

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y
FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



“IMPLEMENTACIÓN E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE UN REACTOR CVD PARA LA OBTENCIÓN DE TRAZAS DE FIBRA DE CARBONO”

Tesis presentada por la bachiller:

CAROLINA GÓMEZ CHACÓN

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Asesor: Ing. Jorge Luis Castro Valdivia

AREQUIPA, PERU

- 2017 -

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en la integración e implementación del sistema de control de un reactor CVD para la obtención de trazas de fibra de carbono.

El problema principal consiste en la integración de distintos protocolos de comunicación en una sola interfaz gráfica que permita realizar tanto la comunicación hombre-máquina, así como registrar la información de todas las variables de trabajo en cada experimentación. El sistema deberá funcionar con conexión a internet, para permitir al usuario un control a distancia y el registro de la información en otros equipos.

Para lograrlo, realizó un estudio de selección del hardware adecuado, la integración de protocolos, el estudio y diseño de la interfaz, y la implementación de la misma.

Se consiguió un sistema integrado, que mediante un servidor, almacena la información de las variables físicas como la presión el flujo y la temperatura, en función del tiempo y además grafica estos datos en tiempo real.

Palabras Clave: CVD, fibra de carbono, control, interfaz.

ABSTRACT

The present work consists in the integration and implementation of the control system of a CVD reactor to obtain traces of carbon fiber.

The main problem consists in the integration of different communication protocols in a single graphical interface that allows to perform both, the human machine communication as well as the information record of all the working variables in each experimentation. The system must work with internet connection, to allow the user a remote control and the registration of information.

To achieve this, a study of selection of the appropriate hardware, the integration of protocols, the study and design of the interface, and the implementation of it, should be done.

An integrated system was obtained which, through a server, stores the information of the physical variables such as pressure, flow and temperature, as a function of time and also graphs these data in real time.

Keywords: CVD, carbon fiber, control, interface.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los profesores que con su experiencia me guiaron en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco a Karina, quien hace de la vida universitaria, un camino que se puede sobrellevar.

Agradezco a Renato y Freddy, porque me dieron su tiempo y conocimientos para superar las dificultades propias de toda investigación.

Agradezco al CONCYTEC, que promueve la investigación en ciencia y tecnología en todo el Perú, y que con oportunidades como la que me concedieron, generan recursos humanos valiosos, que harán cada día más grande al país.

Agradezco al equipo del proyecto de investigación Contrato N° 141-2014-FONDECYT, por dejarme ser parte de él y por compartir conmigo sus conocimientos y experiencias.

Y, estaré eternamente agradecida con las personas que no menciono aquí pero aprecio todo su apoyo en este proceso.

DEDICATORIA

A Dios, que hace posible cada una de nuestras existencias.

A María, que lo ha hecho todo.

A Guido y Manuela, la roca firme sobre la que me sostengo.

A Guidito. mi apoyo incondicional en cada paso.

A Paulita, que estará cada día justo a mi lado.

A Juan Gael, mi inspiración, motor y motivo.



ÍNDICE

RESUMEN.....	ii
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ESQUEMAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
LISTA DE ABREVIACIONES	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
Capítulo I ASPECTOS GENERALES	18
1.1. Descripción del Problema	18
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo principal	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Alcances	19
1.4. Justificación	19
Capítulo II MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Método Deposición Química de Vapor (CVD).....	21
2.2. Ventajas y Limitaciones de la Tecnología CVD	22
2.3. Fibra de Carbono.....	23
2.4. Sistema de Adquisición de Datos.....	24
2.4.1. Sistema SCADA	24
2.4.2. Ventajas de un sistema SCADA	25
2.4.3. Funciones de un sistema SCADA	26
2.5. Redes de Comunicación Industrial.....	26
2.5.1. Las comunicaciones industriales.....	26
2.5.2. Sistemas de control industrial	27
2.5.2.1. Control centralizado.....	27
2.5.2.2. Control centralizado multicapa	28
2.5.2.3. Control distribuido	29
2.5.3. Normas sobre las comunicaciones: el modelo ISO /OSI	29
2.5.4. Tipos de transmisión de datos	30
2.5.4.1. Transmisión serie	30
2.5.4.2. Transmisión paralelo.....	30
2.6. Normas Físicas.....	31
2.6.1. Normas Física RS - 232	31
2.6.1.1. Características mecánicas de la interfaz.....	32
2.6.1.2. Paso de señales eléctricas por la interfaz	32
2.6.1.3. Función de cada señal y subconjunto de señales para ciertas aplicaciones:	32

2.6.2.	Norma Física RS - 422:.....	33
2.6.3.	Norma Física RS - 485:.....	34
2.7.	Topología de Redes.....	34
2.8.	Protocolos industriales de comunicación.....	38
2.8.1.	Pirámide de automatización.....	38
2.8.1.1.	Nivel de acción / sensado.....	38
2.8.1.2.	Nivel de control.....	38
2.8.1.3.	Nivel de supervisión.....	38
2.8.1.4.	Nivel de gestión.....	38
2.8.2.	Buses de campo.....	39
2.9.	Buses de comunicación en microcontroladores.....	40
2.9.1.	Bus Inter – IC (I2C).....	40
2.9.2.	Serial Peripheral Interface (SPI).....	42
2.10.	Interfaz Humano – Máquina.....	44
2.10.1.	Principios de desarrollo: El movimiento Maker.....	44
2.10.2.	Hardware de código abierto.....	45
2.10.2.1.	Arduino.....	45
2.10.2.2.	Raspberry Pi.....	47
2.10.3.	Software de código abierto.....	47
2.10.3.1.	Processing.....	47
2.10.3.2.	P5.js.....	48
2.10.3.3.	HTML, CSS y JavaScript.....	48
2.10.3.3.1.	HTML.....	49
2.10.3.3.2.	CSS.....	49
2.10.3.3.3.	JavaScript.....	49
2.10.3.4.	Node.js.....	49
2.11.	Adquisición de datos.....	50
2.12.	Protocolos de comunicación.....	51
2.12.1.	Sistema de control de temperatura.....	51
2.12.2.	Sistema regulador de presión y de flujo másico.....	51
Capítulo III	METODOLOGÍA.....	52
3.1.	Selección del hardware adecuado para la implementación del sistema de control de temperatura, flujo másico y presión.....	52
3.1.1.	Diagrama de bloques del proceso en general.....	52
3.1.2.	Definición del concepto del Hardware.....	53
3.1.2.1.	Sub Sistema de control de flujo másico y presión.....	53
3.1.2.2.	Sub Sistema de control para el segundo controlador de temperatura.....	57
3.1.2.3.	Sub Sistema de control para el sistema de termocuplas auxiliares.....	59
3.1.2.4.	Sub Sistema de adquisición de datos.....	62
3.2.	Integración de los protocolos de comunicación.....	64
3.2.1.	Sistema de control de flujo másico y de presión.....	64
3.2.1.1.	Conector mini DIN8.....	64
3.2.1.2.	Especificaciones eléctricas.....	65
3.2.1.3.	Especificaciones de los pines DB9.....	65
3.2.1.4.	Construcción de una red física ALICAT.....	68
3.2.1.6.	Diseño del circuito.....	70
3.2.3.	Configuración y programación.....	71
3.2.3.1.	Cambiar la identificación del evento.....	71
3.2.3.2.	Cambiar a “Polling mode”.....	71
3.2.3.3.	Consideraciones de red.....	72
3.2.4.	Algoritmo de la Interfaz del Usuario para los dispositivos ALICAT.....	72
3.2.5.	Sistema de adquisición de temperatura del horno.....	72
3.2.5.1.	Especificaciones del sistema.....	72

3.2.5.2.	Instrucciones de comunicación	73
3.2.5.2.1.	Código de dirección “Addr”	73
3.2.5.2.2.	Código de parámetro.....	74
3.2.5.2.3.	Código de corrección de error (ECC)	74
3.2.5.2.4.	Instrucción de lectura ECC	74
3.2.5.2.5.	Instrucción de escritura ECC	75
3.2.5.2.6.	Información de respuesta	75
3.2.5.3.	Programación	76
3.2.6.	Sistema de termocuplas auxiliares.	76
3.2.6.1.	Termocuplas.....	77
3.2.6.2.	Efecto Seebeck	77
3.2.6.3.	Descripción del tipo de termocupla utilizada.....	78
3.2.6.4.	Acondicionamiento de la señal	78
3.2.6.4.1.	MAX31850k	78
3.2.6.4.2.	Conversión de temperatura	80
3.2.6.4.3.	Compensación de la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction)	81
3.2.6.5.	Diseño del circuito	81
3.2.6.6.	Configuración y programación	82
3.3.	Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz Humano –Máquina.....	83
3.3.1.	Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz para los controladores ALICAT.83	
3.3.2.	Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz integrada.....	84
Capítulo IV	RESULTADOS.....	85
4.1.	Lista de elementos seleccionados.....	85
4.2.	Integración de los protocolos de comunicación	87
4.2.1.	Sistema de control de flujo másico y de presión.....	87
4.2.1.1.	Construcción física de una red ALICAT.	87
4.2.1.2.	Software para los controladores de flujo y presión	89
4.2.1.3.	Comunicación del Software con los controladores de flujo y presión.....	90
4.2.2.	Sistema de adquisición de temperatura del horno.....	92
4.2.2.1.	Sistema de termocuplas auxiliares.	92
4.2.2.1.1.	Primeras pruebas.....	92
4.2.2.1.2.	Prueba en el reactor hasta 900°C	95
4.2.2.2.	Sistema de comunicación para el segundo controlador de temperatura (Zona 2)	99
4.3.	Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz Humano –Máquina.....	101
4.3.1.	Lenguajes de soporte.....	101
Capítulo V	CONCLUSIONES	106
Capítulo VI	RECOMENDACIONES	107
Capítulo VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
Anexo 01	PLANOS DE CONEXIONES	113
Anexo 02	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “HYPERTERMINAL® Y PRUEBA DE COMUNICACIÓN TIPO STREAMING”	114
Anexo 03	INSTRUCCIONES PARA OBTENER DATOS CON EL MONITOR SERIAL DE ARDUINO 120	
Anexo 04	ALGORITMO PARA LA INTERFAZ ALICAT.....	124
Anexo 05	ALGORITMO PARA LA INTERFAZ DE TERMOCUPLAS.....	131
Anexo 06	CÓDIGOS DE PARÁMETRO DEL PROTOCOLO AIBUS PARA EL MÓDULO S133	
Anexo 07	PLANOS DE HARDWARE.....	137

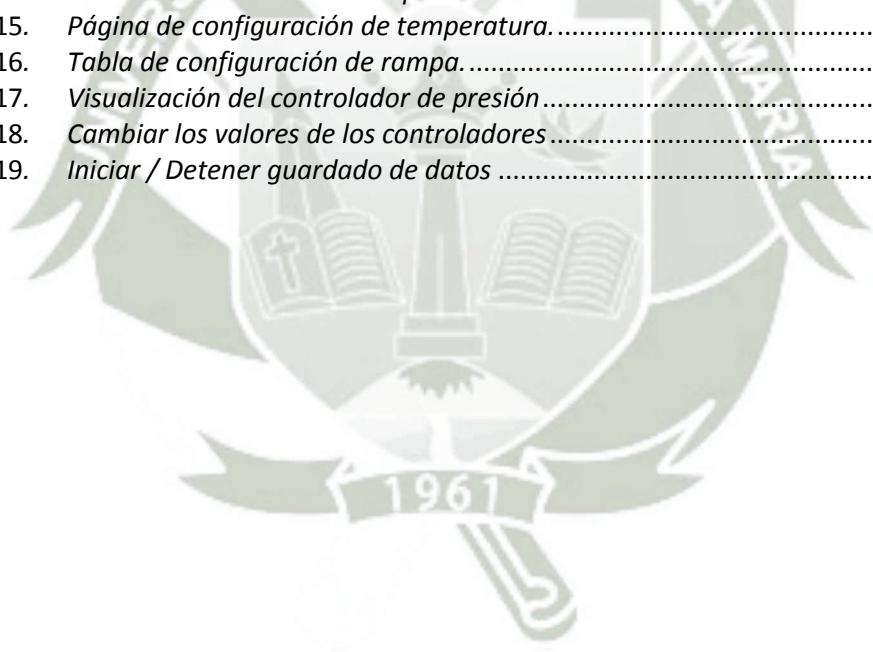


ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Consumo de fibra de carbono en la industria a nivel mundial, [19] y [20]	23
Tabla 2.	Valores de las características principales en un sistema de comunicación, [34]	26
Tabla 3.	Capas del modelo OSI	29
Tabla 4.	Ventajas y desventajas de la transmisión en paralelo	31
Tabla 5.	Señales de la interfaz RS – 232, [34]	32
Tabla 6.	Equivalencias de conectores DB – 9 y DB – 25, [34]	33
Tabla 7.	Señales de las normas RS – 422, [34]	33
Tabla 8.	Señales de las normas RS – 485, [34]	34
Tabla 9.	Topologías de red	35
Tabla 10.	Topologías combinadas de red	37
Tabla 11.	Buses de campo más comunes, [56]	39
Tabla 12.	Diferencias / Similitudes entre I2C y SPI	43
Tabla 13.	Lista de materiales del sub sistema de control de flujo másico y presión	56
Tabla 14.	Lista de materiales del sub sistema de control para el segundo controlador de temperatura	58
Tabla 15:	Lista de materiales del sistema de monitoreo y control para el sub sistema de termocuplas auxiliares	61
Tabla 16.	Función de cada pin conector de los controladores marca ALICAT y su color, [89]	64
Tabla 17.	Función de cada pin conector de los controladores marca ALICAT, [89]	65
Tabla 18.	Referencia pin/color de los controladores marca ALICAT, [89]	66
Tabla 19.	Referencia pin/color de la conexión serial/mini DIN8 de los controladores marca ALICAT, [89]	68
Tabla 20.	Instrucciones de lectura / escritura para el controlador de temperatura, [95] ...	73
Tabla 21.	Distribución de bytes en el Código de corrección de error	74
Tabla 22.	Datos entregados por el instrumento controlador de temperatura, [95];	Error! Marcador no
Tabla 23.	Descripción de los datos entregados por el instrumento controlador de temperatura, [95]	Error! Marcador no definido.
Tabla 24.	Características de las termocuplas adquiridas, [102]	78
Tabla 25.	Lista de elementos seleccionados	85

ÍNDICE DE ESQUEMAS

Esquema 1.	Control centralizado, [41].....	28
Esquema 2.	Control centralizado multicapa, [41].....	28
Esquema 3.	Control distribuido, [41].....	29
Esquema 4.	Diagrama de bloques del proceso de Adquisición de Datos.....	50
Esquema 5.	Diagrama de bloques del proceso en general	52
Esquema 6.	Mapa Conceptual del sistema de control y supervisión centralizado	53
Esquema 7.	Diagrama de bloques del sub sistema de monitoreo y control de flujo másico y presión.....	56
Esquema 8.	Diagrama de bloques del sub sistema de control de temperatura	58
Esquema 9.	Diagrama de bloques del subsistema de monitoreo y control de temperatura por medio de termocuplas auxiliares	61
Esquema 10.	Diagrama de bloques del sub sistema de adquisición de datos.....	64
Esquema 11.	Conexión RS-232 a mini DIN8	68
Esquema 12.	Diagrama de Espacio Estado para la primera interfaz que comunica los dispositivos controladores de flujo y presión	83
Esquema 13.	<i>Página inicial de la Interfaz del Usuario</i>	101
Esquema 14.	<i>Visualización de las termocuplas.....</i>	102
Esquema 15.	<i>Página de configuración de temperatura.....</i>	103
Esquema 16.	<i>Tabla de configuración de rampa.....</i>	103
Esquema 17.	<i>Visualización del controlador de presión.....</i>	104
Esquema 18.	<i>Cambiar los valores de los controladores.....</i>	105
Esquema 19.	<i>Iniciar / Detener guardado de datos</i>	105



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

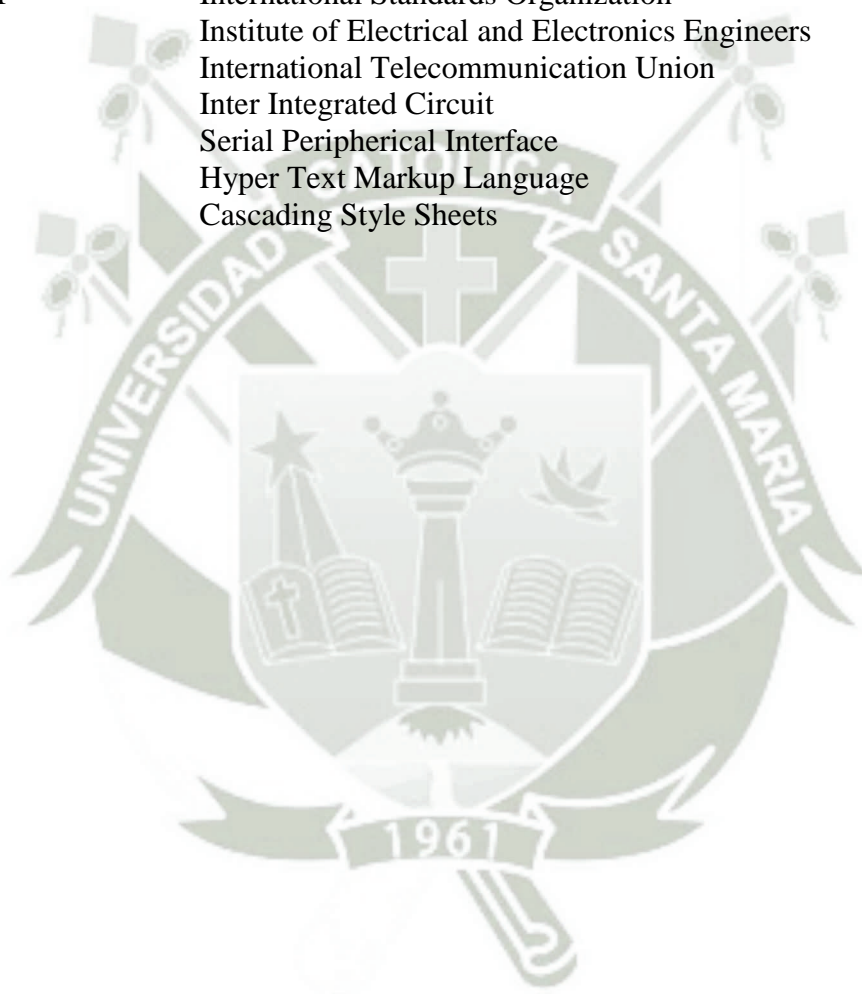
Ilustración 1.	Disposición de los elementos en el sistema reactor, Bermejo [1]	xvi
Ilustración 2.	Método CVD para producción de fibra de carbono, [12]	22
Ilustración 3.	Topologías de red, [51].....	35
Ilustración 4.	Pirámide de automatización.....	39
Ilustración 5.	Esquema I2C	40
Ilustración 6.	Esquema SPI.....	42
Ilustración 7.	Placa Arduino, [72]	47
Ilustración 8.	Placa Raspberry, [72]	47
Ilustración 9.	IDE Processing, [79]	48
Ilustración 10.	p5.js, [87].....	48
Ilustración 11.	HTML, CSS y JavaScript [87]	49
Ilustración 12.	Node.js [88]	49
Ilustración 13	Controladores de flujo másico, de marca SIERRA Instruments y ALICAT Scientific, respectivamente	54
Ilustración 14.	Microcontroladores: Arduino, CereBot y Galileo	55
Ilustración 15.	Convertidores de RS232 a TTL: SparkFun y Adafruit	55
Ilustración 16.	Controlador Yudian 708P, [95]	57
Ilustración 17.	Módulo S4, Yudian, [95].....	57
Ilustración 18.	Termocuplas de longitudes de 60cm, 45cm, 30cm y 20cm.....	60
Ilustración 19.	Tarjeta MAX31850k: Adafruit y SparkFun, respectivamente	60
Ilustración 20.	Arduino Nano [96]	60
Ilustración 21.	Arduino MEGA	62
Ilustración 22.	Pantalla táctil de 7", y Adaptador Kippah para Raspberry Pi.....	63
Ilustración 23.	Raspberry Pi 3B+	63
Ilustración 24.	Mini-DIN8, [89]	64
Ilustración 25.	Conectores mini-DIN8 macho y hembra, [89]	65
Ilustración 26.	Puerto y cable serial para la comunicación del controlador con una PC, [89]	67
Ilustración 27.	Red física ALICAT de tres controladores, [89].....	69
Ilustración 28.	Red física de los controladores de flujo ALICAT, conectados al convertidor RS232 que envía la señal TTL al Arduino.....	70
Ilustración 29.	Diagrama de uniones en una termocuplas, [101].....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 30.	Termocuplas adquiridas, de diversas longitudes	78
Ilustración 31.	Tarjeta Adafruit MAX31850k (izquierda), y elevador de voltaje BSS138 (derecha), [94]	79
Ilustración 32.	Diagrama de bloques del módulo MAX31850k, [102]	80
Ilustración 33.	Tarjeta Adafruit MAX31850k y elevador de voltaje BSS138, integrados en un circuito con Arduino	82
Ilustración 34:	Construcción física de una red ALICAT	87
Ilustración 35.	Prueba fotográfica de regulación de gas en controlador ALICAT	88
Ilustración 36.	Placas de interruptores magnéticos.....	88
Ilustración 36.	Placa de control para los dispositivos de la marca ALICAT.....	89
Ilustración 36.	Prueba fotográfica del funcionamiento del software para los controladores de flujo y presión ALICAT.....	90
Ilustración 37.	Prueba fotográfica de la comunicación del software con el controlador de flujo ALICAT	91

Ilustración 38. Composición de fotografías de la tarjeta del sistema de termocuplas, conectando a Arduino y Raspberry	93
Ilustración 39. Composición de fotografías de la data que se muestra en pantalla a partir del sistema de termocuplas.....	93
Ilustración 41. Placa de control para la recepción de la data de las 04 termocuplas del sistema.....	94
Ilustración 40. Uso de gas nitrógeno en la prueba.....	95
Ilustración 41. Controlador ALICAT conectado al reactor y a alimentación eléctrica	95
Ilustración 42. Horno reactor tubular de tres zonas , llegando a la primera rampa de 600°C	96
Ilustración 43. Gas nitrógeno conectado al controlado de flujo másico ALICAT	96
Ilustración 44. Controlador ALICAT para gas nitrógeno programado en 0.5 NLPM.....	97
Ilustración 45. Composición Fotográfica. Al lado izquierdo, en la imagen superior se observa el sistema de termocuplas. En la parte inferior se observan las conexiones hechas desde el sistema hacia el reactor. En el lado derecho se observa la termocuplas conectada a la brida del tubo en el reactor	97
Ilustración 46. Registro de temperatura en el monitor serial de Arduino.....	98
Ilustración 47. Gráfico Temperatura – Tiempo, registrado mediante el sistema de termocuplas auxiliares en el período de 1619 ms, partiendo en 0°C , haciendo rampas de calentamiento en 600°C, 700°C y 900°C, descendiendo hasta 248°C, que es una temperatura adecuada para apagar el reactor.....	98
Ilustración 50. Segundo controlador de temperatura comunicado a una PC, donde envía y recibe datos.....	99
Ilustración 50. Placa de control para el segundo controlador de temperatura.....	100
Ilustración 48. Interfaz de integración de todos los sistemas: temperatura, flujo y presión	Error! Marcador no definido.



LISTA DE ABREVIACIONES

FONDECYT	Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica
CONCYTEC	Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica
CVD	Chemical Vapor Deposition
PVD	Physical Vapor Deposition
DAQ	Data Acquisition
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
CPU	Control Process Unit
ISO / OSI	International Standards Organization
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
UIT	International Telecommunication Union
I2C	Inter Integrated Circuit
SPI	Serial Peripheral Interface
HTML	Hyper Text Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets



INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla en torno al proyecto con el nombre "obtención de trazas de fibra de carbono a partir de metano", en el marco de financiamiento otorgado por CONCYTEC (Contrato N° 141-2014-FONDECYT) que actualmente se viene trabajando en la Universidad Católica de Santa María. El objetivo principal del proyecto es la obtención de trazas de fibra de carbono con la utilización de un termo reactor a través del uso de un catalizador y gases como metano, nitrógeno e hidrógeno, en distintas condiciones de flujo másico y presión.

El objetivo principal de la presente tesis es el de diseñar e implementar la interfaz gráfica de control del termo reactor CVD para la obtención de trazas de fibra de carbono, con el fin de controlar y registrar a detalle todos los valores de presión, flujo másico y temperatura.

Las variables de interés en este caso son la temperatura de la zona central del reactor tubular, los flujos másicos del metano, hidrógeno y nitrógeno, y la presión de entrada de los gases. En los cinco casos, es posible acceder a la información del valor de la temperatura, flujo y presión, desde cada equipo manualmente. Es decir, en los controladores de temperatura del reactor, se muestran los valores en la pantalla que cada uno tiene; y análogamente esto sucede en los controladores de flujo másico y presión.

El sistema de datos con el que cuenta el equipo reactor actualmente, no entrega la información al usuario, y tampoco realiza gráficas o demás. Pero aún más importante, no integra los controles de flujo y presión, que son esenciales en la práctica, porque al poder controlar al detalle los valores de estas variables, también podemos controlar la calidad, forma, largo y otras características de las nano fibras de carbono resultantes.

La alternativa de solución ofrecida consiste en integrar la señal de los cinco controladores en una sola interfaz gráfica, diseñando e implementando un sistema de adquisición de datos y supervisión de control (SCADA). El sistema obtenido es de bajo costo

y software libre, basado en conceptos como la modularidad, la ideología de información libre y la fabricación digital.

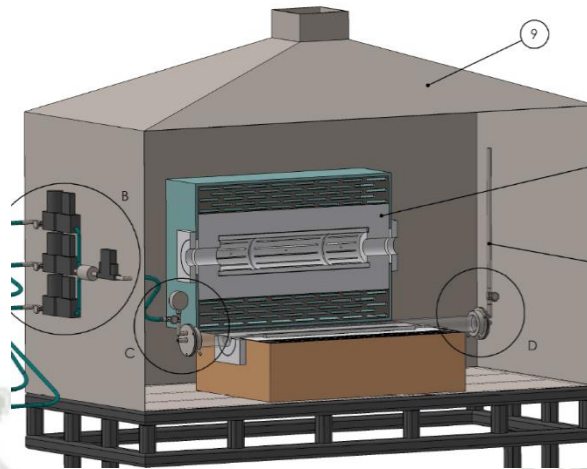


Ilustración 1. *Disposición de los elementos en el sistema reactor, Bermejo [1]*

La integración de Arduino y Raspberry Pi, para un sistema de control con interfaz gráfica diseñada en lenguaje JavaScript, es un tema relativamente nuevo. La literatura que existe respecto al uso de interfaces gráficas en este lenguaje, dedicado al uso de tecnologías de acceso libre (p5.js), como se podrá observar en las referencias bibliográficas, datan de enero del 2016. Por lo tanto, no existen antecedentes específicos al respecto.

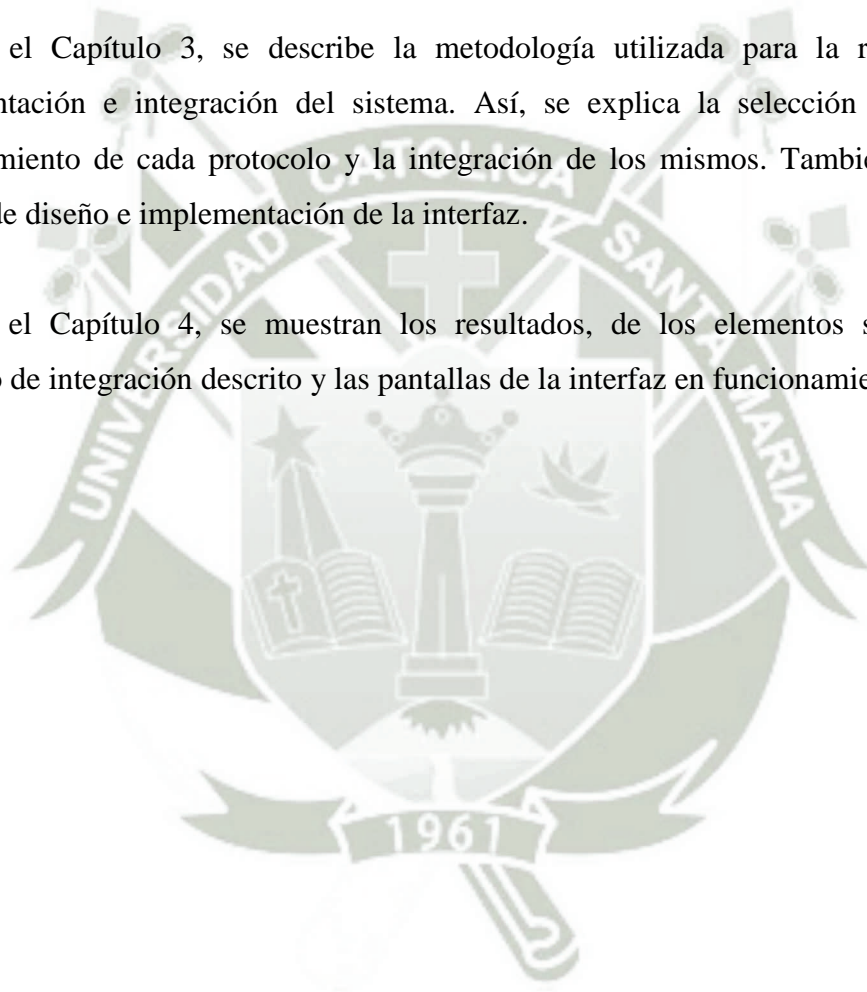
El antecedente más cercano al trabajo presentado se observa en la Pontificia Universidad Católica del Perú, en donde Felipe Guerra Ruiz realizó el “*DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DOMÓTICO Y VIDEO VIGILANCIA SUPERVISADO POR UN TELÉFONO MÓVIL*”, utilizando Raspberry Pi y una plataforma gráfica para móviles, [2]. Otro antecedente se dió en la Universidad Nacional Tecnológica de Lima del Sur, donde Gianmarco César Llontop Díaz, realizó una “*PROPUESTA DE DISEÑO PARA IMPLEMENTACIÓN DE UN SERVIDOR VOIP CON ASTERISK Y RASPBERRY PI EN UNA OFICINA DE VILLA EL SALVADOR*”, donde diseñó un sistema de seguridad con RaspBerry Pi, [3]. En nuestra casa de estudios, la Universidad Católica de Santa María, se realizó un trabajo de “*DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE SENSORES CON APLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE EN LA REGIÓN AREQUIPA*”, en la escuela profesional de Ingeniería Electrónica. El autor, Randol Alonso Gutiérrez Tejada, utilizó Arduino con un módulo Bluetooth (Xbee), para conectar su red inalámbrica y monitorear un sistema agrícola, [4].

En el Capítulo 1, se describen los aspectos generales del trabajo de investigación. Se presenta el objetivo principal, que consiste en integrar e implementar el sistema de control en un reactor CVD para la obtención de trazas de fibra de carbono, así como los objetivos específicos, que son los medios para lograr la implementación total del sistema.

En el Capítulo 2, se hace un repaso general por los conceptos más importantes que se utilizan en la implementación del sistema. Es decir, se define un sistema de adquisición de datos, las redes de comunicación, las normas físicas, los protocolos de comunicación, etc.

En el Capítulo 3, se describe la metodología utilizada para la realización de la implementación e integración del sistema. Así, se explica la selección de hardware, el funcionamiento de cada protocolo y la integración de los mismos. También se describe el proceso de diseño e implementación de la interfaz.

En el Capítulo 4, se muestran los resultados, de los elementos seleccionados, el protocolo de integración descrito y las pantallas de la interfaz en funcionamiento.



Capítulo I ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del Problema

Durante el proceso de experimentación en cualquier investigación, es necesario registrar datos de variables como la temperatura, el flujo másico y la presión en función del tiempo. Para el control de flujo másico y presión se utilizaron controladores automáticos que se comunicaron a un nodo maestro principal. La adquisición del valor de temperatura se trabajó directamente con el controlador del reactor térmico.

En el marco del proyecto financiado por CONCYTEC, sobre la “Obtención de trazas de fibra de carbono a partir de metano soportado en catalizadores metálicos”, contrato N°141-2015 FONDECYT, se utiliza un reactor tubular horizontal de tres zonas, donde se calienta el catalizador metálico a cierta temperatura y durante un determinado tiempo. De la misma forma, se controla la cantidad de flujo de gases como el metano, hidrógeno y nitrógeno que ingresan al reactor; así como la presión de entrada de estos. Estos son dos equipos independientes, y por tanto, toda esta información no está integrada. Integrar y controlar esta información es de suma importancia, pues así se pudo determinar con facilidad los valores experimentales de cada variable, así como mantener un registro de estos en el tiempo. Esta integración se realizó mediante dispositivos electrónicos de bajo costo y software libre, como son los controladores Arduino y Raspberry Pi, y demás elementos como pantallas, cables y adaptadores. El sistema consiste en siete micro controladores conectados a un nodo maestro principal, que en comunicación con la pantalla, muestran la interfaz Humano – Máquina donde se pueden ver los valores de las variables, organizados de tal forma que es fácil interactuar con ellos.

Actualmente, de manera general, no se cuenta con el conocimiento suficiente para trabajar con nuevas tecnologías de bajo costo como Arduino, Raspberry y Processing, de forma industrial. En el presente trabajo se realiza un estudio detallado de la forma en que cada una de estas plataformas trabaja, su lenguaje de codificación, y sobre todo, la manera en que se comunican, los protocolos que utilizan y la integración de estas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Integrar e implementar el sistema de control en un reactor CVD para la obtención de trazas de fibra de carbono.

1.2.2. Objetivos específicos

- I. Seleccionar el hardware adecuado para la implementación del sistema de control de la temperatura, el flujo másico y la presión.
- II. Integrar los protocolos de comunicación para lograr una comunicación efectiva entre el controlador principal y su esclavo.
- III. Diseñar e implementar las pantallas de la interfaz Humano Máquina.

1.3. Alcances

Con este trabajo se pretende adecuar los sistemas de comunicación y control del sistema reactor para obtener fibra de carbono, utilizando controladores no industriales como nodos esclavos, aprovechando su bajo costo y la información respaldada por comunicación abierta que hoy en día representan el medio más utilizado para pruebas de concepto.

1.4. Justificación

La obtención de fibra de carbono representa el desarrollo más importante en la ciencia de los materiales compuestos en la última década, siguiendo el principio de conseguir materiales de baja densidad, muy resistentes y duraderos. La fibra de carbono tiene una resistencia casi 6 veces superior a la del acero y su densidad es 4.5 veces menor. El proceso de obtención de fibra de carbono es una ciencia que se desarrolla de manera permanente y en el Perú no se produce aún. En el proyecto "obtención de trazas de fibra de carbono a partir de metano" que se desarrolla en la UCSM a través de un convenio con CONCYTEC, se emplea el proceso de deposición química de vapor CVD. Al ser un proceso en desarrollo local, no se conoce con exactitud los tiempos y rangos de temperatura ideales para la fabricación de esta fibra.

El controlar y monitorear esta data es esencial para la experimentación en el proyecto, pues permite registrar con exactitud todas las variables utilizadas en cada una de las pruebas. Así se puede conocer el tiempo que estuvo en cada zona de temperatura, la temperatura a la que llegó, el flujo másico de gas que recibió, así como la presión utilizada en cada caso.

El sistema de datos con el que contaba el equipo reactor inicialmente, no entregaba la información al usuario, y tampoco realizaba gráficas o demás. Pero aún más importante, no permitía la integración de los controles de flujo y presión que se transforman en una etapa esencial del proceso, pues si se puede estudiar y determinar con exactitud los valores de las variables de temperatura, flujo y presión; es posible también controlar la calidad, forma, largo y otras características de los nano fibras de carbono resultantes.

Por ejemplo, un parámetro muy importante es la temperatura a la que se somete el catalizador. Si la temperatura es baja, no se forma hollín, porque la cinética de generación de nano filamentos es muy lenta. Si la temperatura es alta, la cinética de formación de los filamentos se incrementa considerablemente, y la deposición de carbono amorfo se puede descontrolar, engrosando su diámetro, [5]. Es así, que la temperatura determina el grosor de las paredes de los filamentos de carbono. Otro parámetro importante es el flujo de los gases, pues a mayor velocidad de éstos, mayor es la descomposición de los hidrocarburos, [6].

Capítulo II MARCO TEÓRICO

1.5. Método Deposición Química de Vapor (CVD)

El método de Deposición Química de Vapor (CVD) es un procedimiento químico empleado para fabricar materiales sólidos de alta pureza y de altas prestaciones, a bajo costo y de manera sencilla [7]. La mayoría de sus aplicaciones consisten en adherir una capa sólida y delgada a ciertas superficies, así como producir materiales a granel de alta pureza y también la fabricación de materiales compuestos por medio de técnicas de infiltrado. El Método de Deposición Química de Vapor ya ha sido utilizado en la mayoría de elementos químicos que conocemos en la tabla periódica, algunas veces en su estado puro y otras veces como compuestos [8]. El método CVD consiste básicamente en un proceso donde uno o más precursores volátiles son transportados por la fase de vapor hacia la cámara de reacción, donde se descomponen dentro de un sustrato calentado, [8] y [9].

Este método es muy amplio, existiendo muchas variantes dentro del mismo. Así, los podemos clasificar por su aplicación, por su proceso o reactor utilizado, por el precursor y reacción química utilizada. Se conocen los procesos CVD térmicos, por plasma, por luz y los catalíticos. En el presente proyecto se utilizó un método CVD catalítico [10]. Actualmente, este método se aplica en la fabricación de recubrimientos duros (por ejemplo, para el recubrimiento de herramientas de torneado, fresado o taladrado), para recubrimientos funcionales sobre vidrio (principalmente para prevenir la transmisión de calor a través de las ventanas o también para reflejar la luz entrante), en la microelectrónica (todos los dispositivos electrónicos se construyen a partir de pilas de capas muy delgadas de propiedades eléctricas altamente controladas, y el método CVD (*Ilustración 2*), es a menudo el elegido para la deposición de estas capas) y en la fabricación de barreras de gas permeables (la aplicación utilizada en el presente proyecto), [11].

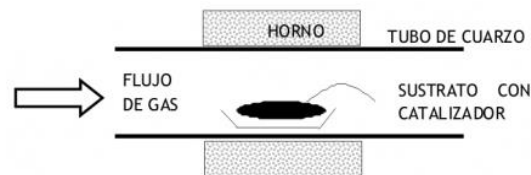


Ilustración 2. *Método CVD para producción de fibra de carbono, [12]*

1.6. Ventajas y Limitaciones de la Tecnología CVD

El método CVD presenta muchas ventajas importantes frente a otro tipo de procesos, [8]. Una de las ventajas principales es que las láminas obtenidas por CVD son bastante simétricas si comparamos sus lados, en tamaño y características físicas como dureza, rugosidad o porosidad, a diferencia del producto obtenido por el método PVD (deposición física de vapor), que suele necesitar algunas modificaciones en la superficie, [9].

Otra ventaja importante es que además de la gran variedad de materiales que pueden pasar por este proceso, se puede hacer deposición química con materiales de muy alta pureza, pues las impurezas son removidas desde los precursores gaseosos utilizando técnicas de destilación, [13]. Algunas otras ventajas son las tasas de deposición, que son realmente altas, y el hecho de que el método CVD no necesita tanto vacío como el PVD, [7].

Respecto a las desventajas, principalmente se trata de las propiedades de los precursores, porque idealmente, estos tienen que ser volátiles a temperatura ambiente; lo cual no sucede en la mayoría de los elementos que conocemos. Además estos precursores pueden ser altamente tóxicos, explosivos, corrosivos, dañinos y, sobretodo, costosos, [13]. Otra gran desventaja consiste en el hecho de que las láminas sólo llegan a la etapa de deposición a temperaturas muy altas, lo que restringe en gran medida los sustratos que pueden ser cubiertos, además esta situación lleva a que las láminas sufran grandes tensiones en materiales que tienen coeficientes de expansión térmica muy diferentes, generando, inevitables desestabilizaciones en sus propiedades mecánicas, [8].

1.7. Fibra de Carbono

La fibra de carbono es una fibra que en su composición contiene el 92% de su peso en carbono, a diferencia del grafito, que contiene el 99% de su peso en carbono [14]. Se trata de un material relativamente nuevo y perfeccionado que tiene muchos usos en el campo de los deportes, automóviles, aviación, construcción, y hasta utensilios médicos. Entre sus características principales, destaca que es ligero, flexible, y al mismo tiempo muy fuerte, [15] y [16].

Miles de fibras de carbono se aglomeran para formar algo parecido a una soga, que podría ya ser utilizada, o ser tejida en una fábrica. Su grosor varía de acuerdo a su uso, entregando al producto la fuerza y la flexibilidad adecuada para su propósito. Los materiales compuestos de fibra de carbono son más populares en aplicaciones donde características como la fuerza, dureza, ligereza y alta resistencia a la fatiga, son muy importantes. Estos materiales compuestos son también muy usados en operaciones donde están expuestos a altas temperaturas, [15], [5] y [17].

La fibra de carbono normalmente se combina con otros materiales para obtener un compuesto. Cuando se combina con resina plástica, por ejemplo, se forma fibra de carbono reforzada con polímero, que tiene una relación resistencia–peso, muy alta y es extremadamente rígida, aunque un poco frágil. La fibra de carbono también se combina con otros materiales como el grafito, que por resultado entrega un material con tolerancia muy alta al calor, [15].

Hoy en día, en los Estados Unidos de Norte América, utilizan cerca del 60% del total de la producción mundial de fibra de carbono, siendo Japón el país que cubre cerca del 50% de la capacidad de producción global. El más grande productor de fibra de carbono es “Toray Industries”, en Japón. [18] al 2010. El consumo de fibra de carbono a nivel mundial se distribuía de la siguiente manera (*Tabla 1*), [19]y [20]:

Tabla 1. *Consumo de fibra de carbono en la industria a nivel mundial, [19] y [20]*

Industria	1999 [Tn]	2004 [Tn]	2006 [Tn]	2008 [Tn]	2010 [Tn]
Aeroespacial	4000	5600	6500	7500	9800
Industrial	8100	11400	12800	16600	17500
Accesorios de deporte	4500	4900	5900	6700	6900

1.8. Sistema de Adquisición de Datos

Se entiende la adquisición de datos o DAQ, como el proceso de medir con un procesador, un fenómeno físico (puede ser una PC, un micro controlador u otro dispositivo). En adelante, se le nombrará como la *CPU* (*Central Processing Unit*). Estamos hablando de variables como el voltaje, la corriente, la temperatura, la presión, el flujo o el sonido, [21]. Cuando se enuncia un sistema de adquisición de datos, se hace referencia a un sistema que integra tanto software, como hardware, procesador y sensores, [22] y [23]. La diferencia entre un sistema DAQ y un sistema tradicional de mediciones, radica en que los primeros le sacan provecho a la potencia de su procesador, pues así como elevan la productividad, pueden diseñar interfaces para la visualización de la data; y sobretodo, la posibilidad que tiene un CPU de conectarse a casi cualquier dispositivo, a precios muy por debajo de lo acostumbrado, [24] y [25].

La calidad de un sistema DAQ, se mide respecto a las características de cada una de sus partes. La clase de procesador y memoria RAM que utiliza, por ejemplo, determina la velocidad para procesar y transmitir los datos. El software debe ser lo suficientemente intuitivo como para interactuar con el usuario de forma rápida y eficaz, incluso debe ser flexible para poder evolucionar de acuerdo a las necesidades futuras del sistema. También, la elección adecuada de sensores y actuadores es categórica en este proceso, [23] y [26].

Un sistema DAQ, incluye de manera general, características que deben ser comparadas, como el número de canales, el número de entradas analógicas, la resolución que tienen los datos, la velocidad de muestreo, la forma en que se comunica a la PC, el mecanismo que utiliza para muestrear los datos, el software para comunicarse con un dispositivo y el aislamiento eléctrico, [26] y [27].

1.8.1. Sistema SCADA

SCADA, (*Supervisory Control and Data Acquisition*) es un sistema que se centra en el nivel de control de procesos y está basado en procesadores y software. Permite supervisar y controlar las variables del proceso sin estar en la planta, comunicándose con los controladores autónomos y entregando toda la información sobre la planta remotamente, [28] , [29] y [30].

Un sistema SCADA involucra varios subsistemas. La adquisición de datos suele estar a cargo de cualquier elemento capaz de recibir señales y enviarlas a una estación por medio de un protocolo en específico. También se podría realizar utilizando una computadora, que con la ayuda de hardware dedicado, tome la señal del exterior y la transmita por medio de un puerto serial, [29] y [31].

En el software de la interfaz del SCADA, se puede visualizar los valores de cada una de las estaciones que son parte del sistema, y esto permite una respuesta física de parte del supervisor hacia un equipo lejano. Tradicionalmente en un sistema SCADA la comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. [32]

1.8.2. Ventajas de un sistema SCADA

Las ventajas de un sistema SCADA se pueden indicar como:

- **Accesibilidad:** Un sistema SCADA permite tener toda la información a la mano, modificar las variables con las que trabaja la planta. Esto resulta muy ventajoso, así como tomar decisiones en tiempo real y de forma remota, [29] y [28].
- **Mantenimiento:** Una vez que podemos acceder a todos los datos de la planta, [31] y podemos visualizarlos de forma amigable, es muy sencillo estar pendientes de las fechas de revisión, o las fallas frecuentes de un equipo.
- **Economía:** Resulta rentable, [33] ver qué ocurre en la planta desde un dispositivo móvil, o la computadora del escritorio, y no tener que movilizar un operario para esta tarea.
- **Gestión:** La información de los valores obtenidos de la planta, puede ser procesada con el uso de herramientas estadísticas, valores en tablas y gráficas, [33] y [28]. De esta manera se puede encontrar el máximo rendimiento productivo, [31].
- **Flexibilidad:** Si se desea cambiar alguna variable de la interfaz gráfica, no significa un costo muy alto, porque se trata de software y no de modificaciones físicas, [31].
- **Ergonomía:** Ya no se trata de grandes paneles repletos de cables e infinitos papeles informativos [31]. Con un sistema SCADA, desde la comodidad de un escritorio, con altas características gráficas y en un entorno amigable con el usuario, se puede observar con comodidad toda la información de la planta en tiempo real, [29].
- **Conectividad:** Los protocolos de comunicación actuales ya permiten interconectar los sistemas de distintos fabricantes, [33].

