

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un sistema de control automatizado para una
perforadora hidráulica

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

Presentado por:

JHONNY EDWIN LOPEZ OSTAIZA

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres, José Lopez y Aurora Ostaiza, quienes han sido el pilar que me sostenido en todos mis años de estudio y aquellos que me hicieron la persona que soy. A mi hermano Irving Lopez, quien siempre me ha brindado su apoyo. A mi tía Carmen Lopez por siempre estar pendiente de mi bienestar y por su predisposición de siempre ayudar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, por su sacrificio incondicional. A mi hermano, por sus consejos y su atención. A mi tía Carmen y mi primo Jean Carlos por colaborar siempre conmigo.

Al M.Sc. Efraín Terán, coordinador de la carrera, quien primero fue mi profesor y luego mi tutor, por su colaboración y guía durante todos mis años de estudio en la carrera y por su guía en este proyecto.

Por último, a mis amigos: Adrián, Lady, Sheila, Ronny, Edwin y Andrés.

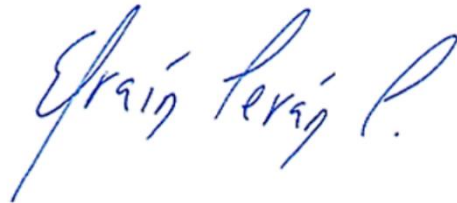
DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Jhonny Edwin Lopez Ostaiza y doy mi consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Jhonny Edwin Lopez Ostaiza

EVALUADORES

A handwritten signature in blue ink that reads "Efraín Terán P." with a period at the end. The signature is written in a cursive style.

Efraín Terán, M.Sc.

PROFESOR DE LA MATERIA / PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Las perforadoras hidráulicas rotatorias son utilizadas en la industria de la construcción para realizar perforaciones de pozos y cimentaciones estructurales. La empresa INTISA, dentro de sus equipos y maquinarias, cuenta con una perforadora hidráulica rotatoria SIMCO 2800. El presente trabajo detalla el diseño de un sistema de control electrohidráulico para controlar y automatizar algunas funciones de la perforadora y que permita su control local y remoto de manera inalámbrica.

Se inició analizando el funcionamiento de la perforadora. Luego se seleccionaron los elementos del sistema considerando los requerimientos técnicos solicitados. Se diseñó una interfaz que controla perforadora y un radio control industrial en aluminio 6061. Se realizó un análisis estático de la carcasa del mando ante una carga de 2 000 N. Por último, se desarrolló el programa de control utilizando el IDE de Arduino.

Se obtuvo una interfaz a 12V DC, con grado de protección IP65, 8 palancas de control, 8 luces indicadoras, 2 pantallas LCD 20X4, botón de paro de emergencia, key switch, botón de encendido, 16 salidas de modulo relay, capaz de medir inclinación, velocidad de avance y velocidad de corte. Un radio control industrial con grado de protección IP65, peso de 5.7 Kg, 10 horas de batería, una pantalla LCD 20X4 y los demás elementos de la interfaz, con un alcance de comunicación de 100 m.

El sistema diseñado pretende minimizar el tiempo de operación, simplificar su uso y aumentar la seguridad de la perforadora. El costo del radio control y la interfaz es de \$2 737 y, el proyecto total, \$5 642. La fabricación del sistema diseñado puede generar un posible emprendimiento, generando modificaciones y mejoras en el proyecto.

Palabras Clave: Perforadora hidráulica, radio control, diseño de interfaz, control electrohidráulico.

ABSTRACT

Hydraulic rotary drilling rigs are used in the construction industry to drill wells and structural foundations. INTISA, among its equipment and machinery, has a SIMCO 2800 hydraulic rotary drilling rig. The present work details the design of an electrohydraulic control system to control and automate some functions of the drilling rig and to allow its local and remote wireless control.

Analysis of the operation of the drilling machine was the first to be addressed. Then, the elements of the system were selected considering the technical requirements requested. After that, an interface that controls the drilling rig and an industrial radio control were designed in 6061 aluminum. A static analysis of the control casing was performed under a load of 2000 N. Finally, the control program was developed using the Arduino IDE.

A 12V DC interface was obtained, with IP65 degree of protection, 8 control levers, 8 indicator lights, 2 20X4 LCD screens, emergency stop button, key switch, power button, 16 relay module outputs, capable of measuring incline, feed rate and cutting speed. An industrial radio control with IP65 protection degree, weight of 5.7 Kg, 10 hours of battery, a 20X4 LCD screen and the other elements of the interface, with a range of 100 m.

The designed system aims to minimize the operation time, simplify its use, and increase the safety of the drill. The cost of the radio control and interface is \$2 737, and the total project cost is \$5 642. The fabrication of the designed system can generate a possible business venture, generating modifications and improvements in the project.

Keywords: *Hydraulic drill, radio control, interface design, electro-hydraulic control.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE PLANOS	XII
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Perforadora hidráulica	3
1.4.2 Radiocontrol	4
1.4.3 Sistemas de radiocontrol industrial	5
1.4.4 Grados de protección IP.....	6
1.4.5 Sistema hidráulico	7
1.4.6 Interfaz de control	11
CAPÍTULO 2.....	15
2. Metodología.	15
2.1 Secuencia de diseño	15

2.2	Reconocimiento del sistema hidráulico.....	16
2.3	Alternativas de solución.....	20
2.4	Requerimientos de diseño.....	21
2.5	Especificaciones técnicas.....	22
2.6	Diseño de la interfaz.....	23
2.6.1	Sensores requeridos.....	26
2.6.2	Actuadores.....	29
2.6.3	Botonera.....	30
2.6.4	Luces piloto y displays.....	32
2.6.5	Módulo de radio control.....	33
2.6.6	Tarjeta de control.....	33
2.6.7	Distribución de carga eléctrica.....	34
2.6.8	Caja de protección.....	35
2.7	Diseño del mando inalámbrico.....	35
2.7.1	Botones y palancas de control.....	37
2.7.2	Tarjeta de control.....	37
2.7.3	Módulo de comunicación.....	37
2.7.4	Display LCD e indicadores.....	37
2.7.5	Batería.....	38
2.7.6	Carcasa.....	40
CAPÍTULO 3.....		42
3.	Resultados y análisis.....	42
3.1	Sensores y actuadores seleccionados.....	42
3.2	Interfaz.....	43
3.3	Diagrama electrónico de la interfaz.....	46
3.4	Análisis de la carcasa del radio control industrial.....	46

3.5	Radio control industrial	48
3.6	Programación y pantallas	53
3.7	Análisis de costos.	65
CAPÍTULO 4.....		68
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	68
4.1	Conclusiones	68
4.2	Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA.....		71
APÉNDICES		75

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PWM	Pulse-width modulation
I2C	Inter-Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
NC	Normalmente abierto
NA	Normalmente cerrado
LCD	Liquid crystal display
DIN	Deutsches Institut für Normung
IP	Ingress Protection
RF	Radio frecuencia

SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
kg	Kilogramo
N	Newton
Nm	Newton metro
cm	Centímetro
V	Voltio
A	Amperios
mA	milliamperes
Ah	Amperes hora
DC	Direct Current
W	Watts
MPa	Mega pascales
MHz	Mega Hertz
RPM	Revoluciones por minuto
GPM	Galones por minuto
psi	Libra por pulgada cuadrada
$E_{bateria}$	Energía de la batería
$I_{bateria}$	Corriente de la batería
S_y	Resistencia a la fluencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Perforadora hidráulica SIMCO 2800	4
Figura 1.2 Receptor Telekino	4
Figura 1.3 Radio control T18SZ FUTABA Mode 2	5
Figura 1.4 Radio control M880 THOR2 M de IMET	6
Figura 1.5 Grados de protección IP según DIN EN IEC60529	7
Figura 1.6 Cilindro de doble efecto	8
Figura 1.7 Motor hidráulico Char Lynn serie 2000	9
Figura 1.8 Válvulas direccionales-Vías/Posiciones	9
Figura 1.9 válvula direccional 4/3 Tiandi 4WEH16J	10
Figura 1.10 Presostato Festo.....	10
Figura 1.11 Enconder	11
Figura 1.12 Arduino Mega 2560	12
Figura 1.13 Modulo RF nRF24L01.....	13
Figura 1.14 Características Módulo de RF 2.4GHz	13
Figura 1.15 Modulo Relay 1 canal	14
Figura 1.16 Modulo Relay Arduino 8 canales	14
Figura 2.1 Perforadora hidráulica SIMCO 2800 HSHT 1980	15
Figura 2.2 Metodología de diseño.....	16
Figura 2.3 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -I	17
Figura 2.4 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -II	17
Figura 2.5 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -III	17
Figura 2.6 Motor Deutz f2I511	18
Figura 2.7 Características SIMCO 2800 HS HT	19
Figura 2.8 Motor hidráulico Char-Lynn serie 2000.....	19
Figura 2.9 Diagrama hidráulico SIMCO 2800 HSHT actual.	20
Figura 2.10 Diagrama de acciones de la perforadora hidráulica SIMCO 2800.....	24
Figura 2.11 Diagrama esquemático de la interfaz	25
Figura 2.12 Diagrama del tablero de control.....	26
Figura 2.13 Sensor de presión hidráulica SENDO SENSOR SS302.G14.500B.4.5V	27

Figura 2.14 Filtro complementario	28
Figura 2.15 Giroscopio y acelerómetro MPU 6050	28
Figura 2.16 Ángulos y sistema de referencia.....	29
Figura 2.17 Circuito hidráulico modificado	30
Figura 2.18 EATON ELECTRIC M22-WS3	31
Figura 2.19 Interruptor HKA1-41Z02 hakacn Electric	31
Figura 2.20 Boton stop Elewind	32
Figura 2.21 APT AD16-22DS	32
Figura 2.22 Display 20x4 I2C	32
Figura 2.23 Modulo 433MHz RF	33
Figura 2.24 Gabinete Spacial CRN H500xW400xD200	35
Figura 2.25 Diagrama esquemático del radio control industrial	36
Figura 2.26 Diagrama de los elementos del mando.....	36
Figura 2.27 Pulsador Coolair 16mm 12V IP67	37
Figura 2.28 Fuente DC-DC LM2596	40
Figura 3.1 Base de módulos RF de la interfaz.....	45
Figura 3.2 Base LCD 16X4	45
Figura 3.3 Vista frontal de la interfaz	46
Figura 3.4 Dimensiones de la interfaz.....	46
Figura 3.5 Maquinado en aluminio 6061	50
Figura 3.6 Maquinado en otros materiales.....	50
Figura 3.7 Vista isométrica del radio control industrial.....	51
Figura 3.8 Vista superior del radio control industrial	51
Figura 3.9 Vista frontal del radio control industrial	52
Figura 3.10 Dimensiones del radio control industrial	52
Figura 3.11 Propiedades generales del radio control industrial	53
Figura 3.12 conexión de pines Arduino Mega 2560.....	53
Figura 3.13 Secuencia de encendido.....	56
Figura 3.14 Pantalla de inicio.....	56
Figura 3.15 Pantalla de estados	57
Figura 3.16 Actualización de variables	58
Figura 3.17 Luces indicadoras.....	58
Figura 3.18 Secuencia activación de palancas.....	59

Figura 3.19 Error de palancas de avance	61
Figura 3.20 Error de palancas de giro.....	62
Figura 3.21 Error de nivelación.....	62
Figura 3.22 Error de presión baja	62
Figura 3.23 Pantalla de parada de emergencia	63
Figura 3.24 Envío y recepción de datos.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Evaluación del peso específico de cada criterio.	21
Tabla 2.2 Matriz de decisión para el control remoto.	21
Tabla 2.3 Requerimientos de diseño.	22
Tabla 2.4 Especificaciones técnicas	23
Tabla 2.5 Presión en los sensores de presión hidráulica.....	27
Tabla 2.6 Electroválvulas direccionales	29
Tabla 2.7 Entradas y salidas.....	33
Tabla 2.8 Potencia eléctrica de la interfaz	34
Tabla 2.9 Potencia máxima del mando.....	38
Tabla 2.10 Masa de los elementos del mando	40
Tabla 2.11 Opciones de la carcasa del mando.....	41
Tabla 2.12 Materiales para el radio control industrial.....	41
Tabla 3.1 Sensores y actuadores	42
Tabla 3.2 Componentes de la interfaz	43
Tabla 3.3 Análisis de tensión de la carcasa del mando	47
Tabla 3.4 Elementos seleccionados para el mando.....	48
Tabla 3.5 Entradas y salidas de la interfaz	54
Tabla 3.6 Funciones realizadas por el sistema.....	60
Tabla 3.7 Errores en el sistema de control	61
Tabla 3.8 Entradas y salidas del radio control industrial.....	64
Tabla 3.9 Costo de los sensores y actuadores electrohidráulicos	65
Tabla 3.10 Costo de los elementos de la interfaz	66
Tabla 3.11 Costo de los elementos del radio control.....	66
Tabla 3.12 Costo de la fabricación de la carcasa del mando.....	67
Tabla 3.13 Costo de diseño e instalación.	67
Tabla 3.14 Costo total del proyecto.	67

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Ensamble radio control industrial
PLANO 2	Carcasa de mando RF
PLANO 3	Carcasa de la batería
PLANO 4	Tapa de la batería
PLANO 5	Base para protección
PLANO 6	Protección para mando RF
PLANO 7	Ganchos para cinturón
PLANO 8	Tapa para módulo RF
PLANO 9	Visor de LDC 16X4
PLANO 10	Tapa inferior del mando
PLANO 11	Junta de tapa del mando
PLANO 12	Junta de la batería
PLANO 11	Maquinado de caja interfaz de perforadora
PLANO 12	Protector para transceptor de la interfaz
PLANO 13	Base para display 16X4

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, tanto en obras civiles como en explotaciones mineras se tiene una gran cantidad de maquinaria dedicada a las perforaciones. Estas máquinas, debido a su robustez, suelen tener un largo tiempo de vida útil y siguen estando en condiciones adecuadas de trabajo luego de décadas. Debido a los costos elevados y los largos tiempos de vida, realizar una actualización y mejoras de estos equipos se vuelve viable. Como se puede ver en páginas web como geoprobe.com [1], machinerytrader.com [2], machinio.com [3], etc., el costo de una perforadora SIMCO 2800 puede oscilar entre \$ 50 000 y \$15 0000, teniendo una antigüedad entre los 15 o 20 años.

Uno de los aspectos primordiales para la seguridad de los operarios es la capacidad de usar dichas máquinas de manera remota, lo cual es poco común en equipos con más de 20 años de antigüedad. Hay que considerar que, debido al paso del tiempo y el uso, algunas de estas máquinas suelen perder ciertas funciones con las cuales se diseñaron originalmente.

La empresa Ingeniería de la Tierra S.A (INTISA S.A) se dedica a las perforaciones y cimentaciones profundas en proyectos de ingeniería civil. Para realizar sus actividades, cuenta con un arsenal de herramientas y maquinaria pesada, típicamente activada por poder oleohidráulico.

Por tal motivo se busca realizar el control de las máquinas perforadoras mediante un mando a distancia inalámbrico, permitiendo el control de la velocidad de avance, la rotación y la nivelación de manera remota. Además, se desea mantener el sistema oleohidráulico existente.

1.2 Justificación del problema

Actualmente se comercializa un sin número de maquinarias automatizadas dedicadas a la perforación. Estas máquinas tienen un costo elevado, un ejemplo de esto es la perforadora DRILLING RIG MI2 de la marca Massenza la cual se vende a un valor de € 100 000 [4], siendo ese modelo uno de los más pequeños de la marca, por lo tanto, las inversiones destinadas a automatizar maquinaria antigua suelen realizarse. Debido a esto la empresa INTISA S.A busca implementar la automatización de una de sus máquinas perforadoras para modernizar, facilitar su uso y minimizar los riesgos laborales al usarla.

Por tal motivo, en este proyecto se plantea un diseño de una interfaz que permita la automatización deseada en la máquina perforadora. Cumpliendo todos los requerimientos específicos de tal manera que el diseño se pueda implementar en futuros proyectos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de control y automatización para una máquina perforadora, basado en un mando a distancia y una interfaz con el sistema oleohidráulico existente.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar el circuito hidráulico presente en la perforadora para comprender el estado actual de la máquina.
- Diseñar un mando a distancia inalámbrico para controlar la perforadora de manera remota.
- Diseñar una interfaz electrohidráulica que permita controlar las funciones presentes en la perforadora con el mando a distancia.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Perforadora hidráulica

Es un tipo de maquina diseñada para realizar la perforación del terreno mediante la rotación de una herramienta de corte, utilizando un fluido hidráulico destinado a la transmisión de la potencia. Dicha potencia es suministrada por un motor (a combustión o eléctrico) que mueve una o varias bombas hidráulicas. El fluido hidráulico es presurizado y desplazado por las bombas hidráulicas hasta el motor hidráulico que rota la herramienta de corte. Como medio de transporte del fluido hidráulico se usa una red de mangueras o tuberías y un conjunto de válvulas. El sentido de rotación y el par mecánico en la herramienta depende de la manipulación del fluido hidráulico que llega al motor, esta manipulación es realizada en las válvulas las cuales son controladas por un operario [5].

SIMCO es una empresa de origen estadounidense surgida en 1971 que se dedica al diseño y construcción de perforadoras hidráulicas [6]. La Figura 1.1 muestra una perforadora SIMCO 2800 en operación. También se puede montar toda la perforadora sobre un vehículo motorizado.



Figura 1.1 Perforadora hidráulica SIMCO 2800 [7]

1.4.2 Radiocontrol

El primer radiocontrol registrado en el mundo se presentó en 1903 en la Academia de Ciencias de Paris. Fue diseñado por el español Leonardo Torre Quevedo quien invento el “Telekino”. Este invento consistía en autómata que recibía órdenes mediante ondas de radio [8]. En la Figura 1.2 podemos ver el receptor del Telekino.



Figura 1.2 Receptor Telekino [9]

El desarrollo de los radiocontroles ha avanzado mucho con el apareamiento de la electrónica digital, en la Figura 1.3 podemos ver un mando de radiocontrol T18SZ de la marca FUTABA. Este radio

control está destinado al control de vehículos no tripulados como los drones.



Figura 1.3 Radio control T18SZ FUTABA Mode 2 [10]

El radio control cuenta con 18 canales en su comunicación, una pantalla LCD de 4.3 pulgadas y 15 diferentes modos de manejo, tiene con un costo de € 1 170 [11].

1.4.3 Sistemas de radiocontrol industrial

De manera general un sistema de radiocontrol permite el control de algún dispositivo de manera remota usando un mando que usa las ondas de radio para realizar la comunicación entre él y el dispositivo. En el contexto de la industrial los radiocontroles cumplen la misma función que aquellos destinamos al uso genérico (juguetes, vehículos no tripulados, etc.), la diferencia consiste en la protección y robustez con los que son diseñados.

Existen algunos fabricantes en el mercado por ejemplo: Tele-Radio [12], ITOWA [13], AUTEC [14], IMET [15], KINEXTEC [16], etc. Estas empresas fabrican radio controles similares, la Figura 1.4 muestra

un mando de radiocontrol modelo M880 THOR2 M de la marca IMET, el cual tiene un grado de protección IP65 [17].



Figura 1.4 Radio control M880 THOR2 M de IMET [18]

1.4.4 Grados de protección IP

Acorde a la normativa DIN EN IEC60529, la protección dentro de los sistemas eléctricos ante cuerpos sólidos y contra el agua se mide con respecto a un código de dos letras y dos números. Las letras que representan esta norma son IP y siempre van delante de los números que las acompañan. Podemos realizar combinaciones de estos dos números siendo el primero como máximo el 6 y en el segundo el 8. El primer dígito determina la protección contra cuerpos sólidos y el segundo contra el agua. En la Figura 1.5 se muestra el significado de cada dígito correspondiente a cada tipo de protección [19].

PROTECCIÓN ANTE CUERPOS SÓLIDOS			PROTECCIÓN CONTRA EL AGUA	
	Sin protección	0	Sin protección	
	Protección contra objetos con diámetro superior a 50mm	1	Protección ante un goteo vertical	
	Protección contra objetos con diámetro superior a 12mm	2	Protección contra goteo con inclinación de 15°	
	Protección contra objetos con diámetro superior a 2.5mm	3	Protección ante pulverización	
	Protección contra objetos con diámetro superior a 1mm	4	Protección ante salpicaduras	
	Protección ante el polvo	5	Protección ante chorros de agua	
	Protección totalmente estanco ante el polvo	6	Protección ante chorros continuos de agua	
		7	Protección contra inmersiones temporales	
		8	Protección contra inmersiones permanentes	

Figura 1.5 Grados de protección IP según DIN EN IEC60529 [20]

Para ejemplificar la normativa la combinación siguiente, IP65, representa un sistema eléctrico con protección totalmente estanco ante el polvo y protección ante chorros de agua.

1.4.5 Sistema hidráulico

La hidráulica utiliza la presión de un fluido hidráulico para realizar el movimiento de pistones dentro de cilindros. Los sistemas hidráulicos se aplican en el funcionamiento de dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, plataformas elevadoras, maquinaria agrícola, excavadoras, etc. [21].

Las ventajas de estos dispositivos hidráulicos se pueden resumir en lo siguiente: “Gran potencia transmitida con pequeños componentes, posicionamiento preciso, arranque con cargas pesadas, movimientos lineales independientes de la carga ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control, operación suave e inversa, buen control y regulación y disipación favorable de calor” [22].

1.4.5.1 Cilindro de doble efecto

Son capaces de producir trabajo útil en los dos sentidos, ya que se dispone de una fuerza activa tanto en el avance como en el retroceso. Se construyen siempre en forma de cilindros de émbolo y poseen dos tomas para el fluido, cada una de ellas situada en una de las tapas de cilindro como se muestra en la Figura 1.6 [23].



Figura 1.6 Cilindro de doble efecto [24]

1.4.5.2 Motor Hidráulico

Los motores hidráulicos toman un fluido a alta presión, proporcionado por una bomba dentro de un sistema hidráulico y lo transforma en un movimiento rotacional, entregando una velocidad y un par dependiente del caudal y presión del fluido. Estos motores entregan fuerzas y pares elevados con un alto nivel de control en su movimiento [25]. En la Figura 1.7, se muestra un motor hidráulico de la marca Char Lynn serie 2000, el cual se puede mover a 191 RPM a una presión de operación de 2250 PSI [26]. Debido a estas características los motores hidráulicos son utilizados en máquinas de agricultura, maquinas herramientas y uso automático industrial.



Figura 1.7 Motor hidráulico Char Lynn serie 2000 [27]

1.4.5.3 Válvulas direccionales

Conocidas también como válvulas distribuidoras se utilizan para cambiar el sentido del flujo del líquido hidráulico dentro de un cilindro o motor para realizar su movimiento en uno u otro sentido [28]. Estas válvulas se caracterizan por tener una N cantidad de entradas o salidas y una M cantidad de posiciones de distribución del fluido, se puede tener válvulas de 2/2 que significan 2 vías y 2 posiciones, 4/3, 4/2 , etc. [29], como se ve en la Figura 1.8.

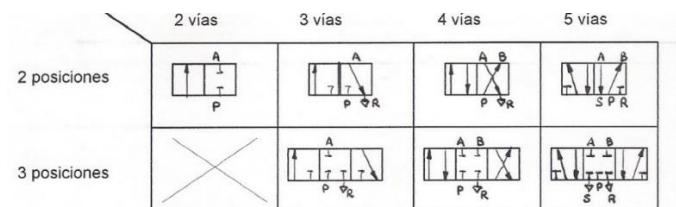


Figura 1.8 Válvulas direccionales-Vías/Posiciones [30]

Las válvulas direccionales se pueden controlar de manera mecánica por esfuerzo humano (palanca), mediante hidráulica (pilotadas) o de manera eléctrica (solenoides), también pueden tener un retorno por muelle (resorte). En la Figura 1.9 se puede ver una válvula direccional 4/3 electrohidráulica de la marca Tiandi modelo 4WEH16J.

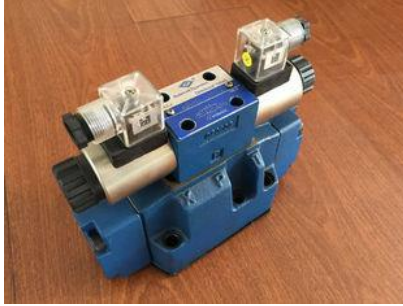


Figura 1.9 válvula direccional 4/3 Tiandi 4WEH16J [31]

1.4.5.4 Sensores de presión

Los sensores de presión se conocen como presostato, para los sistemas hidráulicos un presostato mide la presión del líquido hidráulico en el punto donde el dispositivo se ubique. La Figura 1.10 muestra un presostato hidráulico de la marca Festo.



Figura 1.10 Presostato Festo [31]

Este presostato hidráulico tiene una salida analógica de 0-10V, además requiere de 15-30V para su funcionamiento, puede medir hasta 10MPa [32] .

1.4.5.5 Sensores de posición y velocidad

Un encoder es un dispositivo de medición que permite determinar la posición y la velocidad de un elemento rotacional. Consiste en un sistema óptico que emite y recibe un haz de luz, además de un disco con perforaciones que se encuentra entre el emisor y el receptor, permitiendo el paso o no de la luz por medio de sus ranuras. Dependiendo del

cambio de esta señal se puede utilizar para determinar a qué velocidad y la posición del elemento rotacional acoplado al disco perforado [33]. En la Figura 1.11 se puede apreciar un esquema de un encoder.

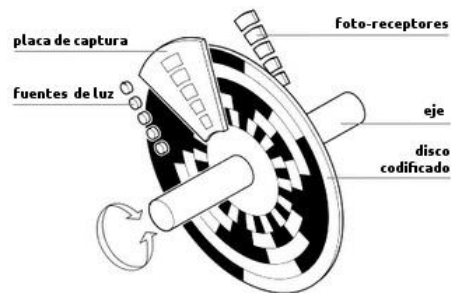


Figura 1.11 Encoder [34]

1.4.5.6 Esquemas hidráulicos

Los esquemas hidráulicos representan gráficamente los sistemas hidráulicos y estas representaciones gráficas están normadas bajo la norma DIN ISO 1219. Esta normativa regula los símbolos que se deben usar en los esquemas neumáticos e hidráulicos [35]. En el Apéndice A muestra la simbología dentro de la norma para las válvulas direccionales.

1.4.6 Interfaz de control

Una interfaz de control es un dispositivo electrónico que contiene una cantidad de puertos de entrada y salida para conectar sensores o actuadores dentro de un sistema a controlar. Ese dispositivo permite la interacción entre el operario y el sistema. La interfaz puede componerse por microcontrolador que se encarga de gestionar las órdenes y los datos leídos.

1.4.6.1 Arduino MEGA 2560

Es una placa electrónica basada en un microcontrolador ATmega2560. Cuenta con 54 pines que pueden ser usados como entradas o salidas digitales de los cuales 15 se

pueden usar como salidas PWM, 4 UART, 16 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16MHz, conexión I2C y SPI, una conexión USB y se puede energizar con una fuente de 12V DC o una batería, o energizarse por medio de su puerto USB [36].



Figura 1.12 Arduino Mega 2560 [37]

1.4.6.2 Comunicación inalámbrica en Arduino

Existen varios módulos destinados a las comunicaciones inalámbricas, de estos módulos se pueden dividir en 3 grupos dependiendo del método que use para realizar la comunicación [38]:

- Acústicos
- Ópticos
- Radio

La transmisión por medio del espectro radioeléctrico es la de mayor uso. Existen diversos tipos de módulos: Bluetooth, wifi, OOK y RF (receptor y emisor) que trabajan dentro de este espectro y son utilizados en el entorno de Arduino.

El NRF24L01 es un módulo de RF que se puede ver en la Figura 1.13, sus características se muestran en la Figura 1.14.

