan al mando FMS 2101, esto permiten que cualquier acción manual que se realice en la estación, el operador de la máquina tenga control directo de esta, como por ejemplo mover los ejes de la fresadora o el torno siempre que el operador de la acción de movimiento estos bit estarán activados. Y en el caso de que exista cualquier falla en la estación o en la comunicación, el resultado será que la máquina detendrá cualquier acción manual que se esté efectuando, debido a que la única forma de que se activen estos bits de seguridad es que el mando y la comunicación funcionen correctamente, en cualquier otro caso se detendrá cualquier acción que se esté realizando.

La segunda medida de seguridad que se diseño es un bit digital que indica si el cable de comunicaciones está conectado o no. Con esto el controlador principal es capaz de determinar si el cable de la fresadora, el cable del torno, el cable del riel, el cable del robot manipulador o el mando están conectados o no.

Los bits de seguridades que se utiliza y que son manejados por el microcontrolador se muestran en la *Figura 137*. Para todos los conectores el pin número 2, es el bit que indica si el cable está conectado o no, los pines 3 y 4 son los pines de seguridad que solo pueden ser activados cuando el operador lo indique. Los pines 1, 6 y 5 son de alimentación y finalmente los pines 8 y 9 son la comunicación serial mediante interfaz RS-232 para la estación.



**Figura 137.** Conectores NCL, NCM y mando del controlador principal de la estación.

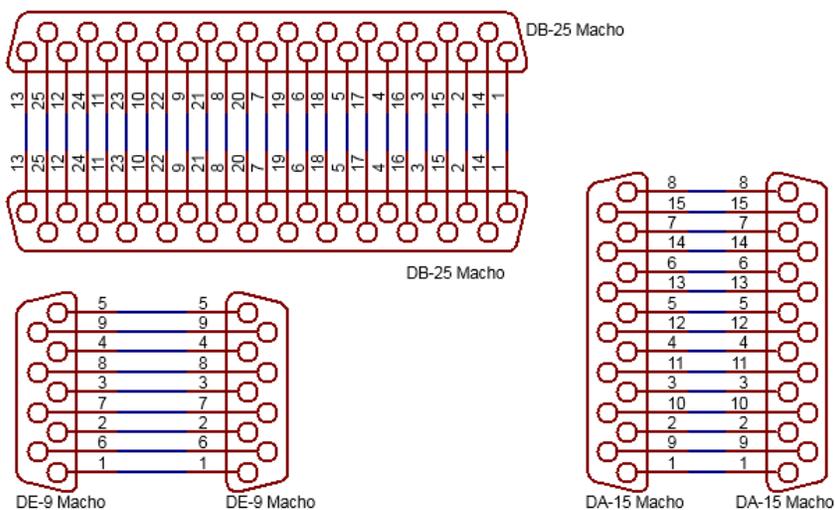
#### 4.6 Diseño de los cables que se conectan al controlador principal

Todos los cables que se diseñan van conectados al controlador principal. Como se muestra en la *Figura 128*, todos los cables son de tipo macho-macho y los extremos de los conectores están conectados como se indica en la imagen. Los cables y los conectores que se utilizan son:

- Cable de mando FMS 2101: este cable conecta al controlador principal con el mando FMS 2101, tiene 9 hilos y sus conectores a los dos extremos del cable son de tipo DE-9 tipo macho.
- Cable de comunicaciones y control NCL 2000: este cable comunica al controlador principal con el torno NCL 2000 y va conectado justo en la PCB del controlador e interfaz CNC, tiene 9 hilos y sus conectores a los dos extremos del cable son de tipo DE-9 macho.
- Cable de comunicaciones y control NCM 2000: este cable comunica al controlador principal con la fresadora NCM 2000 y va conectado justo en la PCB del controlador e interfaz CNC, tiene 9 hilos y sus conectores a los dos extremos del cable son de tipo DE-9 macho.
- Cable TEACH BOX: este cable comunica al controlador principal con el tablero principal y va conectado, en el único conector tipo DA-15 hembra del tablero principal y se identifica por

la inscripción TEACH BOX, tiene 15 hilos; los conectores a los dos extremos del cable son de tipo DA-15 macho.

- Cable CIM COMMUNICATION: este cable comunica al controlador principal con el tablero principal y va conectado al conector tipo DB-25 hembra con la inscripción CIM COMMUNICATION en el tablero principal, tiene 25 hilos y sus conectores a los dos extremos del cable son de tipo DB-25 macho.
- Cable robot comunicación: este cable comunica al controlador principal con el Robot manipulador, tiene 9 hilos y sus conectores a los dos extremos del cable son de tipo DE-9 macho.



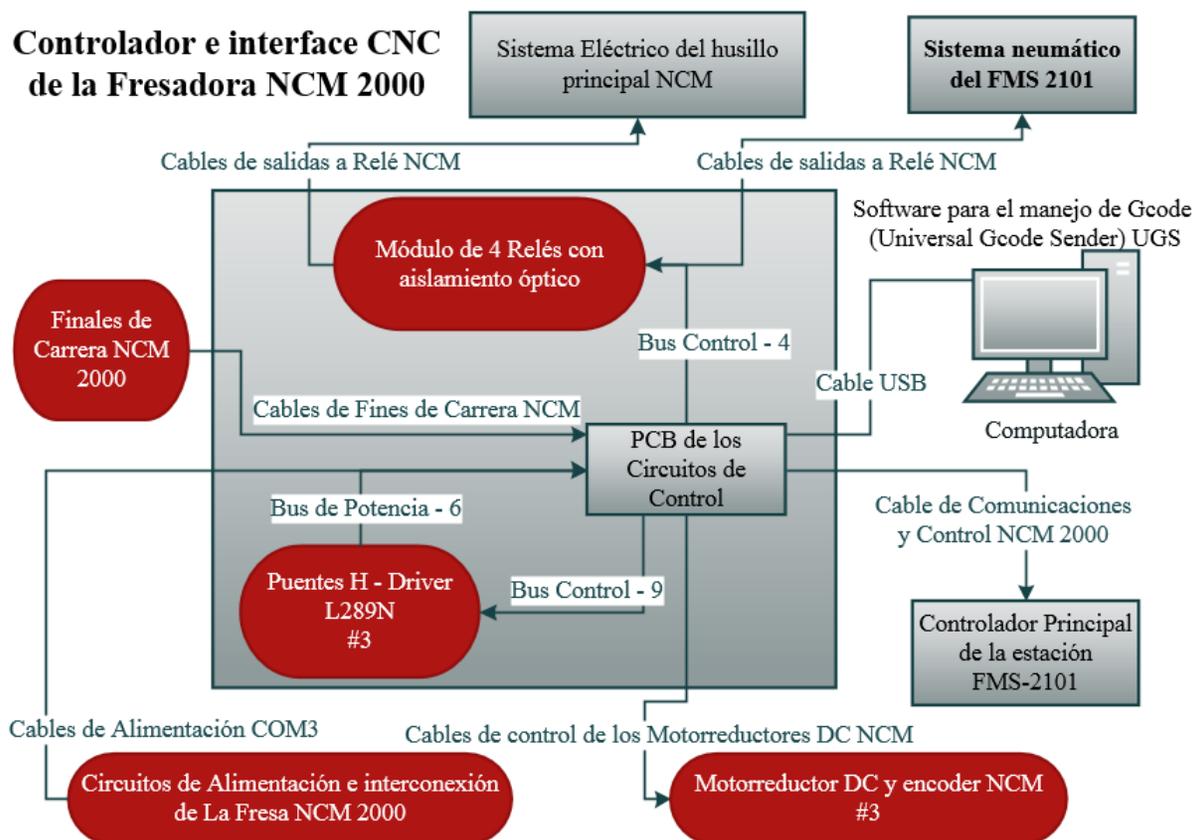
**Figura 138.** Conexión de los cables de la estación FMS 2101

#### 4.7 Diseño del controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno

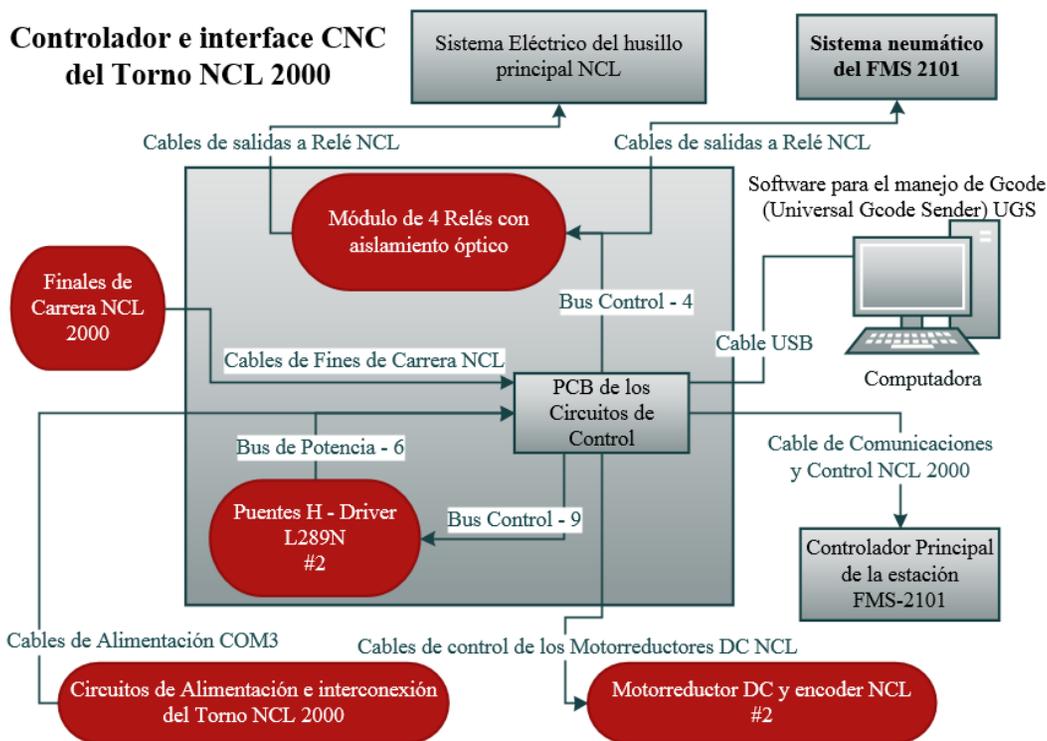
Para cumplir con las características y requisitos para el proyecto. Se realiza el diseño del controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno. En la *Figura 139* se muestra para la fresadora NCM 2000 y en la *Figura 140* para el torno NCL 2000. Como se puede observar el

diseño es similar, por lo que se utiliza el mismo PCB de los circuitos de Control para ambas CNC. Solamente que en el caso del torno como cuenta solo con el eje X y Z, se deja de utilizar uno de los controles para motorreductores DC.

Como se puede observar en los diagramas esquemáticos *Figura 139* y *Figura 140* se utiliza módulos de relés para controlar el sistema neumático y el husillo principal de las CNC. Para la entrada de finales de carrera y sensores se conectan directamente a la PCB esta utiliza las entradas acopladas ópticamente, en el caso de los puentes H se utilizan como etapa de potencia del controlador pero la salida son mediante el conector DE-9F que se encuentra en el PCB.