1.8.3. Funciones de un sistema SCADA

Las funciones de un sistema SCADA se identifican como:

- Supervisión remota de instalaciones: El usuario puede saber el estado de las instalaciones de las que es responsable para coordinar con eficiencia los trabajos operativos y de mantenimiento en el campo, [31] y [28].
- Almacenamiento de información: Un sistema SCADA es capaz de registrar la data de los valores de las variables [31]. Esto se realiza por medio de celdas de valores, [33].
- Presentación de gráficos dinámicos: Permite observar en tiempo real y de manera gráfica las variables del proceso, [33].
- Control remoto de instalaciones: El sistema SCADA puede encender o apagar los equipos de manera remota, así como ajustar los parámetros de las variables del proceso, [31].

1.9. Redes de Comunicación Industrial

1.9.1. Las comunicaciones industriales

Hoy en día, las comunicaciones de datos entre distintos sistemas en la industria, representan el pilar más importante para su productividad [34] y [35]. Un sistema industrial de comunicación de datos es muy exigente. Las principales características de estos sistemas, de acuerdo a [34], son:

- Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada envío.
- Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red.
- Velocidad de respuesta: Velocidad entre el momento de dar la orden y la respuesta del dispositivo.

En la *Tabla 2* se observan los valores de las características de un sistema de comunicación.

Tabla 2. *Valores de las características principales en un sistema de comunicación, [34]*

	Volumen de Datos	Velocidad de transmisión	Velocidad de Respuesta	Aplicación
Red de ordenadores	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de datos
Detector de proximidad	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de seguridad

1.9.2. Sistemas de control industrial

Un sistema de control “Es un conjunto de elementos ensamblados con la finalidad de mantener, en torno al valor deseado, la magnitud de una cierta variable física de interés [36]”. Es decir, los elementos deben estar enlazados de manera que se pueda regular el sistema [37]. Los elementos que componen un sistema de control industrial, pueden ser eléctricos, mecánicos, electrónicos, etc. Y todos en conjunto, controlan el funcionamiento de un proceso. Idealmente, el sistema de control cumple los siguientes requisitos [38] y [35]:

- Garantiza estabilidad.
- Máxima eficiencia.
- Es posible implementarlo y operarlo en tiempo real.

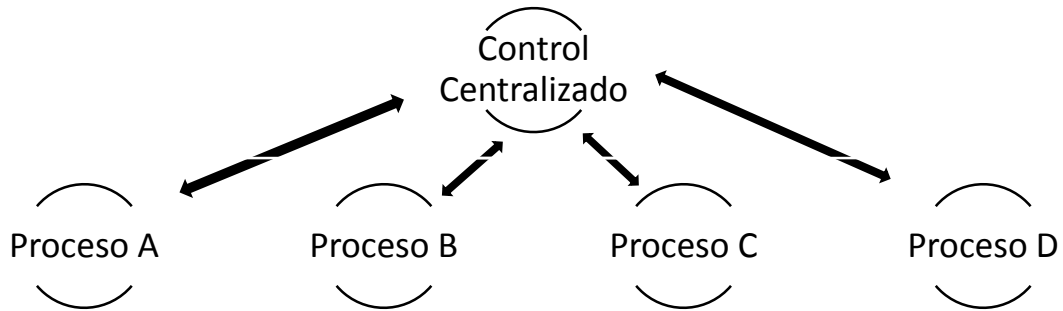
Los elementos principales de un sistema de control son [39], [35] y [40]:

- El sensor, que capta el valor del parámetro a controlar en un tiempo determinado.
- La señal de referencia, o Set Point, que es el valor que se desea obtener a la salida del sistema.
- El actuador, que opera variando la señal de salida
- El controlador, que comanda al actuador respecto del Set Point y el valor sensado.

1.9.2.1. Control centralizado

Cuando se trata de control centralizado, se habla de sistemas sencillos donde se pueden tratar de forma inmediata y por medio de un solo dispositivo de control, todos los procesos asignados, [38] y [41]. Se puede apreciar la estructura descrita en el *Esquema 1*.

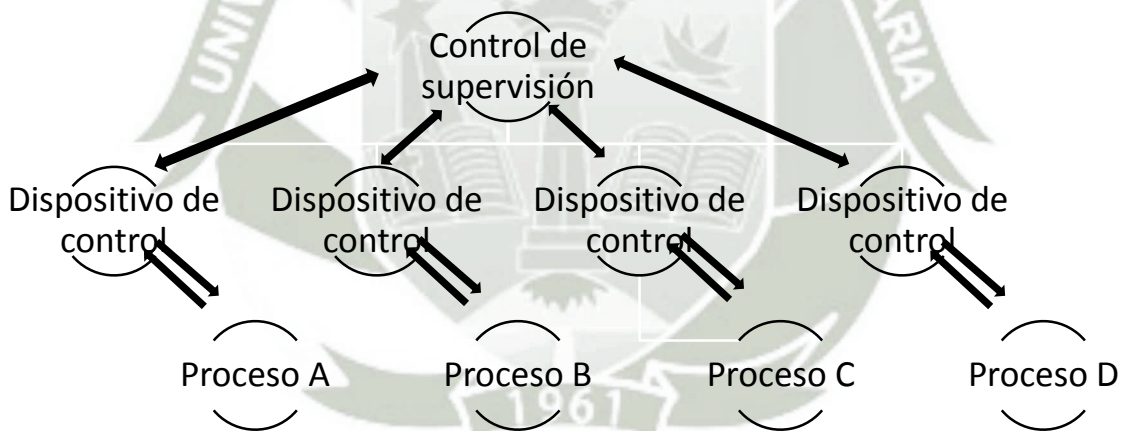
La ventaja de este tipo de control industrial es su arquitectura, porque facilita la salida y entrada de datos, pero depende en gran medida del dispositivo de control elegido, porque sólo él se encarga de todos los procesos que le sean asignados al sistema [42].



Esquema 1. *Control centralizado*, [41]

1.9.2.2. Control centralizado multicapa

Se trata de un control compuesto por dos niveles de jerarquía: El más bajo está compuesto por controladores específicos, para un subproceso del sistema. En el nivel superior se encuentra el CPU, que transmite las órdenes a cada controlador específico. Se puede



apreciar la estructura descrita en el *Esquema 2*, [41], [42] y [43].

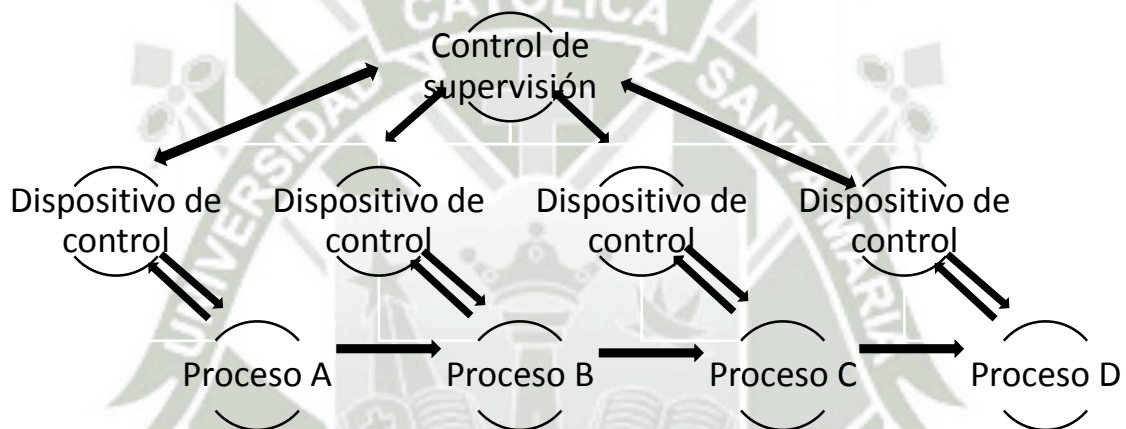
Esquema 2. *Control centralizado multicapa*, [41]

Como se puede observar, cada controlador específico se encarga de una tarea de sensado y transmisión de data, para luego enviar esta información al controlador principal o CPU.

1.9.2.3. Control distribuido

El control distribuido se utiliza principalmente en plantas de procesos, ya sean grandes o chicas, [43] y [42] . Normalmente, la parte más importante de este tipo de sistema de control industrial, radica en la parte de control e informatización de toda la planta. Son estructuras muy bien jerarquizadas que son capaces de realizar el control integral de la planta, [35].

La diferencia con el control centralizado multicapa, además del tamaño del sistema, está en que en los controladores específicos están comunicados entre sí [41], así como se



puede observar en el *Esquema 3*.

Esquema 3. *Control distribuido*, [41]

1.9.3. Normas sobre las comunicaciones: el modelo ISO /OSI.

La *International Standards Organization* [44] detalló el modelo *ISO/OSI* para precisar el sistema de transmisión y método de acceso en el intercambio de datos entre dispositivos de un sistema de comunicaciones, así como la información relativa al establecimiento de los enlaces. Para *ISO*, el modelo está compuesto por 7 capas (*Tabla 3*), [44], [45], [46] y [34]:

Tabla 3. *Capas del modelo OSI*

Capa	Nombre	Función	Comunicación
7	Capa de aplicación	•Suministra servicios de red a las aplicaciones del usuario.	•Utilización de los datos, [34].

		<ul style="list-style-type: none"> •No proporciona servicios de red a ninguna de las otras capas OSI [46]. Ej. Hojas de cálculo, procesamiento de texto, navegadores web. 	
6	Capa de presentación	<ul style="list-style-type: none"> •Asegura que la información que expide la capa 7 de un sistema pueda ser leída por la capa de aplicación de otro. •Es un formato de datos común que traduce varios formatos de datos a uno solo, [46] y [47]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Representación y encriptación de los datos, [34].
5	Capa de sesión	<ul style="list-style-type: none"> •Establece, administra y finaliza las sesiones entre dos hosts que se están comunicando [46]. •Realiza el soporte de sesión, es decir, las funciones que permiten a estos procesos comunicarse a través de una red, ejecutando la seguridad, el reconocimiento de nombres y el registro, [47] 	<ul style="list-style-type: none"> •Coordinación del inicio y finalización de las conexiones, [34].
4	Capa de transporte	<ul style="list-style-type: none"> •Avala que los mensajes se entreguen sin fallas, en cadena y sin pérdidas o duplicaciones, [47]. •Entrega la calidad de servicio y confiabilidad a todo el sistema, [46]. 	<ul style="list-style-type: none"> •División de los datos en paquetes de envío, [34].
3	Capa de red	<ul style="list-style-type: none"> •Proporciona conectividad y selección de ruta entre dos sistemas de hosts, [46]. 	<ul style="list-style-type: none"> Comunicación entre dos subredes, [45].
2	Capa de enlace de datos	<ul style="list-style-type: none"> •Tráfico de datos confiable por medio de un enlace físico, [46]. •Dentro de la trama y control de errores, [34]. •Método de acceso. •Gestión de colisiones, [41]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Estructuración de los datos dentro de la trama y control de errores, [34].
1	Capa física	<ul style="list-style-type: none"> •Define las características físicas de la red material, [48]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Cable coaxial/triaxial. •Cable óptico. Cable bifilar ITP, [47].

1.9.4. Tipos de transmisión de datos

Se pueden utilizar dos tipos de sistemas: la transmisión en serie o la transmisión en paralelo, [34], [43] y [35].

1.9.4.1. Transmisión serie

Características principales, [34]y [40]:

- Datos transmitidos bit a bit, con una única línea de comunicación.
- Es la manera clásica de transmitir los datos a larga distancia
- Se utiliza en volúmenes de información relativamente pequeños.

1.9.4.2. Transmisión paralelo

Características principales, [34] y [35]:

- La información se transmite de caracter en caracter.
- Todos los bits del mismo caracter se envían simultáneamente.

- Necesita tantas líneas de información como bits tenga el caracter.
- Su empleo queda restringido a enlaces de corta longitud (15 a 20 metros como máximo)
- Es adecuado para una comunicación local.

Aplicaciones :

- Enlaces ordenador – impresora, [35].
- El BUS IEEE – 488 o bus GPIB, que es un enlace paralelo para comunicar elementos de instrumentación electrónica, [43].

En la *Tabla 4*, están descritas las ventajas y desventajas de la transmisión en paralelo.

Tabla 4. *Ventajas y desventajas de la transmisión en paralelo*

	Serie	Paralelo
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> •Se puede utilizar para transmisiones a larga distancia, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Velocidad de transmisión más elevada que en el tipo serie. •Para enviar 8 bits, el enlace paralelo los puede enviar a la vez, mientras que el enlace serie tardaría 8 veces más tiempo, [34].
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> •Velocidad menor que en el tipo paralelo, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Queda restringido a enlaces de 20 metros como máximo, [34].

1.10. Normas Físicas

En el nivel físico del modelo OSI, el enlace de datos está normalizado. Las principales normas utilizadas en las comunicaciones industriales son [34], [43], [42] [35] :

- RS-232
- RS-422 (menos utilizada y reemplazada por RS-485)
- RS-485

1.10.1. Normas Física RS - 232

Definida por la *EIA (Electronic Industries Association)* en 1969. [34] Es idéntica a la norma V.24, definida por la *UIT (International Telecommunication Union)*, [33].

En un principio la norma RS – 232C fue creada para comunicar un ordenador con un módem, pero hoy en día, este estándar se utiliza también a nivel industrial para comunicar punto a punto distintos componentes y equipos, [35] y [49].

En 1987 se realizó una revisión a la norma, que se le definió como la RS – 232D, donde se introducen nuevas señales para especificaciones determinadas de condiciones de prueba, [34].

El estándar RS – 232 cubre las áreas de, [42]:

- Características mecánicas de la interfaz.
- Paso de señales eléctricas por la interfaz.
- Función de cada señal y subconjunto de señales para ciertas aplicaciones.

1.10.1.1. Características mecánicas de la interfaz

La sección mecánica define, [34], [33], [42]:

La asignación de señales para los 25 contactos del conector.

- La parte del equipo que contiene el conector hembra.
- La longitud máxima recomendada del cable: 15 metros.
- La capacidad máxima del cable: 2500pF.

1.10.1.2. Paso de señales eléctricas por la interfaz

RS – 232 fue creado para realizar comunicaciones seriales punto a punto a velocidades menores de 20 Kbps. Se puede aumentar la velocidad de transmisión, siempre que se disminuya la longitud del cable, o viceversa: se puede aumentar la longitud del cable, disminuyendo la velocidad de transmisión, [34], [35] y [43]. Las señales de la interfaz recomendadas en la norma RS – 232, establece los contactos especificados en la siguiente

Tabla 5:

Tabla 5. *Señales de la interfaz RS – 232, [34]*

Señales de la interfaz RS – 232		
	Negativo	Positivo
Tensión RS – 232C (v)	-3 a -15	+3 a +15
Tensión RS – 232D (v)	-3 a -25	+3 a +25
Tensión de transición	-3 a +3	
Estado binario	1	0
Condición de señal	Marca	Espacio
Función	No activa (off)	Activa (on)

1.10.1.3. Función de cada señal y subconjunto de señales para ciertas aplicaciones:

La asignación de los pines de los conectores estandarizados para la comunicación serie RS – 232C (DB – 25), se puede encontrar descrita de manera completa en la documentación de la norma [50]. En el presente proyecto, se trabaja con los conectores DB – 9, que es el más comúnmente utilizado, [34], [33] y [42]. Se puede ver las equivalencias de los pines en la siguiente *Tabla 6*:

Tabla 6. *Equivalencias de conectores DB – 9 y DB – 25, [34]*

Equivalencias de conectores DB – 9 y DB – 25			
RS – 232	DB – 25	DB – 9	Dato E/S
SG	7	5	
TD	2	3	S
RD	3	2	E
RTS	4	7	S
CTS	5	8	E
DSR	6	6	E
DTR	20	4	S
CD	8	1	E
RI	22	9	E

1.10.2. Norma Física RS - 422:

Como se pudo ver en la sección anterior, la norma RS – 232 con una sola línea de datos no puede fácilmente enviar datos a grandes velocidades y grandes distancias, [40] y [43]. Se planteó la solución de utilizar una línea diferencial con las siguientes características, [34]:

- Utiliza dos hilos respecto a una masa, [50].
- El dato recibido se obtiene de la diferencia de tensiones entre dos hilos, [43].
- Permite mayores distancias de transmisión que la transmisión simple, [34].
- Es más inmune al ruido eléctrico, [42].
- Transmite datos a mayor velocidad por un mismo cable, [34].
- No necesita alimentación auxiliar, [34].

Las señales que utiliza esta norma se muestran en la *Tabla 7*:

Tabla 7. *Señales de las normas RS – 422, [34]*

Señal	Definición
Tx+ o TD+	Señal no invertida transmitida al canal de comunicación.
Tx- o TD-	Señal invertida transmitida al canal de comunicaciones.
Rx+ o RD+	Señal no invertida recibida al canal de comunicación.
Rx- o RD-	Señal invertida recibida al canal de comunicaciones.
FG	Masa de protección

1.10.3. Norma Física RS - 485:

La EIA [50] definió un nuevo estándar, para disminuir alguno de los problemas que presentaban las normas anteriores, [34]: La RS -485. Fue introducida en el año 1983, y es una versión mejorada de la RS – 422. Es una interfaz multipunto y comunica hasta 32 dispositivos emisores – receptores en un bus de datos común, [43]. Además, se basa también en un sistema de datos diferencial para eliminar los ruidos que se puedan incorporar en el canal de comunicación, [42].

Las señales que utiliza esta norma son las siguientes (*Tabla 8*):

Tabla 7. *Señales de las normas RS – 485, [34]*

Señal	Definición
A o D+	Señal de emisión / recepción no invertida transmitida al canal de comunicaciones.
B o D-	Señal de emisión / recepción no invertida transmitida al canal de comunicaciones.
FG	Masa de protección.

La norma RS – 485 utiliza la transmisión diferencial Half – Duplex que se caracteriza por, [34]:

- Utiliza dos hilos, referenciados a masa.
- El dato se obtiene de la diferencial de la señal eléctrica entre los dos hilos que componen el canal de comunicación.
- El hecho de que el tipo de transmisión se Half – Duplex indica que cada equipo puede enviar y recibir, pero no de manera simultánea.
- La norma RS – 485 permite velocidades hasta de 10 Mbps y distancias hasta 1200 metros.

Permite la configuración de una red de hasta 32 estaciones de trabajo.

1.11. Topología de Redes

En la *Ilustración 3*, se puede observar las distintas topologías de red existentes.

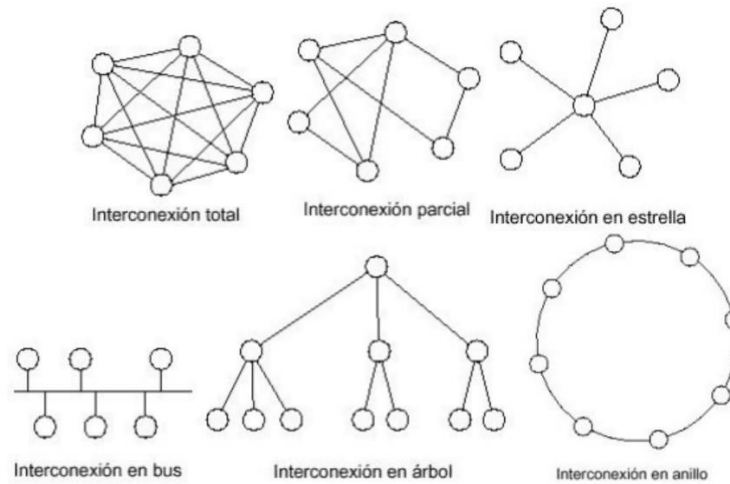


Ilustración 3. Topologías de red, [51]

En la *Tabla 8* se muestra un cuadro resumen de los tipos de topologías más comunes.

Tabla 8. Topologías de red

Topología	Características	Ventajas y Desventajas	Aplicaciones
Punto a Punto	<ul style="list-style-type: none"> •Es la más simple, porque se basa en la conexión directa de dos dispositivos. •No es necesario incluir direcciones dentro de la trama del mensaje. •Se pueden comunicar por RS-485. •No siempre necesita de interfaces, [34]. •Topología simple. •Fácil control de acceso a la red, [34]. •Para pocos nodos. •Múltiples tarjetas de comunicación, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Pocas estaciones y distancias cortas, [34]. 	-
Interconexión total y parcial	<ul style="list-style-type: none"> •Los enlaces entre los nodos de la red son múltiples, así como los caminos de interconexión entre los nodos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Si un nodo falla, la red no se ve afectada, [41]. 	-
Interconexión en estrella	<ul style="list-style-type: none"> •Existe un nodo central desde el que se irradian todos los enlaces hacia el resto de nodos. •El nodo central controla el acceso a la red. •La ventaja principal es que permite que todos los nodos se comuniquen y la desventaja principal es que si el nodo central falla, toda la red se desconecta [51]. •Mayor rendimiento, porque la información va directamente del emisor al receptor sin pasar por nodos. •Se puede sumar o quitar nodos muy fácilmente. •Fácil conexasión y mantenimiento. •Acepta distintas velocidades, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Dependencia total del HUB, si éste falla, la red no funciona. •Si el HUB no es suficientemente potente, se produce retardo, o “cuello de botella”, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Redes LAN, Ethernet, y Fas Ethernet, [34].
Interconexión en bus	<ul style="list-style-type: none"> •Todos los nodos están conectados directamente a un único enlace, y no hay otra conexión entre nodos. 	<ul style="list-style-type: none"> •Limitado a la distancia (10 km.). 	<ul style="list-style-type: none"> •Redes industriales •Redes LAN

	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los nodos escuchan el mensaje presente. • Si una estación falla, la red no se ve afectada, [51]. • Antes de enviar un mensaje, averigua si está libre el bus, [34]. • Costo bajo de instalación • El fallo de un nodo no afecta al resto de la red. • Control del flujo sencillo • Todos los nodos pueden comunicarse entre sí. • La ampliación de nuevos nodos es sencilla, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesidad de repetidores por problemas de atenuación. • Probabilidad elevada de colisiones en la red. • Acaparamiento del medio cuando un nodo establece una comunicación muy larga, [34]. 	Ethernet, [34].
Interconexión en árbol	<ul style="list-style-type: none"> • Desde un nodo de enlace troncal, se ramifican los demás nodos. El enlace troncal es un cable con varias capas de ramificaciones y el flujo de información es jerárquico [51]. Si una estación falla, la red no se ve afectada, [34]. • Se consigue un mayor alcance que el proporcionado por un bus simple, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se incrementa el problema de la atenuación, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede aplicar para dotar de una red por departamentos o zonas independientes dentro de una empresa, [45].
Interconexión en anillo	<ul style="list-style-type: none"> • Cada nodo se conecta en serie alrededor de un anillo. Los mensajes se transmiten en una dirección. El control de la red queda distribuido entre todos los nodos [45]. • No existen problemas de encaminamiento, todos los mensajes circulan por el mismo camino. • La inserción de un nuevo nodo es fácil. • No se producen colisiones. • El rendimiento es alto. • No hay problemas de atenuamiento, cada nodo es un repetidor de la señal, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> • El fallo de un equipo deja el anillo fuera de servicio. • IBM lanzó al mercado la red tipo “Token Ring”, para que cuando un dispositivo falle, se haga corto circuito de forma automática y la red siga funcionando. • Sólo en distancias cortas, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es para cualquier aplicación de distancias cortas [34].

Aparte de las topologías que se muestran en la *Tabla 9*, se puede armar varias topologías que combinan distintos tipos elementales de interconexión por medio de la inserción de elementos de vínculo como concentradores (hub), repetidores, puentes (bridge), encaminadores (router) y pasarelas (gateway) [34], [43], [42] y [35]. Estos pueden involucrar determinado nivel informático en el manejo de la información para adaptar dos tipos de redes distintas [45]. Un cuadro resumen de las topologías combinadas se muestra en la *Tabla 10*.

Tabla 9. *Topologías combinadas de red*

Topología combinada	Características	Ventajas	Desventajas
Repetidor (repeater)	<ul style="list-style-type: none"> •Copia la información desde un lado hacia el otro, amplificando su nivel. •Los niveles físicos de ambas redes, deben ser los mismos. •No se usan acoplando subredes diferentes. •Se usan para amplificar una subred existente, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Facilidad de operación. •No requiere ningún tipo de configuración especial al operar en el nivel físico, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •No atiende a las direcciones de red, se limita a repetir la señal. No resuelve los problemas de tráfico. Si ha habido una colisión, él transporta esa información errónea al resto de estaciones, [34].
Puentes (bridge)	<ul style="list-style-type: none"> •Sí se usan acoplando subredes que trabajan en el mismo protocolo y nivel de enlace (Logical Link Control, LLC). Por tanto, las Medium Access Control (MAC) de las subredes, sí pueden ser diferentes. •Se usan sobre todo para subredes de la misma estructura, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las MAC pueden ser diferentes, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Une redes sólo del mismo tipo y protocolo, [34].
Encaminador (router)	<ul style="list-style-type: none"> •Enlaza redes OSI de niveles 1 y 2 distintos. •El router determina el camino óptimo que debe tomar la información por medio de una red que ya existe, de acuerdo a la longitud del recorrido o el retardo de transmisión que tiene. •Trabajan a menor velocidad, porque las tareas que realizan, son ligeramente más complicadas, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Une dos redes de diferente configuración o estructura, [34]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Las redes unidas deben ser del mismo protocolo, [34].
Pasarela (Gateway)	<ul style="list-style-type: none"> •Acopla redes de distintas arquitecturas. •Convierte los protocolos de comunicación de todos los niveles. Incluso, puede acoplar una red ISO con una que no utiliza esta norma. Suele complicarse y no es muy veloz, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Une redes de diferentes arquitecturas, incluso si no están registradas en ISO, [45]. 	<ul style="list-style-type: none"> •Suele complicarse y no es muy veloz, [45].

1.12. Protocolos industriales de comunicación

Un protocolo industrial de comunicación se refiere al lenguaje que emplean los dispositivos para comunicarse con un maestro, o comunicarse entre sí.

1.12.1. Pirámide de automatización

1.12.1.1. Nivel de acción / sentido

Se le conoce también como nivel de instrumentación, y se relaciona directamente con el proceso. Está compuesto por los elementos de medida, y los elementos de mando, es decir: sensores y actuadores, [52], [39] y [26].

1.12.1.2. Nivel de control

Aquí se encuentran los elementos que son capaces de gestionar tanto los sensores como los actuadores. En la industria, normalmente en este nivel se encuentran los conocidos PLC. En el presente trabajo, se utilizarán micro controladores de bajo costo, Arduino y Raspberry Pi, [52], [26] y [40].

1.12.1.3. Nivel de supervisión

Este es el nivel en que es posible visualizar los parámetros en los que se está llevando a cabo el proceso en el sistema. Es decir, aquí se encuentra la pantalla, con la interfaz que indica los valores de cada subproceso. En algunos casos, permite cambiarlos, así como el tiempo en que éstos suceden.

En el presente trabajo, la interfaz instalada en el controlador principal, permitirá interactuar totalmente con estos valores, además de presentar gráficamente los procesos que se lleva a cabo, [52], [26], [43].

1.12.1.4. Nivel de gestión

El nivel de gestión está alejado del lugar donde se realiza la producción, normalmente está conectado vía internet a computadoras o cualquier otro elemento que pueda conectarse a internet, donde se puede obtener información del proceso.

El presente trabajo, tiene la interfaz diseñada para mostrarse en lenguaje HTML, es decir, que teniendo acceso a un dominio, se puede publicar la información en internet [52], [26] y [42].

La *Ilustración 4*, presenta gráficamente la pirámide de automatización.

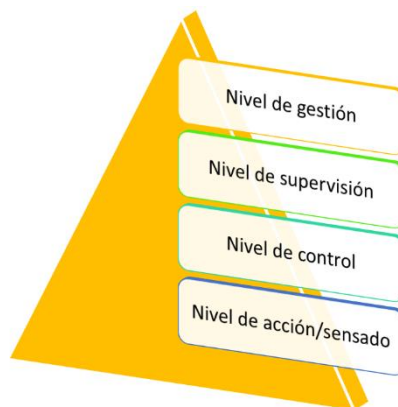


Ilustración 4. *Pirámide de automatización. Fuente: Elaboración Propia.*

1.12.2. Buses de campo

También conocidos como fieldbus [53] y [54] representan el nivel más simple dentro de las comunicaciones industriales. Utiliza procesadores sencillos y un protocolo mínimo para enlazarlos [55]. Su característica fundamental consiste en el intercambio de órdenes y datos entre productos que pueden ser de diferentes fabricantes por medio de un protocolo que ambos nodos puedan reconocer [56]. En la *Tabla 11*, se muestran los protocolos de comunicación industrial más utilizados y se especifican sus principales características.

Tabla 10. *Buses de campo más comunes, [56]*

Nombre	Topología	Soporte	Velocidad	Comunicación
Profibus DP	Bus, estrella y anillo	Par trenzado Fibra óptica	1.5 Mbps 12 Mbps	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	Bus, estrella y anillo	Par trenzado Fibra óptica	31.5 Kbps	Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus H1	Estrella o bus	Par trenzado Fibra óptica	31.25 Kbps	Signal/multi master
Devicenet	Bus con	Par trenzado	500 Kbps	Master/Slave

	bifurcaciones	Fibra óptica		multi-master peer to peer
ASi	Bus, anillo, árbol, estrella	Par trenzado	167 Kbps	Master/Slave
Modbus RTU	Bus, estrella, árbol, red con segmentos	Par trenzado Coaxial Radio	1.2 a 115.2 Kbps	Master/Slave
Ethernet Industrial	Bus, estrella, malla.	Coaxial Par trenzado Fibra óptica	10, 100 Mbps	Master/Slave peer to peer
Hart	Lazo	Par trenzado	1.2 Kbps	Master/Slave

1.13. Buses de comunicación en microcontroladores

Un sensor suele imponer requerimientos poco exigentes para la comunicación con el hardware. La estructura de bus serial es la más eficiente entre las otras estructuras de bus, ocupando la cantidad mínima de conexiones en la red de sensores, con un bajo costo y alta confiabilidad, [57]. Las interfaces seriales son generalmente utilizadas en sistemas de sensores inteligentes.

1.13.1. Bus Inter – IC (I2C)

El bus *Inter – IC (I2C)* fue introducido por *Philips* como un standard para conectar los circuitos integrados en red que podrían no incluir sensores. [58] *I2C* ha sido diseñado para aplicaciones en sistemas que conectan dispositivos periféricos entre micro controladores. Es un bus serial de 2 cables, para minimizar el costo de conectar varios [59]. (*Ilustración 5*).

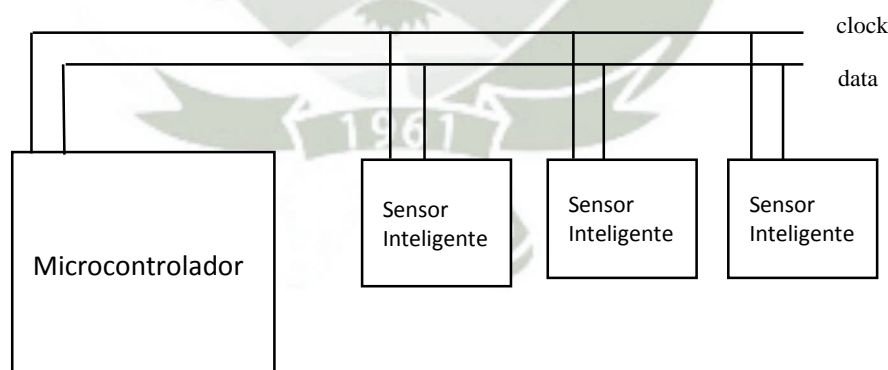


Ilustración 5. Esquema I2C. Fuente: Elaboración Propia.

Entonces, dos cables, datos seriales y un *clock* serial llevan la información entre los dispositivos conectados al bus. Los datos seriales son bidireccionales, pero se debería enviar la información en una sola dirección a la vez. Cada dispositivo está identificado por una única dirección. Los dispositivos en el bus están definidos como Maestros y Esclavos. El Maestro

inicia la transferencia de datos en el bus, generando el *clock*, así como las señales de control que se van al cable de datos. El dispositivo Esclavo es controlado por el Maestro, y puede recibir y enviar información, de acuerdo a lo que el maestro solicite.

Normalmente, los dispositivos que cumplen la función de Maestro, son micro controladores. El bus *I2C* es un bus multi – maestro, es decir se puede conectar más de un micro controlador Maestro al bus, [57]. Para hacerlo, no se pueden conectar en simultáneo, sino que uno por uno.

El bus puede operar en tres modos con distinto volumen o velocidad de envío. La información en el bus se puede enviar hasta a 1000kbit/s en el modo standard, 4000kbit/s en el modo veloz, o hasta 3.4 Mbit/s en el modo de alta velocidad. El número de interfaces conectadas al bus dependen del límite de la capacitancia: 400pf, [60].

El bus *I2C* soporta dos esquemas de direccionamiento: direccionamiento de 7 bits, y de 10 bits. Se pueden conectar hasta 1024 elementos. El esquema de 7 bits, permite una longitud más corta de mensaje y requiere hardware menos complejo. Se puede utilizar direccionamiento de 7 y 10 bits al mismo tiempo, [61] y [62].

El bus *I2C* permite que un diseño de sistema evolucione rápidamente desde un diagrama de bloque funcional hacia un prototipo. El direccionamiento integrado y el protocolo de transferencia de datos permiten que el sistema tenga un software totalmente definido. La topología de conexión es sencilla, y el número de cables utilizados es mínimo, [63].

El protocolo de comunicación que utiliza un bus *I2C* es rígido. Las señales de control del Maestro (condición de inicio, de final, etc.), están codificadas dentro de la información que contiene el cable, y esto eleva la complejidad del sistema. El bus *I2C* no soporta funciones del tipo *plug and play* o de interrupción, [62] que en muchos sistemas de sensores son muy importantes. Para ahorrar energía, se suspenden algunos nodos y se reactivan cuando hay la necesidad de hacerlo. Para obtener información, el microcontrolador tiene que estar sondeando muy a menudo, cada nodo del sensor conectado al bus, para asegurarse que no ha dejado de registrar información. Esta característica hace que el bus *I2C* no sea adecuado para aplicaciones que tienen un requerimiento estricto de eficiencia de potencia, o que necesitan una respuesta de emergencia. Aunque el nodo de un nuevo sensor puede ser añadido con

facilidad a la red, el microcontrolador no puede detectar un evento en este o configurarlo, mientras que esté operando.

Todo ello limita la aplicación de I2C en las redes de sensores que dinámicamente reconfigurables y demandan una alta eficiencia energética, [59].

1.13.2. Serial Peripheral Interface (SPI)

Serial Peripheral Interface (SPI) es un bus serial de tres cables para transferir data de 8 bits, [60]. La *Ilustración 5* representa la configuración de un bus SPI. Dos de las tres líneas transfieren data, y la tercera es el *clock* serial. De forma similar al bus I2C, los dispositivos en el bus son definidos como Maestros y Esclavos. El Maestro inicia la transferencia de información, y genera el *clock*. Cada dispositivo Esclavo en el bus es controlado por una línea de selección de chip (*Ilustración 6*), que es una línea paralela para cada nodo del bus, además de las tres señales de bus SPI, [59].

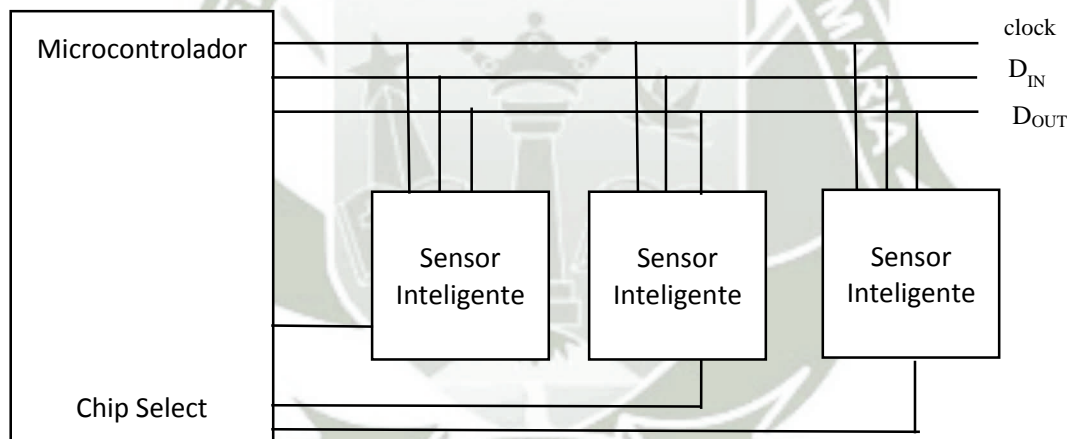


Ilustración 6. Esquema SPI. Fuente: Elaboración propia.

Las dos líneas de información son unidireccionales y la señal del *clock* es generada por el Maestro. La línea de D_{OUT} (*Data Out*) lleva la información desde el maestro (microcontrolador) hasta el esclavo (sensor); mientras que la línea D_{IN} (*Data In*) lleva la información desde el esclavo hasta el maestro. El bus SPI emplea un esquema de registro simple por turnos. La transferencia de datos es usualmente realizada en 8 o 16 bloques de bits. La información del bus SPI puede ser transferida en un valor cercano a 0 bits/s, hasta 1Mbit/s.

Hay cuatro modos *clock* definidos para el bus SPI, por polaridad del *clock* o configuraciones de fase del *clock*. La polaridad del *clock* determina el nivel del *clock* en estado desocupado, y la fase del *clock* determina el límite que posiciona nueva data en el bus. Cualquier hardware que sea capaz de operar en más de un modo, podrá tener algún método para seleccionar el valor de esta configuración del modo de control. Esta capacidad multi – modo, combinada con la arquitectura de registro de simple turno, hace del bus SPI muy versátil, y permite que muchos dispositivos no seriales sean utilizados como esclavos SPI.

SPI es un bus atractivo para microsistemas de sensores inteligentes. Dos líneas de información separadas y la arquitectura de registro de simple turno, hace el hardware de una interfaz SPI mucho más simple que la de un bus I2C. Por otra parte, para seleccionar un dispositivo conectado al bus, se necesita habilitar la línea del nodo de forma individual; y como la selección de líneas la hace normalmente el microcontrolador, esto limita mucho el número de nodos de sensores en el sistema, y por tanto el tamaño de la red. Así, a diferencia del bus I2C, el bus SPI no permite que se añadan de forma sencilla nuevos sensores. Un sistema SPI de sensor inteligente no puede ser modificado o actualizado simplemente al añadir o retirar el sensor del bus. Estas características no lo hacen adecuado para aplicaciones como monitoreo del entorno y detección de eventos.

Tabla 11. *Diferencias / Similitudes entre I2C y SPI. Fuente: Elaboración Propia*

Tabla 12 : Diferencias / Similitudes entre I2C y SPI		
Características	I2C	SPI
Nº de cables del bus serial	2	3
Envío de datos seriales	Bidireccional (Pero se debe enviar sólo uno a la vez para evitar el tráfico en el bus)	Unidireccional
Multi – Maestro	Sí	No* *Se podría añadiendo cables al CS [64]
Nº de modos	3	Capacidad Multi – mode
Velocidad de transmisión	100 Kbit/s hasta 3.4 Mbit/s	0 bits/s, hasta 1Mbit/s.
Esquemas de direccionamiento	De 7 bits y de 10 bits	8 o 16 bloques de bits
Límite de elementos	1024	No *La limitación en todo caso es física [65]
Topología	Sencilla	Intermedia
Modo de obtención de información	<i>Poll</i> (sondeo)	Tiene capacidad multi – modo
Adecuado para aplicaciones que requieren alta eficiencia de potencia	No	Sí

Adecuado para aplicaciones que necesitarían una respuesta de emergencia	No	Sí
Adecuado para aplicaciones que necesitarían monitorear el entorno	Sí	No
Adecuado para aplicaciones que necesitarían detectar un evento	Sí	No

1.14. Interfaz Humano – Máquina

Una interfaz Humano – Máquina es la integración de 3 conceptos principales: La información que el equipo entrega y recibe, el diseño de interacción que permite al usuario manipular el equipo y el diseño visual que comunica estas posibilidades a las personas, [66].

La información que el equipo entrega y recibe depende de los sensores con el que este cuenta y las conexiones que tiene con la interfaz gráfica. El diseño de interacción y el diseño visual de la interfaz, son de gran importancia pues deben comunicar con simplicidad lo que el usuario puede y no puede realizar con la máquina.

En suma, una interfaz Humano - Máquina es el medio por el que un hombre y una máquina se comunican, [67].

En ISO 9241-110, el término interfaz de usuario se define como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo", [66]. La interfaz de usuario / interfaz Humano-Máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. El caso más simple es el de un interruptor: No se trata de un humano ni de una "máquina" (la lámpara), sino una interfaz entre los dos. Para que una interfaz Humano-Máquina (HMI) sea útil y significativa para las personas, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades. Por ejemplo, programar un robot para que encienda la luz sería demasiado complicado y un interruptor en el techo no sería práctico para una luz en un sótano, [68].

1.14.1. Principios de desarrollo: El movimiento Maker

La política de acceso libre es una política adoptada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT), oficialmente desde el año 2009, donde se comprometen a divulgar los

frutos de todas sus investigaciones tanto como sea posible, [69]. A partir de entonces, un fenómeno a nivel mundial empieza a tomar forma. Se trata de la revolución tecnológica más grande de todos los tiempos: El movimiento Maker.

El movimiento Maker es un movimiento que consiste básicamente en un cambio de mentalidad total en todos los ámbitos. Es una propuesta de cambio en el modelo educativo y sobretodo, una apuesta por la sostenibilidad de nuestro sistema productivo. En general, el movimiento Maker sostiene al Hardware y Software de código abierto. Y es básicamente este tipo de Hardware y Software, el que se va a utilizar en el presente trabajo de investigación, [70].

A este punto, ya se deja de hablar de producción en masa, y se empieza a hablar de personalización en masa. Empiezas a producir para ti, adaptado a ti, a tus necesidades y gustos. A lo largo de la historia, el poder se ha ido moviendo, a través de la Aristocracia, la Iglesia, los Gobiernos, las grandes multinacionales, y ahora, por fin, volviendo a las personas. Inevitablemente, eso genera un contraste importante de perspectivas, que se generan a partir de nuevas oportunidades que ahora sí van a estar a disposición de todos, gracias a las nuevas tecnologías y tendencias.

De la misma manera, nace junto al movimiento Maker, las licencias de Creative Commons, que sirven para compartir legalmente el conocimiento y la creatividad, desbloqueando todo el potencial de internet para una nueva era de desarrollo, crecimiento y productividad. Creative Commons ofrece licencias libres para derechos de autor, fáciles de usar, para entregar permiso de compartir y usar el trabajo creativo de manera simple y estandarizada, en las condiciones que cada autor prefiera, [71].

El presente trabajo está basado completamente en el movimiento Maker. Es decir, todo el software que utiliza es de acceso libre, al igual que el hardware que compone el sistema de comunicación. De la misma manera, este trabajo cuenta con licencia de Creative Commons, que puede ser revisada en el Prólogo.

1.14.2. Hardware de código abierto

1.14.2.1. Arduino

Arduino, (*Ilustración 7*), no es solo hardware. Arduino es una plataforma de prototipado, de código abierto basada en hardware y software fácil de usar. Las tarjetas Arduino pueden leer en sus entradas de todo: luces, botones, motores, y hasta incluso enviar un mensaje en Twitter que pueda abrir una cerradura, [72].

El entorno Arduino ha sido diseñado para ser amigable con el usuario que no tiene experiencia en software o electrónica, [73] y [74]. Como una plataforma física de programación, basada en una placa simple de entradas y salidas, y un entorno de desarrollo en el que se puede implementar el lenguaje de *Processing*, [75] *Arduino* se puede utilizar en infinitos proyectos interactivos.

A través de los años, Arduino se ha convertido en el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos hasta instrumentos científicos muy complejos, [72] y [74]. Arduino es respaldado por una comunidad global de inventores (estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales), reuniendo en torno a esta plataforma de código abierto sus contribuciones hasta una increíble cantidad de conocimiento accesible que es de ayuda tanto para principiantes como para expertos, [73].

La tarjeta Arduino es de bajo costo en comparación con cualquier otra plataforma de micro controlador. El software, Arduino IDE, funciona en todos los sistemas operativos: Windows, Linux, y Macintosh OSX, [75] El entorno de programación que utiliza es simple y claro, muy fácil de usar para principiantes y lo suficientemente flexible y robusto para profesionales, [73] y [74]. El software de Arduino es de código abierto y se puede expandir a través de las librerías de C++, así como con código AVR-C. Y lo mejor: El hardware, es decir, los planos de la placa de Arduino están publicados bajo la licencia de Creative Commons. Es decir, podemos hacer nuestra propia versión del módulo, expandiéndolo y mejorándolo, a costos muy bajos, [75].