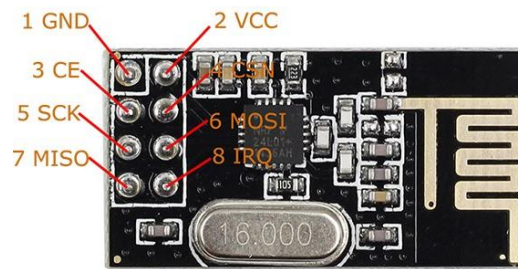


Figura 1.13 Modulo RF nRF24L01 [39]

- Voltaje de alimentación de 1.9 a 3.6V
- Control mediante SPI
- Banda ISM de 2.4GHz
- Velocidad de datos de hasta 2Mbps.
- Operación a muy baja potencia.
- 11.3mA TX a 0dBm de potencia de salida
- 12.3mA RX a una velocidad de datos de 2Mbps
- ShockBurst™ Mejorado
- Compatible con nRF2401A, 02, E1 y E2
- Selección de canales mediante software (125 disponibles)
- Antena externa con conector SMA (Incluida)
- Distancia de alcance de hasta 1200 metros en línea de vista

Figura 1.14 Características Módulo de RF 2.4GHz

Para los radiocontroles la comunicación inalámbrica utilizada es por medio de los RF debido a su velocidad de transmisión de datos y su alcance.

1.4.6.3 Módulo relay Arduino

Es un tipo de modulo diseñado para controlar altas corrientes o voltajes que no son soportados por un microcontrolador que llevan las placas de Arduino. Para realizar este control el módulo contiene un relay o relé, o un conjunto de ellos para ser controlados por las señales digitales provenientes del Arduino. En la Figura 1.15 podemos apreciar un módulo relay de un solo canal, la cantidad de canales indica la cantidad de relay dentro del módulo.



Figura 1.15 Modulo Relay 1 canal [39]

Estos módulos tienen 3 pines donde reciben la alimentación de 5V, GND y la señal (IN), a la salida 3 pines para manejar la carga, conectada la alimentación de hasta 250VAC (30VDC) y 10A. La salida tiene dos posiciones normalmente abierta (NA) y normalmente cerrada (NC), conmutando de una a otra dependiente de la señal, si es 5V representa 1 lógico y permite el flujo de corriente en NA y evitándolo en NC, si es 0V representa 0 lógico, en NC fluye la corriente y en NA no. La Figura 1.16 se muestra un módulo relay Arduino de 8 canales. En este se alimenta con 5V y GND, y se tiene 8 pines para cada señal que controla los relés [40].



Figura 1.16 Modulo Relay Arduino 8 canales [41]

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA.

Este capítulo contiene el reconocimiento del circuito hidráulico de la perforadora SIMCO modelo 2800 HSHT del año 1980 proporcionada por INTISA la cual se puede ver en la Figura 2.1. Se presentarán las alternativas de solución y requerimientos de diseño. Por último, se presentará el diseño de la interfaz de control y el mando a distancia.



Figura 2.1 Perforadora hidráulica SIMCO 2800 HSHT 1980

2.1 Secuencia de diseño

Para realizar el diseño de la interfaz y el mando inalámbrico se ha elaborado el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.2. En este diagrama se muestra la secuencia de pasos utilizada. Se inicia identificando el sistema hidráulico, el problema, los requerimientos y especificaciones. Luego se procede a evaluar las alternativas de solución para seleccionar la idónea, después se procede a realizar el diseño detallado de la interfaz y el mando inalámbrico para terminar con la integración final del sistema.

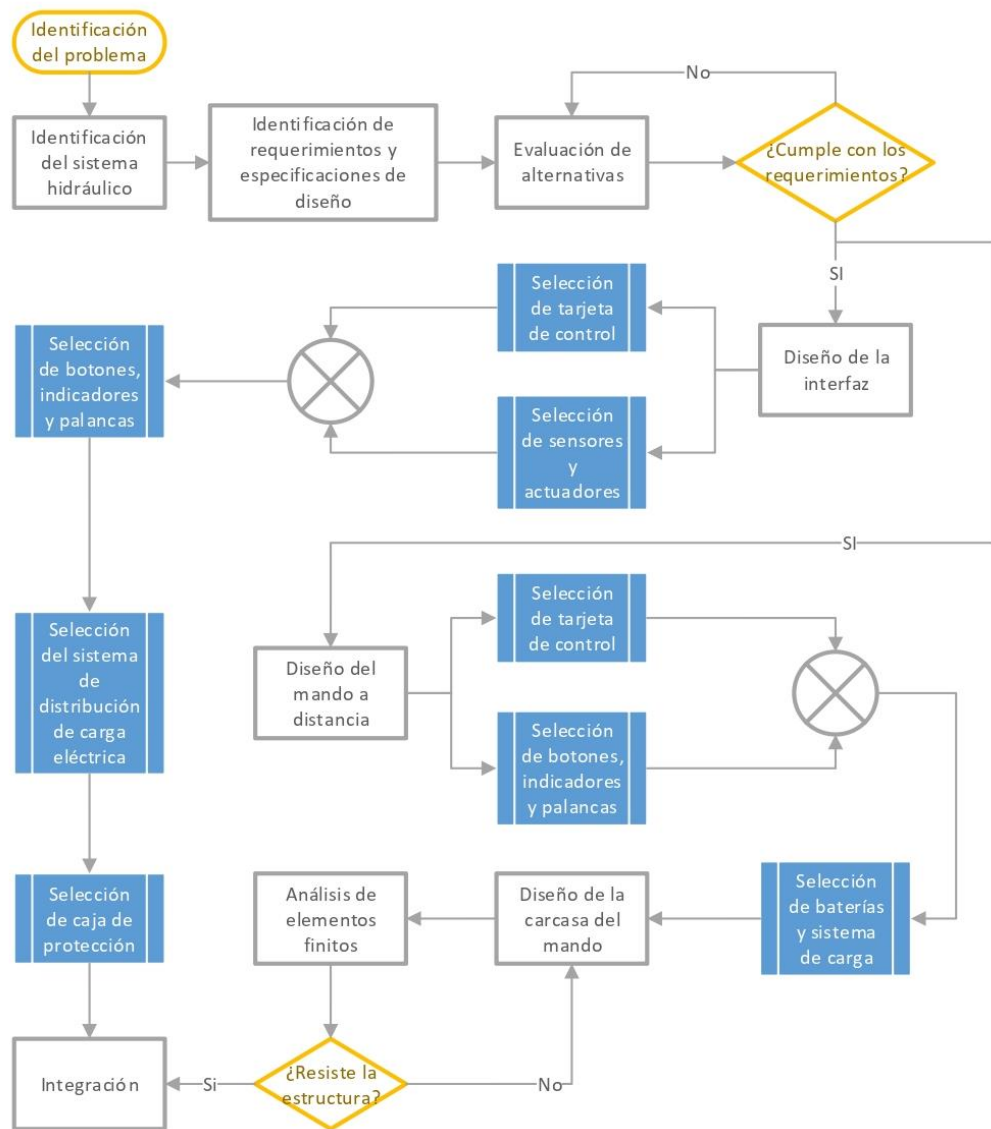


Figura 2.2 Metodología de diseño

2.2 Reconocimiento del sistema hidráulico

Esta sección se realizó debido a la discordancia entre el circuito hidráulico original presentado en el apéndice A que se encuentra en la sección de anexos y el presente en la máquina perforadora.

Se inició con un levantamiento de las partes de la perforadora, lo cual se muestra en la Figura 2.3, Figura 2.4 y Figura 2.5.



Figura 2.3 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -I

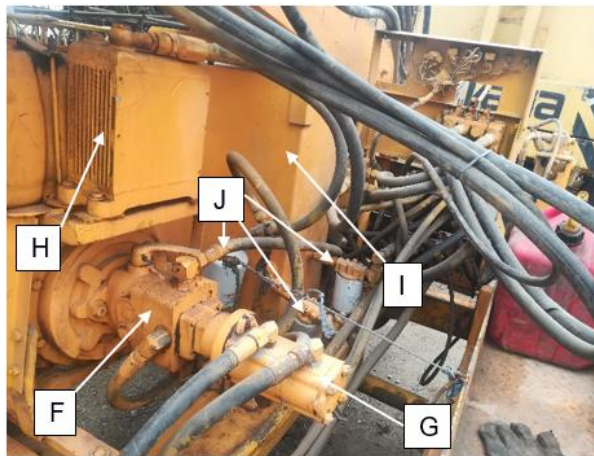


Figura 2.4 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -II

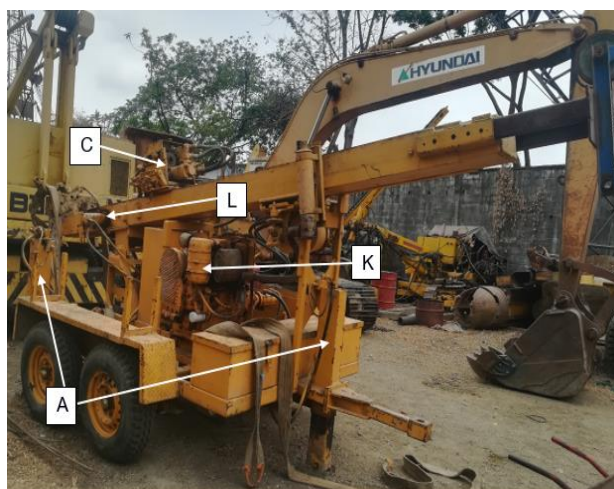


Figura 2.5 Partes de la perforadora SIMCO 2800 -III

En estas figuras se muestran las siguientes partes: A) cilindros de la base de la perforadora, B) cilindros del mástil, C) motor hidráulico de la herramienta de corte, D) válvulas direccionales, E) manómetro, F) bomba hidráulica de caudal variable 32GPM, G) bombas hidráulicas para cilindros hidráulicos GP2K28/2k10R, H) oil Cooler de 20000Btu, I) reservorio de aceite, J) filtros de aceite, K) motor diésel Deutz f2l511, L) motor hidráulico para el avance Char-Lynn 104 1220 006. En la Figura 2.6 se muestra el motor diésel que utiliza la perforadora.



Figura 2.6 Motor Deutz f2l511

Se mediante la inspección de las partes dentro del circuito se pudo confirmar que las características mostradas en la Figura 2.7 aún se mantienen, así que se utilizaron en este diseño.

<u>Drillhead</u>	
Single speed range hydrostatic tophead Drive with hydraulic off-hole, for wet rotary drilling (2840 ft.lbs. max/0-185 RPM)	
<u>Feed</u>	
Pullup/Pulldown	12,000 Lbs.
Rate of Travel-	0-100 Ft./Min.
<u>Mast and Extension</u>	
Drillhead travel – net stroke	136"
Overall length – ext., retracted	214"
Overall length – ext., raised	305"
<u>Hydraulic Pressure Relief</u>	
Rotary Head	5000 PSI
Pulldown	0-2500 PSI
21 GPM Circuit	2500 PSI
10 GPM	2500 PSI
<u>Hydraulic Flows</u>	
Variable Volume Pump	0-32 GPM
Auxiliary Pump	
Main Segment	23 GPM
Second Segment	11 GPM
Hydraulic Oil Cooler	20,000 BTU/Hr
Reservoir Capacity	32 Gal.

Figura 2.7 Características SIMCO 2800 HS HT [1]

Al no contar con información sobre la velocidad de rotación del motor hidráulico encargado del avance y retroceso de la mesa, se recurrió a la hoja de datos del motor, donde la velocidad del motor de máxima es de 385RPM y con un torque de 540 N-m [42], en la Figura 2.8 se puede apreciar la marca y modelo.



Figura 2.8 Motor hidráulico Char-Lynn serie 2000

Se realizó un diagrama del circuito hidráulico presente. En la Figura 2.9 se muestra dicho circuito.

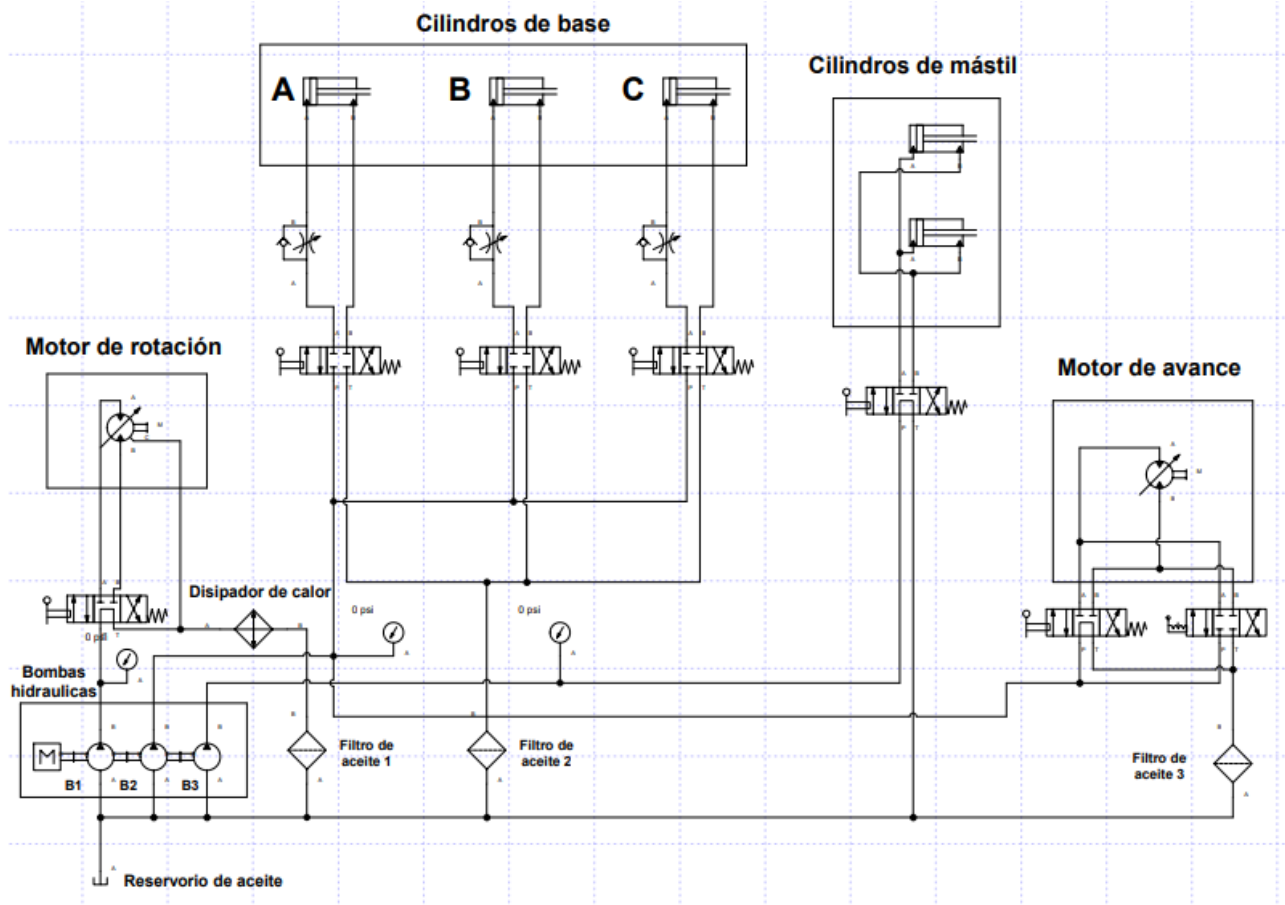


Figura 2.9 Diagrama hidráulico SIMCO 2800 HSH actual.

2.3 Alternativas de solución

Se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados mostrado en el libro de Diseño concurrente de Carles Riba [43]. Antes de iniciar con el método se detalla lo siguiente: para controlar el funcionamiento local de la perforadora se requiere utilizar una interfaz la cual será la misma para las alternativas de diseño. Estas alternativas dependen de la manera que se realiza el control remoto de la perforadora. En este método de comparación de alternativas de solución se inicia realizando una evaluación del peso específico de cada criterio mostrado en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Evaluación del peso específico de cada criterio.

Robustez >Costo>Consumo de energía>Costo de mantenimiento>Estética							
Criterio	Costo	Costo de mantenimiento	Estética	Trasladable/Portable	Robustez	Suma+1	Ponderación
Costo	1	0	0	0	0	4	0.27
Costo de mantenimiento	0	1	0	0	0	2	0.13
Estética	0	0	1	0	0	1	0.07
Trasladable/Portable	0	1	1	1	0	3	0.20
Robustez	1	1	1	1	1	5	0.33
					suma	15	1

Se ha considerado dentro de la matriz dos alternativas para realizar el control remoto. Para la primera solución se plantea utilizar un radio control industrial y en la segunda solución utilizar IoT con una aplicación móvil para Android. Dentro del método como segundo paso se realiza una evaluación de los pesos específicos de las distintas soluciones para cada criterio lo cual se muestra en el Apéndice C, luego de esto se realiza la conclusión de la evaluación de las alternativas mostrada en la Tabla 2.2.

Se concluye con lo siguiente: El control remoto debe adaptarse a las duras condiciones de trabajo y sea de fácil manejo. La mejor opción según la matriz es un radio control universal.

Tabla 2.2 Matriz de decisión para el control remoto.

Criterio / Opción	Costo	Costo de mantenimiento	Estética	Consumo de energía	Robustez	Suma	Prioridad
Radio control Industrial	0.18	0.04	0.04	0.13	0.22	0.62	1
App Android	0.09	0.09	0.02	0.07	0.11	0.38	2

2.4 Requerimientos de diseño.

En la Tabla 2.3 se muestran los requerimientos de diseño considerados para el diseño del sistema; se utilizaron para calcular los elementos presentes en la electrónica y la mecánica del sistema.

Tabla 2.3 Requerimientos de diseño.

Criterio	Requerimiento
Funciones	Operar el proceso de perforación de manera remota y local. Minimizar el contacto del operario con la perforadora. Indicar la nivelación de la perforadora.
Energía	Interfaz capaz de ser alimentada por la batería de 12V de la perforadora. La batería del radio control debe soportar un día de trabajo continuo.
Seguridad	Seguridad contra agentes externos como polvo y agua. Contra golpes en la interfaz. Parada de emergencia en el mando y la interfaz.
Telemetría	Visualizar presión y velocidades de los motores.
Portabilidad	Mando capaz de ser cargado por un operario durante su jornada de trabajo.
Costo	Similar a los sistemas de radio control industrial presentes en el mercado.

2.5 Especificaciones técnicas

Para realizar el diseño y selección de los elementos electrónicos y mecánicos del sistema se consideraron las siguientes especificaciones técnicas mostradas en la Tabla 2.4, las cuales se acordaron con INTISA y también se obtuvieron comparando sistemas similares de radio controles industriales similares.

Las limitaciones más importantes como el volumen, autonomía, grado de protección, peso del mando y su alcance se han considerado para el diseño del mando. También el tipo de interruptores y volumen que debe tener la interfaz.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas

Parámetro	Especificación
Volumen de la interfaz	50 x 40 x 30 cm máximo
Volumen del mando	40 x 20 x 20 cm máximo
Peso del mando	10 kg máximo
Alcance del mando	100 m
Palancas de control	Con retorno y sin retorno automático
Autonomía del mando	10 horas
Protección	IP65 o superior
Indicadores	LCD y luces piloto
Sensores	Presión, velocidad e inclinación

2.6 Diseño de la interfaz

Para iniciar el diseño de la interfaz se realizó un diagrama de flujo de la operación de la perforadora hidráulica, el cual se puede ver en la Figura 2.10.

Se aprecia que después del encendido del motor se pueden realizar cuatro acciones diferentes por separado. La primera columna muestra la secuencia de pasos para la nivelación de la base de la perforadora, donde se pueden controlar los tres cilindros hidráulicos dedicados a este propósito. Al lado derecho se encuentra el posicionamiento del mástil, el cual puede estar de manera vertical o inclinada, para la operación de la perforadora debe estar en vertical. El siguiente ramal muestra las acciones necesarias para controlar el avance de la herramienta de corte, donde se requiere incorporar tubería a medida que se va perforando, este movimiento de ascenso y descenso es realizado por un motor hidráulico. En la última parte se controla la rotación de la herramienta de corte, esto es realizado por un motor hidráulico que puede rotar la herramienta en sentido horario o antihorario.

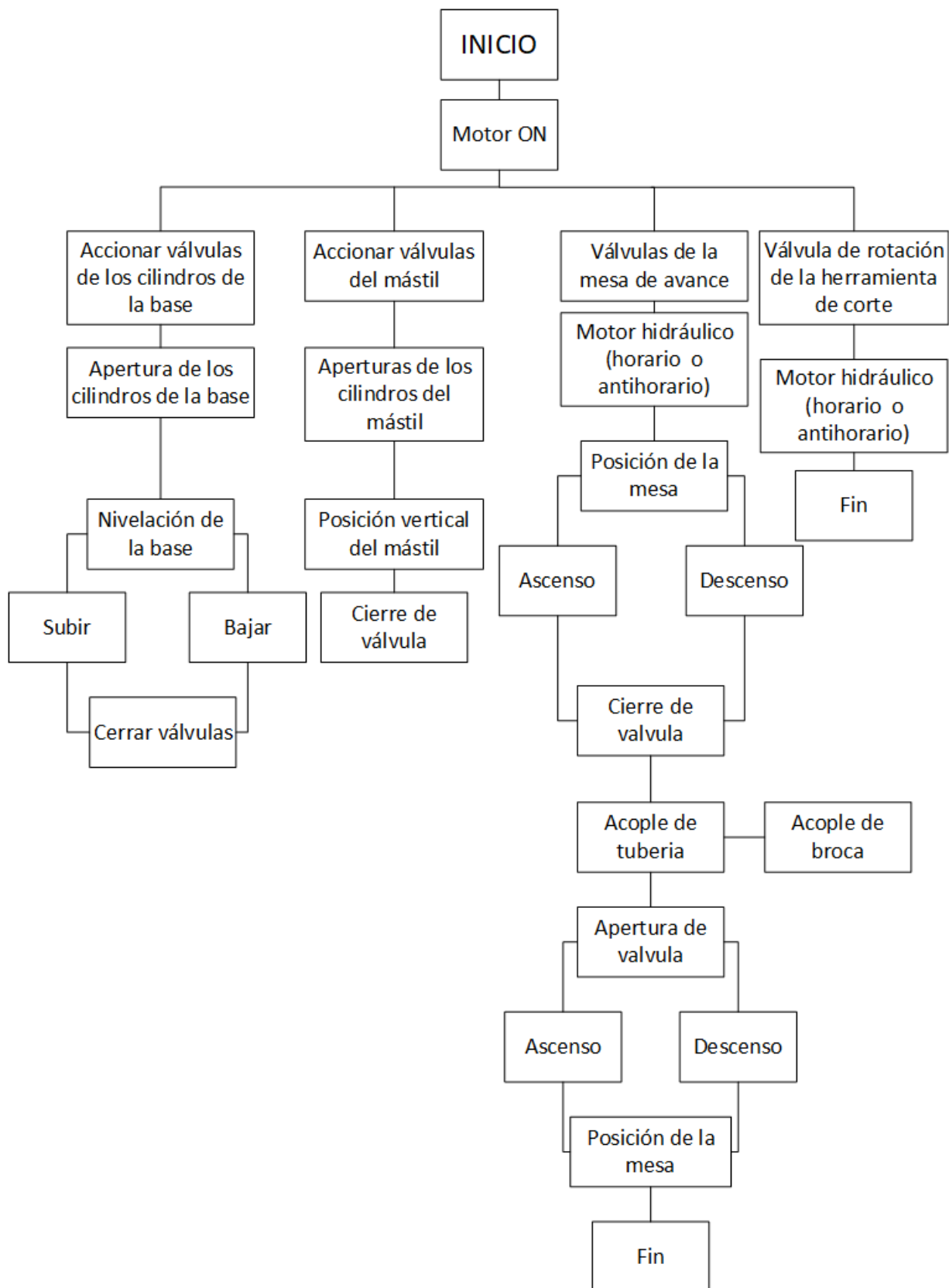


Figura 2.10 Diagrama de acciones de la perforadora hidráulica SIMCO 2800

Se desarrolló el diagrama esquemático del interfaz mostrado en la Figura 2.11. Este diagrama se utilizó para separar las partes que comprenden el sistema y poder analizar a detalle cada una de ellas. Luego de determinar las características de los actuadores, sensores, módulos de comunicación e indicadores se procedió con las características de la tarjeta de control.

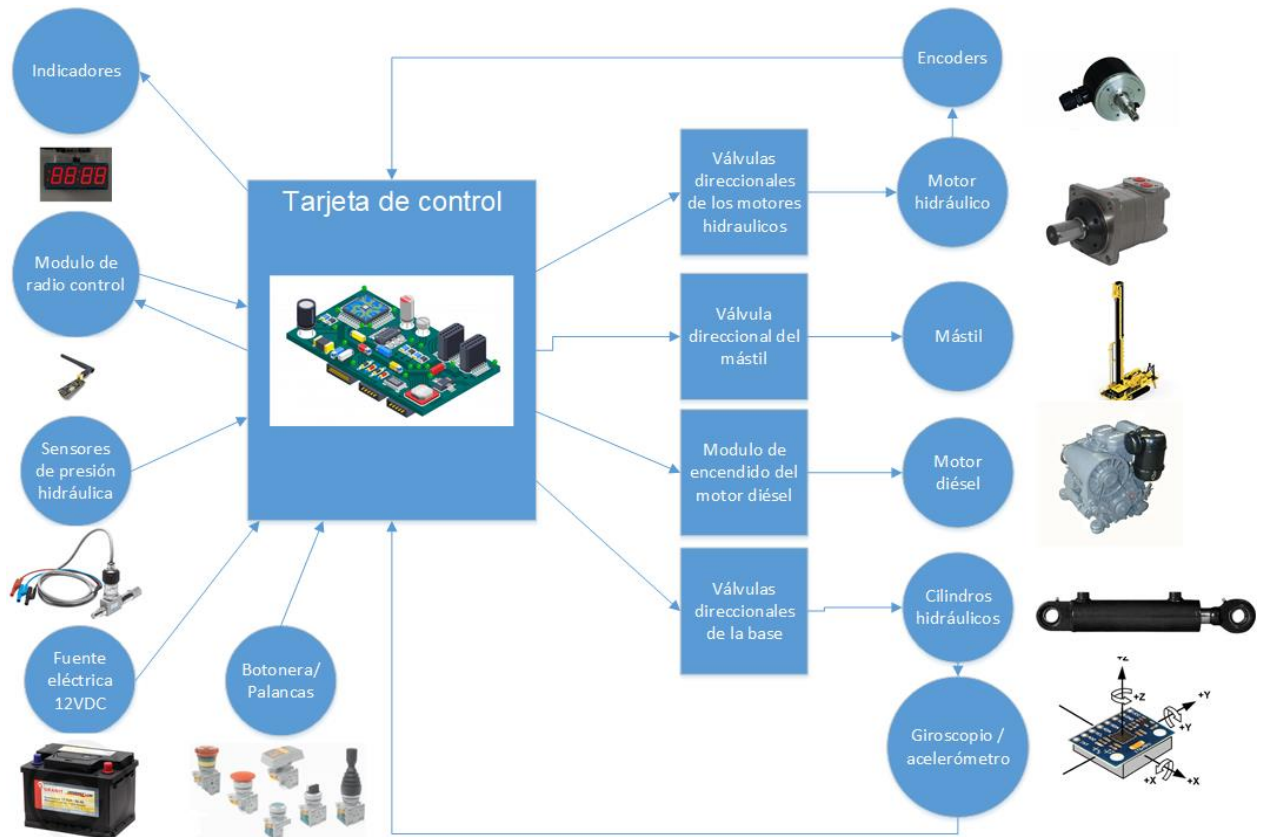


Figura 2.11 Diagrama esquemático de la interfaz

Para establecer la cantidad de elementos requeridos se realizó un diagrama del tablero de control que se conectara a la interfaz. En la Figura 2.12 se puede ver la distribución de los elementos.