**Figura 139.** Diagrama esquemático del controlador e interfaz CNC de la fresadora.



**Figura 140.** Diagrama esquemático del controlador e interfaz CNC del torno.

#### 4.7.1.1 Diseño de los circuito electrónico del controlador e interfaz CNC

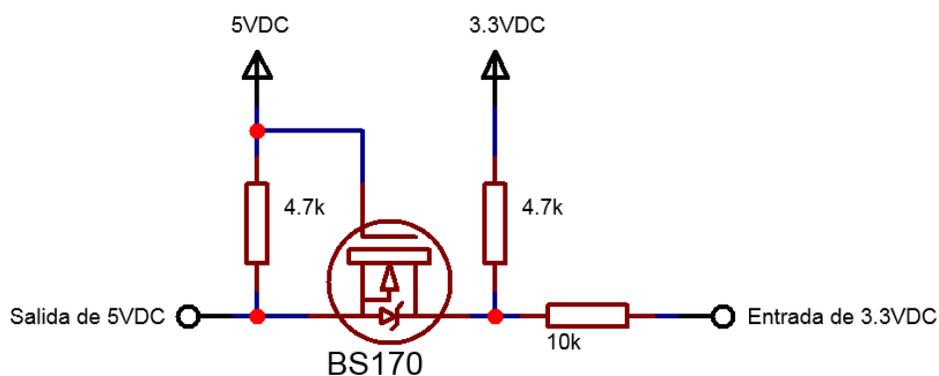
Para las entradas y salidas digitales se utiliza las mencionadas en el Diseño de los circuitos electrónicos de entrada y salida, para los finales de carrera de las CNC y para la comunicación se utilizan 7 circuitos de entrada acoplados ópticamente, para los módulos de relé un total de 4 circuitos de salida acoplados ópticamente.

Para los motorreductores DC y encoders con los que cuenta se utiliza el Diseño del controlador para motorreductores DC, en el control de los Puentes H se utiliza un total de 9 circuitos de salida. Y para los encoder tres circuitos de acondicionamiento de la señal del encoder. Para la comunicación con el controlador principal de la estación FMS 2101 se utiliza el Diseño del sistema de comunicaciones.

Todos los circuitos de cada CNC se conectan a un microcontrolador ATSAM3X8E que está integrado en una tarjeta Arduino due, este se encarga del control de todas las salidas, entradas y comunicación de la CNC.

Existe una interfaz CNC implementada en un microcontrolador ATMEGA328p que se conecta al microcontrolador ATSAM3X8E, existe un inconveniente al realizar esta acción debido a que uno de los microcontrolares maneja voltajes de 5VDC y el otro 3.3V, para lograr conectar ambos se utiliza módulos de cambio de nivel de voltaje de 5VDC a 3.3VDC y viceversa. El esquema del circuito de cambio de voltaje en los módulos se observa en la *Figura 141*. Como se observa una salida de 5VDC se convierte en al final de circuito en 3.3V. Dependiendo donde se coloque la resistencia de 10K [ $\Omega$ ] se puede tener por ejemplo si la resistencia se coloca justo después de salida de 5VDC, se tendría una salida 3.3VDC y una entrada de 5VDC.

La interfaz permite realizar el control numérico desde una computadora de esta manera la fresadora y el torno pueden mecanizar cualquier diseño realizado en código G automáticamente. El esquema completo de los circuitos electrónicos utilizados se muestra en el Anexo E. Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101.

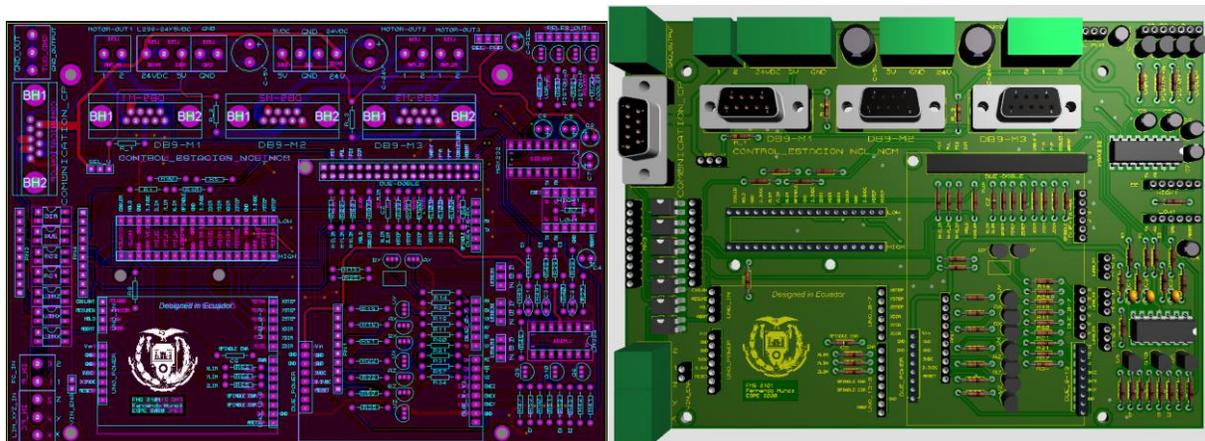


**Figura 141.** Esquema del circuito de cambio de voltaje

#### 4.7.1.2 Diseño del PCB del Controlador e interfaz CNC

El diseño del PCB para el controlador e interfaz CNC para la fresadora y el torno. Es el mismo por lo cual son compatibles esto es beneficioso para la implementación. Sin embargo las características de cada máquina son diferentes por lo que las configuraciones en el software de cada interfaz CNC difieren. Cada PCB cuenta con su configuración propia para la fresadora y el torno.

El diseño del PCB se basa en el esquema de los circuitos electrónicos del Anexo E. Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101. En la *Figura 142* se muestra el diseño y la simulación del circuito en la implementación.



*Figura 142.* Diseño del PCB del controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno

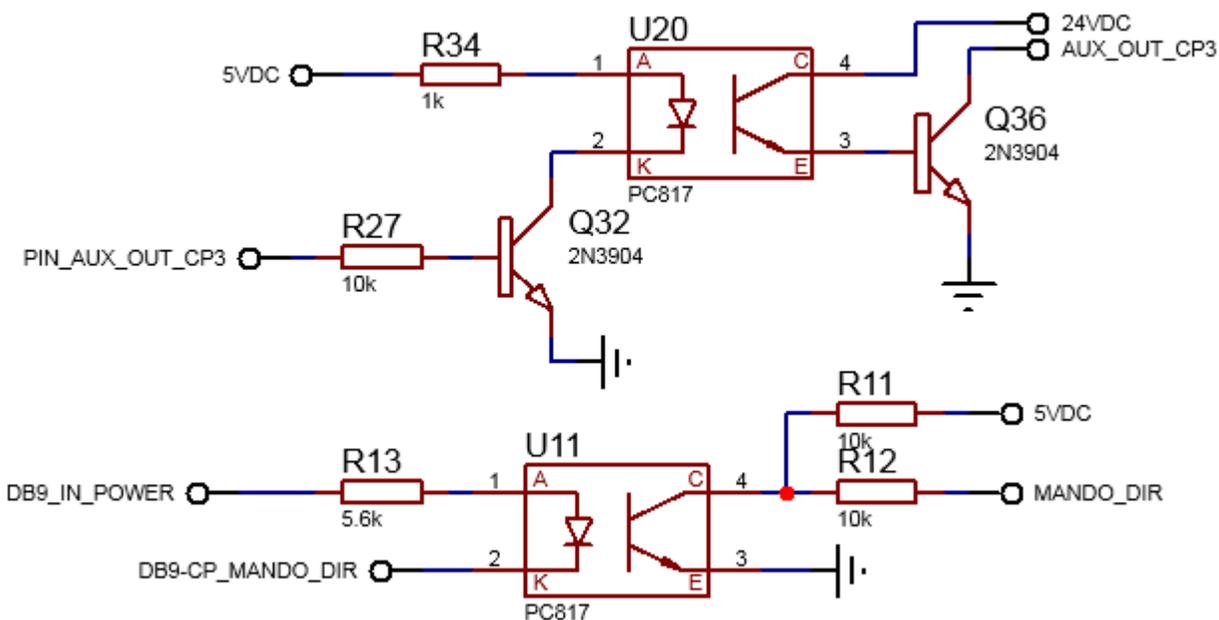
### 4.8 Diseño del controlador principal de la estación.

Como se observa en la *Figura 128*. Muestra el diseño controlador principal de la estación FMS 2101. Este controlador funciona con un microcontrolador ATMEGA2560, al cual se conecta toda la estación y a partir de este controlador es capaz de dar comunicarse y controlar el:

torno, fresadora, riel de desplazamiento lineal y robot manipular. Todas estas partes se conectan mediante cables que se muestran en la imagen.

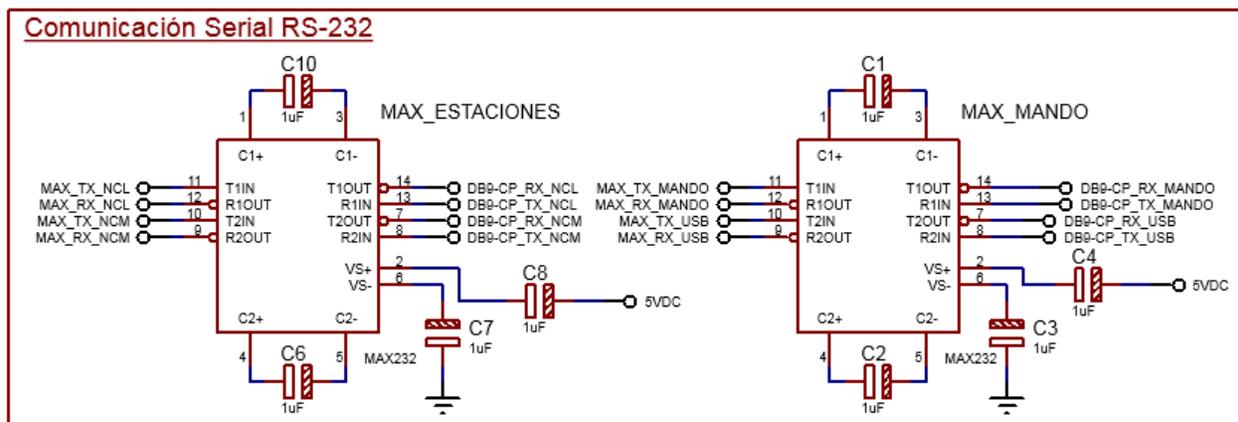
#### 4.8.1.1 Diseño de los circuito electrónico del controlador principal

Cada entrada y salida del controlador principal cuenta con un circuito de entrada y salida acoplados ópticamente, se muestra un ejemplo de los circuitos que se utilizan en la *Figura 143*. En total el controlador principal cuenta con 18 circuitos de entrada acoplados ópticamente. Y 13 circuitos de salida a transistor acoplados ópticamente.