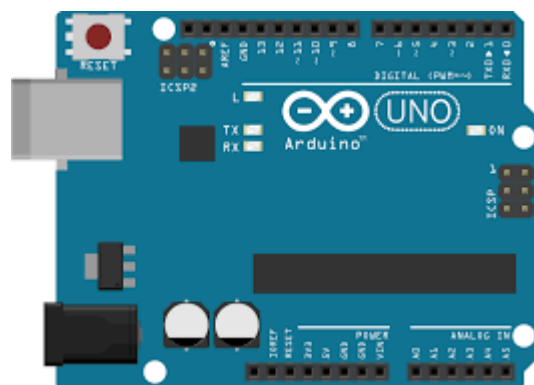


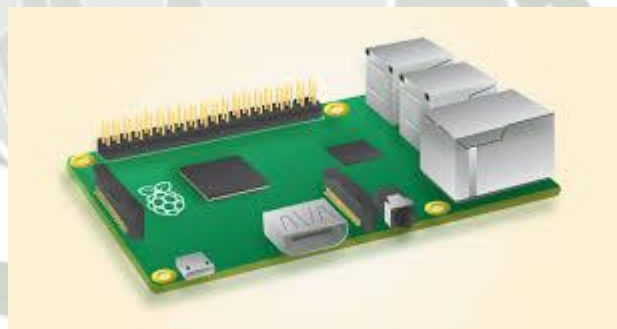
Ilustración 7. *Placa Arduino, [72]*

1.14.2.2. Raspberry Pi

Raspberry (*Ilustración 8*), es una *CPU* de bajo costo y alto desempeño, que las personas pueden utilizar para aprender, resolver problemas de la vida real, y divertirse. Es del tamaño de una tarjeta de crédito pero tiene un alto poder computacional con un procesador multimedia capaz de reproducir videos en tiempo real, y soportar sistemas operativos como Windows o Linux, [76].

La fundación de Raspberry Pi entrega otra visión de la educación para que más y más personas puedan familiarizarse con la tecnología y la fabricación digital. Además desarrolla recursos de acceso libre para ayudar a las personas a aprender sobre computación, entrenar a profesores para guiar a más personas hacia el desarrollo tecnológico, [77].

En el presente proyecto se utilizó un Raspberry Pi 3B, que viene incorporado con puerto Ethernet, Wi – Fi, Bluetooth y 4 entradas USB; además de un excelente procesador de 1.2 GHz y un ARMv8 CPU de 64-bit quad core, [77] y [78].

Ilustración 8. *Placa Raspberry, [72]***1.14.3. Software de código abierto**

1.14.3.1. Processing

Processing (*Ilustración 9*), es un software flexible para aprender cómo codificar en el contexto de las artes visuales, [79]. Está hecho para hacer la programación de gráficos interactivos, mucho más fácil, [80]. Es un software gratuito, basado en el lenguaje de programación *Java*, es muy completo y hay muy pocas cosas que no se puedan hacer con

Processing, [81]. Desde el 2001, Processing ha promovido el aprendizaje de la codificación de software para las artes visuales y la tecnología. Son centenares de estudiantes, artistas, diseñadores, investigadores y aficionados que utilizan Processing para aprender a hacer prototipos, [79]. Finalmente, Processing representa una comunidad mundial de código abierto, un principio filosófico invaluable que es lo que hace de esta comunidad un conjunto maravilloso, totalmente interdisciplinario, que compartiendo su trabajo contribuyen y mejoran día a día esta plataforma, [81], [82] y [83].



Ilustración 9. *IDE Processing*, [79]

1.14.3.2. P5.js

P5.js (*Ilustración 10*), es una librería de JavaScript que empieza con la misma meta de Processing: hacer la codificación accesible para artistas, diseñadores, educadores, etc; pero adaptado a la web, [84] y [85]. P5.js, como Processing, tiene una amplia gama de funcionalidades de dibujo, pero no quiere decir que esté limitado sólo a eso. P5.js sirve para convertir todo el buscador en un cuaderno. Quiere decir, que ofrece accesos muy rápidos para transformar e interactuar con HTML5, con sus objetos, texto, entradas video, cámaras web y sonido. La idea principal, es lograr crear programas en cuestión de minutos, [86] y [84].



Ilustración 10. *p5.js*, [87]

1.14.3.3. HTML, CSS y JavaScript

Las páginas web que vemos en nuestro buscador comúnmente, son una combinación de estructura, estilo e interacción. Estas tres funciones, son realizadas por tres tecnologías distintas: HTML, CSS y JavaScript (*Ilustración 11*), que nuestro buscador sabe interpretar.

Ilustración 11. *HTML, CSS y JavaScript [87]*

1.14.3.3.1. HTML

(Hyper Text Markup Language), posiciona el contenido en distintos tipos de estructuras, ya sean párrafos, bloques, listas, imágenes, tablas, formas o comentarios, [87].

1.14.3.3.2. CSS

(Cascade Styling Sheets), le indica al buscador cómo debe mostrarse cada tipo de elemento, [87].

1.14.3.3.3. JavaScript

Le indica al buscador cómo debe cambiar la página web en función a los eventos que ocurren (ya sea un click o un valor de entrada), [87].

1.14.3.3.4. Node.js

Node.js (*Ilustración 12*), es una librería de ejecución de JavaScript, construida por el motor JavaScript de V8 de Chrome. Node.js utiliza un modelo de E/S sin bloqueos, lo que lo hace ligero y eficiente. El ecosistema de paquetes de node.js, npm es el mayor ecosistema de bibliotecas de código abierto del mundo, [88].

Ilustración 12. *Node.js [88]*

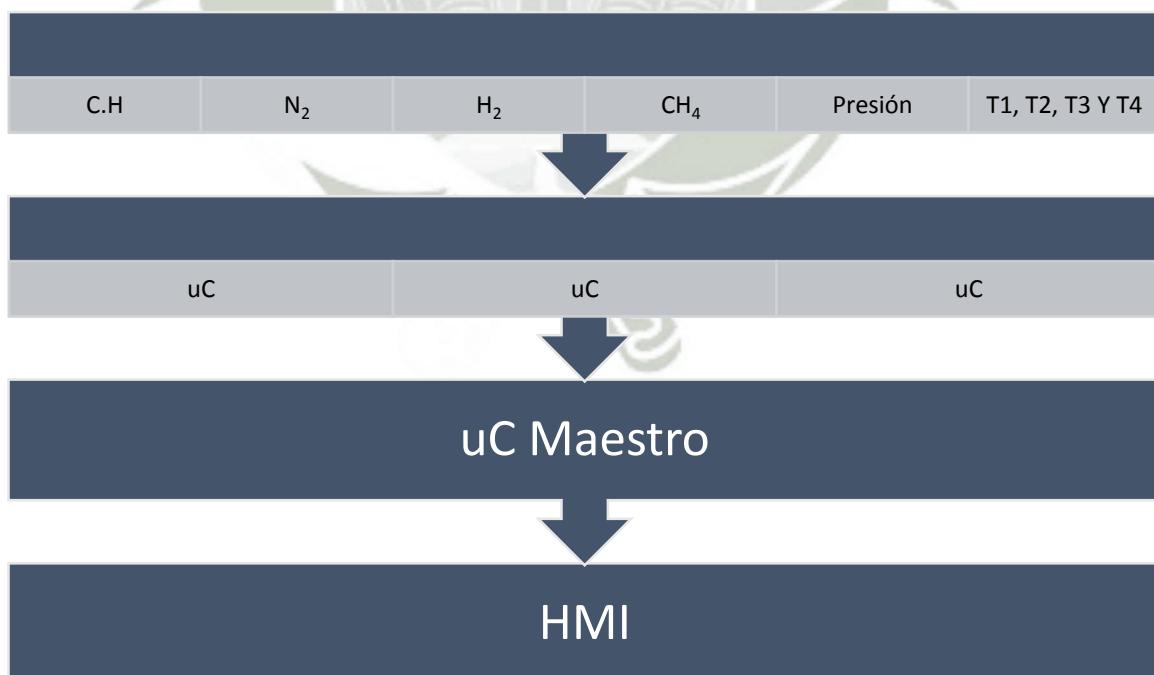
1.15. Adquisición de datos

En el presente proyecto, la adquisición de datos consiste en la integración de la información que proviene de los controladores de flujo másico, de presión y de temperatura.

Se realiza por medio de un micro controlador en cada sub-sistema. Se utilizan plataformas de acceso libre, como Arduino y Raspberry Pi, pues son placas de bajo costo y de software libre. Todas las placas se conectan por medio de comunicación serial a un nodo maestro principal, que en éste caso, es Raspberry Pi. Cada controlador tiene un sistema distinto de comunicación, y cada uno tiene un apartado en el siguiente trabajo.

En el caso del sistema de control de temperatura, se obtiene una señal de voltaje de 0 a 5v que mediante una tarjeta Arduino, entregará información sobre la temperatura registrada en las termocuplas.

Para los reguladores de presión y flujo másico, estos tienen un puerto de comunicación serial RS - 232, que permitirán interactuar con el set point deseado, así como obtener toda la información necesaria sobre las variables de flujo y presión. En el caso de los controladores de temperatura, estos se comunican a través de RS – 485. En el *Esquema 4*, se puede observar este proceso. El Anexo 1 presenta los planos donde se detallan éstas conexiones.



Esquema 4. *Diagrama de bloques del proceso de Adquisición de Datos. Fuente: Elaboración Propia.*

1.16. Protocolos de comunicación

Se diseña un protocolo de comunicación que integra todos los sistemas de control, tanto del reactor, como los controladores de flujo másico y de presión. Se implementa comunicación de tipo BUS I2C, que recopila la información de los controladores mencionados para que lleguen al controlador principal, donde la información se procesa para convertirla en una interfaz gráfica amigable que permite la interacción del usuario con los *Set Point* de temperatura, presión y flujo másico, así como graficar los valores de éstas variables y su posterior registro en una base de datos.

1.16.1. Sistema de control de temperatura

El termo reactor adquirido, el horno tubular de 3 zonas SK2C – 5- 12TPB, de procedencia china y marca Nang Yang Xin Yu Furnaces; tiene 3 etapas de temperatura, cada una con un controlador independiente.

Los controladores de temperatura que vienen incluidos en el horno tubular, son de la marca Yudian, el modelo AI707P, que pueden ser comunicados con un computador si se le añade un módulo S o S4 de fabricación de la misma empresa.

Por el costo de este módulo, se eligió solamente comunicar la segunda zona del horno, que es donde el catalizador metálico va a permanecer, pues las otras dos zonas sirven para estabilizar esta temperatura central.

1.16.2. Sistema regulador de presión y de flujo másico

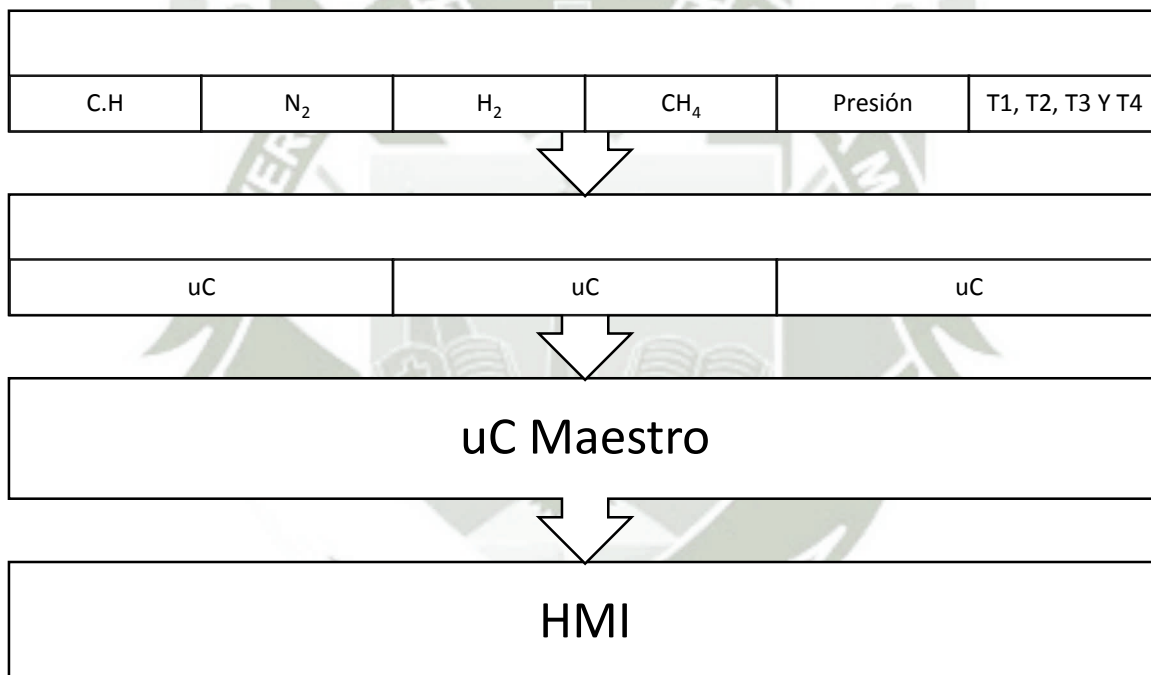
Se compraron controladores de flujo másico y de presión de la marca Alicat y procedencia norteamericana. (MC-100SCCM-D-PCV03, MC-200SCCM-D-PCV03, MC-500SCCM-D-PCV10, PC-100PSIG-D). Estos productos se caracterizan por tener un puerto de comunicación serial RS -232. Se utilizó un transformador que convertirá ésta señal serial a TTL y viceversa. Así es como la información llega a Arduino, es procesada y se transforma en una adecuada para ser interpretada y enviada por medio de comunicación tipo I2C al nodo maestro principal.

Capítulo III METODOLOGÍA

3.1. Selección del hardware adecuado para la implementación del sistema de control de temperatura, flujo másico y presión.

Con la finalidad de implementar el sistema de supervisión y adquisición de datos de temperatura, flujo másico y presión, fue necesaria la selección del hardware adecuado

3.1.1. Diagrama de bloques del proceso en general



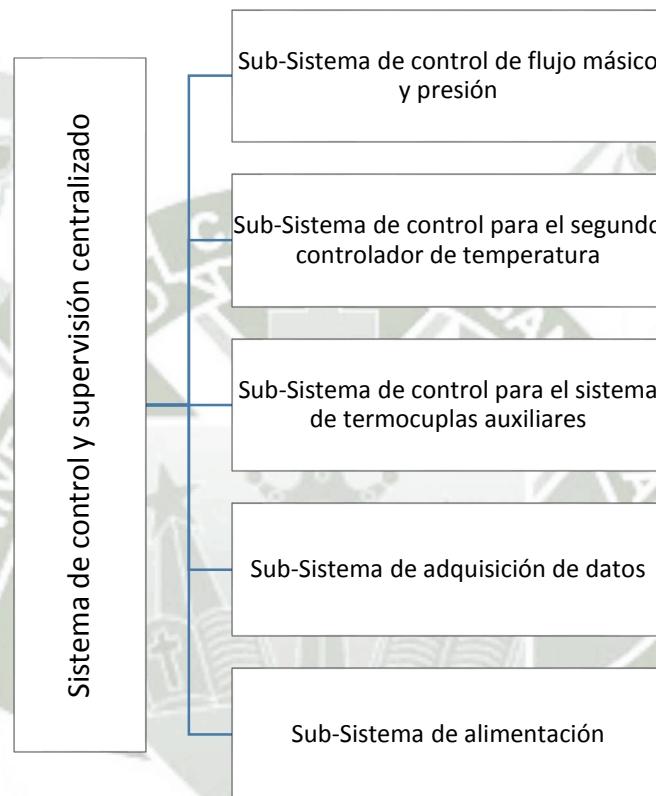
Esquema 5. Diagrama de bloques del proceso en general. Fuente: Elaboración Propia.

En el *Esquema 5*, se muestra el proceso del sistema. La abreviatura C.H. se refiere al segundo controlador de temperatura del reactor. N₂, H₂ y CH₄ son los tres controladores de flujo. Presión se refiere al controlador de presión y T1, T2, T3, y T4 hace referencia a las cuatro termocuplas auxiliares.

El controlador del reactor entrega la información a un microcontrolador. Los tres controladores de flujo y el controlador de presión entregan la data a un solo microcontrolador.

Las cuatro termocuplas entregan información a un solo microcontrolador. Estos tres microcontroladores entregan la data a un microcontrolador maestro, que recibe la información y la transforma en un protocolo de salida, donde los datos se encadenan y salen al HMI, que en este caso es el Raspberry, con la pantalla.

Como se puede observar, el sistema es complejo. Por ello, se divide en sub-sistemas, como se observa en el *Esquema 6*:



Esquema 6. *Mapa Conceptual del sistema de control y supervisión centralizado.*
Fuente: *Elaboración Propia.*

3.1.2. Definición del concepto del Hardware

La selección del hardware adecuado para la implementación del sistema de monitoreo y control de temperatura, flujo másico y presión se realizó en base a las necesidades del proyecto de fabricación de fibra de carbono en la Universidad Católica de Santa María.

3.1.2.1. Sub Sistema de control de flujo másico y presión

El sub sistema de control de flujo másico está compuesto por tres dispositivos, que regulan los flujos de gases que ingresan al reactor. El sub sistema permite ingresar el Set Point, así como leer en una pantalla externa los datos que los dispositivos generan.

El funcionamiento del subsistema consiste en recibir la data de los controladores de flujo y presión, procesarla, y recibirla en un microcontrolador, para luego enviarla a un microcontrolador maestro que a su vez la enviará al HMI.

Para la selección del controlador de flujo, hay dos marcas a nivel mundial que lideran este mercado. Se trata de ALICAT Scientific, [89] y de SIERRA Instruments, [90]. Se cotizaron ambos fabricantes, y a pesar de que SIERRA Instruments tiene un precio ligeramente menor al de ALICAT, no cuenta con la variedad requerida de controladores. Para la aplicación del proyecto, es necesario contar con controladores de flujo de 500SLPM, 200 SLPM y 100 SLPM, y en el caso de SIERRA Instruments, sólo contaba con controladores de 200 SLPM. Se eligió trabajar con ALICAT Scientific, pues este fabricante no sólo cuenta con los tres rangos de flujo requeridos, sino que además cuenta con un controlador de presión de características físicas similares a las de los controladores de flujo. Los controladores de flujo ALICAT, disponen de comunicación digital vía RS – 232. El producto de ambos fabricantes se puede observar en la *Ilustración 13*, a la izquierda se encuentra el de SIERRA Instruments, y a la derecha el de ALICAT Scientific.



Ilustración 13 Controladores de flujo másico, de marca SIERRA Instruments y ALICAT Scientific, respectivamente [89] y [90].

Para la selección del controlador de presión, se pre seleccionó el mismo fabricante de los controladores de flujo másico, ALICAT Scientific. Éste tiene características muy similares a los controladores de flujo anteriormente seleccionados, en cuanto a funcionamiento, configuración, geometría y comunicación.

Para la selección del microcontrolador se consideraron varias opciones. Se consideraron marcas como Microchip, Atmel, Texas Instruments, e Intel. En el caso de Microchip, su producto comercial es el CereBot, [91]. En el caso de Atmel, el producto comercial es Arduino, [72]. En el caso de Intel, su producto comercial es Galileo, [92]. (*Ilustración 14*). Entre estas opciones, se optó por utilizar Arduino, porque es el microcontrolador que cuenta con mayor soporte en la red, es decir, hay información suficiente para poder programarlo. Productos como PIC MCU o Galileo, tienen una gran velocidad de procesamiento, pero no cuentan con el mismo soporte, y además no son productos accesibles, ya sea por precio o por que no están disponibles localmente.



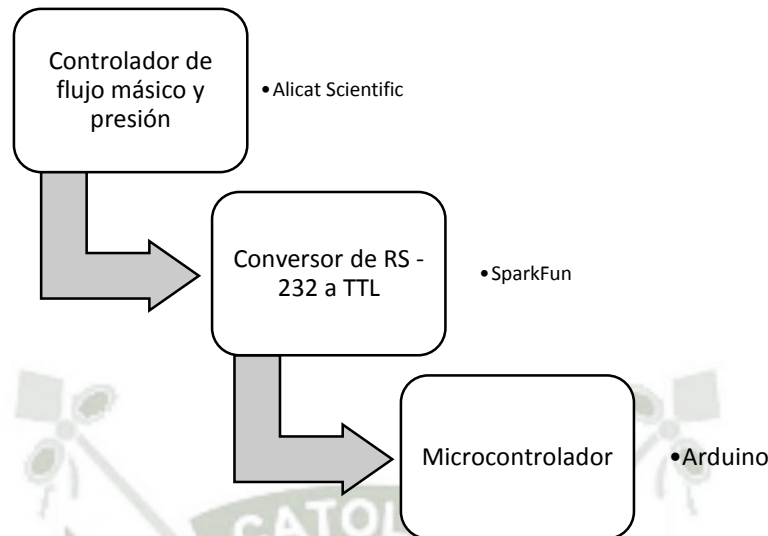
Ilustración 14. Microcontroladores: Arduino, CereBot y Galileo [72], [91] y [92]

Para comunicar el controlador de flujo con el microcontrolador, es necesario convertir la señal de RS – 232 a una señal tipo TTL. Para hacerlo, es necesario un dispositivo de conversión. En el mercado existen dos grandes marcas que se dedican a fabricar este tipo de electrónica: SparkFun, [93] y Adafruit, [94]. SparkFun ofrece una tarjeta de conversión de UART a TTL, que se puede observar en la *Ilustración 15*, al lado izquierdo. Adafruit ofrece un cable FTDI Serial TTL, que se puede observar en la *Ilustración 16*, al lado derecho. Se eligió trabajar con la tarjeta de conversión de SparkFun, pues es más práctica para ensamblarla al sistema.



Ilustración 15. Conversores de RS232 a TTL: SparkFun y Adafruit [93] y [94]



A continuación, en el *Esquema 7*, se presenta el diagrama de bloques del subsistema de monitoreo y control de flujo másico y presión.





Esquema 7. *Diagrama de bloques del sub sistema de monitoreo y control de flujo másico y presión. Fuente: Elaboración Propia*

La *Tabla 13* describe la lista de materiales del Sub Sistema de control de flujo másico y presión. Para el caso del controlador, se eligió la marca ALICAT, principalmente porque también fabrica controladores de presión, y será más viable trabajar con una sola marca para todos los controladores; ventaja que no se da en la marca SIERRA INSTRUMENTS. Por tanto, en el caso del controlador de presión, también se seleccionó la marca ALICAT Scientific. Para la conversión de la señal, se eligió la placa de conversión UART a TTL de SparkFun, porque entrega a señal en TTL directamente. En el caso del microcontrolador, se eligió Arduino por su amplio soporte y accesibilidad. Se seleccionó, entre todos los modelos de Arduino, el modelo MEGA CORE, por su diseño compacto y gran capacidad.

Tabla 12. *Lista de materiales del sub sistema de control de flujo másico y presión. Fuente: Elaboración Propia*

Cantidad	Descripción	Imagen
03	ALICAT MC-100SCCM-D-PCV03	
01	ALICAT PC-100PSIG-D/ 10P	

03	Convertidor UART a TTL (Sparkfun)	
01	Microcontrolador: Arduino MEGA CORE	

3.1.2.2. Sub Sistema de control para el segundo controlador de temperatura

El sub sistema de control del segundo controlador de temperatura está compuesto por un solo controlador de temperatura, que es el de la segunda zona del reactor. Esta es la zona más estable de las tres, y donde se hará reaccionar el catalizador, es por eso que es la única que es necesario controlar. El controlador de temperatura vino incluido en el reactor adquirido por el proyecto, pero se pudo seleccionar el modelo en específico para que tenga la capacidad de comunicarse con el sistema. El controlador adquirido es el Yudian 708P, [95], que se muestra en la *Ilustración 16*. El controlador de temperatura en cuestión, requiere de un módulo adicional para comunicarse con cualquier otro dispositivo. El fabricante ofreció dos tipos de módulos, el S y el S4. Se seleccionó el S4 (*Ilustración 17*), pues no utiliza la potencia interna del controlador.



Ilustración 16. *Controlador Yudian 708P, [95]*

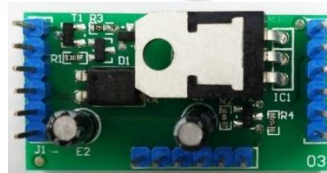
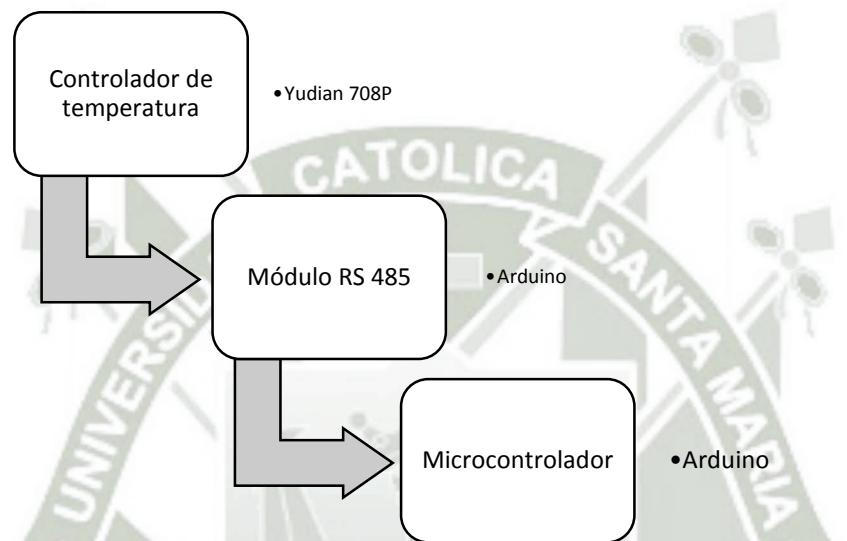


Ilustración 17. *Módulo S4, Yudian, [95]*

Para la selección del microcontrolador se utilizó el mismo microcontrolador que el subsistema de flujo másico y presión.

Para la comunicación, el controlador de temperatura, utiliza la norma RS – 485 y el protocolo AI BUS (Creado exclusivamente para los productos del fabricante). Para comunicar el controlador de temperatura con el microcontrolador maestro, se seleccionó el módulo RS – 485, de Arduino. Este módulo permite convertir la señal de RS – 485 en TTL.


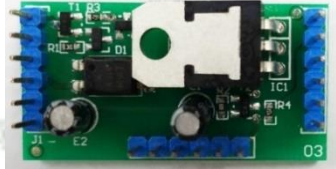

A continuación, en el *Esquema 8*, se presenta el diagrama de bloques del subsistema de temperatura, con la selección de fabricantes que se hizo para cada elemento.



Esquema 8. *Diagrama de bloques del sub sistema de control de temperatura.*
Fuente: *Elaboración Propia*

La *Tabla 14*, describe la lista de materiales del Sub Sistema del Segundo Controlador de Temperatura.

Tabla 13. *Lista de materiales del sub sistema de control para el segundo controlador de temperatura.* Fuente: *Elaboración Propia*

Cantidad	Descripción	Imagen
03	Controlador Yudian AI 707P	
01	Módulo Yudian COM S4	
01	Microcontrolador: Arduino MEGA CORE	

3.1.2.3. Sub Sistema de control para el sistema de termocuplas auxiliares

El sub sistema de control para el sistema de termocuplas auxiliares está compuesto por cuatro termocuplas, y cuatro placas de conversión de la señal de la termocupla, a señal digital; así como un microcontrolador que controla todo este proceso. El sub sistema permite obtener la temperatura del interior del reactor, para poder visualizarla gráficamente en una pantalla externa y registrar toda la información en una base de datos.

El funcionamiento del subsistema consiste en recibir la señal de las termocuplas y procesarla en un microcontrolador, para luego enviarla a un microcontrolador maestro que a su vez la enviará al HMI.

Las termocuplas se compraron del mismo fabricante del reactor. Se adquirieron 8 termocuplas, de distintas longitudes: 60cm, 45cm, 30 cm y 20 cm. (Ilustración 18). Ya que el reactor debe llegar a 1200°C, se adquirieron termocuplas tipo K (se puede observar sus especificaciones en el 3.2.6). El mismo fabricante también se encargó de proveer las extensiones necesarias para trabajar con estas termocuplas.



Ilustración 18. *Termocuplas de longitudes de 60cm, 45cm, 30cm y 20cm. Fuente: Elaboración Propia.*

Para el acondicionamiento de la señal, se requiere una placa de conversión de señal MAX31850k. Existen dos fabricantes de renombre que producen esta placa: Adafruit, [94] y SparkFun, [93]. Ambas placas se pueden observar en la *Ilustración 19*. Se seleccionó la tarjeta MAX31850k de Adafruit, porque entrega mayor documentación del producto.

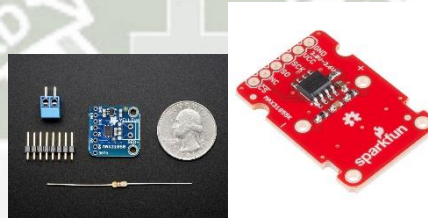


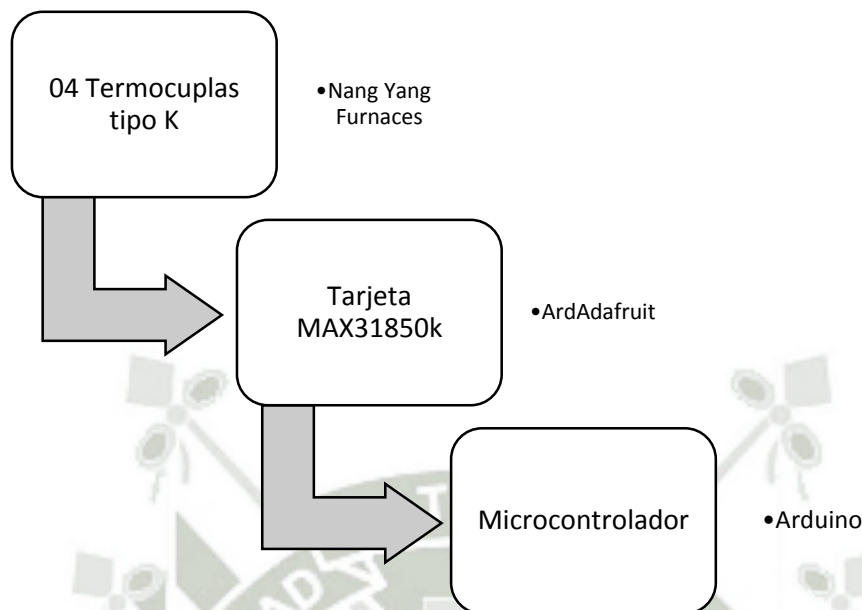
Ilustración 19. *Tarjeta MAX31850k: Adafruit y SparkFun, respectivamente [94] y [93]*

Para la selección del microcontrolador se utilizó el mismo microcontrolador que el subsistema de flujo másico y presión. Se eligió un modelo más compacto, pues el diseño del circuito de este sub – sistema resulta muy cargado. Así, se utilizó un Arduino Nano (*Ilustración 20*), [96].



Ilustración 20. *Arduino Nano [96]*



A continuación, en el *Esquema 9*, se presenta el diagrama de bloques del subsistema de monitoreo y control de temperatura por medio de termocuplas auxiliares.

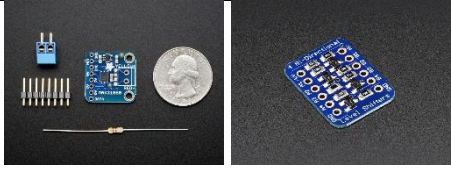



Esquema 9. *Diagrama de bloques del subsistema de monitoreo y control de temperatura por medio de termocuplas auxiliares. Fuente: Elaboración Propia*

La *Tabla 15* describe la lista de materiales del Sub Sistema de monitoreo y control de temperatura por medio de termocuplas auxiliares. Cabe mencionar, que en el caso de la tarjeta MAX31850k de Adafruit, se debe comprar también una tarjeta que eleve el voltaje (BSS 138), pues la salida de la primera, es de 3.3V. Se seleccionó un Arduino nano para este caso, pues la velocidad de procesamiento que requiere este subsistema no es tan alta y es necesario ahorrar espacio para la fabricación de esta placa.

Tabla 14: *Lista de materiales del sistema de monitoreo y control para el sub sistema de termocuplas auxiliares. Fuente: Elaboración Propia*

Cantidad	Descripción	Imagen
08	Termocupla tipo k K type (Ni-Cr/Ni-Al) 118.5 mm (4.6") Length with Ceramic Sheath - EQ-TC-K-11	
08	Extensión de Termocupla	
04	Tarjeta tipo MAX	[Adafruit] MAX 31850k + BSS138

		
01	Microcontrolador: Arduino nano	

3.1.2.4. Sub Sistema de adquisición de datos

El sub sistema de adquisición de datos, permite integrar todos los sub sistemas detallados anteriormente por medio de un microcontrolador maestro, que se comunica directamente con el HMI, que en este caso es el Raspberry Pi y su pantalla.

El funcionamiento del subsistema consiste en recibir la data de los sub sistemas detallados anteriormente, integrarlos en un solo protocolo que se ejecuta en el microcontrolador maestro y comunicarlo con el HMI.

Para la selección del microcontrolador maestro, se eligió trabajar también con Arduino, pues todo el sistema ya funciona con este microcontrolador. Por ser éste el microcontrolador el que más información debe procesar y a velocidad muy alta, se debe conseguir el modelo óptimo. Es así que se opta por Arduino Mega 2560, [97] que además de tener una memoria flash de 256kB, cuenta con tres puertos seriales, ideales para la aplicación requerida. Ver *Ilustración 21*.



Ilustración 21. *Arduino MEGA [97]*

Para el HMI, se requiere un sistema que asemeje una PC. El acercamiento más compatible con los objetivos de esta tesis (Implementar un SCADA a bajo costo y con

software libre), es utilizar una CPU como Raspberry Pi, complementada por una pantalla táctil. Se eligió la tercera generación de Raspberry Pi, [77] que tiene un procesador de 1.2 GHz, WiFi y Bluetooth (*Ilustración 23*). Adafruit, [94] fabrica una pantalla táctil de 7 pulgadas, [98] que por medio de un adaptador [99], (*Ilustración 22*) es compatible con Raspberry Pi. El adaptador, es una placa que se ensambla sobre el Raspberry y permite la conexión de la pantalla sin la necesidad de un cable HDMI o similar.

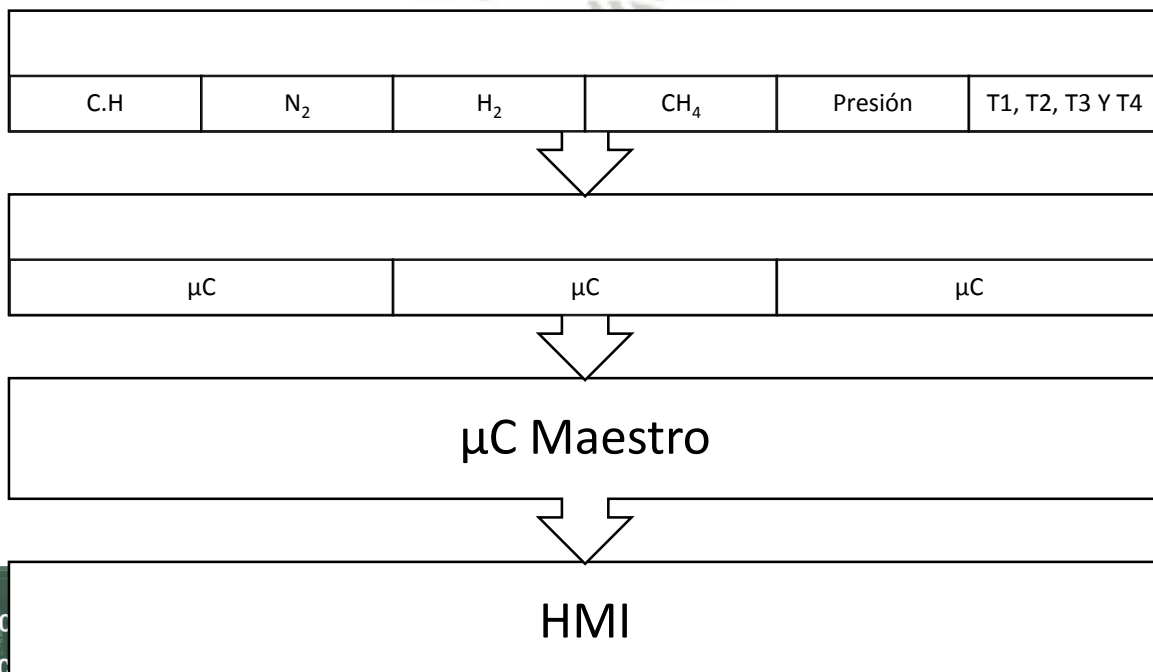


Ilustración 22. Pantalla táctil de 7'', y Adaptador Kippah para Raspberry Pi [94]



Ilustración 23. Raspberry Pi 3B+[94]

A continuación, en el *Esquema 10*, se presenta el diagrama de bloques del subsistema de adquisición de datos.



Esquema 10. *Diagrama de bloques del sub sistema de adquisición de datos.*
Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Integración de los protocolos de comunicación

La integración de los protocolos de comunicación se realizó para lograr una comunicación efectiva entre el controlador principal, y su esclavo. Esta integración se realizó para los controladores de la marca ALICAT, de presión y flujo másico.

3.2.1. Sistema de control de flujo másico y de presión

En el marco del proyecto, se han adquirido tres controladores de flujo másico y uno de presión, de la marca americana ALICAT. [89] Estos cuatro controladores de flujo másico cuentan con un puerto de comunicación mini DIN8, se alimentan con una fuente de poder de 12 a 30 VDC, que al menos proporcione 750 mA. Para enviar la data, la empresa proporciona un software de comunicación tipo Streaming, llamado “HyperTerminal®”, que se explica a detalle en el Anexo 02 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “HYPERTERMINAL® Y PRUEBA DE COMUNICACIÓN TIPO STREAMING”. Otra forma de obtener los datos es con Arduino, mediante el monitor serial. Este procedimiento se detalla en el Anexo 02 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “HYPERTERMINAL® Y PRUEBA DE COMUNICACIÓN TIPO STREAMING”.

3.2.1.1. Conector mini DIN8.

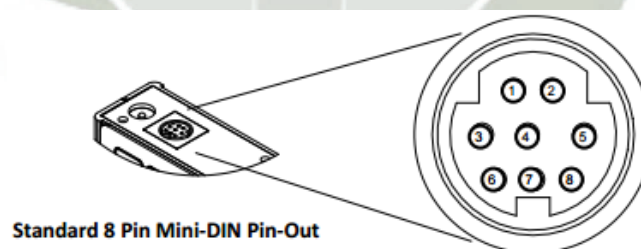


Ilustración 24. *Mini-DIN8, [89]*

En la *Ilustración 24*, se puede observar a detalle el conector mini –DIN8, con cada uno de sus pines.

En la *Tabla 16* se describe la función de cada uno de los pines del conector, y se da la advertencia que conectar a la corriente los pines del 1 al 6, podría causar daño permanente.

Tabla 15. *Función de cada pin conector de los controladores marca ALICAT y su color, [89]*

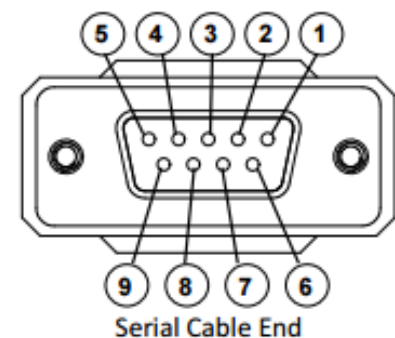
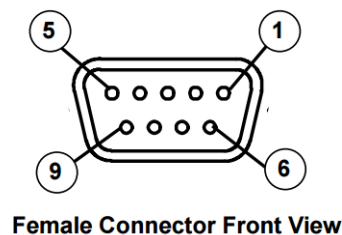
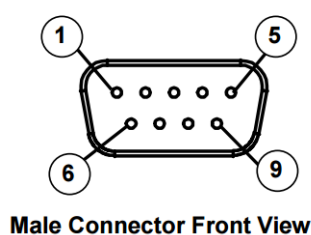
Pin	Función	Color del cable Mini – DIN
1	No va conectado [opcionalmente sería la señal de salida primaria de 4 a 20mA]	Negro
2	5.12 VDC estático [opcionalmente sería la salida secundaria analógica, de (4 a 20mA, 5VDC o 10 VDC) o una alarma básica]	Marrón
3	Señal de entrada del Serial RS-232RX/RS-485(-) [recibe]	Rojo
4	Medidor de Tara Remota [El controlador viene a ser la entrada del set point analógico]	Naranja
5	Señal de salida del Serial RS-232RX/RS-485(-) [envía]	Amarillo
6	Señal de salida de 0 a 5VDC	Verde
7	Alimentación(+Vdc)	Azul
8	Tierra [común para la alimentación, comunicación y señales analógicas]	Morado
ATENCIÓN: No conecte a la corriente los pines 1 al 6, porque podría causar daño permanente		

3.2.1.2. Especificaciones eléctricas.

- El controlador se puede alimentar a través de un Jack, o el conector Mini-DIN8.
- Para utilizar un Jack, es necesario contar con un adaptador AC/DC que convierta la línea AC en voltaje y corriente DC. El controlador requiere una fuente de poder de 12 a 30VDC, con un plug central tipo hembra de 2.1mm, capaz de proporcionar 750 mA, por lo menos.
- Es común confundir el Pin2 con una salida analógica standard de 0 a 5VDC, cuando en realidad el Pin2 normalmente entrega una señal constante de 5.12VDC, que refleja el sistema de voltaje y se puede utilizar para la señal del set point.

3.2.1.3. Especificaciones de los pines DB9.

Ilustración 25. Conectores mini-DIN8 macho y



En la *Ilustración 25*, se observan los puertos DB9, y se especifica la ubicación de cada pin.

En la siguiente *Tabla 17* se puede observar la función de cada uno de los pines del receptor:

Tabla 16. *Función de cada pin conector de los controladores marca ALICAT, [89]*

Pin	Función
1	No va conectado [opcionalmente sería la señal de salida primaria de 4 a 20mA]
2	5.12 VDC estático [opcionalmente sería la salida secundaria analógica, de (4 a 20mA, 5VDC o 10 VDC) o una alarma básica]
3	Señal de entrada del Serial RS-232RX/RS-485(-) [recibe]
4	Medidor de Tara Remota [El controlador viene a ser la entrada del set point analógico]
5	Señal de salida del Serial RS-232RX/RS-485(-) [envía]
6	Señal de salida de 0 a 5VDC
7	Alimentación (+Vdc)
8	Tierra [común para la alimentación, comunicación y señales analógicas]
ATENCIÓN: No conecte el cable RS -232 a uno RS – 485. Podría ocurrir daño permanente. Revise previamente si esta operación es funcional según el fabricante.	

Para conectar el convertidor a una PC utilizamos la *Tabla 18* y la *Ilustración 26*.

Tabla 17. *Referencia pin/color de los controladores marca ALICAT, [89]*

Función	Pin	Color
Tierra	8	Morado
Receptor	3	Rojo
Transmisor	5	Amarillo

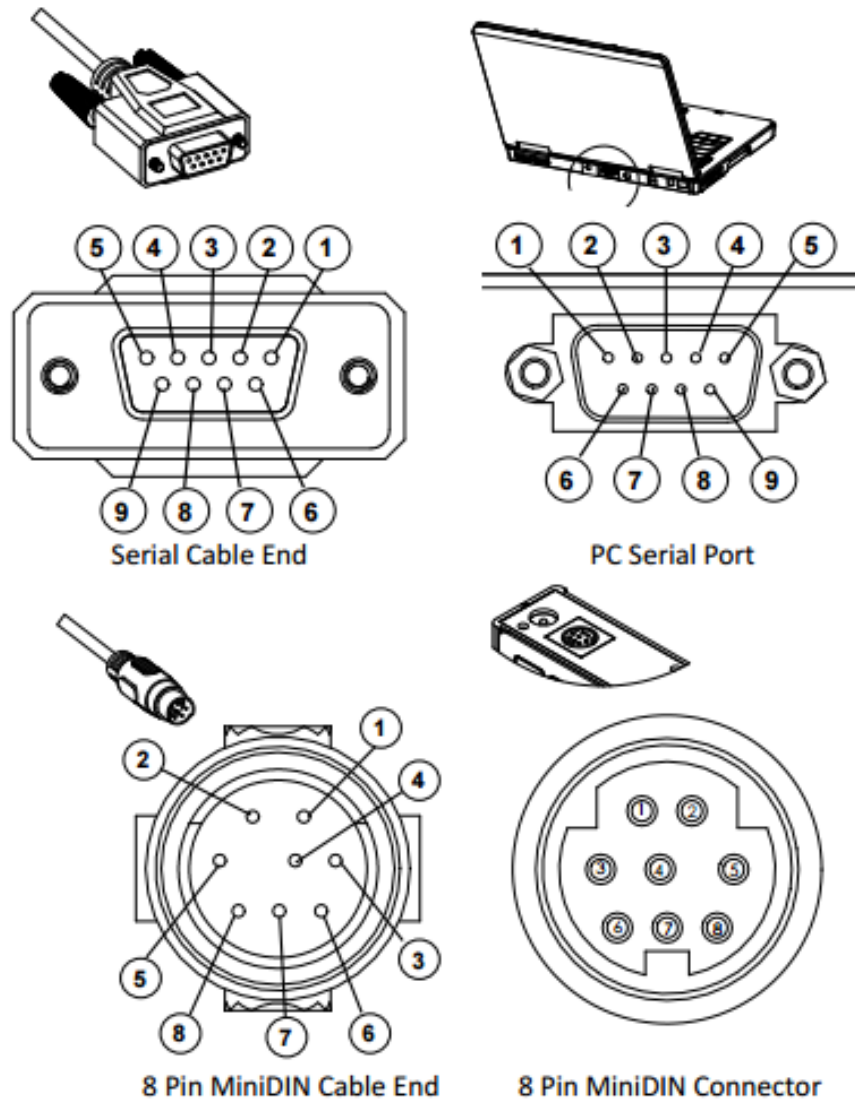
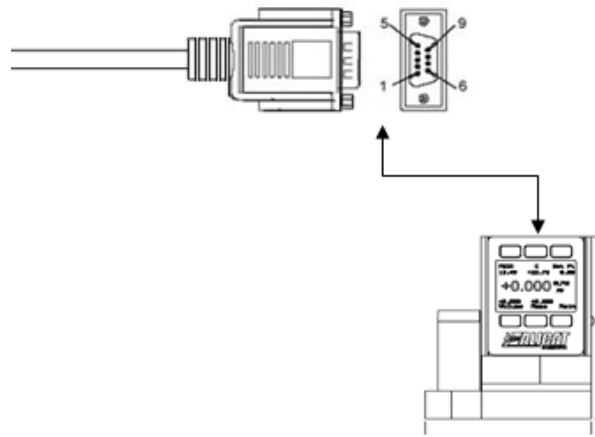


Ilustración 26. Puerto y cable serial para la comunicación del controlador con una PC, [89]

En la *Ilustración 26*, se describe a detalle el extremo del cable serial, la ubicación de cada uno de sus pines, de la misma manera en que se describe el terminal del conector mini DIN8, hembra y macho. Esta Ilustración nos ayuda a tener una idea más clara de cómo realizar las conexiones entre cables.



