



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE
MÍNIMA CANTIDAD DE ACEITE EN EL TORNO EMCO E200 PARA EL
MECANIZADO DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: ERIK MEDARDO SANDOVAL FLORES

TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA

Quito - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Erik Medardo Sandoval Flores con documento de identificación N° 1727573717 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Erik Medardo Sandoval Flores

1727573717

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Erik Medardo Sandoval Flores con documento de identificación N° 1727573717, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Dispositivos tecnológicos: “Diseño e implementación de un sistema de lubricación de mínima cantidad de aceite en el torno EMCO E200 para el mecanizado de aceros de baja aleación”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Erik Medardo Sandoval Flores

1727573717

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LUBRICACIÓN DE MÍNIMA CANTIDAD DE ACEITE EN EL TORNO EMCO E200 PARA EL MECANIZADO DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN, realizado por Erik Medardo Sandoval Flores con documento de identificación N° 1727573717, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Dispositivos tecnológicos que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito 26 de febrero del año 2024

Atentamente,



Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza, Mgtr.

1710597269

DEDICATORIA

A mi familia, que han sido un pilar fundamental en mi proceso de formación humana y profesional; Mis padres que con su amor y valentía han dado su mayor esfuerzo para ayudarme a cumplir mis metas, mi hermana que con cariño siempre me ha tendido una mano para seguir adelante, a mis tíos y primos que han aportado siempre un granito de arena para avanzar en mis proyectos y metas.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana, por abrir las puertas y brindar varias oportunidades de crecimiento en mi proceso de formación profesional.

A mi familia que me apoya en mis metas, a mis padres por su esfuerzo y dedicación, a mi hermana que me apoyo en mis proyectos

Al tutor Ing. Patricio Quitiaquez, Que con su tiempo y conocimiento encamino el proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	XVI
OBJETO DE ESTUDIO	XVI
JUSTIFICACIÓN	XVII
OBJETIVOS.....	XVIII
CAPÍTULO 1.....	18
1 MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	18
1.1 Aceros de baja aleación.....	18
1.1.1 Propiedades mecánicas.....	19
1.1.2 Acero de transmisión AISI 1018	20
1.1.3 Mecanizado aceros de baja aleación	21
1.2 Mecanizado de alta velocidad	21
1.2.1 Velocidad de corte (Vc).....	21
1.2.2 Factores de mecanizado.....	22
1.3 Mínima cantidad de lubricante (MQL)	24
1.3.1 Fluido de corte.....	25
1.3.2 Principal función del fluido de corte.....	25
1.3.3 Propiedades de los fluidos de corte	25
1.3.4 Tipos de fluido de corte	25

1.3.5	Inconvenientes con los fluidos de corte.....	25
1.3.6	Precauciones.....	25
1.3.7	Peligros para la salud.....	26
1.3.8	Lubricación.....	26
1.3.9	Protección frente a la corrosión.....	26
1.3.10	Eliminación de viruta.....	26
1.4	Microcontrolador.....	26
1.4.1	Controladores.....	26
1.4.2	Teoría de control.....	27
1.5	Método Taguchi.....	28
CAPÍTULO 2.....		29
2	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	29
2.1	Diseño del sistema.....	29
2.2	Descripción.....	29
2.2.1	Alternativa 1.....	29
2.2.2	Alternativa 2.....	30
2.2.3	Alternativa 3.....	30
2.2.4	Selección del controlador.....	31
2.2.5	Análisis de alternativas.....	31
2.3	Diseño del prototipo.....	32
2.3.1	Componentes Sistema de mínima cantidad de lubricante.....	33
2.3.2	Sistema electrónico.....	40
2.4	Diagrama de conexión.....	41
2.5	Diagrama de bloques.....	41
2.6	Metodología de experimentación.....	42
2.6.1	Aplicación del método Taguchi.....	42
2.7	Desarrollo.....	48
2.7.1	Preparación de probetas para ensayos.....	48
2.7.2	Lubricante.....	50
2.7.3	Instalación del sistema.....	51
2.7.4	Programación del torno.....	51
2.7.5	Procedimiento.....	53
2.7.6	Medición de rugosidad.....	54

2.7.7	Procedimiento para toma de rugosidad Ra en probetas	54
CAPÍTULO 3	58
3	CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN	58
3.1	Diseño Ensamblado	58
3.1.1	Descripción de la situación actual	59
3.2	Diseño de estructura	59
3.2.1	Gabinete de control.....	59
3.2.2	Diseño electrónico	60
3.2.3	Diseño de placa PCB.....	61
3.2.4	Panel de control gabinete	63
3.2.5	Base soporte para elementos del sistema	64
3.2.6	Construcción de la base de mesa tipo pedestal	65
3.3	Diagrama de flujo del control del sistema MQL.....	70
	En el Anexo 5 se muestra la programación en Arduino	¡Error! Marcador no definido.
CAPÍTULO 4	72
4	ANÁLISIS Y RESULTADOS	72
4.1	Análisis de resultados	72
4.1.1	Resultados del acabado superficial entre sistema de inundación y sistema de mínima cantidad de lubricante.....	72
4.2	Análisis económico.....	75
4.2.1	Costos directos.....	76
	Conclusiones	79
	Recomendaciones	80
	BIBLIOGRAFÍA	81
	Anexos	85
	Anexo 1 Plano en conjunto del Sistema MQL.	85
	Anexo 2 Plano mesa tipo pedestal.	86
	Anexo 3 Plano de bases control electrónico.	87
	Anexo 4 Plano de Gabinete de control.	88
	Anexo 5 Programación Arduino.	88
	Anexo 6 Manual de usuario.	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Diagrama específico de espina de pescado.	23
Figura 1-2 Control por PWM de una salida de 5V [17].	27
Figura 2-1 Anclaje a carro principal del torno.....	29
Figura 2-2 Sistema de mínima cantidad de lubricante con carcasa de acrílico.....	30
Figura 2-3 Alternativa 3 con mesa de trabajo.	30
Figura 2-4 Esquema del sistema de Mínima cantidad de lubricante.....	32
Figura 2-5 Sistema MQL	33
Figura 2-6 Regulador de presión [19].....	33
Figura 2-7 Electroválvula 3/2 [19].	34
Figura 2-8 Depósito de lubricante [19].....	34
Figura 2-9 Boquilla pulverizadora [19].....	35
Figura 2-10 Módulo relé de Arduino [20].	35
Figura 2-11 Mini bomba peristáltica [21].	35
Figura 2-12 Sensor de flujo [22].....	36
Figura 2-13 Manguera 8mm [24].....	36
Figura 2-14 Manguera 4mm [24].....	37
Figura 2-15 Partes para sensor de flujo impreso.	37
Figura 2-16 Driver L298N [25].	37
Figura 2-17 Arduino uno [26].	38
Figura 2-18 Módulo display de 4 dígitos [27].	38
Figura 2-19 Potenciómetro [28].....	39
Figura 2-20 Adaptador 12V, 2Apm [29].	39
Figura 2-21 Step Down [30].....	40
Figura 2-22 Esquema eléctrico.....	40
Figura 2-23 Diagrama de conexión en programa Proteus.....	41
Figura 2-24 Diagrama de bloques del sistema eléctrico.....	42
Figura 2-25 Geometría de la herramienta de trabajo y selección de la Vc para aceros de baja aleación [31].....	43
Figura 2-26 Vaso volumétrico de 100ml.....	45
Figura 2-27 Sensor de flujo modificado.	45
Figura 2-28 Calibración de la mini bomba peristáltica.	46

Figura 2-29 Preparación de probetas en cierra horizontal JET.	49
Figura 2-30 Elaboración de probetas diámetro 31mm.	49
Figura 2-31 Aceite soluble LACTUCA LT 3000 [32].	50
Figura 2-32 Instalación del sistema.	51
Figura 2-33 Panel principal con la programación de cilindrado.	51
Figura 2-34 Parámetros para cilindrado de diámetro 31mm.	52
Figura 2-35 Parámetros de experimentación.	52
Figura 2-36 Proceso de torneado (acabado superficial).	53
Figura 2-37 Manipulación de probetas.	53
Figura 2-38 Mitutoyo SJ 210 [33].	54
Figura 2-39 Calibración con equipo patrón.	55
Figura 2-40 Medición de rugosidad Ra de las 9 probetas.	55
Figura 3-1 Sistema MQL en software Inventor.	58
Figura 3-2 Sistema de bomba refrigerante [19].	59
Figura 3-3 Diseño PCB en programa Proteus.	60
Figura 3-4 Placa PCB en vista 3d en programa Proteus.	61
Figura 3-5 Suelda de componentes en PCB.	61
Figura 3-6 Control ensamblado.	62
Figura 3-7 Preparación de plancha para gabinete.	62
Figura 3-8 Construcción de gabinete.	63
Figura 3-9 Diseño para corte y grabado láser.	63
Figura 3-10 Proceso de corte y grabado láser.	64
Figura 3-11 Corte de tubo cuadrado 30 x 2mm de espesor.	65
Figura 3-12 Tubo cortado según plano.	65
Figura 3-13 Base de mesa tipo pedestal.	66
Figura 3-14 Mesa.	66
Figura 3-15 Suelda de parantes a la mesa.	66
Figura 3-16 Mesa tipo pedestal con depósito de lubricante.	67
Figura 3-17 Proceso de pintado del sistema MQL.	67
Figura 3-18 Anclaje de depósito y elementos del sistema.	68
Figura 3-19 Montaje de gabinete.	68
Figura 3-20 Conexión de cables.	69

Figura 3-21 Prueba de funcionamiento elementos electrónicos.....	69
Figura 3-22 Sistema MQL terminado.	70
Figura 3-23 Diagrama de flujo.....	71
Figura 4-1 Acabado superficial de probetas mecanizadas con diferentes sistemas de lubricación.....	72
Figura 4-2 Acabado superficial con sistema MQL a 55ml/min.....	73
Figura 4-3 Acabado superficial con sistema MQL a 95ml/min.....	74
Figura 4-4 Acabado superficial con sistema por inundación.	74
Figura 4-5 Comparativo de acabado superficial de probetas con diferentes sistemas de lubricación.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Identificación de aleaciones 41XX [3].	19
Tabla 2	Propiedades acero baja aleación [5].	20
Tabla 3	Composición química del acero AISI 1018.	20
Tabla 4	Variable Independiente [6].	22
Tabla 5	Variables Dependientes [6].	23
Tabla 6	Factores que influyen en el mecanizado [6].	24
Tabla 7	Selección de alternativa de diseño.	31
Tabla 8	Valores resultantes de la configuración volumétrica de la mini bomba peristáltica para los ensayos.	46
Tabla 9	Determinación de factores y niveles.	47
Tabla 10	Matriz ortogonal L9 [31].	47
Tabla 11	Diseño experimental de la matriz ortogonal L9.	48
Tabla 12	Datos técnicos lubricante [32].	50
Tabla 13	Características Mitutoyo SJ 210 [33].	54
Tabla 14	Datos de rugosidad de 3 probetas para 55ml/min.	56
Tabla 15	Datos de rugosidad de 3 probetas para 95ml/min.	56
Tabla 16	Datos de rugosidad de 3 probetas para inundación.	57
Tabla 17	Materiales del sistema.	64
Tabla 18	Datos obtenidos de la experimentación.	73
Tabla 19	Elementos del sistema de control.	76
Tabla 20	Materiales para construcción de estructura.	77
Tabla 21	Costos de mano de obra del proyecto de titulación.	77
Tabla 22	Costo total del proyecto.	78

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se diseñó e implementó un sistema de mínima cantidad de lubricante para el torno de la Universidad Politécnica Salesiana. El proyecto se realizó en base a las características del sistema y el torno. El control de caudal menor a 100ml/min constante, un sistema externo a la maquinaria y de fácil montaje como características principales para su diseño. El control consta de un control de una mini bomba peristáltica para el lubricante y el paso de aire por medio de una electroválvula que permite obtener un rocío constante de lubricante a la zona de trabajo. El sistema se configura de manera experimental. se establece parámetros de corte por medio del catálogo de la herramienta de trabajo y se procede a realizar evaluaciones del torneado usando el método Taguchi para hacer evaluaciones y análisis de los sistemas para comprobar su eficiencia, el análisis se toma en cuenta a la calidad superficial (Rugosidad) resultante del proceso de torneado. Comparando la calidad de las probetas de los sistemas nos permite demostrar que el sistema con mayor eficiencia es el sistema MQL que permite reducir costos de producción y precautelar la salud del operador.

Palabras claves: Sistema de mínima cantidad de lubricante, mecanizado, parámetros de corte, Aceros de baja aleación, método Taguchi.

ABSTRACT

In this degree work, a minimum quantity lubricant system was designed and implemented for the lathe of the Salesiana Polytechnic University. The project was carried out based on the characteristics of the system and the lathe. Control of a constant flow rate of less than 100ml/min, a system external to the machinery and easy assembly as the main characteristics of its design. The control consists of controlling a mini peristaltic pump for the lubricant and the passage of air through a solenoid valve that allows obtaining a constant spray of lubricant to the work area. The system is configured experimentally. Cutting parameters are established through the catalog of the work tool and evaluations of the turning are carried out using the Taguchi method to carry out evaluations and analysis of the systems to check their efficiency. The analysis takes into account the surface quality (Roughness) resulting from the turning process. Comparing the quality of the test specimens of the systems allows us to demonstrate that the most efficient system is the MQL system, which allows us to reduce production costs and protect the health of the operator.

Keywords: Minimal lubricant system, machining, cutting parameters, low alloy steels, Taguchi method

INTRODUCCIÓN

En el proceso de mecanizado es habitual utilizar lubricantes o refrigerantes mediante un sistema de inmersión por chorro ya que cumplen el objetivo de refrigerar la herramienta de trabajo y permiten obtener un mejor acabado. Sin embargo, en muchos casos el uso de fluidos de corte y lubricantes no es justificado en el proceso de mecanizado, es muy común utilizarlo sin ningún criterio o cálculo previo.

El factor ambiental es el más perjudicado con el uso de este sistema de refrigeración, ya que utiliza abundante consumible, una vez que culmina su tiempo de vida útil son desechados y la mayor parte terminan en el desagüe por lo tanto desembocan en los ríos, además el uso de refrigerantes deja como consecuencia complicaciones a la salud en los operadores como alteraciones al tracto respiratorio, afecciones cutáneas, entre otros.

Los fluidos de corte son muy usados en procesos de conformado de piezas, por lo tanto, el uso de estos afecta tanto en factores ambientales, económicos y de salud, con el diseño e implementación de un sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) se reduce el consumo del lubricante

Para el proceso de conformado de piezas en el torno es necesaria la implementación de un sistema que permita mejorar la calidad de producción, por tal motivo se diseña un sistema que reduzca el consumo de consumibles en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana. Es necesario realizar ensayos de mecanizado experimentales para poder evidenciar el acabado superficial utilizando la implementación del sistema MQL en comparación a un sistema de refrigeración por inmersión.

Planteamiento del Problema

El torno EMCO E200 del laboratorio de Manufactura CAM CNC de la Universidad Politécnica Salesiana posee un sistema de refrigeración por chorro para el proceso de arranque de viruta, más no un sistema de lubricación mínima para el contacto entre la herramienta y la pieza. En el proceso de mecanizado o conformado de piezas, la lubricación tiene el mismo nivel de importancia como el tipo de material y la geometría de la herramienta utilizada para garantizar la calidad superficial de la pieza final y evitar el desgaste prematuro de la herramienta.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

EL Torno EMCO E200 usa un sistema de refrigeración convencional de inundación con un gran caudal, las principales funciones del refrigerante son la evacuación de la viruta, la refrigeración de la zona de trabajo para mantener la vida útil de la herramienta, no obstante, el uso del lubricante es de gran consumo. El uso de este sistema genera grandes desventajas tanto ambientales, económicas y de salud.

OBJETO DE ESTUDIO

En la Universidad Politécnica Salesiana en el laboratorio CNC el Torno EMCO E200 posee un sistema de refrigeración por inmersión para su proceso de manufactura, el uso del lubricante común es la taladrina, su uso en abundancia es perjudicial para la salud y el factor ambiental.

En el proceso de manufactura se genera gases y salpicadura del lubricante, además el resultado de la pieza final en el torno se presenta con un revestimiento de lubricante que tiene contacto con el operador al desmontar la pieza final para verificar el acabado superficial.

Se propone el diseño de un sistema que permita controlar el suministro de lubricante a la zona de trabajo por medio de un control y a su vez ayude a procesos de investigación.

JUSTIFICACIÓN

El proceso de mecanizado ha evolucionado en el paso del tiempo con procesos automatizados y actualizados beneficiando y proporcionando mejores resultados de alta eficiencia como el acabado superficial, en el proceso de torneado para el torno EMCO E200 posee un sistema de inundación para refrigeración.

Tomando en cuenta el costo elevado de nuevas tecnologías en sistemas de mínima cantidad de lubricante (MQL), se propone un sistema MQL externo que permita adaptarse a las necesidades del torno de la Universidad Politécnica Salesiana. La construcción del prototipo se centra en la optimización del proceso en aspectos económico, ambiental y de salud ya que el sistema convencional usa gran cantidad de elementos nocivos para la salud del operador, la manipulación de estas sustancias puede provocar reacciones perjudiciales para la salud.