**Figura 143.** Esquema de los circuitos de entrada y salida del controlador principal

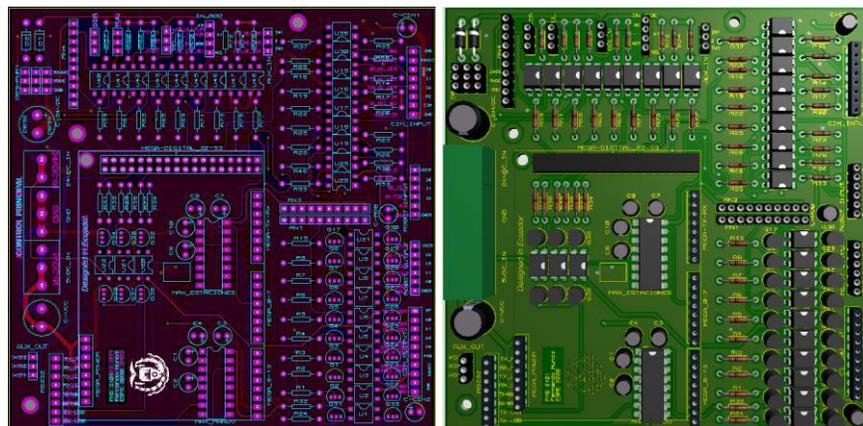
Además utiliza una comunicación serial mediante interfaz RS-232, en este caso se utilizan dos integrados max232 debido este agrupa las comunicaciones del torno, fresadora y mando como se muestra en la *Figura 144*. El esquema completo de los circuitos electrónicos utilizados se muestra en el Anexo E. Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101.



**Figura 144.** Esquema de los circuitos de comunicación en el controlador principal

#### 4.8.1.2 Diseño del PCB del Controlador principal

El diseño y simulación del PCB para el controlador principal se muestra en la *Figura 145*. El diseño permite conectar las entradas y salidas dependiendo de la necesidad de la estación.



**Figura 145.** Diseño del PCB del controlador principal de la estación

#### 4.9 Diseño del mando FMS 2101.

El diseño propuesto para el mando se muestra en la *Figura 131*. El diseño es una interfase de comunicación entre la estación y el operador. Cuenta con la capacidad de comunicación serial mediante interfaz RS-232, salidas de comunicación, pantalla, teclado, potenciómetro y joystick que se muestra en la *Figura 146*. Mediante los dispositivos de maniobra el mando es capaz de

realizar control manual de toda la estación y garantizar que el control se realiza en tiempo real gracias a la comunicación con la que cuenta el mando.



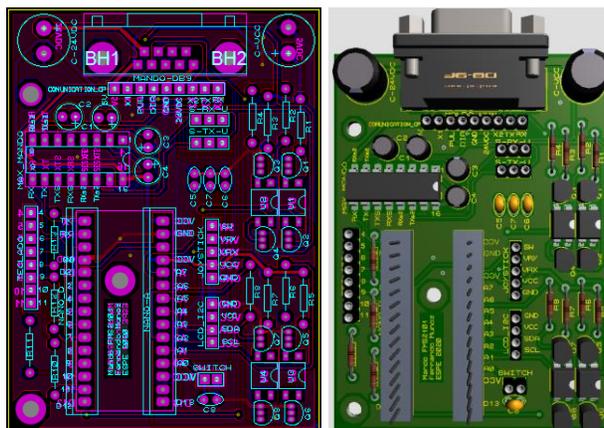
**Figura 146.** Componentes de entrada y salida de información del mando FMS 2101.

#### 4.9.1.1 Diseño de los circuito electrónico del mando FMS 2101.

El mando cuenta con una comunicación RS-232 que se conecta directamente al controlador principal de la estación. La estación se encarga de dar la energía necesaria para el funcionamiento del mando. Además utiliza salidas digitales para la comunicación que permiten indicar a la estación cuando el operador está realizando una acción en tiempo real. El esquema completo de los circuitos electrónicos utilizados se muestra en el Anexo E. Circuitos electrónicos de la estación FMS 2101.

#### 4.9.1.2 Diseño del PCB del mando – FMS 2101

El diseño del PCB del mando se muestra en la *Figura 147*. El diseño es compacto y cuenta con todo lo necesario para funcionar de manera segura y en caso de falla la estación desactivara las acciones que se estén realizando con el mando.



**Figura 147.** Diseño del PCB del mando FMS 2101

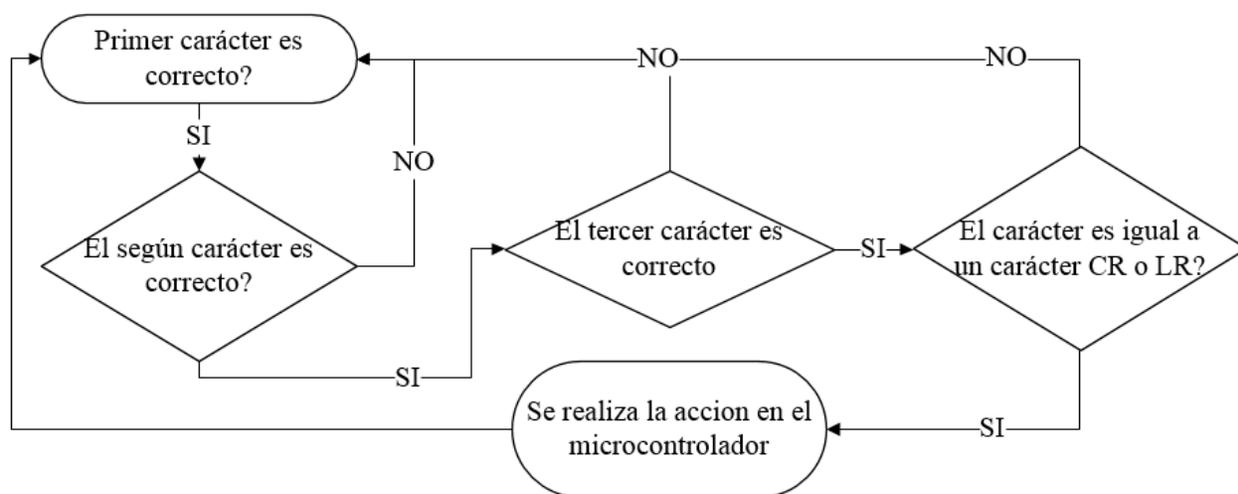
## 4.10 Diseño de los programa para la estación FMS 2101

### 4.10.1 Programa de comunicación serial para la estación FMS 2101.

La estación FMS 2101 se maneja por comandos que permiten controlar los actuadores y obtener información de la estación. Los comandos que se envían están compuestos por 2 o 3 caracteres más un carácter de confirmación. Los comandos que se envían siempre son validados para evitar algún error. El algoritmo de validación que se realiza se muestra en la siguiente *Figura 148*. Cuando el comando no sea el correcto o se reciba un comando incorrecto el controlador descarta el comando y espera a que se envíe un comando correctamente. Así se evita errores si se puede determinar fallos en la comunicación.

Todos los comandos que se envían en la estación son de tipo petición, estado error o alerta de 2 caracteres y los de tipo acciones que tienen 3 caracteres todos estos caracteres al final deben contar con un carácter de confirmación que puede ser CR o LF. El carácter de confirmación que se utiliza es el carácter de nueva línea, LF o número decimal 10 en el código ASCII. Una alternativa también es el carácter de retorno de carro, CR o número decimal 13 en el código ASCII, estos caracteres siempre se envían al final de cada comando e indican que el comando que

se envía se ha terminado de enviar, por lo que si un comando se envía correctamente pero no se envía este comando la estación descartara el comando. Este algoritmo de verificación previa de los comandos se realiza en todos los controladores de la estación.



**Figura 148.** Algoritmo de validación de los comandos de la estación FMS 2101.

#### 4.10.2 Programa para el controlador principal

El programa del controlador principal cuenta con una programación que le permite realizar un control manual de la estación mediante el mando FMS 2101. El controlador principal recibe todos los comandos del mando, los valida y si todo esta correcto envía el comando al torno o la fresadora dependiendo de la máquina que se esté controlando. Además es capaz de controlar el riel de desplazamiento lineal y controlar el robot manipulador. Igualmente el controlador principal además de control que realiza recibe toda la información necesaria de las máquinas de fresado y torneado, conoce el estado de las máquinas cuando presentan algún error o alarmar incluso si las máquinas están conectadas o no. Además cuenta con el control completo del riel de desplazamiento lineal conoce su posición y si se han activado sus finales de carrera incluyendo si el riel está conectado. Para el robot manipulador cuenta con entradas y salidas que permiten

controlarlo y conocer de su estado, incluso si está o no conectado. Todo este conocimiento que recibe el controlador principal, se envía al mando FMS 2101 y por USB al computador para que el operador actúe respecto a la información que se le entrega.

#### **4.10.3 Programa para el controlador e interfaz CNC de la fresadora y el torno**

El programa del controlador e interfaz CNC agrupa los siguientes programas: el programa de comunicación, el programa de control para los motorreductores DC, el programa de mecanizado automático, el programa de mecanizado manual y el programa de interfaz CNC.

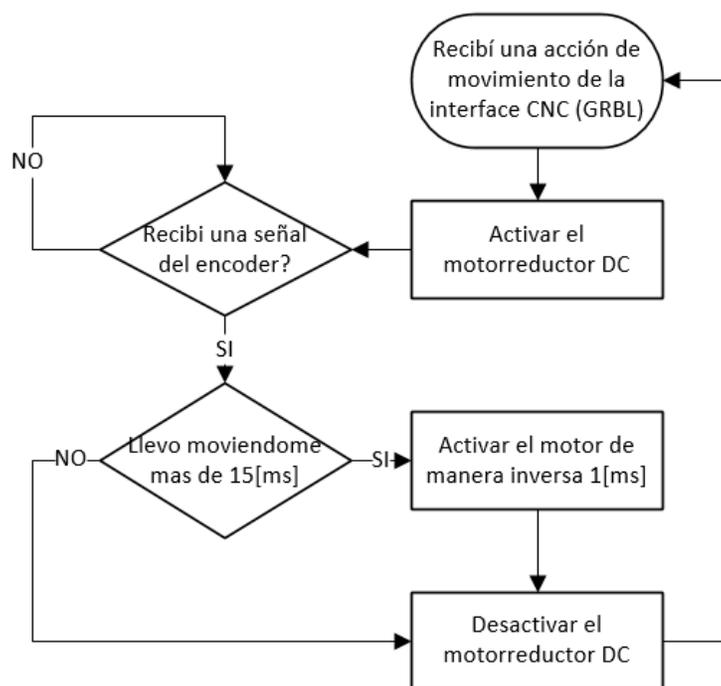
Los programas de control para motorreductores DC, de mecanizado manual y automático de las máquinas CNC se encuentran instalados en el microcontrolador del Arduino Due. El programa de interfaz CNC se encuentra instalado en el microcontrolador atmega328 del Arduino Uno.