En el *Esquema 11*, se puede observar la conexión del equipo ALICAT por el puerto serial mini DIN8 con un cable serial RS – 232.

Esquema 11. *Conexión RS-232 a mini DIN8. Fuente: Elaboración Propia*

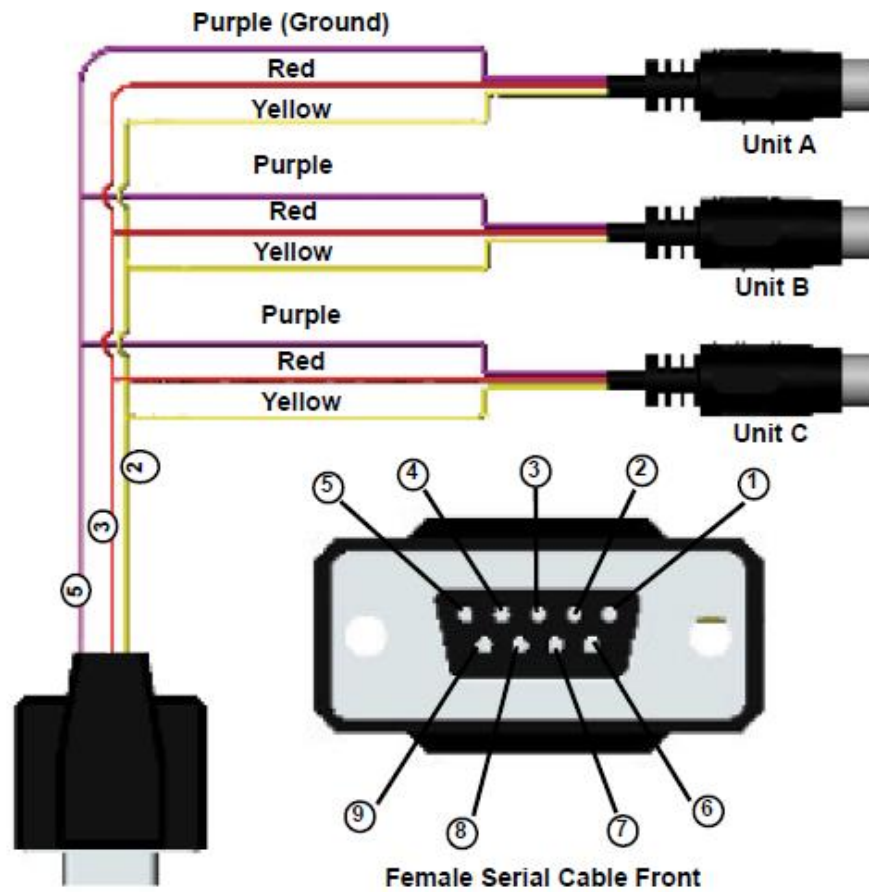
En la *Tabla 19*, se puede observar a detalle la referencia de pin / color de la conexión serial mini DIN8.

Tabla 18. *Referencia pin/color de la conexión serial/mini DIN8 de los controladores marca ALICAT, [89]*

ALICAT (Mini – DIN8)			Puerto Serial	
Función	Pin	Color	Función	Pin
Tierra	8	Morado	Tierra	5
Receptor	3	Rojo	Transmisor	3
Transmisor	5	Amarillo	Receptor	2

3.2.1.4. Construcción de una red física ALICAT

Para realizar la construcción de una red física ALICAT, es necesario integrar los tres cables que se utilizan para la comunicación digital: amarillo, rojo y morado. Para realizar este procedimiento, se debe unir el cable amarillo de los 4 dispositivos en uno solo, y análogamente hacerlo con el morado y el rojo. En la *Ilustración 27*, se puede observar a detalles estas conexiones.



Typical Multiple Device (Addressable) Wiring Configuration

Ilustración 27. Red física ALICAT de tres controladores, [89]

3.2.1.6. Diseño del circuito

En la *Ilustración 28* se puede apreciar el diseño del circuito para red física ALICAT de 4 controladores.

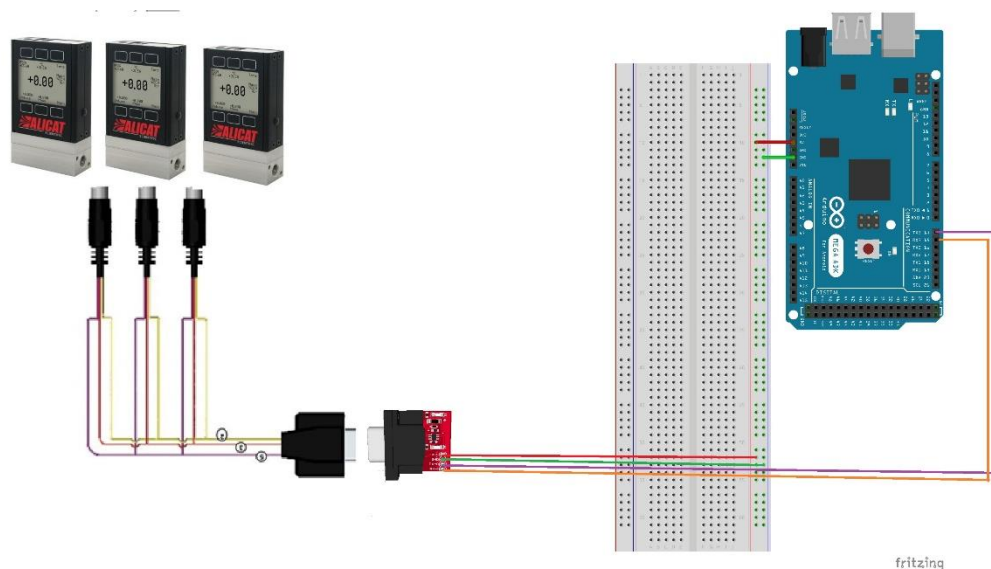


Ilustración 28. Red física de los controladores de flujo ALICAT, conectados al convertor RS232 que envía la señal TTL al Arduino.
Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 01 PLANOS DE CONEXIONES, se encuentra el diagrama esquemático y la placa del circuito.

3.2.3. Configuración y programación

3.2.3.1. Cambiar la identificación del evento

- El controlador viene configurado en Streaming Mode.
- La relación recomendada por defecto de suministro de datos es una vez cada 50 milisegundos, lo cual es adecuado para la mayoría de situaciones. Si fuera necesario cambiar la velocidad, se puede cambiar el registro 91 a un valor de 1 a 65535 milisegundos, o hasta un valor cercano a una vez cada minuto. Por debajo de 40 milisegundos, el suministro de datos va a depender de cuántos parámetros han sido seleccionados, pues mientras menos, será más rápido.
- Para leer el registro 91, en el monitor serial tipiamos “*r91”, seguido de “Enter”.
- Para modificar el registro 91, tipiamos “*w91=X”, donde X viene a ser un número entero de 1 a 65535, seguido de “Enter”
- Para regresar a la configuración de fábrica, tipiamos “*w91=50”

3.2.3.2. Cambiar a “Polling mode”

Cuando el controlador está en Streaming Mode, la pantalla se actualiza entre 10 y 60 veces por segundo, que depende de la cantidad de datos que debe procesar por línea, entonces para el usuario, la data ha sido recibida en tiempo real. A veces, es deseable y necesario, cuando se utiliza más de un equipo por línea en RS -232, poder hacerlo en modo Poll, es decir, como sondeo. En este modo, la unidad mide el flujo normalmente, pero solo envía esta información cuando se requiere. Cada equipo puede tener su propio nombre, que pueden ser letras desde la B hasta la Z.

Pasos para cambiar a “Polling Mode”:

- a. En el monitor serial, se tipea “*@=A”, seguido de “Enter”. De esta manera se habrá interrumpido el modo Streaming.
- b. Ahora, se puede tipiar, por ejemplo, A, seguido de “Enter”, y el monitor mostrará el valor una vez.
- c. Para volver al modo Streaming, basta con tipiar “*@=@”, seguido de “Enter”.
- d. Para asignar una nueva dirección, ponemos “*@=Nueva dirección”, por ejemplo “*@=B”.

3.2.3.3. Consideraciones de red

En este punto se debe tener cuidado de no asignar los nombres cuando más de un equipo está conectado a la línea RS -232, porque entonces todas las direcciones de todos los equipos, serán reasignadas automáticamente. Entonces, para asignar los nombres de cada equipo, se deberá conectar uno por uno, y luego de asignado, desconectarlo.

3.2.4. Algoritmo de la Interfaz del Usuario para los dispositivos ALICAT

En el Anexo 04 ALGORITMO PARA LA INTERFAZ ALICAT, se encuentran los diagramas de flujo utilizados para desarrollar la interfaz preliminar para el manejo de los ALICAT.

3.2.5. Sistema de adquisición de temperatura del horno

En el marco del proyecto, se ha adquirido un horno tubular con tres controladores de temperatura, de la marca americana Yudian, [100]. El modelo de estos tres controladores es 708P. El manual se encuentra adjunto en la referencia [95]. Para utilizar la función de comunicación se debe adquirir de forma independiente el módulo S, del mismo fabricante. De esta forma, el controlador entrega una señal Tx y Rx. El módulo se alimenta de los 220VAC con los que se alimenta el controlador.

3.2.5.1. Especificaciones del sistema

La tasa de baudios se puede elegir en el rango de 1200 a 19200 bits/s. Generalmente se utiliza 9600 bits/s. Cuando un puerto de comunicación conecta más de 40 instrumentos, o se necesita una velocidad de actualización más rápida, se recomienda 19200 bits/s. Si la comunicación no es estable, se recomienda 4800 bits/s.

La comunicación en la norma RS485 es superior a la de RS232. La distancia en la comunicación RS485 puede ser mayor a 1 km, y muchos instrumentos se pueden comunicar con una computadora a través de dos cables. Una computadora con puerto de comunicación RS232 o puerto USB puede realizar comunicación bajo la norma RS485 con un convertidor de interfaz RS232/RS485 y USB/RS485. En comparación con los productos de la competencia, es más pequeño, puede correr sin inicialización o una fuente propia de poder y provee protección por sobrecarga.

De acuerdo a la norma de RS485, la línea de comunicación puede conectar como máximo 32 instrumentos o computadoras, a menos que un repetidor esté instalado, o se utilicen interfaces de comunicación con un chip 75LBC184, que conecta hasta 60 instrumentos sin necesidad de un repetidor.

Las interfaces de comunicación RS232 y RS485 para los controladores AI, aplican tecnología de aislamiento eléctrico para separar la interfaz de comunicación

Cuando existe un problema de comunicación con el controlador, el instrumento aún puede funcionar bien, y ser operado desde el panel frontal. El ECC de 16 bits, garantiza la confiabilidad de la información. Esto permite que en el caso de que tanto el controlador como la computadora no funcionen bien; por ejemplo, cuando dos instrumentos tienen la misma dirección, o son de distinto fabricante; pueden todavía funcionar de forma independiente. De esta manera, el sistema de control distribuido es de alta confiabilidad.

El maestro del sistema puede ser una PC, pues tiene recurso de software suficiente y rápido procesamiento.

3.2.5.2. Instrucciones de comunicación

Las instrucciones en el controlador están en estructura hexadecimal. Las funciones principales son dos: lectura y escritura. [95] Las instrucciones de lectura/escritura están estructuradas de la siguiente manera (*Tabla 20*).

Tabla 19. *Instrucciones de lectura / escritura para el controlador de temperatura, [95]*

Lectura	Código de dirección "Addr"	+	52H (82)	+	Código del parámetro a ser leído	+	0	+	0	+	ECC
Escritura	Código de dirección "Addr"	+	43H (67)	+	Código del parámetro a ser escrito	+	LSB del valor a ser escrito	+	MSB del valor a ser escrito	+	ECC

3.2.5.2.1. Código de dirección "Addr"

Cada instrumento en la misma línea de comunicación debería tener una sola dirección, que puede ser desde 0 hasta 80. Entonces, una línea de comunicación se puede conectar con

hasta 81 instrumentos. La dirección de los instrumentos está definida por el parámetro “Addr”. [95]

El código de dirección del instrumento es un entero de 2 bytes. Cada byte es un valor en hexadecimal desde 80H hasta D08. El entero de 2 bytes es igual a:

$$\text{Dirección} + 80\text{H}$$

Por ejemplo, si la dirección es 10 (que en hexadecimal es 0AH):

$$0\text{AH} + 80\text{H} = 8\text{A}8\text{AH}$$

Para instrumentos multi canal, cada canal activo utiliza una sola dirección. Por ejemplo, el AI-7048 tiene 4 canales de control, y utiliza 4 direcciones. Si Addr = 5, entonces 5, 6, 7 y 8 son las direcciones de comunicación para sus 4 canales. [95]

3.2.5.2.2. Código de parámetro

En los instrumentos, un parámetro está representado por un código de parámetro, que es un byte en formato hexadecimal. Los códigos de parámetro están especificados en el Anexo 2.

3.2.5.2.3. Código de corrección de error (ECC)

El ECC aplica un código sumatorio de 16 bits. Es un entero de dos bytes, con el byte inferior antes del byte superior como se observa en la siguiente *Tabla 21*, [95].

Tabla 20. *Distribución de bytes en el Código de corrección de error* [95]

Código de corrección de error	
Byte Inferior	Byte Superior

3.2.5.2.4. Instrucción de lectura ECC

Para realizar la función de lectura del código ECC se debe hallar el módulo de:

$$\left(\text{Código de parámetro} * 100\text{H} + 52\text{H} + \text{Addr} \right) / 10000\text{H}$$

código de parámetro*100H+52H+Addr**10000H**Ecuación 1:

$$\left\lfloor \frac{(\text{código de parámetro} * 100\text{H}) + 52\text{H} + \text{Addr}}{10000\text{H}} \right\rfloor \text{Ecuación 1}$$

El rango del valor de “Addr” va desde 0 hasta 80.

3.2.5.2.5. Instrucción de escritura ECC

Para realizar la función de escritura del código ECC se debe hallar el módulo de:

$$\left(\text{Código de parámetro} * 100H + 43H + \text{Valor de escritura} + \text{Addr} \right) / 1000H$$

código de parámetro*100H+43H+Valor de Escritura+ Addr1000HEcuación 2 :

$$\left\lfloor \frac{(\text{código de parámetro} * 100H) + 43H + \text{Valor de Escritura} + \text{Addr}}{1000H} \right\rfloor \text{Ecuación 2}$$

El rango del valor de “Addr” va desde 0 hasta 80.

3.2.5.2.6. Información de respuesta

Tanto para la instrucción de lectura como para la instrucción de escritura, el instrumento entregará automáticamente la siguiente información *Tabla 22*:

Tabla 22. Datos entregados por el instrumento controlador de temperatura, [95]

	Valor del proceso (PV)	+	Valor configurado (SV)	+	Valor de salida MV	+	Estado de la alarma	+	Valor del parámetro de lectura/escritura	+	ECC
Cantidad de bytes	2 bytes	+	2 bytes	+	1 byte	+	1 byte	+	2 bytes	+	2 bytes

El valor PV, SV y el valor del parámetro son todos enteros de 2 bytes, donde el byte inferior se posiciona antes del byte superior. El valor de MV es un solo byte en un rango de -110 a +110, y el estado de la alarma también es de un byte. El valor de ECC es de 2 bytes. En total son 10 bytes.

El significado de los datos entregados es como se muestra en la *Tabla 23*.

Tabla 23. Descripción de los datos entregados por el instrumento controlador de temperatura, [95]

Modelo	Controladores	Indicadores multi canal	Canal de flujo (Sólo para el modelo AI 708H/808H)	Canal de presión y temperatura (Sólo para el modelo AI808H)	Módulo de frecuencia (AI – 301 M)
PV	Valor de medida del PV	PV	Flujo instantáneo de PV	Temperatura del PV (0.1°C)	PV
SV	Setpoint SV	Número de canal	Byte	Presión del PV (0.001MPa)	SV
MV	Valor	Byte de status A	Byte	Flujo	Valor

Byte de estado	Byte de status A	Byte de status A			
Valor del parámetro	El valor del parámetro a ser leído o escrito.				

Para hallar el ECC de la data entregada, se debe calcular el módulo de:

$$\frac{PV + SV + (\text{Estado de la alarma} * 256 + MV) + \text{Valor del parámetro} + \text{Addr})}{1000H}$$

Estado de la alarma*256+MV+Valor del parámetro+ Addr1000H Ecuación 3 :

$$\left| \frac{PV+SV+(Estado\ de\ la\ alarma*256+MV)+Valor\ del\ parámetro+ Addr}{1000H} \right| \text{Ecuación 3}$$

3.2.5.3. Programación

Cada vez que la PC envía una instrucción al instrumento, el instrumento entrega un valor. El tiempo de respuesta debe ser entre 0 y 150ms. La computadora no puede enviar una nueva instrucción antes de recibir la respuesta, pues podría causar error. Si el instrumento no responde después de este período, hay error. Puede ser una instrucción inválida, o que esté funcionando mal la línea de comunicación, o un error en la dirección de comunicación, o que el instrumento esté apagado. Entonces, la computadora debe enviar la instrucción de nuevo.

Por ejemplo, para fijar un Set Point (que tiene por código de parámetro '0'), en un instrumento de 'ADDR' 1, a 100°C (cuyo valor entero es 1000), el programa será:

Inicializa el puerto de comunicación, fijando la correcta velocidad de transmisión, configurando la información de 8 bits, la parada de 2 bits, y ningún bit de paridad. Recuerde que algunos puertos de comunicación RS485 o RS232 necesitan un cable de control RTS o DTR. La computadora puede programar estos cables de control.

La instrucción sería [95]:

COMM1.OUTPUT = CHR\$(129)+CHR\$(67)+CHR\$(232)+CHR\$(3)+CHR\$(44)+CHR\$(4)

3.2.6. Sistema de termocuplas auxiliares.

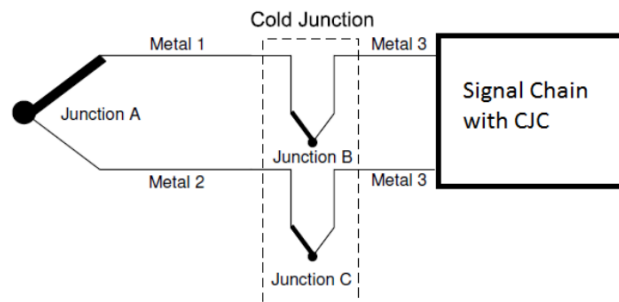
El

3.2.6.1. Termocuplas

Las

Una termocupla es un cable de dos hilos, cada uno de diferente material (normalmente aleaciones), que se unen en uno de sus extremos por medio de soldadura, como se aprecia en la Ilustración 29, [101].

Ilustración 29. Diagrama de uniones en una termocuplas, [101]



La composición de los conductores varía dependiendo del rango requerido de temperatura, exactitud, tiempo de vida, y ambiente a medir.

Todos los tipos de termocuplas operan en base a una misma teoría fundamental: el efecto termoeléctrico, o efecto Seebeck, [22].

3.2.6.2. Efecto Seebeck

Cuando

Si se revisa la *Ilustración 29*, se observa que cuando dos tipos distintos de metales se juntan en un punto (A), la diferencia de voltaje en el extremo opuesto (B o C), es proporcional a la gradiente de temperatura que se forma en el otro extremo de ambos conductores. Como se ve más adelante en la **$V_{OUT} = (41.276 \mu V/^{\circ}C) \times (T_R - T_{AMB})$** *Ecuación 4*, para determinar la temperatura que se está midiendo se necesita conocer la temperatura ambiente, [22].

3.2.6.3. Descripción del tipo de termocupla utilizada

La termocupla adquirida, vino incluida en los accesorios del horno tubular. Es de la marca NangYang Furnaces Co., corporación china que ha proveído todo el material relacionado al horno tubular de tres zonas.

En la *Ilustración 30*, se puede observar los diversos tamaños de termocuplas que llegaron: 20cm, 35cm, 45cm y 60cm.



Ilustración 29. *Termocuplas adquiridas, de diversas longitudes.*
Fuente: Elaboración Propia.

El tipo de la termocuplas es K, esto quiere decir que puede medir hasta 1300°C. A continuación, la *Tabla 24*, describe a detalle las características principales de este tipo de termocupla.

Tabla 21. *Características de las termocuplas adquiridas, [102]*

Tipo	Cable	Aleación+	Cable	Aleación+	Temperatura mínima	Temperatura máxima
K	Níquel	Cromo	Níquel	Aluminio	-180°C	1372°C

3.2.6.4. Acondicionamiento de la señal

3.2.6.4.1. MAX31850k

Para el acondicionamiento de la señal se utilizó el módulo MAX31850k, de la marca Adafruit [94], el cual convierte la compensación generada por los cables de la termocupla, y la digitaliza.

La comunicación con el micro controlador principal se realiza mediante un BUS de una sola línea.

El módulo MAX31850k, trabaja con baja potencia de operación, que se puede obtener directamente de la línea de DATA, así elimina la necesidad de utilizar potencia externa.

Cada dispositivo tiene un código serial único, de 64-bits, que permite que múltiples unidades funcionen en un mismo sistema.

El ADC del módulo utiliza 14 bits, logrando una resolución de 0.25°C.

El módulo MAX31850k, entrega una señal de 0 a 3.3VDC. Para que el micro controlador la reconozca, es necesario elevar al rango de 0 a 5VDC. Para ello, se utiliza la tarjeta BSS138 (Ilustración 30).

El datasheet de cada uno de estos elementos, se encuentra en la referencia [98].

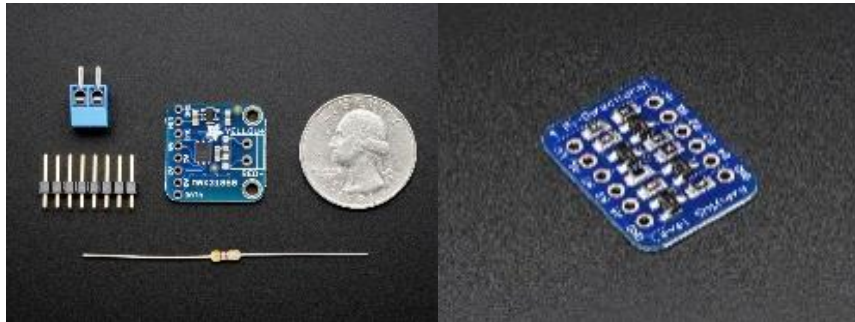


Ilustración 30. Tarjeta Adafruit MAX31850k (izquierda), y elevador de voltaje BSS138 (derecha), [94]

El modo de funcionamiento del módulo MAX31850k, se describe en el diagrama de bloques de la Ilustración 32, cortesía del fabricante. [102]

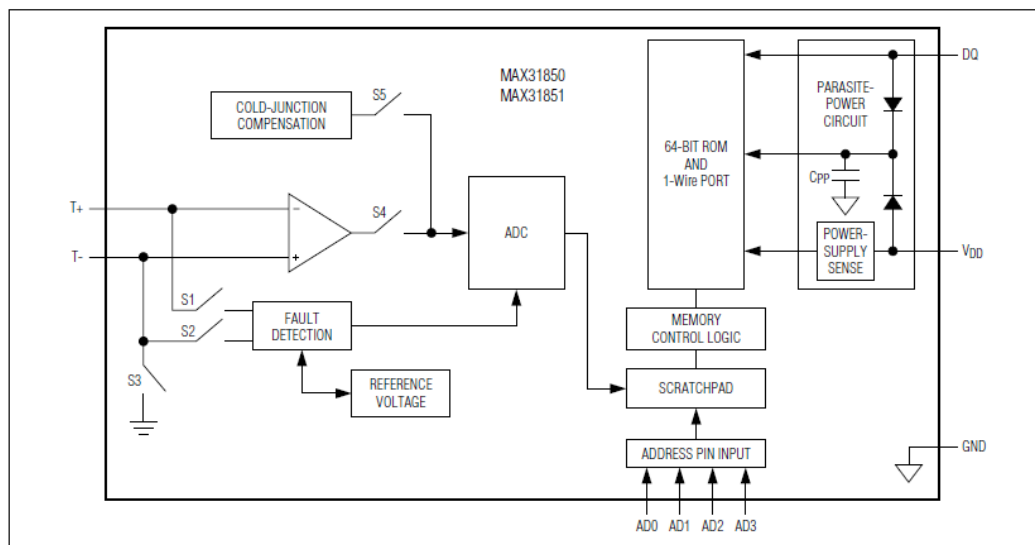


Ilustración 31. Diagrama de bloques del módulo MAX31850k, [102]

Las entradas T+ y T- corresponden a los polos positivo y negativo de la termocupla. Estas señales van a un OPAMP seguidor de tensión, que luego de recibir la señal de compensación de la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction compensation), pasa al convertor analógico digital.

La señal que sale del ADC va directamente a la memoria Scratchpad, que contiene el registro de la temperatura (2 bytes) que almacena la data de la termocupla compensada por la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction). Luego pasa por la memoria de control lógico y se dirige a la ROM de 64 bits, que se puede alimentar por medio de la línea de data (con corrientes parásitas) o con 5VDC, [102].

3.2.6.4.2. Conversión de temperatura

El módulo MAX31850k, incluye el hardware de acondicionamiento de señal para convertir la señal de la termocupla en un voltaje compatible con los canales de entrada del ADC. Las entradas T+ y T- se co-nectan a la circuitería interna que reduce el ruido proveniente de los cables de la termocupla.

Antes de convertir los voltajes termo eléctricos a valores equivalentes de temperatura, es necesario compensar la diferencia entre la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction) y una referencia virtual de 0°C. Para una termocupla del tipo K, el voltaje cambia a razón de $41\mu V/^{\circ}C$ aproximadamente [102]. Una termocupla del tipo K, utiliza la *Ecuación 4* para entregar un valor equivalente de temperatura:

$$V_{OUT} = (41.276\mu V/^{\circ}C) \times (T_R - T_{AMB}) \text{Ecuación 4 [102]}$$

Donde:

V_{OUT} Es el voltaje de salida de la termocupla (μV).

T_R Es la temperatura de la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction) de la termocupla ($^{\circ}C$).

T_{AMB} Es la temperatura del dispositivo ($^{\circ}C$).

3.2.6.4.3. Compensación de la unión a temperatura ambiente (o Cold – Junction)

La función de una termocupla es sensar la diferencia de temperatura entre los dos extremos de los hilos de la termocupla. El extremo del cable expuesto a altas temperaturas, se puede leer mediante el rango operativo de temperaturas. El extremo del cable que está a temperatura ambiente (y que además debería ser la misma temperatura que la de la placa en la que se está trabajando), puede variar de $-55^{\circ}C$ hasta $+125^{\circ}C$. Mientras que la temperatura fluctúa en el extremo del cable que está a temperatura ambiente, el dispositivo sigue midiendo con exactitud la diferencial de temperatura en el extremo opuesto.

El módulo MAX31850k, recibe la data y corrige los cambios de temperatura basándose en las temperaturas que se miden en ambos extremos del cable de dos hilos. Este procedimiento lo realiza

midiendo primero su temperatura interna, que debería ser la misma que la del extremo que está a temperatura ambiente. Luego, mide el voltaje de la salida de la termocupla en la unión a temperatura ambiente, y lo convierte en un valor de temperatura no compensado. Este valor se suma después a la temperatura que entregó la termocupla en la unión a temperatura ambiente, para calcular la temperatura que está expuesta a altas temperaturas. Es importante saber que la unión que normalmente está expuesta a altas temperaturas (y comúnmente es llamada de esta manera), podría estar expuesta a temperaturas por debajo de la temperatura ambiente.

El desenvolvimiento óptimo del dispositivo se alcanza cuando la unión que está a temperatura ambiente, y la temperatura del módulo, es la misma. Por ello, es conveniente ubicar dispositivos que generen calor, cerca del módulo MAX31580k, porque variaría la temperatura referencial e inevitablemente se producirían errores, [102] y [101].

3.2.6.5. Diseño del circuito

El sistema consiste en la integración de cuatro módulos Adafruit MAX31850k, todos ellos tienen conexión a tierra, 5VDC, 3.3VDC y una salida a Data. Finalmente se eleva el voltaje por medio de la tarjeta BSS138.

En el Anexo 01 PLANOS DE CONEXIONES, se encuentra el diagrama esquemático de este diseño.

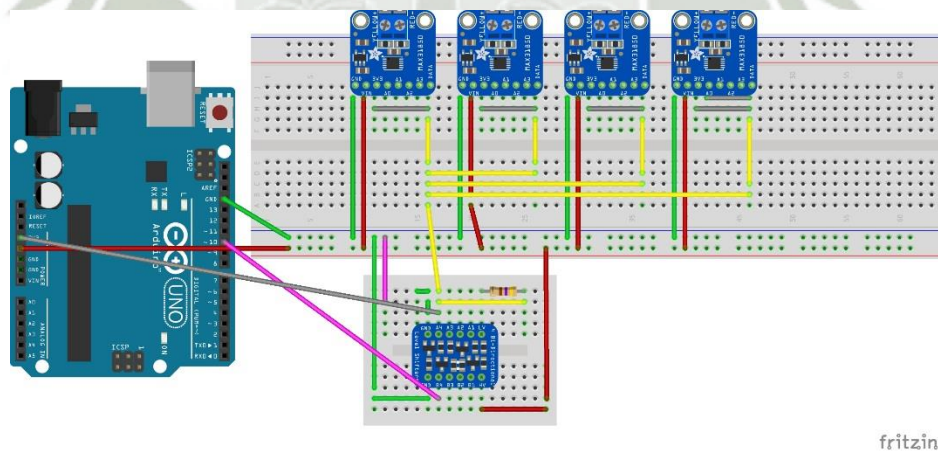


Ilustración 32. Tarjeta Adafruit MAX31850k y elevador de voltaje BSS138, integrados en un circuito con Arduino. Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 33, se puede observar que en los módulos MAX31850k todos los GND van unidos, así como la alimentación de 5VDC. Las conexiones de 3.3VDC, son comunes y se conectan al BSS138 por medio del pin LV. Todos los pines de DATA de los módulos MAX31850k, se conectan al

pin de entrada de la tarjeta BSS138, que en este caso es el A4 (pin elegido para la comunicación de estos 4 módulos).

En el Anexo 01 PLANOS DE CONEXIONES, se puede encontrar el diagrama esquemático y la placa.

La tarjeta BSS138, se conecta a 5VDC y a GND. Recibe la señal por el pin A4 y entrega la señal a Arduino por medio del pin B4. La señal del pin B4 va directamente a la entrada digital de Arduino número 10.

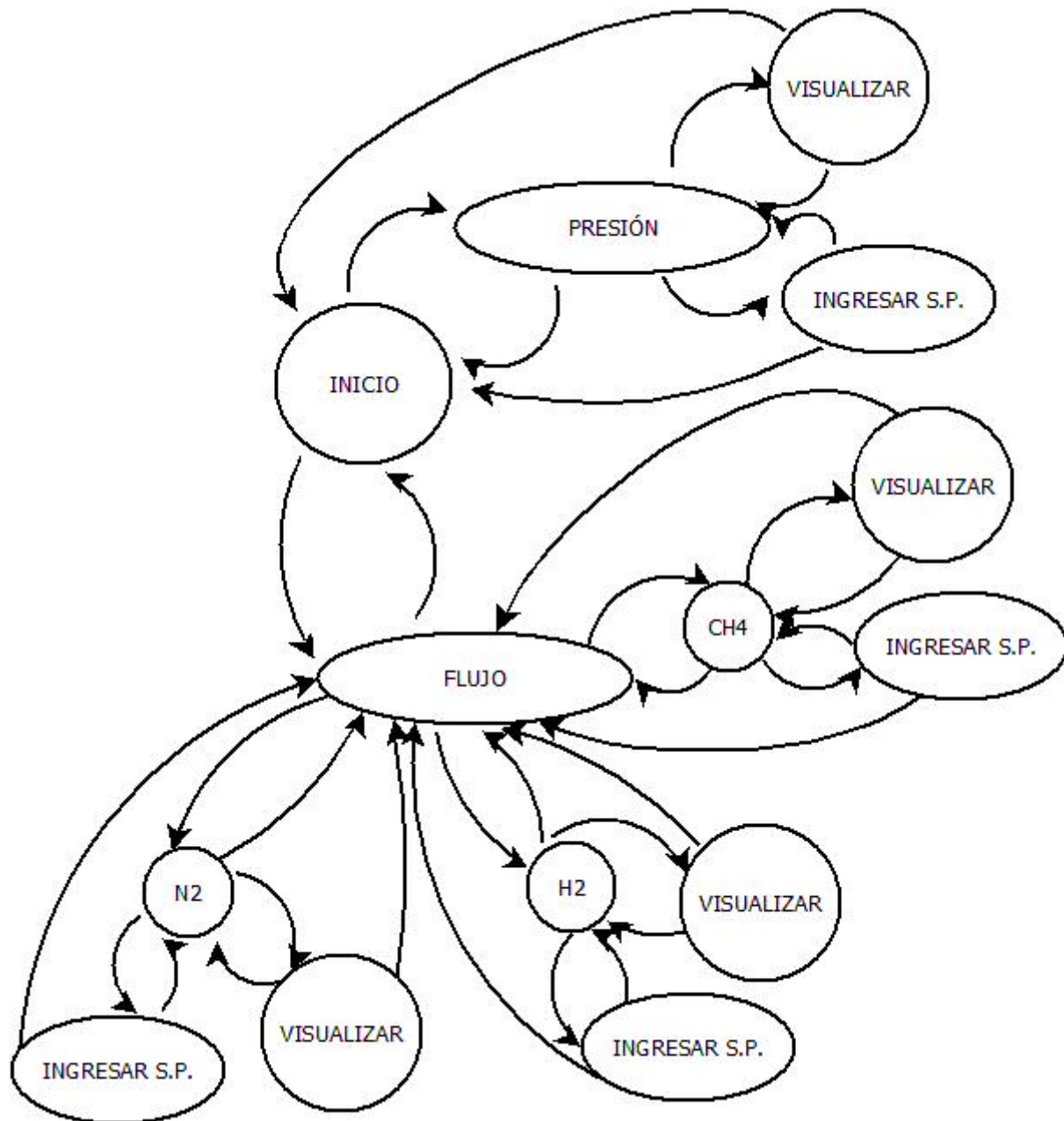
3.2.6.6. Configuración y programación

En el Anexo 05 ALGORITMO PARA LA INTERFAZ DE TERMOCUPLAS, se encuentra el diagrama de flujo del algoritmo para el uso de este sistema.



3.3. **Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz Humano – Máquina.**

3.3.1. **Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz para los controladores ALICAT.**



Esquema 12. *Diagrama de Espacio Estado para la primera interfaz que comunica los dispositivos controladores de flujo y presión. Fuente: Elaboración Propia*

En el *Esquema 12*, se describe el flujo de pantallas de la interfaz. La primera pantalla es Inicio, y se puede elegir si se quiere ver presión o flujo. De acuerdo a ello, cada una de estas opciones puede desencadenar en visualizar los valores o ingresar un nuevo Set Point. En el caso del flujo, se puede

elegir entre los tres gases, y de igual manera, visualizar o ingresar Set Point. En todos los casos, se puede retroceder a la pantalla inicial.

3.3.2. Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz integrada.

Para la interfaz final, se vio la necesidad de utilizar lenguajes como HTML, CSS y Javascript, porque es la manera más efectiva de recibir la data, realizar las gráficas y llenar una base de datos. HTML es el lenguaje que soporta los textos en internet. CSS es el lenguaje que permite darle a estos el formato, color, posición, etc. Javascript es el lenguaje que permite accionar las páginas, es decir, darle movimiento a los elementos, configurar botones para realizar determinada acción, etc.




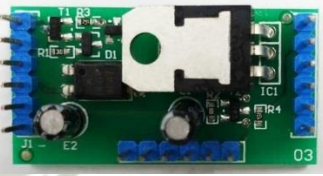
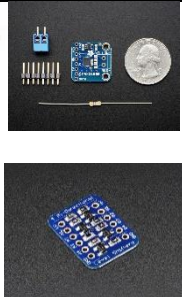

Para comunicar la interfaz con los controladores, se utiliza una librería de Javascript: node.js. Node.js es un paquete que permite conectar diversos elementos a internet, directamente.


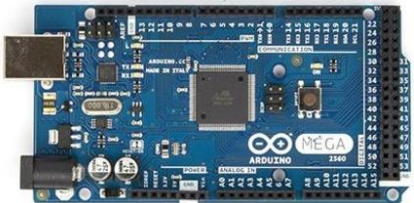







Capítulo IV RESULTADOS

3.4. Lista de elementos seleccionados

Tabla 22. *Lista de elementos seleccionados*

Cantidad	Descripción	Imagen
08	Termocupla tipo k Nang Yang Xin Yu Furnaces Co.	
08	Extensiones de termocupla Nang Yang Xin Yu Furnaces Co.	
01	Controlador Yudian AI 707P	
01	Módulo Yudian COM S4	
04	Tarjeta tipo MAX31850k + BSS138 Adafruit	
02	Arduino Mega Core	

01	Arduino Nano	
	Arduino Mega	
01	Controlador ALICAT de presión.	
01	Convertidor UART a TTL (Sparkfun)	
03	Controlador ALICAT de flujo másico	
01	Adaptador Kippah para pantalla TFT	
01	Pantalla TFT táctil 7"	
01	Raspberry Pi 3B+	

En la *Tabla 25*, se seleccionaron los elementos en base a su relación de costo/ calidad. Principalmente, el reactor y los controladores de flujo y presión fueron importados de China y Estados Unidos, respectivamente. En el caso del proveedor de China, se utilizó este envío para traer también las termocuplas auxiliares, los controladores de temperatura, así como los demás accesorios necesarios para la utilización de este reactor.

En el caso de la electrónica de control, se optó en todos los casos por productos académicos, de bajo costo y código libre.

3.5. Integración de los protocolos de comunicación

Todos los planos de la parte de hardware se encuentran en el Anexo 06. Todos los planos de la parte eléctrica y electrónica se encuentran en el Anexo 01.

3.5.1. Sistema de control de flujo másico y de presión

3.5.1.1. Construcción física de una red ALICAT.

Para la construcción física de un red ALICAT, se procedió primero con la construcción de las placas de comunicación. En ellas, mediante un Arduino y el conversor de RS -232 a TTL, se envió la señal proveniente del controlador ALICAT. (*Ilustración 33*).

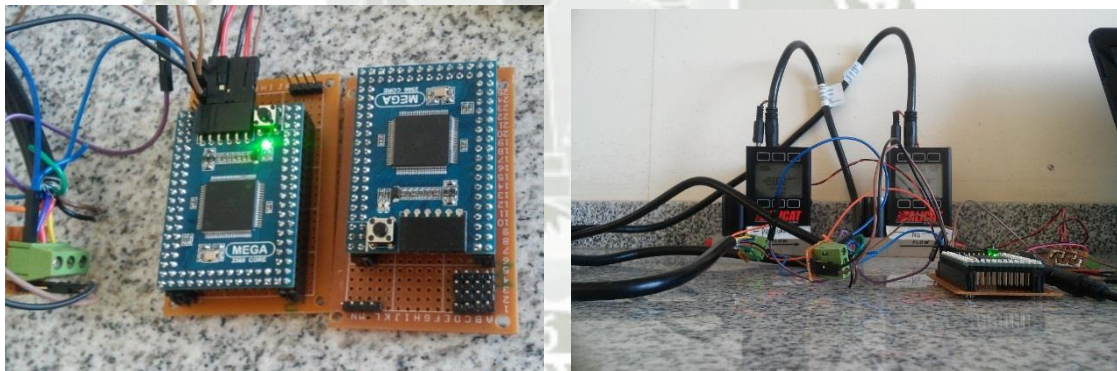


Ilustración 33: *Construcción física de una red ALICAT. Fuente: Elaboración Propia*

Una vez conectados los Arduino con los controladores, se conectó el gas. En este caso, nitrógeno. El Set Point dispuesto fue de 0.5 NLPM. En la *Ilustración 35*, se puede observar cómo el controlador regula este flujo hacia el Set Point.



Ilustración 34. *Prueba fotográfica de regulación de gas en controlador ALICAT. Fuente: Elaboración Propia*

Para la construcción de la red física ALICAT, fue necesario implementar un sistema de interruptores magnéticos que enciendan en orden sucesivo los equipos con el fin de definirle a cada uno un ID distinto. Este sistema se puede observar en la *Ilustración 36*.



Ilustración 35. *Placas de interruptores magnéticos. Fuente: Elaboración Propia*

La *Ilustración 37*, muestra la placa finalizada de control de los dispositivos ALICAT.

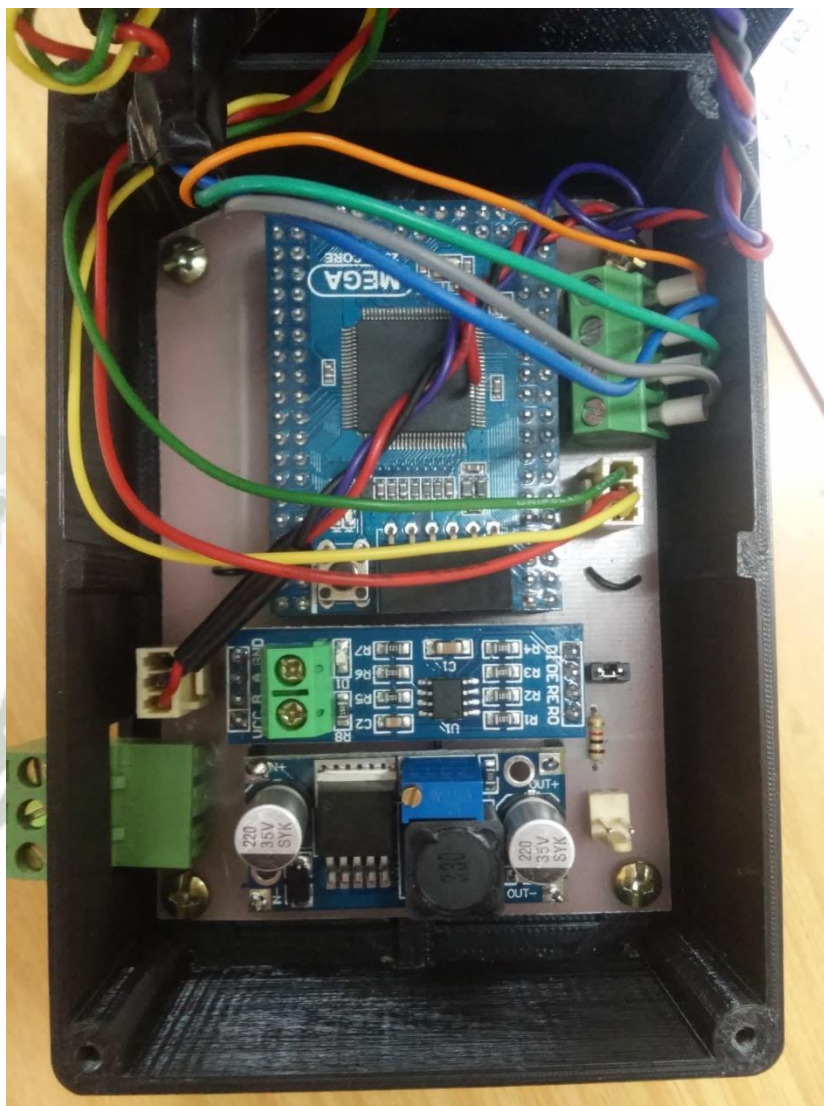


Ilustración 36. Placa de control para los dispositivos de la marca ALICAT. Fuente: Elaboración Propia

3.5.1.2. Software para los controladores de flujo y presión

En las tres imágenes de la *Ilustración 38*, se puede observar el funcionamiento del software de visualización y configuración de datos, diseñado para los controladores de flujo másico y presión de la marca ALICAT. En él se puede escoger si se desea trabajar con presión o con flujo; o si se desea visualizar los datos del controlador o si se desea configurarlo



Ilustración 37. Prueba fotográfica del funcionamiento del software para los controladores de flujo y presión ALICAT. Fuente: *Elaboración Propia*

3.5.1.3. Comunicación del Software con los controladores de flujo y presión

En la *Ilustración 39* se ha conectado el controlador de flujo másico al tubo de hidrógeno. El otro extremo del controlador de flujo se ha dejado libre, y se ajusta arbitrariamente, para comprobar la regulación del flujo, y que éste valor se muestre en la pantalla. Como se puede observar el valor de ambas pantallas no coincide, pues es difícil enfocarlas al mismo tiempo. Sin embargo la variación que tienen es mínima.