El diseño se desarrolla de manera que satisfaga las necesidades del proceso y del operador permitiendo optimizar el proceso de torneado para calidad superficial.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de lubricación de mínima cantidad de aceite en el torno EMCO E200 para el mecanizado de aceros de baja aleación.

Objetivos Específicos

- Analizar el método de maquinado con sistema de mínima cantidad de lubricante para implementación en el torno CNC EMCO E200.
- Diseñar y construir un sistema de lubricación de mínima cantidad de aceite adaptable para el torno CNC EMCO E200.
- Implementar un control que permita regular el caudal del lubricante hasta una capacidad máxima de 100ml/min con presión de aire para su aplicación en ensayos de mecanizado en aceros de baja aleación.

CAPÍTULO 1

1 MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

El presente capítulo detalla los fundamentos teóricos necesarios para permitir al lector comprender los principios y conceptos aplicados en el desarrollo del sistema de mínima cantidad de lubricante.

1.1 Aceros de baja aleación

Los aceros de baja aleación representan una clasificación de materiales ferrosos que muestran características mecánicas mejoradas en comparación con los aceros al carbono simples. Esto se logra mediante la incorporación de elementos como níquel, cromo, molibdeno, manganeso y silicio [1].

La adición de estos elementos de aleación tiene como objetivo principal mejorar la tenacidad y optimizar las propiedades mecánicas y de templabilidad después de un tratamiento térmico. Además, las aleaciones se emplean para mitigar la degradación ambiental en condiciones específicas de servicio [1],[2].

Los aceros 41XX, también conocidos como aceros al cromo molibdeno, forman parte de la familia de aceros microaleados o de baja aleación y alta resistencia. Dentro de esta categoría de microaleados se incluyen los aceros 4130, 4140 y 4150 [3].

La Tabla 1 muestra las principales características de las aleaciones 41XX.

Tabla 1 Identificación de aleaciones 41XX [3].

TIPO	Características
4130	Este tipo de acero presenta una excelente capacidad de penetración durante el proceso de templado y mantiene buena de estabilidad incluso a temperaturas de hasta 400°C. Es empleado en la fabricación de aviones ultraligeros, marcos de bicicletas y barras de seguridad para vehículos.
4140	Este acero posee una excelente capacidad de penetración durante el proceso de templado y mantiene buena estabilidad incluso a temperaturas de hasta 400°C. Se utiliza en aplicaciones de construcción de vehículos, tales como cigüeñales, ejes de transmisión, bielas y pernos.
4150	Cuando se necesitan durezas superiores, este tipo de acero puede usarse en las mismas aplicaciones que el 4140.

El acero de baja aleación se emplea en diversas industrias, incluyendo la petrolera y del gas, la automotriz y la construcción, por su resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas mejoradas [4].

1.1.1 Propiedades mecánicas

Los aceros de baja aleación son aceros que contienen pequeñas cantidades de elementos, además del carbono y el hierro, para mejorar sus propiedades mecánicas. Los elementos de aleación pueden incluir manganeso, silicio, cromo, níquel, vanadio, molibdeno, entre otros.

Las propiedades mecánicas de los aceros de baja aleación varían según la composición exacta y el tratamiento térmico, pero en general, presentan las siguientes características. La Tabla 2 describe las propiedades mecánicas que posee el acero de baja aleación.

Tabla 2 Propiedades acero baja aleación [5].

Características	
Mayor resistencia a la tracción	Soportan mayores cargas antes de romperse o deformarse.
Limite elástico	Son más resistentes a la deformación que los aceros al carbono.
Ductilidad	Conservan buena ductilidad, Pueden deformarse sin romperse.
Tenacidad	Capacidad de absorber energía antes de fracturarse.
Resistencia a la corrosión	Resistentes a la corrosión las aleaciones que contienen cromo, níquel u otros elementos
Soldabilidad	La mayoría de los aceros de baja aleación son soldables.
Dureza ajustable	Se pueden ajustar mediante tratamientos térmicos, permite adaptarse a diferentes aplicaciones.

1.1.2 Acero de transmisión AISI 1018

El acero de transmisión 1018 es reconocido por su bajo contenido de carbono, lo que le confiere características como una excelente soldabilidad, buena maquinabilidad, propiedades de impacto destacadas y una alta resistencia [5].

El acero SAE 1018/AISI 1018 se utiliza ampliamente para piezas como ejes, tornillos, husillos, varillas y pasadores. La composición química del acero 1018 se muestra en la Tabla 3 para su referencia.

Tabla 3 Composición química del acero AISI 1018.

Clasificación	Carbono (C)	Magnesio (Mn)	Fósforo(P)	Azufre(S)
1018	0,15% -0,20%	0,60% -0,90%	Máximo 0,040%	Máximo 0,050%

1.1.3 Mecanizado aceros de baja aleación

El mecanizado es un proceso de arranque de viruta en el cual se obtiene una pieza geométrica precisa final. El concepto general del mecanizado de alto rendimiento (MAR) hace referencia a la tecnología del arranque de viruta, donde se mejora la productividad, considerada como la cantidad de material eliminado en una unidad de tiempo [6].

1.2 Mecanizado de alta velocidad

El mecanizado de alta velocidad se caracteriza por mantener la sección de viruta, es decir el avance en RPM, así como las condiciones de avance y profundidad.

El mecanizado en aceros de baja aleación es sin duda el más cercano al concepto físico de alta velocidad de corte pueden variar desde 0 a un valor máximo de 2000 m/min La velocidad de un torno se calcula a partir de la trayectoria recorrida por la herramienta o la pieza de trabajo en la dirección de alimentación en un minuto. Se expresa en metros por minuto.

1.2.1 Velocidad de corte (Vc)

La velocidad de corte, medida en metros por minuto (m/min), describe la rapidez con la que la herramienta de corte trabaja sobre la pieza. Esta velocidad está influenciada directamente por los ajustes de velocidad de la máquina, el tipo de inserto utilizado en el torneado y el diámetro de la pieza a mecanizar, tal como se puede observar en la Ecuación 1 [7].

$$Vc = \frac{\pi \times N \times D}{1000}$$

Ecuación 1

Donde:

N: Revoluciones del cabezal [RPM]

D: Diámetro del eje a trabajar [mm]

Vc: Velocidad de corte [m/min]

1.2.2 Factores de mecanizado

En el mecanizado de piezas en el torno, durante el proceso de manufactura, se toman en cuenta diversos factores que impactan en el resultado final. Estos factores pueden ser categorizados en variables dependientes e independientes. Las variables independientes, enumeradas en la Tabla 4, el operador del torno CNC tiene el control directo de las mismas en el proceso de torneado.

Tabla 4 Variable Independiente [6].

Variable Independiente	Definición
Recubrimiento de la herramienta y material	Los principales materiales utilizados en herramientas de corte para proceso de manufactura son el acero de alta velocidad (HSS), el carburo y el titanio. La elección del inserto de corte adecuado garantiza un rendimiento confiable.
Filo de la herramienta, la forma, acabado superficial	Las herramientas de corte son diseñadas para realizar funciones específicas, su geometría se selecciona para cumplir procesos particulares de maquinado.
Material y condiciones de la pieza de trabajo	La química y la metalurgia se especifican de acuerdo con la composición de fábrica. Con frecuencia, el material se elige para satisfacer una aplicación específica.
Avance, velocidad y profundidad de corte	En cada operación de maquinado, es fundamental seleccionar la profundidad de corte, el avance y la velocidad de corte. La mayoría de los factores que influyen en la selección de los parámetros perturban estas decisiones, lo que implica que las variables dependientes se ven influenciadas por ellos.
Fluido de corte	Elegir adecuadamente el fluido de corte, así como el material y la herramienta, puede determinar el éxito o el fracaso del proceso de producción.

La Tabla 5 muestra las variables dependientes, las cuales surgen de la interacción entre las variables.

Tabla 5 Variable Dependiente [6].

Variable Dependiente	Definición
Tipo de viruta	Viruta continúa de borde acumulado, viruta aserrada y viruta discontinua.
Fuerza y energía disipada durante el torneado	En el proceso se generan fuerzas de corte que requieren el consumo de energía. La modificación de los parámetros de corte y el fluido varían la variable resultante.
Temperatura	La fricción entre la herramienta y el material durante el proceso de mecanizado ocasiona un incremento en la temperatura y reducción de la vida útil de la herramienta de corte.
Acabado superficial	Especifica la calidad de la superficie.

En la Figura 0-1 se observa el diagrama de espina de pescado específico.

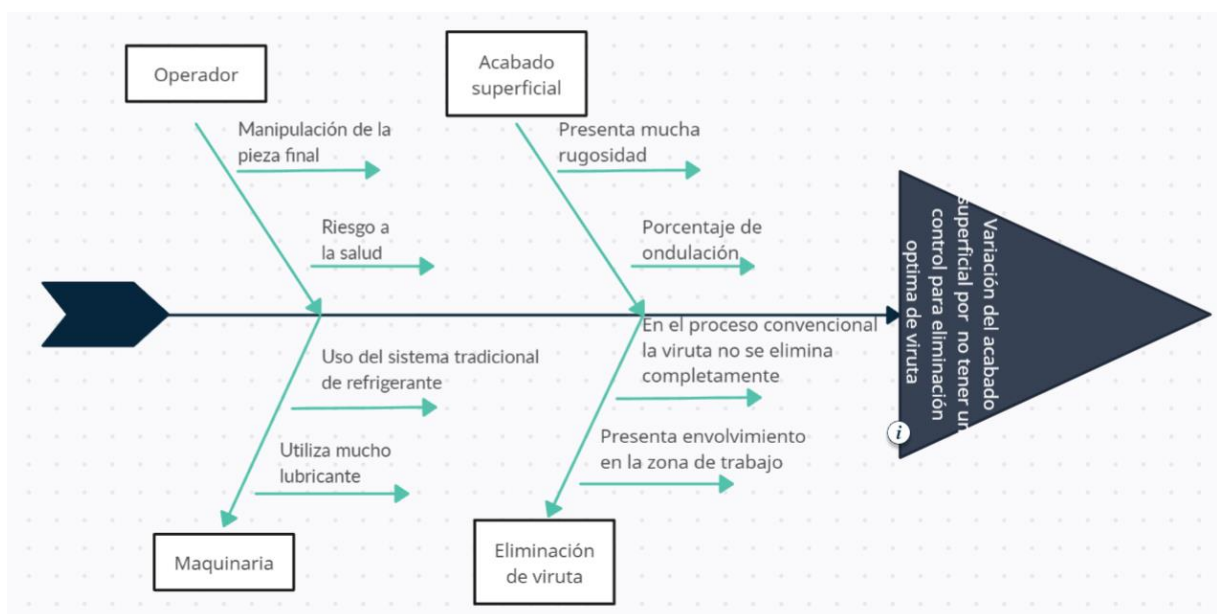


Figura 0-1 Diagrama específico de espina de pescado.

Identificadas las variables, se definen los factores que influyen en el mecanizado, como se puede apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6 Factores influyentes en el mecanizado [6].

Factores	Definición
Avance, velocidad y profundidad de corte	Parámetros de trabajo fundamentales determinantes de la eficiencia y calidad.
Geometría de herramienta	Influencia del sentido de dirección de la viruta.
Viruta continua	Excedente cortado de manera continua y uniforme por el inserto.
Viruta discontinua	Favorece la evacuación de la viruta del área de corte y reduce la posibilidad de obstrucciones.
Elevación de temperatura	Fenómeno común presente en la fricción del material con la herramienta de corte. El aumento influye en la integridad del material y herramienta de trabajo.
Maquinabilidad	Medida en la que un material puede ser mecanizado por medio de herramientas de corte.

1.3 Mínima cantidad de lubricante (MQL)

El sistema mínima cantidad de lubricante, también denominado sistema de micro pulverización, opera mediante el uso de aire a presión que inyecta una mezcla de aire y aceite en la zona de trabajo. Su característica principal radica en la reducción del uso de refrigerante en el proceso de mecanizado.

En la actualidad las operaciones de mecanizado adoptan cada vez más la técnica de mínima cantidad de lubricante, la cual se basa en la aplicación de pequeñas cantidades de aceite de manera eficiente, garantizando tanto la lubricación como la refrigeración por la mezcla de aire y aceite.

La intención de reducir el consumo de taladrina se evidencia en estudios, donde se señala que la reducción de los refrigerantes después de su uso puede reducir hasta un 10 % los costos de producción. Por lo tanto, el MQL se considera una técnica de mecanizado ecológica o ecoeficiente [6].

1.3.1 Fluido de corte

El fluido de corte, también conocido como taladrina, es un líquido especial, ya sea acuoso o aceitoso, que se aplica mediante mangueras sobre la zona de trabajo durante los procesos de arranque de viruta [8].

1.3.2 Principal función del fluido de corte

Para un buen acabado el fluido de corte almacenado no debe generar ningún tipo de bacteria, para evitar que esto suceda se administra diferentes aditamentos para conservar el fluido [9].

1.3.3 Propiedades de los fluidos de corte

Las principales características de los fluidos son: Alta conductividad térmica, Alto punto de inflamación, No favorece a la corrosión, entre otras más que permite obtener mayor calidad en acabado [10].

1.3.4 Tipos de fluido de corte

La mayoría de fluidos son conformados a base de un aceite tipo vegetal, mineral o sintético, al cual se le añade aditivos como antioxidantes, anti espumantes, humectantes, entre otros. Existen fluidos aceitosos o aceites de corte y fluidos acuosos o taladrinas como Soluciones sintéticas, Soluciones semisintéticas y Emulsiones oleosas [11].

1.3.5 Inconvenientes con los fluidos de corte

Los fluidos de corte pueden causar efectos perjudiciales para la salud, ya que ciertos aditivos presentes en ellos pueden ser cancerígenos o provocar complicaciones en el sistema respiratorio. Además, su uso puede tener un impacto significativo en el medio ambiente [8].

1.3.6 Precauciones

Como principal precaución se tiene que evitar el contacto con la piel y la inhalación del vapor resultante al calentar el fluido, para esto es necesario el uso de medidas de protección [8].

1.3.7 Peligros para la salud

La manipulación de los fluidos básicamente provoca tres tipos de riesgos potenciales como: Cáncer, alteraciones al tracto respiratorio, afecciones cutánea [11].

1.3.8 Lubricación

Consiste disminuir la fricción generada en el proceso de maquinado entre la pieza, la herramienta de corte y la viruta, permitiendo un ahorro del consumo de energía generado en el proceso [8].

El lubricante se caracteriza en reducir el contacto entre 2 superficies deslizantes de manera que no ocasione un contacto directo entre las mismas [12].

1.3.9 Protección frente a la corrosión

En el proceso el fluido de lubricación entra en contacto con la pieza a mecanizar y con los componentes de la máquina, por lo que es imprescindible que los fluidos de corte tengan anticorrosivos [13].

1.3.10 Eliminación de viruta

Una buena eliminación de viruta en el proceso de mecanizado permite obtener una mejor calidad en el terminado de la pieza [8].

1.4 Microcontrolador

Es un dispositivo electrónico que permite llevar a cabo procesos lógicos para realizar una tarea específica, para ello debe ser programada por el usuario por medio de un lenguaje de programación [14].

1.4.1 Controladores

Un controlador es un dispositivo que permite corregir la desviación producida en una variable de salida de un sistema [15].

Un sistema de control es definido como el medio a través una variable medible de cualquier proceso es mantenido o modificado de acuerdo a una necesidad [16].

1.4.2 Teoría de control

Un dispositivo de control automático es aquel que incluye un mecanismo para medir una variable y corregir cualquier desviación respecto al valor deseado (punto de ajuste o set point). El término controlador automático abarca tanto los instrumentos de medición como los de control. [16].

1.4.2.1 Control por PWM

La modulación por ancho de pulso (PWM, por sus siglas en inglés) es una técnica utilizada para transmitir señales analógicas mediante una señal portadora digital. En esta técnica, se altera el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea una señal senoidal o cuadrada, con el propósito de transmitir información o controlar la cantidad de energía enviada a una carga. El ciclo de trabajo de una señal periódica se define como el ancho de su parte positiva en relación con su período [17].

$$\text{Duty Cycle} = t/T$$

t = Tiempo en parte positiva

T = Periodo o tiempo total

Básicamente, la modulación PWM implica activar una salida digital durante un período específico y luego mantenerla apagada durante el resto del ciclo, lo que genera pulsos positivos que se repiten de manera constante como se puede observar en Figura 0-2.

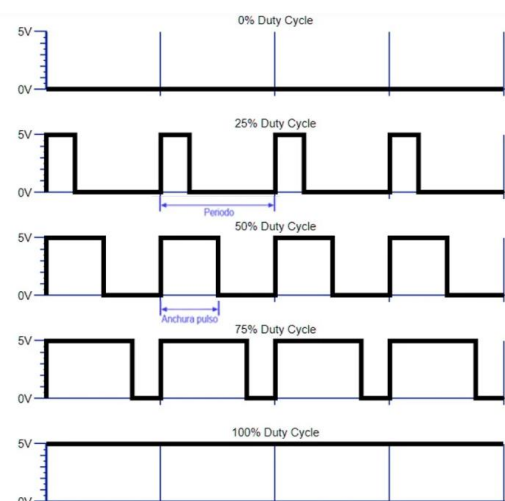


Figura 0-2 Control por PWM de una salida de 5V [17].