Todos estos programas permiten que las CNC de torneado y fresado, cuenten con la capacidad de funcionamiento manual y automático. En el modo manual el operador es capaz de controlar todos los actuadores neumáticos, motorreductores y husillo principal de la estación mediante el mando FMS 2101. En el modo automático simplemente es necesario conectar una computadora por USB a la interfaz CNC de la máquina, abrir un programa de control numérico y proceder a mecanizar un diseño creado en código G automáticamente. El software y el hardware de las máquinas CNC se encargan de realizar el proceso automáticamente.

##### **4.10.3.1 Programa de control para motorreductores DC.**

El programa de control para los motorreductores, permite un funcionamiento de los motorreductores DC similar al funcionamiento de motores paso a paso, la clave para lograr que

los motores logren este comportamiento, es hacer girar a los motorreductores en sentido contrario durante 1 [ms], justo en el instante cuando se termina de hacer girar el motor en el sentido deseado; esto permite frenar al motor y lograr que el motor por cada pulso que da la interfaz CNC, el motor responde igualmente con un paso del encoder. Sin embargo, existe un problema cuando el periodo entre pasos que entrega la interfaz es mayor 15 [ms]. Ya no es necesario frenar el motor por lo tanto solo se deja de alimentar el motor como se muestra en la *Figura 149*.



**Figura 149.** Algoritmo de control para motorreductores DC.

#### 4.10.3.2 Programa de interfaz CNC.

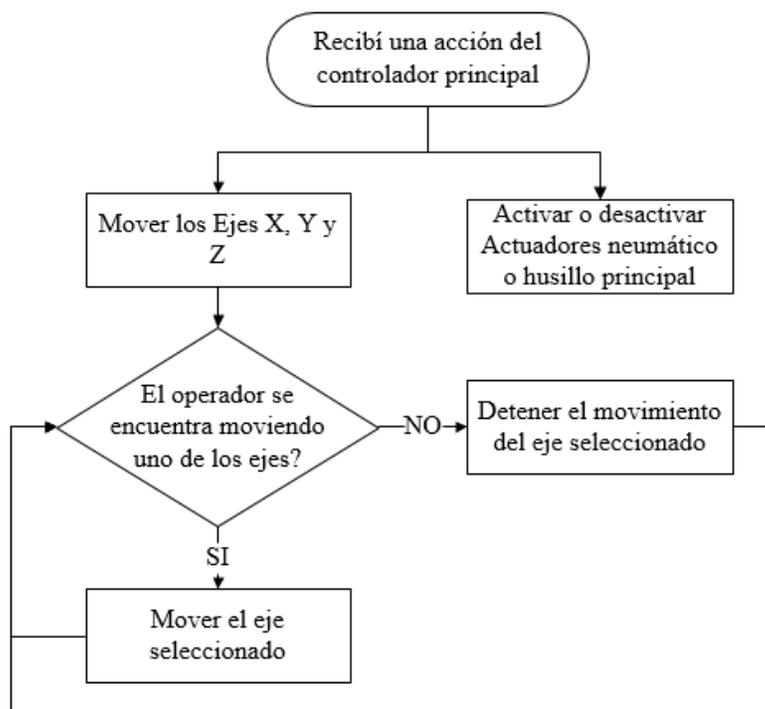
El programa de interfaz CNC que se utiliza es GRBL que se instala en el microcontrolador atmega328 del Arduino uno del controlador y permitiendo a las máquinas de fresado y torneado funcionar como máquinas CNC. Solo es necesario conectar a una computadora y utilizar el software UGS, cargar un modelo en código G y proceder a mecanizar automáticamente.

#### 4.10.3.3 Programa de mecanizado automático

El programa de mecanizado automático recibe órdenes del controlador principal y de la interfaz CNC que cuenta con el programa de control numérico GRBL. de esta manera cuando el controlador de los motorreductores DC recibe órdenes por parte de GRBL este responde actuando sobre los actuadores de la máquina, mecanizando de manera automática el diseño en código G que se esté enviando por la computadora.

#### 4.10.3.4 Programa de mecanizado manual.

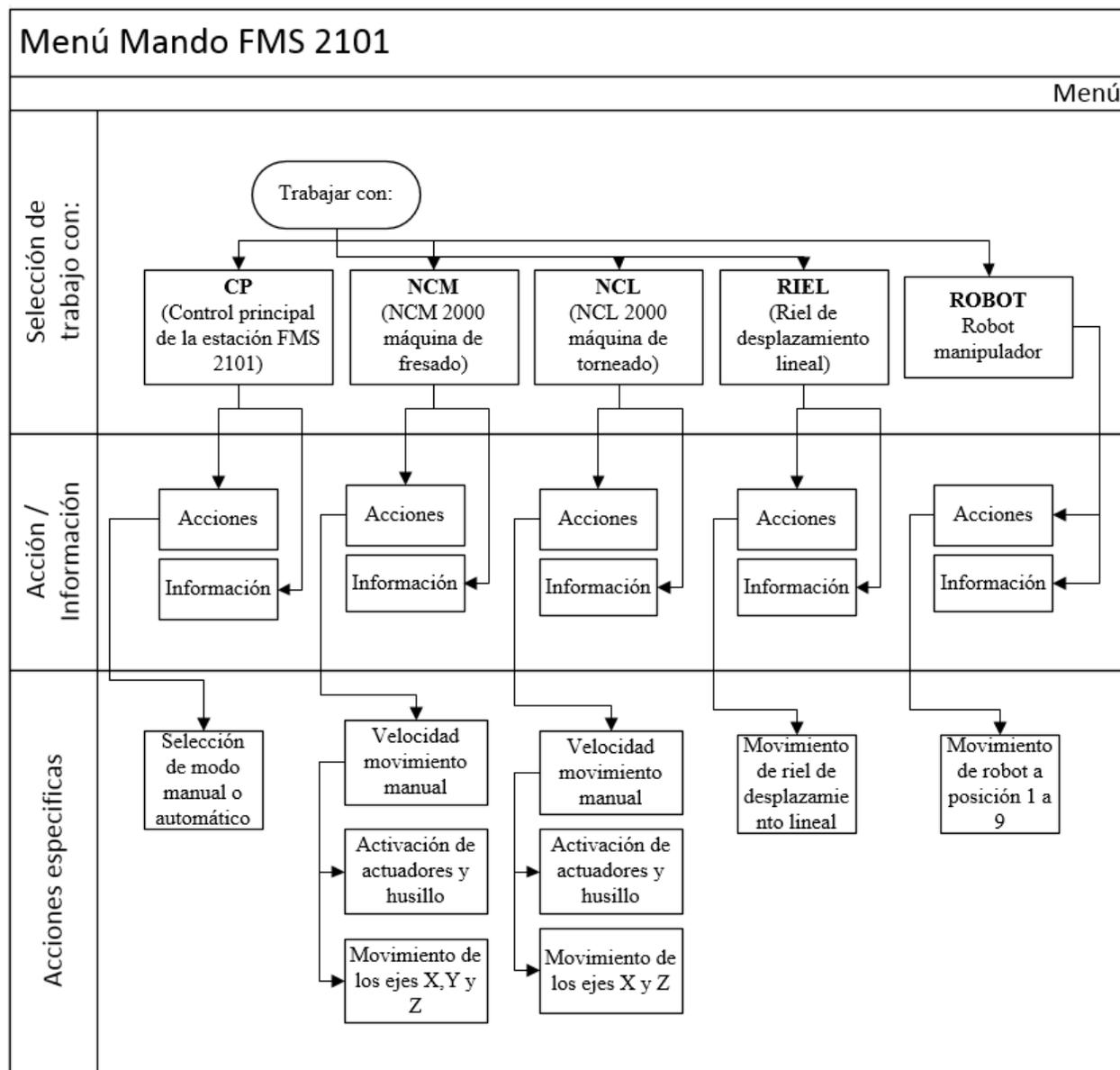
El programa de mecanizado manual responde a las órdenes recibidas por el controlador principal y el mando FMS 2101. Este programa tiene prioridad respecto al mecanizado automático debido a que el operador y el control principal tienen prioridad sobre las máquinas de mecanizado. El algoritmo de control para mecanizar de forma manual se muestra en la *Figura 150*.



**Figura 150.** El algoritmo del control de mecanizado manual.

#### 4.10.4 Programa para el mando – FMS 2101

El programa para el mando FMS 2101 permite al operador controlar toda la estación y cada uno de los actuadores. Mediante el joystick, el teclado, potenciómetro y la pantalla con la que cuenta el mando. El programa se basa en menú que se despliegan según el manejo del operador y que le permiten realizar un control preciso en tiempo real de la estación. Los menús con los que cuenta el mando se muestran en el la *Figura 151*.



*Figura 151.* Menú de navegación del mando FMS 2101

#### 4.11 Diseño de la guía de inicio para la estación FMS 2101

El propósito de esta guía de laboratorio es dar a conocer a los estudiantes sobre el funcionamiento de la estación de manufactura FMS 2101, también conocer conceptos básicos sobre el funcionamiento de una fresadora y un torno, además de utilizar software CNC para el funcionamiento automático de estas.

Esta guía de laboratorio propuesta contempla los siguientes aspectos:

- Tiempo de ejecución de la práctica en el laboratorio: 2 horas
- Material entregado al estudiante: 1 guía preparatoria, 1 guía para la práctica en el laboratorio.
- Material entregado al docente: Normas de Seguridad, configuraciones iniciales.

Las prácticas se basan en el trabajo en grupo y la cooperación de los estudiantes, el grupo de trabajo para la estación FMS 2101 debe de ser de 3 estudiantes, debido a que la estación FMS cuenta con: varios componentes que necesitan supervisión, se les entrega la guía con un ejemplo de fresado y torneado automático; estas práctica se basaran en el aprendiza de conceptos básicos y funcionamiento sobre el: mecanizado y la estación FMS 2101; orientada a la seguridad y cuidados que debe tener el estudiante cuando manipule o tenga contacto con estas máquinas.

### **2.1.1. Práctica 1: FMS 2101 FUNCIONAMIENTO Y SEGURIDAD**

#### **2.1.2. Objetivo general**

- Conocer y evaluar sobre el funcionamiento de la Estación de Manufactura Flexible FMS 2101 y las normas de seguridad que se deben de tener al trabajar con la estación.

#### **2.1.3. Objetivo específico**

- Realizar un diseño CAD/CAM, configurar los parámetros necesarios para generar el diseño en Código G para su posterior mecanizado.
- Conocer el funcionamiento de la estación FMS 2101 y sus capacidades.
- Verificar, calibrar, centrar y configurar las máquinas de fresadora y torno.
- Mecanizar en la máquina fresadora y torno de la estación de manera automática y manual
- Evaluar los conocimientos básicos sobre la estación.

#### **2.1.4. Alcance**

En el desarrollo de la guía se busca que el estudiante conozca e interese por aprender más a fondo sobre la estación de manufactura flexible FMS 2101 y sus capacidades de automatización, además de adquirir conocimientos sobre el mecanizado o maquinado en una fresadora y un torno. Pero sobre todo entender las seguridades que el estudiante debe tener la operar estas maquinarias.