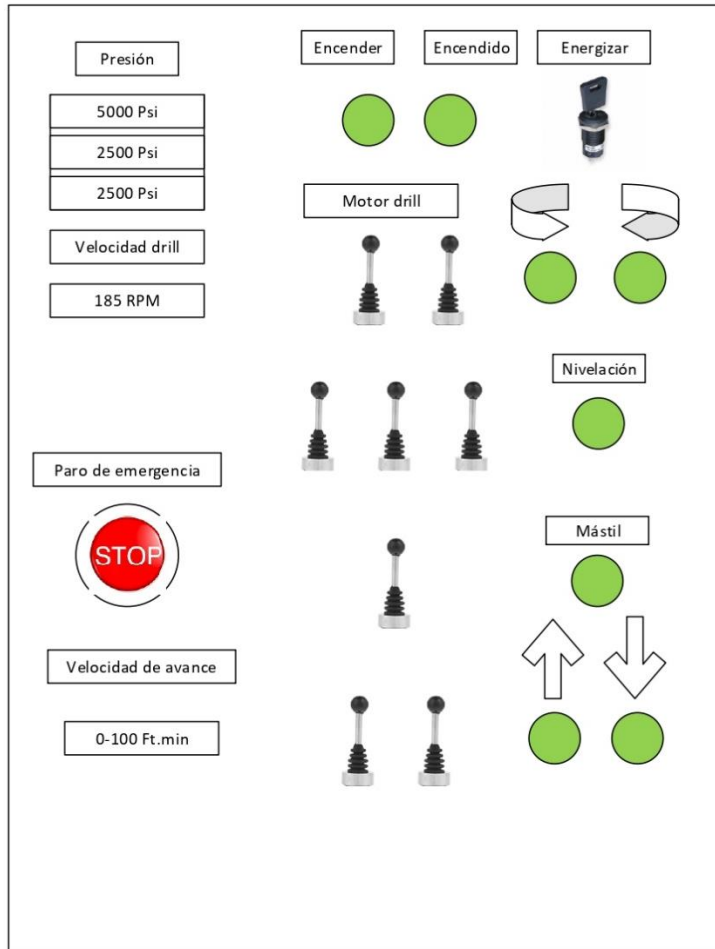


Figura 2.12 Diagrama del tablero de control

2.6.1 Sensores requeridos

Para cumplir con los requerimientos de diseño y las especificaciones técnicas se requieren tres tipos de sensores: de presión hidráulica, sensor de posición y velocidad rotacional, sensor acelerómetro y giroscopio.

Utilizando la Figura 2.7 donde se detallan las presiones dentro del sistema y el diagrama hidráulico de la Figura 2.9 donde se muestran las posiciones de los manómetros se obtuvo lo mostrado en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Presión en los sensores de presión hidráulica

Manómetro	Presión máxima
Manómetro 1 (sensor 1)	5000 psi
Manómetro 2 (sensor 2) y Manómetro 3 (sensor 3)	2500 psi

Para estandarizar la comunicación que tendrán los sensores de presión se ha optado por una señal 0-5 VDC y su alimentación por 10VDC. El sensor que cumple tiene estas características es el SENDO SENSOR SS302.G14.500B.4.5V de la Figura 2.13



Figura 2.13 Sensor de presión hidráulica SENDO SENSOR SS302.G14.500B.4.5V [44]

En la Figura 2.7 se muestra la velocidad (185RPM) del motor que rota la herramienta de corte. Para el motor encargado del avance o retroceso ya se había mencionado que su velocidad es de 191RPM. Como los dos casos son similares se requieren un par de encoders que puedan medir dentro del rango de 0-200RPM.

El sensor acelerómetro y giroscópico se requiere para determinar los ángulos de inclinación de la base de la perforadora.

Este ángulo se obtiene realizando un “Complementary Filter” o filtro de complemento. La Figura 2.14 muestra la composición de ese filtro.

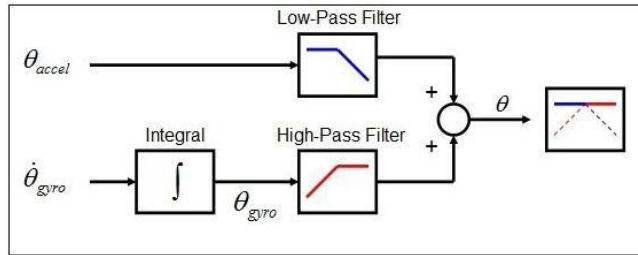


Figura 2.14 Filtro complementario [45]

La ecuación 2.1 muestra el cálculo necesario para determinar el ángulo de inclinación.

$$\begin{aligned} \text{Ángulo} = & 0.98 * (\text{ángulo} + \omega_{\text{giroscopio}} * dt) \\ & + 0.02 * (\text{ang}_{\text{acelerómetro}}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

El acelerómetro y giroscopio seleccionado es un MPU6050 mostrado en la Figura 2.15, no tiene protección IP adecuada para la aplicación, pero estará dentro de una caja con protección IP66.

Este módulo permite la conexión median I2C y SPI lo cual da versatilidad al momento de conectarse con la tarjeta de control.

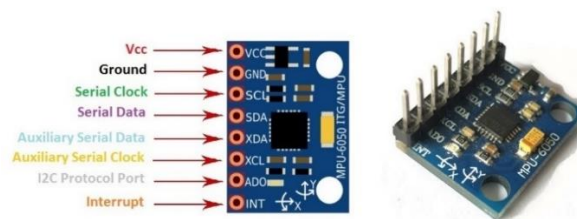


Figura 2.15 Giroscopio y acelerómetro MPU 6050 [46]

Por último, para realizar la medición de los ángulos se usará el siguiente sistema de referencia, donde los ángulos de interés son los ángulos de *roll* y *pitch*, lo cual se muestra en la Figura 2.16.

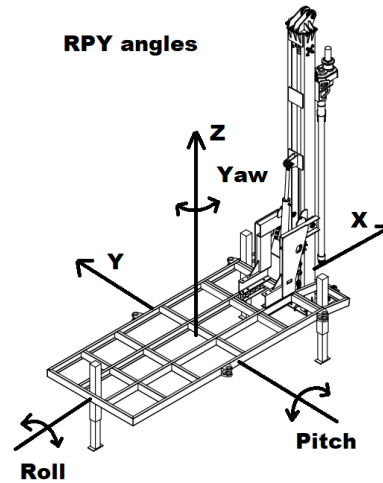


Figura 2.16 Ángulos y sistema de referencia

2.6.2 Actuadores

En la Figura 2.9 se aprecian siete válvulas direccionales accionadas por esfuerzo humano (palancas). Se realizó la modificación de este accionamiento por solenoides, lo que implica el cambio de estas válvulas por electroválvulas direccionales.

Este cambio reduce la cantidad de válvulas direccionales a seis, en la Figura 2.17 donde se aprecia la modificación y de manera más detallada en el apéndice C. En la Tabla 2.6 se muestran las características de las válvulas direccionales requeridas.

Tabla 2.6 Electroválvulas direccionales

Cantidad	Elemento
1	Válvula 4/3 30-32 GPM
4	Válvula 4/3 20-23 GPM
1	Válvula 4/3 10 GPM

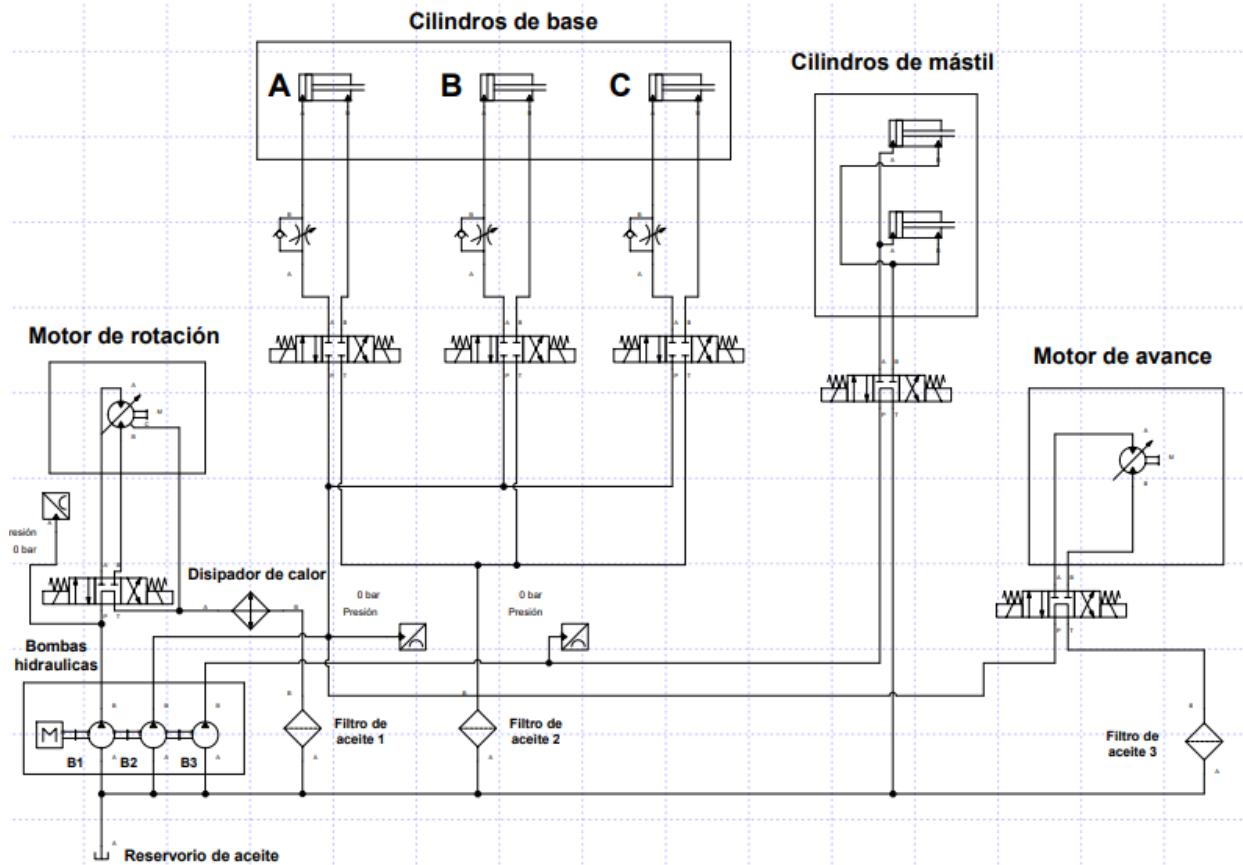


Figura 2.17 Circuito hidráulico modificado

Se requieren doce solenoides para accionar todas las válvulas, así mismo, doce salidas de relay en la tarjeta de control solo para ellas.

2.6.3 Botonera

Debido a un requerimiento de diseño donde se solicita controlar la operación de la perforadora de manera local, se presenta el diseño una botonera en la interfaz.

Para el encendido del motor diésel se requiere un interruptor de llave con grado de protección IP66, para este elemento se seleccionó un EATON ELECTRIC M22-WS3 mostrado en la Figura 2.18.



Figura 2.18 EATON ELECTRIC M22-WS3 [47]

En este diseño se incluyen interruptores de palanca de dos posiciones para simular las palancas que poseían las válvulas direccionales. Se seleccionó el interruptor de palanca HKA1-41Z02 de la marca hokacn Electric que se puede ver en la Figura 2.19, el cual posee enclavamiento (se queda en la posición seleccionada).



Figura 2.19 Interruptor HKA1-41Z02 hakacn Electric [48]

De este tipo de interruptores se utilizaron dos en el diseño para controlar la rotación de los motores hidráulicos, y seis del modelo HKL-C22 el cual es similar al de la Figura 2.19, pero este es de tipo momentáneo (regresa a la posición neutral luego de soltar la palanca).

Esta botonera también incluye un botón para el paro de emergencia el cual también posee grado de protección IP, en este caso IP65. La Figura 2.20 muestra el botón seleccionado.



Figura 2.20 Boton stop Elewind [49]

2.6.4 Luces piloto y displays

Continuando con el mismo grado de protección IP las luces piloto tienen protección IP66, las seleccionadas fueron las APT de 22 mm. En la Figura 2.21 se muestra la luz piloto. La cantidad de luces requerida



Figura 2.21 APT AD16-22DS [50]

El display LCD utilizado en el diseño es uno 20x4 con comunicación I2C, como se lo puede ver en la Figura 2.22.



Figura 2.22 Display 20x4 I2C [51]

2.6.5 Módulo de radio control

Para realizar la comunicación se utilizó un módulo nrf24l01 el cual es un transceptor se muestra en la Figura 1.13, este permite recibir y enviar datos mediante su modo de comunicación dúplex. Cumple con la especificación técnica de alcance de 100 m, requiere para su trabajo un voltaje de 3.3 V a menos de 15 mA. Todos estos datos se pueden ver en la Figura 1.14.

También se incorporó un módulo de radio frecuencia de 433Mhz como receptor con el fin de usarse como medio de comunicación secundario entre el mando y la interfaz, el cual se puede ver en la Figura 2.23.

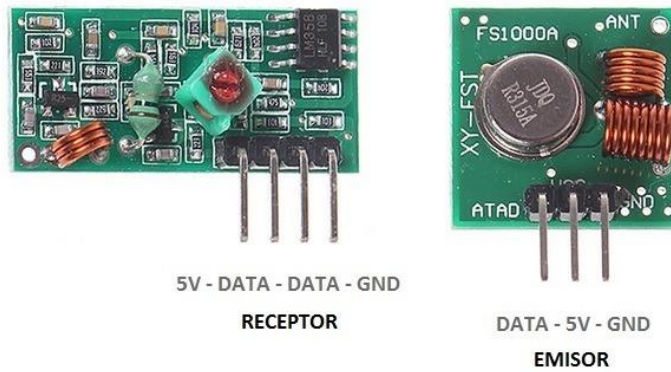


Figura 2.23 Modulo 433MHz RF [52]

2.6.6 Tarjeta de control

Para realizar la selección de la tarjeta de control se contabilizaron la cantidad de entradas y salidas, además se analizó si estas son analógicas o digitales. En la Tabla 2.4 se muestran las entradas y salidas detalladas.

Tabla 2.7 Entradas y salidas

	Entrada	Salida
Analógico	3	0
Digital	25	25

Además del número de entradas y salidas se consideró la fuente de alimentación de 12 V DC, la comunicación SPI y I2C, la cantidad de memoria interna disponible para su programación, su programación y la facilidad de conseguir módulos y sensores.

Se realizó la comparación entre: Raspberry Pi3+, Arduino Mega 2560 y PLC SIEMENS S7 1200. Debido a su cantidad de pines, la facilidad de programación y su bajo costo se seleccionó una tarjeta de Arduino Mega 2560.

2.6.7 Distribución de carga eléctrica

Para determinar la cantidad de energía requerida dentro de la interfaz se utilizó la Tabla 2.8

Tabla 2.8 Potencia eléctrica de la interfaz

Cantidad	Elemento	Corriente mA	Voltaje V	Potencia W
2	Display 16x4	25	5	0.25
7	Luz led	20	12	1.68
1	Arduino Mega 2560	200	12	2.4
8	Palancas	10	5	0.4
1	Pulsadores	10	5	0.05
1	Nrf24l01	15	5	0.075
1	RF 433MHZ	10	5	0.05
1	Parada de emergencia	10	5	0.05
1	Interruptor de llave	10	5	0.05
3	Sensor de presión	20	10	0.6
2	Encoder posimag® rot PMIR4	50	5	0.5
8	Válvulas de solenoide	20	12	1.92
Total				8.025

Se necesitan 8.025 W, que en la ecuación 2.2 se desglosa, aproximando a 8 W lo que se necesita para poner en funcionamiento la interfaz, esta energía será suministrada por una batería de 12 V que tiene incorporada la perforadora.

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_{luces} + P_{display} + P_{arduino} + P_{RF\ 433Mhz} + \\
 &P_{pulsadores} + P_{nrf24l01} + P_{palancas} + \\
 &P_{llave} + P_{Encoder} + P_{Sensores} + P_{Solenoid} \\
 P_{total} &= 8W
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

2.6.8 Caja de protección

Se seleccionó el gabinete Spacial CRN de la marca Schneider Electric el cual cuenta con protección IP66 y protección IK10 [53]



Figura 2.24 Gabinete Spacial CRN H500xW400xD200 [54]

2.7 Diseño del mando inalámbrico

Igual que en el diseño de la interfaz, se inició realizando un diagrama de los elementos pertenecientes al radio control industrial, lo cual se puede ver en la Figura 2.25. En este diagrama se puede ver la similitud que tiene con la interfaz, la diferencia es que este no cuenta con sensores o actuadores.

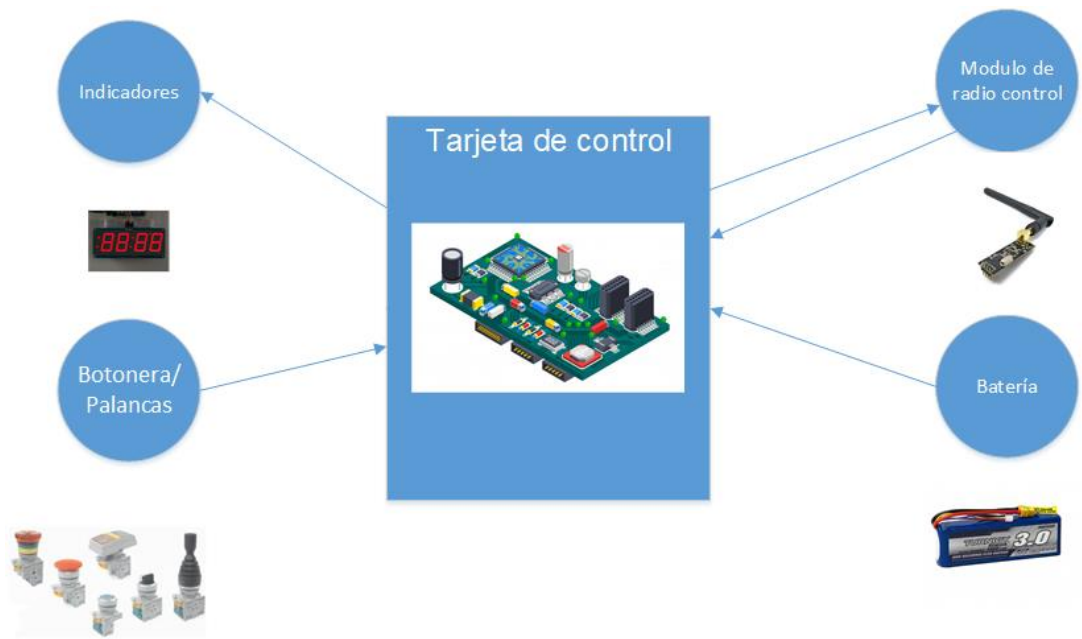


Figura 2.25 Diagrama esquemático del radio control industrial

Se realizó un diagrama secundario donde se muestra la distribución de los elementos que lo componen y con ello se cuantificaron los elementos en él, lo cual se puede ver en la Figura 2.26.

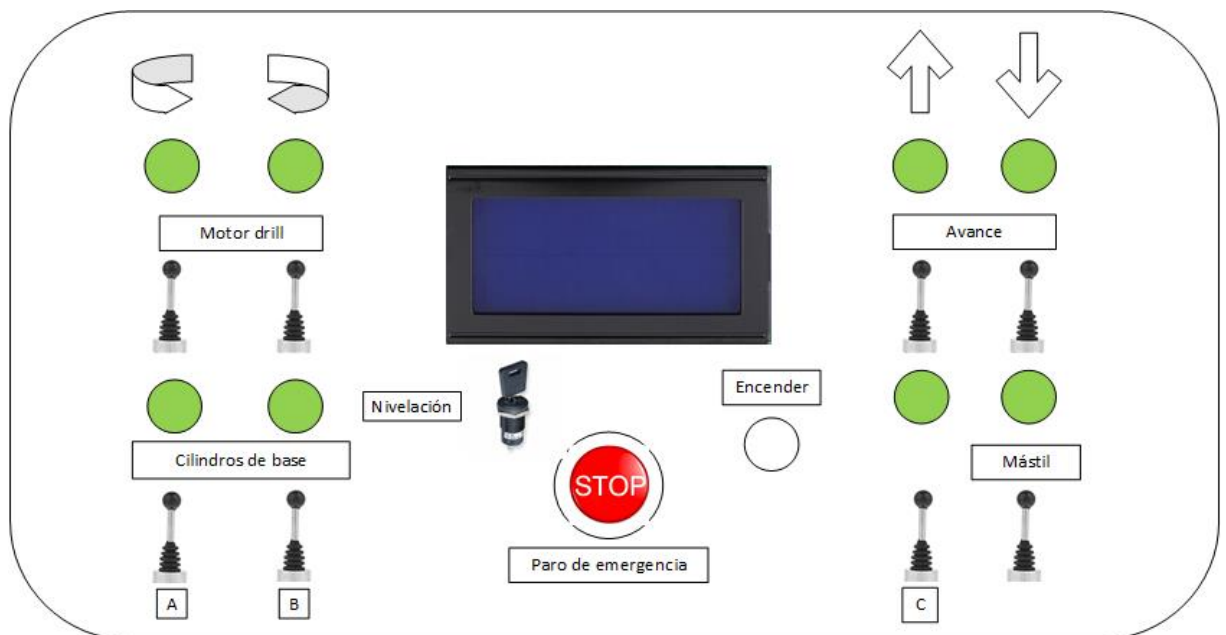


Figura 2.26 Diagrama de los elementos del mando

2.7.1 Botones y palancas de control

Siguiendo la especificación técnica que establece el grado de protección, mínimo IP66, los botones deben cumplir con este requerimiento. Para estos elementos se seleccionaron pulsadores con este grado de protección y con un tamaño de 16mm de diámetro. En la Figura 2.27 podemos ver uno de la marca Coolair el cual trabaja a 12 V y cuenta con enclavamiento.



Figura 2.27 Pulsador Coolair 16mm 12V IP67 [55]

Según el esquema de la Figura 2.26 se requieren ocho palancas, de las cuales seis son con retorno automático y dos con enclavamiento de manera similar a la interfaz.

2.7.2 Tarjeta de control

Se seleccionó la misma tarjeta de control que la interfaz, el Arduino Mega 2560 mostrado en la Figura 1.12, ya que cumple con la cantidad de entradas y salidas requerida para el mando.

2.7.3 Módulo de comunicación

De manera análoga en el punto anterior se seleccionó el mismo módulo de comunicación que la interfaz: el nrf24l01.

2.7.4 Display LCD e indicadores

El display LCD utilizado en el diseño es uno 20x4 con comunicación I2C, como se lo puede ver en la Figura 2.22

Para los indicadores se utilizaron luces piloto igual que en la interfaz, en la Figura 2.26 se pueden ver 7 de estas luces.

2.7.5 Batería

Para seleccionar la batería del radio control industrial, se consideró el número de elementos dentro del mando, la corriente y el voltaje de cada uno de ellos. En la Tabla 2.9 se aprecian cada uno de ellos.

Tabla 2.9 Potencia máxima del mando

Cantidad	Elemento	Corriente mA	Voltaje V	Potencia W
1	Display 16x4	25	5	0.13
9	Luz led	20	12	2.16
1	Arduino Mega 2560	200	12	2.40
5	Palancas	10	5	0.25
5	Pulsadores	10	5	0.25
1	Nrf24l01	15	5	0.08
1	RF 433MHZ	10	5	0.05
1	Parada de emergencia	10	5	0.05
1	Interruptor de llave	10	5	0.05
			Total	5.41

Utilizamos la ecuación 2.3 para calcular la potencia de cada elemento.

$$P_i = V_i I_i \quad (2.3)$$

Considerando que se encienden 5 luces piloto al mismo tiempo como máximo y que también que el módulo nrf24l01, el display 16x4, el Arduino Mega 2560 se activan permanentemente. Además, se consideran 3 palancas y 3 pulsadores al mismo tiempo, la suma se calcula usando la ecuación 2.4 mostrada a continuación.

$$P_{total} = P_{luces} + P_{display} + P_{arduino} + P_{RF\ 433Mhz} + P_{pulsadores} + P_{nrf24l01} + P_{palancas} + P_{llave}$$

$$P_{total} = 5.4W \quad (2.4)$$

Se debe alimentar al mando durante 10 horas para lograr lo solicitado en los requerimientos de diseño.

Por otro lado, las baterías miden su carga en mAh, específicamente las baterías de LiPo tienen 3.7V por cada celda, una batería 3S tiene tres celdas y 11.1V, que es el voltaje más aproximando a los 12V requeridos. Si usamos una batería LiPo 3S de 5000mAh se tiene una potencia de 55.5Wh usando la ecuación 2.3.

Para determinar el tiempo de operación del mando con la batería indicada se utilizó la ecuación 2.5.

$$Tiempo = \frac{E_{bateria}}{P_{mando}} \quad (2.5)$$

$$E_{bateria} = (5.41W)(10h) = 54.1Wh$$

$$I_{bateria} * h = 4874mAh$$

De este cálculo se establece que la batería puede durar 13.2 horas lo cual supera lo requerido. Debido a pérdidas de potencia en los elementos se espera que la batería solo dure un 90% de lo calculado, lo que nos da aproximadamente 12 horas de autonomía.

Por último, debido a la variación de voltajes requeridos para la operación de los elementos de selección se seleccionó una fuente de voltaje DC-DC basado en un LM2596, el cual puede operar con un voltaje de entrada de 4.5-40 V dando a su salida un voltaje de 1.5-35 V y una corriente máxima de 3 A. Dicho módulo se puede observar en la figura 2.28.



Figura 2.28 Fuente DC-DC LM2596 [56]

2.7.6 Carcasa

2.7.6.1 Masa de los elementos del mando

Para cumplir con la especificación técnica de masa solicitada en la Tabla 2.4. Se ha presentado la sumatoria de todos los elementos que componen el mando omitiendo la carcasa.

Tabla 2.10 Masa de los elementos del mando



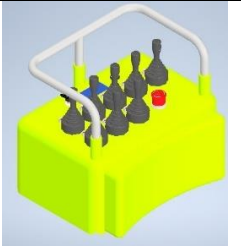
Cantidad	Elemento	Masa Kg	Masa total Kg
1	Display 16x4 I2C	0.090	0.090
8	Luz led	0.010	0.080
1	Arduino Mega 2560	0.040	0.040
8	Palancas	0.200	1.600
1	Pulsador Coolair	0.020	0.020
1	Nrf24l01	0.005	0.005
1	RF 433MHZ	0.005	0.005
1	Parada de emergencia	0.075	0.075
1	Interruptor de llave	0.020	0.020
1	DC-DC LM2596	0.010	0.010
1	Lipo 11.1v 3S 5000mAh	0.445	0.445
		Total	2.39

De la Tabla 2.10 se obtuvo una masa de 2.39Kg dejando como masa máxima para la carcasa del mando 7.61Kg.

2.7.6.2 Diseño estructural

Siguiendo la distribución de elementos mostrada en la Figura 2.26, se realizaron los modelos mostrados en la Tabla 2.11. Estos modelos se presentaron al cliente, el cual seleccionó la opción A. Esta opción tiene una mejor ergonomía en comparación con los otros dos modelos, pero el cliente solicitó algunas modificaciones, lo cual es visible en el capítulo 3.

Tabla 2.11 Opciones de la carcasa del mando

	Opción A	Opción B	Opción C
Bosquejo de propuesta			
Peso estimado	6Kg	3Kg	8Kg
Dificultad de fabricación	Media	Baja	Media

2.7.6.3 Selección del material

En la Tabla 2.12 se muestran las características de los materiales comparados para la selección.