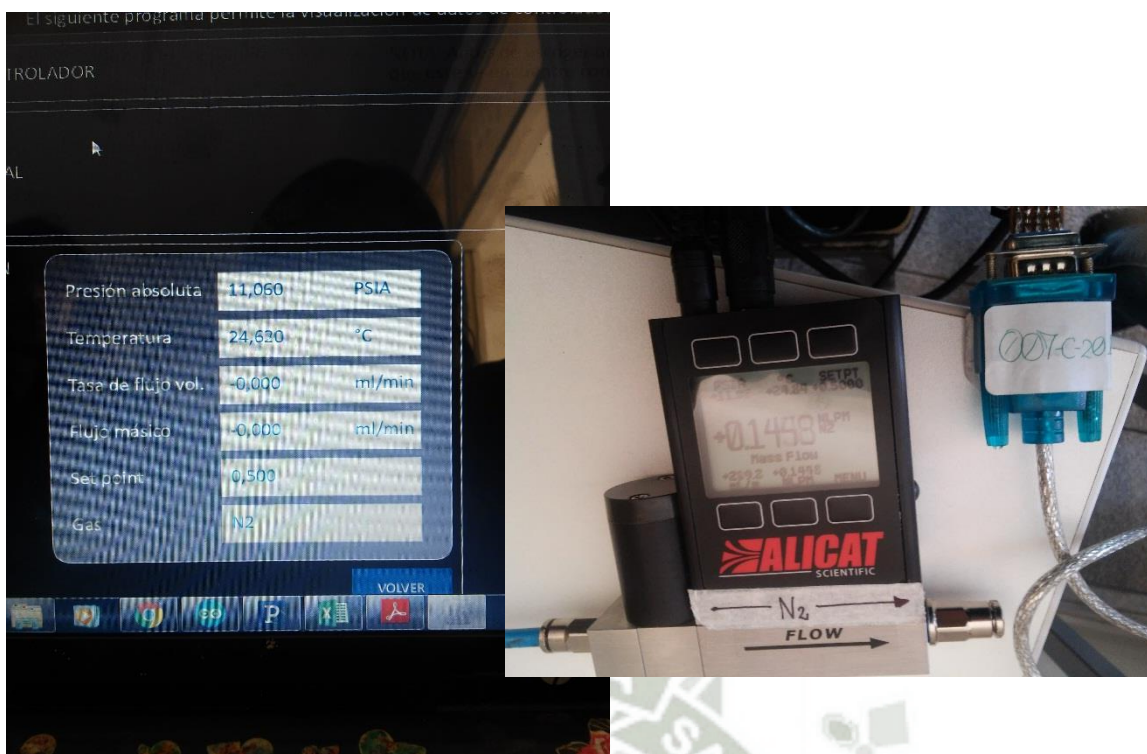
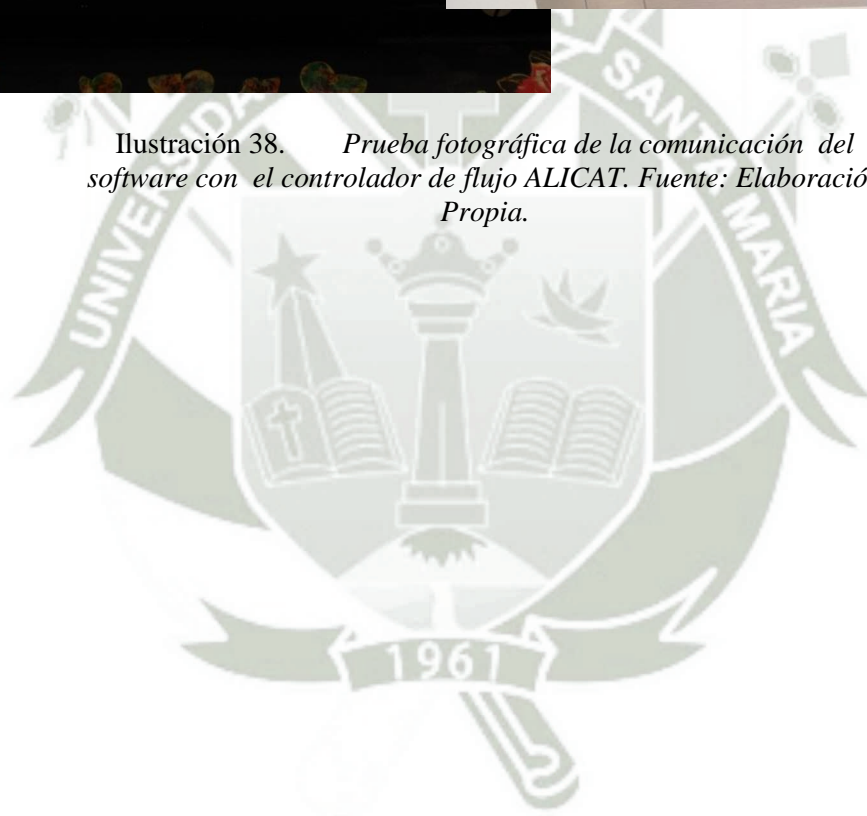


Ilustración 38. Prueba fotográfica de la comunicación del software con el controlador de flujo ALICAT. Fuente: Elaboración Propia.



3.5.2. Sistema de adquisición de temperatura del horno

3.5.2.1. Sistema de termocuplas auxiliares.

3.5.2.1.1. Primeras pruebas.

Las primeras pruebas del sistema de termocuplas auxiliares se realizaron en una placa porosa, mediante un Arduino comunicado con Raspberry Pi. Se puede observar en la *Ilustración 40* las conexiones mencionadas, y cómo las cuatro termocuplas están midiendo la temperatura ambiente.

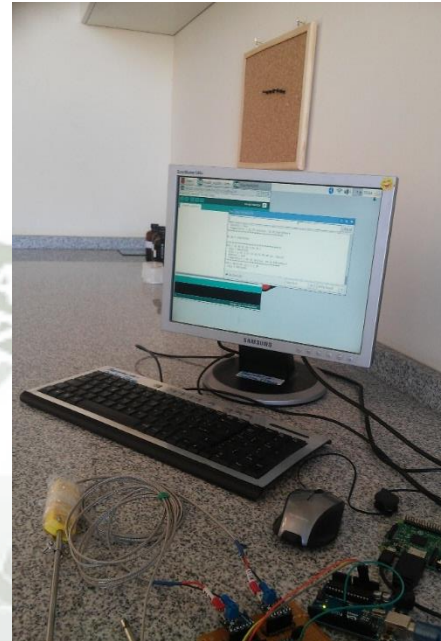
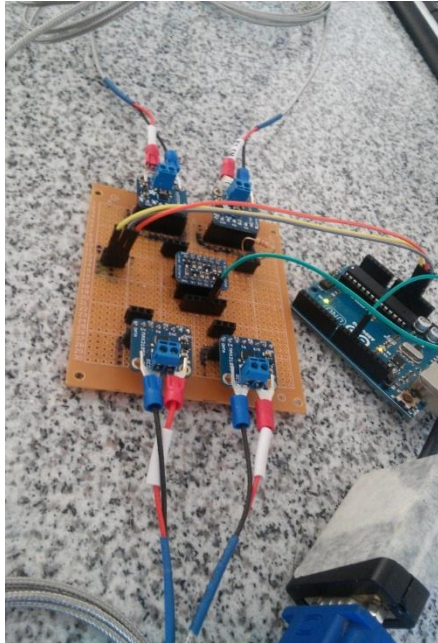


Ilustración 39. *Composición de fotografías de la tarjeta del sistema de termocuplas, conectando a Arduino y Raspberry Pi. Fuente: Elaboración Propia*

En la *Ilustración 41* se puede observar la pantalla donde se lee la data de las cuatro termocuplas. Se indica además la dirección de cada una de ellas, y la temperatura tanto en Celsius como en Fahrenheit.

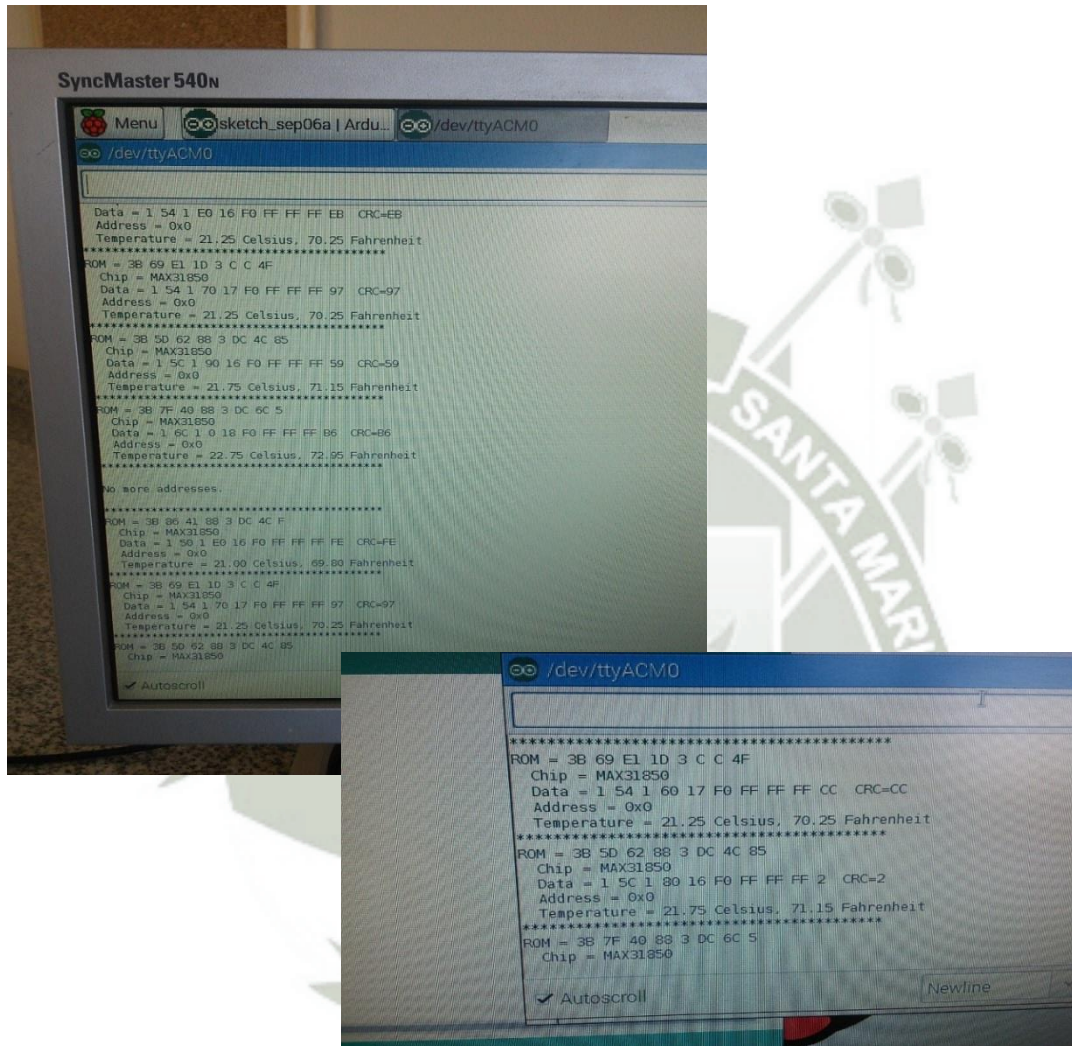


Ilustración 40. *Composición de fotografías de la data que se muestra en pantalla a partir del sistema de termocuplas. Fuente: Elaboración Propia.*

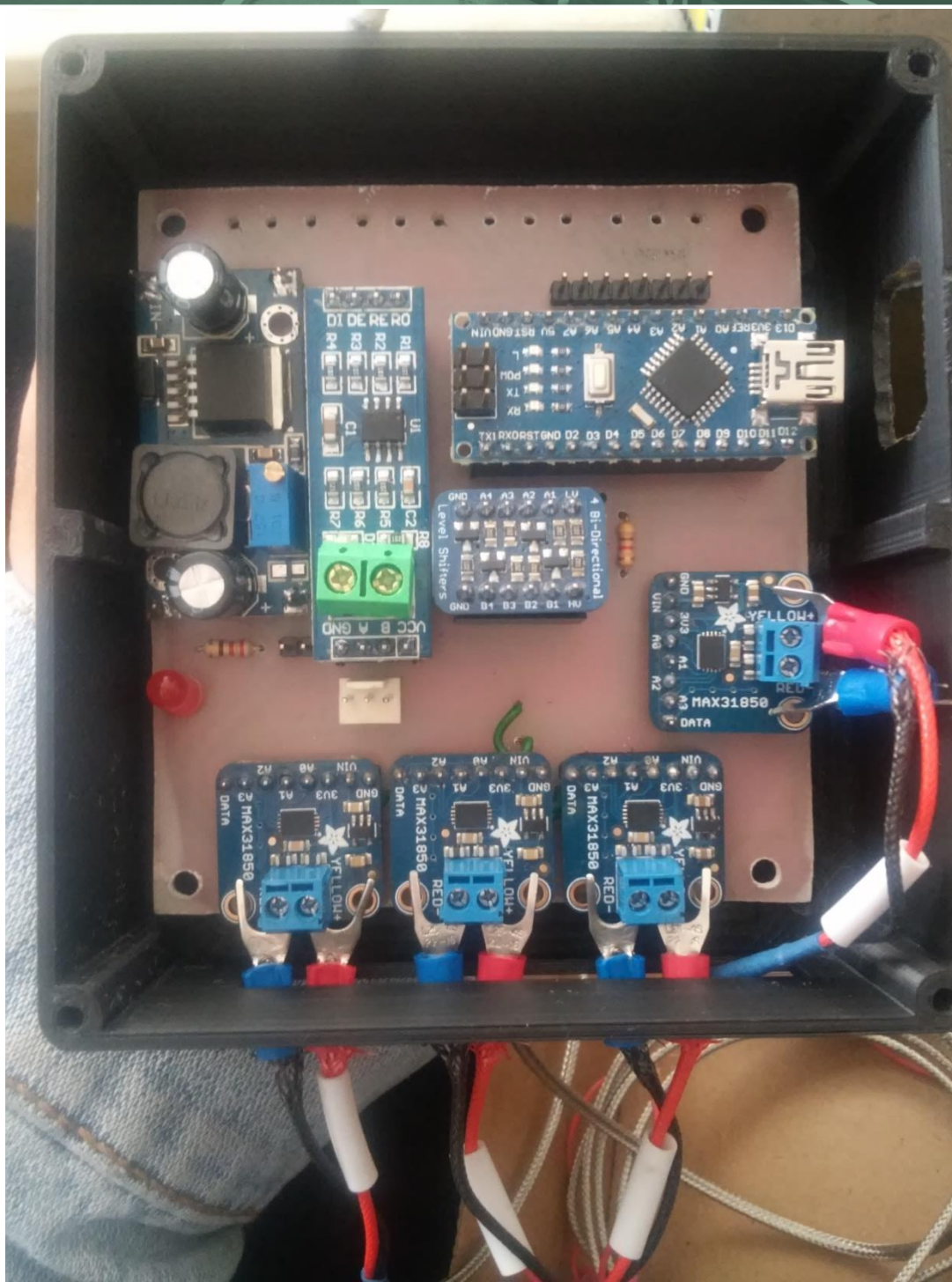


Ilustración 41. Placa de control para la recepción de la data de las 04 termocuplas del sistema. Fuente: Elaboración Propia.

La Ilustración 42 muestra la placa terminada de control para la recepción de las 04 termocuplas del sistema.

3.5.2.1.2. Prueba en el reactor hasta 900°C

En el reactor se realizó una prueba, llevando la temperatura hasta 900°C, con rampas en 600°C y 700°C. Una vez alcanzados los 900°C, la temperatura fue controlada para disminuir hasta 250°C, y proceder a apagar el reactor.

En este proceso, se ingresó gas nitrógeno (*Ilustración 43*) durante 15 minutos en cada rampa. El ingreso de gas fue controlado por un controlador de flujo másico ALICAT (*Ilustración 44*). Se registró la temperatura desde antes de encender el reactor.



Ilustración 42. *Uso de gas nitrógeno en la prueba. Fuente: Elaboración Propia.*



Ilustración 43. *Controlador ALICAT conectado al reactor y a alimentación eléctrica. Fuente: Elaboración Propia.*

En la *Ilustración 45* se observa el reactor programado para las rampas de temperatura en 600°C, 700°C y 900°C, llegando primero a 600°C.



Ilustración 44. *Horno reactor tubular de tres zonas , llegando a la primera rampa de 600°C. Fuente: Elaboración Propia.*

En la *Ilustración 46* se observa el gas nitrógeno conectado al controlador de flujo másico.



Ilustración 45. *Gas nitrógeno conectado al controlado de flujo másico ALICAT. Fuente: Elaboración Propia.*

En la *Ilustración 47*, se observa en controlador de flujo másico ALICAT con un Set Point programado para 0.5 NLPM.



Ilustración 46. Controlador ALICAT para gas nitrógeno programado en 0.5 NLPM. Fuente: Elaboración Propia.

En la *Ilustración 48* se observa el sistema de termocuplas auxiliares conectado a la PC, desde donde se puede leer los datos obtenidos por la termocupla dentro del tubo de cuarzo. Así, también se observa a la derecha, que la termocupla está acoplada a la brida, que también recibe la conexión del gas.

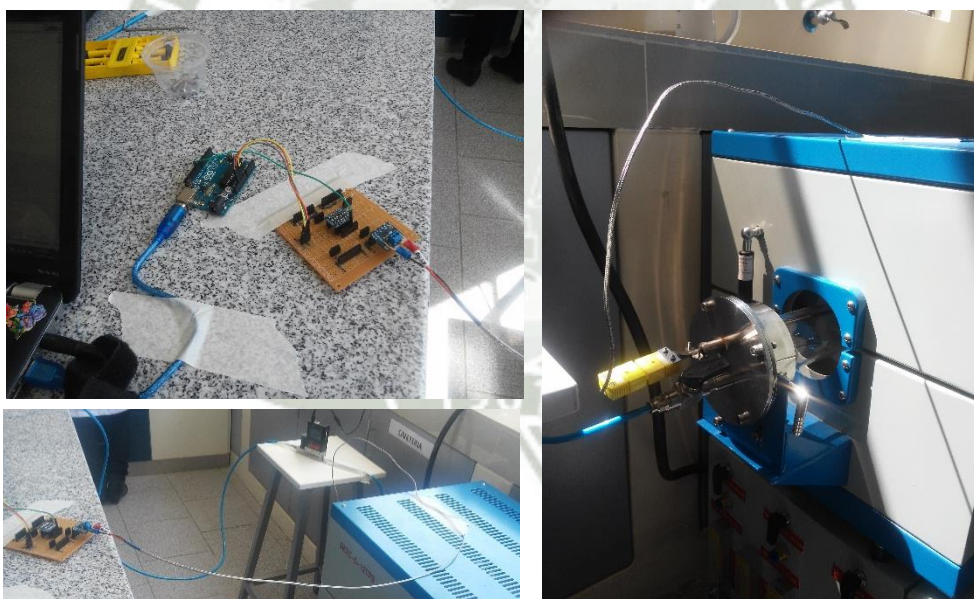


Ilustración 47. Composición Fotográfica. Al lado izquierdo, en la imagen superior se observa el sistema de termocuplas. En la parte inferior se observan las conexiones hechas desde el sistema hacia el reactor. En el lado derecho se observa la termocuplas conectada a la brida del tubo en el reactor. Fuente: Elaboración Propia.

El sistema de termocuplas auxiliares registra la temperatura desde la inicial (temperatura ambiente) hasta que esta desciende nuevamente a la inicial, pasando por las rampas de 600, 700 y 900°C. En la *Ilustración 49*, se observa el registro en la pantalla. En la *Ilustración 50*, se observa la gráfica que genera el sistema de termocuplas auxiliares a partir de los datos de temperatura recolectados en 16169 ms.

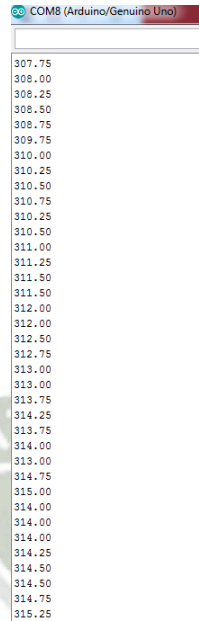


Ilustración 48. *Registro de temperatura en el monitor serial de Arduino. Fuente: Elaboración Propia.*

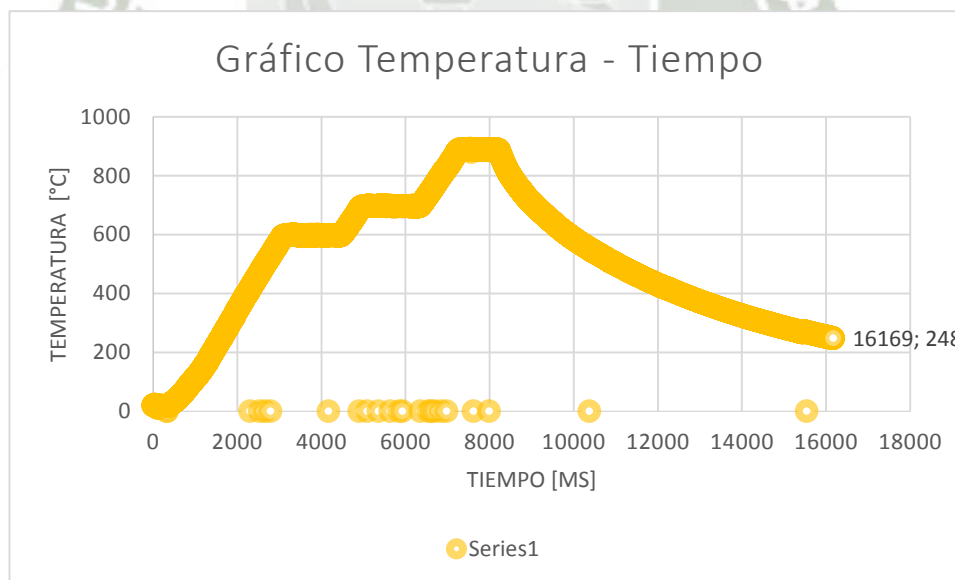


Ilustración 49. *Gráfico Temperatura – Tiempo, registrado mediante el sistema de termocuplas auxiliares en el período de 1619 ms, partiendo en 0°C, haciendo rampas de calentamiento en 600°C, 700°C y 900°C, descendiendo hasta 248°C, que es una temperatura adecuada para apagar el reactor. Fuente: Elaboración propia.*

3.5.2.2. Sistema de comunicación para el segundo controlador de temperatura (Zona 2)

Para el controlador de temperatura, se construyó un circuito y a partir del protocolo proporcionado por el fabricante, se logró comunicar la PC con el controlador.

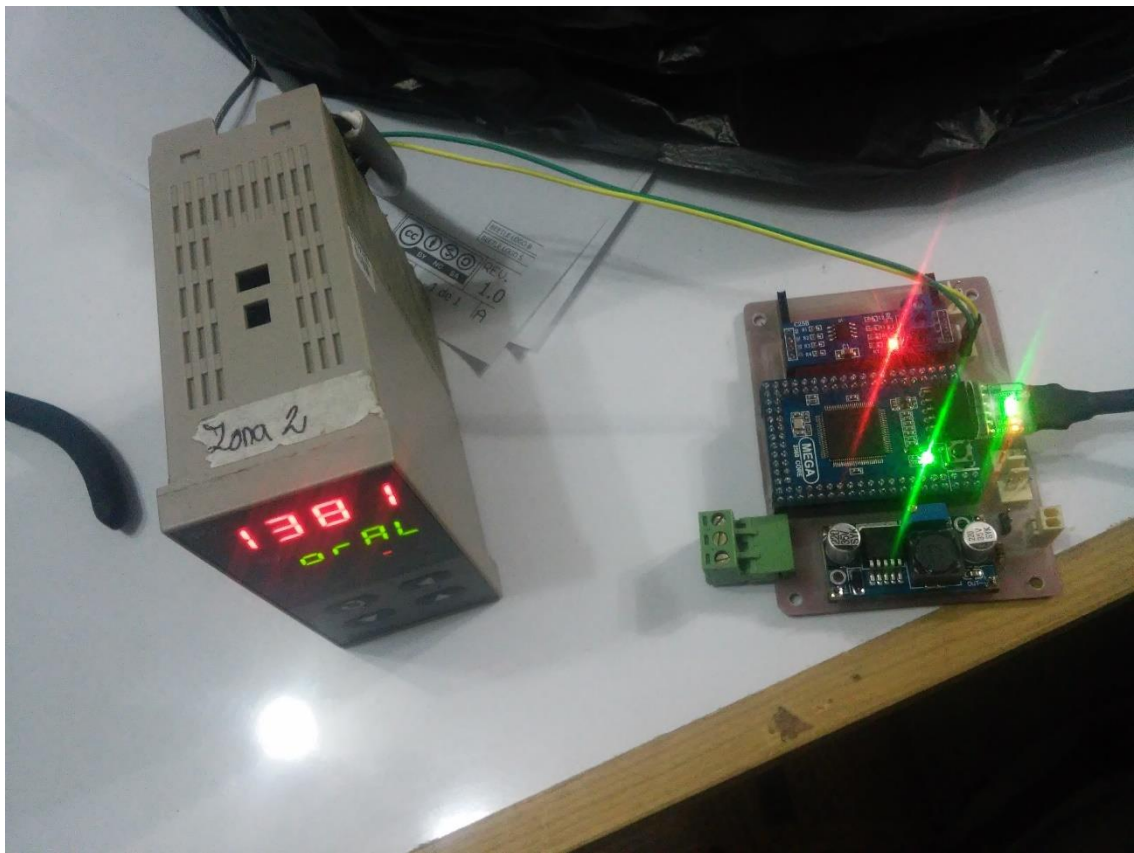


Ilustración 50. Segundo controlador de temperatura comunicado a una PC, donde envía y recibe datos. Fuente: Elaboración Propia

La *Ilustración 52*, muestra la placa terminada de comunicación del segundo controlador de temperatura.

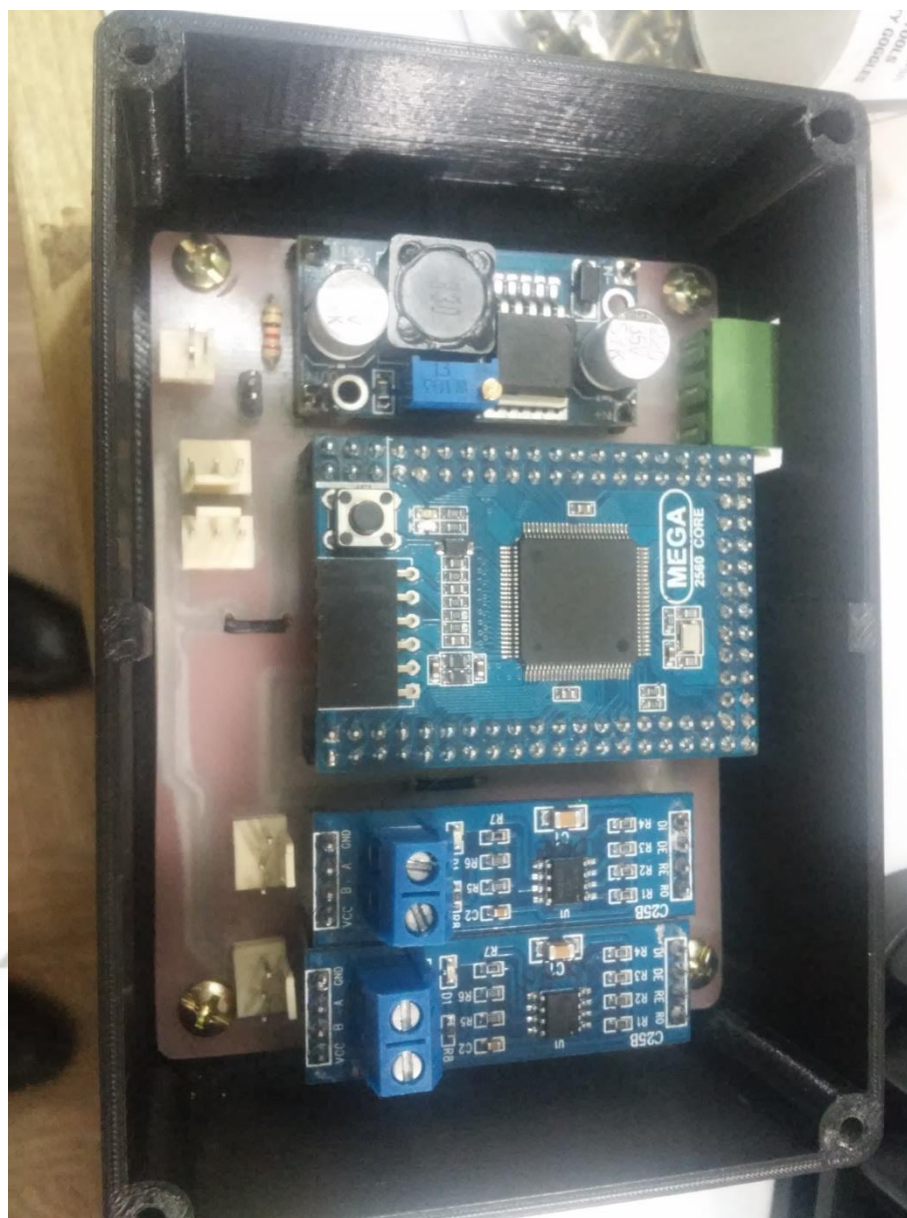


Ilustración 51. Placa de control para el segundo controlador de temperatura. Fuente: Elaboración Propia.

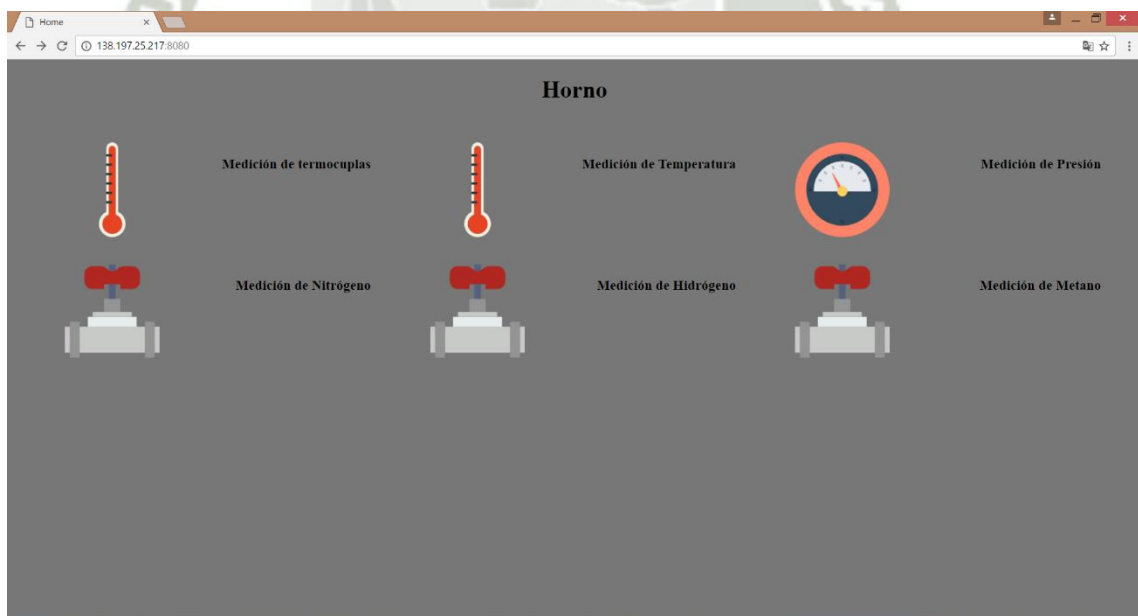
3.6. Diseño e implementación de las pantallas de la interfaz Humano – Máquina.

3.6.1. Lenguajes de soporte

Para la interfaz final (*Esquema 13*), se vio la necesidad de utilizar lenguajes como HTML, CSS y Javascript, porque es la manera más efectiva de recibir la data, realizar las gráficas y llenar una base de datos.

HTML es el lenguaje que soporta los textos en internet. CSS es el lenguaje que permite darle a estos el formato, color, posición, etc. Javascript es el lenguaje que permite accionar las páginas, es decir, darle movimiento a los elementos, configurar botones para realizar determinada acción, etc. Para comunicar la interfaz con los controladores, se utiliza una librería de Javascript: node.js. Node.js es un paquete que permite conectar diversos elementos a internet, directamente.

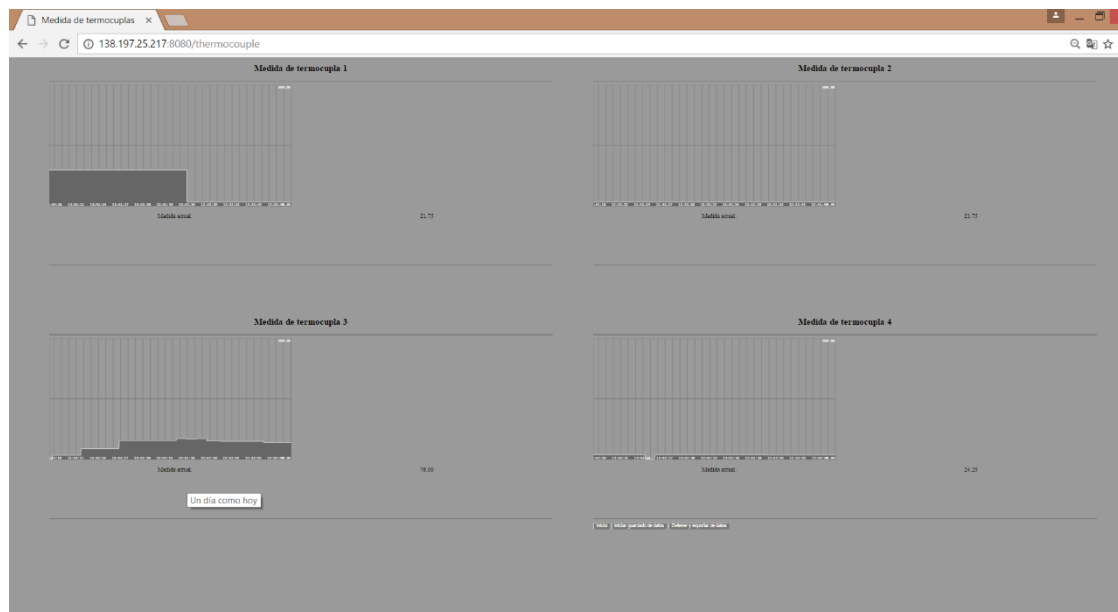
En el Esquema 13 se observa la interfaz diseñada para integrar todos los sistemas. Fue construida en base a lenguajes como CSS, HTML y JavaScript. Se puede ejecutar en cualquier explorador de internet y por tanto se adapta a cualquier pantalla que tenga acceso a internet.



Esquema 13. *Página inicial de la Interfaz del Usuario. Fuente: Elaboración Propia*

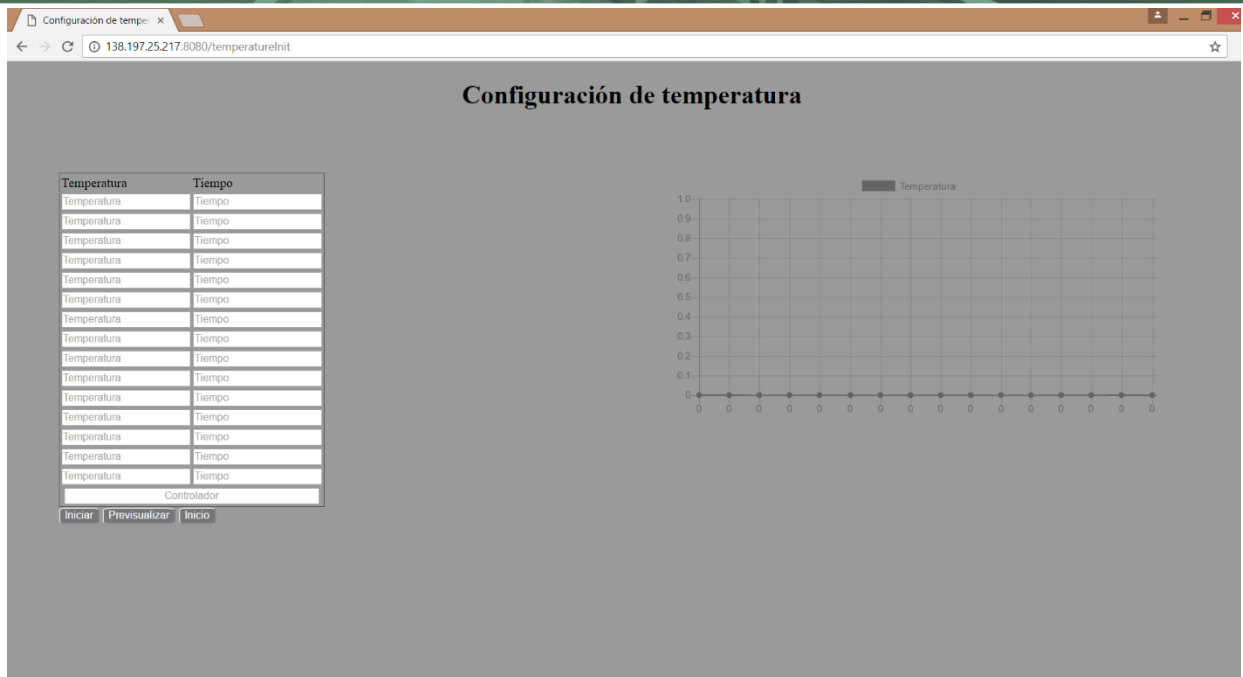
Como se observa en el *Esquema 13*, a través de la página inicial se puede acceder a la visualización de la Medición de las termocuplas, al segundo controlador de temperatura, a la presión y los flujos: Nitrógeno, Hidrógeno y Metano.

Para registrar datos es importante hacer presionar en el botón **“Iniciar guardado de datos”**. Para visualizar las termocuplas, se ingresa a **“Medición de termocuplas”** y se pueden ver las medidas de las 4 termocuplas, como se observa en el Esquema 14. En el eje X, se observa la variable del tiempo. En el eje Y, se registra la temperatura en °C. El valor que aparece a la derecha de **“Medida Actual”**, es la temperatura en tiempo real.



Esquema 14. *Visualización de las termocuplas. Fuente: Elaboración Propia.*

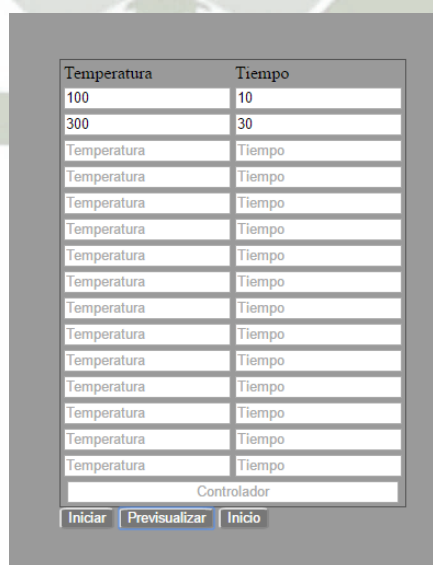
Como se observa en el Esquema 15, la ventana de Configuración de temperatura, permite ingresar la rampa de calentamiento deseada.



Esquema 15. *Página de configuración de temperatura. Fuente: Elaboración Propia.*

Para ingresar la rampa de calentamiento, se sigue este procedimiento:

- 1° Ingresar la primera temperatura a ser alcanzada en el tiempo.
- 2° Ingresar el tiempo en que esta temperatura debe ser alcanzada.
- 3° Ingresar la siguiente temperatura a ser alcanzada. En caso se requiera mantener una temperatura constante, la segunda temperatura debe ser igual a la primera.
- 4° Para mantener una rampa, se debe ingresar el tiempo en el que la temperatura indicada debe ser constante, sumado al tiempo del primer cambio de temperatura. Por ejemplo, si en el paso 1°, la temperatura a ser alcanzada era de 100°C, y en el paso 2° se ingresó 10 minutos, y la rampa a mantener constante en este caso es de 300°C durante media hora, el tiempo que se ingresa en el cuarto casillero no es de 30 minutos, sino de 40. Este ejemplo se puede observar a continuación.

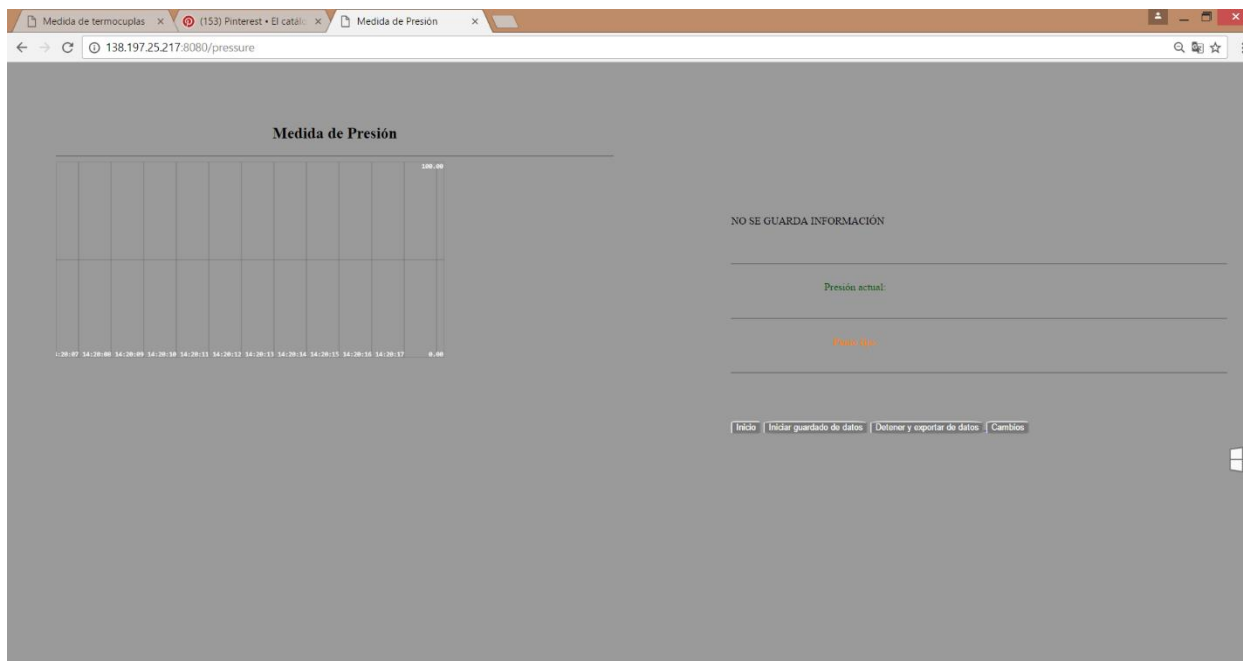


Esquema 16. *Tabla de configuración de rampa. Fuente: Elaboración Propia*

El botón **“Previsualizar”** permite esbozar la forma en que se hará la curva configurada. Las unidades de configuración del sistema de temperatura, son como siguen:

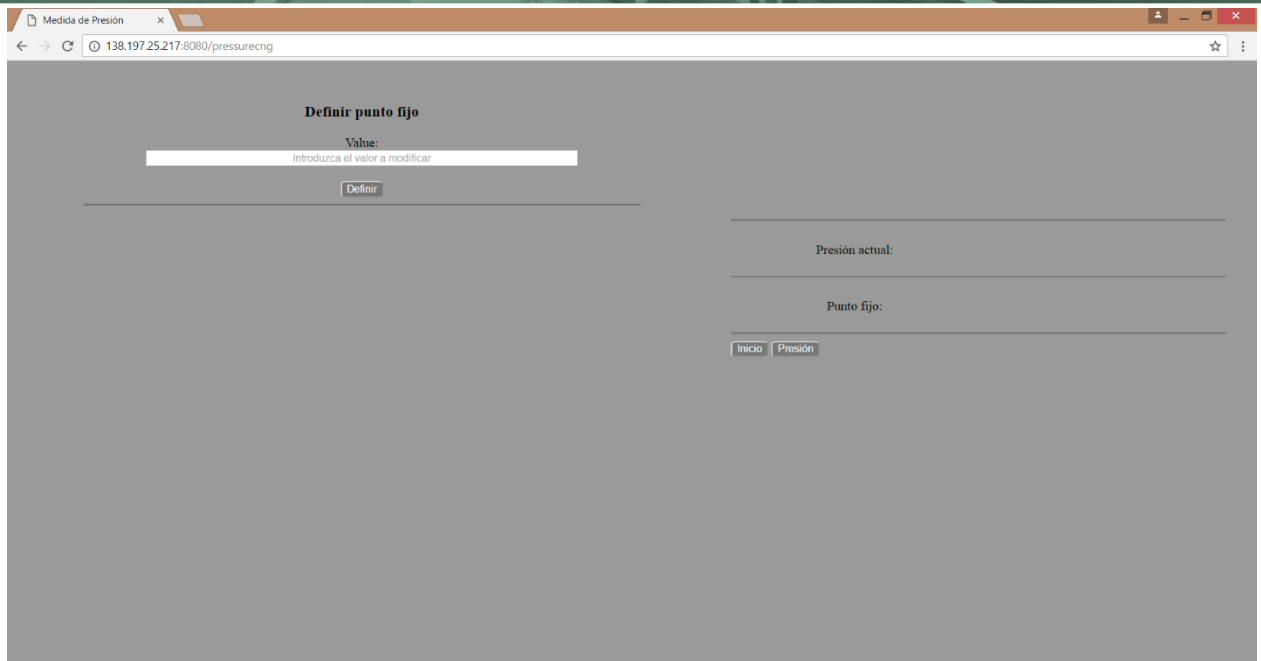
Temperatura	°C
Tiempo	Minutos

Para el caso de los controladores: Nitrógeno, Metano, Hidrógeno y Presión; se ingresa al ícono, y se puede visualizar, tanto como datos como en gráficos.