#### **2.1.5. Diseño**

Se investiga sobre FMS, máquinas de fresado, máquinas de torneado, normativas de seguridad, calibración y configuración. Posteriormente se indica en la guía en primer lugar toda la seguridad que se debe tener al manipular la estación y aquello que no se debe realizar.

En primer lugar se enseña al estudiante toda la información necesaria sobre las máquinas de mecanizado. Se da a conocer los cuidados, indicaciones y acciones que debe seguir el estudiante durante el manejo de las máquinas.

Se debe enseñar al estudiante sobre la herramienta que va a utilizar para fresar y tornear, En el caso del torno como de preparar la cuchilla y en el caso de la fresadora como debe preparar la fresa para el mecanizado.

Entonces se enseña a instalación un programa en el que pueda realizar un diseño para mecanizar, se realiza la guía con el programa Inkscape, se enseña a realizar el procediendo de CAD/CAM en este programa.

Se enseña a instalar y utilizar el programa Universal Gcode Sender UGS que se encargara de enviar el diseño en código G a las máquinas CNC de torneado y fresado.

Una parte clave de la estación es el mando FMS 2101 por lo que se enseña a utilizar y navegar por los menús y utilizar todas las características y facilidades que ofrece este componente de la estación.

Para la guía de laboratorio se enseña el procedimiento y verificación de encendido de la estación, se realiza una prueba de encendido correcto con el mando FMS 2101 y se procede a enseñar al estudiante a mover los ejes los ejes X, Y y Z de la máquina de fresado NCM 2000, luego se enseña a posicionar los ejes en el área de trabajo, y se coloca la pieza que se va a mecanizar en la máquina y se realiza el centrado de la fresa en la pieza.

A partir de este punto el estudiante realiza un mecanizado manual y luego automático en la fresadora NCM 2000. Una vez que finaliza el fresado se enseña al estudiante a apagar la máquina y se procede a enseñar al estudiante a mecanizar con el torno.

Para el torno se enseña a que el estudiante realice sus primeros movimientos con el mando en los ejes X y Z de la máquina de torneado NCL 2000, Luego se tienen que enseñar al estudiante a colocar la pieza a tornear de manera correcta en el mandril y también colocar la cuchilla en la posición correcta.

Una vez que el estudiante entiende y comprende cómo funciona la estación, se procede a enseñar cómo se realiza el torneado manual en la estación. Se realiza un torneado manual de un cilindro utilizando el mando, luego se tendrá que realizar un torneado automático con el diseño que ha realizado en el preparatorio.

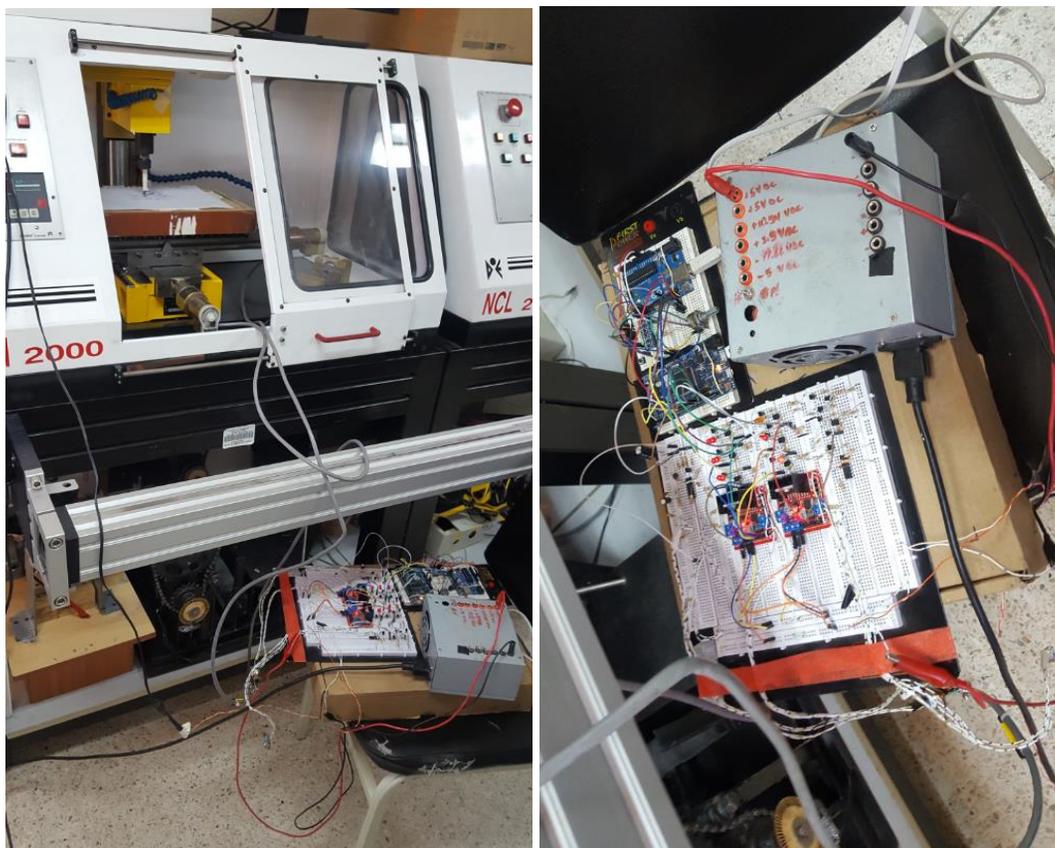
Una vez que finaliza el estudiante de tornear se enseña al estudiante a apagar la máquina y se procede a que el estuante realice el cuestionario y se analizan los resultados.

## CAPÍTULO V

### INTEGRACIÓN E IMPLEMENTACIÓN

#### 5.1 Prototipo del controlador e interfaz CNC.

El prototipo del diseño del controlador e interfaz CNC se implementó en un protoboard como se observa en la siguiente *Figura 152*. Adicionalmente se carga el software y el diseño en el prototipo, se realiza varias pruebas de funcionamiento del hardware y del software diseñado.



*Figura 152.* Prototipo del controlador e interfaz CNC instalado en la fresadora.

## **5.2 Pruebas de funcionamiento del prototipo**

### **5.2.1 Prueba 3 – Funcionamiento de los motorreductores DC**

#### **5.2.1.1 Objetivo**

- Comprobar el funcionamiento del circuito y programa de control de los motorreductores DC.
- Analizar el funcionamiento del circuito de acondicionamiento de la señal del encoder

#### **5.2.1.2 Hipótesis**

- Mediante el diseño e implementación del prototipo se espera un funcionamiento correcto y adecuado de los motorreductores DC.
- El circuito de acondicionamiento se creó para corregir los problemas que se encontró en las pruebas iniciales realizadas a los motorreductores DC. Se espera poder corregir el problema del ruido de las señales del encoder mediante el filtro y utilizando el comparador convertir a la señal del encoder en una señal digital.

#### **5.2.1.3 Procedimiento**

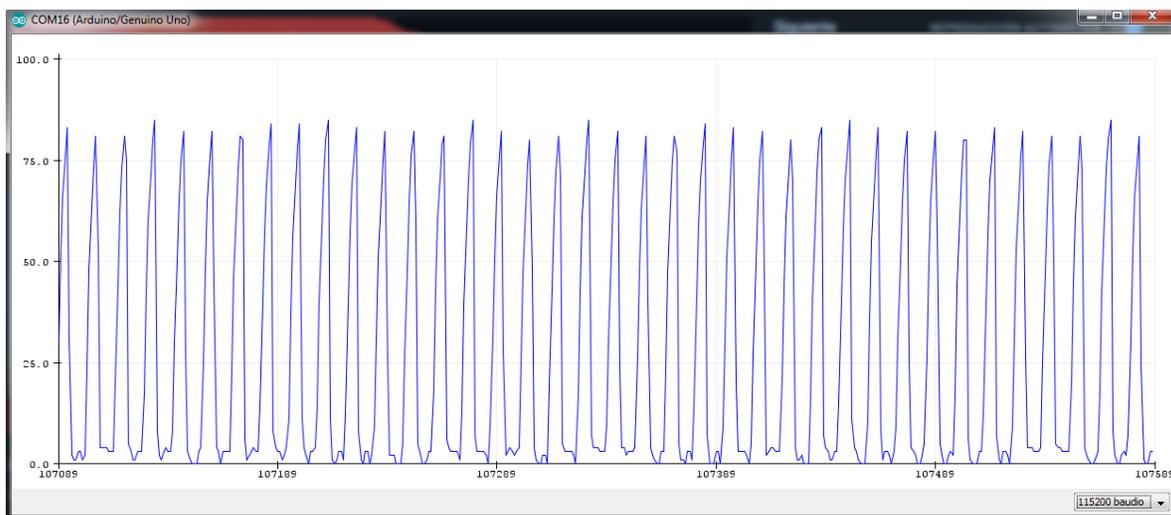
- implementar el circuito de acondicionamiento
- Conectar el circuito a un motorreductor DC
- Conectar armar el circuito para todos los motorreductores DC
- Integra el controlador e interfaz CNC
- Realizar movimientos del motor con la interfaz CNC.

- Anotar el resultado.

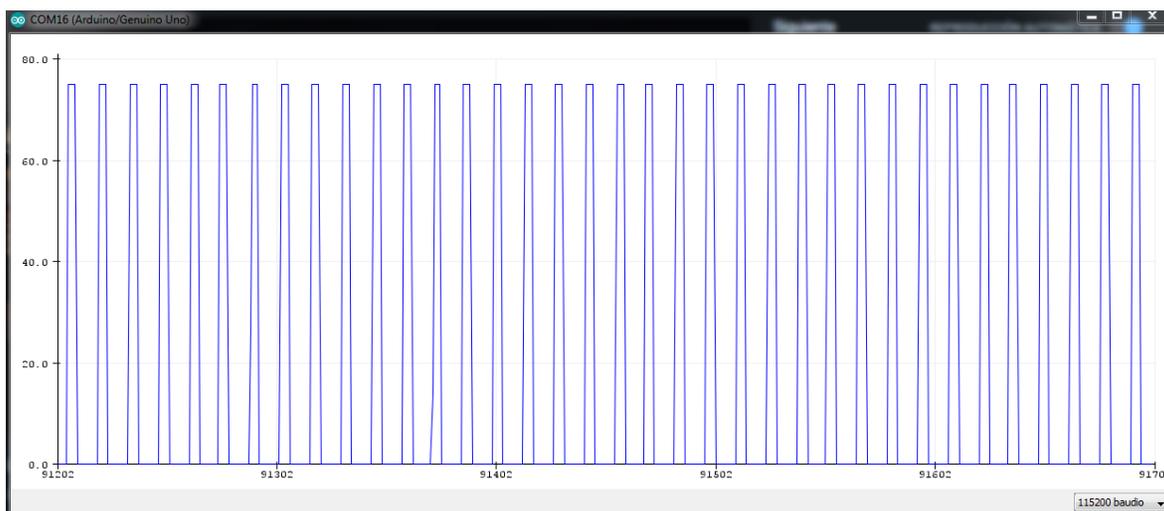
#### 5.2.1.4 Resultados

Recordando los que se observa en la prueba anterior, la señal que se obtiene es la que se muestra en FIGURA.