Tabla 2.12 Materiales para el radio control industrial

Característica	Plástico ABS	Aluminio 6061
S_y [Mpa]	40-45	276
Masa del control [Kg]	2.18	4.90
Manufactura	Inyección o impresión 3D	Maquinado CNC
Elaboración local	si	Si
Precio por Kg	\$20	\$11

Debido a la resistencia del material ante posibles cargas surgidas por golpes se seleccionó el aluminio 6061 que se puede conseguir en el mercado nacional como IVAN BOHMAN [57] y se puede maquinar dentro de la industria local.

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

En este capítulo se muestran los elementos seleccionados tanto para la interfaz montada en la perforadora como las partes del radio control industrial, el modelado 3D de la carcasa del radio control industrial en Autodesk Inventor.

3.1 Sensores y actuadores seleccionados

En la Tabla 3.1 se encuentran los elementos necesarios para la perforadora hidráulica, siendo las válvulas direccionales las más importantes. Para medir la presión en el circuito hidráulico, se ha seleccionado un único tipo de sensor, el cual puede medir todo el rango de presiones descritas en la Figura 2.7. El módulo MPU-6050 siendo un acelerómetro y giroscopio, en este caso es usado para medir el ángulo de inclinación, específicamente el *roll* y *pitch*.

Tabla 3.1 Sensores y actuadores






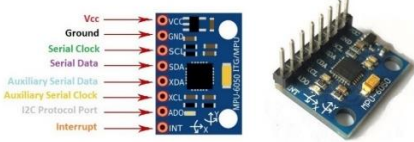
Componente	Descripción	Imagen
Sensor de presión hidráulico	Sensor SENDO SS302.G14.500B.4.5V permite medir hasta 5000 PSI entregando una salida de 0-5VDC, requiere 10V de entrada	
Electroválvula hidráulica para motor drill	Hydraulic Solenoid Directional Control Valve, Double Acting, 1 Spool, 27 GPM, 12V DC marca Summit Hydraulics	
Electroválvula hidráulica para cilindros	Hydraulic Monoblock Solenoid Directional Control Valve, 4 Spool, 21 GPM, 12V DC marca Summit Hydraulics	

Tabla 3.1 Sensores y actuadores (continuación)

Componente	Descripción	Imagen
Electroválvula hidráulica para Motor de avance	Hydraulic Monoblock Solenoid Directional Control Valve, 2 Spool, 13 GPM, 12V DC, marca Summit Hydraulics	
Final de carrera	Pulsador de final de carrera IP68, NA (Normalmente abierto) OsiSense XC	
Sensor de inclinación	MPU-5060	

3.2 Interfaz

Los elementos seleccionados para la interfaz se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Componentes de la interfaz




Componente	Descripción	Imagen
Gabinete industrial	Schneider electric Spacial CRN con un tamaño en mm de H500xW400xD200 y protección IP66 y IK10	
Tarjeta de control	Arduino Mega 2560 con 54 pines digitales, alimentación de 12V	
Base con borneras para la tarjeta de control	Electronics-Salon módulo adaptador de terminal con borneras y base para riel DIN	

Tabla 3.2 Componentes de la interfaz (continuación)

Componente	Descripción	Imagen
Relés	Modulo relé de 8 canales, cada canal representa un relé que puede funcionar como NA o NC, entrada de 5V, salida por relé de 10 ^a /250VAC, 10 ^a /30VDC	
Sistema de anclaje	Riel Din es un perfil de 35 mm de diámetro con 1 mm de espesor	
Palancas de control	Interruptor de palanca HKA1-41Z02 sirve de interruptor de 2 posiciones, puede ser de retorno momentáneo o con enclavamiento.	
Luz piloto	Luz led de 12V con grado de protección IP66	
Botón de parada de emergencia	Boton Elewind de 22mm de diámetro con protección IP65	
Interruptor con llave	EATON ELECTRIC M22-WS3	
Fuente DC-DC	DC-DC Im2596	
Módulo de comunicación 2.4Ghz	NRF24L01	
Módulo de comunicación 433Mhz	FS1000A 433MHz RF Module	
Pantalla para visualizar	Display LCD 20x4 I2C	

Para ubicar los elementos de comunicación se han diseñado una base de plástico ABS que muestra en la Figura 3.1, la cual protege a los módulos del exterior del gabinete manteniendo la protección IP65. Esta base al ser de plástico evita el efecto de jaula de faraday, el cual impide la comunicación mediante ondas electromagnéticas de dispositivos encerrados en una caja metálica.

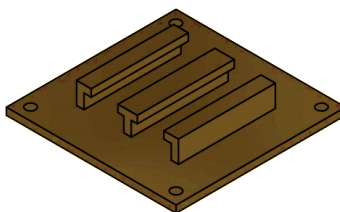


Figura 3.1 Base de módulos RF de la interfaz

Para visualizar la velocidad y las presiones dentro del circuito hidráulico, se ha seleccionado un par de módulos LCD de 16X4. Estas pantallas LCD no tienen un grado de protección IP65, por lo tanto, se ha diseñado una base acrílica para su protección. En la Figura 3.2 se muestra, como la base es de un material transparente permite la visualización de lo mostrado en las pantallas.

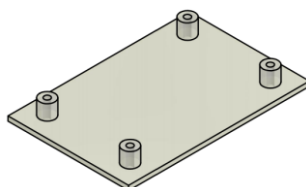


Figura 3.2 Base LCD 16X4

Los planos de la Figura 3.1y Figura 3.2 se muestran en el apéndice C.

Siguiendo el diagrama esquemático de la Figura 2.12 se ha realizado el montaje de las partes utilizando un modelo 3D del gabinete seleccionado lo cual se puede ver en la Figura 3.3 que muestra una vista frontal.

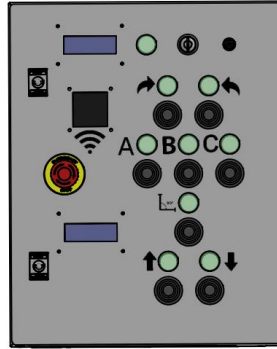


Figura 3.3 Vista frontal de la interfaz

En la Figura 3.4 se pueden visualizar las dimensiones del mando, llegando a tener un volumen de 500 X 400 X 200 mm. Por otro lado, de este gabinete sobresalen las palancas, botones y luces indicadoras, aumentando el volumen ocupado debido a un aumento de 80mm en la sección de 200 mm. debido a las palancas.

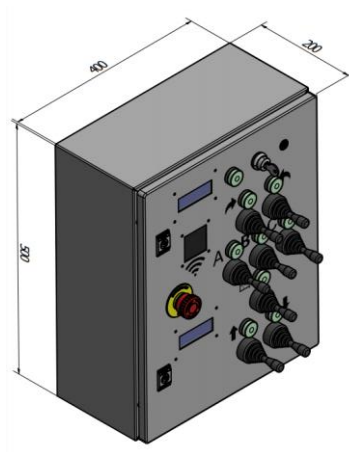


Figura 3.4 Dimensiones de la interfaz

En el apéndice D se encuentra el plano para realizar el maquinado de la puerta del gabinete de la interfaz.

3.3 Diagrama electrónico de la interfaz

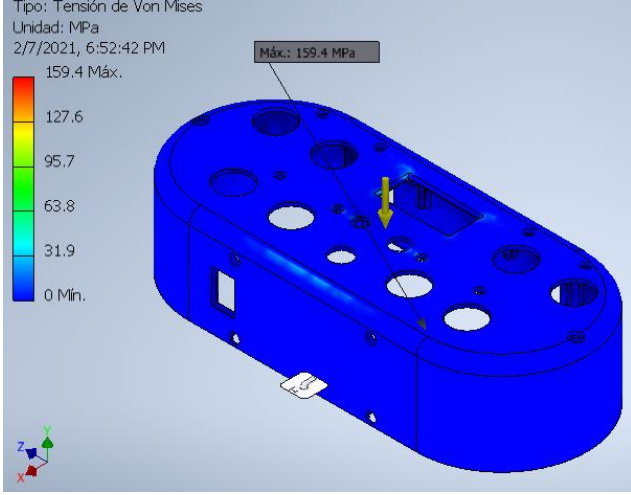
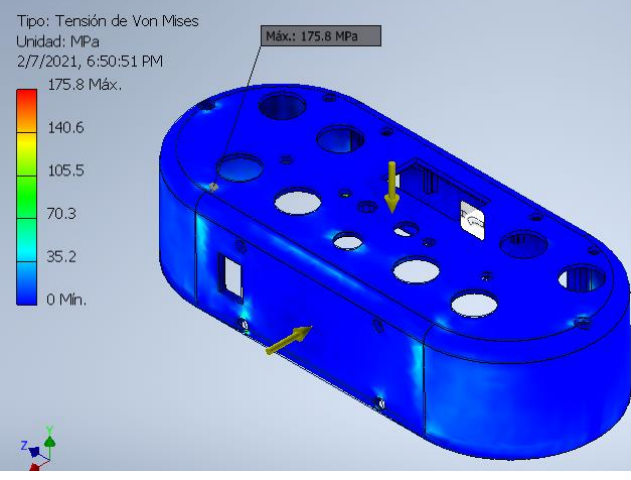
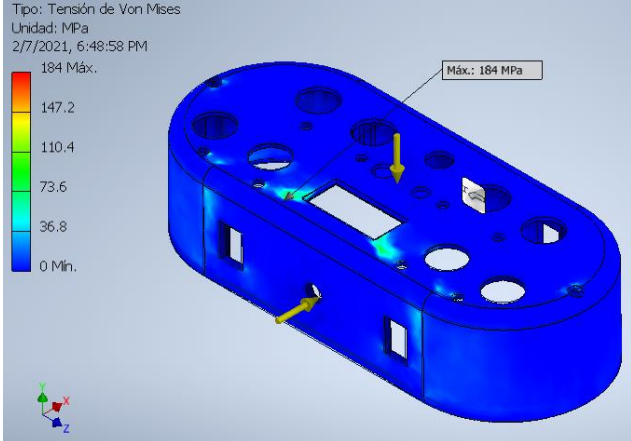
El diagrama electrónico se encuentra en el Apéndice C de planos.

3.4 Análisis de la carcasa del radio control industrial

Debido al trabajo sumamente pesado se ha probado la carcasa del mando asumiendo un golpe con una fuerza de 2000N lo que equivale 204 Kg

aproximadamente, que podría pasar por un golpe de alguna maquinaria, tubos utilizados en el trabajo pesado o una caída de unos 15 metros. En la Tabla 3.3 se muestra el análisis de tensión realizado a la carcasa del radio control industrial.

Tabla 3.3 Análisis de tensión de la carcasa del mando

Fuerza aplicada	Respuesta de la carcasa (Tensión de Von Mises)
Fuerza aplicada a la cara superior	 <p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 2/7/2021, 6:52:42 PM 159.4 Máx. 127.6 95.7 63.8 31.9 0 Min. Máx.: 159.4 MPa</p>
Fuerza aplicada a la cara frontal	 <p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 2/7/2021, 6:50:51 PM 175.8 Máx. 140.6 105.5 70.3 35.2 0 Min. Máx.: 175.8 MPa</p>
Fuerza aplicada a la cara posterior	 <p>Tipo: Tensión de Von Mises Unidad: MPa 2/7/2021, 6:48:58 PM 184 Máx. 147.2 110.4 73.6 36.8 0 Min. Máx.: 184 MPa</p>

Como el material seleccionado para la carcasa, el aluminio 6061, el cual tiene un $S_y = 276MPa$, por simple comparación con la tensión de Von Mises máxima de 164.7 MPa en la última prueba realizada se puede decir que solo llega al 61% del S_y y que el material seleccionado no sufrirá deformación permanente.

3.5 Radio control industrial

En la Tabla 3.4 se ha seleccionada cada una de las partes que conforman el mando a ser usado como radio control industrial

Tabla 3.4 Elementos seleccionados para el mando






Componente	Descripción	Imagen
Tarjeta de control	Arduino Mega 2560 con 54 pines digitales, alimentación de 12V	
Pantalla de visualización	Display LCD 20X4 I2C	
Fuente DC-DC	DC-DC Im2596	
Módulo de comunicación 2.4Ghz	NRF24L01	
Módulo de comunicación 433Mhz	FS1000A 433MHz RF Module	

Tabla 3.4 Elementos seleccionados para el mando (continuación)

Componente	Descripción	Imagen
Palancas de control	Interruptor de palanca HKA1-41Z02 sirve de interruptor de 2 posiciones, puede ser de retorno momentáneo o con enclavamiento.	
Batería	Lipo 3s 11.1v 5000mAh	
Luz indicadora	Luz led de 6mm de diámetro con grado de protección IP66	
Botón de parada de emergencia	Botón de parada de emergencia metálico con protección IP66 e IK8 de 19mm de diámetro marca Dianqi	
Switch key	Interruptor con llave de 22mm y con IP67	
Interruptor ON/OFF	Interruptor de enclavamiento para encendido con grado de protección IP67	
Conector de carga	Conector de 4 pines con grado de protección IP68	

En la Figura 3.5 se pueden ver las partes a maquinarse en aluminio 6061, las cuales conforman la carcasa del radio control industrial. Las otras partes son de plástico ABS, acrílico, acero o goma todo esto se muestra en la Figura 3.6.

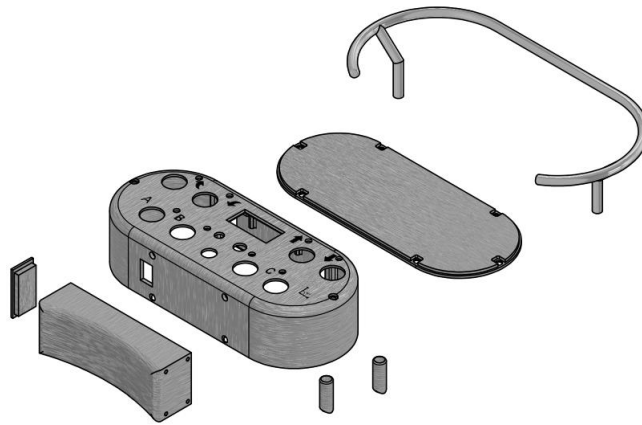


Figura 3.5 Maquinado en aluminio 6061

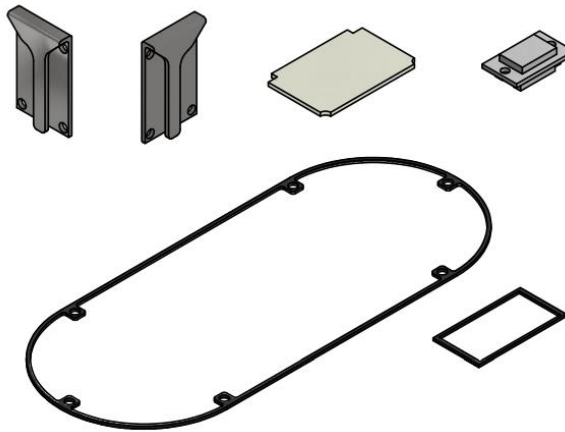


Figura 3.6 Maquinado en otros materiales

El modelo del radio control industrial se muestra en la Figura 3.7, donde se aprecia en vista isométrica el ensamble.

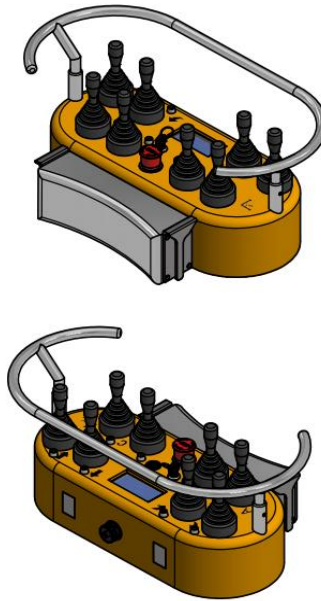


Figura 3.7 Vista isométrica del radio control industrial

En la Figura 3.8 se puede ver una vista superior del radio control industrial, en esta vista se aprecia la modificación en la ubicación de las palancas, de tal manera que estas no se chocan por estar desplazadas.



Figura 3.8 Vista superior del radio control industrial

Para la comunicación se montaron los módulos de RF en un par de bases de plástico ABS mostrado en la Figura 3.9, y para realizar la carga de la batería se incorporó un conector de 4 pines con un grado de protección IP68, el cual está en la Tabla 3.4.

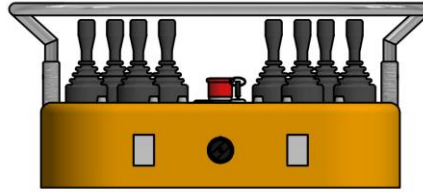


Figura 3.9 Vista frontal del radio control industrial

El tamaño final del radio control industrial se muestra en la Figura 3.10, donde su volumen está definido por 410 X 180 X 238 mm, lo cual supera, por poco, lo establecido en las especificaciones técnicas de la Tabla 2.4.

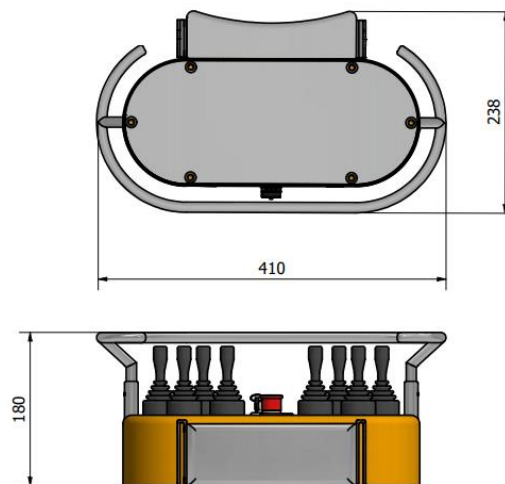


Figura 3.10 Dimensiones del radio control industrial

Por ultimo las propiedades físicas del radio control industrial se muestran en la Figura 3.11. La masa estimada del modelo 3D es de 5.658Kg, cumpliendo la especificación de masa establecida en la Tabla 2.4 de 10Kg máximo.

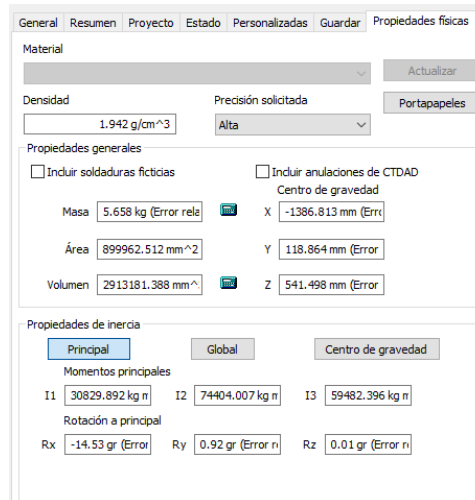


Figura 3.11 Propiedades generales del radio control industrial

3.6 Programación y pantallas

El Arduino Mega 2560 mostrado en la Figura 3.12 muestra la conexión de cada uno de sus pines utilizados en el control de la perforadora.

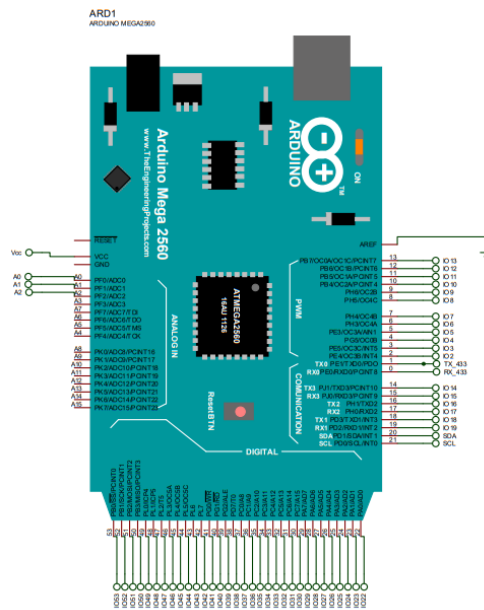


Figura 3.12 conexión de pines Arduino Mega 2560

Se estableció la función de uno de los pines, el tipo de pin, el número de pin y su configuración, si está configurado como entrada o salida. La Tabla 3.5 muestra los pines y sus características.

Tabla 3.5 Entradas y salidas de la interfaz

Nombre	Pin	Etiqueta	Tipo de pin	Configuración
IO0	0	Puerto A de encoder de drill	Digital	INPUT
IO1	1	Puerto B de encoder de drill	Digital	INPUT
IO2	2	Palanca de giro horario enclavada	Digital	INPUT
IO3	3	Palanca de giro antihoraria enclavada	Digital	INPUT
IO4	4	Palanca de giro horario con retorno	Digital	INPUT
IO5	5	Palanca de giro antihoraria con retorno	Digital	INPUT
IO6	6	Palanca de avance hacia arriba enclavada	Digital	INPUT
IO7	7	Palanca de avance hacia abajo enclavada	Digital	INPUT
IO8	8	Palanca de avance hacia arriba con retorno	Digital	INPUT
IO9	9	Palanca de avance hacia abajo con retorno	Digital	INPUT
IO10	10	Palanca del cilindro A hacia arriba	Digital	INPUT
IO11	11	Palanca del cilindro A hacia abajo	Digital	INPUT
IO12	12	Palanca del cilindro B hacia arriba	Digital	INPUT
IO13	13	Palanca del cilindro B hacia abajo	Digital	INPUT
IO14	14	Palanca del cilindro C hacia arriba	Digital	INPUT
IO15	15	Palanca del cilindro C hacia abajo	Digital	INPUT
IO16	16	Palanca de torre hacia arriba	Digital	INPUT
IO17	17	Palanca de torre hacia abajo	Digital	INPUT
IO18	18	TX de modulo RF 433 MHz	Digital	
IO19	19	RX de modulo RF 433 MHz	Digital	
IO20	20	SDL	Digital	
IO21	21	SCA	Digital	
IO22	22	Led de giro horario	Digital	OUTPUT
IO23	23	Led de giro antihorario	Digital	OUTPUT
IO24	24	Led de avance hacia arriba	Digital	OUTPUT
IO25	25	Led de avance hacia abajo	Digital	OUTPUT
IO26	26	Led de cilindro A	Digital	OUTPUT
IO27	27	Led de cilindro B	Digital	OUTPUT
IO28	28	Led de cilindro C	Digital	OUTPUT
IO29	29	Led de torre	Digital	OUTPUT
IO30	30	Relay de solenoide A para motor drill	Digital	OUTPUT
IO31	31	Relay de solenoide B para motor drill	Digital	OUTPUT
IO32	32	Relay de solenoide A para motor de avance	Digital	OUTPUT
IO33	33	Relay de solenoide B para motor de avance	Digital	OUTPUT
IO34	34	Relay de solenoide A para cilindro A	Digital	OUTPUT
IO35	35	Relay de solenoide B para cilindro A	Digital	OUTPUT
IO36	36	Relay de solenoide A para cilindro B	Digital	OUTPUT

Tabla 3.5 Entradas y salidas de la interfaz (continuación)

Nombre	Pin	Etiqueta	Tipo de pin	Configuración
IO37	37	Relay de solenoide B para cilindro B	Digital	OUTPUT
IO38	38	Relay de solenoide A para cilindro C	Digital	OUTPUT
IO39	39	Relay de solenoide B para cilindro C	Digital	OUTPUT
IO40	40	Relay de solenoide A para torre	Digital	OUTPUT
IO41	41	Relay de solenoide B para torre	Digital	OUTPUT
IO42	42	Final de carrera inferior de torre	Digital	OUTPUT
IO43	43	Final de carrera superior de torre	Digital	OUTPUT
IO44	44	Final de carrera vertical de torre	Digital	OUTPUT
IO45	45	CSN de modulo NRF24L01	Digital	
IO46	46	CE de modulo NRF24L01	Digital	
IO47	47	Final de carrera horizontal de torre	Digital	OUTPUT
IO48	48	botón de para de emergencia	Digital	INPUT
IO49	49	Mosi de modulo NRF24L01	Digital	
IO50	50	Miso de modulo NRF24L01	Digital	
IO51	51	Puerto A de encoder de avance	Digital	INPUT
IO52	52	Puerto B de encoder de avance	Digital	INPUT
A0	A0	Entrada de sensor de presión drill	Analógico	INPUT
A1	A1	Entrada de sensor de presión de avance	Analógico	INPUT
A2	A2	Entrada de sensor de presión de cilindros	Analógico	INPUT

Para la programación de las tarjetas de control, se realizó la secuencia lógica mostrada en los siguientes diagramas de flujo, el primer diagrama trata de como encender el sistema y se muestra en la Figura 3.13.

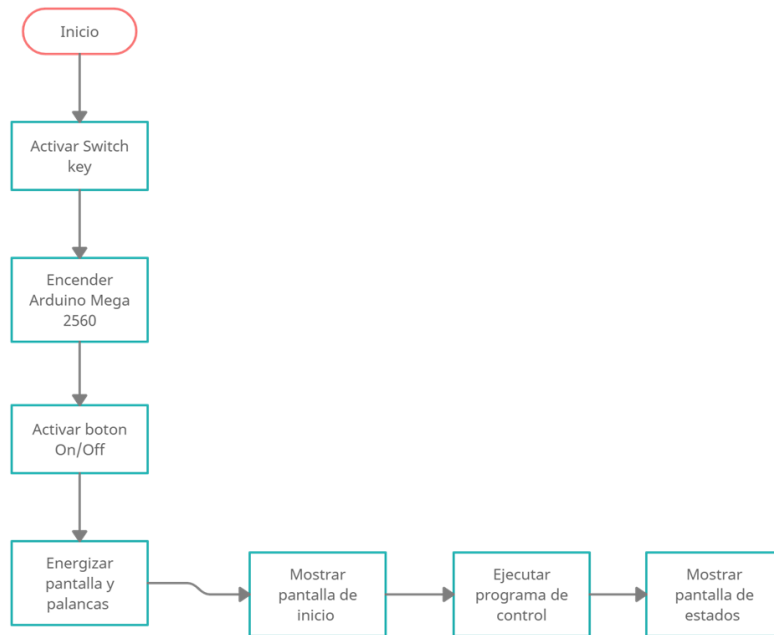


Figura 3.13 Secuencia de encendido

Al realizar el encendido el programa de la interfaz muestra un mensaje de inicio en la pantalla LCD, en la Figura 3.14, el cual dura 3 segundos. Se debe considerar que la interfaz cuenta con dos pantallas como se ve en la Figura 3.3, así que, se mostrarán 2 pantallas de estados.

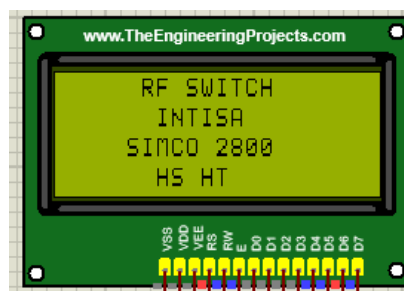


Figura 3.14 Pantalla de inicio

Después se inicia la pantalla de estados 1 mostrada en la Figura 3.15, estará presente durante el funcionamiento de la perforadora. Esta pantalla muestra la velocidad de rotación, velocidad de avance, ángulo de roll y ángulo de pitch.

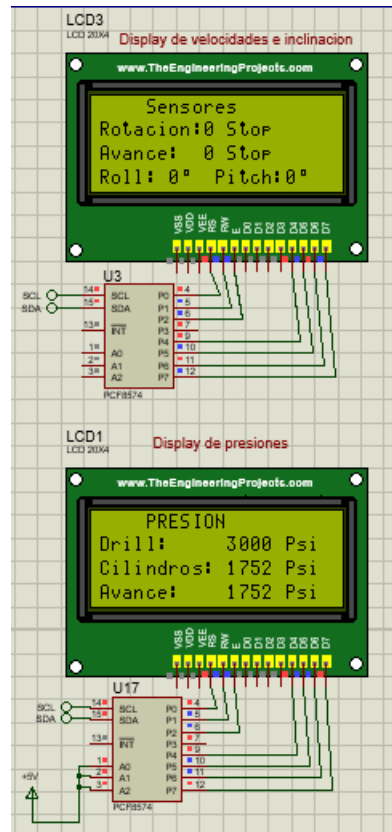


Figura 3.15 Pantalla de estados

La pantalla de estados 2 se encarga de mostrar la presión dentro del circuito hidráulico de cada subsistema mostrado en la Figura 2.17.