1.5 Método Taguchi

La metodología Taguchi está diseñada para mejorar y controlar la calidad de los productos. Se utiliza en estudios científicos e industriales debido a que no requiere cálculos complicados y ayuda a determinar los parámetros óptimos del proceso [17].

El método Taguchi se desarrolla mediante varios enfoques, como la relación señal-ruido, que asocia los factores controlables que reducen la inestabilidad en la producción debido a factores incontrolables. Otro método implica el uso de matrices ortogonales [18].

Para su aplicación se determinan distintos factores y niveles para seleccionar el arreglo ortogonal.

CAPÍTULO 2

2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

2.1 Diseño del sistema

Este capítulo introduce la propuesta de diseño del sistema de mínima cantidad de lubricante que abarca los aspectos electrónicos, mecánicos y de control necesarios para su correcto funcionamiento. A demás de la selección de parámetros.

2.2 Descripción

Se propone un diseño mecatrónico, en el cual se utiliza una mini bomba peristáltica y una electroválvula para el control del aire. Los tipos de control para el sistema principal es un control por PWM para la mini bomba peristáltica y un control On/Off para el accionamiento del sistema. Se escogió los demás elementos para el funcionamiento. A continuación, se exponen las alternativas de diseño con el correspondiente análisis para decidir el óptimo diseño.

2.2.1 Alternativa 1

Esta alternativa plantea el diseño del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) posicionado en el carro principal del torno plasmado en la Figura 2-1. El anclaje será mediante platinas y pernos.

Su estructura será en acrílico y su armazón de anclaje de acero transmisión, para el control se utilizará una STM 32.



Figura 2-1 Anclaje a carro principal del torno.

2.2.2 Alternativa 2

Para evitar que el sistema se encuentre en un lugar con acceso limitado se propone un diseño con estructura en acrílico que se puede observar en la Figura 2-2 la cual va posicionada en la parte externa del torno. El aspersor de manguera articulada va conectado por medio de las mangueras de alimentación por la parte trasera del torno al sistema controlado por medio de un Arduino uno.

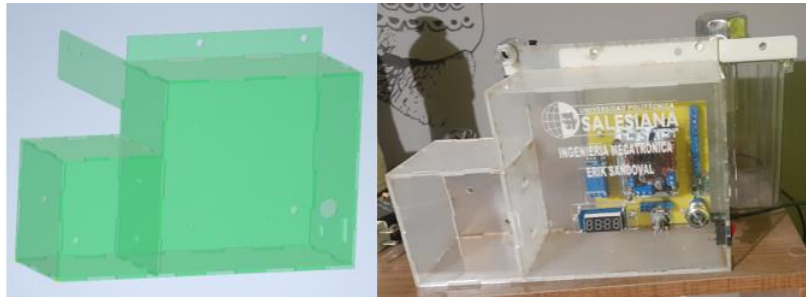


Figura 2-2 Sistema de mínima cantidad de lubricante con carcasa de acrílico.

2.2.3 Alternativa 3

Por medio del proceso de fabricación de piezas y el entorno de trabajo se propone un diseño de control armado en plancha de acero tipo gabinete que permita ser robusto en caso de golpes, la estructura es una mesa tipo pedestal con 2 parantes que permita ubicarse al costado del panel de control del torno para un óptimo uso como se puede observar en la Figura 2-3. La boquilla articulada va conectada por medio de las mangueras de alimentación por la parte lateral del torno al sistema de control por medio de un Arduino uno.



Figura 2-3 Alternativa 3 con mesa de trabajo.

2.2.4 Selección del controlador

El microcontrolador a usar por los tipos de control por el uso de entradas digitales y analógicas para el control del sistema es el Arduino uno, su precio es accesible a comparación de la STM 32

2.2.5 Análisis de alternativas

La Tabla 7 ostenta el análisis de alternativas para el diseño del sistema de mínima cantidad de lubricante, basado en criterios de eficiencia, durabilidad, costo, mantenimiento, entre otros.

Cada criterio se evalúa en una escala del 1 al 5, donde 5 representa el puntaje de mayor eficiencia, 3 indica un valor intermedio y 1 refleja el puntaje menos óptimo.

Tabla 7 Selección de alternativa de diseño.

No.	Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1	Fácil acceso	1	3	5
2	Costo y utilidad del controlador	1	5	5
3	Mantenimiento	1	3	5
4	Robusto	1	1	5
5	Resistencia de armazón	1	1	5
6	Costo de fabricación	3	5	1
Total		8	18	26

Basado en el análisis de la Tabla 7, la alternativa 3 obtuvo el puntaje más alto por lo que se realiza el diseño del sistema de mínima cantidad de lubricante de acuerdo a los criterios establecidos.

2.3 Diseño del prototipo

A continuación, se describen los elementos primordiales para la construcción del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) según la alternativa 3.

Se realiza un sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) de suministro externo, en la Figura 2-4 se justifica el esquema del sistema implementado, en el cual la taladrina es conducida desde el depósito hasta la boquilla de flujo controlada por medio de un Arduino uno para un control automático el cual consta de una bomba peristáltica controlada por un PWM utilizando el driver L298N, un sensor de caudal, una electroválvula, un módulo relé, un módulo display de 4 dígitos, un potenciómetro y varios switches.

La capacidad de funcionamiento del sistema depende de los parámetros establecidos del valor del set point en (ml/min) de un valor aproximado de (30ml/min a 100ml/min) que se configura por medio de un display y un potenciómetro, A su vez del valor de la presión del aire aplicada para el roci resultante del sistema hacia la zona de trabajo del torno.

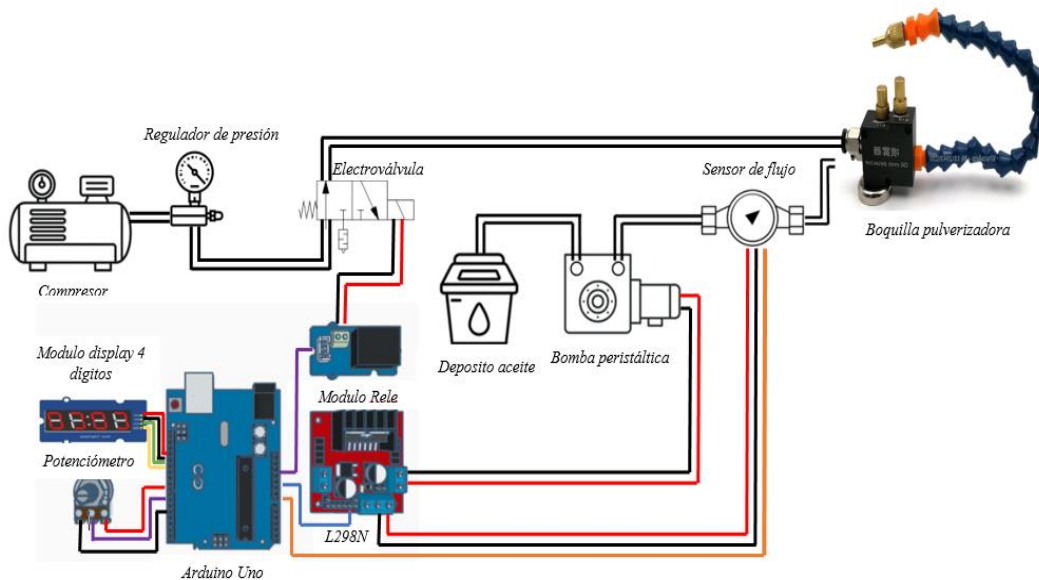


Figura 2-4 Esquema del sistema de Mínima cantidad de lubricante.

2.3.1 Componentes Sistema de mínima cantidad de lubricante

En la Figura 2-5 se presenta el sistema MQL



Figura 2-5 Sistema MQL

2.3.1.1 Regulador de presión

Los dispositivos de regulación de flujo se diseñan para conservar una presión de aire constante, en este caso, de 0 a 6 bares como se puede observar en la Figura 2-6 [18].



Figura 2-6 Regulador de presión [19].

2.3.1.2 Electroválvula neumática

Diseñada para controlar el paso de aire por medio del accionamiento de una bobina 12V, generalmente su funcionamiento es abierto y cerrado, la electroválvula a usar se puede encontrar en la Figura 2-7.



Figura 2-7 Electroválvula 3/2 [19].

2.3.1.3 Depósito de lubricante

El depósito estandarizado de la bomba de refrigerante se puede observar en la Figura 2-8.

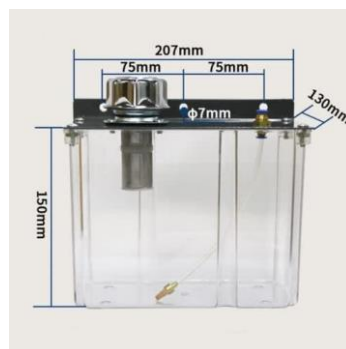


Figura 2-8 Depósito de lubricante [19].

2.3.1.4 Boquilla pulverizadora

La boquilla mezcla internamente el fluido y el aire a presión creando un rocío se muestra en la Figura 2-9.



Figura 2-9 Boquilla pulverizadora [19].

2.3.1.5 Módulo relé

El módulo de la Figura 2-10 posee 1 relé de alta calidad, capaz de manejar cargas de hasta 250V/10A. Su diseño está pensado para facilitar la integración con Arduino y muchos otros sistemas como Raspberry Pi, Pic, entre otros. Este módulo activa la salida normalmente abierta (NO: Normally Open) al obtener un valor lógico de «0» (0 voltios) y desactiva la salida cuando recibe un valor lógico de «1» (5 voltios) [20].



Figura 2-10 Módulo relé de Arduino [20].

2.3.1.6 Mini bomba peristáltica

Conformado por una bomba hidráulica de desplazamiento positivo, donde el líquido pasa por un tubo flexible basado en el principio de la peristalsis, los cuales son accionados por el motor eléctrico, se lo observa en la Figura 2-11 [21].



Figura 2-11 Mini bomba peristáltica [21].

2.3.1.7 Sensor de flujo

El YF-S401 que se muestra en la Figura 2-12 Es un sensor de flujo cuya función se basa en el conteo de pulsos por medio un sensor de efecto Hall y un rotor de agua [22].



Figura 2-12 Sensor de flujo [22].

2.3.1.8 Manguera de aire (8mm)

Manguera de poliuretano diámetro 8mm x 1,25mm de espesor color Azul con accesorios neumáticos para conexión de aire se muestra en la Figura 2-13 . Soporta hasta 10 bares [23].



Figura 2-13 Manguera 8mm [24].

2.3.1.9 Manguera de aceite (4mm)

Manguera de poliuretano diámetro 4mm x 0,75mm color azul para transporte de lubricante se observa en la Figura 2-14. Soporta hasta 10 bares [23].



Figura 2-14 Manguera 4mm [24].

2.3.1.10 Sensor de flujo

El sensor usado es el YF S 401 para manguera modificado para tener una lectura de caudales menores a 0,3L/m para este proceso se realizó el diseño en inventor e impreso en resina como se puede observar en la Figura 2-15.



Figura 2-15 Partes para sensor de flujo impreso.

2.3.1.11 Driver puente H - L298N

El módulo L298N de la Figura 2-16 es un módulo usado para controlar motores DC de hasta 2 amperios. Internamente, el su chip cuenta con dos puentes H para controlar dos motores DC independientes o un motor paso a paso. [23].

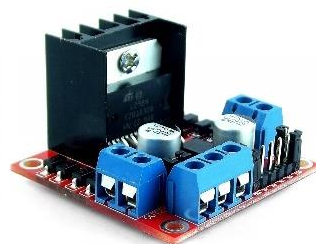


Figura 2-16 Driver L298N [25].

2.3.1.12 Arduino Uno

El Arduino Uno es microcontrolador de código desarrollado por Arduino, se muestra en la Figura 2-17 La placa consta de varios pines de entradas/salidas analógicas y digitales que pueden comunicarse con varios elementos electrónicos. La placa dispone de 14 pines digitales, 6 pines analógicos, los cuales son programables mediante el programa de Arduino IDE [24].



Figura 2-17 Arduino uno [26].

2.3.1.13 Módulo Display de 4 dígitos

El Módulo de 7 segmentos de la Figura 2-18 TM1637 dispone de 2 registros 74HC595 comunicados a un display 4 dígitos de ánodo común. Para mostrar todos los dígitos encendidos se requiere utilizar multiplexación donde se enciende intermitente los dígitos [25].



Figura 2-18 Módulo display de 4 dígitos [27].

2.3.1.14 Potenciómetro

Un potenciómetro es un dispositivo electrónico que se muestra en la Figura 2-19. Al manipularlo, el usuario puede obtener una fracción de la diferencia de voltaje entre el terminal central (cursor) y uno de los extremos. [26].



Figura 2-19 Potenciómetro [28].

2.3.1.15 Adaptador 12V

Adapta el voltaje de salida a 12 voltios DC, 2 amperios que se muestra en la Figura 2-20 para la alimentación del sistema, el control de la mini bomba peristáltica y el uso de la electroválvula.



Figura 2-20 Adaptador 12V, 2Apm [29].

2.3.1.16 Step Down

Es un dispositivo que suministra un voltaje de salida menor al voltaje de entrada, puede funcionar con un voltaje de 4,75V hasta 23V, a una frecuencia de conmutación de 340 KHz y una corriente de 1,8A continuo hasta una corriente de 3A durante un corto lapso de tiempo.

El dispositivo de la Figura 2-21 incluye un potenciómetro que facilita el ajuste del voltaje de salida en incrementos de $\pm 2,5\%$. Se establece que la diferencia máxima permitida entre el voltaje de salida y el voltaje de entrada no debe superar los 15V. Aunque no cuenta con protección contra la polaridad inversa, dispone de un

mecanismo de protección contra el sobrecalentamiento que apaga el módulo cuando alcanza los 160°C. [27].



Figura 2-21 Step Down [30].

2.3.2 Sistema electrónico

El funcionamiento del sistema MQL consta del control de la variable del PWM para el funcionamiento de la bomba por medio de un módulo display y un potenciómetro.

El accionamiento del paso del aire a presión lo controla una electroválvula con un módulo relé, estos elementos son controlados por un Arduino uno. Es importante considerar que la alimentación de los componentes es distinta por lo que el circuito distribuye una alimentación de 12V y 5V para los componentes electrónicos. Para facilitar la comprensión del sistema eléctrico se muestra en la Figura 2-22 el esquema general de eléctrico del prototipo.

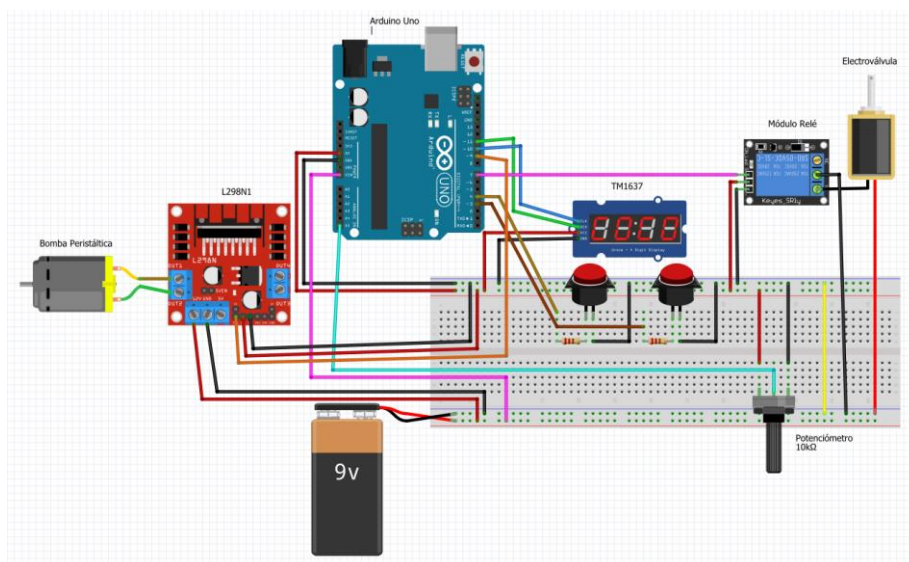


Figura 2-22 Esquema eléctrico.

2.4 Diagrama de conexión

En la Figura 2-23 se muestra la conexión del circuito.

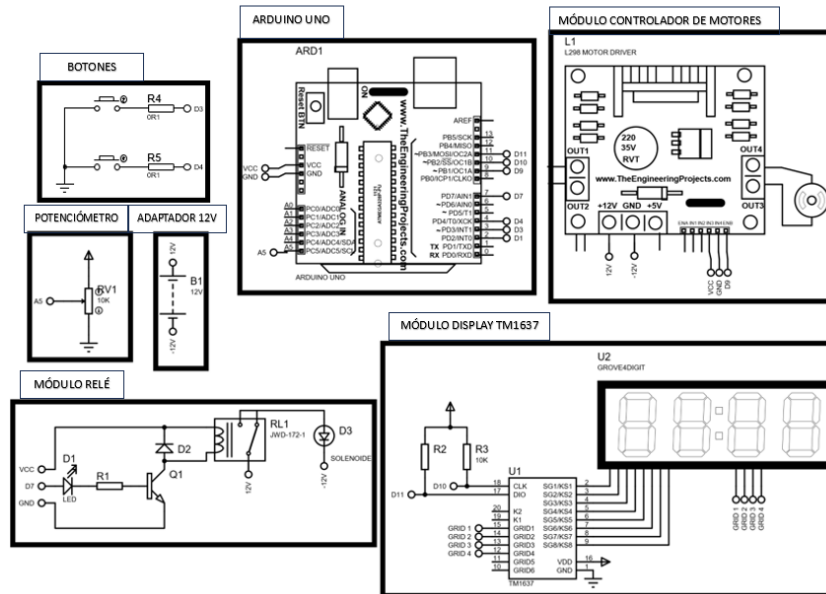


Figura 2-23 Diagrama de conexión en programa Proteus.