Ahora se implementa el circuito que se muestra en la *Figura 134*. Este circuito se conecta al encoder y se mide la señal luego de pasar por el filtro pasa bajos. Como se muestra en la *Figura 153*, se elimina todo el ruido de la señal pero la señal del encoder puede llegar a dar problemas cuando se utiliza con interrupciones en el microcontrolador por lo que se añade un comparador luego del filtro y se mide la señal final que se obtiene y se muestra en la *Figura 154*.

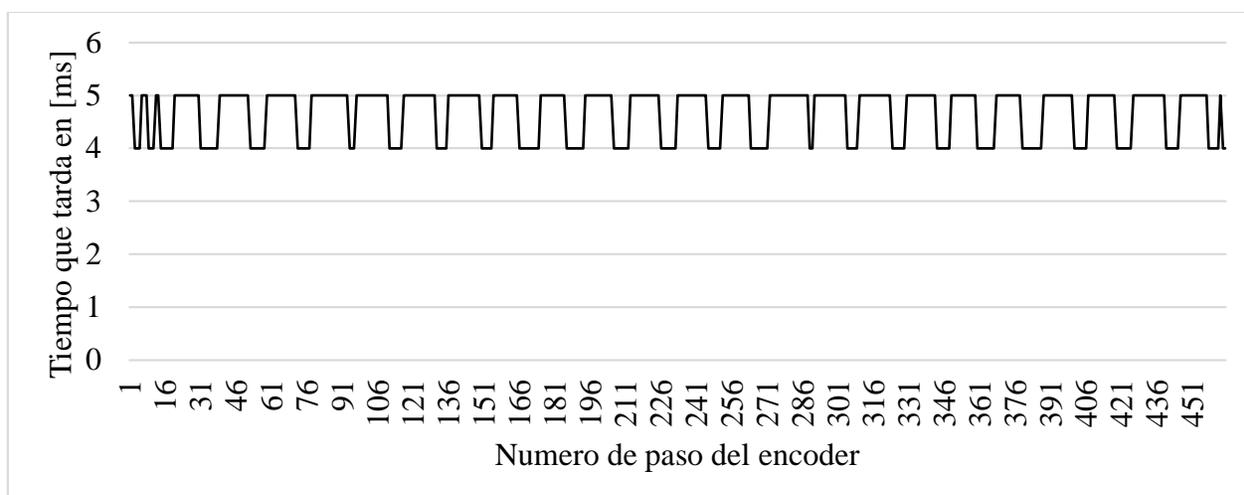


*Figura 153.* Señal de encoder luego de pasar por el filtro RC.



**Figura 154.** Señal del encoder luego de pasar por el circuito de acondicionamiento.

Una vez que la señal del encoder es igual a la de la *Figura 154* y que se puede ser medida por el microcontrolador sin errores. Se mide el periodo de la señal del encoder cuando está funcionando a máxima velocidad, para determinar la velocidad máxima que va a poder moverse el motor y se determina que el encoder puede entregar señales máximo cada 4 [ms], la media de las señales que entrega es de 5 [ms] por lo que la frecuencia de la señal del encoder es de máximo 250[Hz] sin embargo la media es de 200[Hz]. Como se muestra en la *Figura 155*.



**Figura 155.** Tiempo de respuesta del encoder de los motorreductores DC.

Con estos datos y los que se obtiene de las pruebas anteriores de los motorreductores, se calcula la velocidad de movimiento de los ejes en [mm/min] esta medida es utilizada en la interfaz CNC (GRBL) para el control de los motores, también es un dato muy importante en el diseño CAD/CAM debido a que el código G se genera tomando en cuenta la velocidad máxima de movimiento de la máquina CNC.

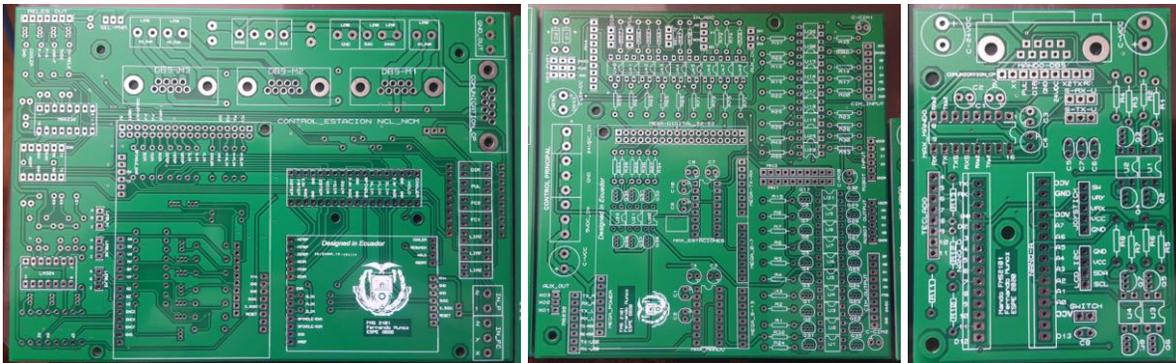
Sabiendo que los motores dan 96 pasos de encoder por cada milímetro, se tiene que por cada paso se demora una velocidad máxima 5 [ms] esto se multiplica por 96 pasos, se obtiene que se demora 480[ms] en moverse 1 [mm]. Se calcula este valor para 1 [min] y se obtiene la velocidad máxima de los motorreductores 125[mm/min]. Se coloca este valor en la configuración del software de control CNC (GRBL) y se realiza unas pruebas de movimiento.

Se encuentra que la velocidad es demasiado alta y que el motor si puede mover a esta velocidad siempre y cuando el motor no se detenga y no tiene que realizar cambios de giro. Si ocurre alguno de estos casos el motor tiene que acelerar y por más de 30 [ms] para que se mueva a 5[ms]. Se decide reducir la velocidad un 20% esto para que la interfaz CNC (GRBL) este por debajo del promedio de movimiento del motor, esto para que el motor pueda moverse a la par del controlador. Y si por alguna razón el motor por un instante se mueve más lento de lo normal pueda alcanzar a la interfaz y no se acarre un error en el maquinado. Entonces la velocidad que se establece es de 100[mm/min] y la aceleración a partir de la cual el motorreductor responde sin perder pasos es de 6 [mm/seg<sup>2</sup>]. Esto debido a que la aceleración y desaceleración la realiza GRBL mediante pulsos y el controlador de motorreductores DC en velocidades bajas frena el motor para evitar que el motor se mueva como un motor paso a paso esto no permite calcular la aceleración correcta del motor.

Con esta configuración se midió el error de los motorreductores cuando están en movimiento y se obtuvo que el error máximo que se puede obtener cuando se está en movimiento y controlando los motorreductores es de 3 pasos. Esto significa que el error de los motores cuando están fresando automáticamente es de  $\pm 0.03$  [mm].

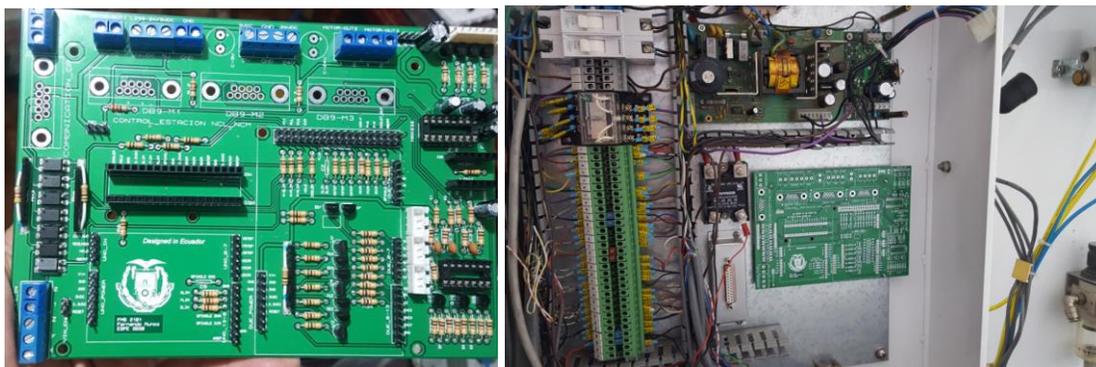
### 5.3 Implementación de los diseños

Con el diseño de los PCB se genera el archivo gerber en formato RS-274x y se procedió a la fabricación. Las placas PCB están fabricadas en FR4 y con un peso del cobre de 1 oz. Los PCB del controlador e interfaz CNC para las máquinas se encuentran a la izquierda, del controlador principal al centro y del mando FMS 2101 a la derecha en la *Figura 156*.



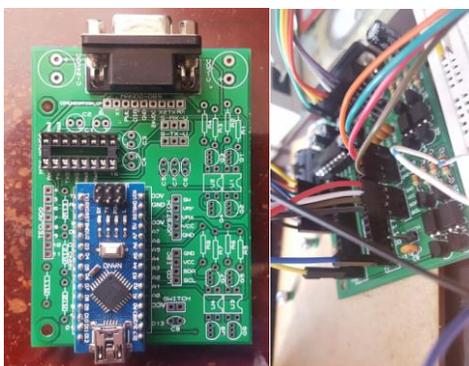
*Figura 156.* PCB de los controladores de la estación.

Se procede a soldar todos los componentes y ensamblar cada pieza del controlador en su lugar. En la *Figura 157* se observa el controlador e interfaz CNC de las máquinas a la izquierda con algunos componentes ya soldados y en la derecha se observa la PCB en su posición final.



**Figura 157.** PCB del controlador e interfaz CNC con algunos componentes.

En la *Figura 158* se observa el PCB del mando y algunos de los componentes que se están añadiendo y armando en la placa. Se observa los cables y componentes que se utilizan para el mando.



**Figura 158.** PCB de mando FMS 2101 con algunos componentes.

En la *Figura 159* se observa el PCB del controlador principal y algunos de los componentes que se están añadiendo y armando en la placa. Se observa la posición donde se coloca la placa Arduino para el control de la estación.



*Figura 159.* PCB del controlador principal con algunos componentes.

#### **5.4 Integración de todos los componentes de control en la estación FMS 2101**

Una vez que los componentes de la estación están listos para funcionar se procede a integrar todos los componentes en la estación FMS 2101. El resultado se observa en la *Figura 160*. Solo se observa al mando FMS 2101 listo para ser operado por el usuario. Y los demás componentes de control no están visibles para el operador.