Para actualizar los valores medidos por los sensores se sigue el siguiente algoritmo de la Figura 3.16.

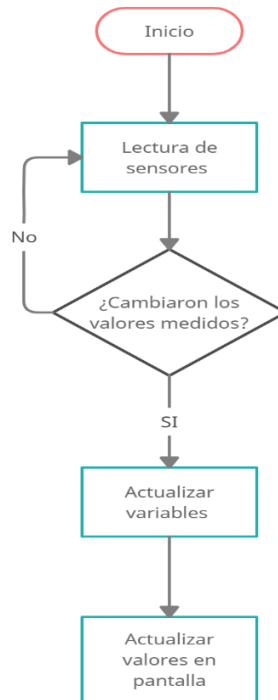


Figura 3.16 Actualización de variables

En la Figura 3.17 se muestran las luces indicadoras con las que cuenta la interfaz y el radio control industrial, estas luces se activan dependiendo de la activación de las salidas del Arduino Mega. Para activar las salidas se requiere el ingreso de un comando mediante el movimiento de las palancas.

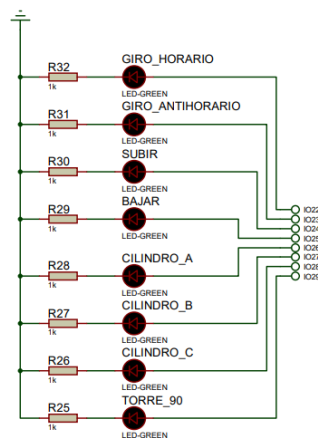


Figura 3.17 Luces indicadoras

Para realizar en funcionamiento de la perforadora mostrada en la Figura 2.10, se establecieron las siguientes funciones para cada palanca, detallado en la Tabla 3.6.

Estos eventos se realizan al seguir la secuencia de activación de palancas mostrada en la Figura 3.18. La activación de las palancas y la realización de los eventos esperados dependen de la existencia o no errores.

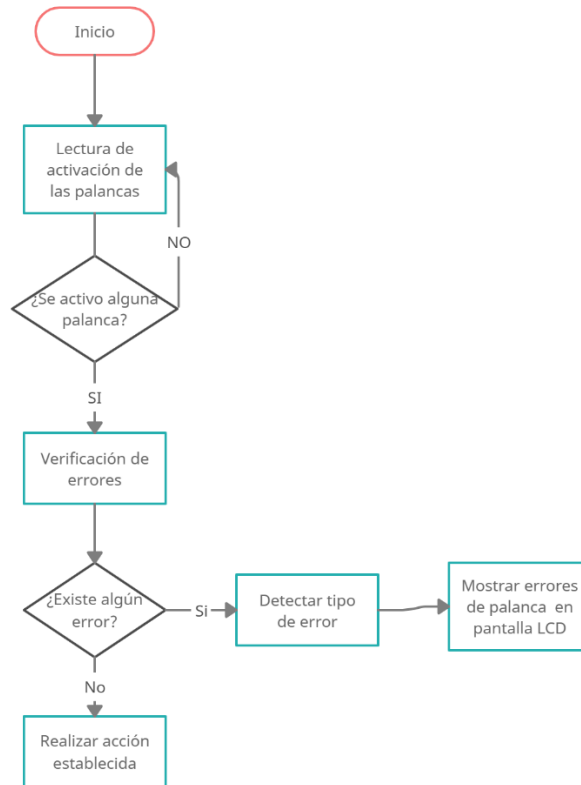


Figura 3.18 Secuencia activación de palancas.

Tabla 3.6 Funciones realizadas por el sistema

Palanca	Evento
Motor de taladro con enclavamiento	<p>Posición hacia arriba: Activa el relay de giro horario del motor del taladro.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay de giro antihorario del motor del taladro.</p>
Motor de taladro sin enclavamiento	<p>Posición hacia arriba: Activa el relay de giro horario del motor del taladro.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay de giro antihorario del motor del taladro.</p>
Motor de avance con enclavamiento	<p>Posición hacia arriba: Activa el relay de avance hacia arriba.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay de avance hacia abajo.</p>
Motor de avance sin enclavamiento	<p>Posición hacia arriba: Activa el relay de avance hacia arriba.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay de avance hacia abajo.</p>
Cilindro A	<p>Posición hacia arriba: Activa e relay que extiende el cilindro A.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay que retrae el cilindro A.</p>
Cilindro B	<p>Posición hacia arriba: Activa e relay que extiende el cilindro B.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay que retrae el cilindro B.</p>
Cilindro C	<p>Posición hacia arriba: Activa e relay que extiende el cilindro C.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay que retrae el cilindro C.</p>
Torre	<p>Posición hacia arriba: Activa e relay que extiende el cilindro de torre y ubica la torre en posición vertical.</p> <p>Posición hacia abajo: Activa el relay que retrae el cilindro A.</p>

Los errores posibles se establecen en la Tabla 3.7 que se muestra a continuación.

Tabla 3.7 Errores en el sistema de control

Número de error	Tipo de error	Descripción de error
1	Palancas cruzadas	Cuando se activa la rotación con enclavamiento en un sentido de giro, no se puede activar la palanca de giro no enclavada en el sentido contrario de giro. Se procede a mostrar una pantalla de error, pero se continua con el movimiento inicial. Se realiza lo mismo con las palancas de avance.
2	Inclinación peligrosa	Cuando el ángulo de roll o pitch supera el rango de tolerancia, se muestra un mensaje en la pantalla y se detiene el avance hacia abajo, si se encuentra activado.
3	Presión baja	Si la presión en alguna de las líneas está por debajo del rango, se muestra un mensaje de error indicando el segmento del circuito donde está el error.

Los errores son mostrados de palancas cruzadas son mostrados en la pantalla 1, dichos mensajes de error se aprecian en la Figura 3.19 y Figura 3.20.



Figura 3.19 Error de palancas de avance



Figura 3.20 Error de palancas de giro

La pantalla mostrar para el error de inclinación se muestra en la Figura 3.21, 5 grados sexagesimales son considerados como el ángulo máximo de inclinación, medido en el roll o en el pitch.

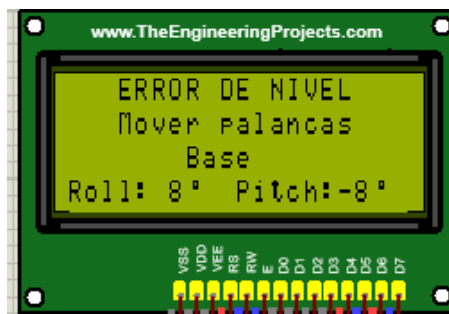


Figura 3.21 Error de nivelación

En la Figura 3.22 se muestra la pantalla de error de presión baja, en la pantalla 2 para el segmento del circuito hidráulico que controla los cilindros, así mismo se presenta la pantalla para los segmentos del motor del taladro o motor drill y para el motor de avance.

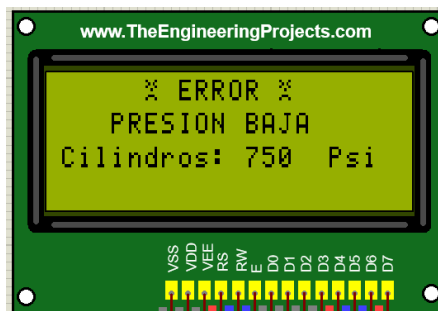


Figura 3.22 Error de presión baja

Cuando se presiona el boto de parada de emergencia, se tienen los motores y los cilindros. La Figura 3.23 muestra la pantalla a mostrar en la pantalla 1 de la interfaz.



Figura 3.23 Pantalla de parada de emergencia

El proceso seguido para la recepción y envió de datos entre el radio control industrial y la interfaz se muestra en la Figura 3.24, este proceso de aplica a los dos módulos, el nRF24L01 y el módulo RF 433Mhz.

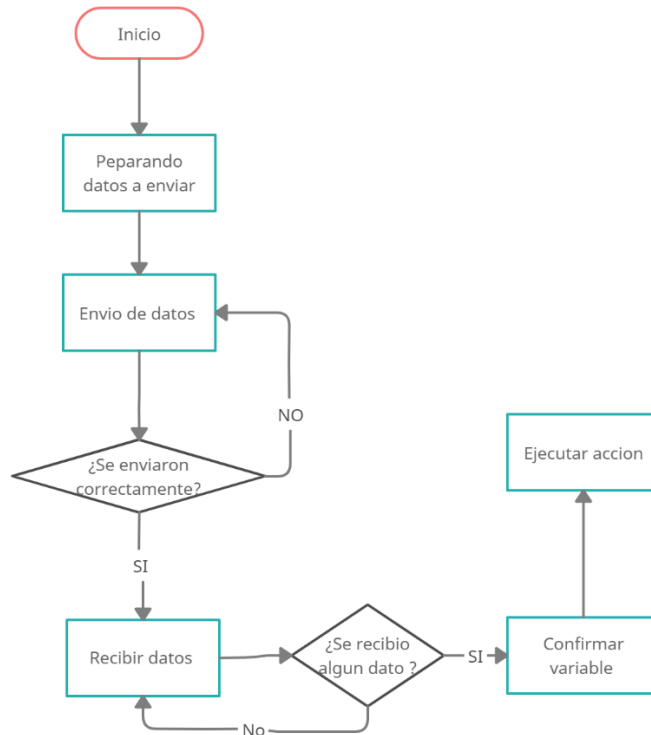


Figura 3.24 Envió y recepción de datos

Para la programación del radio control industrial se consideró la Tabla 3.8, donde se muestran las variables de entrada y de salida.

El código del proyecto se encuentra el repositorio de github del siguiente enlace: <https://github.com/Jhonlostaiza/Radio-control-industrial-para-perforadora-hidraulica.git>

Tabla 3.8 Entradas y salidas del radio control industrial

Nombre	Pin	Etiqueta	Tipo de pin	Configuración
IO2	2	Palanca de giro horario enclavada	Digital	INPUT
IO3	3	Palanca de giro antihoraria enclavada	Digital	INPUT
IO4	4	Palanca de giro horario con retorno	Digital	INPUT
IO5	5	Palanca de giro antihoraria con retorno	Digital	INPUT
IO6	6	Palanca de avance hacia arriba enclavada	Digital	INPUT
IO7	7	Palanca de avance hacia abajo enclavada	Digital	INPUT
IO8	8	Palanca de avance hacia arriba con retorno	Digital	INPUT
IO9	9	Palanca de avance hacia abajo con retorno	Digital	INPUT
IO10	10	Palanca del cilindro A hacia arriba	Digital	INPUT
IO11	11	Palanca del cilindro A hacia abajo	Digital	INPUT
IO12	12	Palanca del cilindro B hacia arriba	Digital	INPUT
IO13	13	Palanca del cilindro B hacia abajo	Digital	INPUT
IO14	14	Palanca del cilindro C hacia arriba	Digital	INPUT
IO15	15	Palanca del cilindro C hacia abajo	Digital	INPUT
IO16	16	Palanca de torre hacia arriba	Digital	INPUT
IO17	17	Palanca de torre hacia abajo	Digital	INPUT
IO18	18	TX de modulo RF 433 Mhz	Digital	
IO19	19	RX de modulo RF 433 Mhz	Digital	
IO20	20	SDL	Digital	
IO21	21	SCA	Digital	
IO22	22	Led de giro horario	Digital	OUTPUT
IO23	23	Led de giro antihorario	Digital	OUTPUT
IO24	24	Led de avance hacia arriba	Digital	OUTPUT
IO25	25	Led de avance hacia abajo	Digital	OUTPUT
IO26	26	Led de cilindro A	Digital	OUTPUT
IO27	27	Led de cilindro B	Digital	OUTPUT
IO28	28	Led de cilindro C	Digital	OUTPUT
IO29	29	Led de torre	Digital	OUTPUT
IO45	45	CSN de modulo NRF24L01	Digital	
IO46	46	CE de modulo NRF24L01	Digital	
IO48	48	Botón de para de emergencia	Digital	INPUT
IO49	49	Mosi de modulo NRF24L01	Digital	
IO50	50	Miso de modulo NRF24L01	Digital	

Las pantallas mostradas por el radio control industrial son las mismas que la interfaz. Como el mando solo tiene 1 pantalla, sólo se muestran los errores de presión en la pantalla.

3.7 Análisis de costos.

Para realizar este análisis se ha considera un salario de por hora, para un ingeniero recién graduado, dedicado al desarrollo de proyectos en \$1 000 mensuales o \$6.25 la hora. Utilizando las siguientes tablas: Tabla 3.10, Tabla 3.11, Tabla 3.12 y Tabla 3.13, se muestra un costo estimado de \$2 737, por la interfaz, el mando a radio control y el costo de diseño.

La estimación del costo de maquinado fue realizada por una función costing dentro de un software de diseño 3D, considerando aluminio 6061 como materia de trabajo.

El valor final del proyecto es de \$5 647 se muestra en la Tabla 3.14.

Tabla 3.9 Costo de los sensores y actuadores electrohidráulicos

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo
Sensor de presión SS302.G14.500B.4.5V	3	\$45	\$135
Encoder posimag® rot PMIR4	2	\$260	\$520
Final de carrea Chint Yblx-wl IP67	4	\$50	\$200
Acelerómetro y giroscopio MPU6050	1	\$5	\$5
Hydraulic Solenoid Directional Control Valve, Double Acting, 1 Spool, 27 GPM	1	\$450	\$450
Hydraulic Monoblock Solenoid Directional Control Valve, 4 Spool, 21 GPM	1	\$950	\$950
Hydraulic Monoblock Solenoid Directional Control Valve, 2 Spool, 13 GPM, 12V DC, marca Summit Hydraulics	1	\$400	\$400
Costo total de los sensores y actuadores			\$2 660

Tabla 3.10 Costo de los elementos de la interfaz

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo
Display 16x4	2	\$10	\$20
Luz piloto led	7	\$2.50	\$18
Arduino Mega 2560	1	\$18	\$18
Palancas	8	\$10	\$80
Pulsadores	1	\$5	\$5
Nrf24l01	1	\$5	\$5
RF 433MHZ	1	\$5	\$5
Parada de emergencia	1	\$10	\$10
Interruptor de llave	1	\$10	\$10
Gabinete Schneider Electric	1	\$70	\$70
Shield bornera Arduino mega	1	\$15	\$15
Costo total de los elementos de la interfaz			\$256

Tabla 3.11 Costo de los elementos del radio control

Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Costo
Display 16x4	1	\$10	\$10
Luz piloto led	8	\$2	\$18
Arduino Mega 2560	1	\$18	\$18
Palancas	8	\$10	\$80
Pulsadores	1	\$5	\$5
Nrf24l01	1	\$5	\$5
RF 433MHZ	1	\$5	\$5
Parada de emergencia	1	\$10	\$10
Interruptor de llave	1	\$10	\$10
Batería lipo 3S 5000mAh	1	\$60	\$60
Cargador lipo 3S	1	\$25	\$25
Costo total de los elementos del radio control			\$246

Tabla 3.12 Costo de la fabricación de la carcasa del mando.

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo
Mecanizado	1	\$330	\$330
Pintura	1	\$30	\$30
Total			\$360

Tabla 3.13 Costo de diseño e instalación.

Elemento	Cantidad	Costo unitario	Costo
Diseño	1	\$1875	\$1 875
Instalación	1	\$250	\$250
Total			\$2 125

Tabla 3.14 Costo total del proyecto.

Robro	Costo
Sensores y actuadores.	\$2 660
Elementos de la Interfaz.	\$256
Elementos del radio control.	\$246
Carcasa del mando.	\$360
Diseño e instalación.	\$2 125
Total	\$5 647

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se obtuvo un sistema capaz de controlar y automatizar el funcionamiento de la máquina perforadora, con un mando a distancia que utiliza los módulos de radio control nRF24L01 y RF 433MHz, y una interfaz con un tablero de control que permite el manejo local del dispositivo.
- El circuito hidráulico de la máquina perforadora se replicó en un software de simulación, que está detallado en el apéndice C, con esto se comprendió el funcionamiento de sus partes y se procedió a realizar el diseño del sistema de control y automatización.
- Se diseñó un mando basado en un radio control industrial, que es capaz de controlar los movimientos de la perforadora, además permite visualizar los datos medidos por los sensores presentes en la máquina (velocidad, presión e inclinación), este posee un grado de protección IP65.
- Se diseñó una interfaz que alberga el programa de control y automatización del sistema, permitiendo la operación de la máquina desde su tablero de control o del radio control industrial diseñado en este proyecto, además la tarjeta de control de la interfaz permite la conexión de un conjunto de sensores capaces de medir velocidad, presión e inclinación en la perforadora, dichas mediciones se visualizan en las pantallas LCD.
- El diseño estructural del radio control industrial cumple con el requerimiento de masa, siendo esta 5.7 Kg, siendo menor que la solicitada de 10 Kg, además la carcasa diseñada con aluminio 6061 que puede soportar una

carga de 2000N, lo que representa una fuerza ejercida por una masa de 205 Kg.

- El programa de control permite activar las válvulas direccionales que controlan a los motores y cilindros de la perforadora, esta activación depende de los comandos ingresados en el tablero de control o el radio control, también es capaz de mostrar al operador los errores que pueden surgir dentro de la máquina (de inclinación, presión, activación de palancas), además cuenta con la función de parada de emergencia que detiene la rotación y el avance de la herramienta de corte.
- La reparación o modificación del sistema completo, tanto la interfaz y el radio control, son económicas ya que la tarjeta de control seleccionada es un Arduino Mega 2560, lo cual permite modificar las funciones editando su código de manera sencilla.
- El diseño del radio control industrial permite un trabajo continuo por 10 horas, utilizando una batería Lipo 3S de 5000 mAh, haciendo que el sistema no requiera cambio de baterías durante la operación habitual de la perforadora.
- El costo del radio control más la interfaz es de \$2 737 sin incluir su instalación y los costos de los sensores y actuadores necesarios en la perforadora. Este precio está en el rango de radio controles con características similares, por ejemplo, el HBC Q800 el cual ronda los \$3000, dando un ahorro del 10%, por último, el costo total del proyecto es de \$5 647 siendo el costo de instalación, sensores y actuadores el 51%.

4.2 Recomendaciones

- Para el sistema de detección de nivelación, se recomienda calibrar la medición de los datos del módulo MPU6050, al menos un par de veces.
- Para evitar atascos al momento de perforar, se podría programar una rutina que haga subir la herramienta de corte por unos segundos, hasta liberar y permitir el giro del motor del taladro, lo cual haría oscilar a la herramienta de corte, pero serviría para terrenos más difíciles de perforar.
- Se podría reconstruir el sistema hidráulico de la perforadora para incorporar reguladores de caudal activados por servo motores, lo cual haría posible lazo de control cerrado y no el control de lazo abierto presente en la perforadora.
- Al utilizar el módulo RF 433MHz se puede llegar a tener interferencia debido a que se utiliza el mismo rango del espectro radio eléctrico que otras aplicaciones comerciales. Aunque este tipo de módulos funcionan muy bien y son utilizados en los radio controles industriales se recomienda probar con otros módulos de comunicación.
- Añadiendo otro modulo MPU-6050 y modificando un poco el circuito hidráulico que controla la posición de la torre, se podría añadir una función extra que permita inclinar y fijar la torre a ángulos diferentes a la posición de trabajo para realizar perforaciones especiales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Geoprobe, “2005 SIMCO 2800,” *geoprobe.com*, 2020. <https://geoprobe.com/pre-owned/608712> (accessed Oct. 23, 2020).
- [2] Henry Equipment Sales Inc, “2000 SIMCO 2800,” *machinerytrader.com*, 2020. <https://www.machinerytrader.com/listings/construction-equipment/for-sale/list/category/1030/drills-vertical/manufacturer/simco/model/2800> (accessed Oct. 23, 2020).
- [3] Machinio, “2006 SIMCO 2800,” *machinio.com*, 2020. <https://www.machinio.com/model/2800-drill-rig#quickview/28873660> (accessed Oct. 23, 2020).
- [4] Massenza, “Massenza MI2,” *massenzarigs.com*, 2020. <https://www.massenzarigs.com/video-drilling-rig-mi2/> (accessed Oct. 23, 2020).
- [5] Instituto tecnico GeoMinero de España, *Manual de perforacion y voladura de rocas*. 1994.
- [6] SIMCO, “SIMCO.” <http://simcodrill.com/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [7] SIMCO, “SIMCO 2800,” 2020. http://simcodrill.com/wp-content/uploads/2017/09/SIMCO-2800-waterwell-drilling-in-Africa_800.jpg (accessed Oct. 24, 2020).
- [8] Wikipedia, “Leonardo Torres Quevedo,” *Wikipedia.com*, 2020. https://es.wikipedia.org/wiki/Leonardo_Torres_Quevedo#Radiocontrol:_el_Telekino (accessed Oct. 24, 2020).
- [9] MdeVicente, “Receptor Telekino,” 2011. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/24/Telekino_receptor.JPG/800px-Telekino_receptor.JPG.
- [10] Aerial-shop, “T18SZ FUTABA Mode 2,” 2020. https://www.aerial-shop.com/1296-big_default/control-remoto-t18sz-futaba-modo-2.jpg (accessed Oct. 24, 2020).
- [11] Futaba, “Futaba T18SZ Radio TX&RX (Modo 2),” *oneDrone.com*. <https://www.onedrone.com/store/futaba-t18sz-mode-2.html> (accessed Oct. 24, 2020).
- [12] Tele-Radio, “Radio Control Tele-Radio,” *tele-radio.com*, 2020. <https://www.tele-radio.com/la/>.
- [13] ITOWA, “Radio Control ITOWA,” *itowa.com*. <https://www.itowa.com/esp/telemandos.php> (accessed Oct. 24, 2020).
- [14] AUTEC, “Radio Control AUTEC,” *autecsafety.com*, 2020. <https://www.autecsafety.com/es/product> (accessed Oct. 24, 2020).
- [15] IMET, “Radio Control IMET,” *esp.imetradioreMOTEcontrol.com*, 2020. http://esp.imetradioreMOTEcontrol.com/lista_prodotti (accessed Oct. 24, 2020).
- [16] KINEXTEC, “Radio Control KINEXTEC,” *kinextec.com*, 2020. <https://www.kinextec.com/es/industria/telemandos-de-radiocontrol-industrial> (accessed Oct. 24, 2020).
- [17] IMET, “M880 THOR2 - DATOS TÉCNICOS,” *esp.imetradioreMOTEcontrol.com*, 2020. http://esp.imetradioreMOTEcontrol.com/datos_tecnicos/m880_thor2_-

- _datos_tecnicos.php (accessed Oct. 24, 2020).
- [18] IMET, “IMET- M880 THOR2 M,” 2020. [http://esp.imetradioreMOTEcontrol.com/UserFiles/images/catalogo_prodotti/prod_38/_fotoOriginali/Thor2M8_10028_2\(1\)_1.png](http://esp.imetradioreMOTEcontrol.com/UserFiles/images/catalogo_prodotti/prod_38/_fotoOriginali/Thor2M8_10028_2(1)_1.png) (accessed Oct. 24, 2020).
- [19] G. Carlos, “Los grados de protección IP en los equipos e instalaciones y su interpretación según IEC y NEMA,” pp. 1–39, 2013, [Online]. Available: [http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretación de los Grados de Protección según IEC y NEMA.pdf](http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretación%20de%20los%20Grados%20de%20Protección%20según%20IEC%20y%20NEMA.pdf).
- [20] Fullwat, “Proteccion IP,” 5-6-2018. <http://blog.fullwat.com/wp-content/uploads/2018/06/ProteccionIP-IK.jpg> (accessed Oct. 25, 2020).
- [21] A. Creus Solé, “Neumática e Hidráulica,” 2007, pp. 157–158.
- [22] A. Creus Solé, “Hidraulica,” in *Neumática e Hidráulica*, 2007, p. 12.
- [23] A. Creus Solé, “ACTUADORES HIDRÁULICOS,” in *Neumática e Hidráulica*, 2007, pp. 157–158.
- [24] Hivall, “Cilindro de doble efecto.” <https://www.hivall.com/img/home/slider/productos/hivall-cilindro.png> (accessed Oct. 25, 2020).
- [25] A. Creus Solé, “Motor hidráulico,” in *Neumática e Hidráulica*, 2007, pp. 301–303.
- [26] Eaton Char-Lynn, “Eaton Char-Lynn serie 2000,” 2020. <https://www.shopcross.com/char-lynn-104-1229-006-hydraulic-motor-191-rpm-2250-psi-20-gpm>.
- [27] motionindustries, “Char Lynn 104-1229-006,” 2020. https://www.motionindustries.com/motion3/fsdb/images/item/Charlynn_Series_2000_Motor.jpg (accessed Oct. 25, 2020).
- [28] A. Creus Solé, “Válvulas distribuidoras,” in *Neumática e Hidráulica*, 2007, p. 167.
- [29] Univeridad Politecnica Nacional, “Valvulas de control de flujo,” in *Hidraulica Básica 3.0*, 2019, pp. 74–76.
- [30] lkastaroak, “Válvulas distribuidoras,” 2020. https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PSAFM/PSAFM02/es_PPFM_PSAFM02_Contentidos/PSAFM02_CONT_R100_imagen1.jpg (accessed Oct. 25, 2020).
- [31] Minihydraulicpowerpack, “Tiandi 4WEH16J.” http://spanish.minihydraulicpowerpack.com/photo/pl6386278-weh_series_electro_hydraulic_operated_directional_valves_4weh16j_for_industry_hydraulic_power_unit.jpg (accessed Oct. 25, 2020).
- [32] Festo, “Presostato hidraulico Festo,” *Festo-didactic.com*, 2020. <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/equipos-de-pr-cticas/accesorios/general/sensor-de-presi-n.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU4OS40MDYw> (accessed Oct. 25, 2020).
- [33] M. A. Perez Ramirez, “Instrumentación electrónica,” 2014, p. 428.
- [34] ingmecafenix.com, “Encoder,” 2020. <https://www.ingmecafenix.com/wp-content/uploads/2017/04/partes-encoder.jpg> (accessed Oct. 25, 2020).
- [35] J. A. Bueno, “Simbología Neumática e Hidráulica,” pp. 1–10, 2011.
- [36] Arduino, “Arduino Mega 2560,” *store.arduino.cc*, 2020. <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3> (accessed Oct. 26, 2020).