2.5 Diagrama de bloques

En la Figura 2-24 se muestra el diagrama de bloques del sistema eléctrico.

Se conecta el adaptador de corriente de 12V y 2A para suministrar energía a nuestro control. Se activa mediante el interruptor de encendido y apagado.

El sistema cuenta con dos modos de operación. En el primero, se ajusta el valor del PWM con un potenciómetro para controlar el funcionamiento del motor al pulsar el botón 2 el sistema MQL acciona la mini bomba peristáltica. Al mismo tiempo, se activa el módulo relé energizando la bobina de la electroválvula dando paso al aire a presión donde se mezclan en la boquilla pulverizadora formando un rocío para su aplicación. En el segundo se activa el botón 2 que manda una señal para activar el módulo de relé de manera independiente energizando la bobina para permitir el paso del aire a la pieza de trabajo para realizar limpieza.



Figura 2-24 Diagrama de bloques del sistema eléctrico.

2.6 Metodología de experimentación

Con la implementación del sistema de Mínima cantidad de lubricante se necesita realizar ensayos experimentales para comparar la fiabilidad del sistema por lo que se utiliza el método Taguchi.

2.6.1 Aplicación del método Taguchi

El método se desarrolla por medio de matrices ortogonales, se determinan varios

factores como la velocidad de corte, RPM del cabezal, profundidad y el avance de la herramienta de trabajo, el primer paso debe ser elegir el arreglo ortogonal apropiado para el análisis, considerando el tiempo y el costo del proceso.

2.6.1.1 Selección de factores y niveles

En la Figura 2-25 seleccionamos los parámetros de torneado teniendo en cuenta la herramienta de corte y la recomendación del fabricante.

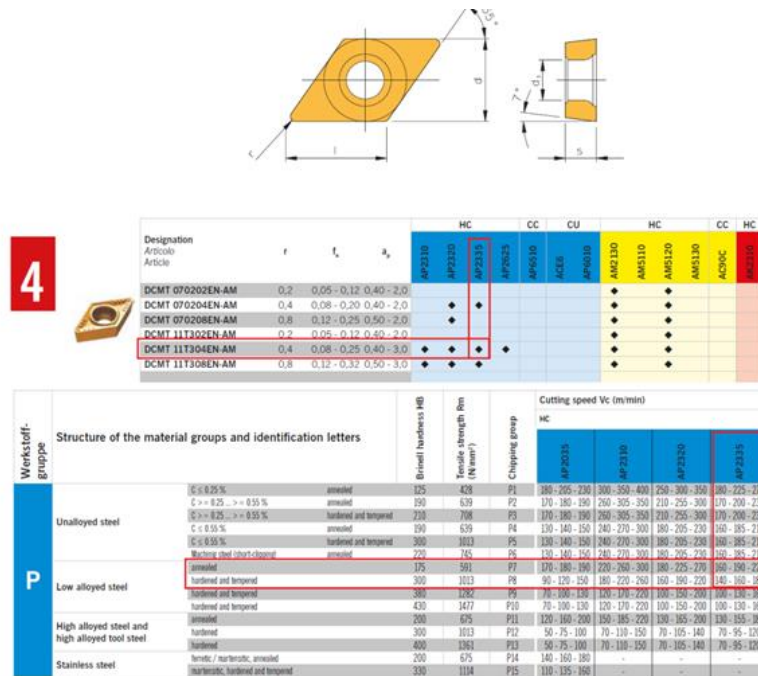


Figura 2-25 Geometría de la herramienta de trabajo y selección de la V_c para aceros de baja aleación [31].

En la Figura 2-25 se selecciona el valor de V_c 220m/min para aceros de baja aleación y a partir de este valor se usa la Ecuación 1 para calcular las RPM para los ensayos teniendo en cuenta que las probetas ya preparadas son de $\varnothing 31$ mm.

$$V_c = \frac{\pi \times N \times D}{1000}$$

Valores:

D: 31mm

V_c : 220m/min

N: Número de RPM

Se descompone la fórmula para calcular las revoluciones

$$N = \frac{Vc \times 1000}{\pi \times D}$$

$$N = \frac{220 \times 1000}{\pi \times 31} = 2258,97rpm$$

Se redondea a un valor de 2300rpm. En la Figura 2-25 se observa que para la un HC de AP2320 tenemos el valor máximo de Vc de 270m/min y valor mínimo de Vc de 180m/min remplazamos en la ecuación 1 descompuesta.

Para Vc: 270m/min

$$N = \frac{270 \times 1000}{\pi \times 31} = 2772,38rpm$$

Para Vc: 180m/min

$$N = \frac{180 \times 1000}{\pi \times 31} = 1848,25rpm$$

Se toma los valores resultantes para el ensayo las revoluciones para el ensayo son: 1900rpm, 2300rpm, 2700rpm.

La profundidad de corte (r) para acabado es de 0,4mm y el avance (f_n) 0,08mm, 0,10mm, 0,12mm según el valor mínimo de avance referenciado por el fabricante, con estos valores se observa en la Tabla 9 los factores y niveles para la elección de la matriz ortogonal.

2.6.1.2 Funcionamiento de la mini bomba peristáltica

El control de la bomba peristáltica es por uso de PWM con su ciclo útil de 0 a 255 para el porcentaje de ciclo de trabajo del motor, de manera experimental la mini bomba peristáltica funciona en un rango de (140 a 255) por lo que se calibra la bomba con la

taladrina proporcionada del torno EMCO E200 con el uso de un vaso volumétrico que se muestra en la Figura 2-26.



Figura 2-26 Vaso volumétrico de 100ml.

La toma de datos mediante la calibración volumétrica y toma de pulsos de un sensor de efecto hall modificado las medidas internas que permite obtener el valor promedio de pulsos en las diferentes configuraciones el sensor usado es el Sensor de caudal Yf S401 modificado para manguera que se puede observar en la Figura 2-27.



Figura 2-27 Sensor de flujo modificado.

En la Tabla 8 se determina los valores del PMW, la cantidad de ml/min y el número

de pulsos promedio para cada valor.

Tabla 8 Valores resultantes de la configuración volumétrica de la mini bomba peristáltica para los ensayos.

PWM	ml/min	# de pulsos/min
140	55	222
175	60	234
190	65	1505
202	70	1844
215	75	2135
222	80	2325
235	85	2397
242	90	2563
250	95	2958

En la Figura 2-28 se observa la toma de medidas y calibración volumétrica con la variación del valor PWM en la programación de Arduino.



Figura 2-28 Calibración de la mini bomba peristáltica.

El rango de valores de la experimentación está entre (50ml/min – 100 ml/min) los valores deben estar entre el rango obtenido en valores múltiplos de 5, para el ensayo tomamos un valor mínimo de 55ml/min y un valor máximo de 95ml/min.

Para el análisis se toma en cuenta estos valores y el uso del sistema del torno por

inundación como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9 Determinación de factores y niveles.

Factores				
	Sistema de Lubricación	Velocidad de cabezal (RPM)	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)
	MQL			
Nivel 1	(55ml/min)	1900	0,08	0,4
	MQL			
Nivel 2	(95ml/min)	2300	0,10	0,4
	Sistema por inundación			
Nivel 3		2700	0,12	0,4

2.6.1.3 Elección de la matriz ortogonal

Identificados los 4 factores y 3 niveles se empleará la matriz ortogonal, se selecciona la matriz ortogonal L9 que se observa en la Tabla 10.

Tabla 10 Matriz ortogonal L9 [31].

Ensayo N°	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

La matriz ortogonal de 3 niveles y 4 factores es la combinación más pequeña aplicable.

Los factores variables se ubican en las primeras columnas dejando la última para los valores constantes, en la Tabla 11 se demuestra el diseño experimental.

Tabla 11 Diseño experimental de la matriz ortogonal L9.

Ensayo N°	MQL (ml)	RPM	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)
1	MQL (55ml/min)	1900	0,08	0,4
2	MQL (55ml/min)	2300	0,10	0,4
3	MQL (55ml/min)	2700	0,12	0,4
4	MQL (95ml/min)	1900	0,10	0,4
5	MQL (95ml/min)	2300	0,12	0,4
6	MQL (95ml/min)	2700	0,08	0,4
7	Inundación	1900	0,12	0,4
8	Inundación	2300	0,08	0,4
9	Inundación	2700	0,10	0,4

2.7 Desarrollo

En el siguiente apartado se describe el procedimiento del proceso que se realizó para el análisis del sistema implementado.

2.7.1 Preparación de probetas para ensayos

Se elaboraron 10 probetas de acero 1018, de 31mm de diámetro x 60mm de largo, las mismos son cortadas en una maquina cierra horizontal JET de la Universidad Politécnica Salesiana que se muestra en la Figura 2-29.



Figura 2-29 Preparación de probetas en cierra horizontal JET.

Para el ensayo se prepara el diámetro de las probetas en el torno EMCO E200 como se muestra en la Figura 2-30.

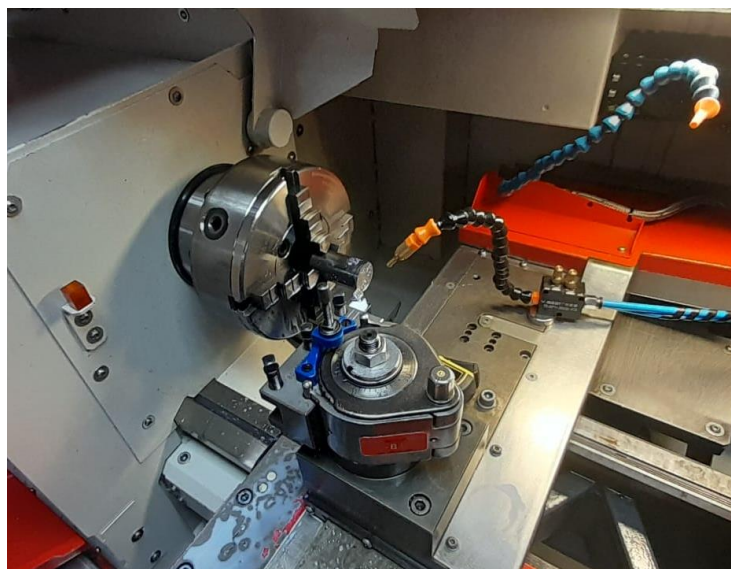


Figura 2-30 Elaboración de probetas diámetro 31mm.

2.7.2 Lubricante

El torno utiliza un aceite soluble de la marca Total, el (LACTUCA LT 3000) que se muestra en la Figura 2-31 donde se usa una proporción mayor de agua y una parte de refrigerante en relación 10:1 respectivamente.

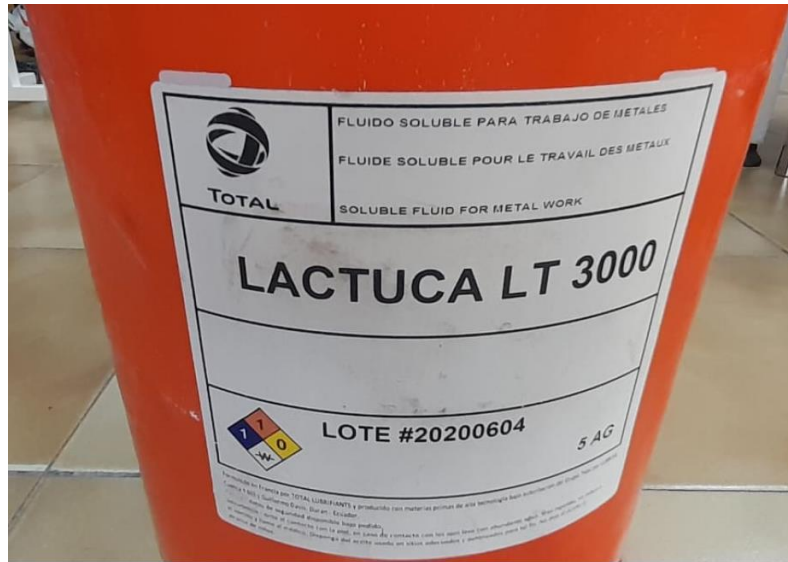


Figura 2-31 Aceite soluble LACTUCA LT 3000 [32].

En la Tabla 12. Se muestra los datos técnicos del lubricante LACTUCA LT 3000

Tabla 12 Datos técnicos lubricante [32].

Datos técnicos LACTUCA LT 3000	
Marca	TOTAL
Color concentrado	Café claro
Color diluido	Blanco
Densidad ASTM	1298 g/ml 0,9890
Viscosidad a 40°C	cSt 40
Solubilidad	Soluble en agua
Proporción máxima	10%
Proporción mínima	2%

2.7.3 Instalación del sistema

La instalación del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) al torno EMCO E200. El sistema se posiciona en la parte externa del torno como se muestra en la Figura 2-32, donde se posiciona una boquilla pulverizadora en el carro principal del torno conectada a las mangueras de 8mm para el aire y 4mm para el aceite.

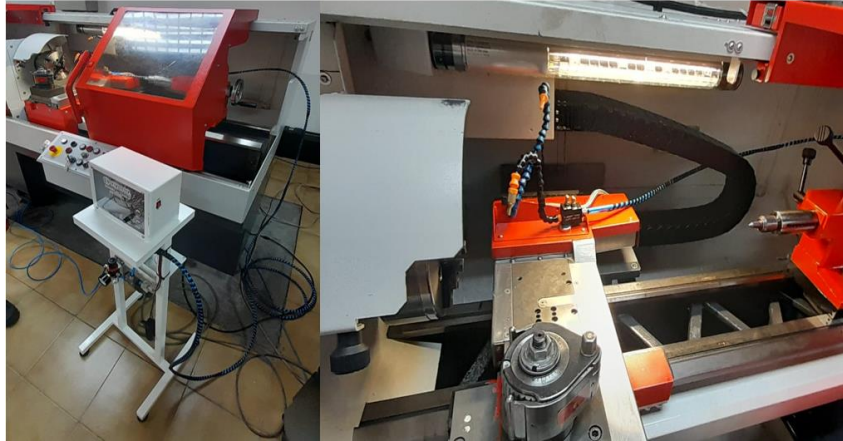


Figura 2-32 Instalación del sistema.

2.7.4 Programación del torno

La programación para el mecanizado se realiza en el panel de control del torno por el programa de EASY CYCLE, en la Figura 2-33 se contempla la configuración para el proceso de cilindrado que se utilizara para realizar los ensayos.



Figura 2-33 Panel principal con la programación de cilindrado.

En la Figura 2-34 configuración de parámetros para las probetas.

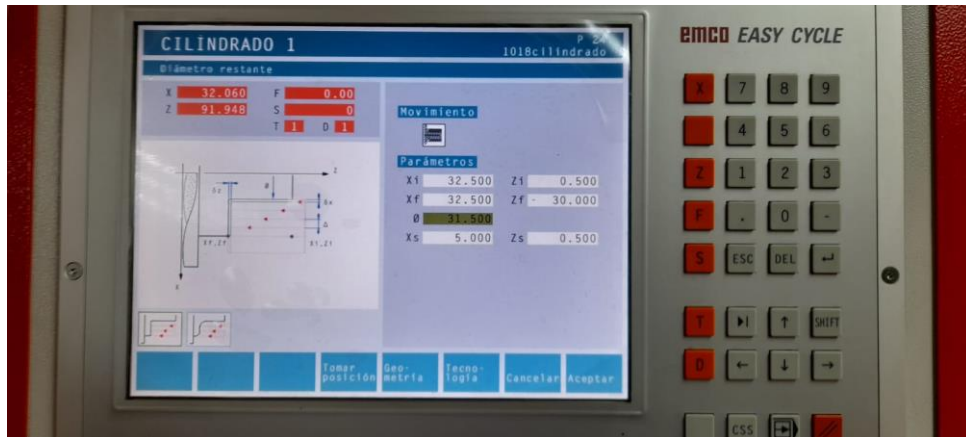


Figura 2-34 Parámetros para cilindrado de diámetro 31mm.

En la Figura 2-35 parámetros de desbaste en el programa.



Figura 2-35 Parámetros de experimentación.

Los parámetros a configurar son:

F: Avance/revolución en mm

S: Velocidad del cabezal (RPM)

Δ: profundidad en mm

Estos parámetros se configuran con los datos de la Tabla 11. Diseño experimental de la matriz ortogonal L9

2.7.5 Procedimiento

Se tornea las probetas en función a los parámetros de la Tabla 11, se muestra el proceso de torneado en la Figura 2-36.