*Figura 160.* Implantación en la estación FMS 2101

#### 5.4.1 Instalación del controlador principal

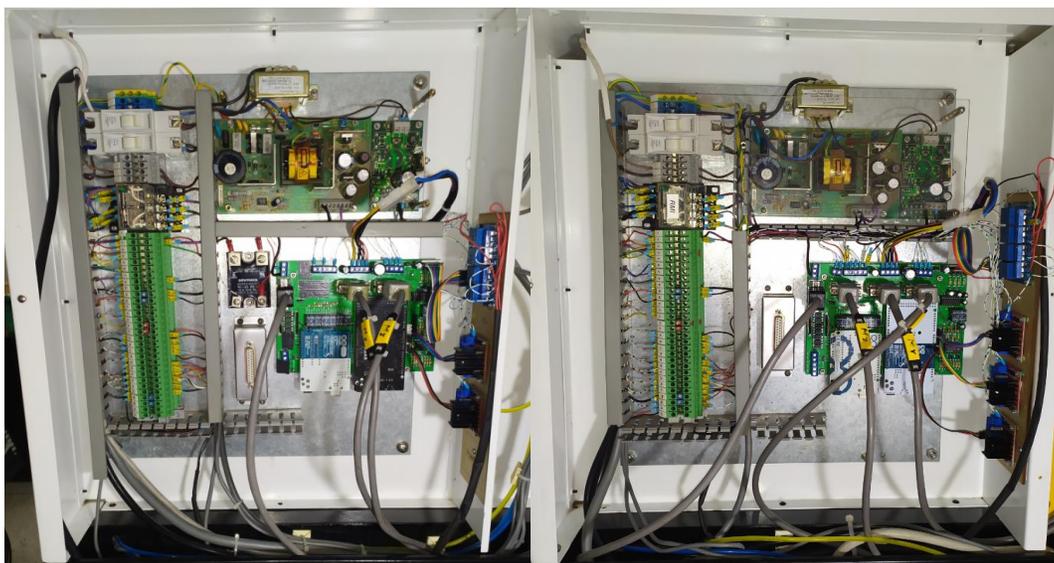
El controlador principal se instala en el rack de la estación FMS 2101, exactamente en el mismo lugar donde se encontró el módulo de entradas y salidas del anterior proyecto en la estación. Se conectan todos los cables y conectores siguiendo los diagramas esquemáticos del controlador principal. Como se muestra en la *Figura 128*.



*Figura 161.* Instalación del controlador principal en la estación.

### 5.4.2 Instalación del controlador e interfaz CNC para las máquinas.

Del controlador e interfaz CNC existen dos PCB para cada una de las máquinas de mecanizado. La instalación se realiza en la parte trasera de las CNC, como se observa en la *Figura 162* en el lado izquierdo se observa la instalación en el torno y a la derecha en la fresadora. Se conectan todos los cables de cada motorreductor DC y el cable de comunicaciones y control NCL 2000 y NCM 200. Adicionalmente el módulo de relés y los puentes H se instalan en la parte lateral, se conectan los actuadores neumáticos y los husillos principales. Y la alimentación para el controlador se utiliza la alimentación desde el cable CON3.



*Figura 162.* Instalación del controlador e interfaz CNC para las máquinas.

### 5.4.3 Instalación del mando FMS 2101.

El mando FMS 2101 una vez construido solo es necesario conectarlo con el cable de mando FMS 2101 al controlador principal. Como se observa en la *Figura 163*.



**Figura 163.** Instalación del mando FMS 2101

### 5.5 Ejecución y resultados de la guía de inicio de la estación FMS 2101

La guía de inicio para la estación se realiza en dos documentos: la guía preparatoria y la guía de laboratorio, que se encuentran en el Anexo F - Guía de laboratorio de la estación FMS 2101. Se utiliza el formato con el cual se realiza las prácticas de laboratorio de PLC y robótica industrial, se utiliza un lenguaje en tercera persona para enfatizar la importancia de las acciones del estudiante. Y se implementó siguiendo detalladamente cada detalle expuesto en el diseño de esta guía. Con la guía se realizan las pruebas de mecanizado de la estación y también se obtiene lo siguientes resultado:

- Al inicio de la guía enseña a manejar la estación paso a paso; entonces, cuando se realiza la guía se comprende exactamente que se está realizando en cada momento.
- Cuando se termina de realizar la guía, se tiene el conocimientos sobre el encendido, verificación, centrado y calibrado de las máquinas de torneado y fresado de la estación
- Con la guía se diseña y se mecaniza 28 piezas en la estación. Comparando la forma de las piezas diseñadas y las piezas maquinadas visualmente se observan que tienen la misma

forma. Cuando se toma un círculo fresado y un cilindro torneado ambos con un diseño de iguales dimensiones. La pieza torneada encaja perfectamente en la pieza fresada.

## **5.6 Pruebas de funcionamiento de la estación FMS.**

### **5.6.1 Prueba 4 – Funcionamiento de la estación FMS 2101**

#### **5.6.1.1 Objetivo**

- Revisar el funcionamiento de la estación y mecanizar piezas en las máquinas de torneado y fresado.

#### **5.6.1.2 Hipótesis**

- Mediante las pruebas realizadas y los resultados obtenidos por el controlador de motorreductores DC, se espera que el funcionamiento de todos los componentes diseñados funcionen de manera correcta.
- Se espera un error no mayor a 0.18 [mm] por parte de los husillo de los ejes y un error no mayor al 0.03 [m] por parte de los motorreductores DC.

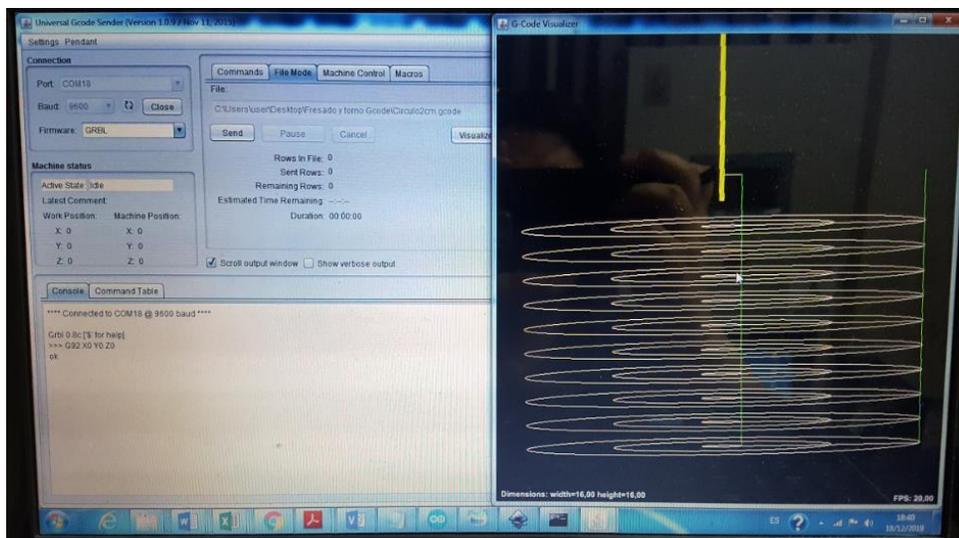
#### **5.6.1.3 Procedimiento**

- Instalar todos los componentes diseñados en la estación FMS 2101
- Realizar un diseño de una circunferencia en código G para la fresado y de un cilindro para el torneado.
- Conectar una computadora a la interfaz CNC de la estación de fresado y torneado.

- Realizar el centrado y calibrado previo al fresado o torneado automático.
- Medir las piezas mecanizadas y anotar los resultados.

#### 5.6.1.4 Resultados

Se realiza varios diseños de circunferencia y cilindros en código G para probar la capacidad de la estación de mecanizar piezas iguales pero de diferente tamaño. Uno de los diseño realizados en código G se muestra en el programa CNC que se observa en la *Figura 164*.



**Figura 164.** Diseño de un cilindro y software CNC listo para mecanizar.

Una vez conectados todos los componentes diseñados para la estación se procede a su encendido. Y se observa que la estación funciona según lo esperado se utiliza el mando FMS 2101 para centrar y calibra la herramienta de corte en la pieza. Se conecta la computadora y se carga cada diseño y se fresa uno por uno.

Se observa que las circunferencias del diseño exigen a los motorreductores DC moverse coordinadamente y también moverse en todo el rango de velocidades que se pueden moverse, desde estar detenidos hasta su máxima velocidad.

Cuando la fresadora se introduce 1 [mm] en la pieza la circunferencia que se obtiene es la que se muestra en la *Figura 165*. Pero cuando la fresa se introduce por 2 [mm] o más la figura tiende a deformarse.

En el torno si la cuchilla se introduce más de 2 [mm] la madera que tiene contacto con la cuchilla se sobrecalienta y se carboniza. Pero cuando la cuchilla tornea a una profundidad de 1 [mm] el resultado es el que se muestra en la figura.



**Figura 165.** Circunferencias fresadas en un rectángulo de madera y acrílico.

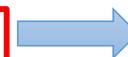
Una vez se fresa todos los diseños realizados en los rectángulos se mide el diámetro de la circunferencia fresada y se anota en la *Tabla 2*. Como se observa el error relativo que se tiene por cada pieza no es superior al 2%.

**Tabla 2**

*Diámetro de la circunferencia fresado, el error absoluto y relativo*

Núm.	Diseñado [mm]	Fresado [mm]	Error absoluto [mm]	Error Relativo Porcentaje
1	21	20.6	0.4	2%
2	20	20.4	0.4	2%
3	21	21	0	0%
4	33	32.8	0.2	1%

**CONTINÚA**



<b>5</b>	21	20.6	0.4	2%
<b>6</b>	20	20.4	0.4	2%
<b>7</b>	39	39.4	0.4	1%
<b>8</b>	39	39.3	0.3	1%
<b>9</b>	21	20.7	0.3	1%
<b>10</b>	21	20.6	0.4	2%

Una vez se tornean todos los diseños realizados en los cilindros de madera se mide el diámetro del cilindro y se anota en la *Tabla 3*. Como se observa el error relativo que se tiene por cada pieza no es superior al 1%. Hay que considerar que en el torno se debe calibrar manualmente la cuchilla y esto también afecta directamente en el error que se tiene al tornearse.

**Tabla 3**

*Diámetro del cilindro torneado, el error absoluto y relativo*

<b>Núm.</b>	<b>Diseñado</b>	<b>Torneado</b>	<b>Error absoluto</b>	<b>Error Relativo</b>
<b>Núm.</b>	[mm]	[mm]	[mm]	Porcentaje
<b>1</b>	32	32.3	0.3	1%
<b>2</b>	39	39	0	0%
<b>3</b>	33	32.7	0.3	1%
<b>4</b>	21	20.8	0.2	1%
<b>5</b>	39	38.7	0.3	1%
<b>6</b>	21	21	0	0%
<b>7</b>	21	20.7	0.3	1%
<b>8</b>	21	20.8	0.2	1%
<b>9</b>	22	22	0	0%
<b>10</b>	20	19.8	0.2	1%
<b>11</b>	20	20.4	0.4	2%
<b>12</b>	20	20.3	0.3	2%
<b>13</b>	20	20	0	0%
<b>14</b>	32	32.5	0.5	2%
<b>15</b>	20	20.4	0.4	2%
<b>16</b>	20	20.4	0.4	2%
<b>17</b>	21	21	0	0%
<b>18</b>	20	20.3	0.3	2%

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se ha efectuado una repotenciación y modernización a la estación FMS 2101 del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, para que sea aprovechada y utilizada como una herramienta del laboratorio en el aprendizaje de los estudiantes.
- Se detalló el diagnóstico, reparación, mantenimiento y verificación del funcionamiento de la máquina de fresado NCM 2000, la máquina de torneado NCL 2000, el riel de desplazamiento lineal de la estación FMS 2101 y el tablero principal; donde el sistema mecánico, electrónico y neumático están en buenas condiciones, pero algunos componentes están desconectados, el sistema de control de las maquinas CNC y de todo la estación está incompleto.
- Se diseñó y construyó, el controlador e interfaz CNC de motores DC para la fresadora NCM 2000 y el torno NCL 2000 uno para cada máquina, el mando FMS 2101 y el controlador principal de la estación.
- Se diseñó e integró un sistema de control para la automatización de la estación FMS 2101 y seguridad de los usuarios. El controlador principal es capaz de conocer y controlar la estación en tiempo real.
- Se creó una guía de inicio para el aprendizaje en la operación de la estación FMS 2101; con la cual los estudiantes puede realizar diseños en código G, conocer el funcionamiento de la

estación FMS 2101 y mecanizar en las máquinas de fresado y torneado de la estación de manera automática y manual.