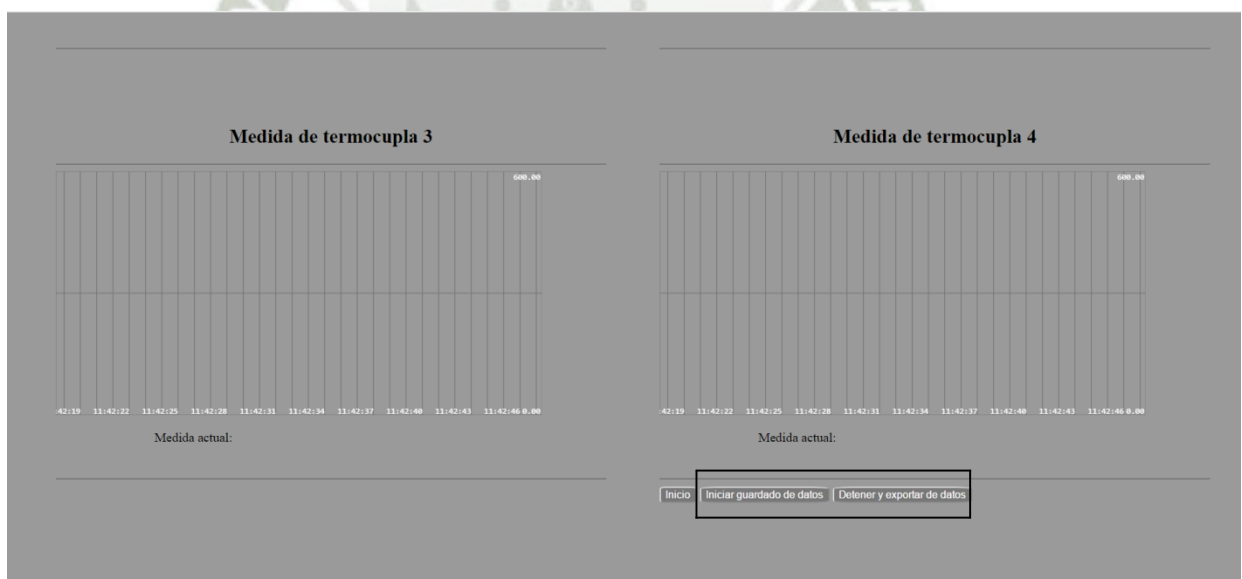
Esquema 17. *Visualización del controlador de presión. Fuente: Elaboración Propia*

Para cambiar el Set Point, se presiona el botón **“Cambios”** que permite ingresar un nuevo valor en el Set Point. Una vez ingresado el valor, se debe presionar **“Definir”**.



Esquema 18. *Cambiar los valores de los controladores. Fuente: Elaboración Propia.*

Para iniciar un registro de datos, es imprescindible seleccionar el botón de “Iniciar guardado de datos”, y una vez se haya concluido, presionar el botón de “Detener y exportar datos”, pues esta es la única forma de descargar la base de datos. Estos botones se pueden observar en el Esquema 5.



Esquema 19. *Iniciar / Detener guardado de datos. Fuente: Elaboración Propia.*

Como se puede observar en el Esquema 5, los botones para Iniciar y Detener el guardado de datos, están al final de la página.

El botón “Inicio”, en todos los casos sirve para regresar a la página inicial.

Capítulo V CONCLUSIONES

La selección del hardware se hizo priorizando el bajo costo y la máxima eficiencia. De esta manera, se utilizaron componentes electrónicos de uso académico y de código abierto. Así es como se logró innovar en el campo de la electrónica industrial, entregando una propuesta funcional que deja a un lado el uso del clásico PLC, y lo reemplaza por elementos que sólo constituyen un pequeño porcentaje del costo de un sistema de control tradicional, y que cumplen la misma función.

La integración de los protocolos de comunicación se logró a través de del lenguaje propio de cada elemento, teniendo en cuenta el comando de cada acción y la estructura de la data de respuesta. Se creó un protocolo que integre estas normas en una sola, y sea capaz de utilizar un mismo lenguaje. De esta manera, se demostró que dispositivos electrónicos con fines académicos, como Arduino y Raspberry Pi pueden ser utilizados de manera eficiente para realizar tareas de comunicación industrial.

El diseño de la interfaz humano máquina requirió un estudio detallado del usuario para hacerlo adecuado a sus necesidades. Mediante el uso de código abierto, se demostró que también es posible diseñar e implementar software de bajo costo y alta eficiencia, además de hacerlo fácilmente adaptable a las necesidades que se presentan. Se utilizó en un principio Processing, pero luego se migró a un soporte más accesible como HTML, CSS y JavaScript, que permitieron realizar con facilidad la tarea de gráficos en tiempo real y base de datos. De esta manera, se logró implementar un sistema tipo SCADA remoto.

Capítulo VI RECOMENDACIONES

Se recomienda seleccionar el hardware de acuerdo a la posibilidad que tenga éste de ser comunicado con el instrumento deseado. Se ha de revisar la velocidad de transmisión de datos del instrumento y compararla con la velocidad de procesamiento del microcontrolador.

En el caso de que se desee realizar un trabajo análogo en corto plazo, se recomienda trabajar con controladores industriales, pues tienen protocolos estándar, que se pueden programar más rápido. En este caso se eligió trabajar con controladores académicos de bajo costo, y esto significó la inversión de tiempo para la programación y estudio de nuevos lenguajes que se utilizaron, sobre todo en la sección del diseño de la interfaz.

Se recomienda no modificar el hardware de control instalado en este sistema, a menos que se haya estudiado a profundidad el presente trabajo.

Para el registro de la información, se recomienda estar conectado a internet, pues aunque es cierto que de no haber conexión la CPU registrará la información en el disco duro, registrar la data en el servidor hace que la seguridad de esta información sea muy alta, reduciendo casi a cero el riesgo de perderla.

Durante el uso del sistema, se recomienda no modificar otro parámetro que no sea el Set Point, pues la configuración inicial es la ideal para el funcionamiento óptimo del sistema.

Para fines de comunicación de equipos, se recomienda no trabajar con instrumentos de procedencia china, pues no cuentan con la documentación y soporte necesario para entregar la información suficiente para crear un protocolo de comunicación, o al menos poder comunicar efectivamente el equipo.

Capítulo VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Á. F. B. Herrera, Artist, *Ensamble de campana*. [Art]. Universidad Católica de Santa María, 2016.
- [2] F. Guerra Ruiz, Diseño de un sistema de control domótico y video vigilancia supervisado por un teléfono móvil, Perú - Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.
- [3] G. C. Llontop Díaz, Propuesta de diseño para implementación de un servidor VOIP con Asterisk y Raspberry Pi en una oficina de Villa El Salvador, Perú - Lima: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 2015.
- [4] R. A. Gutiérrez Tejada, Diseño de una red inalámbrica de sensores con aplicación en el desarrollo de agricultura de precisión utilizando energía renovable en la región Arequipa, Perú - Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2015.
- [5] Jimenez, Síntesis, activación química y aplicaciones de nanoestructuras de carbono, España: Cotillas, 2011.
- [6] S. Zhan, Y. Tian, Y. Cui, H. Wu, Y. Wang y S. Ye, «Effect of process conditions on synthesis of carbon nanotubes by catalytic decomposition of methane,» *China Patricuol*, vol. 5, nº 3, pp. 213 - 219, 2007.
- [7] B. RTK, «Catalytic growth of carbon filaments,» *Carbon*, vol. 58, nº 2 - 39, pp. 315 - 323, 1989.
- [8] J.H. Park, Argonne National Laboratory; W.D. Cho, University of Utah, Chemical Vapor Deposition, Ohio, United States: ASM, 2001.
- [9] C. See y A. Harris, «A review of carbon nanotubes synthesis via fluidized - Bed Chemical Vapor Deposition,» *Industrial Engineering Chemistry*, vol. 4, nº 46, pp. 996 - 1012, 2007.
- [10] Henrik Pedersen and Simon D. Elliott, «liu.diva-portal.org,» 2014. [En línea]. Available: <http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:714031/FULLTEXT01.pdf>. [Último acceso: 06 Julio 2016].
- [11] J. Tornow, «Chemical Vapor Deposition,» Berlin, 2013.
- [12] M. Escobar, «nanotubo,» nanotubo. ar, 2010. [En línea]. Available: <http://www.nanotubo.com.ar/nanotubos-de-carbono.php>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [13] N. La Torre, T. Ubieto, E. Rubeo, J. Villacampa y B. Sánchez, «Materiales nanocarbonosos: nanotubos y nanofibras de carbono: Aspectos básicos y métodos de producción,» *Ingeniería Química*, vol. 417, pp. 200 - 208, 2007.
- [14] D. D. Chung, Carbon Fiber Composites, Massachusetts: Butterworth-Heinemann, 1994.
- [15] «Carbon Fibers Manufacturing,» *Research Gate*, vol. 01, pp. 1 - 6, 2014.
- [16] C. L. Uribe, «MetalActual,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.metalactual.com/revista/11/materialescarbono.pdf>.
- [17] UNAM, [En línea]. Available: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/SampereLJC/segunda.pdf>.
- [18] Raghavendra R. Hegde, Atul Dahiya, M. G. Kamath, «The University of Tennessee - Knoxville,» The University of Tennessee - Knoxville, Abril 2004. [En línea]. Available: <http://www.engr.utk.edu/~mse/Textiles/CARBON%20FIBERS.htm>. [Último acceso: 07 Julio 2016].

- [19] T. Roberts, «The Carbon Fibers Industry: Global Strategic Market Evaluation,» *Materials Technology Publications*, vol. I, pp. 10, 93 -177, 237, 2006.
- [20] C. Red, «Aerospace will continue to lead advanced composites market in 2006,» *Composites Manuf.*, vol. I, nº 7, pp. 24-33, 2006.
- [21] G. Gunther y B. Weiss, *Introduction to microcontrollers*, United States of America: Vienna University of Technology, 2007.
- [22] NationalInstruments, «ni,» National Instruments, 2016. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [23] Measuring Computing Corporation, *DATA ACQUISITION handbook*, United States of America: Measuring Computing Corporation, 2012.
- [24] E. Palacios, *Microcontrolador PICF16F84*, España - Madrid: ALFAOMEGA, 2004.
- [25] D. M. Y. S. N. Teh, «Circuitos electrónicos para propósito de control y monitoreo de temperatura vía PC,» Universidad Veracruzana, 2007.
- [26] E. M. Di Paolo, *Data Acquisition Systems*, United States of America: Springer, 2013.
- [27] E. Ruiz Lizama, J. Inche Mitma, A. Chung Pinzás y R. Tello Yuen, *Diseño e implementación de un prototipo automatizado para el procesamiento de pastas y líquidos*, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2007.
- [28] A. Daneels y W. Salter, «What is SCADA?,» de *International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems*, Italia - Trieste, 1999.
- [29] D. Aguirre Zapata, *Desarrollo de un sistema SCADA para uso en pequeñas y medianas empresas*, Perú - Piura: Universidad de Piura, 2013.
- [30] C. de Castro Lozano y C. Romero Morales, «UCO,» 11 Diciembre 2012. [En línea]. Available: <http://www.uco.es/investiga/grupos/eatco/automatica/ihm/descargar/scada.pdf>. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [31] R. S. Chacón Morales, *Core.ac*, El Salvador: Universidad de El Salvador, 2012.
- [32] F. G. Ramirez Neyra, «Sistema de adquisición de datos de sensores analógicos y digitales,» IPN, Mexico D.F., 2009.
- [33] E. Horna von Heren, *DISEÑO DEL ENLACE DE COMUNICACIONES*, Perú - Lima: PUCP/ tesis, 2006.
- [34] V. Guerrero, R. L. Yuste y L. Martínez, *Comunicaciones Industriales*, México: Marcombo, 2009.
- [35] R. Zurawski, *The Industrial Communication Technology Handbook*, United States of America: CRC Press, 2005.
- [36] J. Gamiz, *Control de sistemas de aire acondicionado*, España: CEAC, 2000.
- [37] E. A. Díaz Lara y C. G. Salas Pirela, *Es un conjunto de elementos ensamblados con la finalidad de mantener, en torno al valor deseado, la magnitud de una cierta variable física de interés*, Venezuela: Universidad Nueva Esparta, 2011.
- [38] K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna*, España: Prentice Hall, 2010.
- [39] W. Bolton, *Mecatrónica: sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica*, España: Marcombo, 2001.
- [40] B. M. Wilamowsk y . J. D. Irwin, *Industrial Communication Systems*, United States of America: CRC Press, 2011.
- [41] A. Gomez, «Diseño de un proceso Industrial en MODBUS,» PUCP, Lima, 2009.
- [42] P. Neumann, «Communication in industrial automation—What is going on?,» *Elsevier*, vol. 15, p. 1332–1347, 2007.
- [43] B. Galloway y G. . P. Hancke, «Introduction to Industrial Control Networks,» *IEEE*, 2011.
- [44] International Standards Organization, «iso,» International Standards Organization, [En línea]. Available: <http://www.iso.org/iso/home.html>. [Último acceso: 26 Julio 2016].

- [45] Universidad de Valencia. Rosado, «uv,» [En línea]. Available: http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [46] Unicen, «exa.unicen.edu.ar,» [En línea]. Available: <http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/comdat1/material/ElmodeloOSI.pdf>. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [47] Microsoft, «support.microsoft,» Micrisoft, [En línea]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/kb/103884>. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [48] S. E. Román Dueñas, DISEÑO DE SUBSISTEMAS DE ALIMENTACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN EXTERIOR BASADO EN TECNOLOGÍA DE LEDS DE POTENCIA DEL LOGO PUCP EN EL EDIFICIO MC GREGOR, Perú: PUCP/tesis, 2010.
- [49] [En línea]. Available: <http://rddatos.tripod.com/rs232.htm>.
- [50] U.S. Department of Energy, «EIA,» U.S. Department of Energy, [En línea]. Available: <http://www.eia.gov/>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [51] H. Ramírez, «institutomardecortes,» [En línea]. Available: <http://www.institutomardecortes.edu.mx/>. [Último acceso: 26 Julio 2016].
- [52] E. García Moreno, Automatización de procesos industriales: Robótica y Automática, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1999.
- [53] M. Felser, «The fieldbus standard, history and structures,» *IEEE*, 2002.
- [54] R. Patzke, «Fielbus basics,» *Computer Standards and Interfaces*, vol. 19, pp. 275 - 293, 1998.
- [55] A. McFarlane, «Fieldbus review,» *Sensor Review*, vol. 17, nº 3, pp. 204 - 210, 1997.
- [56] I. Mahgoub y M. Ilyas, *Sensor Network Protocols*, CRC Press, 2005.
- [57] M. j. Rutka, «Integrated Sensor Bus,» Delft University of technology, Unites Dtantes of America, 1994.
- [58] Philips, The I2C Bus Specification: Ver. 2.1, United States of North America: Philips Semiconductor, 2001.
- [59] J. Zhou y A. Masson, «Communication Buses and Protocols for Sensor Networks,» *sensors*, vol. 2, pp. 244 - 257, 2002.
- [60] R. L. Stevens, *Serial PIC'n*, Square Electronics, 1999.
- [61] P. Adrian, «Sensor Industry Developments,» *Sensor Business Digest*, 2001.
- [62] NXP Semiconductors Standard, «I2C Bus Specification and user manual,» NXP Semiconductors Standard, United States of America, 2007.
- [63] J. Mikhaylov, M. Jamsa, J. Luimula, Tervonen y V. Autio, «Intelligent sensor interfaces and data format,» *Intelligent Sensor Networks*, 2012.
- [64] V. Rivas, «microchip,» Microchip, [En línea]. Available: <http://www.microchip.com/forums/m482096.aspx>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [65] G. Kapelushnik, «developer.mbed,» ARMbeb, Enero 2013. [En línea]. Available: <https://developer.mbed.org/questions/204/Maximum-number-of-SPI-devices/>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [66] COPADATA, [En línea]. Available: <https://www.copadata.com/es-es/soluciones-hmi-scada/interfaz-hombre-maquina-hmi/>.
- [67] J. Johnson, *GUI Bloopers*, United States of America: ElSevier, 2008.
- [68] CS.umd, «CS.edu,» [En línea]. Available: <https://www.cs.umd.edu/~atif/Teaching/Spring2011/Slides/8.pdf>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [69] «Scholarly Publishing, MIT,» Massachusetts Institute of Technology, 2010. [En línea]. Available: <https://libraries.mit.edu/scholarly/mit-open-access/open-access-at-mit/mit-open-access-policy/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].

- [70] INDUCT, The open innovation company, «Sociedad de la innovación,» 3 Febrero 2015. [En línea]. Available: <http://www.sociedaddelainnovacion.es/el-movimiento-maker-no-es-un-hobbie-de-locos-sino-un-nuevo-patron-de-produccion-y-consumo/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [71] R. Merkle, «Creative Commons,» Creative Commons, 2010. [En línea]. Available: <https://creativecommons.org/about/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [72] Arduino, «Arduino,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [73] M. Margolis, Arduino Cookbook, Estados Unidos de Norte América: O'Reilly, 2012.
- [74] J. Boxall, Arduino Workshop, Estados Unidos de Norte América: no starch press, 2013.
- [75] M. Banzi, Getting Started with Arduino, Estados Unidos de Norte América: MAKE, 2011.
- [76] E. Upton y G. Halfacree, Raspberry Pi : User Guide, United Kingdom - West Sussex: Wiley, 2012.
- [77] R. Foundation, «Raspberrypi,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/blog/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [78] B. Chacos, «PCworld,» PCworld, 19 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.pcworld.com/article/3057888/computers/raspberry-pi-3-review-the-revolutionary-35-mini-pc-cures-its-biggest-headaches.html>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [79] Processing, «Processing.org,» 2005. [En línea]. Available: <https://processing.org/>. [Último acceso: 2016 Julio 2016].
- [80] C. Reas y B. Fry, Getting Started with Processing, United States of America: MAKE, 2010.
- [81] D. Shiffman, Learning Processing, United States of America: Elsevier, 2008.
- [82] D. Shiffman, The Nature of Code, United States of America - CA: Shannon Fry, 2012.
- [83] C. Reas y B. Fry, Processing: a programming handbook for visual designers and artists, United States of America - MA: MIT press, 2007.
- [84] Codepen, «Codepen.io,» Codepen, 2016. [En línea]. Available: <http://codepen.io/nucliweb/post/aprender-a-programar-con-processing-y-p5js>. [Último acceso: 27 Julio 2016].
- [85] Processing, «P5.js,» 2010. [En línea]. Available: <https://p5js.org/>. [Último acceso: 07 Julio 2016].
- [86] L. Mc Carthy, C. Reas y B. Fry, Getting Started with p5.js, United States of America: MAKE, 2016.
- [87] p5.js, «p5.js.org,» [En línea]. Available: <https://p5js.org/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [88] Node.js Foundation, «Node.js.org,» [En línea]. Available: <https://nodejs.org/en/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [89] ALICAT, [En línea]. Available: <http://www.alicat.com/>.
- [90] Sierra Instruments, «SIERRA Instruments,» [En línea]. Available: http://www.sierrainstruments.com/?gclid=Cj0KEQIA39_BBRD0w_rmOrc_8BEiQA-ETxXRb9F7zCOQyyWkTygNwm3op88xhFRWFStbue_wGk4YaAp5a8P8HAQ. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [91] M. T. Inc, «MicroChip,» [En línea]. Available: <http://www.microchip.com/Developmenttools/ProductDetails.aspx?PartNO=TDGL004>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [92] Intel, «Intel Galileo,» [En línea]. Available: <https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/galileo>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [93] SparkFun, «SparkFun,» [En línea]. Available: <https://www.sparkfun.com/>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [94] Adafruit.Co, «Adafruit®,» Adafruit®, [En línea]. Available: <http://www.adafruit.com/>. [Último acceso: 20 Junio 2016].

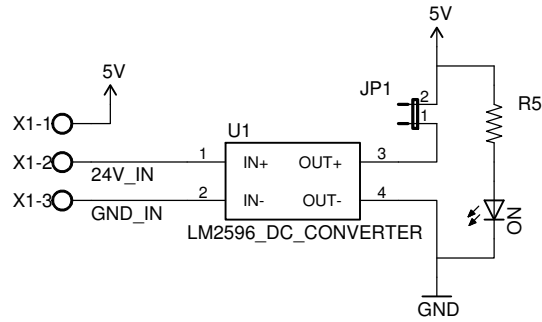
- [95] Yudian Co., LTD, «AIBUSCOMMProtocolV7.0,» Yudian, China, 2015.
- [96] Arduino CC, «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [97] Arduino, «Arduino.cc,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [98] Adafruit, «Adafruit,» [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/products/2354>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [99] Adafruit, «Adafruit,» [En línea]. Available: <https://www.adafruit.com/products/2453>. [Último acceso: 25 Noviembre 2016].
- [100] Yudian Automation Technology Co.,Ltd, «Yudian Automation,» [En línea]. Available: <https://www.yudian.com.hk/>. [Último acceso: 07 Noviembre 2016].
- [101] Texas Instruments, «TI,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/sloa204/sloa204.pdf>. [Último acceso: 21 Setiembre 2016].
- [102] Maxim Integrated, «Maxim Integrated,» 2013. [En línea]. Available: www.MaximIntegrated.com/docs/MAX31850-51. [Último acceso: 20 Setiembre 2016].
- [103] T. Ernsting y LAIF, Norma VDI2221: Methodik zum Entwickein und Konstruieren Systeme und Produkte, Berlín, 1993.



Anexo 01 PLANOS DE CONEXIONES

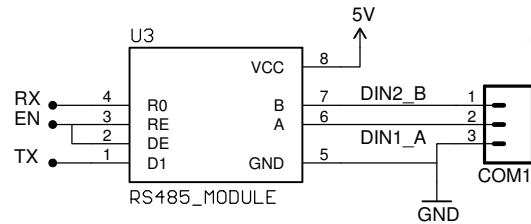


REGULACIÓN DE VOLTAJE



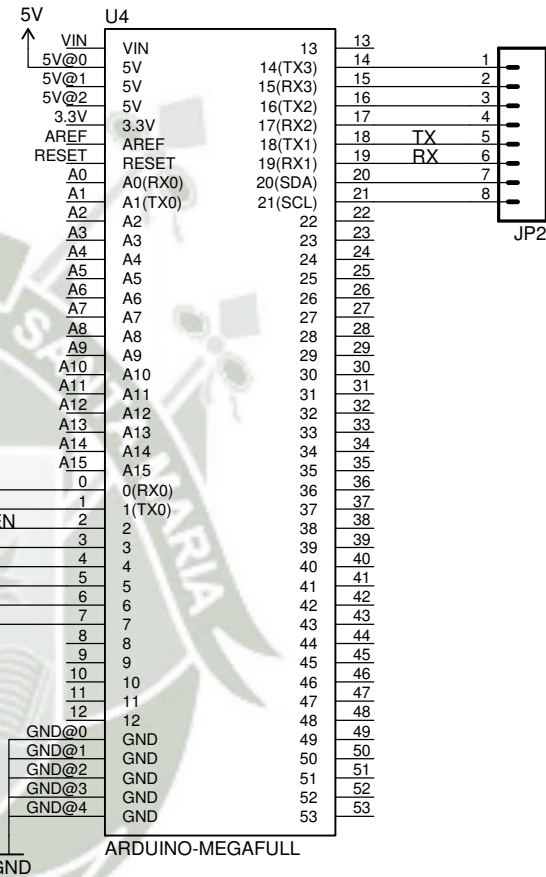
Nota: Entrada de voltaje de hasta 24V. No colocar el jumper (JP1) hasta regular la salida a 5V. Bornera X1-1 para salida regulada externa de 5V

SISTEMA DE COMUNICACIÓN

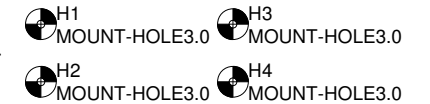


Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - A / Pin 2 - B / Pin 3 - GND). Comunicación de red general

CONTROLADOR PRINCIPAL / PERIFÉRICOS EXTERNOS



Nota: Las salidas JP2 y JP3 corresponden a salidas auxiliares de emergencia para aumentar periféricos o modificar comunicación.

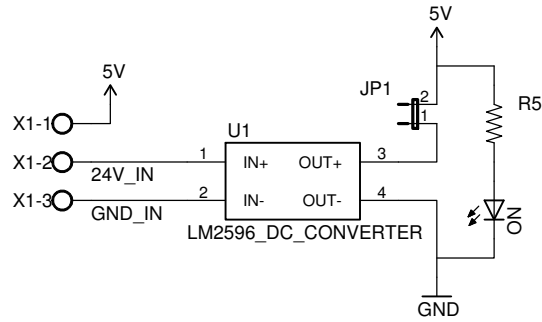


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

PLANO
INTEGRADOR COMUNICACIÓN MAESTRO
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

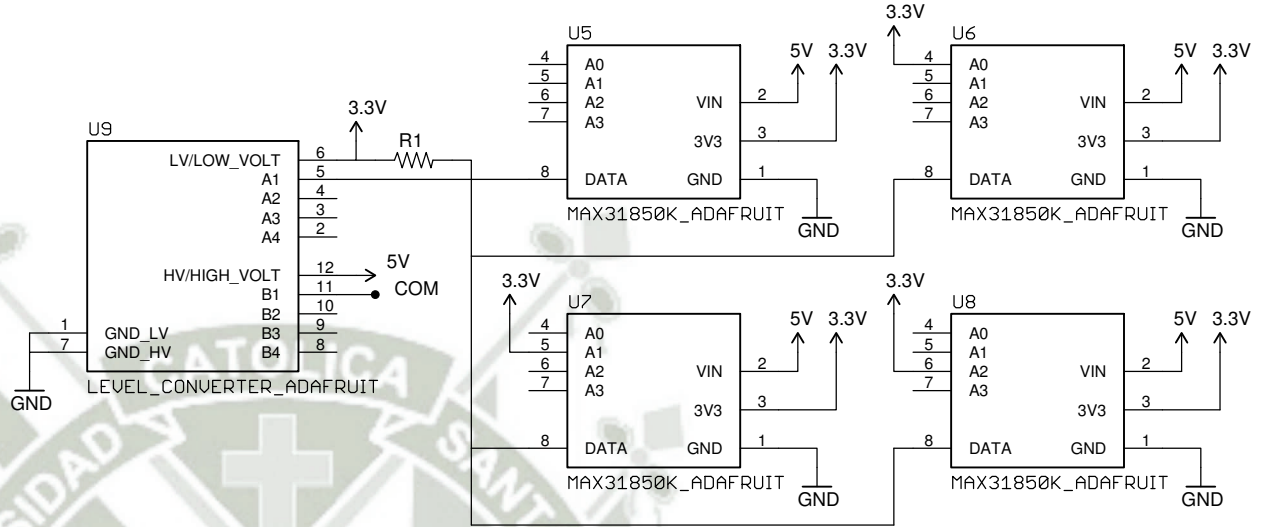
NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - CON - T4 - PCB		2.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	1 de 1	

REGULACIÓN DE VOLTAJE

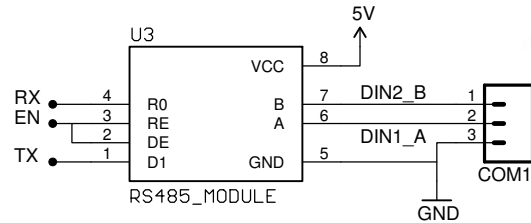


Nota: Entrada de voltaje de hasta 24V. No colocar el jumper (JP1) hasta regular la salida a 5V. Bornera X1-1 para salida regulada externa de 5V

ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

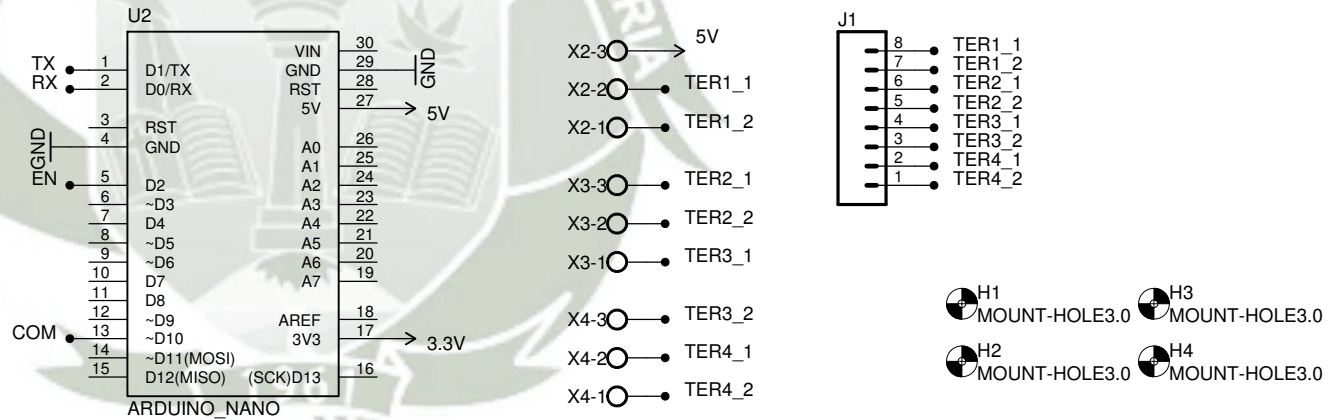


SISTEMA DE COMUNICACIÓN



Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - A / Pin 2 - B / Pin 3 - GND). Comunicación de red general

CONTROLADOR PRINCIPAL / PERIFÉRICOS EXTERNOS



Nota: Las salidas de borneras tipo L sirven para evitar acceder continuamente al circuito, la salida 5V puede usarse como entrada de voltaje regulada externa de alimentación. Conectar las salidas de bornera de los módulos Adafruit a los molex (J1)

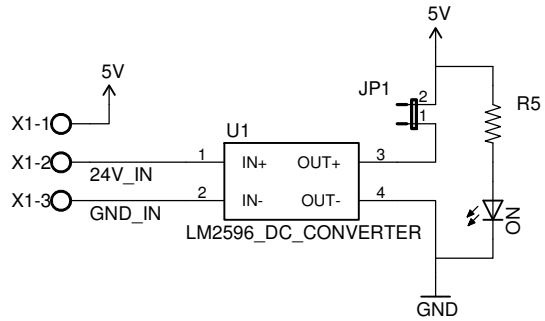


UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

PLANO
LECTOR DE TERMOCUPLAS
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

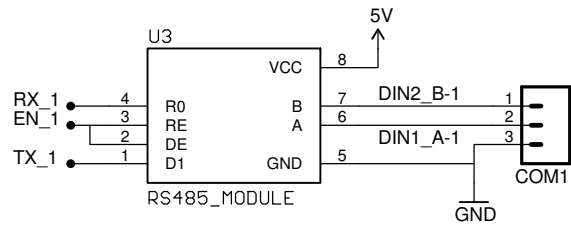
NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO	REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - CON - T3 - PCB	2.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo	A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA 1 de 1	

REGULACIÓN DE VOLTAJE

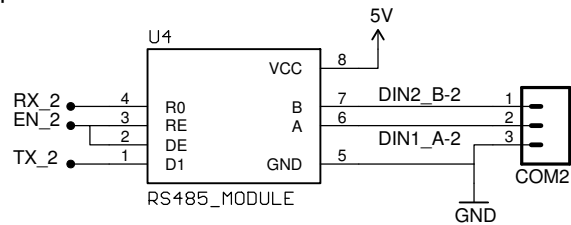


Nota: Entrada de voltaje de hasta 24V. No colocar el jumper (JP1) hasta regular la salida a 5V. Bornera X1-1 para salida regulada externa de 5V

SISTEMA DE COMUNICACIÓN

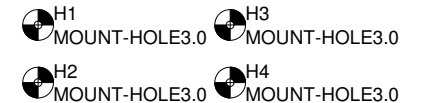
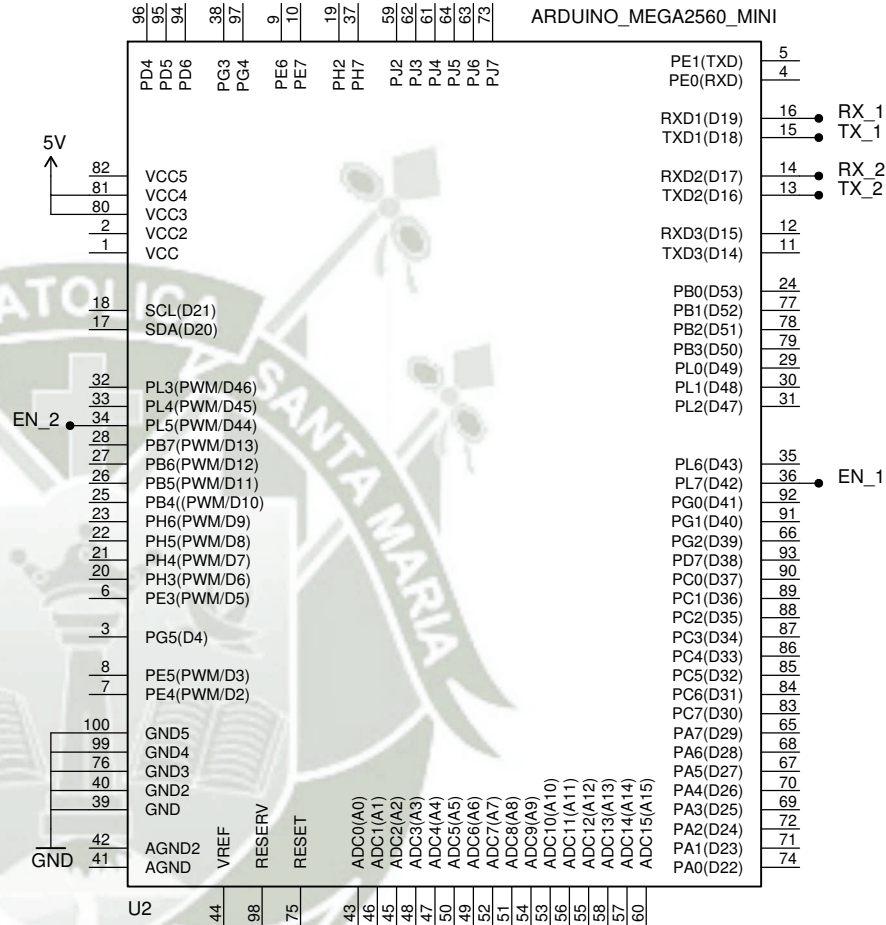


Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - A / Pin 2 - B / Pin 3 - GND). Comunicación controlador de temperatura



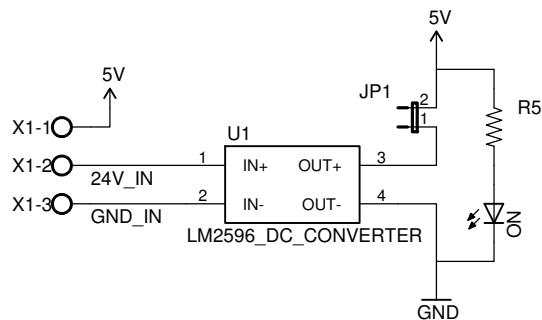
Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - A / Pin 2 - B / Pin 3 - GND). Comunicación de red general

CONTROLADOR PRINCIPAL / PERIFÉRICOS EXTERNOS



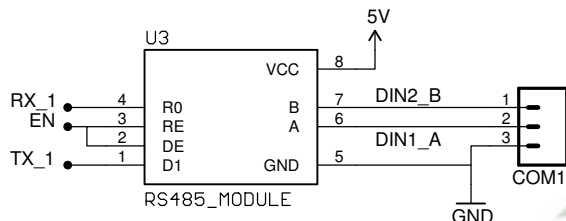
	UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA	PLANO INTEGRADOR DE CONTROLADORES DE HORNO CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.	NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - CON - T2 - PCB		2.0
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
			REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	1 de 1	

REGULACIÓN DE VOLTAJE

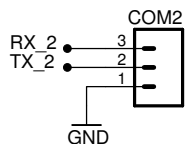


Nota: Entrada de voltaje de hasta 24V. No colocar el jumper (JP1) hasta regular la salida a 5V. Bornera X1-1 para salida regulada externa de 5V

SISTEMA DE COMUNICACIÓN

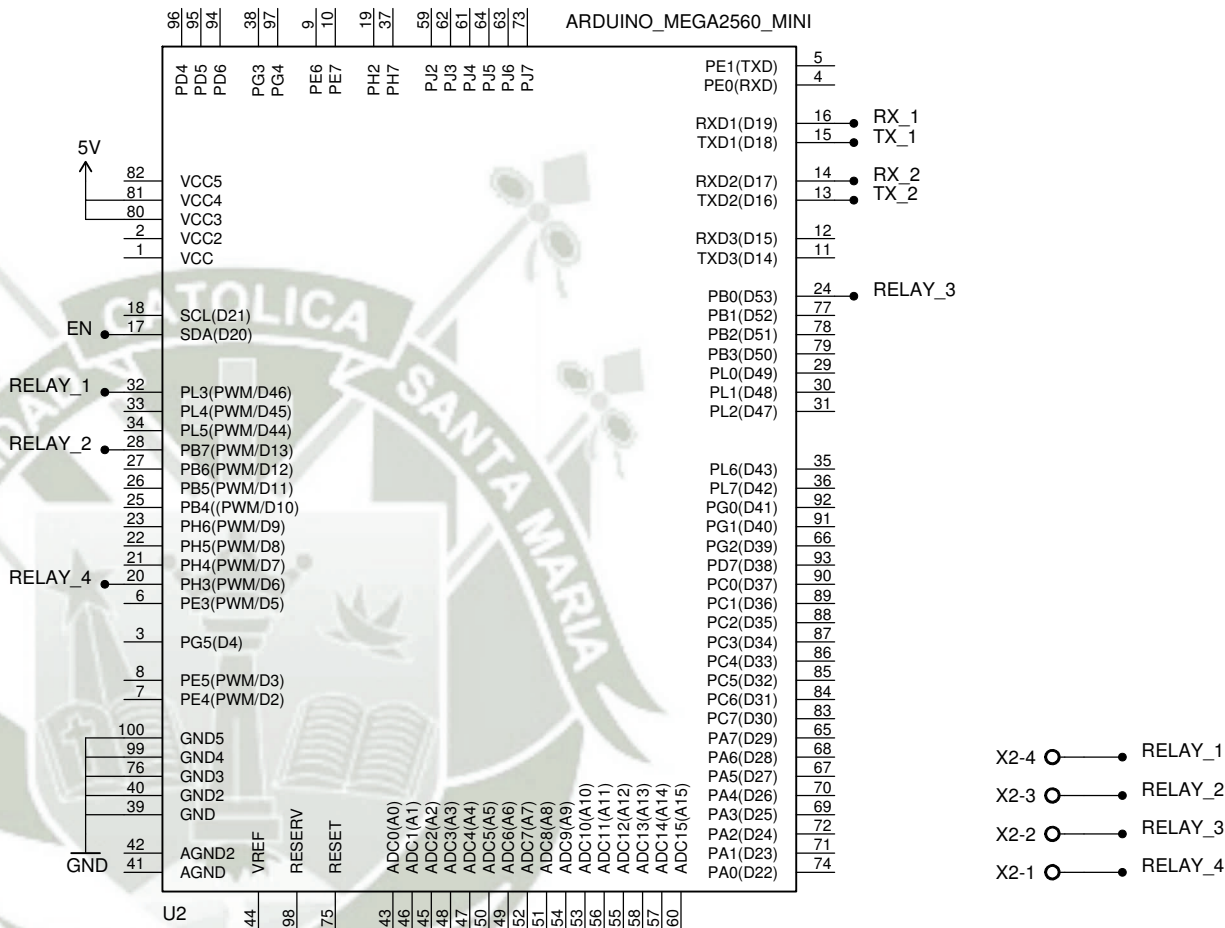


Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - A / Pin 2 - B / Pin 3 - GND). Comunicación de red general

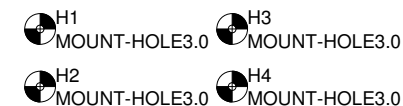


Nota: Las salidas Din corresponden al conector aéreo roscable siguiendo el patrón general (Pin 1 - TX / Pin 2 - RX / Pin 3 - GND). Comunicación módulos ALICAT

CONTROLADOR PRINCIPAL / PERIFÉRICOS EXTERNOS



Nota: Borneras de señal de salida de Relay 1 al 4 corresponden al sistema de configuración por medio de encendido y apagado de los módulos ALICAT. Sin señal están normalmente encendidos por defecto.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

PLANO INTEGRADOR DE SISTEMA ALICAT

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO	REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - CON - T1 - PCB	4.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo	A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA 1 de 1	

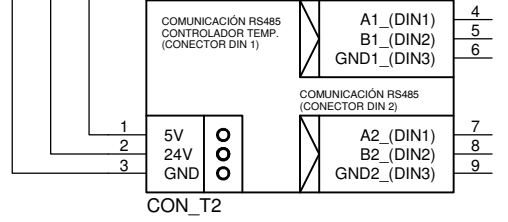
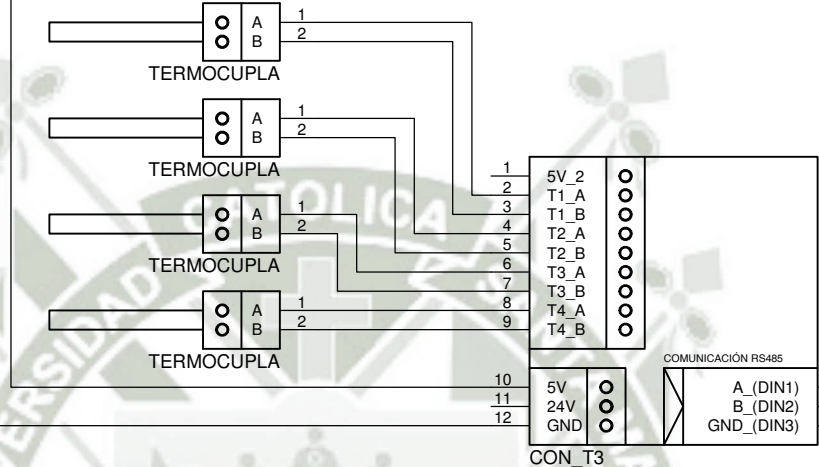
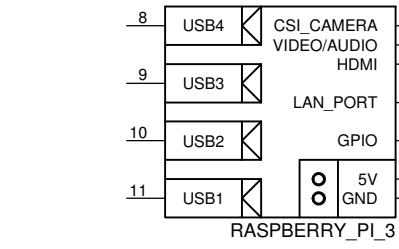
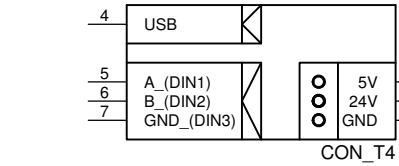
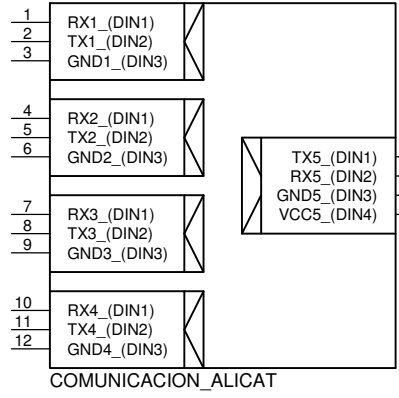
VAC - N - 220V

VAC - L - 220V

VDC - 5V

VDC - 24V

VDC - GND




UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

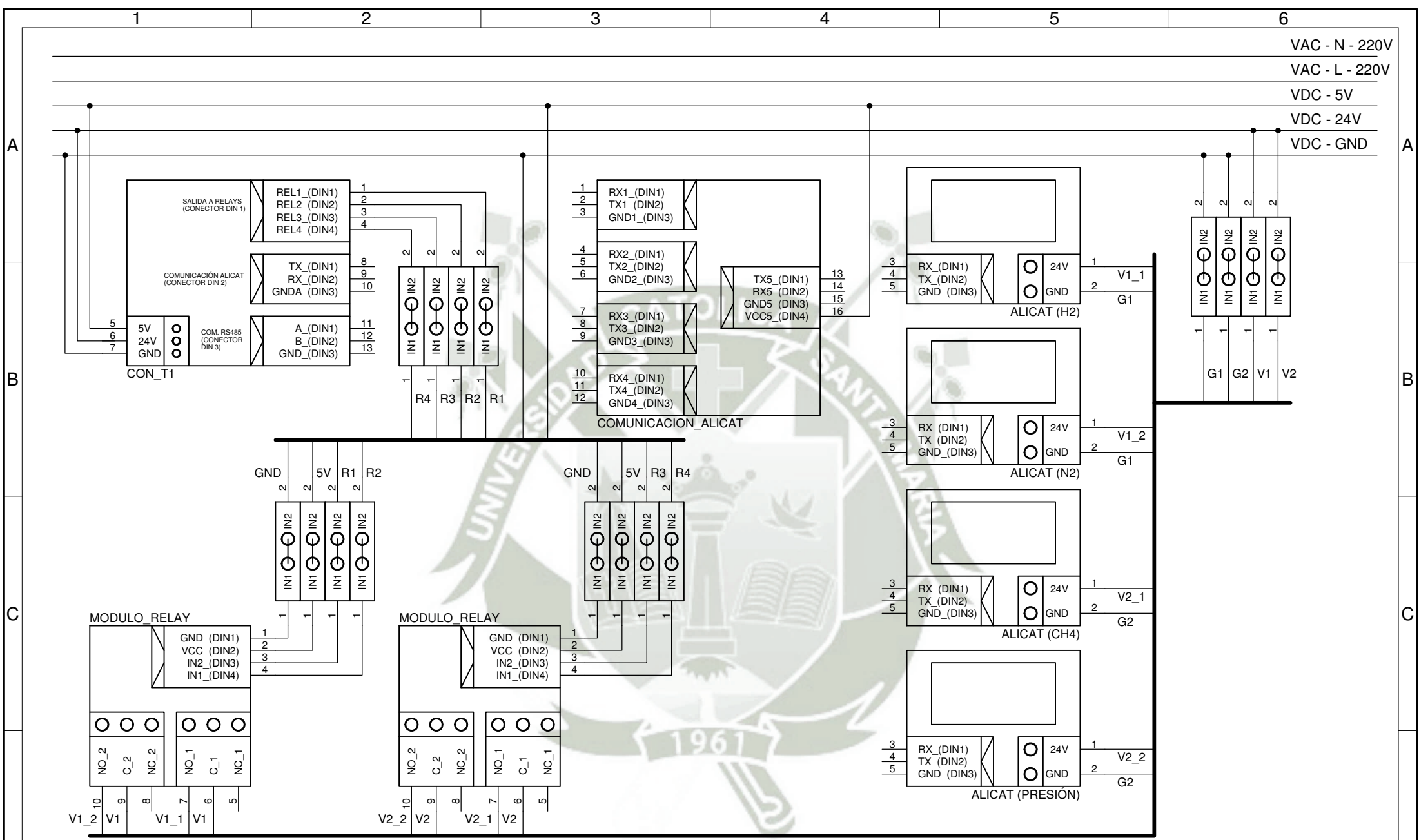
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