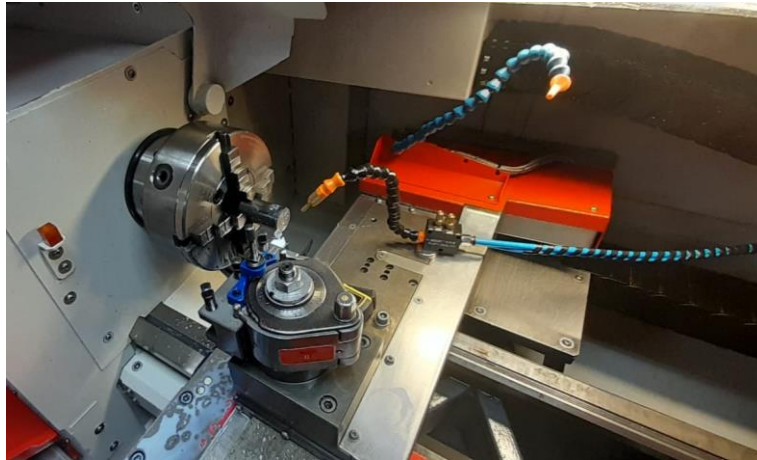


Figura 2-36 Proceso de torneado (acabado superficial).

Para su manipulación se recomienda utilizar papel industrial para no modificar el acabado superficial, el desmonte de la probeta se observa en la Figura 2-37.



Figura 2-37 Manipulación de probetas.

2.7.6 Medición de rugosidad

La toma de medición es obtenida mediante el instrumento de medición Mitutoyo SJ 210 que se observa en la Figura 2-38.



Figura 2-38 Mitutoyo SJ 210 [33].

Las características del instrumento están descritas en la Tabla 13.

Tabla 13 Características Mitutoyo SJ 210 [33].

Mitutoyo SJ 210	
Pantalla	Digital
Rango de medición X	17,5mm
Rango de medición Z	$360\mu m (-200\mu m + 160\mu m)$
Radio de la punta	$5\mu m$
Rango mínimo resolución	$(25\mu m / 0,002\mu m)$
Velocidad de seguimiento	$(0,25 - 0,5 - 0,75) \text{ mm/s}$

2.7.7 Procedimiento para toma de rugosidad Ra en probetas

Se necesita calibrar el instrumento de medición con el equipo patrón de rugosidad ($2,97\mu m$) de rugosidad el proceso se demuestra a continuación en la Figura 2-39.



Figura 2-39 Calibración con equipo patrón.

2.7.7.1 Valores de rugosidad obtenidos de los ensayos para acabado superficial

En la Figura 2-40 se muestra la obtención de mediciones de los ensayos para acabado superficial de las 9 probetas.



Figura 2-40 Medición de rugosidad Ra de las 9 probetas.

En la Tabla 14, se evidencian los datos obtenidos de la medición de 3 probetas en proceso de torneado para acabado superficial con sistema MQL (55ml/min), se tomó 5 medidas por probeta.

Tabla 14 Datos de rugosidad de 3 probetas para 55ml/min.

	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Numero de mediciones de rugosidad	55ml/min 1900 RPM Avance 0,08mm/rmin Profundidad de 0,4mm	55ml/min 2300 RPM Avance 0,10mm/min Profundidad de 0,4mm	55ml/min 2700 RPM Avance 0,12mm/min Profundidad de 0,4mm
Ra_1	0,804	0,999	1,241
Ra_2	0,754	1,012	1,443
Ra_3	0,754	1,015	1,500
Ra_4	0,769	1,067	1,589
Ra_5	0,753	0,992	1,331

En la Tabla 15, se evidencian los datos obtenidos de la medición de 3 probetas en proceso de torneado para acabado superficial con sistema MQL (95ml/min), se tomó 5 medidas por probeta.

Tabla 15 Datos de rugosidad de 3 probetas para 95ml/min.

	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Numero de mediciones de rugosidad	95ml/min 1900 RPM Avance 0,10mm/min Profundidad de 0,4mm	95ml/min 2300 RPM Avance 0,12mm/min Profundidad de 0,4mm	95ml/min 2700 RPM Avance 0,08mm/min Profundidad de 0,4mm
Ra_1	1,028	1,478	0,902
Ra_2	1,054	1,445	0,862
Ra_3	1,291	1,294	0,739
Ra_4	1,315	1,324	0,926
Ra_5	1,068	1,430	0,740

En la Tabla 16, se evidencian los datos obtenidos de la medición de 3 probetas en proceso de torneado para acabado superficial con sistema de inundación, se tomó 5 medidas por probeta.

Tabla 16 Datos de rugosidad de 3 probetas para inundación.

	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3
Numero de mediciones de rugosidad	Inundación 1900 RPM Avance 0,12mm/min Profundidad de 0,4mm	Inundación 2300 RPM Avance 0,08mm/min Profundidad de 0,4mm	Inundación 2700 RPM Avance 0,10mm/min Profundidad de 0,4mm
Ra_1	1,415	0,760	1,039
Ra_2	1,396	0,775	1,097
Ra_3	1,383	0,795	1,067
Ra_4	1,372	0,772	1,042
Ra_5	1,396	0,784	1,011

CAPÍTULO 3

3 CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se detalla el proceso de construcción e implementación del sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) así como la fundamentación de cálculos de la estructura, diseño mecánico, electrónico y el sistema de control.

3.1 Diseño Ensamblado

Se muestra en la Figura 3-1 el diseño sistema de mínima cantidad de lubricante (MQL) ensamblado en el software Inventor con su respectivo plano de conjunto que se encuentra en el Anexo 1.

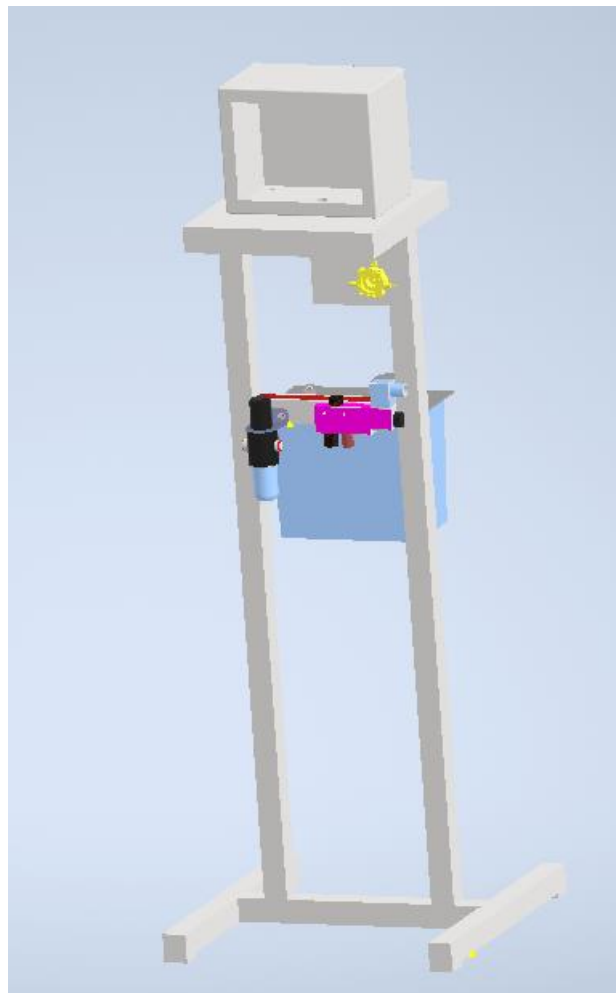


Figura 3-1 Sistema MQL en software Inventor.

3.1.1 Descripción de la situación actual

Los componentes del sistema bomba refrigerante de la Figura 3-2. Son los elementos principales estandarizados a parte de la mini bomba peristáltica para el sistema MQL por lo que a partir de estos se diseña una base que permita tener estabilidad y fácil movilidad.



Figura 3-2 Sistema de bomba refrigerante [19].

El sistema consta de:

- Deposito con filtro de aceite
- Unidad de mantenimiento
- Boquilla pulverizadora
- Electroválvula 3/2
- Unidad de mantenimiento
- Manguera de alimentación 4mm

3.2 Diseño de estructura

Para el diseño se tomó en cuenta la altura de los controles del torno como referencia, los elementos del sistema MQL (medidas), alimentación de aire del laboratorio, control externo, sólido y portátil, basado en los parámetros mencionados se opta por el diseño de una mesa tipo pedestal con 2 parantes para el anclaje del depósito de lubricante y el control del sistema

3.2.1 Gabinete de control

Los elementos principales del gabinete de control para el sistema MQL son:

- Arduino uno
- Driver L298N
- Módulo display
- Módulo Relé
- Potenciómetro
- Pulsadores On/Off con retención
- Switch
- Adaptador de 12V/2A
- Mini bomba peristáltica
- Step Down
- Placa PCB
- Borneras

3.2.2 Diseño electrónico

Para el funcionamiento se diseña una placa PCB para la conexión de los elementos electrónicos del control, se puede observar en la Figura 3-3.

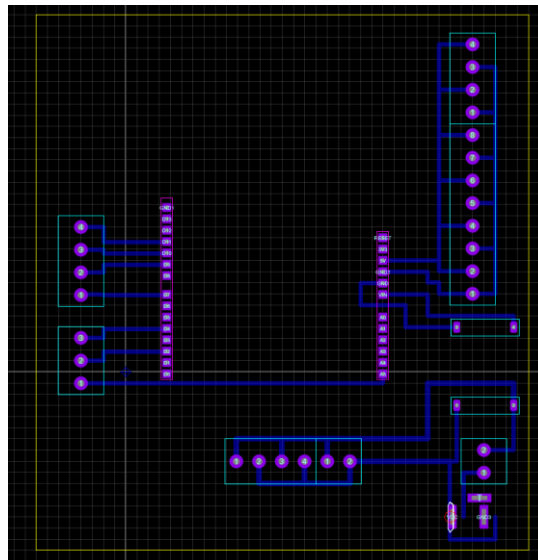


Figura 3-3 Diseño PCB en programa Proteus.

3.2.3 Diseño de placa PCB

La placa es diseñada con referencia de controlador Arduino uno como se muestra en la Figura 3-4, la alimentación de los módulos, drivers y actuadores necesario (5V) para el Arduino, los módulos relé y display. Potenciómetro, luces de los pulsadores, alimentación del driver. (12V) para la mini bomba peristáltica y la electroválvula y el sensor de efecto hall, la conexión para el control de los elementos.

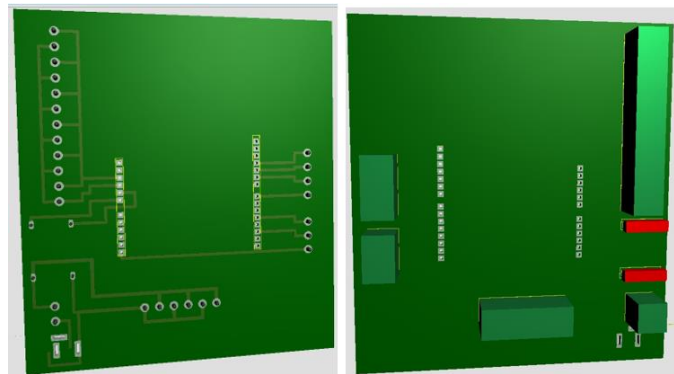


Figura 3-4 Placa PCB en vista 3d en programa Proteus.

En la Figura 3-5 se observa el proceso de soldadura de la placa PCB.



Figura 3-5 Suelda de componentes en PCB.

Para la distribución de los componentes se cortó en acrílico diferentes bases para su sujeción se encuentra en el

Anexo 3, En la Figura 3-6 donde se observa el sistema de control con sus elementos en

la placa PCB.

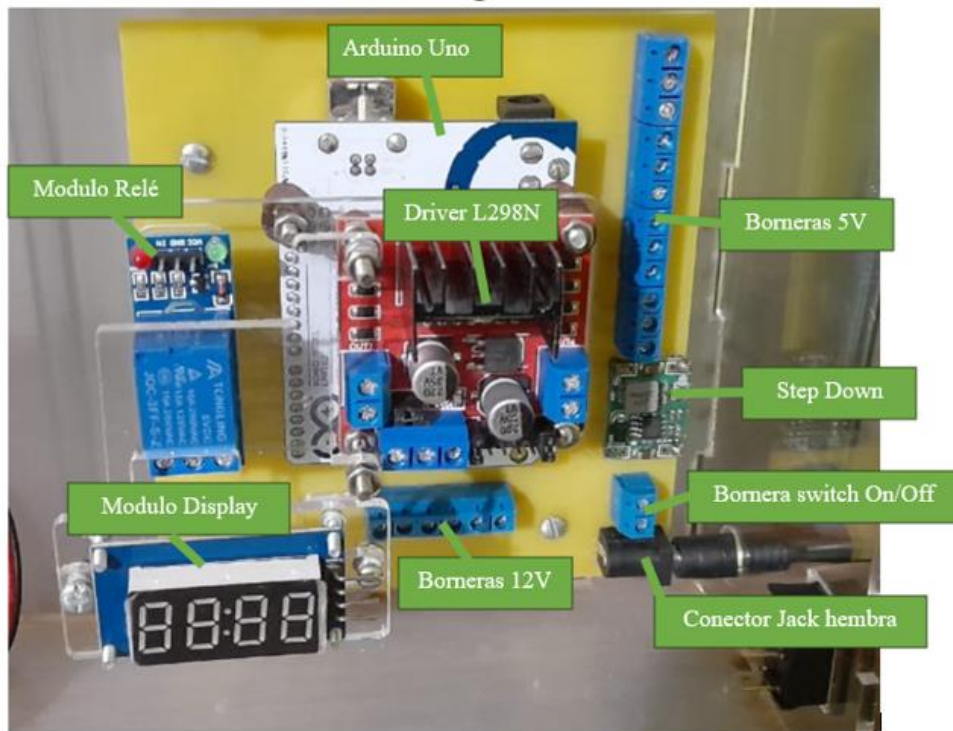


Figura 3-6 Control ensamblado.

En el Anexo 4, se presenta el plano del gabinete. En la Figura 3-7 podemos ver la preparación de la plancha para el gabinete, la mayor parte de materiales son retazos sobrantes de trabajos anteriores tomando en cuenta materiales estandarizados ya que la estructura no presenta la necesidad de tolerar grandes cargas.



Figura 3-7 Preparación de plancha para gabinete.

En la Figura 3-8 se muestra el gabinete listo para su ensamblaje, el gabinete se sujeta a la base de la mesa por medio de pernos m8 y tuercas remachables por lo que se hace agujeros de diámetro 10mm y uno de 20mm para el uso de una prensa estopa.



Figura 3-8 Construcción de gabinete.

3.2.4 Panel de control gabinete

El panel de control se lo realiza por corte y grabado láser en acrílico se observa el diseño de la tapa en el programa RDworksV8 como se observa en la Figura 3-9.

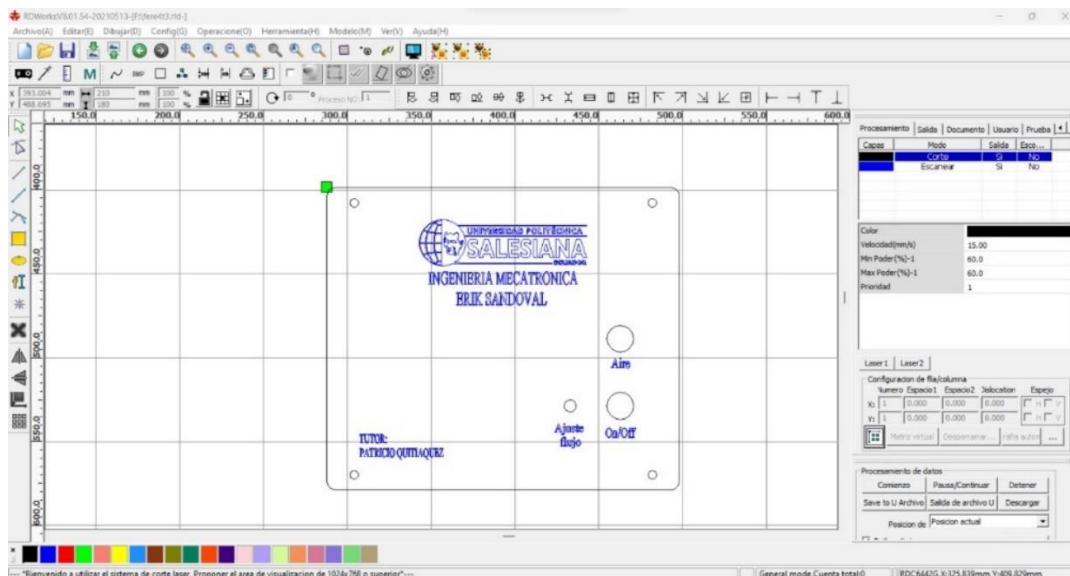


Figura 3-9 Diseño para corte y grabado láser.

En la Figura 3-10 se observa el proceso de corte y grabado láser en la parte izquierda y la tapa acabada en la parte derecha.



Figura 3-10 Proceso de corte y grabado láser.

3.2.5 Base soporte para elementos del sistema

Con el diseño del sistema en Inventor de la base para el sistema MQL empleamos el uso de material de construcción el cual se describe en la Tabla 17.