- Se implementó un software y hardware de control para motorreductores DC de la estación FMS 2101 que permite un funcionamiento similar a motores paso a paso; con un error en la posición real del motor de máximo de  $\pm 0.03$  [mm].
- Se realizaron pruebas de funcionamiento de las máquinas de fresado NCM y de torneado NCL de la estación FMS 2101, donde se determinó que las piezas mecanizadas en la fresadora y en el torno sin importar su tamaño llegan a tener un error máximo de  $\pm 0.4$  [mm] y  $\pm 0.3$  [mm] respectivamente con respecto al diseño en código G.

## 6.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar software libre como UGS o GRBL en la repotenciación de máquinas de fresado y torneado, debido a que si se los compara con un software de pago, permiten adaptarse incluso modificarse a las necesidades de la repotenciación.
- Se recomienda integrar un robot manipulador en la estación FMS 2101, debido a que en el diseño se diseñó e integró entradas y salidas digitales reservadas y conectadas directamente al controlador principal de la estación para este propósito.
- Para la realización de la ingeniería inversa de los componentes electrónicos de una máquina, que se compone de muchos elementos como la FMS 2101, se recomienda anotar todas las conexiones que tiene cada componente en tablas; para luego agrupar las interconexiones y así obtener diagramas y esquemas que explican el funcionamiento de la máquina.

- Se recomienda leer antes los manuales e instructivos de cualquier máquina que se tenga que desarmar, para ahorrar tiempo y sobre todo evitar problemas en el armado; debido a que contienen información, datos técnicos y detalles que difícilmente pueden ser intuitivos. Como la posición correcta en la que se deben colocar los husillos de los ejes X y Y de la fresara.
- En el caso de no existir el manual de una máquina que se tenga que repotenciar, evitar desmontar las piezas de precisión como los husillos de una fresadora, debido a que estas piezas deben estar perfectamente alineadas en la máquina y colocarlas en la posición correcta puede ser difícil, sobre todo la pieza no funcionará correctamente hasta estar colocada milimétricamente en la posición diseñada por el fabricante.
- Se recomienda realizar software para el controlador de motorreductores DC, he investigar si es posible utilizar otras estrategias de control para que los motorreductores funcionen como motores paso a paso.
- Se recomienda implementar en la estación una alternativa de comunicación industrial y desarrollar software que permita comunicarse mediante una conexión Ethernet con un PLC.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. De Toni, S. Tonchia. (junio de 1998). Manufacturing flexibility: a literature review. International Journal of Production Research.
- Allen-Bradley. (s.f.). <https://ab.rockwellautomation.com>. Obtenido de <https://ab.rockwellautomation.com/es/Circuit-and-Load-Protection/Circuit-Breakers/1489-Thermal-Magnetic>
- Américas, U. d. (s.f.). catarina.udlap.mx. *Estándar RS-232*. Puebla, Mexico. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/paz\\_1\\_oj/apendiceB.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/paz_1_oj/apendiceB.pdf)
- Angulo, P. S. (Septiembre de 2001). <http://uvadoc.uva.es>. *Desarrollo de una aplicación para la gestión integral y el control de una célula de fabricación flexible*. Valladolid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Valladolid. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/838/PFC108-110610.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arukasi. (8 de Septiembre de 2011). *Recomendaciones de seguridad para la prevención de riesgos laborales en fresadoras*. <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/78/>. Obtenido de <https://arukasi.wordpress.com/2011/09/08/78/>
- Bilbao, E. d. (s.f.). Fabricación asistida por ordenador. *Tema 09: sistemas de fabricación flexible*. Bilbao, Vizcaya, España: Universidad del País Vasco. Obtenido de [http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/66\\_ca.pdf](http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/66_ca.pdf)
- C. Demartini, L. Benussi. (09 de June de 2017). Do Web 4.0 and Industry 4.0 Imply Education X.0? IEEE.

CADTECH. (1993). NCTOOL Fresado manual de referencia. *Fresado*.

CADTECH-Ltd. (1993). CADTOOL - Dibujos manual de referencia. *Version 5.0*.

CNCDIY. (9 de ABRIL de 2017). <https://cncdiyblog.wordpress.com>. Obtenido de <https://cncdiyblog.wordpress.com/2017/04/09/partes-de-un-sistema-cnc/>

DEGEM. (s.f.). FMS - 2110 Maintenance manual. *Flexible manufacturing station*.

ESIME. (s.f.). <https://www.studocu.com>. Obtenido de <https://www.studocu.com/en/document/instituto-politecnico-nacional/control-numerico-computarizado/lecture-notes/codigos-g-y-m-apuntes-programacion-cnc/2544524/view>

GitHub. (19 de mayo de 2019). <https://github.com>. Obtenido de <https://github.com/grbl/grbl/wiki>

Goya, P. (s.f.). *El torno*. DED Goya ETP. Obtenido de <https://sites.google.com/site/dedgoyatorneria/>

Granada, U. d. (s.f.). Dispositivos electrónicos de potencia:. *Optoacopladores y reles*. Granada, Andalucía, España. Obtenido de [https://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo\\_potencia/opto.htm](https://www.ugr.es/~amroldan/enlaces/dispo_potencia/opto.htm)

GRBL. (2011). <https://github.com>. Obtenido de <https://github.com/grbl/grbl>

Guayasamín, P. A. (2015). Repotenciación modernización e implementación de tareas de roscado del torno NCL 2000 de laboratorio de CAD/CAM de la Escuela Politécnica del Ejército mediante el control numérico computarizado. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de ingeniería en Mecatrónica.

Herramientas, d. m. (17 de Marzo de 2014). *demaquinasyherramientas*. Obtenido de <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>

HETPRO. (12 de Noviembre de 2017). <https://hetpro-store.com>. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>

Integrated, M. (Mayo de 2019). <https://pdfserv.maximintegrated.com>. Obtenido de <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>

Kashif Mahmood. (1 de Enero de 2017). Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS). Estonia: Elsevier.

Kike. (17 de Septiembre de 2017). <https://maquineros.com>. Obtenido de <https://maquineros.com/diccionario-cnc/que-es-una-fresadora/#Base>

Knuth-USA. (s.f.). Universal milling machine VHF 2. Estados Unidos: Knuth-USA. Obtenido de <https://www.knuth-usa.com/us/vhf-2-universal-milling-machine-362650>

Kramer, T. R. (17 de Agosto de 2000). The NIST RS274NGC Interpreter - version 3. Gaithersburg, Maryland, USA. Obtenido de [https://tsapps.nist.gov/publication/get\\_pdf.cfm?pub\\_id=823374](https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=823374)

Machine tools, K. (s.f.). Tornos universales. *Compass 250/1500 B*. Estados Unidos: Machine tools,Knuth. Obtenido de <https://www.knuth-usa.com/us/catalog/product/view/id/31876/s/compass-250-1500-b-universal-lathe-301904/category/54/>

Marcillo, C. A. (2013). Repotenciación y modernización de la máquina NCM - 2000 del laboratorio de CAD/CAM de la ESPE mediante el diseño y construcción de una interfaz computacional de control y monitoreo. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Mecafenix, I. (28 de Octubre de 2018). <https://www.ingmecafenix.com>. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/otros/maquinas-herramientas/la-fresadora/>

Moyano, J. M. (2005). Ruidos e Interferencias: técnicas de reducción. Santander, España: Universidad de Cantabria. Obtenido de [https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion\\_5\\_IT/IEC\\_4.pdf](https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_4.pdf)

P. Córdor Chicaiza, M. Enriquez Segovia. (2010). Integración de la estación FMS 2101 del laboratorio CIM 2000 mediante la plataforma compactlogix de Allen Bradley. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Pacheco Vega Juan Carlos, E. T. (25 de 11 de 2014). [dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec). *Aplicación de la tecnología CNC*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador: [dspace.esPOCH.edu.ec](http://dspace.esPOCH.edu.ec). Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5821/1/85T00405.pdf>

Panamahitek, A. G. (28 de Junio de 2013). <http://panamahitek.com>. Obtenido de <http://panamahitek.com/amplificadores-operacionales-y-su-uso-en-la-electronica/>

Requena, J. V. (Mayo de 2009). <http://ramos.elo.utfsm.cl>. Obtenido de <http://ramos.elo.utfsm.cl/~elo212/docs/Encoders-jvr-v01.pdf>

REYES, G. A. (8 de Noviembre de 2010). Guía para el mantenimiento y prácticas de laboratorio.

Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_0663\\_M.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0663_M.pdf)

Santamaría, T. P. (s.f.). El ruido en los sistemas digitales. Universidad de Zaragoza. Obtenido de

<http://diec.unizar.es/~tpollan/libro/Apuntes/digT3.pdf>

SHARP. (30 de Septiembre de 2003). *PC817X Series*. Obtenido de Datasheet:

<https://www.farnell.com/datasheets/73758.pdf>

Solís, J. S. (2013). Teoría y cálculo para fresado mecánico. San José, Costa Rica: Instituto

nacional de aprendizaje. Obtenido de

[https://www.academia.edu/33085399/TEOR%C3%8DA\\_Y\\_C%C3%81LCULO\\_PARA\\_FRESADO\\_MEC%C3%81NICO](https://www.academia.edu/33085399/TEOR%C3%8DA_Y_C%C3%81LCULO_PARA_FRESADO_MEC%C3%81NICO)

Toll, C. S. (s.f.). <https://www.chian-seng.com>. Obtenido de [https://www.chian-seng.com](https://www.chian-seng.com/es/category/Productos/index.html)

<https://www.chian-seng.com/es/category/Productos/index.html>

W. Peña Ortega, C. Proaño Raza. (2 de Agosto de 2006). Desarrollo de los programas

controladores para la utilización del SOLIDCAM con la máquina NCL-2000 del laboratorio de CAD/CAM FIME. SANGOLQUÍ, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Winde. (s.f.). <https://winder.github.io>. Obtenido de [https://winder.github.io/ugs\\_website/](https://winder.github.io/ugs_website/)