PLANO

DISTRIBUCIÓN DE PODER - TABLERO

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - DIS - 1		1.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	3 de 3	



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

PLANO
DISTRIBUCIÓN DE PODER - TABLERO
 CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - DIS - 1		1.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	2 de 3	

VAC - N - 220V

VAC - L - 220V

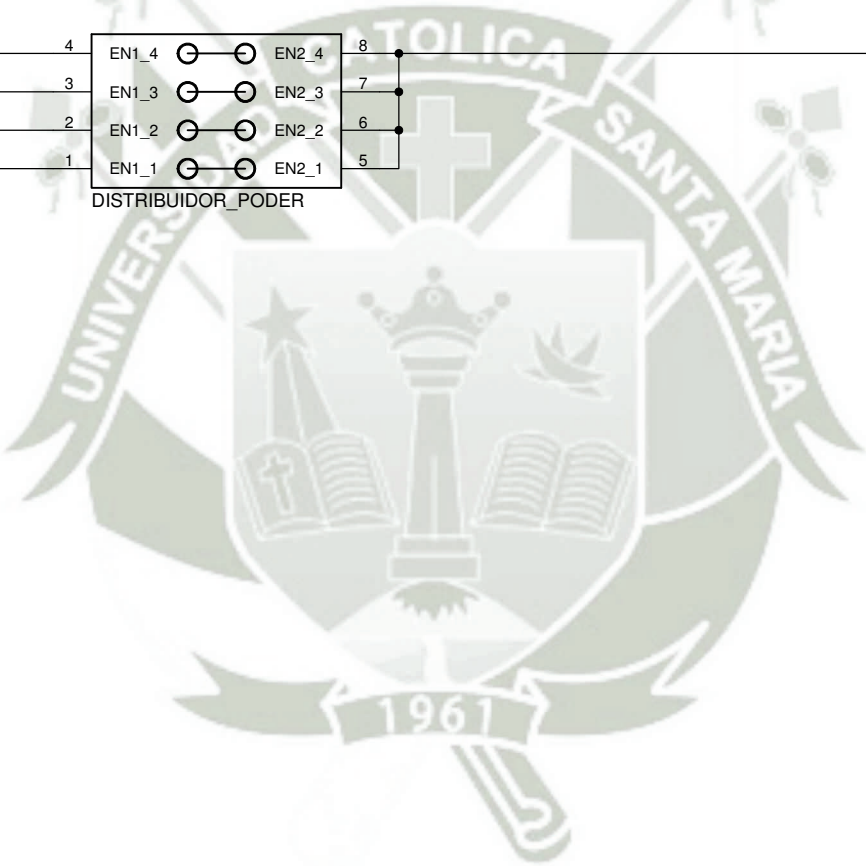
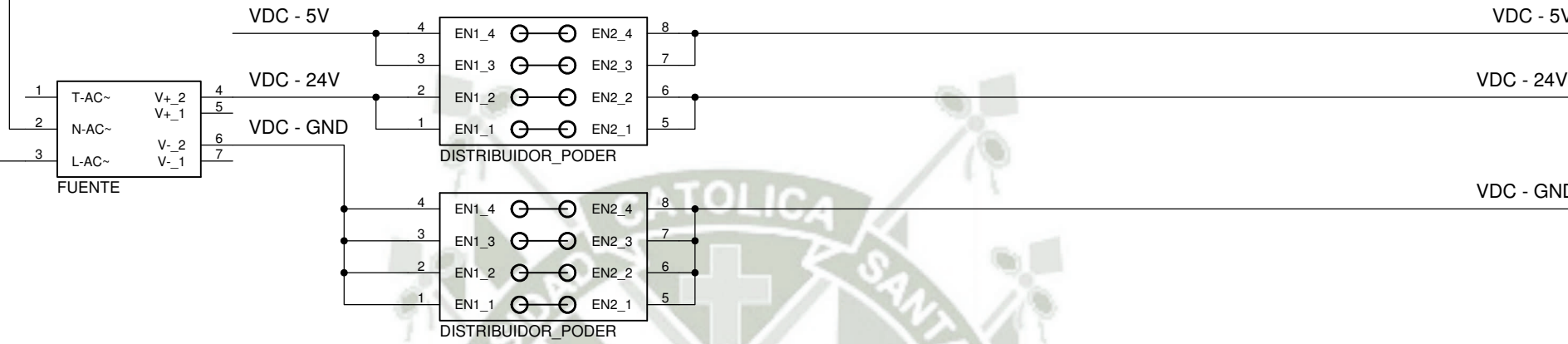
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

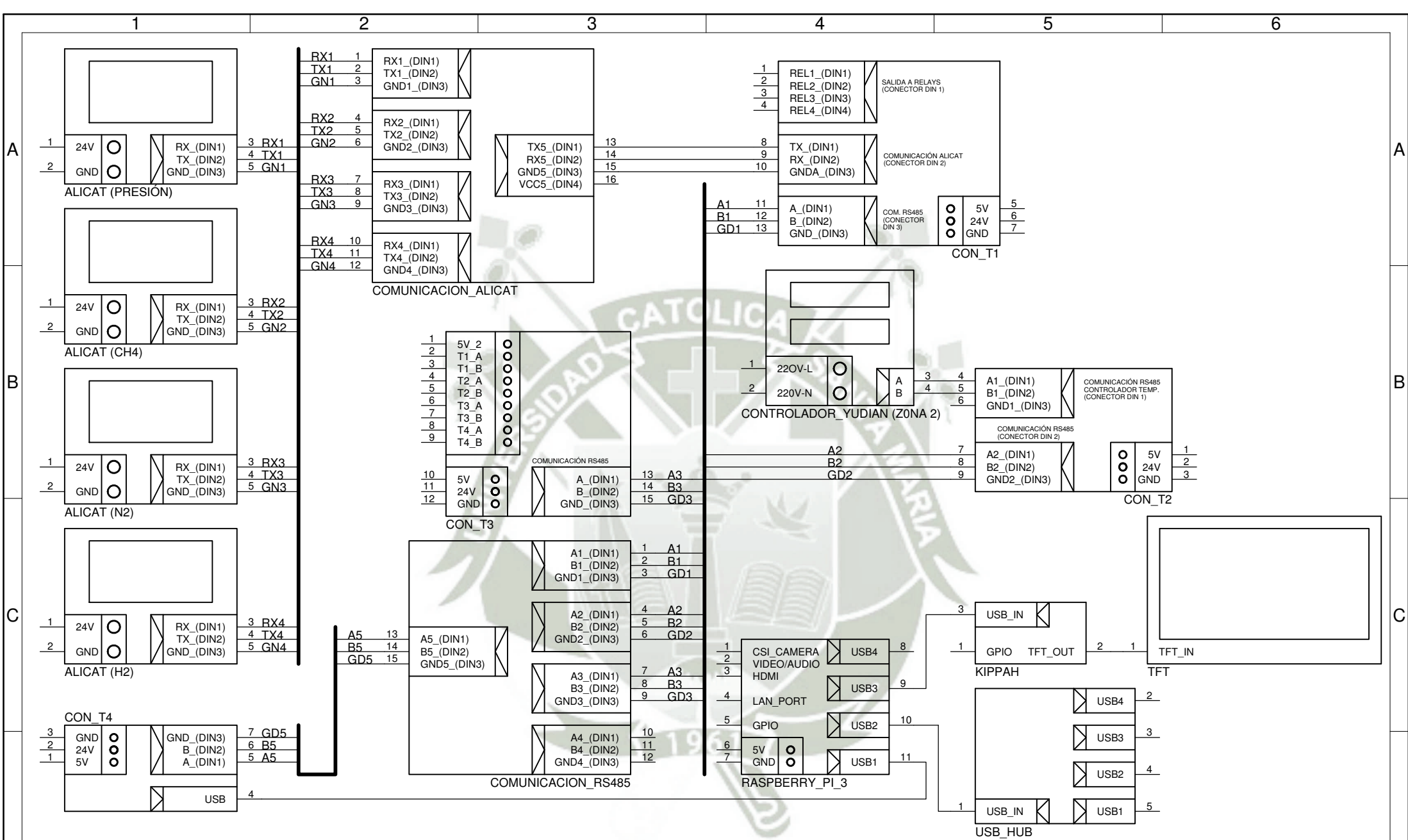
PLANO

DISTRIBUCIÓN PODER - TABLERO

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - DIS - 1		1.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	1 de 3	

1 2 3 4 5 6



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

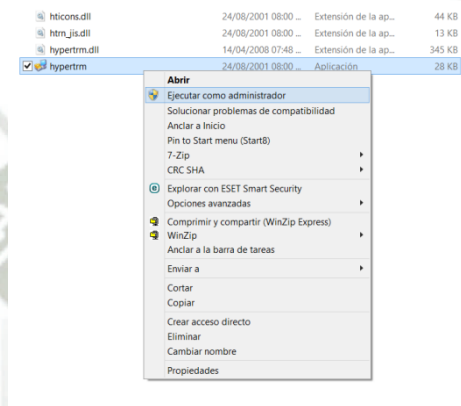
PLANO
COMUNICACIÓN - TABLERO
 CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos.

NOMBRE		FECHA	CODIGO DE DIBUJO		REVISION
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	HOR - COM - 1		1.0
DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov. - 2016	No escale el dibujo		A4
REVISION	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic. - 2016	HOJA	1 de 1	

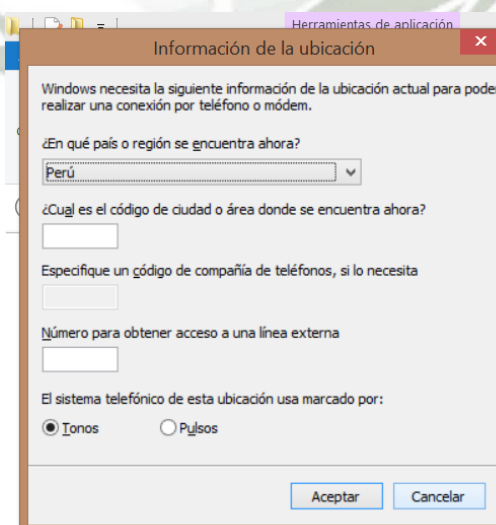
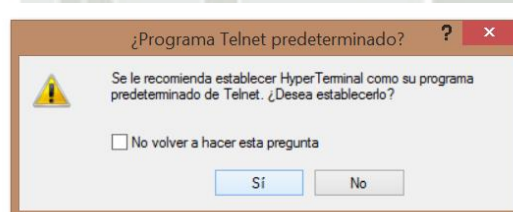
Anexo 02 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “HYPERTERMINAL® Y PRUEBA DE COMUNICACIÓN TIPO STREAMING”

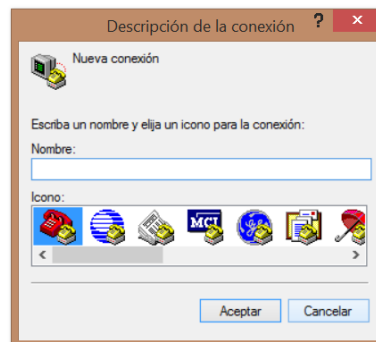
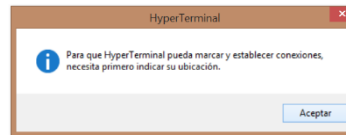
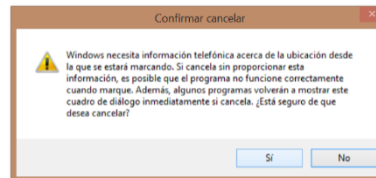
Pasos para **instalar** “HyperTerminal®”

- a. *Descargar archivo anexo número 1*
- b. *Instalar “HyperTerminal®”*

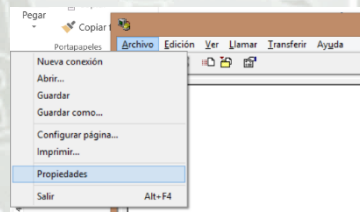


- c. *Seguir las siguientes capturas de pantalla:*

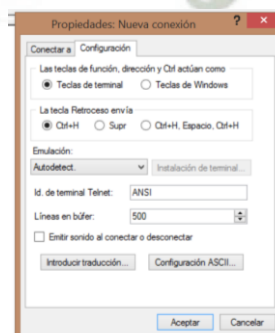




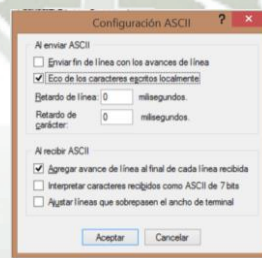
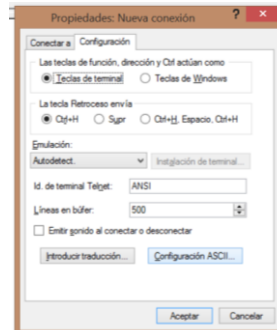
Pasos para utilizar “HyperTerminal®”



- a. En el menú de Propiedades, vaya a Configuración, seleccione el menú de Conectar A, elija la velocidad de 19200 baud, y 8 Data Bits, Sin paridad, 1 Bit de stop, y protocolo de No flujo.
- b. En el menú de Ajustes, confirme que el emulador del terminal está configurado para ANSI o detección automática.



c. Seleccione el menú de Ajustes ASCII y confirme que el casillero de “Enviar finales de línea por alimentación de línea”, no está seleccionado. De la misma manera, los casilleros de “Eco de los caracteres escritos localmente”, y “Agregar avance de línea al final de cada línea recibida”, están seleccionados.



d. Guarde esta configuración, cierre el “HyperTerminal®” y vuelva a abrirlo.

Funciones

a. Cambiar Identificación del evento

- El controlador viene configurado en Streaming Mode.
- La relación recomendada por defecto de suministro de datos es una vez cada 50 milisegundos, lo cual es adecuado para la mayoría de situaciones. Si fuera necesario cambiar la velocidad, se puede cambiar el registro 91 a un valor de 1 a 65535 milisegundos, o hasta un valor cercano a una vez cada minuto. Por debajo de 40 milisegundos, el suministro de datos va a depender de cuántos parámetros han sido

seleccionados, pues mientras menos, será más rápido.

- Para leer el registro 91, en el monitor serial tipiamos “*r91”, seguido de “Enter”.
- Para modificar el registro 91, tipiamos “*w91=X”, donde X viene a ser un número entero de 1 a 65535, seguido de “Enter”
- Para regresar a la configuración de fábrica, tipiamos “*w91=50”

b. Cambiar a “Polling Mode”

Cuando el controlador está en Streaming Mode, la pantalla se actualiza entre 10 y 60 veces por segundo. (depende de la cantidad de datos que debe procesar por línea), entonces para el usuario, la data ha sido recibida en tiempo real. A veces, es deseable y necesario, cuando se utiliza más de un equipo por línea en RS -232, poder hacerlo en modo Poll, es decir, como sondeo. En este modo, la unidad mide el flujo normalmente, pero solo envía esta información cuando se requiere. Cada equipo puede tener su propio nombre, que pueden ser letras desde la B hasta la Z.

Pasos para **cambiar a “Polling Mode”**:

- a. En el monitor serial, se tipea “*@=A”, seguido de “Enter”. De esta manera se habrá interrumpido el modo Streaming.
- b. Ahora, podemos tipear, por ejemplo, A, seguido de “Enter”, y el monitor mostrará el valor una vez.
- c. Para volver al modo Streaming, basta con tipear “*@=@”, seguido de “Enter”.
- d. Para asignar una nueva dirección, ponemos “*@=Nueva dirección”, por ejemplo “*@=B”.

Consideraciones de **red**

En este punto se debe tener cuidado de no asignar los nombres cuando más de un equipo está conectado a la línea RS -232, porque entonces todas las direcciones de todos los equipos, serán reasignadas automáticamente. Entonces, para asignar los nombres de cada equipo, se deberá conectar uno por uno, y luego de asignado, desconectarlo.

Enviar el **Set Point** a través de RS -232

Para enviar el Set Point vía RS -232, debemos seleccionar “Serial” en la lista de “Input” en el menú “Control”, del modo “Set Up”.

Existen dos maneras de cambiar el Set Point:

Forma 1: Se configura el Set Point enviando una variable del tipo float por la comunicación serial utilizando el comando (Unit ID)SX.YZ . Es decir, si queremos que el equipo “A” cambie su Set Point a 4.54, escribimos: *AS4.54*.

Forma 2: Tipea un número entre 0 y 64000, donde 64000 es el valor de “Full Scale” , y presiona “Enter”.

La columna del Set Point y la tasa de flujo deberían cambiar. Si no es así, presione “Enter” un par de veces más.

Para hacer una interpolación lineal utilizamos la siguiente fórmula :

$$\text{Valor} = \frac{(\text{Set Point deseado} * 64000)}{\text{Tasa de flujo a "Full Scale"}}$$

Por ejemplo, si tenemos un equipo de 100 slpm y queremos utilizar una tasa de 35 slpm, ingresamos los siguientes valores:

$$\text{Valor} = \frac{(35 * 64000)}{100}$$
$$\text{Valor} = 22400$$

Si ya hemos cambiado el controlador a Polling Mode, y, por ejemplo estamos comunicándonos con el equipo A, para configurar el Set Point, enviaríamos:

A22400 , seguido por “Enter”

Ajustar los valores del controlador **PID**

Escriba “@=” seguido por “Enter”, para cortar el modo Streaming.

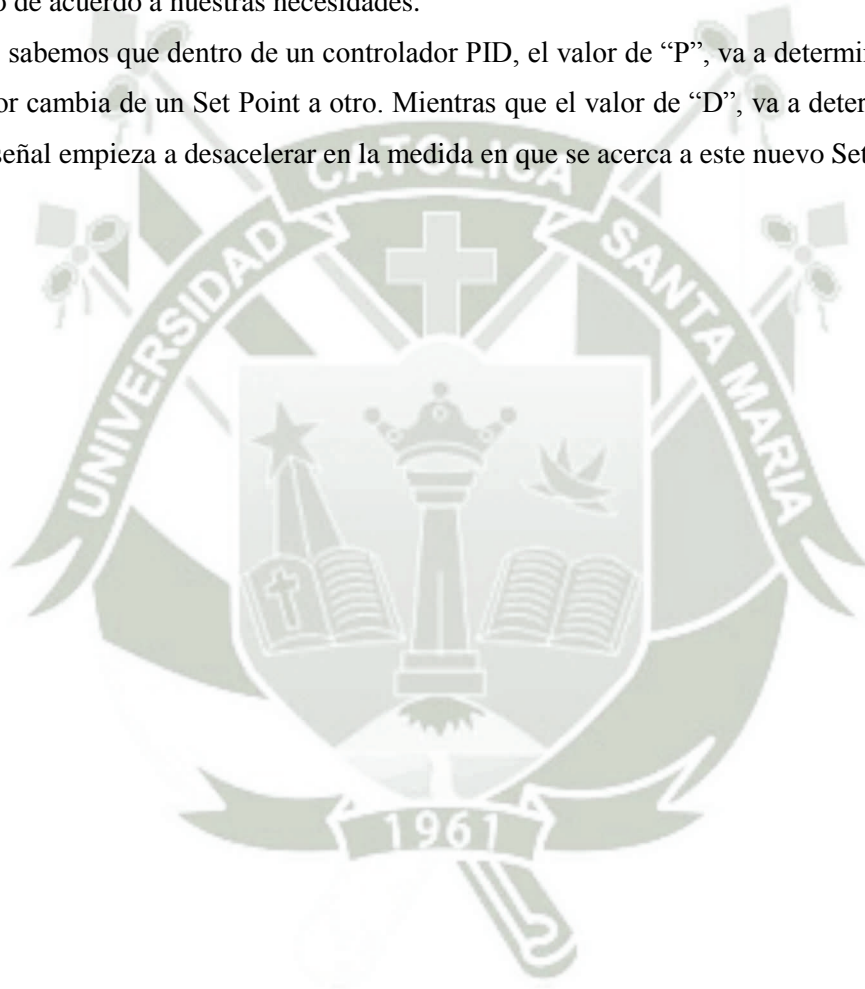
Para ajustar el valor de “P” (el proporcional) escriba “*R21”, seguido por “Enter”. Lo que va a hacer la computadora a continuación, es leer el valor actual del registro 21, que estará entre 0 y 65535. Es bueno recordar el valor con el que viene configurado, para regresarlo a la configuración de fábrica si fuera necesario. Ingresamos el nuevo valor al registro 21. Por ejemplo, queremos escribir un valor de 250. Para ello, utilizamos el comando Write: “*W21=250”, seguido por “Enter”. La computadora va a responder que el registro 21, ahora es 250: “21=250”. Para ver el cambio, ingresamos en el Monitor Serial el nombre del equipo, en este caso “A” seguido por “Enter”, entonces en la pantalla aparece una vez el nuevo valor. Para regresar al modo Streaming, escribimos “*@=@” seguido por “Enter”.

Para ajustar el valor de “D” (el diferencial) escriba “*R22”, seguido por “Enter”. Lo que va a hacer la computadora a continuación, es leer el valor actual del registro 21, que estará entre 0 y 65535. Es

bueno recordar el valor con el que viene configurado, para regresarlo a la configuración de fábrica si fuera necesario. Ingresamos el nuevo valor al registro 22. Por ejemplo, queremos escribir un valor de 28. Para ello, utilizamos el comando Write: “*W22=28”, seguido por “Enter”. La computadora va a responder que el registro 22, ahora es 28: “22=28”. Para ver el cambio, ingresamos en el Monitor Serial el nombre del equipo, en este caso “A” seguido por “Enter”, entonces en la pantalla aparece una vez el nuevo valor. Para regresar al modo Streaming, escribimos “*@=@” seguido por “Enter”.

Para evaluar las configuraciones podemos cambiar el Set Point. Entonces, escribimos en el Monitor Serial “A32000”, donde “A” corresponde al nombre del equipo, que en el caso de que sea una red, se tendrá que nombrar uno por uno. Luego, presionamos “Enter”, y así le estamos pidiendo un Set Point que es la mitad del valor de “Full Scale”. De esta manera podemos verificar que los valores están cambiando de acuerdo a nuestras necesidades.

Por teoría, sabemos que dentro de un controlador PID, el valor de “P”, va a determinar la velocidad en que el valor cambia de un Set Point a otro. Mientras que el valor de “D”, va a determinar la velocidad en que la señal empieza a desacelerar en la medida en que se acerca a este nuevo Set Point

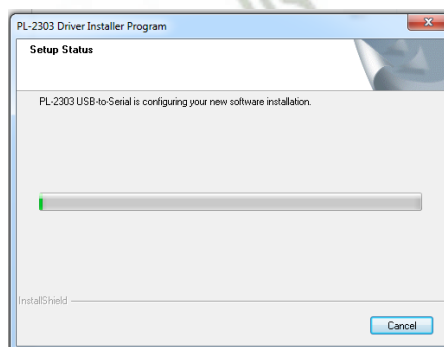
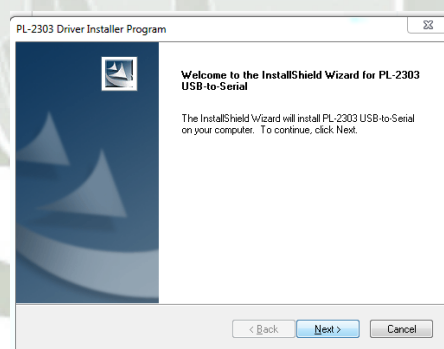
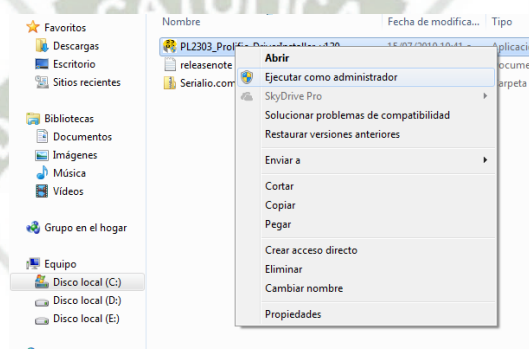


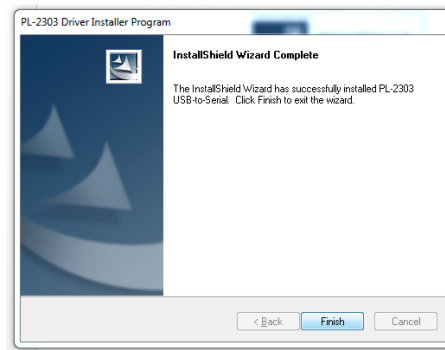
Anexo 03 INSTRUCCIONES PARA OBTENER DATOS CON EL MONITOR SERIAL DE ARDUINO

Para realizar la prueba Serial con Arduino es necesario:

- 01 cable convertidor de RS -232 a USB (PL2303)
- Instalar el driver PL2303

En primer lugar, se ejecuta el driver como administrador:

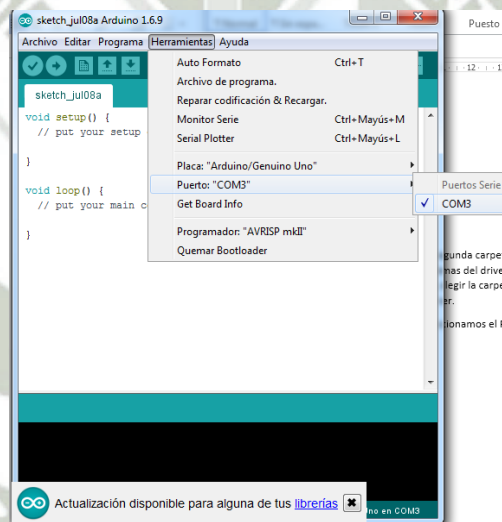


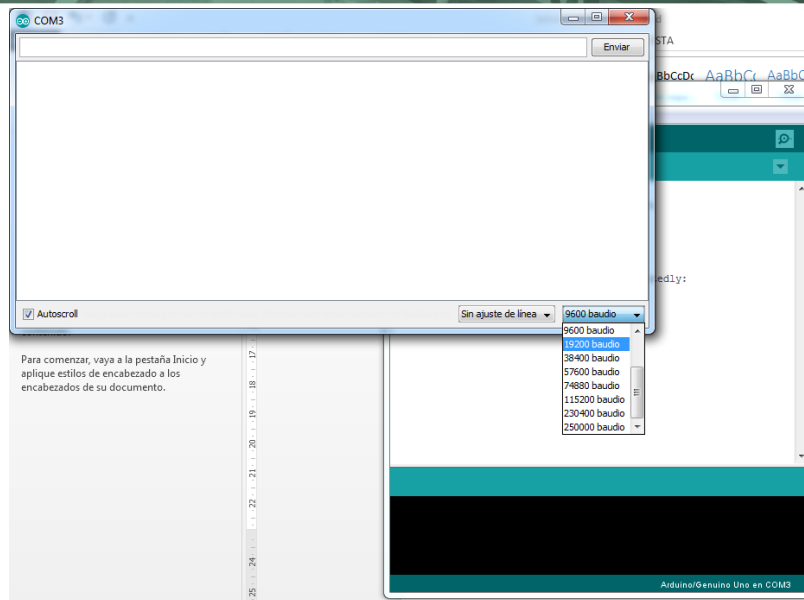


NOTA: En caso no sea posible instalar este Driver, utilizar la segunda carpeta (DriverHL34022302). Para ello, utilizar el solucionador de problemas del driver de Windows, y elegir instalar manualmente el Driver. Una vez seleccionado, elegir la carpeta “DriverHL34022302”. Windows instalará exitosamente el Driver.

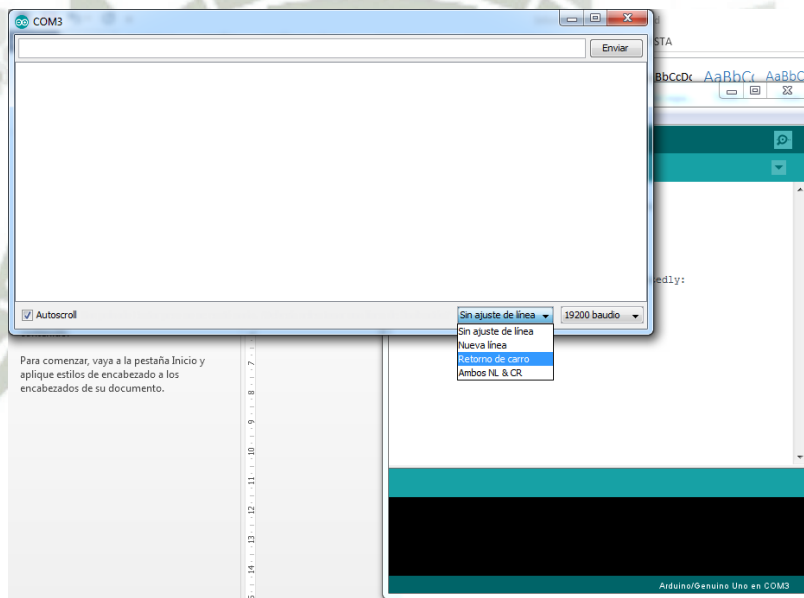
Luego, se abre Arduino IDE, y en el menú Herramientas, seleccionamos el Puerto en el que tenemos instalado el cable.

Abrimos el Monitor Serial, y elegimos la velocidad de 19200 baudios.

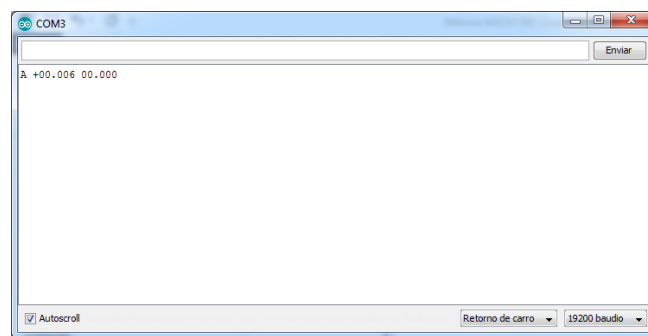





Y posteriormente elegimos ajuste por retorno de carro:



Finalmente, reiniciamos el monitor serial, y presionamos el nombre de cada controlador. En este caso, contamos con el A y el B. Por tanto, al presionar A obtenemos:



Y si presionamos B, obtenemos lo siguiente:



```
COM3
Enviar
A +00.006 00.000B +011.15 +025.56 +0000.0 -0000.0 0000.0 N2
Autoscroll Retorno de carro 19200 baudio
```



Anexo 04 ALGORITMO PARA LA INTERFAZ ALICAT

En las siguientes imágenes, se encuentra descrito el algoritmo utilizado para la integración de los equipos ALICAT.

En el *Diagrama 1*, se detalla el inicio del software, la importación de librerías, la activación del puerto serial, y el uso de las funciones que en los siguientes esquemas se encuentran descritas. También se utilizan banderas, que cual indicadores determinan el flujo del programa.

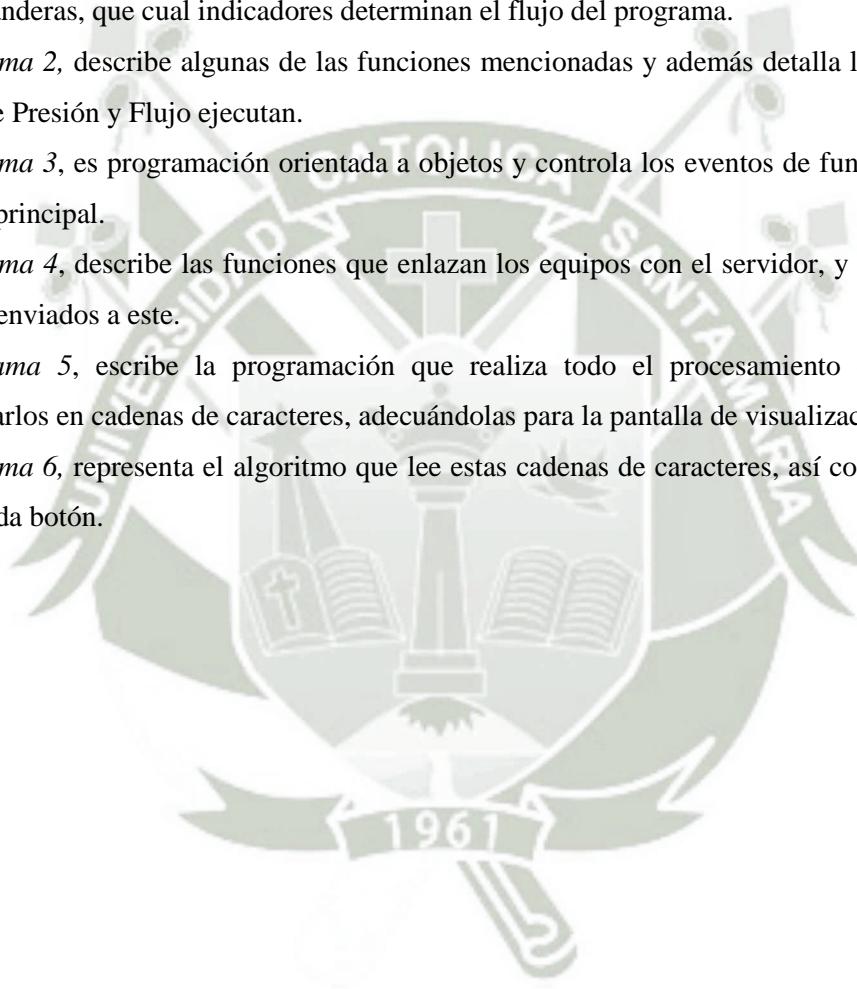
El *Diagrama 2*, describe algunas de las funciones mencionadas y además detalla las acciones que los botones de Presión y Flujo ejecutan.

El *Diagrama 3*, es programación orientada a objetos y controla los eventos de funcionamiento dentro del menú principal.

El *Diagrama 4*, describe las funciones que enlazan los equipos con el servidor, y el modo en que los datos son enviados a este.

El *Diagrama 5*, escribe la programación que realiza todo el procesamiento de los datos, para transformarlos en cadenas de caracteres, adecuándolas para la pantalla de visualización de datos.

El *Diagrama 6*, representa el algoritmo que lee estas cadenas de caracteres, así como las órdenes que ejecuta cada botón.



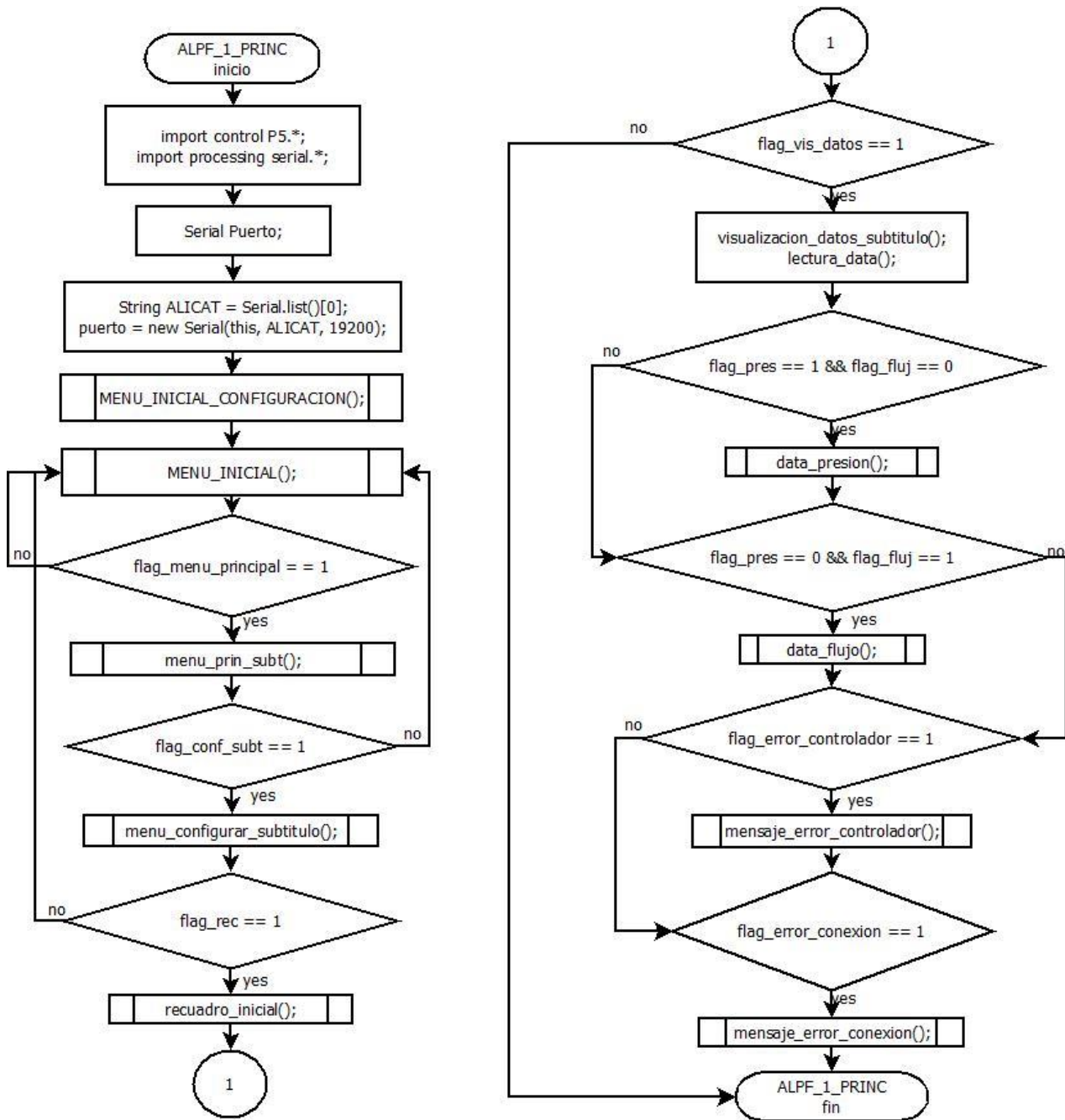


Diagrama 1. Diagrama de flujo para el primer algoritmo de la interfaz ALICAT

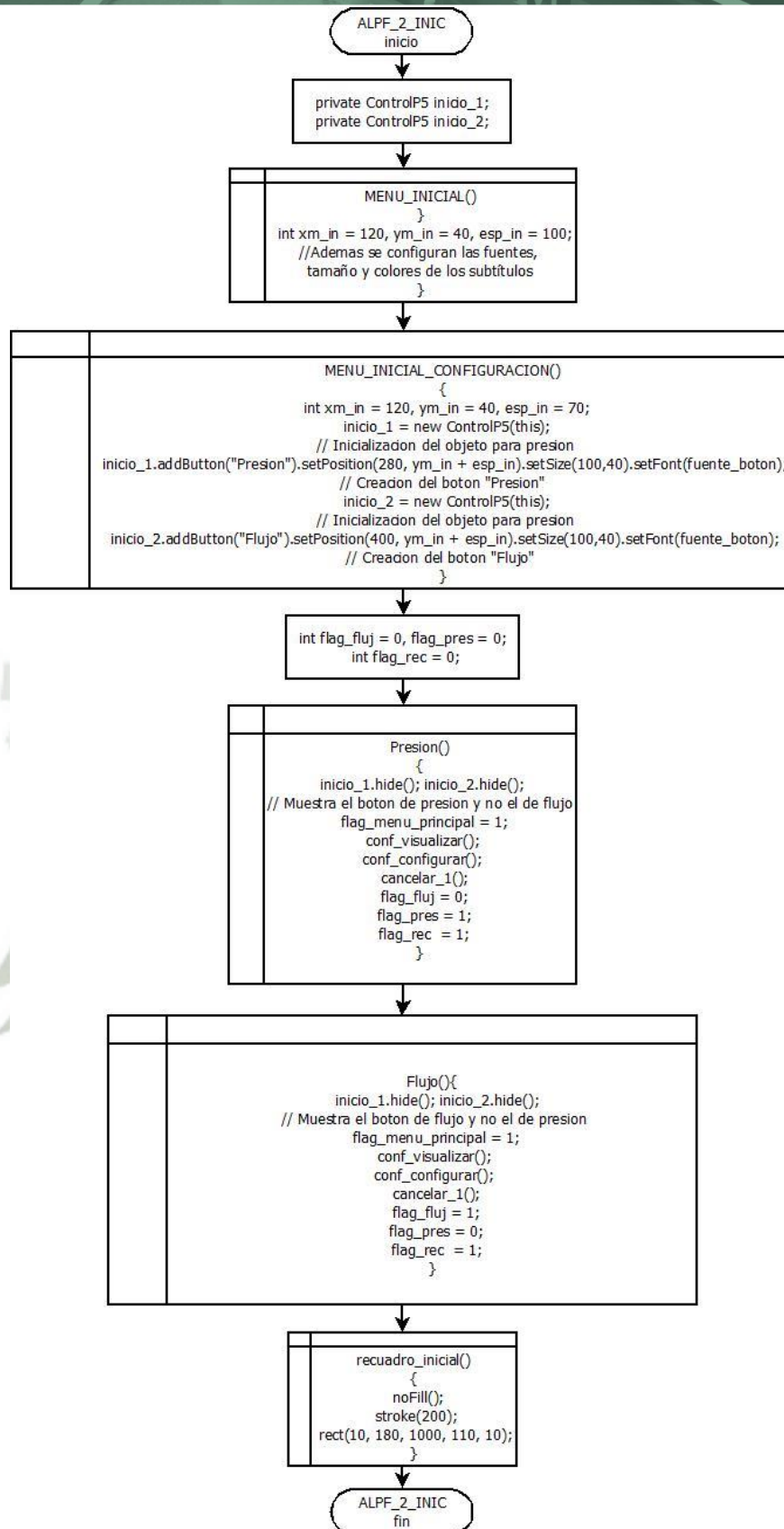


Diagrama 2 Diagrama de flujo para el segundo algoritmo de la interfaz ALICAT.