Tabla 17 Materiales del sistema.

Cantidad	Descripción
Tubo cuadrado	30 x 2mm de espesor
Platina	30 x 6mm de espesor
Plancha	1220 x 190 x 2mm
Tuercas remachables	M8
Pernos	Varias medidas

En el Anexo 2, se muestra el plano y medidas de la mesa tipo pedestal. Con el diseño de la mesa en inventor se realiza el análisis de soldadura, tomando en cuenta que el peso del gabinete del sistema de control es de aproximadamente 3,5kg y el peso del depósito lleno es de 4 kg por lo que el peso total que soporta la mesa es de 7,5kg.

3.2.6 Construcción de la base de mesa tipo pedestal

Según los planos y la selección del material Tubo cuadrado de 30 x 2mm de espesor, se corta en las medidas proporcionadas como se observa en Figura 3-11.



Figura 3-11 Corte de tubo cuadrado 30 x 2mm de espesor.

En la Figura 3-12 se muestra todas las piezas cortadas para su ensamblaje.



Figura 3-12 Tubo cortado según plano.

3.2.6.1 Ensamblaje de base

Para la base de la mesa se centra los tubos para sujetarlos y soldar como se muestra en la Figura 3-13.

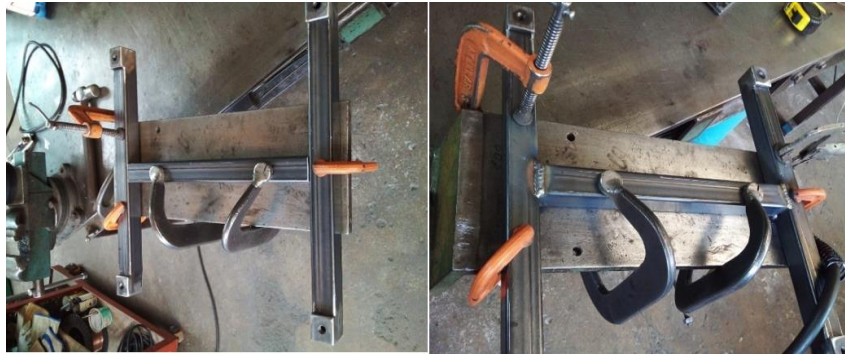


Figura 3-13 Base de mesa tipo pedestal.

Para la mesa se hace un cuadro de 250 x 250mm para el gabinete de control se muestra en la Figura 3-14.



Figura 3-14 Mesa.

La base y la mesa se sueldan a los pedestales como se muestra en la Figura 3-15.



Figura 3-15 Suelda de parantes a la mesa.

En la Figura 3-16 se muestra la mesa tipo pedestal casi terminada.



Figura 3-16 Mesa tipo pedestal con depósito de lubricante.

Terminada la base y el gabinete se procede a pintar con fondo uniprimer para evitar que se oxide y terminamos pintando del color final como se muestra en la Figura 3-17.



Figura 3-17 Proceso de pintado del sistema MQL.

3.2.6.2 Ensamblaje del control a la mesa

Con el sistema pintado y seco se empieza a ensamblar los elementos tanto del sistema de bomba refrigerante como se puede observar en la Figura 3-18.



Figura 3-18 Anclaje de depósito y elementos del sistema.

Se procede a montar el gabinete a la mesa como se puede observar en la Figura 3-19.



Figura 3-19 Montaje de gabinete.

Se procede a realizar las conexiones del sistema por medio de cables al Arduino como se plasma en la Figura 3-20.

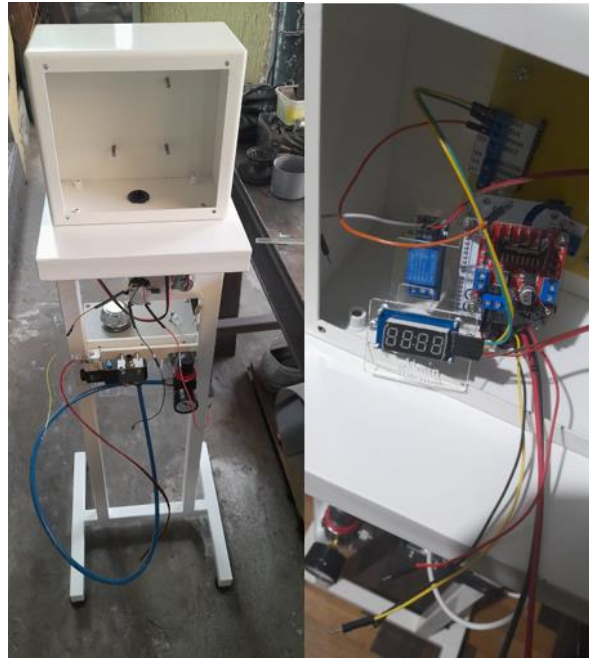


Figura 3-20 Conexión de cables.

Se realiza pruebas de funcionamiento de los elementos del gabinete de control como se muestra en la Figura 3-21.

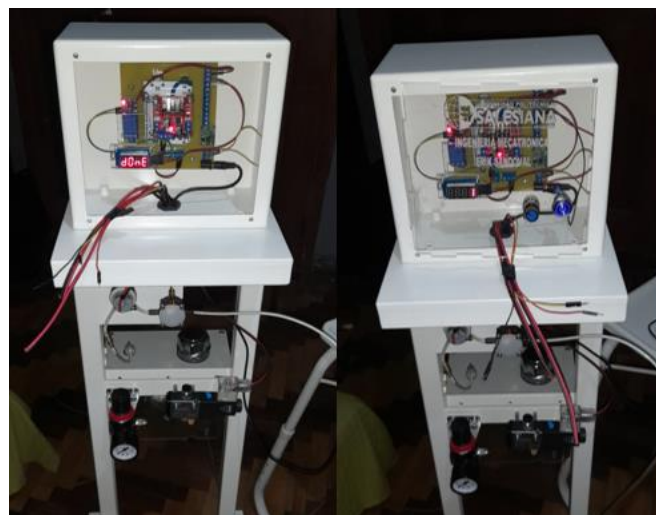


Figura 3-21 Prueba de funcionamiento elementos electrónicos.

En la Figura 3-22 se contempla el sistema MQL terminado, en el Anexo 6 se encuentra el manual de usuario para su funcionamiento.



Figura 3-22 Sistema MQL terminado

3.3 Diagrama de flujo del control del sistema MQL

En la Figura 3-23 se expone un diagrama de flujo para facilitar la comprensión del funcionamiento del prototipo.

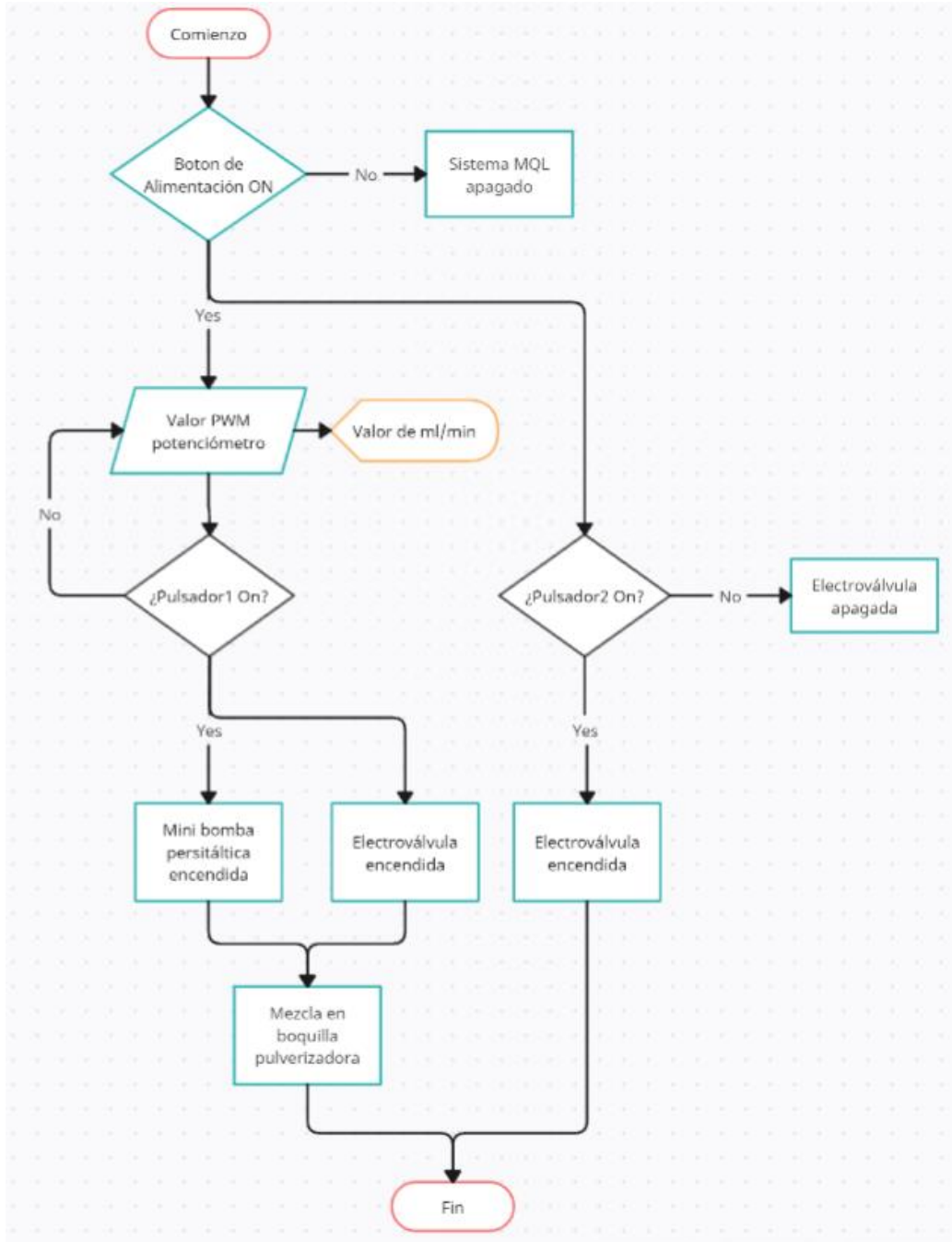


Figura 3-23 Diagrama de flujo.

En el Anexo 5 se muestra la programación en Arduino.

CAPÍTULO 4

4 ANALISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos de la calidad superficial de las probetas y el análisis económico de su fabricación.

4.1 Análisis de resultados

En la Figura 4-1 se muestra el resultado obtenido del torneado de los 9 ensayos de acero 1018 para el análisis del acabado superficial en el proceso de manufactura del torno EMCO E200 entre el sistema de lubricación de mínima cantidad de lubricante y el sistema por inundación.



Figura 4-1 Acabado superficial de probetas mecanizadas con diferentes sistemas de lubricación.

4.1.1 Resultados del acabado superficial entre sistema de inundación y sistema de mínima cantidad de lubricante

En la Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16. Se muestran los valores obtenidos de la rugosidad en 5 puntos diferentes para cada probeta, en función a los parámetros de experimentación de la Tabla 11. Se procede a sacar el promedio de rugosidad de las probetas para determinar la menor rugosidad en la Tabla 18.

Tabla 18 Datos obtenidos de la experimentación.

N°	MQL (ml)	RPM	Avance (mm/min)	Prof. (mm)	Ra ₁	Ra ₂	Ra ₃	Ra ₄	Ra ₅	Prom. Ra (μm)
1	55ml/min	1900	0,08	0,4	0,804	0,754	0,754	0,769	0,753	0,767
2	55ml/min	2300	0,10	0,4	0,999	1,012	1,015	1,067	0,992	1,017
3	55ml/min	2700	0,12	0,4	1,241	1,443	1,500	1,589	1,331	1,421
4	95ml/min	1900	0,10	0,4	1,028	1,054	1,291	1,315	1,068	1,151
5	95ml/min	2300	0,12	0,4	1,478	1,445	1,294	1,324	1,430	1,394
6	95ml/min	2700	0,08	0,4	0,902	0,862	0,739	0,926	0,740	0,834
7	Inundación	1900	0,12	0,4	1,415	1,396	1,383	1,372	1,396	1,392
8	Inundación	2300	0,08	0,4	0,760	0,775	0,795	0,772	0,784	0,777
9	Inundación	2700	0,10	0,4	1,039	1,097	1,067	1,042	1,011	1,051

El valor promedio de menor rugosidad obtenido es de 0,767 μm que se realizó con uso del sistema MQL con un caudal de 55ml/min, 1900rpm, avance de 0,08 (mm/min) y una profundidad de 0,4mm.

En la Figura 4-2 se contempla la gráfica de los valores de rugosidad (Ra) Vs rpm del acabado superficial con sistema MQL a 55ml/min.

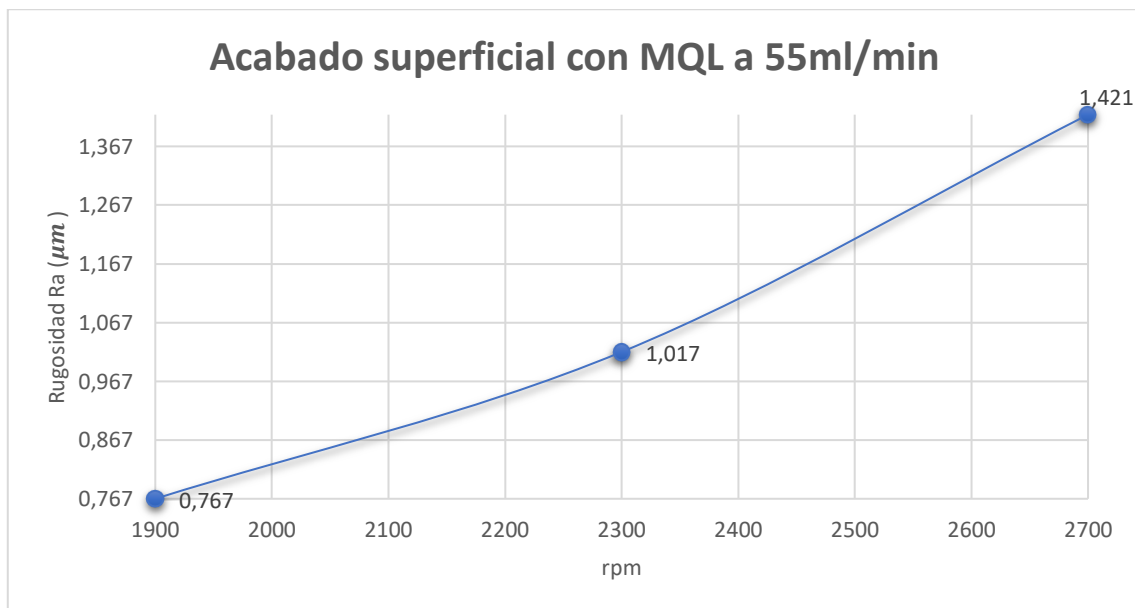


Figura 4-2 Acabado superficial con sistema MQL a 55ml/min.

En la Figura 4-3 se contempla la gráfica de los valores de rugosidad (Ra) Vs rpm del acabado superficial con sistema MQL a 95ml/min.

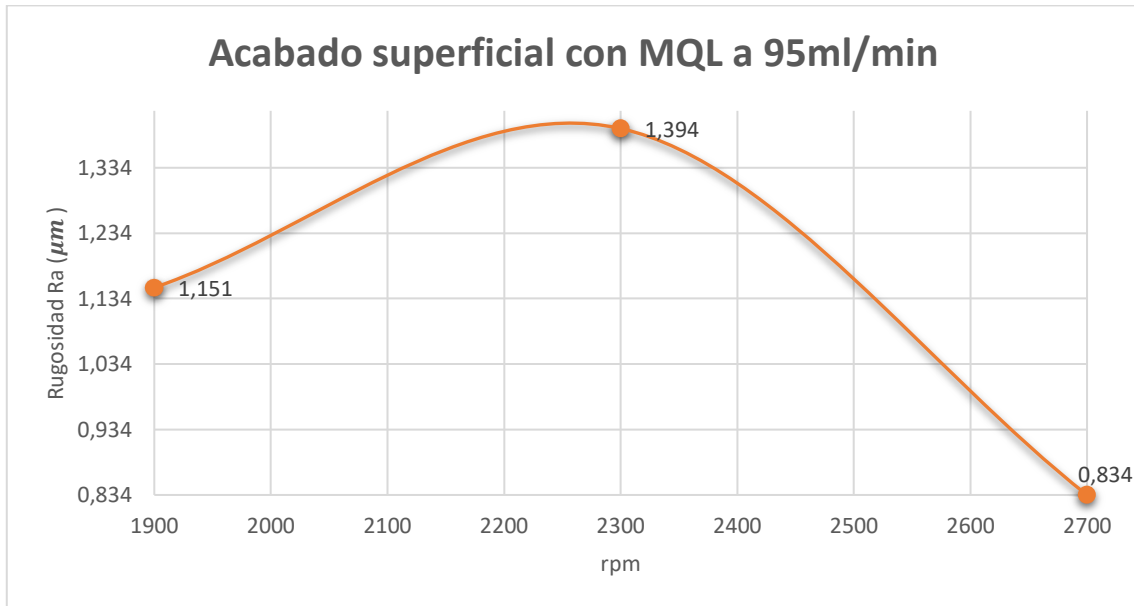


Figura 4-3 Acabado superficial con sistema MQL a 95ml/min.