- [37] mouser, "Arduino Mega 2560," 2010. <https://www.mouser.ec/images/marketingid/2010/img/101396935.png?v=091620.0539> (accessed Oct. 26, 2020).
- [38] A. M. Sánchez-Matias, "Sistema de comunicación acústica para redes de sensores inalámbricas subacuáticas en aguas someras," p. 219, 2013, [Online]. Available: <http://core.kmi.open.ac.uk/display/19549333>.
- [39] Naylampmechatronics, "Modulo Rele 1 canal," 2020. <https://naylampmechatronics.com/1237/modulo-relay-1-canal-5vdc.jpg> (accessed Oct. 26, 2020).
- [40] Geekbotelectronics, "Modulo rele arduino," *geekbotelectronics.com*. <http://www.geekbotelectronics.com/producto/modulo-relevador-8-canales-5v/>.
- [41] Geekbotelectronics, "Modulo relay arduino 8 canales," 2020. <http://www.geekbotelectronics.com/wp-content/uploads/2015/02/modulo-relevador-8-canales-5v-458x458.jpg> (accessed Oct. 26, 2020).
- [42] Eaton Char-Lynn, "CHAR-LYNN DISC VALVE MOTORS 104-1220-006." <https://www.eaton.com/us/en-us/skuPage.104-1220-006.specifications.html>.
- [43] C. Riba, *Diseño concurrente*. 2002.
- [44] SENSOR SENDO, "SS302.G14.500B.4.5V." http://www.sendo-sensor.com/pro1/19_131.html (accessed Nov. 01, 2020).
- [45] S_rtronics, "Filtro complementario." <https://www.robotshop.com/community/forum/t/self-balancing-robot-using-mpu6050-accelerometer/5093> (accessed Nov. 02, 2020).
- [46] Z. Ali, "MPU6050." <https://www.theengineeringprojects.com/wp-content/uploads/2019/02/mpu6050.jpg> (accessed Nov. 02, 2020).
- [47] D. Buchanan, "EATON ELECTRIC M22-WS3." <https://www.ebay.es/itm/Eaton-Moeller-Key-Operated-Button-M22-WRS3-Actuator-Key-Switch-3-Postitions-/113822804259> (accessed Nov. 03, 2020).
- [48] TOPINCN, "HKA1-41Z02 hakacn Electric." https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/51IMhwWnmGL._SL1001_.jpg (accessed Nov. 03, 2020).
- [49] ELEWIND, "Boton stop Elewind." <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1eMoHHVXXXbmXpXXq6xXFXXXG/ELEWIND-22mm-interruptor-de-parada-de-emergencia-PB223WY-11TS-R-IP65-con-advertencia-c-rculo.jpg> (accessed Nov. 04, 2020).
- [50] Uxcell, "APT AD16-22DS." <https://www.amazon.com/uxcell-Plastic-Housing-Indicator-Signal/dp/B00OK681PG> (accessed Nov. 16, 2020).
- [51] electronicaragua, "Display LCD 20X4." <https://electronicaragua.com/wp-content/uploads/2019/05/LCD2004DriverI2C.jpg> (accessed Nov. 07, 2020).
- [52] Tezla, "Modulo RF 433Mhz." https://tezla.com.pe/wp-content/uploads/2020/02/modulo-rf-transmissor-receptor-315mhz-am-arduino-D_NQ_NP_697554-MLB26462076595_112017-F.jpg (accessed Nov. 08, 2020).
- [53] Schneider Electric, "Spacial CRN," 2019. [Online]. Available: <https://www.se.com/us/en/product/NSYCRN54200P/spacial-crn-plain-door-with-mount.plate.-h500xw400xd200-ip66-ik10-ral7035../>.
- [54] S. Electric, "NSYCRN54200P." https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=PB500109&p_File_Type=rendition_288_png&defa

ult_image=DefaultProductImage.png (accessed Nov. 11, 2020).

- [55] Coolais, “Coolais 16mm 12V IP67.” https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71X0kmm8zOL._AC_SL1500_.jpg (accessed Nov. 13, 2020).
- [56] Adichip, “DC-DC LM2596.” <https://adichip.net/tienda/producto/lm2596-fuente-step-down-dc-dc-123-35v-3a-arduino-2/> (accessed Nov. 20, 2020).
- [57] L. R. CALDERÓN CENTENO, “ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS (RECOCIDO Y REVENIDO), EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075-T651 MEDIANTE ENSAYOS DE TRACCIÓN,” *Tesis*, vol. 04. pp. 1–100, 2019, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Representaciones gráficas de elementos hidráulicos según DIN ISO 1219

SIMBOLO	DENOMINACION	SIMBOLO	DENOMINACION
	<p>Válvulas de secuencia.</p> <p>Permiten e impiden el paso de caudal entre dos puntos de un circuito mediante pilotaje interno o externo.</p> <p>a) Pilotaje interno b) Pilotaje externo c) Con retención</p>		<p>Accionamiento o pilotaje de válvulas distribuidoras</p> <p>a) Por pulsador en un sentido y retorno por resorte b) Por accionamiento mecánico y retorno por resorte c) Por palanca manual y enclavamiento mecánico d) Por electroimán y retorno por resorte e) Por aire y retorno por resorte f) Por fluido hidráulico y retorno por resorte g) Por electroimán para las dos posiciones. Queda en el último pilotaje (biestable). h) Por aire para las dos posiciones. i) Por electroimán para las dos posiciones extremas. Al faltar pilotaje vuelve al centro. j) Por palanca manual. Representado en posición centro. k) Por electroimán y manualmente. En reposo, posición centro.</p>
	<p>Válvulas de contrapresión.</p> <p>Estas válvulas originan una contrapresión a la salida de un actuador, que deberá ser vencida para que ésta pueda moverse.</p> <p>a) Pilotaje interno b) Pilotaje externo c) Con retención</p>		<p>Cilindros hidráulicos</p> <p>a) De simple efecto b) De simple efecto. Retorno por resorte c) De doble efecto d) De doble efecto. Doble vástago.</p>

APÉNDICE B

Criterio = Costo				
	Radio control Industrial	App Android	Suma+1	Ponderación
Radio control Industrial		1	2	0.666666667
App Android	0		1	0.333333333
		Total	3	1

Criterio = costo de mantenimiento				
	Radio control Industrial	App Android	Suma+1	Ponderación
Radio control Industrial		0	1	0.333333333
App Android	1		2	0.666666667
		Total	3	1

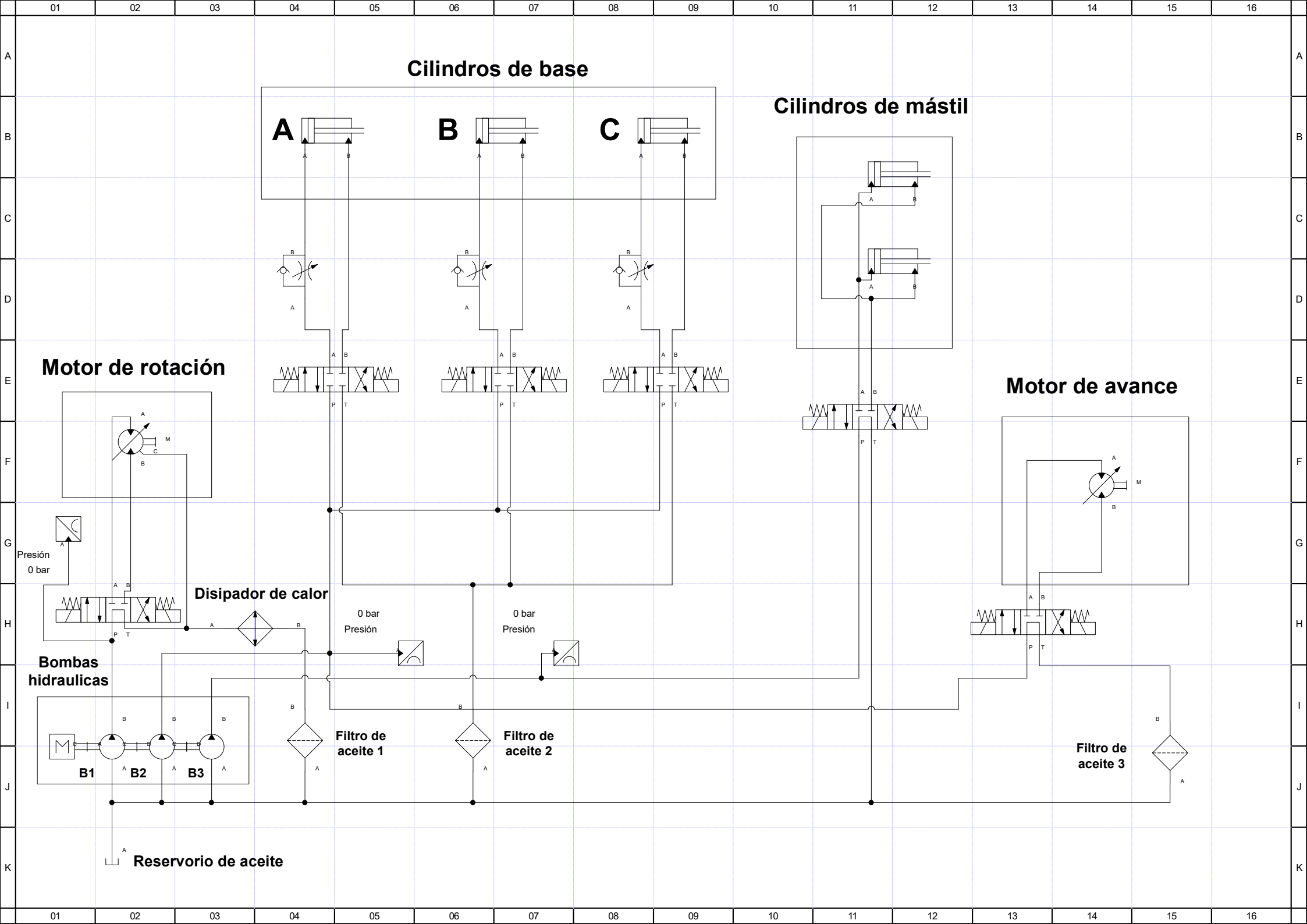
Criterio = estética				
	Radio control Industrial	App Android	Suma+1	Ponderación
Radio control Industrial		1	2	0.666666667
App Android	0		1	0.333333333
		Total	3	1

Criterio = consumo de energía				
	Radio control Industrial	App Android	Suma+1	Ponderación
Radio control Industrial		1	2	0.666666667
App Android	0		1	0.333333333
		Total	3	1

Criterio = robustez				
	Radio control Industrial	App Android	Suma+1	Ponderación
Radio control Industrial		1	2	0.666666667
App Android	0		1	0.333333333
		Total	3	1

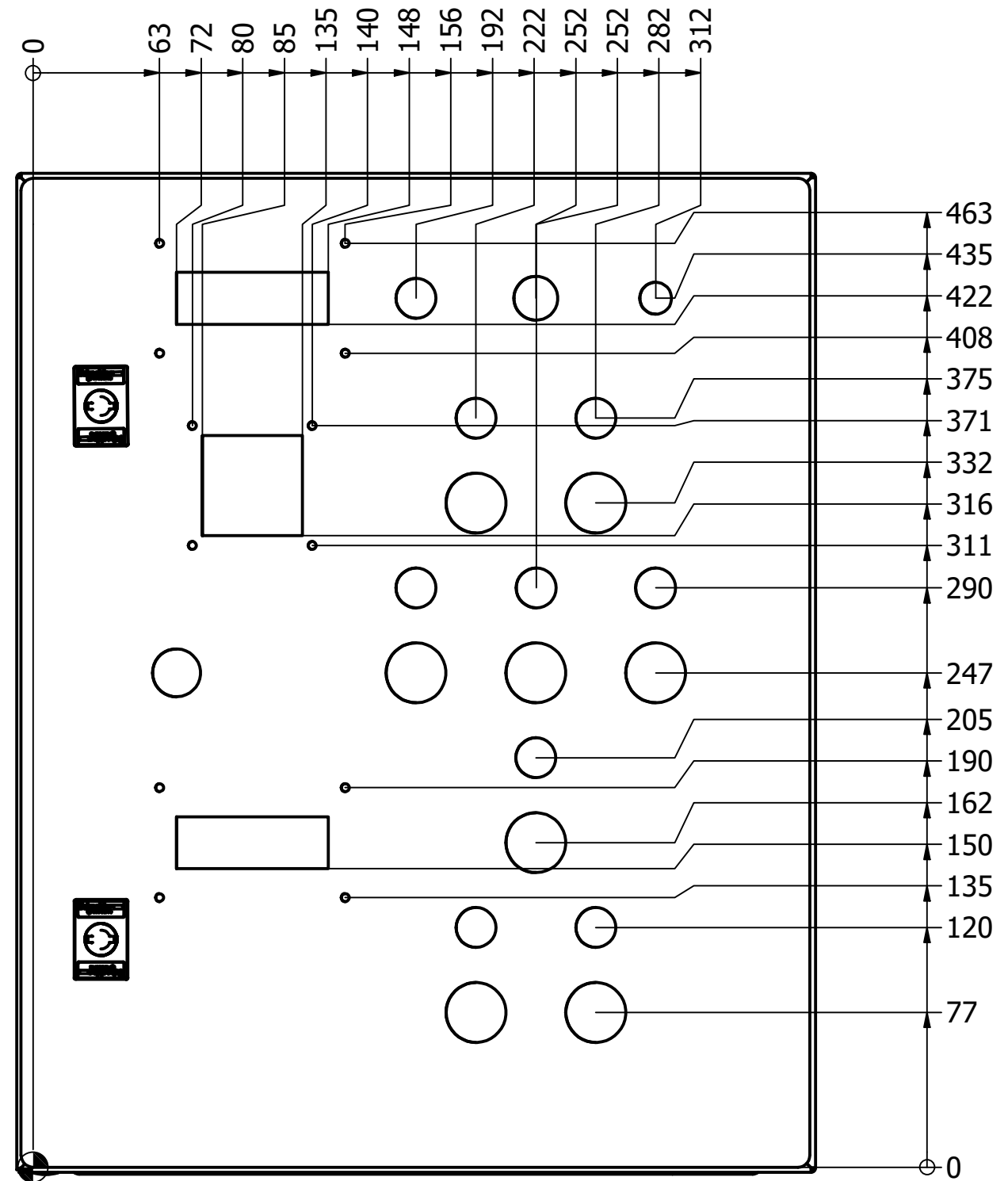
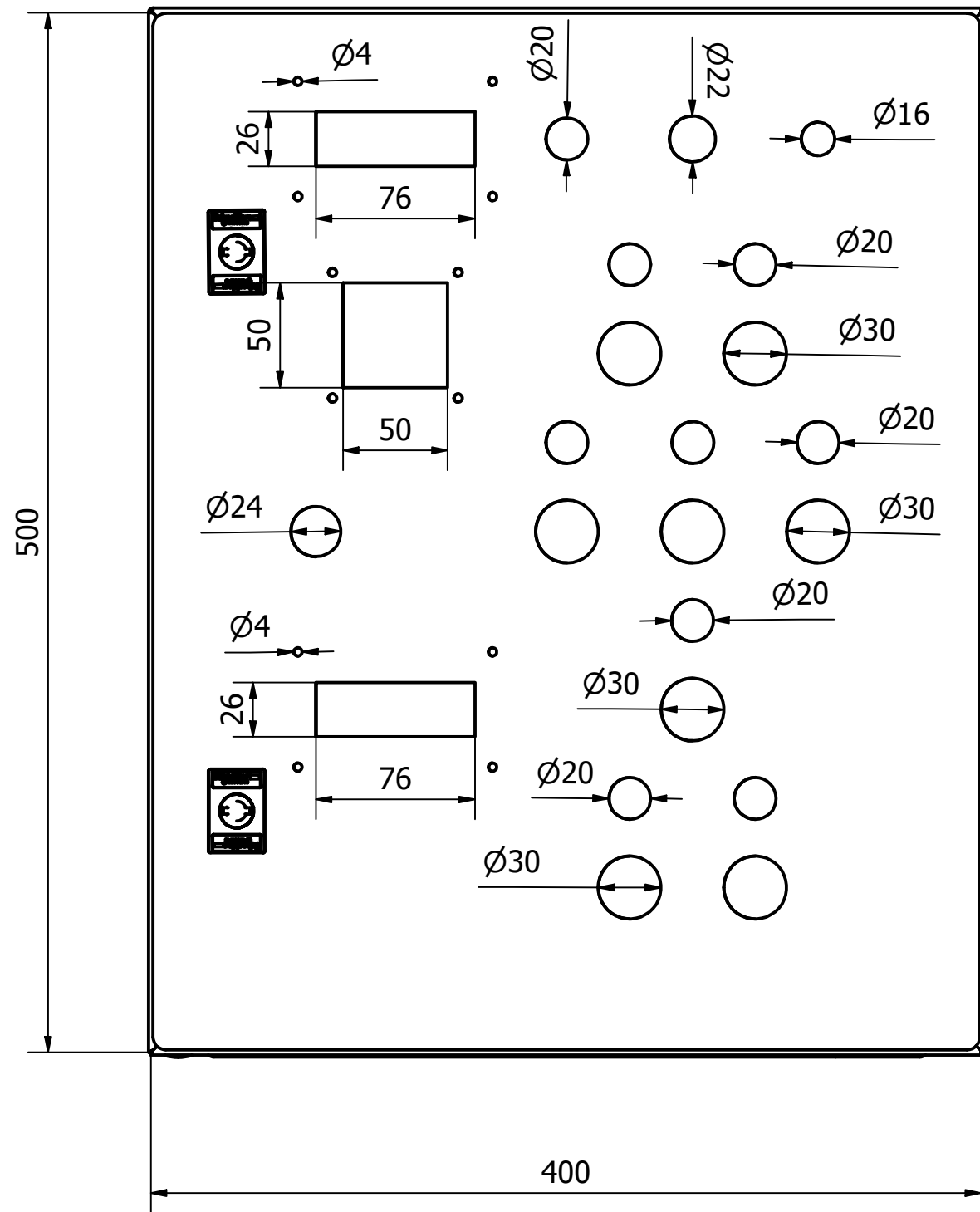
APÉNDICE C

Circuito hidráulico modificado

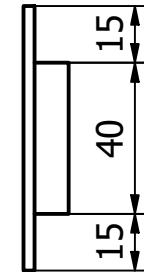
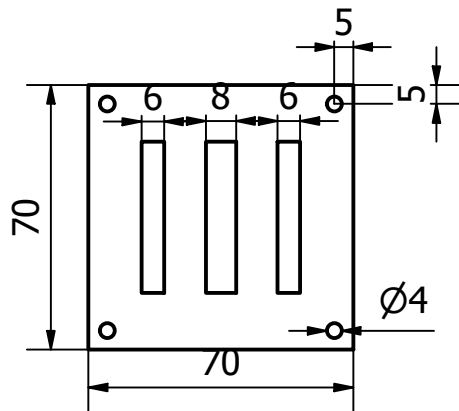
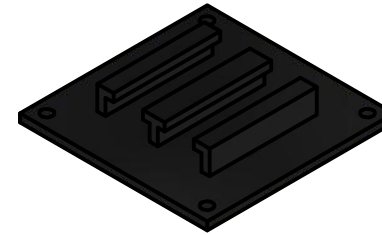
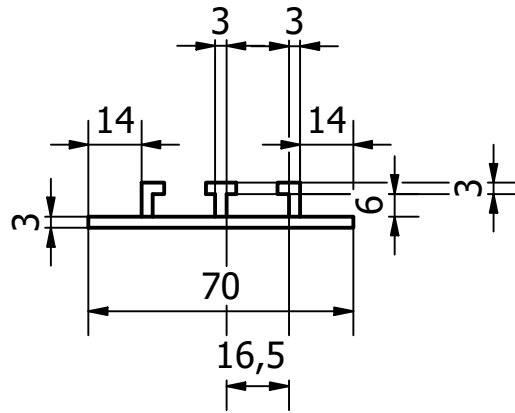



APÉNDICE D

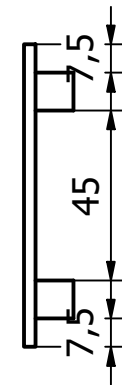
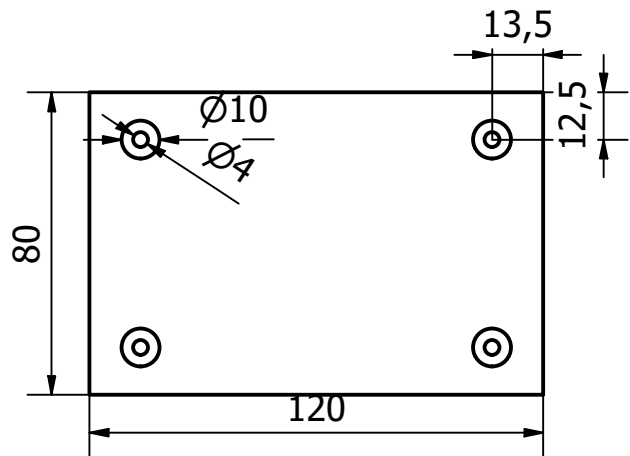
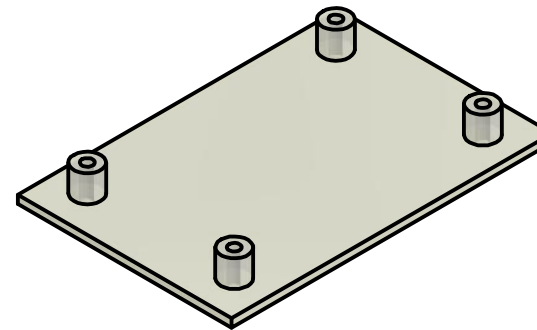
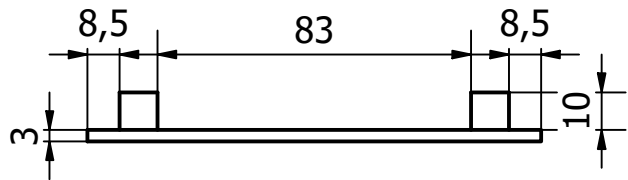
Planos de la interfaz




Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	Hoja A3
espol	Maquinado de caja interfaz de perforadora		
	Maquinado de caja interfaz	Unidades mm	Hoja 1 / 1



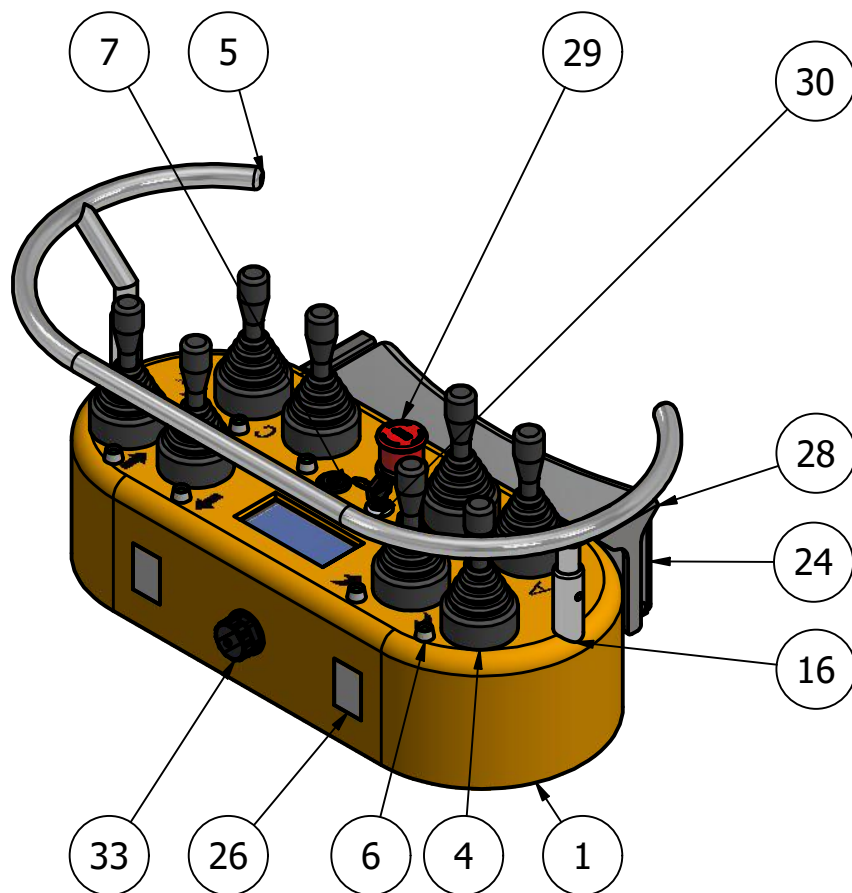
Diseño de Jhonny Edwin Lopez	Material: Plastico ABS	Escala 1 : 2	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Protector para transceptor de la interfaz		
		Protector transceptor	Unidades mm	Hoja 1 / 1



Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Acrilico	Escala 1 : 2	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Base para display 16X4		
		Base para display 16X4	Unidades mm	Hoja 1 / 1

APÉNDICE E

Planos del radio control industrial



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	TÍTULO
1	1	Base del mando
4	8	Palanca HKA1-41Z02
5	1	Barra protectora
6	8	Luz indicadora
7	1	Boton On/Off
9	1	Display 16x4
10	1	Visualizador acrilico
11	1	Modulo I2C para LCD
12	1	Arduino Mega 2560
13	1	Lipo 3S 5000mAh
14	1	Tapa del mando
15	1	Junta de tapa arduino
16	2	Base para barra protectora
19	1	Junta de tapa
24	1	Base de bateria
26	2	Tapa para transceptor
28	2	Gancho para cinturon
29	1	Boton de para de emergencia
30	1	Switch de llave
32	1	Tapa para base de bateria
33	1	Conector para cargador