En la Figura 4-4 se contempla la gráfica de los valores de rugosidad (Ra) Vs rpm del acabado superficial con sistema MQL a 95ml/min.



Figura 4-4 Acabado superficial con sistema por inundación.

En la Figura 4-5 se muestra las gráficas de los valores resultantes de la experimentación de rugosidad Ra Vs rpm de acabado superficial para los sistemas de lubricación realizados mediante experimentación.



Figura 4-5 Comparativo de acabado superficial de probetas con diferentes sistemas de lubricación.

A través de la experimentación, se puede analizar que los valores obtenidos de la rugosidad en el maquinado para acabado superficial con una profundidad de 0,4mm. Se determinó que el sistema de mínima cantidad de lubricante es la mejor alternativa, ya que proporciona un acabado superficial superior a comparación de un sistema de inundación. Además, permite obtener viruta parcialmente sin lubricante, lo que reduce el impacto ambiental causado por los residuos de los fluidos de corte en la viruta.

4.2 Análisis económico

En esta sección se proporciona un desglose de los gastos realizados durante el progreso del trabajo de titulación.

4.2.1 Costos directos

En la Tabla 19. Se detalla el costo de los elementos del sistema de control.

Tabla 19 Elementos del sistema de control.

N°	Descripción	Unidades	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
1	Bomba refrigerante de pulverización 3L	1		250
2	Mini bomba peristáltica	1		15
3	Sensor de caudal	1		10
4	Arduino uno	1		15
5	Potenciómetro con perilla	1		0,45
6	Módulo display 4 dígitos	1		4,50
7	Módulo relé	1		3,50
78	Cables Arduino varias medidas	1		1,80
89	Bornera azul 3 terminales	7	0,31	2,17
91	Bornera azul 2 terminales	3	0,21	0,63
11	Jack fuente	1		0,45
12	Step down variable 3A	1		4
13	Fuente 12V 2A	1		5,80
14	Módulo L298N	1		4,60
15	Placa PCB	1		12
16	Acrílico 4mm	1		5
17	Pulsadores con retención	2	3,50	7
18	Switich on/off	1		0,50
19	Manguera poliuretano 8x5	7m	0,95	6,65
20	Manguera poliuretano 4x2.5	7m	0,45	3,15
Total				352,2

En la

Tabla 20. Se detalla los elementos para la construcción de la estructura.

Tabla 20 Materiales para construcción de estructura.

N°	Descripción	Medidas	Unidades	Valor	Valor
				Unitario (USD)	total (USD)
1	Tubo cuadrado	30x2mm de espesor	1		14
2	Platina	30x6mm de espesor x 600 de largo	1		1,80
3	Plancha	1220x190x2mm de espesor	1		6
4	Plancha	300x400x3mm de espesor	1		4,50
5	Tuercas remachables	M8	4	0,55	2,20
6	Nivelador regulable	3/8	4	0,25	1
7	Pernos varias medidas				6
8	Litros de thinner		2	1,40	2,80
9	Octavo de fondo		1		4,2
10	Octavo de sintético (Blanco)		1		4
Total					46,50

La Tabla 21. Corresponde al detalle del costo asociado a la mano de obra que se empleó en el diseño, la implementación y el control del sistema.

Tabla 21 Costos de mano de obra del proyecto de titulación.

Descripción	Tiempo	Costo	hora	Costo	total
	(Hora)	(USD)		(USD)	
Diseño y construcción de estructura	5	6		30	
Implementación sistema electrónico con programación	6	5		30	
Mano de obra de estructura (Corte, suelda, pintado)	16	7,50		120	
Total					180

En la Tabla 22. Se realiza la sumatoria de los costos de la construcción del proyecto de titulación

Tabla 22 Costo total del proyecto.

Descripción	Costo total (USD)
Sistema de control	352,2
Materiales de estructura	46,50
Mano de obra	180
Total	578,70

El diseño e implementación del sistema de mínima cantidad de lubricante tuvo un costo total de 578,70 USD

Conclusiones

- En base a los conceptos y tipos de sistemas de mínima cantidad de lubricante se seleccionó un sistema MQL con suministro de lubricante externo para la implementación en el torno EMCO E200.
- Se diseño y construyó el dispositivo de mínima cantidad de lubricante de suministro externo de manera que el suministro de aire y lubricante es de manera independiente hasta la boquilla pulverizadora evitando la formación de gotas en un 100%, siendo un sistema externo al torno permitiendo adaptarse al entorno de trabajo.
- Las pruebas para calibración de la mini bomba peristáltica y comprobación de pulsos con el sensor de efecto hall presento una mínima variación del 2% en la toma de pulsos entre las pruebas comprobando que el sistema nos ofrece valores constantes de caudal.
- La experimentación con la taladrina del torno permitió trabajar en un rango de 50ml/min a 100ml/min por medio de un control PWM, la presión usada de manera experimental es de 2bar ya que el uso de una mayor presión crea una niebla de micro gotas que se esparce por el laboratorio al terminar el proceso.
- En base al análisis se determinó que el sistema de cantidad mínima de lubricante a 55ml/min permite tener mejoras en calidad superficial por la rugosidad resultante para los parámetros seleccionados con un valor mínimo de rugosidad de $0,767\mu m$.
- Con respecto a la experimentación se determinó el valor más bajo de rugosidad son de $0,767\mu m$ con el sistema de mínima cantidad de lubricante permitiendo obtener un buen acabado superficial fino con marcas visibles y poco apreciables al tacto.
- Se determinó que el uso del sistema de mínima cantidad de lubricante nos permite tener mejores resultados de calidad superficial, permitiendo reducir los costos de producción en más del 10% por el uso de lubricantes.

Recomendaciones

- El sistema es de fácil manejo, para su calibración se recomienda seguir el manual de operación en caso que se use una nueva preparación del lubricante como mezclas (taladrina en relación máxima de 10:1 agua-aceite respectivamente) o el uso del aceite directo ya que el cambio de la viscosidad del fluido proporciona cambio en el resultado del caudal en ml/min.
- Para el uso del sistema tener en cuenta la ruta de conexión de la alimentación del aire lo cual permita tener un espacio libre para maniobrabilidad tanto del usuario y del sistema.
- Es necesario la experimentación para comprobar los parámetros óptimos de trabajo en cada ensayo para mejorar la calidad superficial de la pieza final.
- El sistema de mínima cantidad de lubricante del proyecto de titulación es adaptable a otras máquinas y el uso de diferentes lubricantes, desde aceites sintéticos, aceites orgánicos por lo que se puede realizar pruebas y análisis con diferentes productos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “¿Qué es el acero de baja aleación? Definición | Propiedades materiales”, Material Properties. Consultado: el 5 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://material-properties.org/es/que-es-el-acero-de-baja-aleacion-definicion/>
- [2] ac-gt-dia, “Acero de baja aleación - Aceropedia - Enciclopedia del Acero”, Aceropedia. Consultado: el 5 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aceropedia.com/tipos-de-acero/acero-de-baja-aleacion/>
- [3] “¿Qué es el acero de aleación? Definición | Propiedades materiales”, Material Properties. Consultado: el 5 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://material-properties.org/es/que-es-el-acero-de-aleacion-definicion/>
- [4] “SAE 4150 Propiedades (Mecánicas, Químicas y Clasificación) 2022”, Materiales (ES). Consultado: el 6 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/12/sae-4150-propiedades-mecanicas-quimicas.html>
- [5] “Acero al carbono AISI 1018”, Acero Waldun. Consultado: el 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://waldunsteel.com/es/products/aisi-1018-carbon-steel/>
- [6] “UPS - ST004305.pdf”. Consultado: el 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17724/1/UPS%20-%20ST004305.pdf>
- [7] A. Barbosa Moreno, C. E. Mar Orozco, y J. F. Molar Orozco, *Manufactura: conceptos y aplicaciones*. Grupo Editorial Patria, 2019. Consultado: el 25 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecas.ups.edu.ec:3488/es/ereader/bibliotecaups/121285?page=207>
- [8] “Fluidos de corte: principales funciones e inconvenientes del uso.”, Escuela de Postgrado Industrial. Consultado: el 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://postgradoindustrial.com/fluidos-de-corte-funciones/>
- [9] “4.pdf”. Consultado: el 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://admin.proktive.com/technical-bulletins/4>
- [10] “FLUIDOS PARA CORTE DE METALES”, DANA LUBRICANTES -Proveedores ,Fabricantes , Aceites Lubricantes Empresa. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://lubricantesdana.com/fluidos-para-corte-de-metales/>
- [11] “40-FluidosCarpinteria.pdf”. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://oiss.org/wp-content/uploads/2019/06/40-FluidosCarpinteria.pdf>

- [12] “Lubricantes2009.pdf”. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://materias.fi.uba.ar/7201/Lubricantes2009.pdf>
- [13] WEBMASTER, “Tipos de Fluidos para Corte”, Censa Industrial. Consultado: el 9 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://censaindustrial.com/tipos-de-fluidos-para-corte/>
- [14] “A4.pdf”. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/760/4/A4.pdf>
- [15] “SC-AT8-Controladores On-Off y PID.pdf”. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: https://electronica.tec17ba.edu.ar/asignaturas/Sistemas_De_Control/Apuntes_teoricos/SC-AT8-Controladores%20On-Off%20y%20PID.pdf
- [16] “Controladores PDF | PDF | Muestreo (procesamiento de señal) | Ingeniería Electrónica”, Scribd. Consultado: el 16 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/366677333/Control-Adores>
- [17] John Zalewski, Stephanie Fraley, Ben Terrien, & Mike Oom, “14.1: Diseño de experimentos mediante métodos Taguchi - Matrices ortogonales”, LibreTexts Español. Consultado: el 3 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: [https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_\(Woolf\)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.01%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_m%C3%A9todos_Taguchi_-_Matrices_ortogonales](https://espanol.libretexts.org/Ingenieria/Ingenier%C3%ADa_Industrial_y_de_Sistemas/Libro%3A_Din%C3%A1mica_y_Control_de_Procesos_Qu%C3%ADmicos_(Woolf)/14%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos/14.01%3A_Dise%C3%B1o_de_experimentos_mediante_m%C3%A9todos_Taguchi_-_Matrices_ortogonales)
- [18] J. A. Ludeña, “Método Taguchi”, Economipedia. Consultado: el 7 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/metodo-taguchi.html>
- [19] “Amazon.com: Bomba de refrigerante de pulverización 3L con pulverizador de niebla de aceite, sistema de pulverización de lubricación con tubería: Patio, Césped y Jardín”. Consultado: el 9 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.amazon.com/-/es/refrigerante-pulverizaci%C3%B3n-pulverizador-sistema-lubricaci%C3%B3n/dp/B0BF2VRGBL/ref=sr_1_15?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=26X3174UTIOCI&keywords=oil+pump+with+cnc+sprayer&qid=1666399789&srefix=bomba+de+aceite+con+pulverizador+cn%2Caps%2C215&sr=8-15

- [20] “Modulo rele 1 canal 5v alto – Electronics Ecuador”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicsecuador.com/producto/modulo-rele-1-canal-5v-alto/>
- [21] “Mini bomba de agua peristaltica 3/12v – Electronics Ecuador”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicsecuador.com/producto/mini-bomba-de-agua-peristaltica-3-12v/>
- [22] “Sensor De Caudal Yf S401 Manguera Flujo Caudalimetro Arduino - U\$S 9,99”. Consultado: el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-518453792-sensor-de-caudal-yf-s401-manguera-flujo-caudalimetro-arduino-_JM
- [23] “Tubo poliuretano Festo”. Consultado: el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://entaban.es/mangueras-de-aire/95-tubo-poliuretano-festo.html#/312-diametro_exterior_x_espesor_mm-8_x_125/3641-color-azul_festo
- [24] “Manguera Poliuretano: Quito, Guayaquil y todo el Ecuador”. Consultado: el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ecuamangueras.com/manguera-poliuretano/>
- [25] “Modulo l298n puente h – Electronics Ecuador”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicsecuador.com/producto/modulo-l298n-puente-h/>
- [26] “Arduino uno con chip atmega 328P + cable – Electronics Ecuador”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.electronicsecuador.com/producto/arduino-uno-con-chip-atmega-328p-cable/>
- [27] “Modulo 4 digitos 7 segmentos TM1637”, UNIT Electronics. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://uelectronics.com/producto/modulo-4-digitos-7-segmentos-tm1637/>
- [28] “potenciómetro”, Bing. Consultado: el 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bing.com/images/search?FORM=IARRTH&q=potenciómetro>
- [29] “Amazon.com: ABLEGRID Fuente de alimentación de 12 voltios - Adaptador estándar de 2.5 amperios (12V 2.5A DC) : Electrónica”. Consultado: el 1 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com/-/es/Fuente-alimentaci%C3%B3n-Est%C3%A1ndar-Adapter-12-vadapters/dp/B009ZZKUPG>
- [30] “Modulo step-down dc-dc 3a ajustable mp1584en – Electronics Ecuador”. Consultado: el 12 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en:

<https://www.electronicsecuador.com/producto/modulo-step-down-dc-dc-3a-ajustable-mp1584en/>

[31] “Catalogue turning & threading - Arno Werkzeuge - PDF Catalogs | Technical Documentation | Brochure”. Consultado: el 3 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pdf.directindustry.com/pdf/arno-werkzeuge/catalogue-turning-threading/17568-1019597.html>

[32] “Table 3 . The basic Taguchi L9 (3 4) orthogonal array”, ResearchGate. Consultado: el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/The-basic-Taguchi-L9-3-4-orthogonal-array_tbl3_245481250

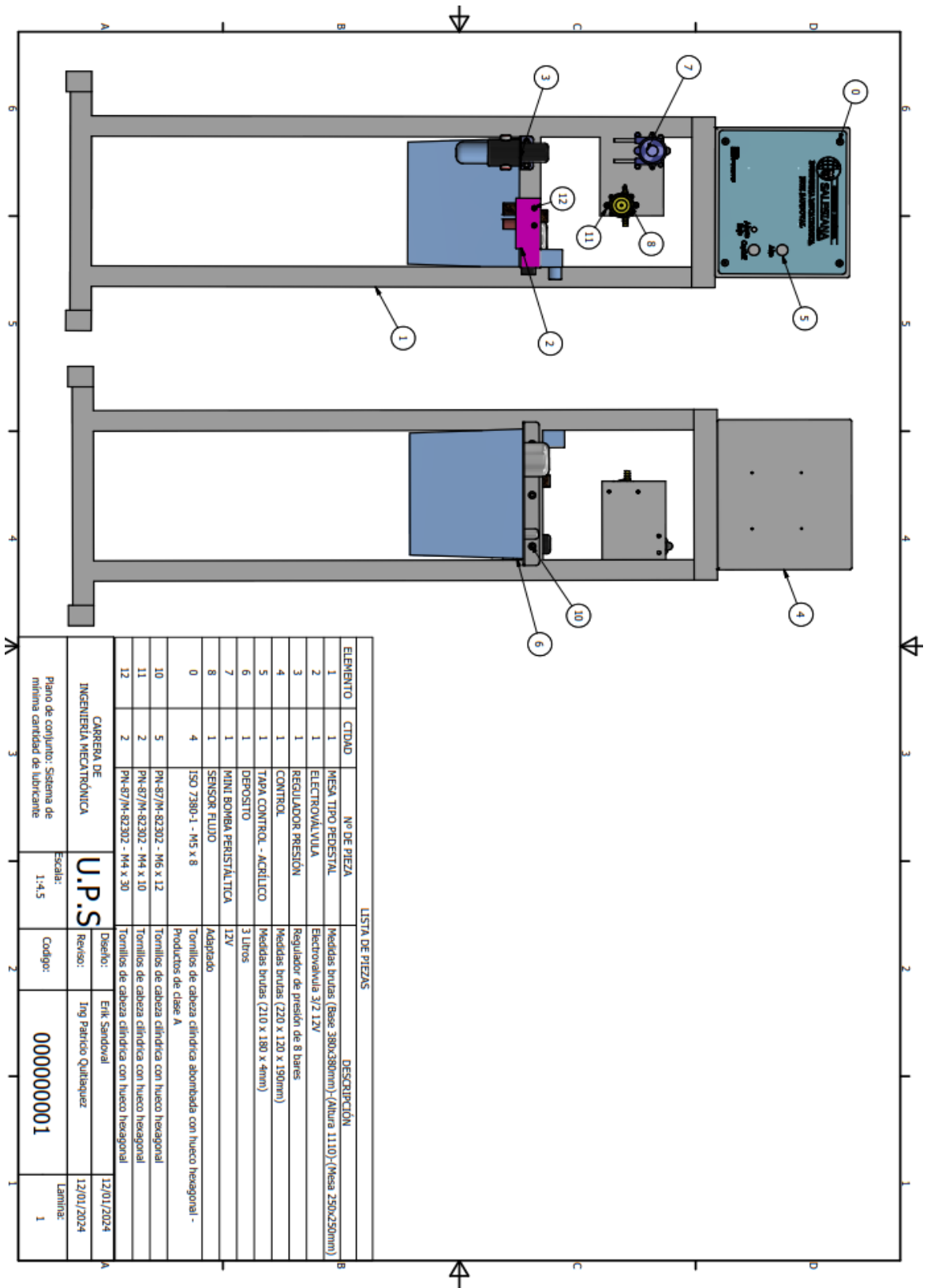
[33] “TOTAL LACTUCA 3000 - Perfomance Lube - Lubricantes”. Consultado: el 8 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://pldistribucion.com.ar/web/producto/lactuca-3000/>

[34] “CHTealdi-TFG-IMe-2019.pdf”. Consultado: el 24 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/392/CHTealdi-TFG-IMe-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

\

Anexos

Anexo 1 Plano en conjunto del Sistema MQL.

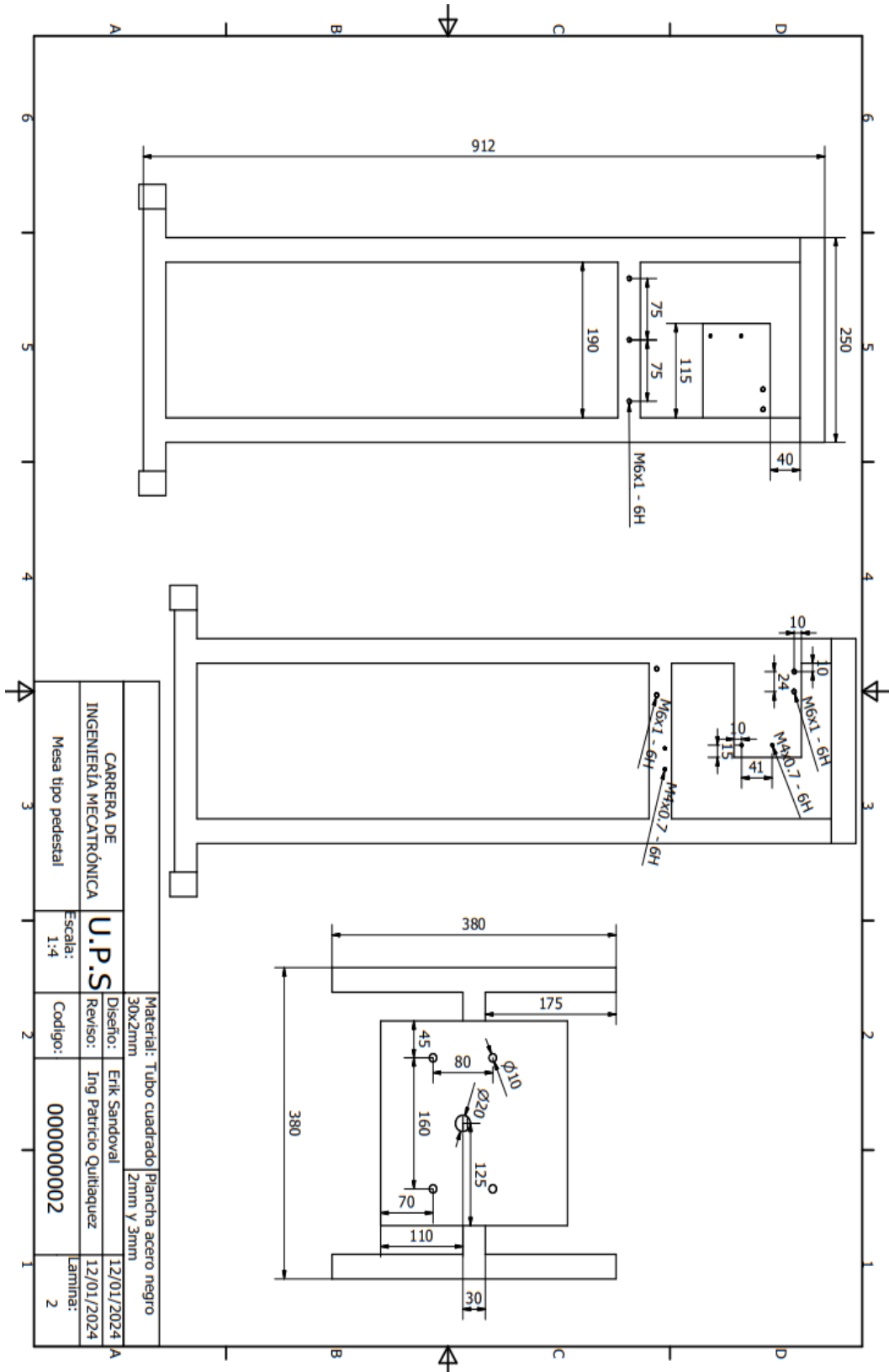


LISTA DE PIEZAS

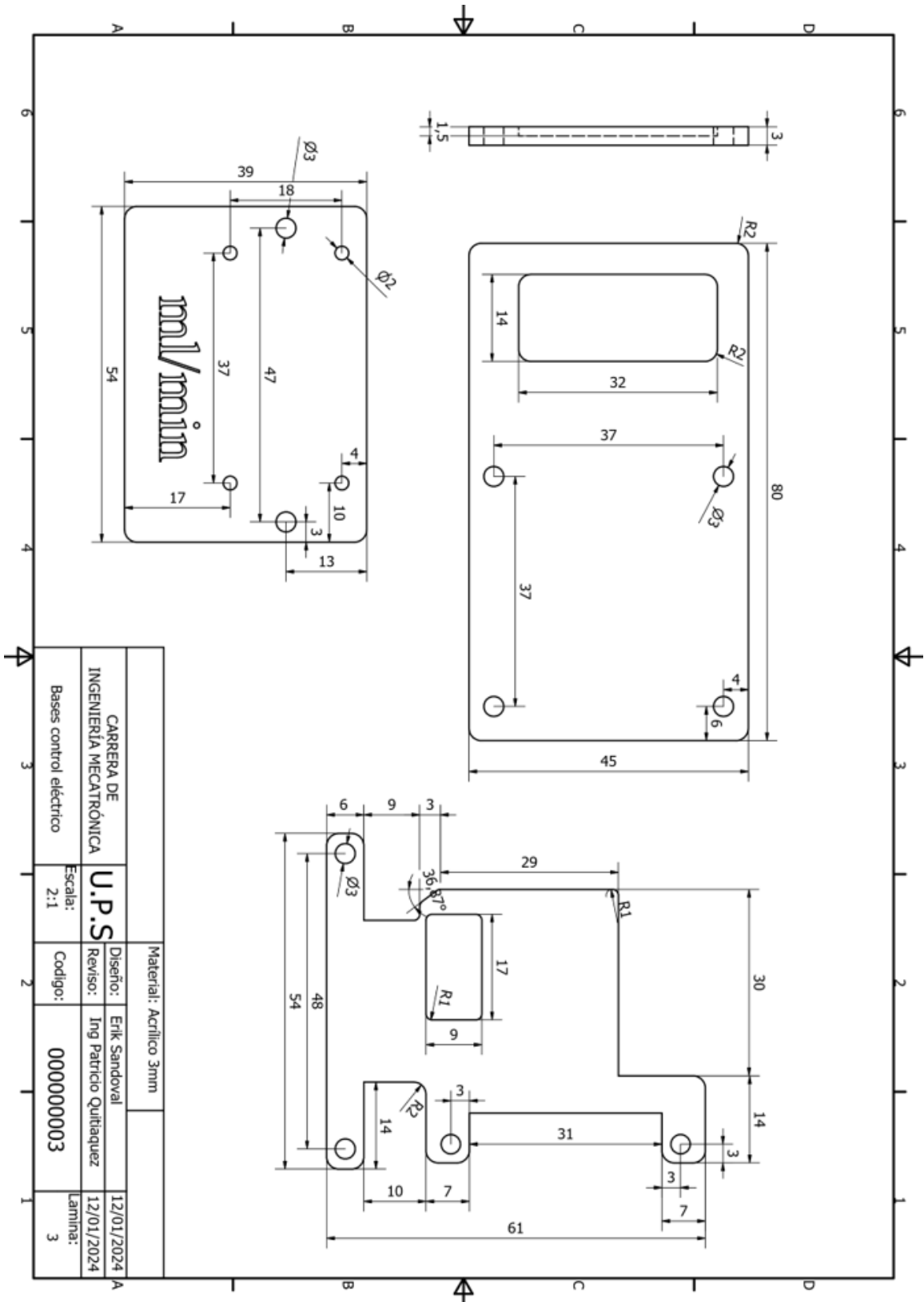
ELEMENTO	CTIDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	MESA TIPO PREESTAL	Medidas brutas (Base 380x380mm)-(Altura 1110)-(Mesa 250x250mm)
2	1	ELECTROVALVULA	Electrovalvula 3/2 12V
3	1	REGULADOR DE PRESSION	Regulador de presión de 8 bares
4	1	CONTROL	Medidas brutas (220 x 120 x 190mm)
5	1	TAPA CONTROL - ACRILICO	Medidas brutas (210 x 180 x 4mm)
6	1	DEPOSITO	3 Litros
7	1	MINI BOMBA PERISTALTICA	12V
8	1	SENSOR FLUIDO	Adaptado
0	4	ISO 7980-1 - M5 x 8	Tornillos de cabeza cilindrica abombada con hueco hexagonal - Productos de clase A
10	5	PN-87/M-82302 - M6 x 12	Tornillos de cabeza cilindrica con hueco hexagonal
11	2	PN-87/M-82302 - M4 x 10	Tornillos de cabeza cilindrica con hueco hexagonal
12	2	PN-87/M-82302 - M4 x 30	Tornillos de cabeza cilindrica con hueco hexagonal

CARRERA DE INGENIERIA MECATRONICA		U.P.S	Diseño: Erik Sandoval	Reviso: Ing Pabito Quiñavez	12/01/2024
Plano de conjunto: Sistema de minima cantidad de lubricante					

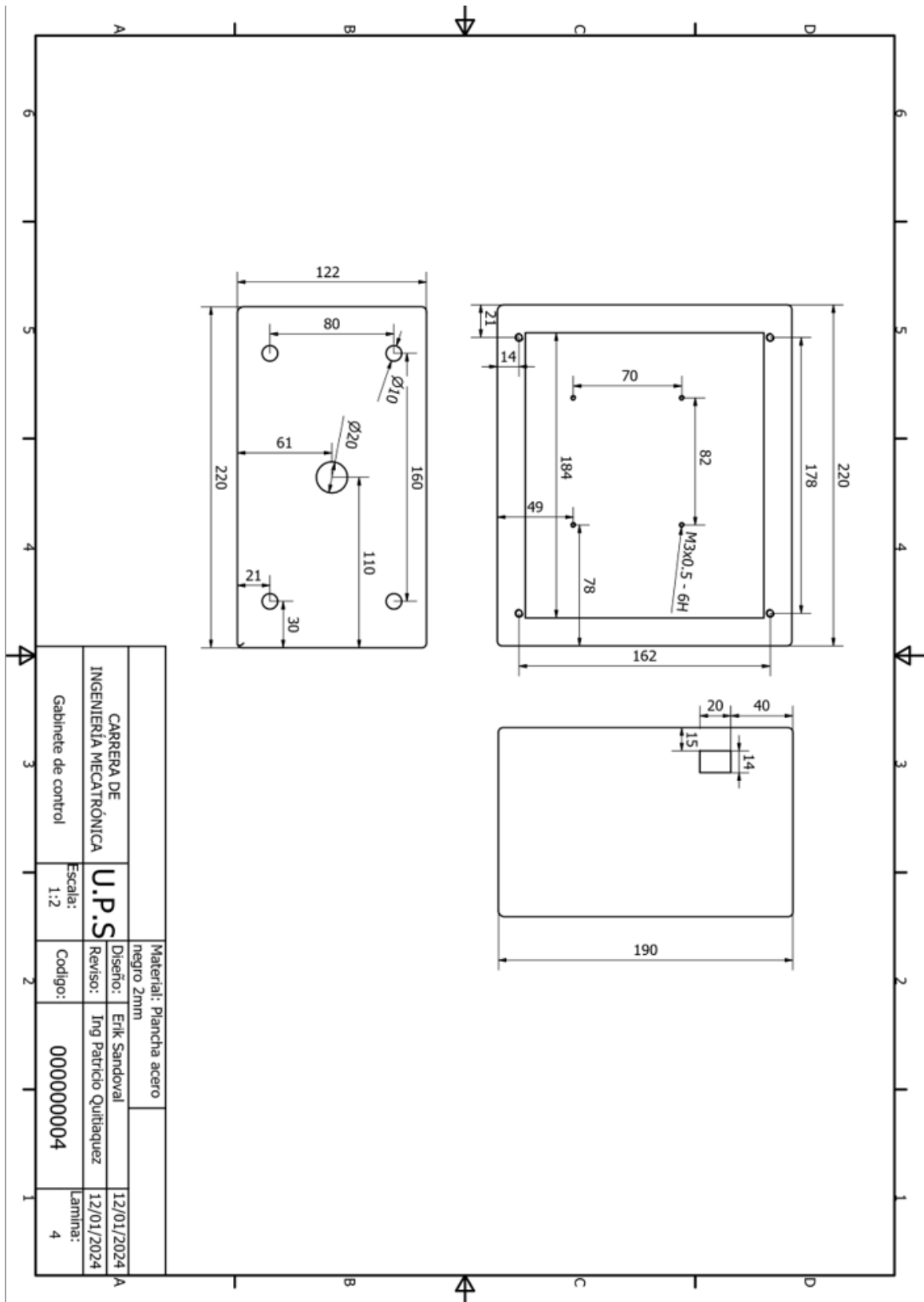
Anexo 2 Plano mesa tipo pedestal.



Anexo 3 Plano de bases control electrónico.



Anexo 4 Plano de Gabinete de control.



```
#include <TM1637Display.h>
#define CLK 10
#define DIO 11

TM1637Display display(CLK,DIO);

volatile long NumPulsos; //variable para la cantidad de pulsos recibidos
int PinSensor = 2; //Sensor conectado en el pin 2
//Función que se ejecuta en interrupción//
void ContarPulsos ()
{
  NumPulsos++; //incrementamos la variable de pulsos
}

//Función para obtener frecuencia de los pulsos//
int Rele=7;
int ENB=9;
int pot=A5;
int value;
int total;
int PWM;
byte valor=0; //Variable que recibe el dato leído en la entrada
byte Terminal_3 = 4; // PIN 3

void setup() {
  display.setBrightness(4);
  display.clear();
  display.showNumberDec(0000,true,4,0);
  delay(1000);
  display.clear();
```

```

pinMode(Rele, OUTPUT);
pinMode(ENB, OUTPUT);
Serial.begin(9600);
pinMode(PinSensor, INPUT);
attachInterrupt(0,ContarPulsos,RISING);//(Interrupción 0(Pin2),función,Flanco de subida)
interrupts(); //Habilitamos las interrupciones
}
void loop() {
  valor = digitalRead(Terminal_3);
  value = analogRead(pot);
  total=map(value,0,1023,45,1);

  Serial.println(total);
  delay(100);
  Serial.print ("Numero de Pulsos = ");
  Serial.println (NumPulsos);
  delay(100);

  if(total>=1 && total<=5){
    display.showNumberDec(55,false,2,2);
    PWM=140; }

  if(total>=6 && total<=10){
    display.showNumberDec(60,false,2,2);
    PWM=175; }

  if(total>=11 && total<=15){
    display.showNumberDec(65,false,2,2);
    PWM=190; }

  if(total>=16 && total<=20){
    display.showNumberDec(70,false,2,2);

```

```

PWM=202; }

if(total>=21 && total<=25){
display.showNumberDec(75,false,2,2);
PWM=215; }

if(total>=26 && total<=30){
display.showNumberDec(80,false,2,2);
PWM=222; }

if(total>=31 && total<=35){
display.showNumberDec(85,true,2,2);
PWM=235; }

if(total>=36 && total<=40){
display.showNumberDec(90,true,2,2);
PWM=242; }

if(total>=41 && total<=45){
display.showNumberDec(95,false,3,1);
PWM=250 ; }else{
display.showNumberDec(0,false,1,1);}

if(valor==0){
digitalWrite(Rele, LOW);
analogWrite(ENB,PWM);
}
else if(valor==1){
digitalWrite(Rele, HIGH);
analogWrite(ENB,0);
}}

```

El siguiente manual contiene una lista de instrucciones para el correcto funcionamiento y puesta en marcha del Sistema mínima cantidad de lubricante (MQL). Lea detenidamente las indicaciones.



- Instale la boquilla pulverizadora por el lado lateral del trono como se ve en la figura
- Conecte la entrada de aire a la válvula reguladora manguera 6mm
- Conecte la fuente de alimentación (Adaptador) al toma corriente 110V
- Prenda el switch de encendido en el lateral derecho del gabinete
- Espere 5 segundos hasta que el control se inicie y accione un segundo la electroválvula
- Llenar el depósito con el lubricante que se desea utilizar
- Utilizar el potenciómetro y configurar un valor medio y encender el sistema con el pulsador on/off y esperar que salga el lubricante por la boquilla sin accionar el paso del aire en el laboratorio
- Usar el vaso volumétrico y realizar pruebas de 1min para verificar el caudal ml/min
- Ya calibrado al valor deseado apagamos el sistema y damos paso al aire
- Posicionamos la boquilla a la zona de trabajo
- Empezamos a realizar nuestros ensayos