Diseño de
Jhonny Lopez Ostaiza

Fecha
1/25/2021

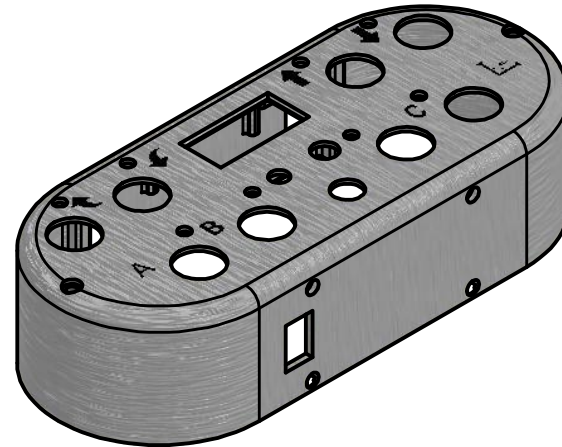
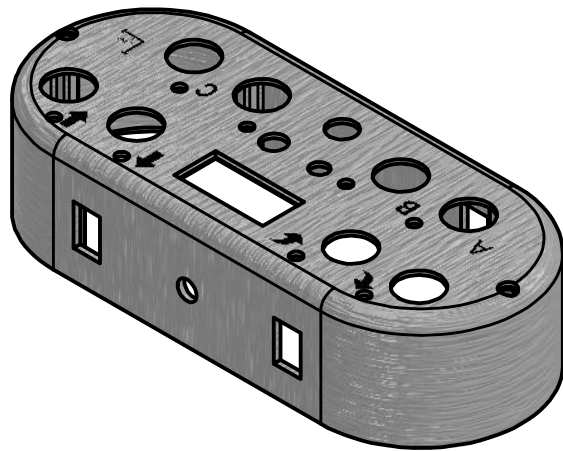
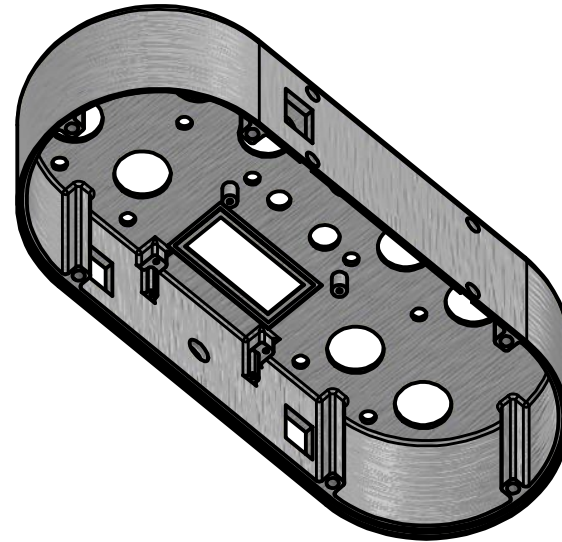
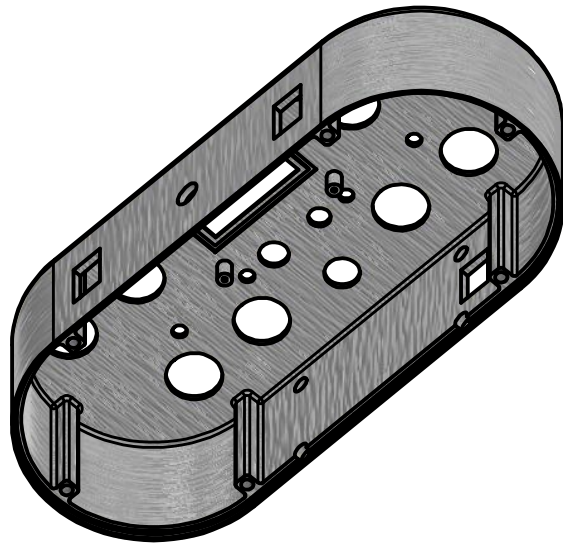
hoja
A4


espol

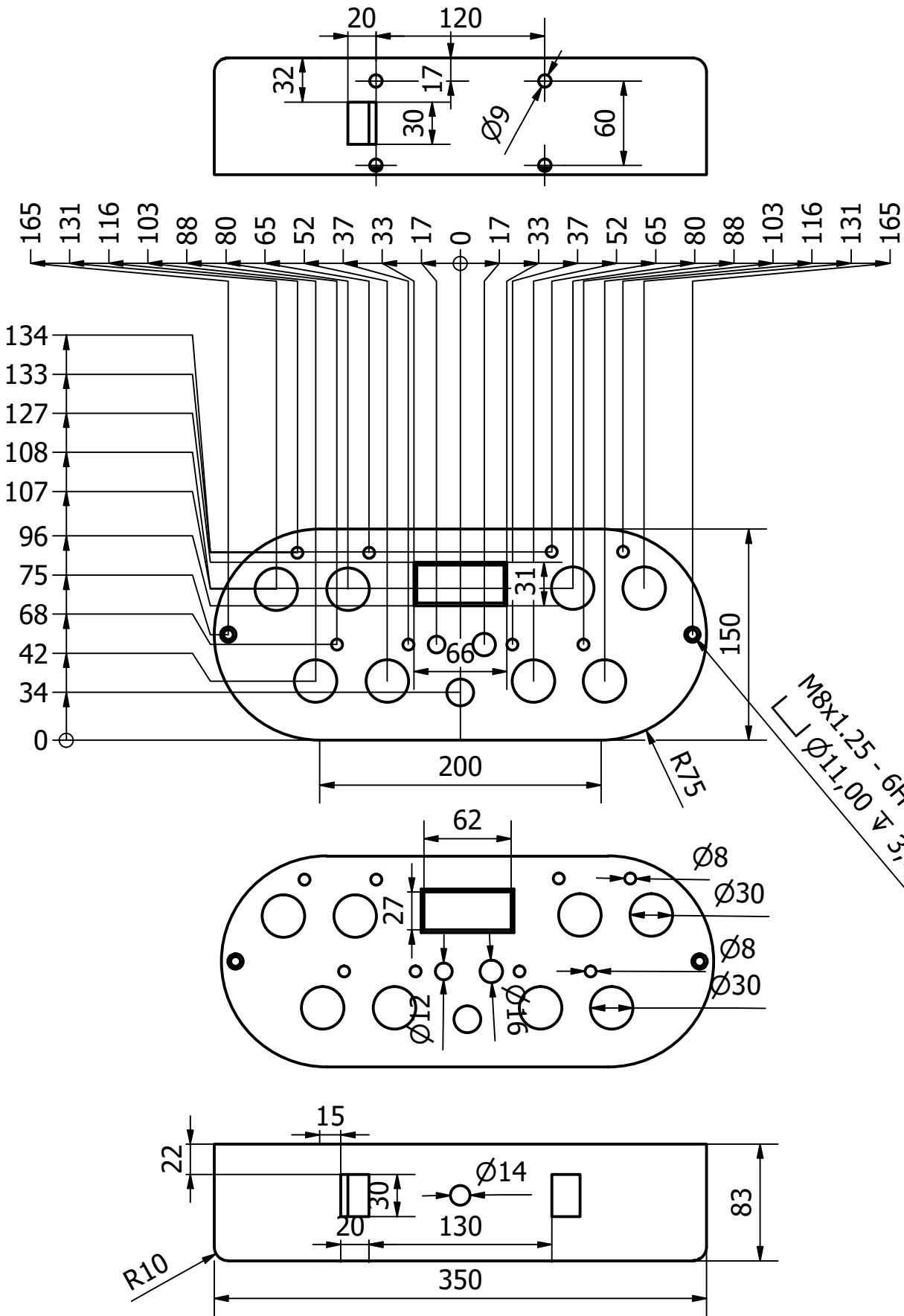
Emsamble radio control industrial


Radio control industrial

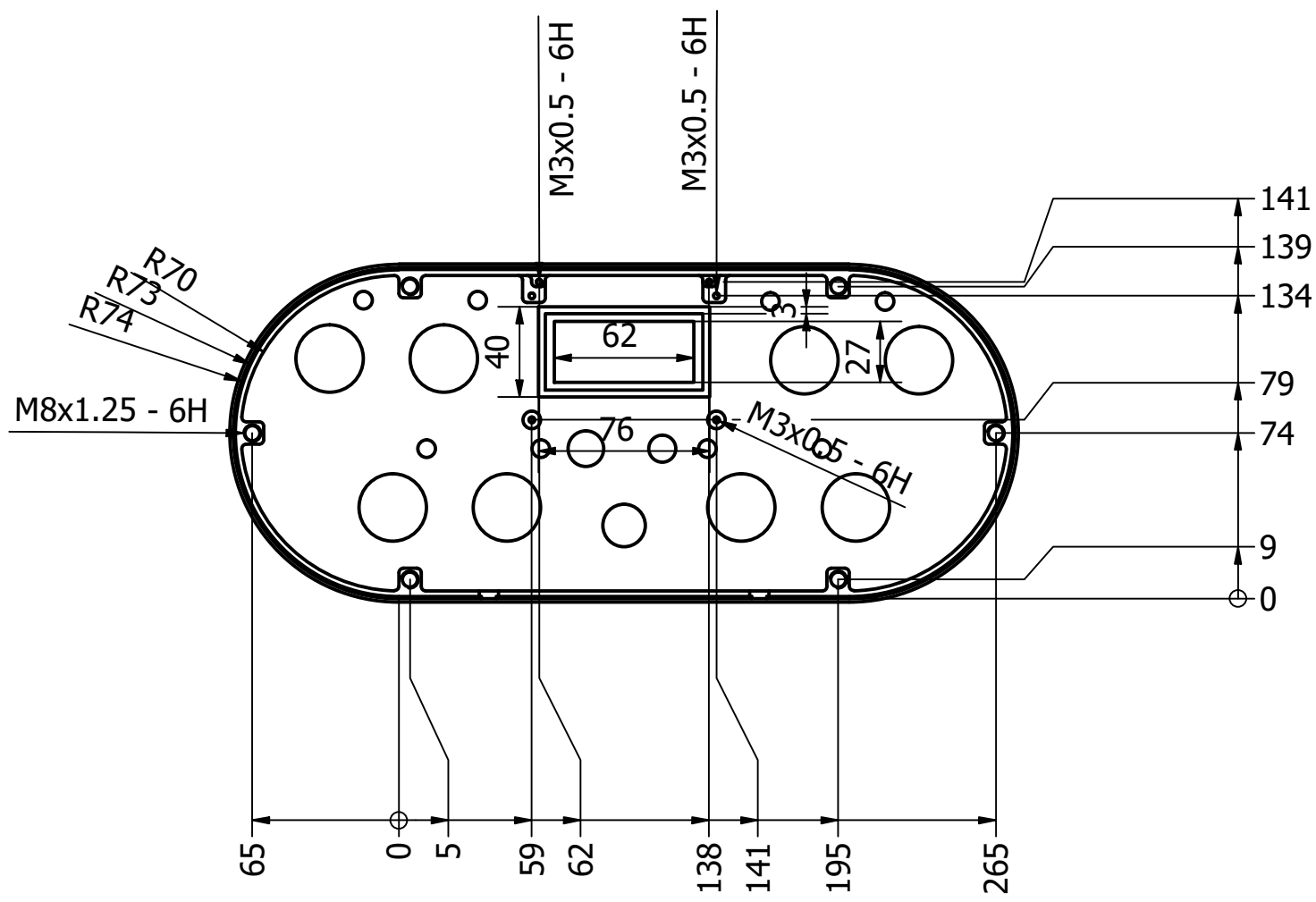
Hoja
1 / 1




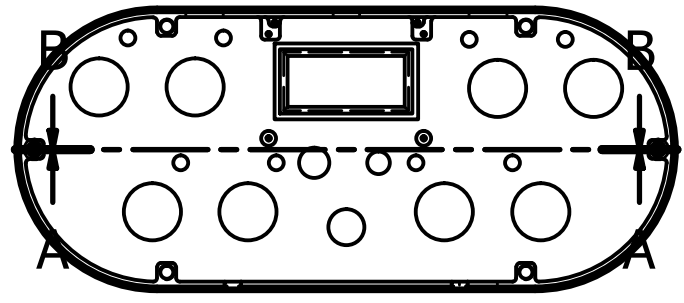
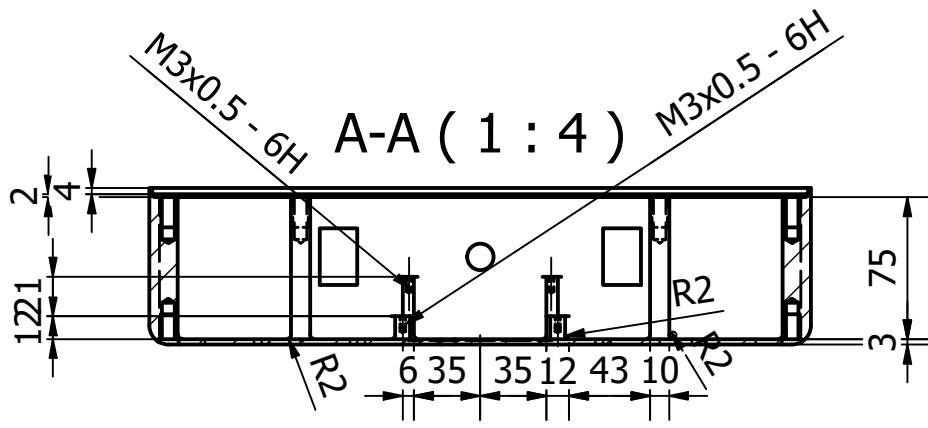
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 4	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Carcasa de mando RF		
		Carcasa del mando	Unidades mm	Hoja 1 / 4



Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 4	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Carcasa de mando RF		
		Carcasa del mando	Unidades mm	Hoja 2 / 4



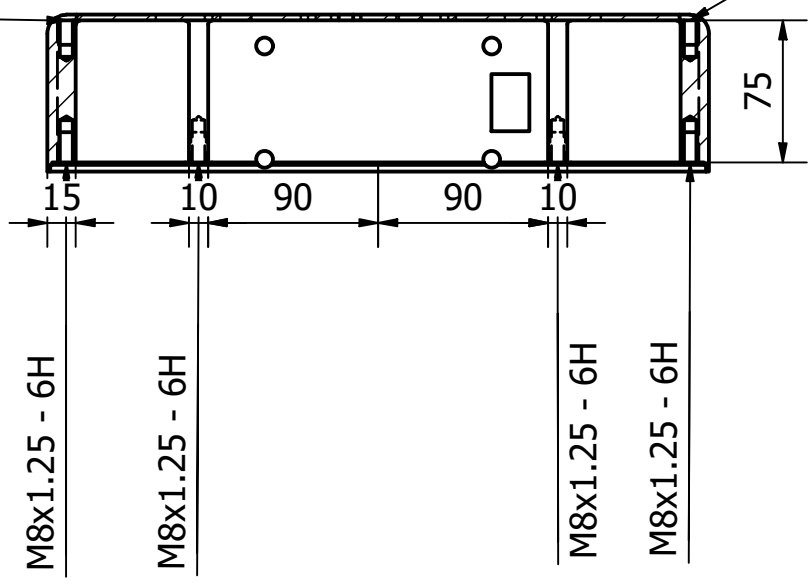
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Carcasa de mando RF		
		Carcasa del mando	Unidades mm	Hoja 3 / 4




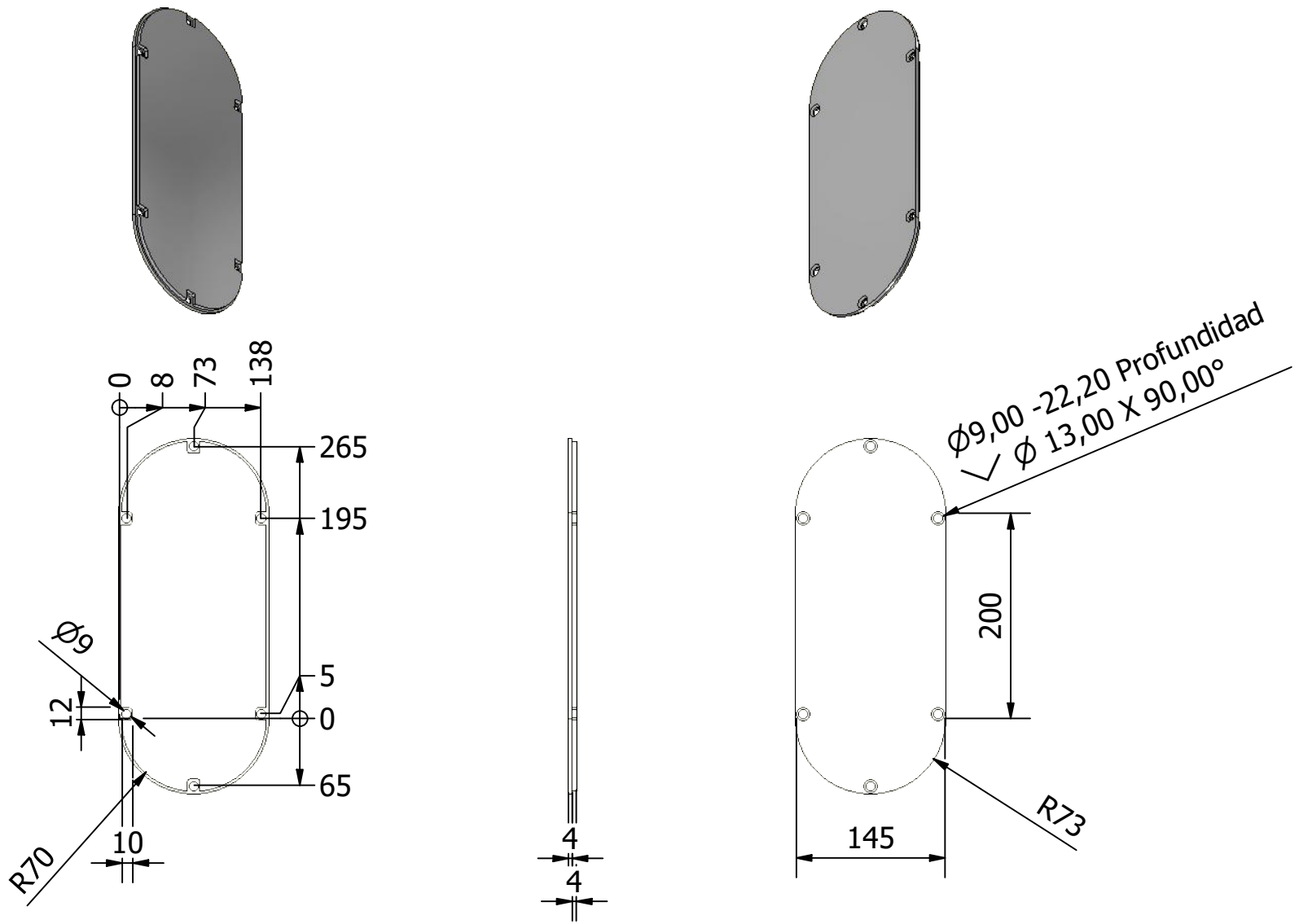
M8x1.25 - 6H
 □ Ø11,00 ∇ 3,00

B-B (1 : 4)

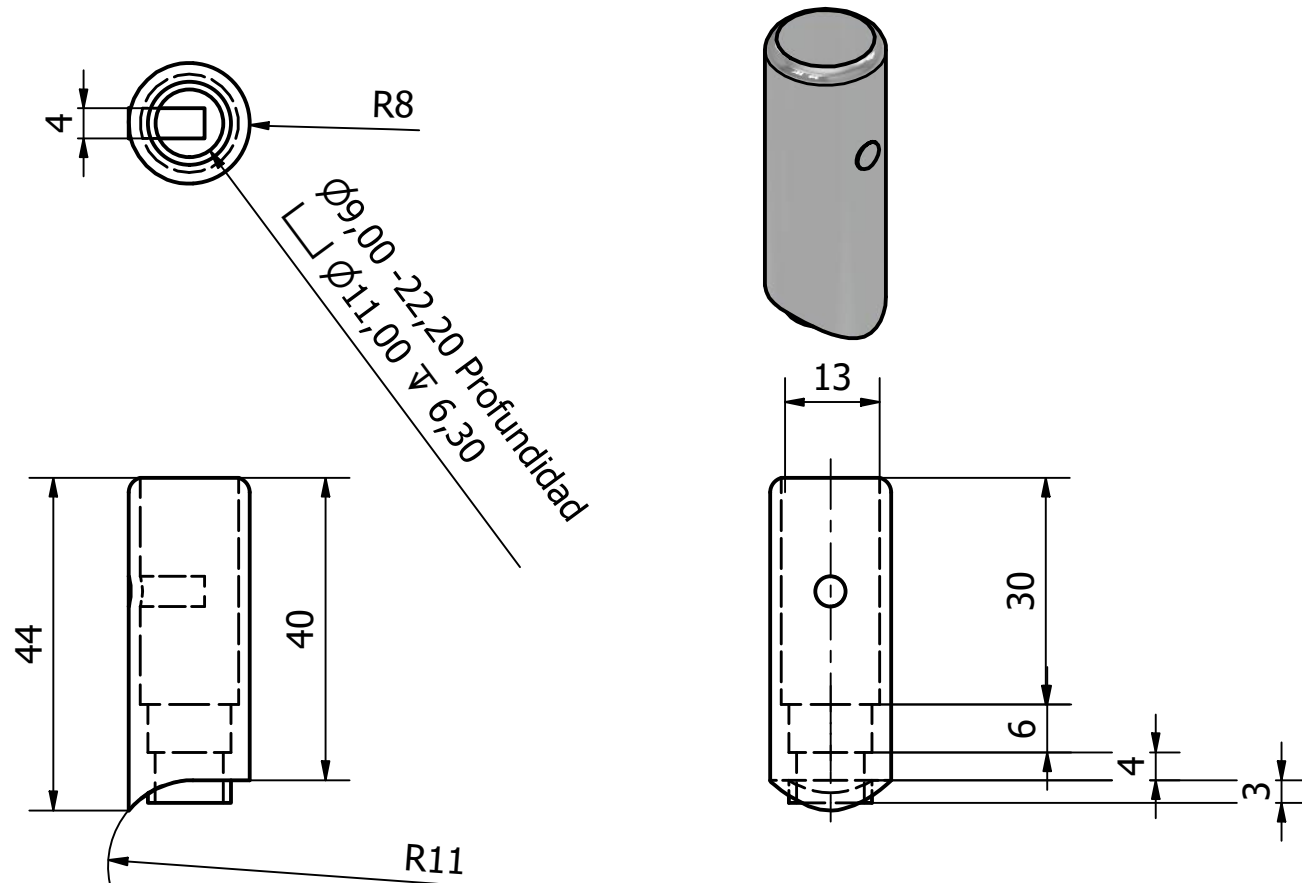
M8x1.25 - 6H
 □ Ø11,00 ∇ 3,00




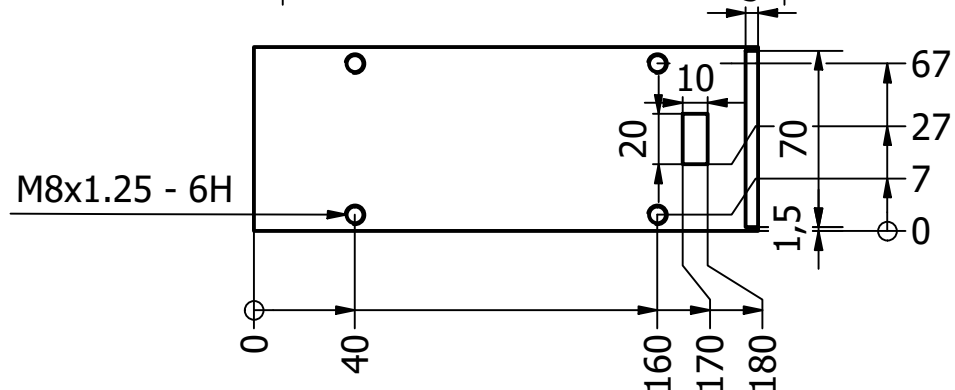
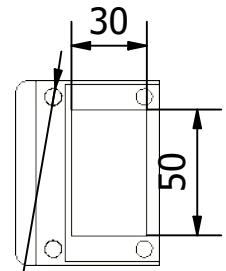
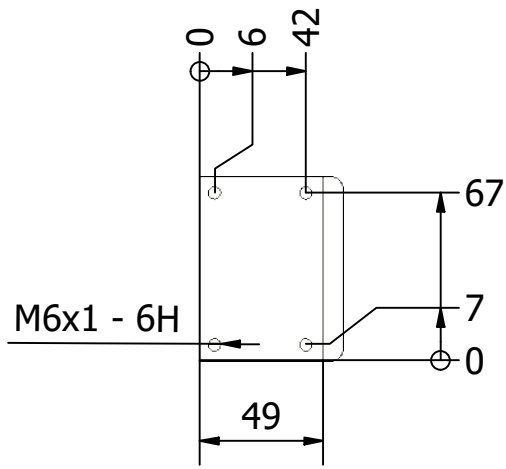
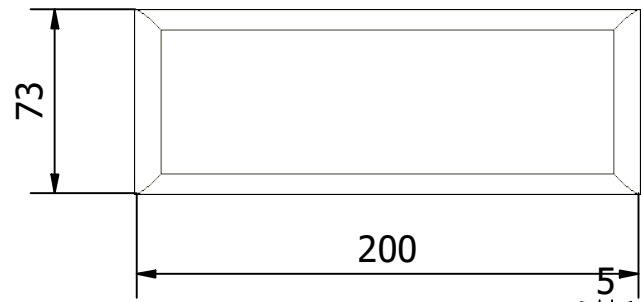
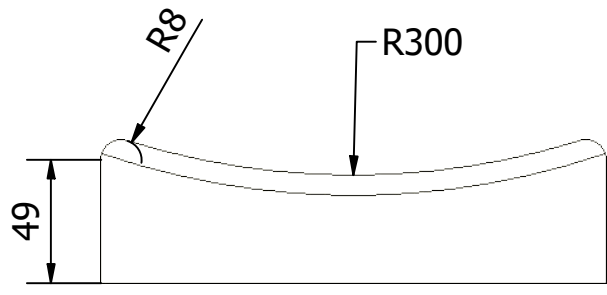
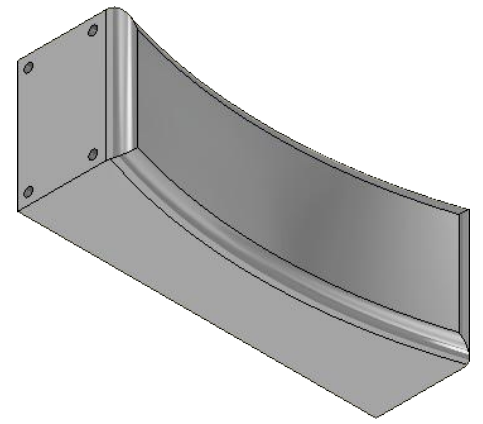
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Carcasa de mando RF		
		Carcasa del mando	Unidades mm	Hoja 4 / 4



Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 6	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
espol		Tapa inferior del mando		
		Tapa inferior del mando	Unidades mm	Hoja 1 / 1

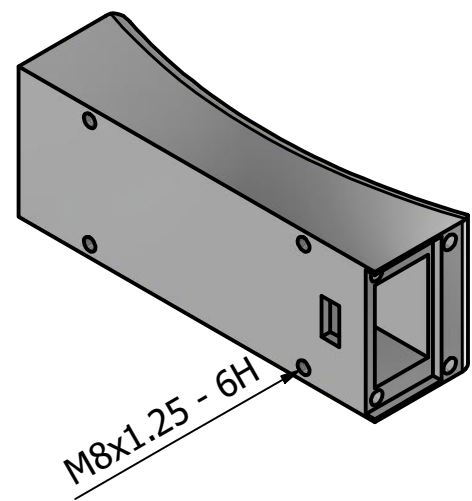
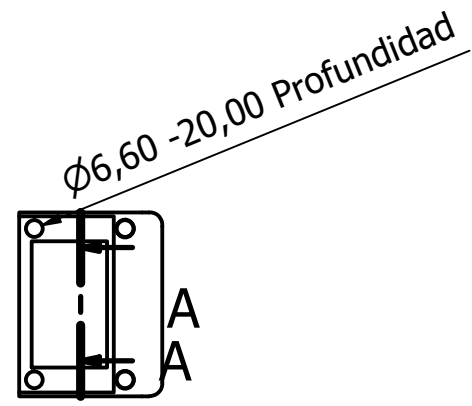
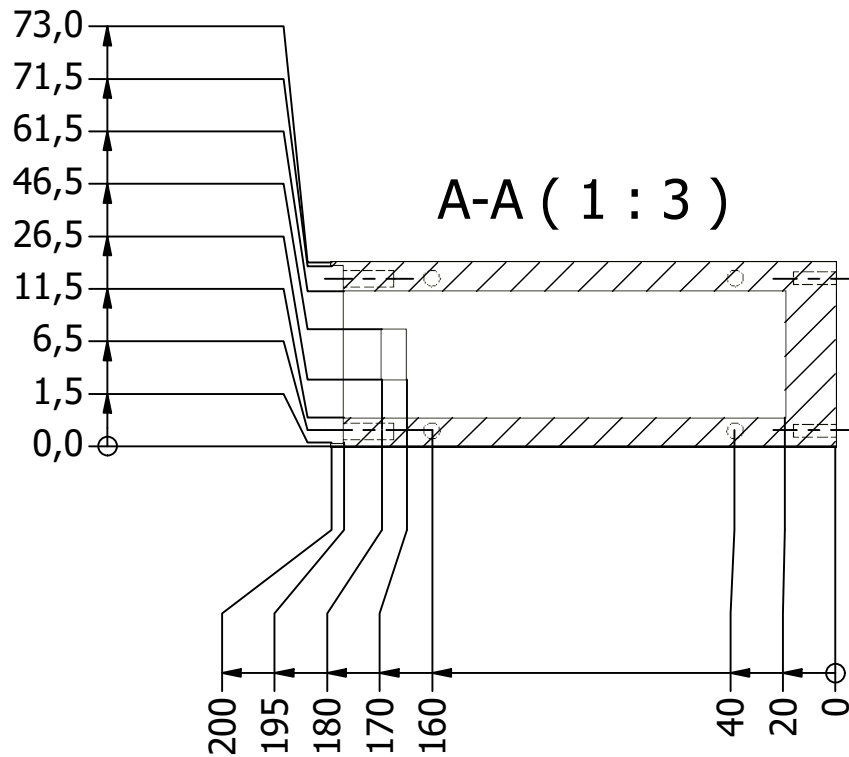


Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 1	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Base para protección		
		Base para protección	Unidades mm	Hoja 1 / 1

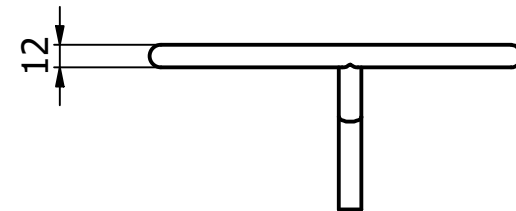
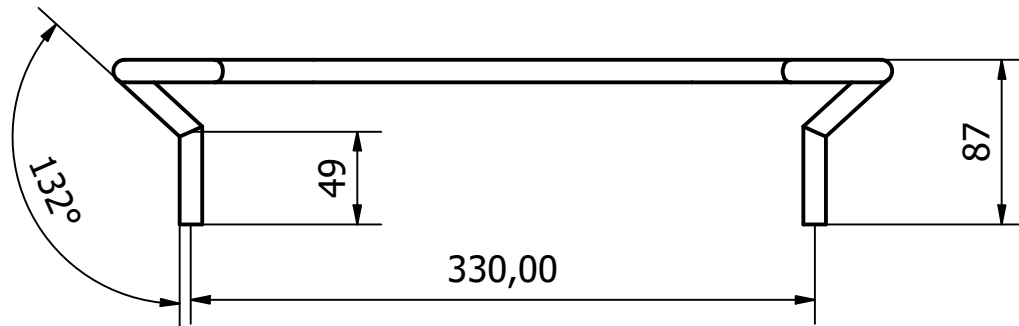
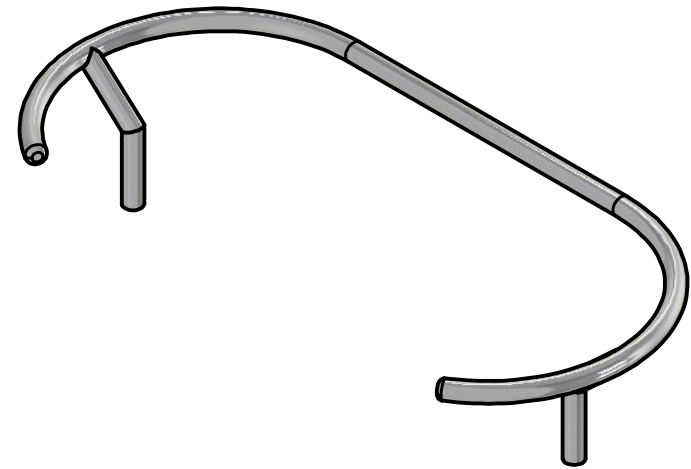
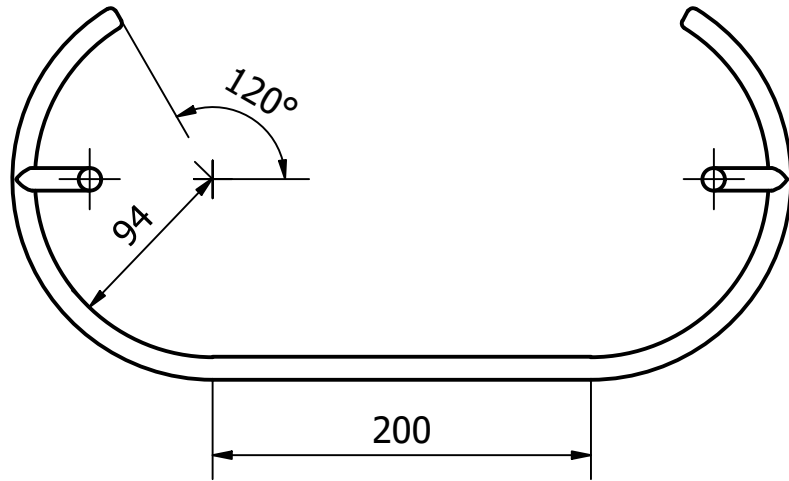


$\varnothing 6,60 - 20,00$ Profundidad

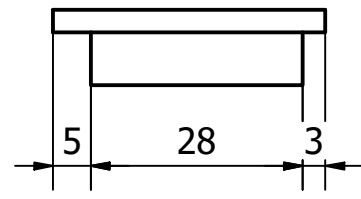
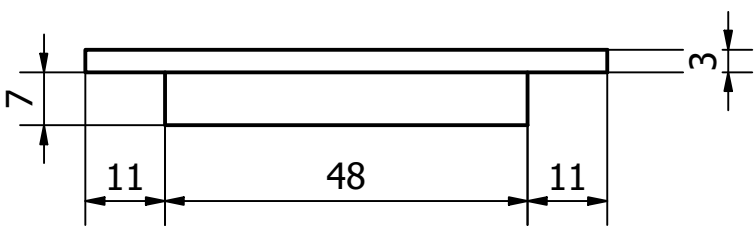
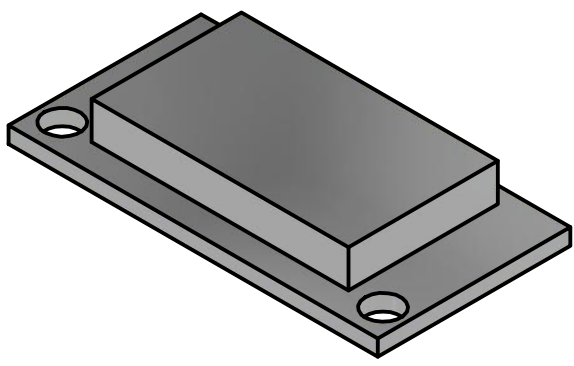
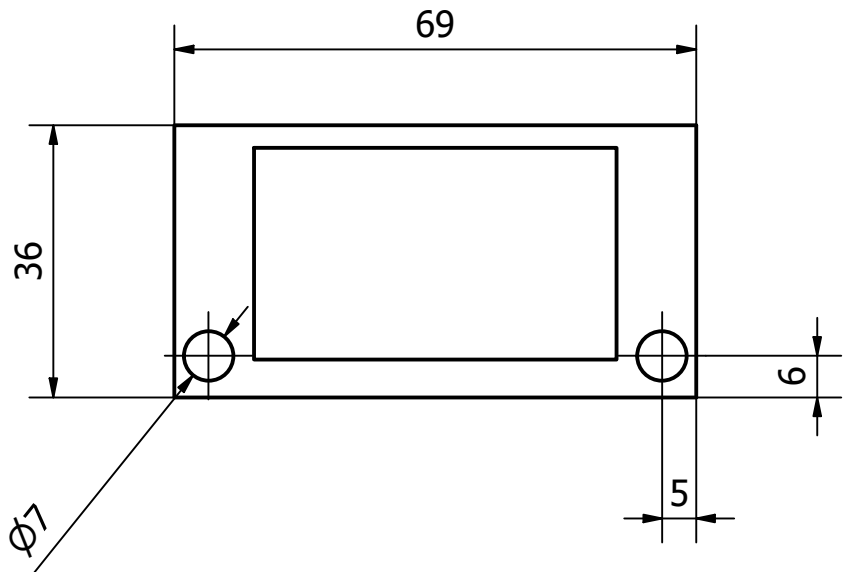
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Carcasa de la batería		
		Bateria Lipo 3S 5000mAh	Unidades mm	Hoja 1 / 2



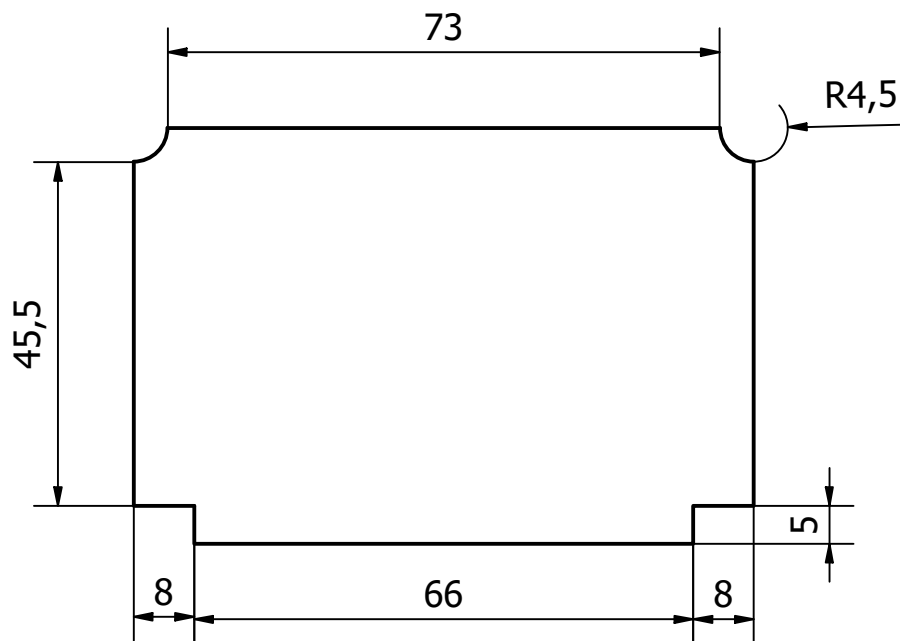
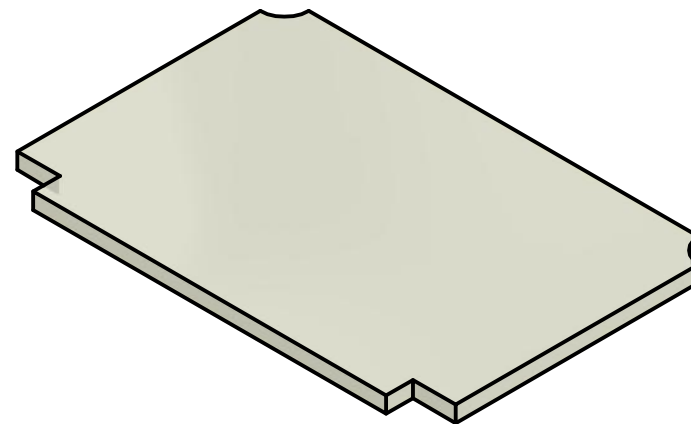
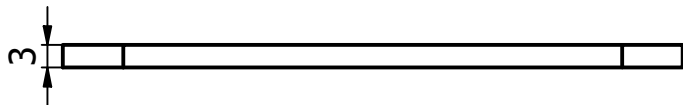
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Carcasa de la batería		
		Bateria Lipo 3S 5000mAh	Unidades mm	Hoja 2 / 2



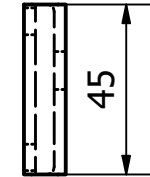
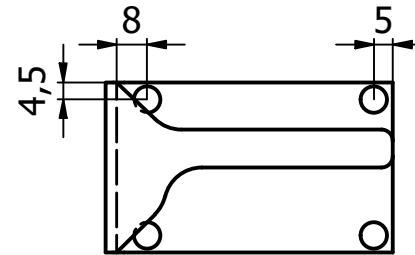
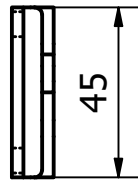
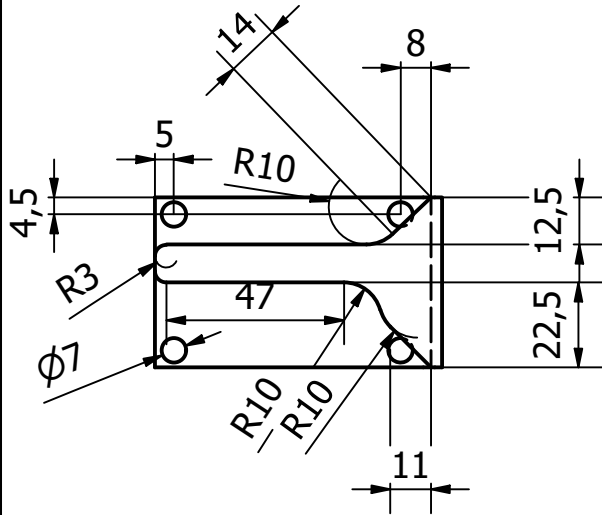
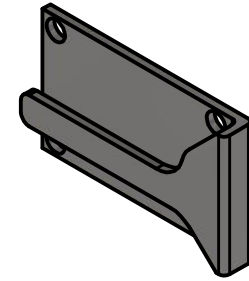
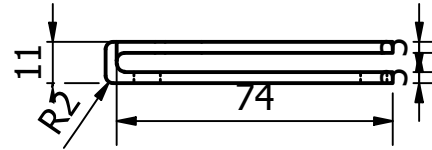
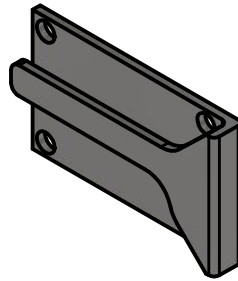
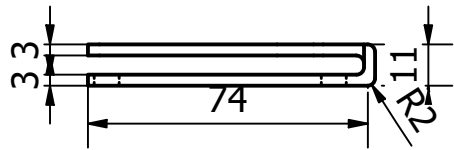
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 4	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
espol		Proteccion para mando RF		
		Aluminio 12 mm	Unidades mm	Hoja 1 / 1




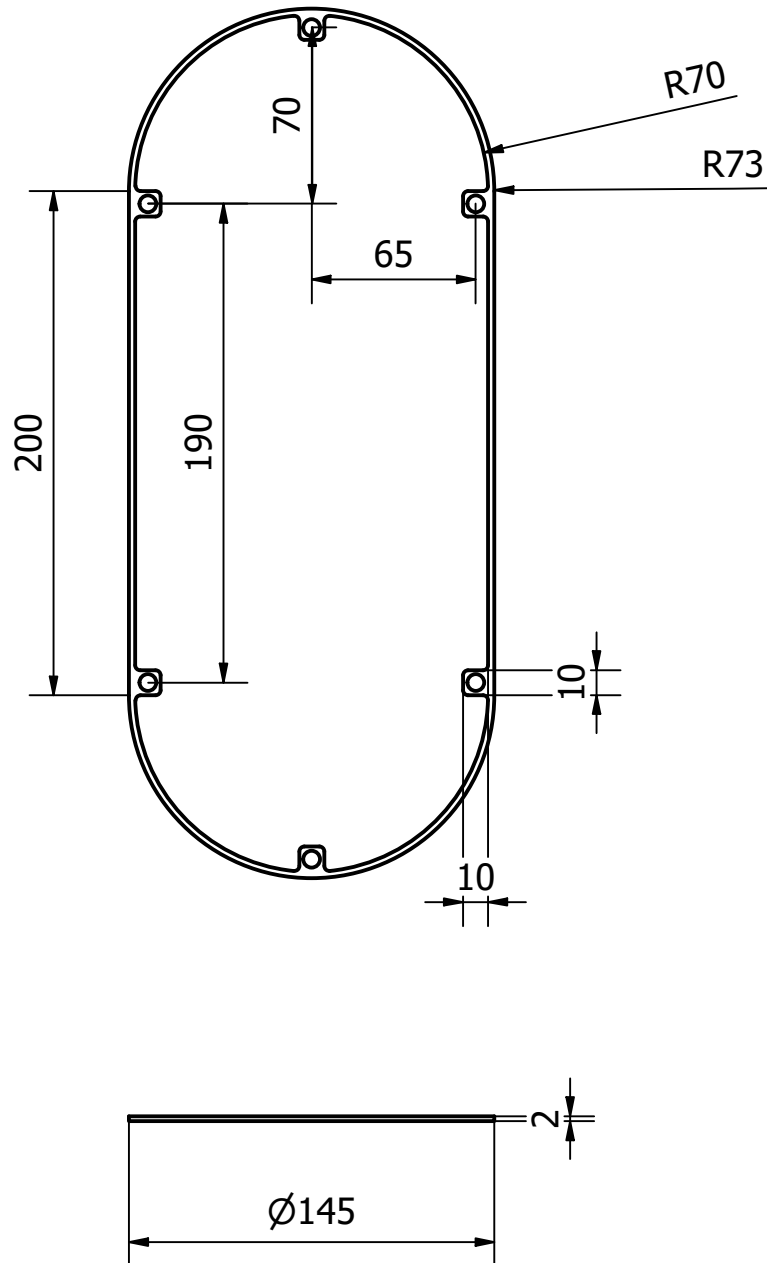
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Aluminio 6061	Escala 1 : 1	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Tapa de batería		
		Tapa de batería	Unidades mm	Hoja 1 / 1




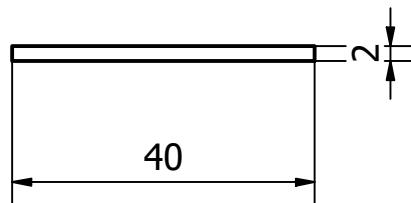
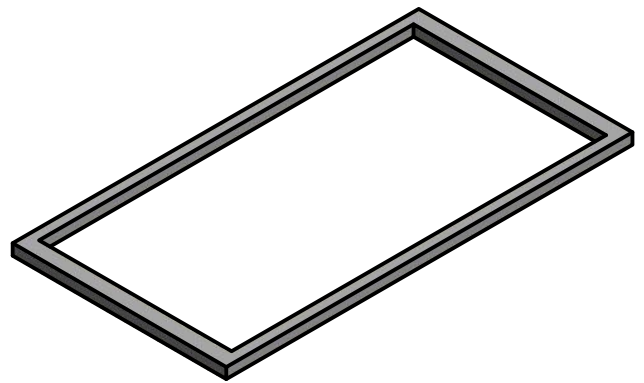
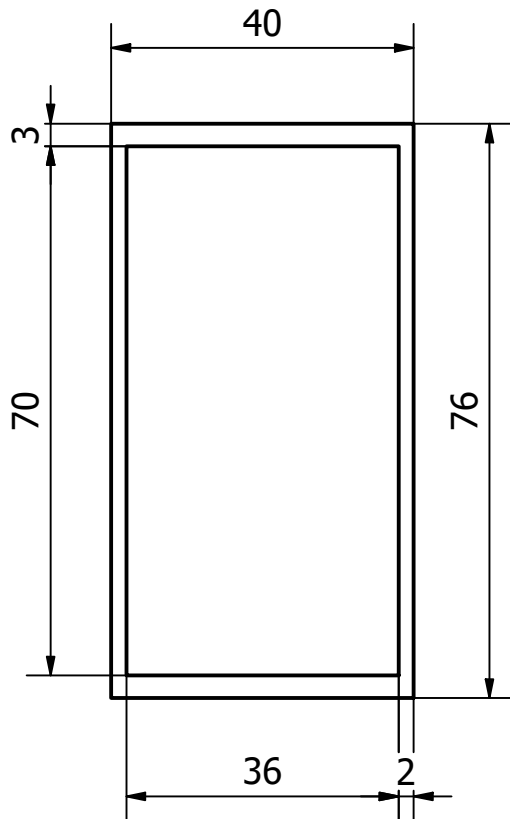
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Acrilico	Escala 1 : 1	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Visor de LCD 16x4		
		Acrilico 3 mm	Unidades mm	Hoja 1 / 1




Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Acero	Escala 1 : 2	Fecha 1/25/2021	Hoja A4
		Ganchos para cinturón		
		Ganchos de acero	Unidades mm	Hoja 1 / 1



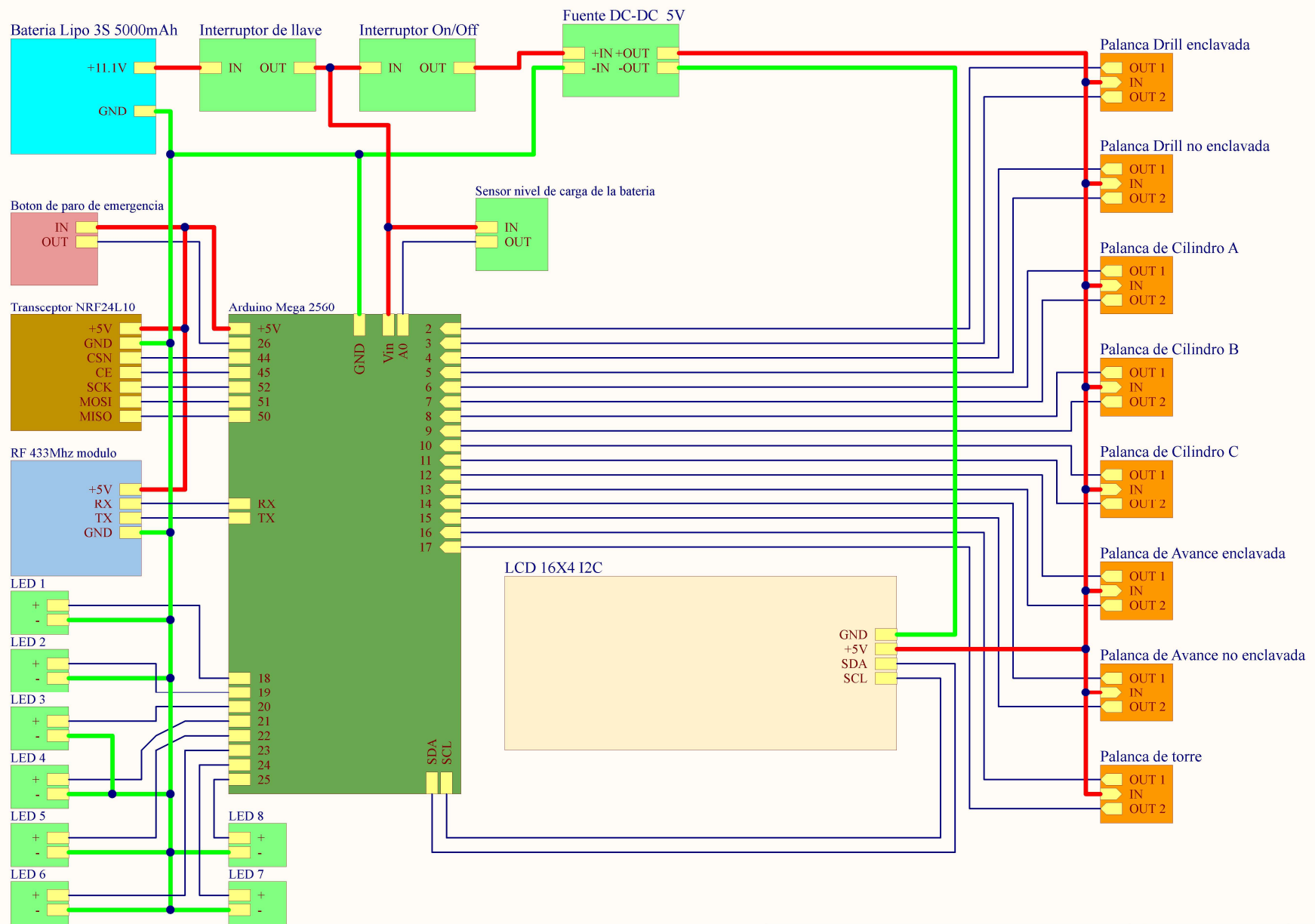
Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Silicona	Escala 1 : 3	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Junta de tapa del radio control		
		Junta de silicona	Unidades mm	Hoja 1 / 1



Diseño de Jhonny Lopez Ostaiza	Material: Silicona	Escala 1 : 1	Fecha 1/25/2021	hoja A4
		Junta de la tapa de LCD		
		Junta	Unidades mm	Hoja 1 / 1

APÉNDICE F

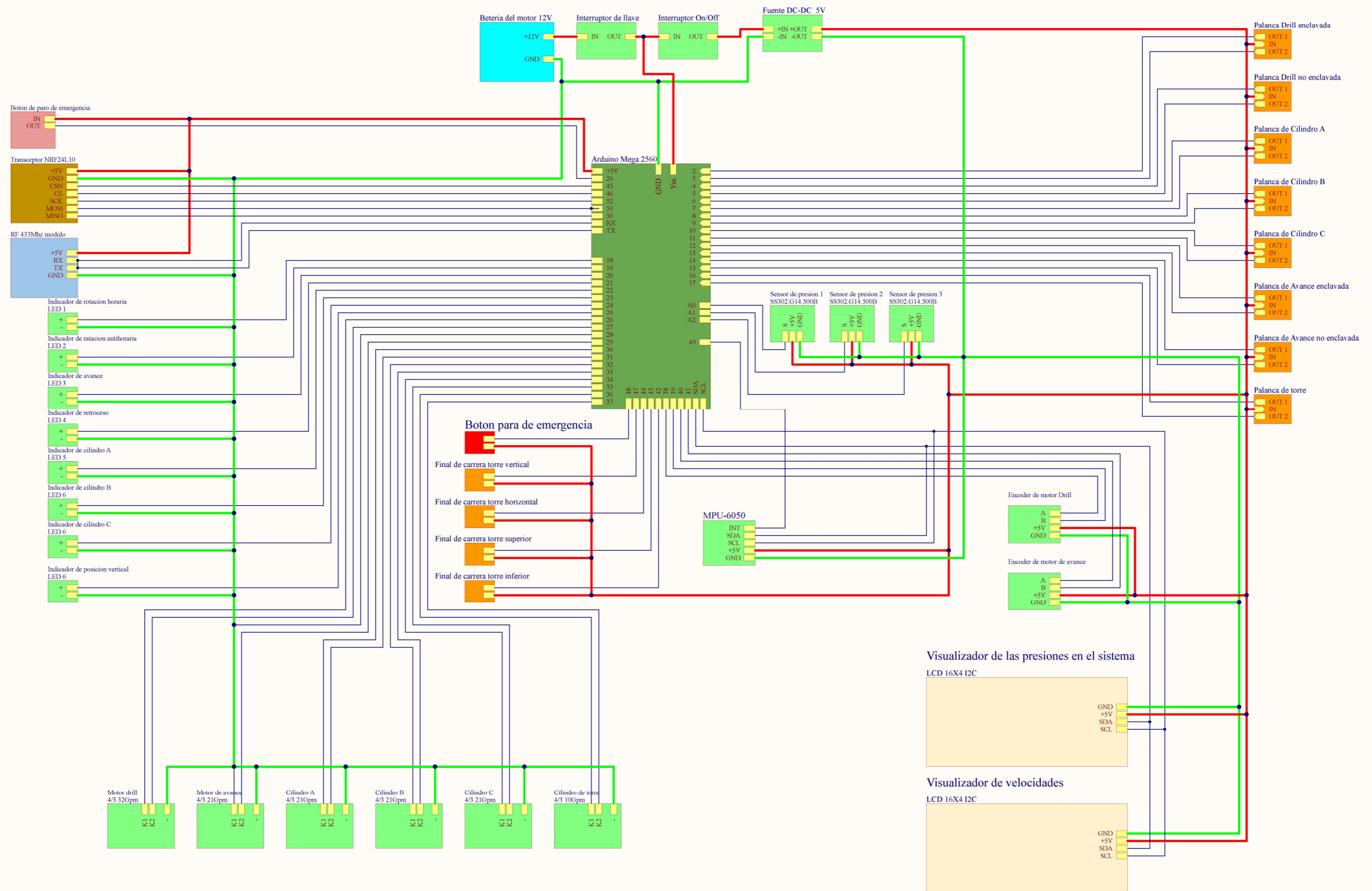
Esquemas eléctricos



Title Diagrama electronico mando RF		Jhonny Lopez Ingeniería Mecatrónica FIMCP	
Size: A4	Number: 1	Revision: 29/01/21	
Date: 27/01/21	Time: 10:25 AM		



DIAGRAMA ELECTRÓNICO INTERFAZ PERFORADORA



APÉNDICE G

Autorización



INTISA

Guayaquil 22 de Abril de 2021

AUTORIZACIÓN

Yo, Salomón Eduardo Rosero Delgado, con cédula de ciudadanía #0918442435, gerente de producción de INTISA, autorizo usar el nombre de nuestra organización para el tema del proyecto integrador **"Diseño de un sistema de control automatizado para una perforadora hidráulica"**, realizado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), perteneciente al estudiante **Jhonny Edwin Lopez Ostaiza** con número **1207060508** de cédula de ciudadanía.

Ing. Salomón Rosero Delgado
Cédula de Ciudadanía #:0918442435
Teléfono: 0992331653



Vía a Daule km 12.5 Parque Industrial El Sauce
(Calle 42 NO y Calle 23C NO)



593-4-2113471
593-9-3040996



www.intisa.net
obrasciviles@intisa.net