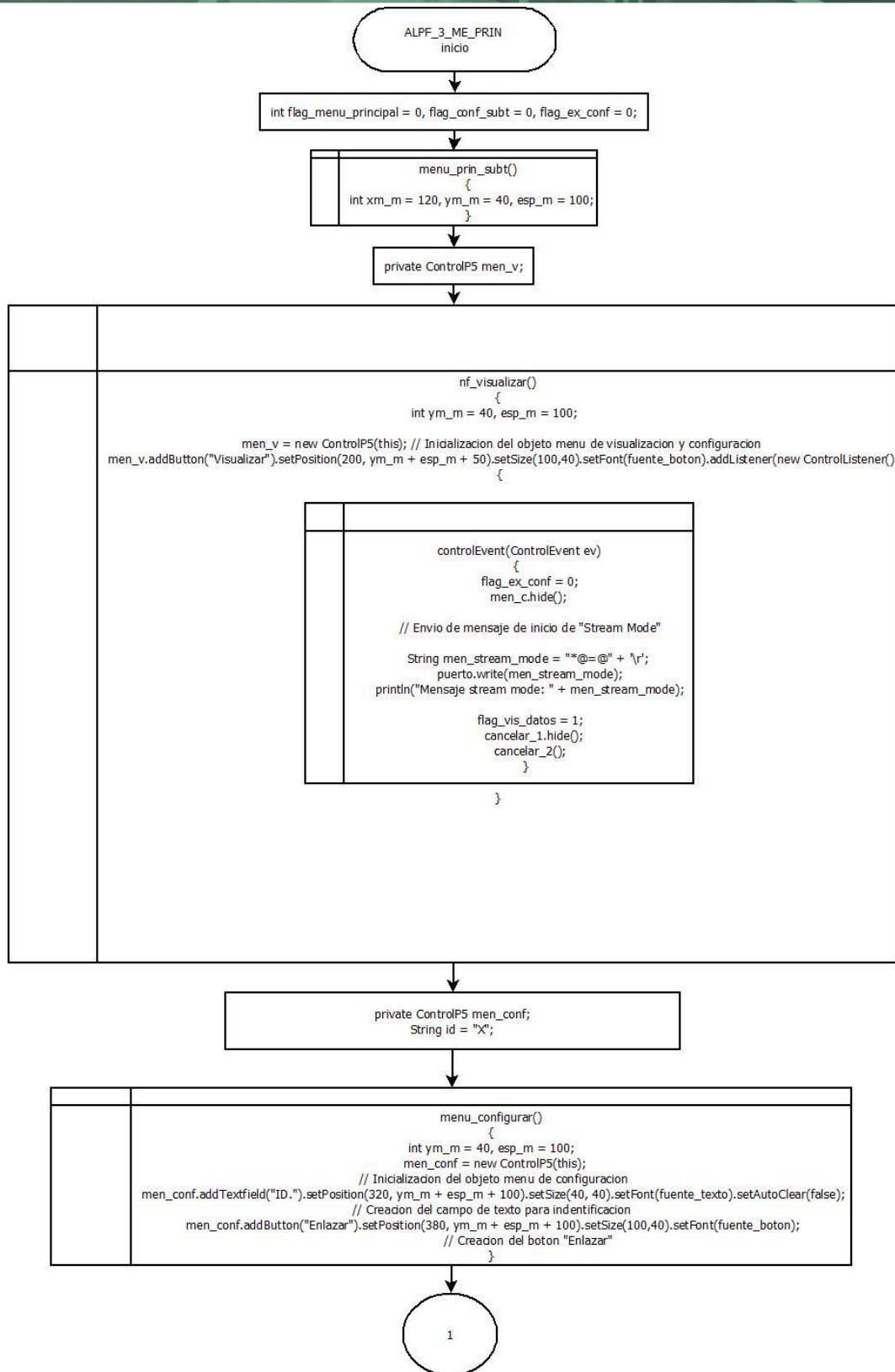


Diagrama 3 Diagrama de flujo para el tercer algoritmo de la interfaz ALICAT.(i)

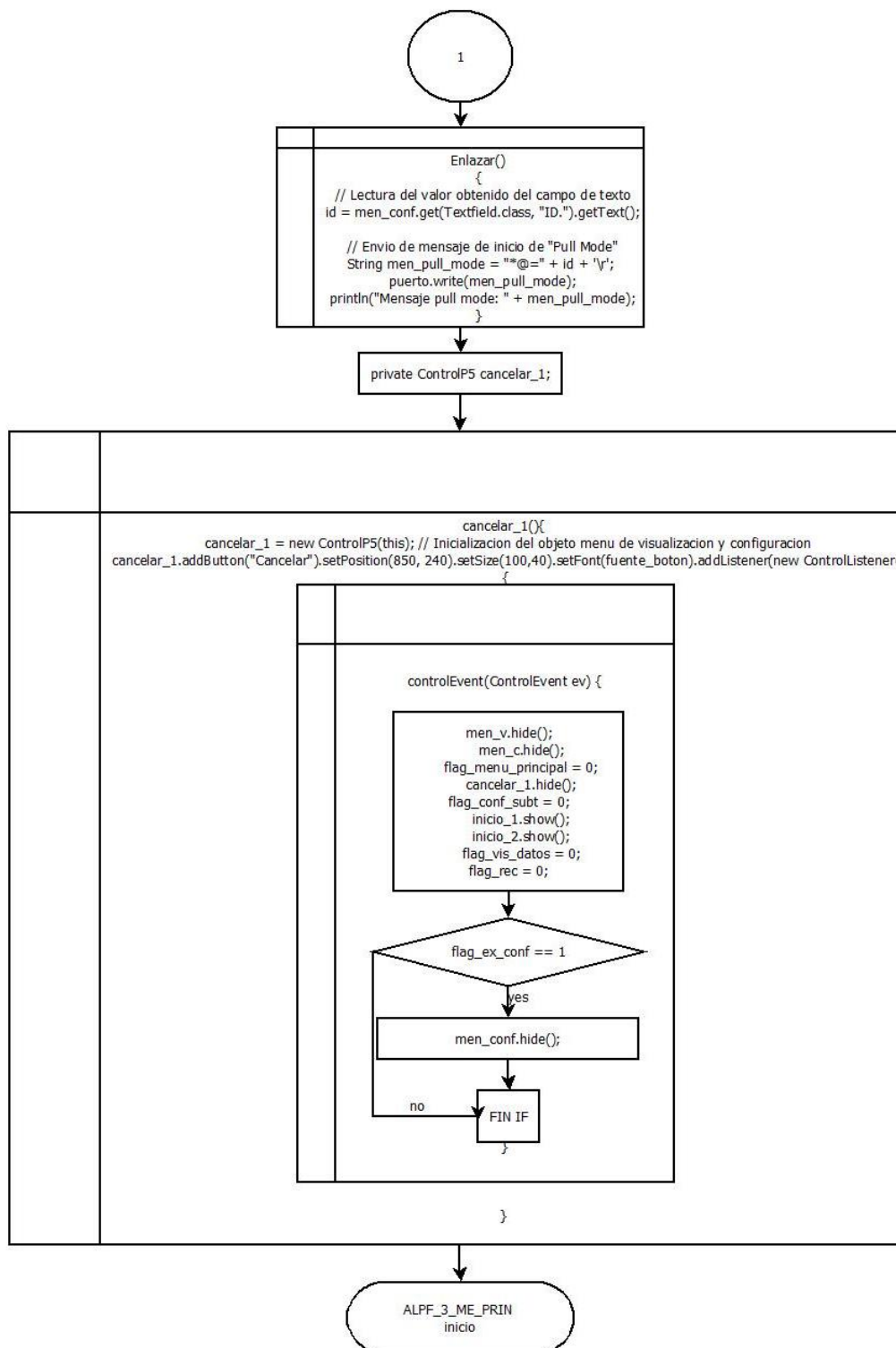
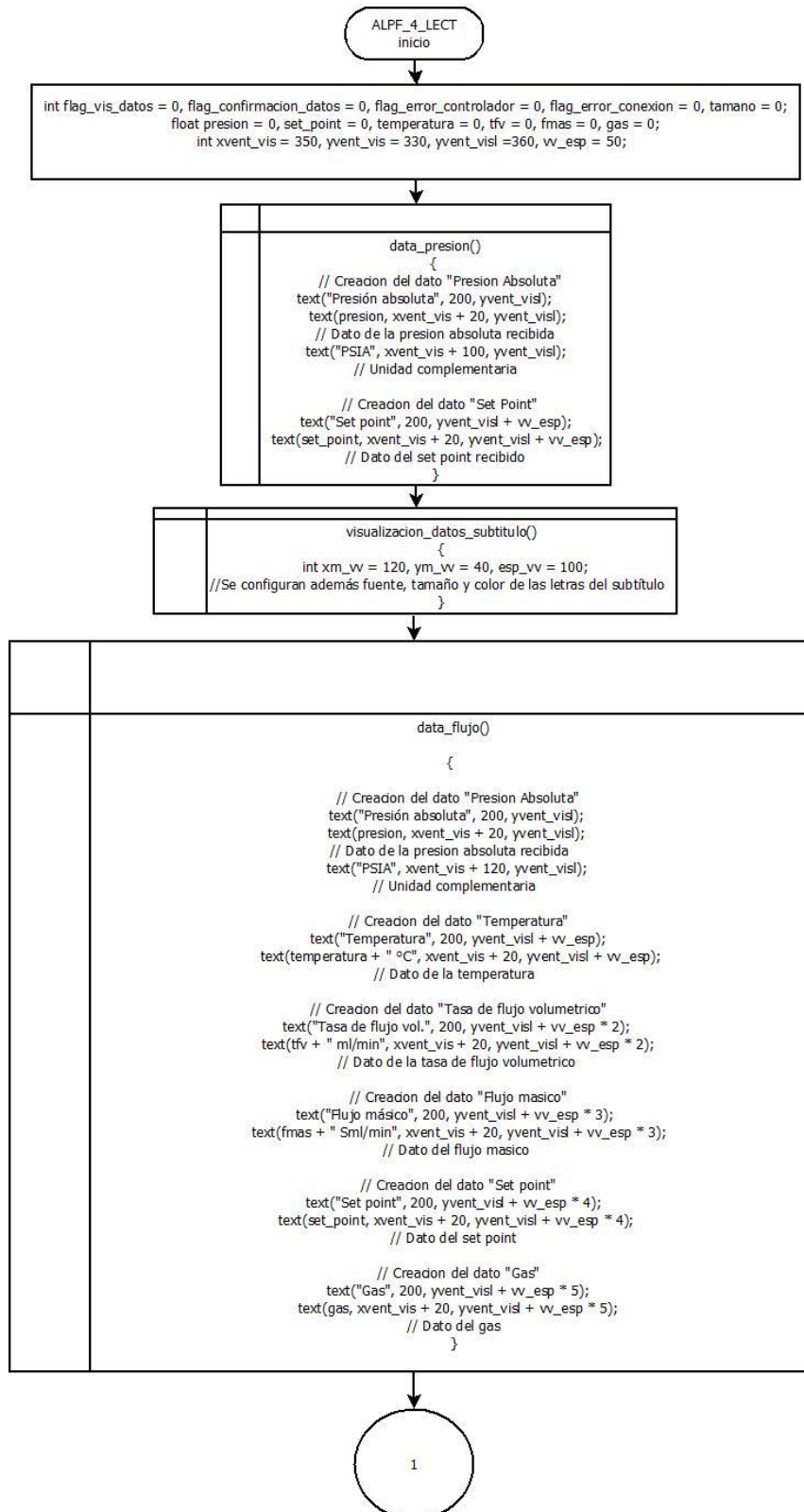


Diagrama 4

Diagrama de flujo

para el tercer algoritmo de la interfaz ALICAT (ii)



T. (i)

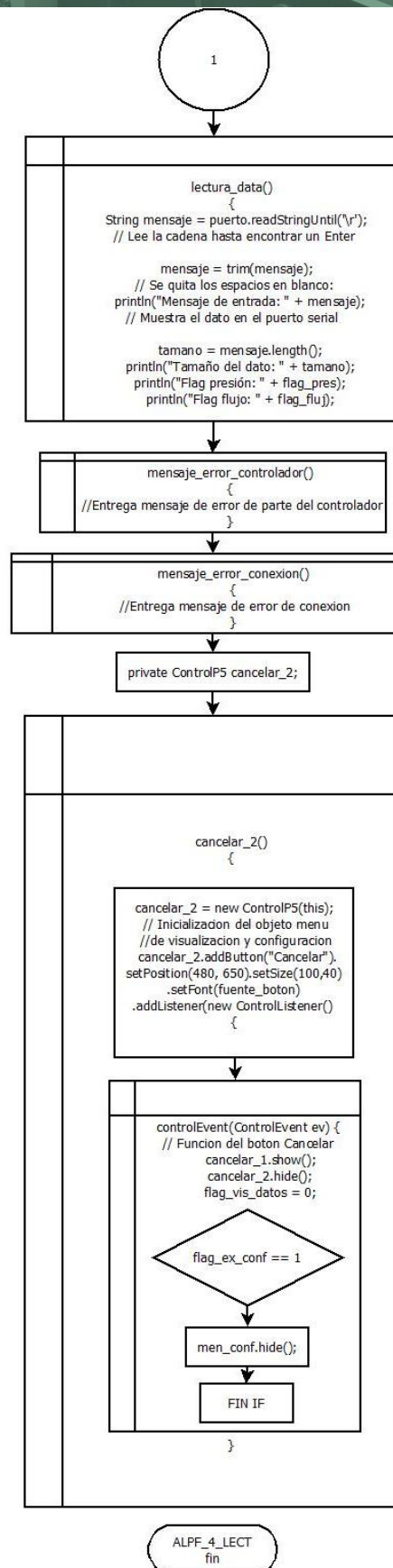


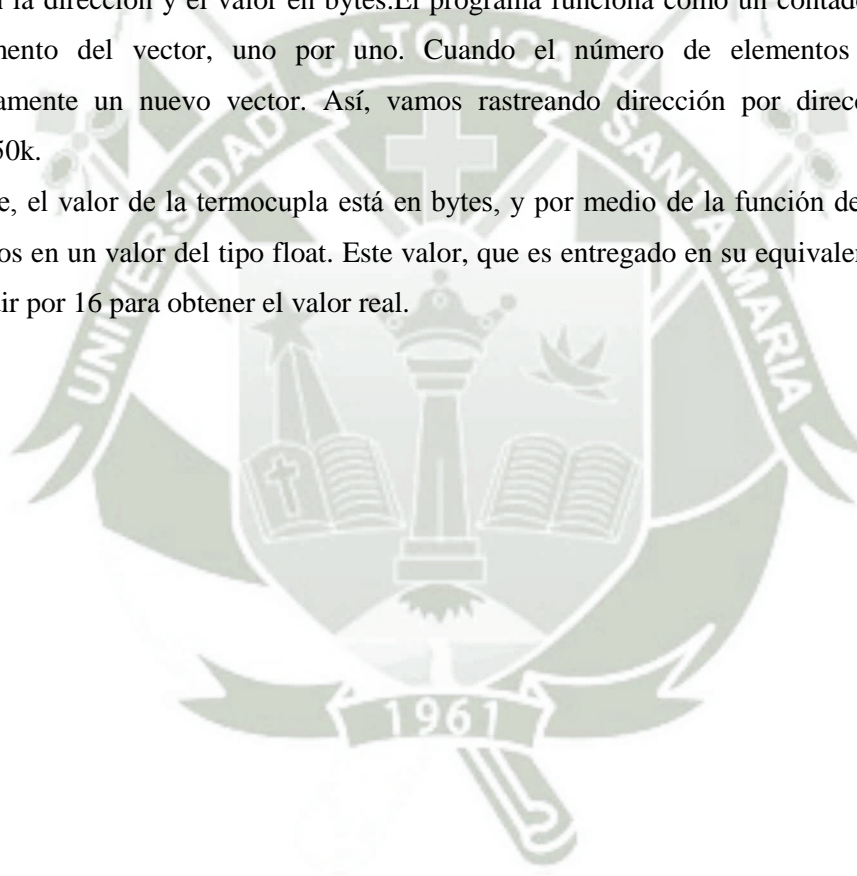
Diagrama 6 Diagrama de flujo para el cuarto algoritmo de la interfaz ALICAT.(II)

Anexo 05 ALGORITMO PARA LA INTERFAZ DE TERMOCUPLAS

En el *Diagrama (I) 1*, se describe la programación utilizada para la obtención de la data de la termocupla.

El fabricante del módulo MAX31850k, ha diseñado una librería para utilizar este módulo con Arduino. Por eso se incluye “OneWire.h”. Al declarar las variables, se crean también dos vectores que almacenan la dirección y el valor en bytes. El programa funciona como un contador, que va llenando cada elemento del vector, uno por uno. Cuando el número de elementos se llena, se crea automáticamente un nuevo vector. Así, vamos rastreando dirección por dirección, cada módulo MAX31850k.

Finalmente, el valor de la termocupla está en bytes, y por medio de la función de Arduino “raw”, la convertimos en un valor del tipo float. Este valor, que es entregado en su equivalente hexadecimal, se debe dividir por 16 para obtener el valor real.



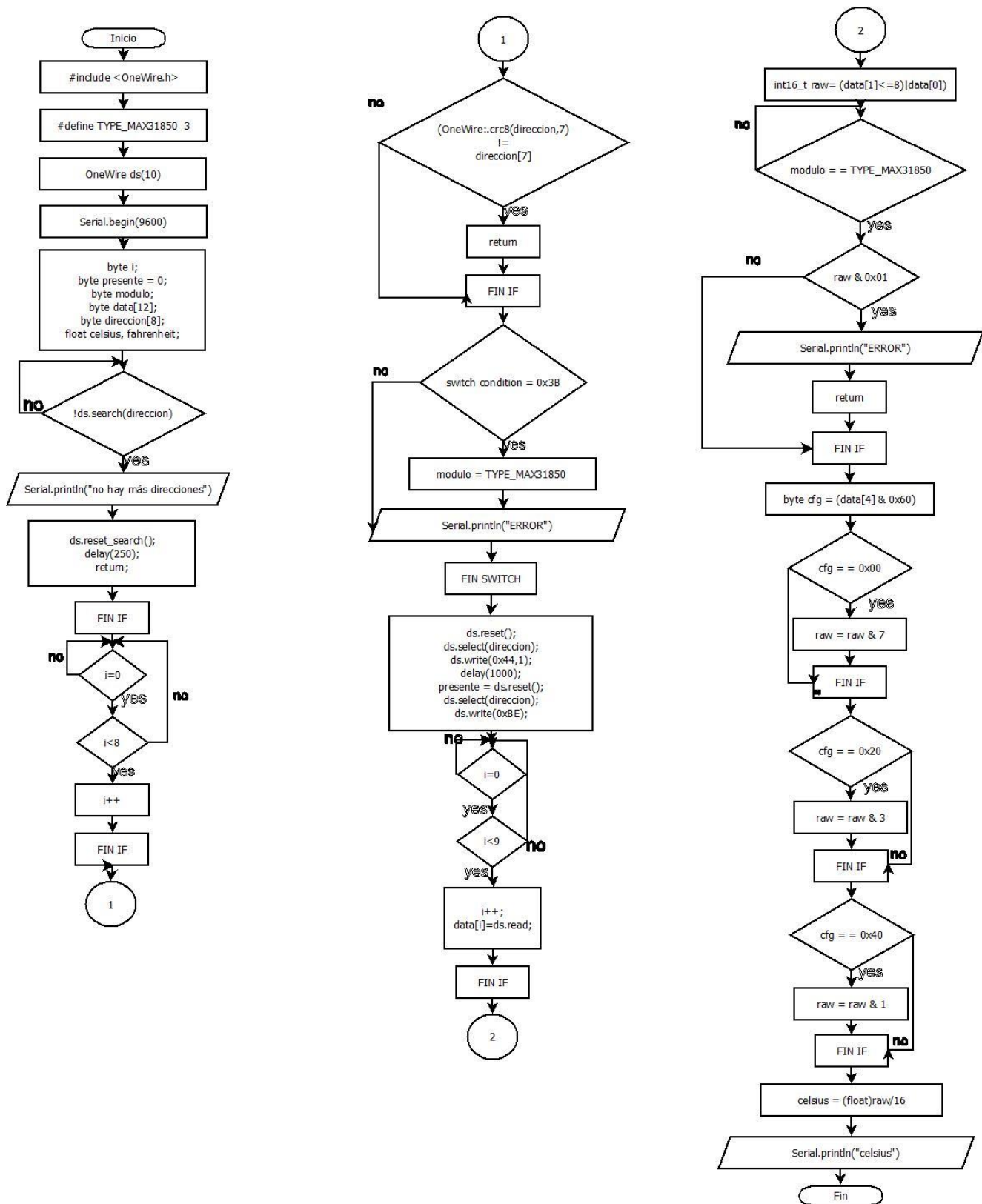


Diagrama (I) 1 Diagrama de flujo para el sistema de termocuplas que finalmente se muestra en la pantalla principal

Anexo 06 CÓDIGOS DE PARÁMETRO DEL PROTOCOLO AIBUS PARA EL MÓDULO S

A continuación se presentan los códigos de parámetro del protocolo AIBUS para el módulo S:

Dirección	Controlador AI – 708/808/708P/808 P (V7.0 a V7.1)	Indicador Multi – Canal	Totalizador de flujo AI-708H/Y	Controlador de frecuencia/ módulo IO	Controlador V7.5 AI-501/701/519/704 8
00H	SV (setpoint) o SteP (segmentación del programa)		SV (control del SetPoint)	SV (control de frecuencia del SetPoint)	SP1 o SP2 o SteP (tipo de programa)
01H	HIAL (Alarma límite alta)	HIA (X)	FHIA	HIAL	HIAL (Alarma límite alta)
02H	LoAL (Alarma límite baja)	LoA (X)	FLoA	LoAL	LoAL (Alarma límite baja)
03H	dHAL (Desviación de alarma límite alta)		SPE	dHAL	HdAL (Desviación de alarma límite alta)
04H	dLAL (Desviación de alarma límite baja)		Act	dLAL	LdAL (Desviación de alarma límite baja)
05H	dF (Banda muerta)	dF (X)	Esn	dF	AHYS (histéresis)
06H	Ctrl (Modo Control)		FSc	Ctrl	At (Interruptor de Auto tuning)
07H	M5 (Parámetro de retención)		PdIH	M5	P (Banda Proporcional)
08H	P (Parámetro de valoración)		CSc	P	I (tiempo de integración)
09H	t (Parámetro de retardo)		CdIH	t	D (tiempo de derivación)
0AH	CtI (Período de control)		Cut	CtI	CtI
0BH	Sn (Especificación de entrada)	Sn(X)	FdIH	Frd (rango de frecuencia)	InP (Especificación de entrada)
0CH	dIP (Posición del punto decimal)	dIP (X)	FdIP	dIP	dPt (Posición del punto decimal)
0DH	dIL (Límite de entrada menor)	Dil (X)	PA	dIL	SCL (Límite de entrada menor)
0EH	dIH (Límite de entrada mayor)	dIH (X)	Po	dIH	SCH (Límite de entrada mayor)
0FH	ALP (Asignación de la alarma de salida)	ALP(X)	Co	ALP	AOP (Asignación de la alarma de salida)

10H	Sc (Compensación de entrada)	Sc (X)	Frd	Estado del interruptor	SCb (Compensación de entrada)
11H	OP1 (Modo de salida)	oPn (Canal de salida de retransmisión)	CF	oP1	OPt (Modo de Salida)
12H	OPL (Salida de límite bajo-mV)	IoL (retransmisión de límite bajo)	Bc	OPL	OPL
13H	OPH(Salida de límite alto-mV)	IoH(retransmisión de límite alto)	IoL	OPH	OPH
14H	CF(Selección de función)	AF(Selección de función)	FoH	CF	AF(Función avanzada de selección)
15H	Identificación del modelo del instrumento ó código del estado del programa	Identificador de modelo	Identificador de modelo	Identificador de modelo	Identificador de modelo
16H	Addr (Dirección de comunicación)	Addr	Addr	Addr	Addr
17H	dL (Filtro de entrada)	dL	Ioh	dL	FILt(Filtro de entrada)
18H	run (Parámetro de desplazamiento)	no/nc (Selección de NO/NC)	DI	Desplazamiento	A-M (Selección automática – manual)
19H	Loc (Parámetro de bloqueo)	Loc	Loc	Loc	Loc
1AH	MV (valor de salida manual) OrC01 (para el modo programación)	De repuesto	De repuesto	MV	MV
1BH	t01	De repuesto	FDF		nonc (NO/NC selection)
1CH	C02		CHIA		Unidad (unidad de medida)
1DH	t02		CLOA		Ctrl
1EH	C03		PHIA		Act (acción directa o inversa)
1FH	t03		PLOA		CHYS (control en la histéresis)
20H	C04		ALP		Fru (selección de la unidad y la frecuencia de alimentación)
21H	t04		FSB		Aut (tipo de salida auxiliar)
22H	C05		CDIP		OPrt (Comienzo suave)
23H	t05		PDIP		OHEF (rango de trabajo de OPH)
24H	C06		PSc		SPr (Iniciar el control dependiente)
25H	t06		CLN		SPL (límite)

					inferior del Set Point)
26H	C07		FLJH		SPH (límite superior del Set Point)
27H	t07		FLJL		SP1 (Set Point 1)
28H	C08		EJH		SP2 (Set Point 2)
29H	t08		EJL		
2AH	C09		Acumulación de datos clara		
2BH – 55H	T09 – C31 (programar información)				
56H	Tiempo de ejecución (sólo lectura)				
57H	MV (valor de salida manual, sólo para poder programar)				

Nota:

No hay respuesta para leer cualquier código de parámetros que no estén incluidos en la tabla anterior.

1AH es el valor de la salida manual, en los instrumentos que tienen la función de control manual.

15H es la especificación del modelo del instrumento:

Modelo	Identificador de modelo
AI-518/708/808 (V7.1)	Velocidad de transmisión (4800/9600/19200)
AI – 518P/708P/808P (V7.1)	Byte de control de programas

Para la serie de instrumentos AI 708P/808P, 15H es el dígito de control del programa. El MSB (Bit más significativo) es 0, y el LSB (Bit menos significativo) es como sigue:

(X) (X) (X) (X) (EV2) (EV1) (HOLD) (STOP)

Los primeros 4 bits no aplican.

HOLD y STOP = 0, la ejecución del programa.

STOP = 0 y HOLD = 1, el programa pausa.

STOP = 1 y HOLD = 1, el programa para.

EV1 o EV2, indica el estado del evento de salida. 1, significa que el evento de salida no está funcionando.

Limpiar acumulación de flujo:

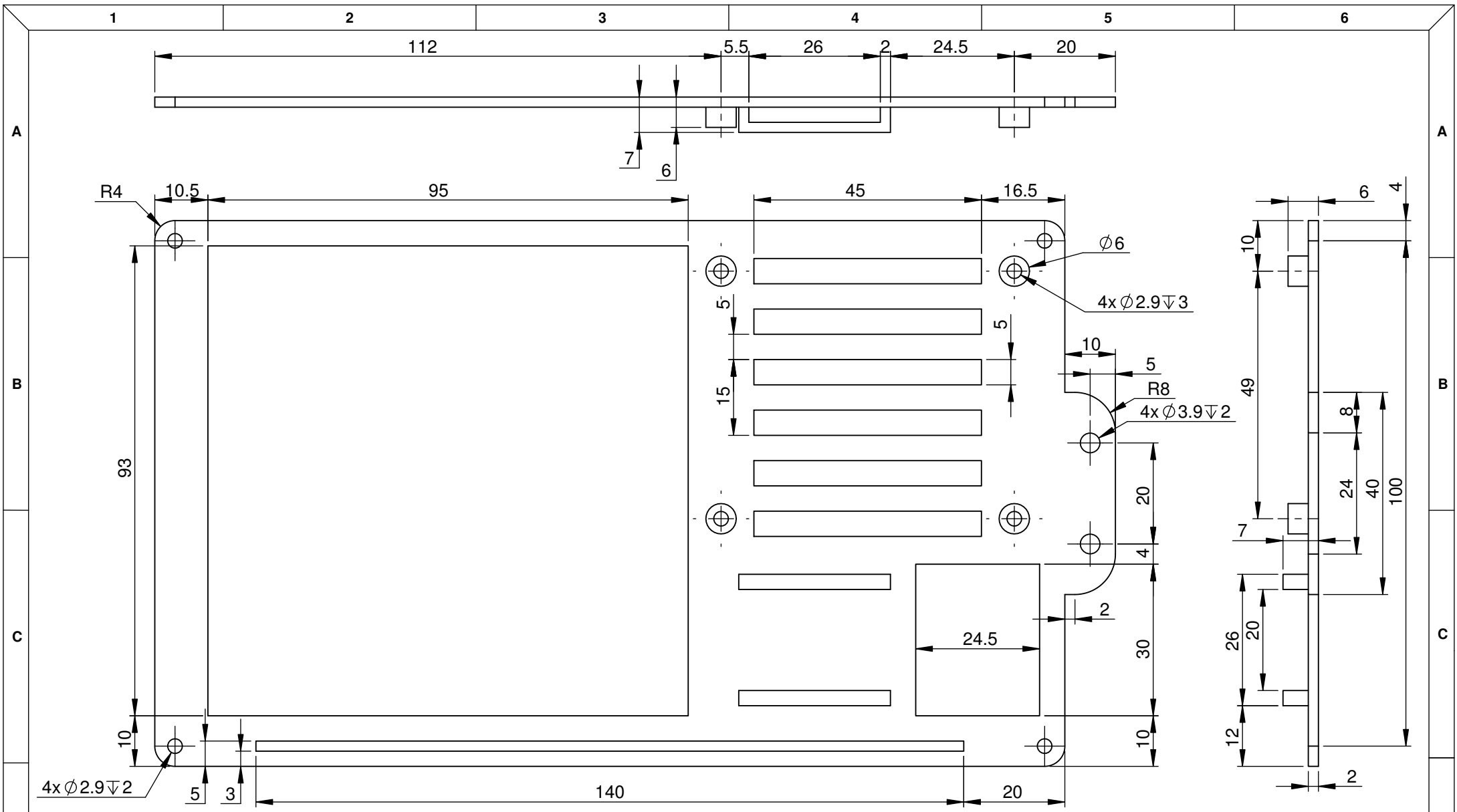
El parámetro de la acumulación de flujo FLJH y FLJL del AI 708H/808H puede ser reseteados a 0, pero no modificado. El método es escribir 30808 al FLJH, luego el FLJH, FLJL (acumulación de flujo) y FJH, EJL (acumulación de flujo antes de la compensación) será reseteado a 0, y el parámetro CLn se incrementará en 1. CLn es de sólo lectura. Si se escribe 31808 al código de parámetro 2AH,

puede limpiar el valor de la acumulación de lotes, y también resetear el relé de salida de control de lotes.



Anexo 07 PLANOS DE HARDWARE





NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

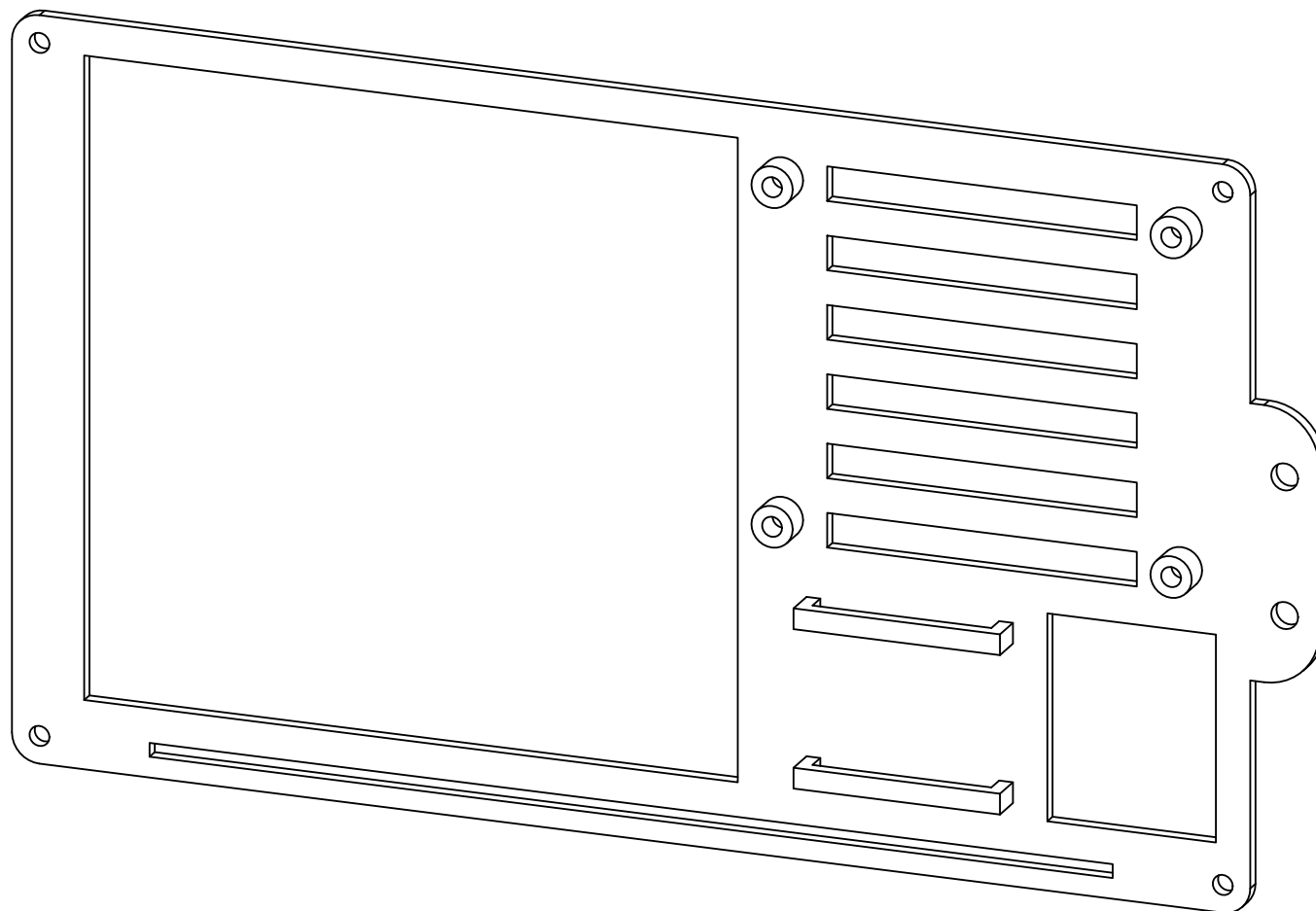
CÓDIGO DIBUJO
HOR - DIS - PZA - 1

PLANO
CASE PARA DISPLAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

NOMBRE		FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	35 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 2

A4



NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

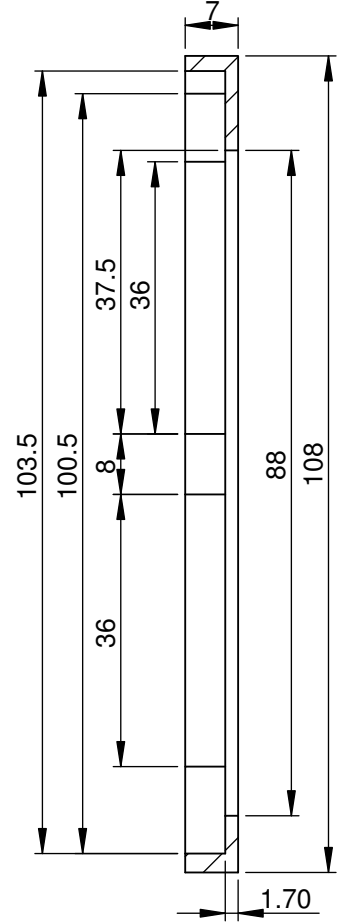
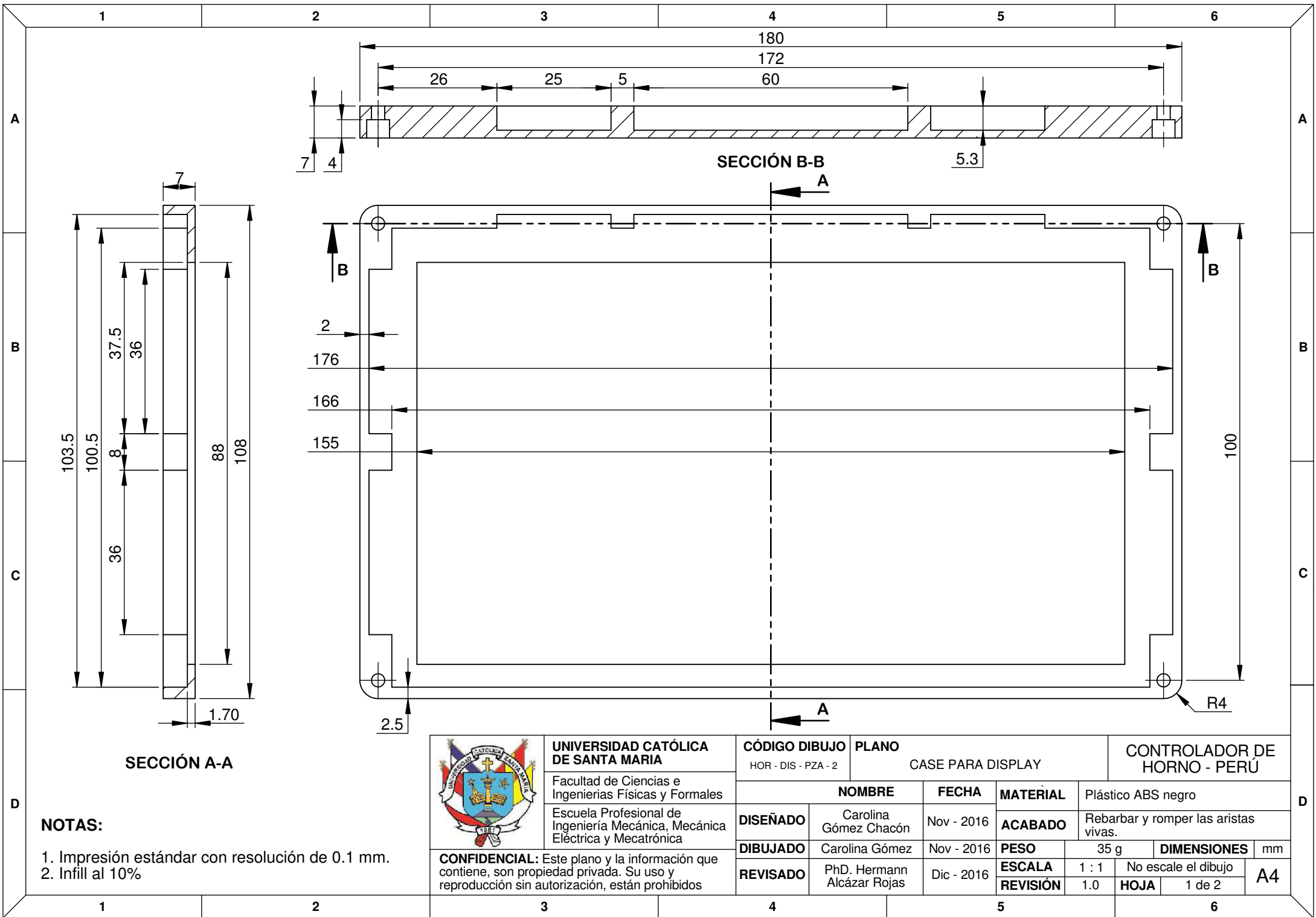
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
HOR - DIS - PZA - 1

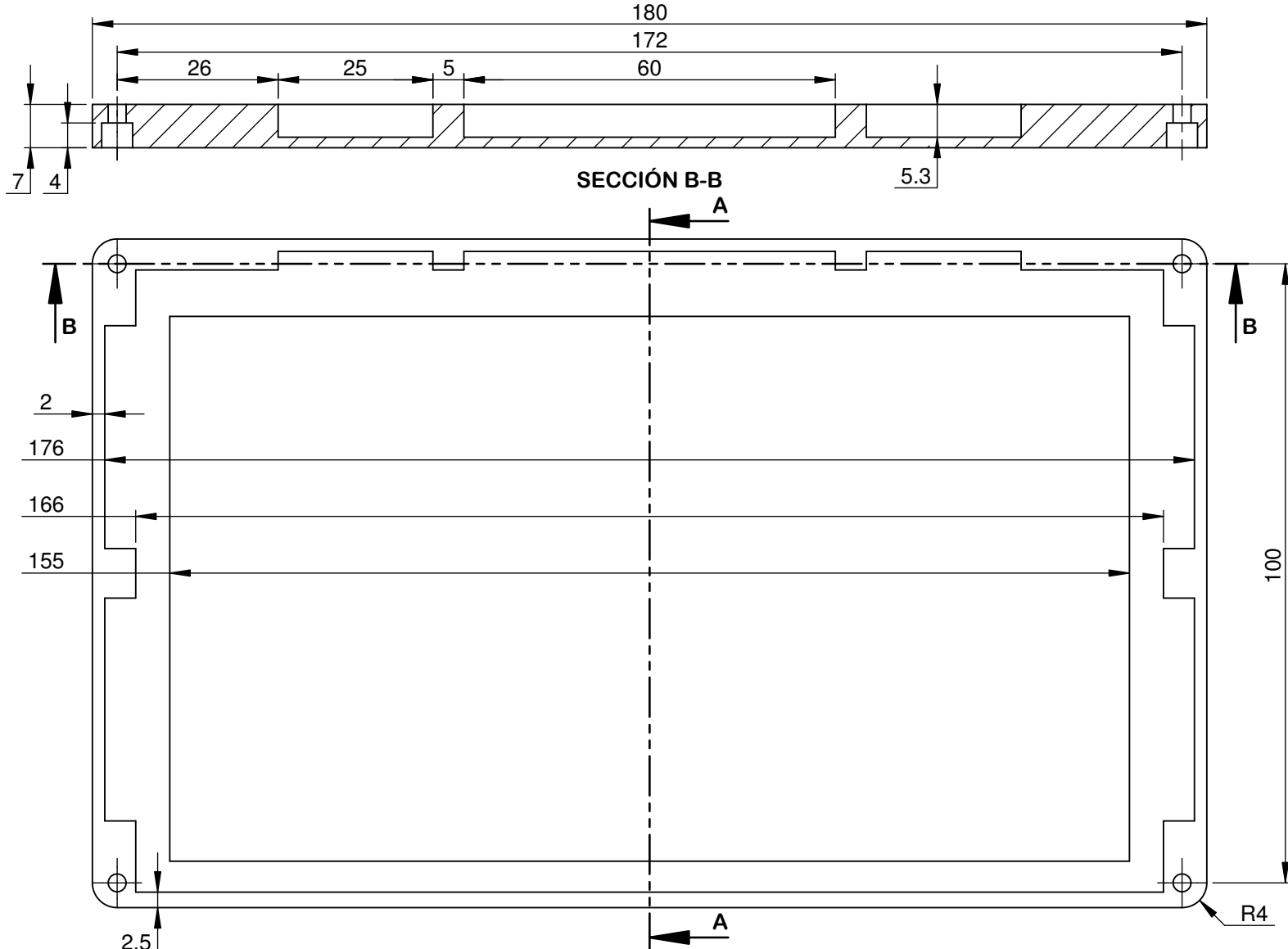
PLANO
CASE PARA DISPLAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	35 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	2 de 2	



SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B

NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

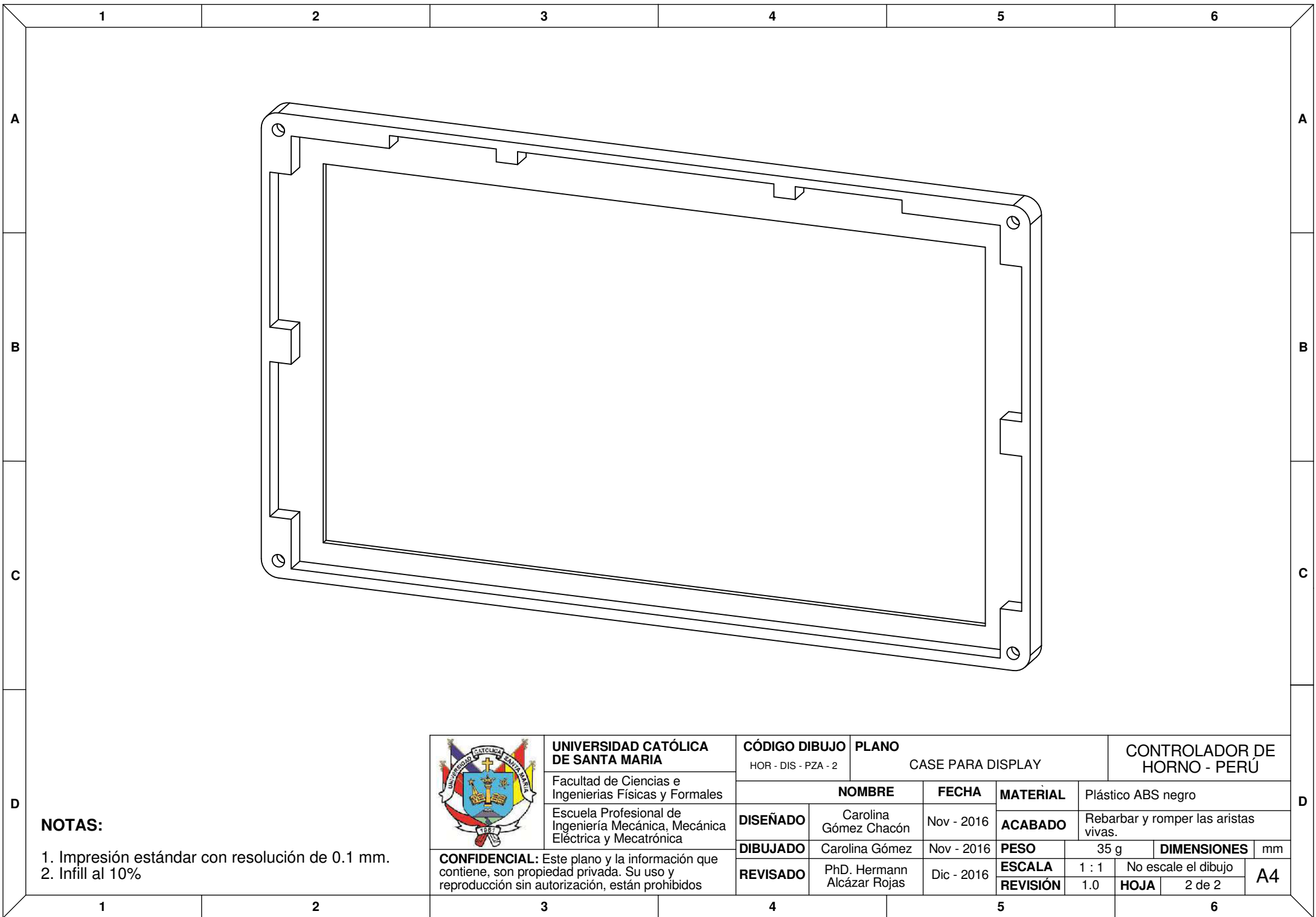
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
HOR - DIS - PZA - 2

PLANO
CASE PARA DISPLAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	35 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 2	



NOTAS:

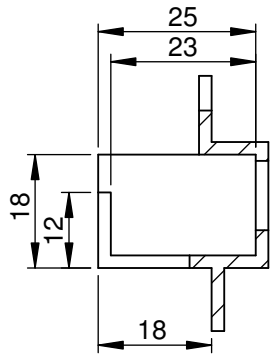
- 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
- 2. Infill al 10%



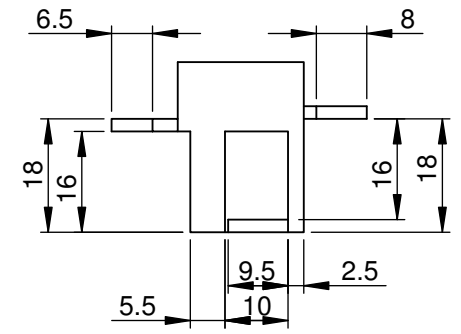
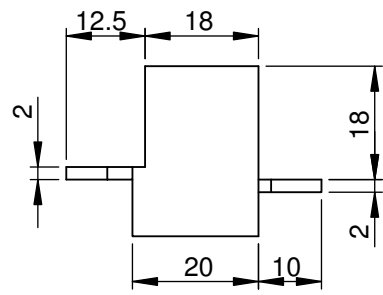
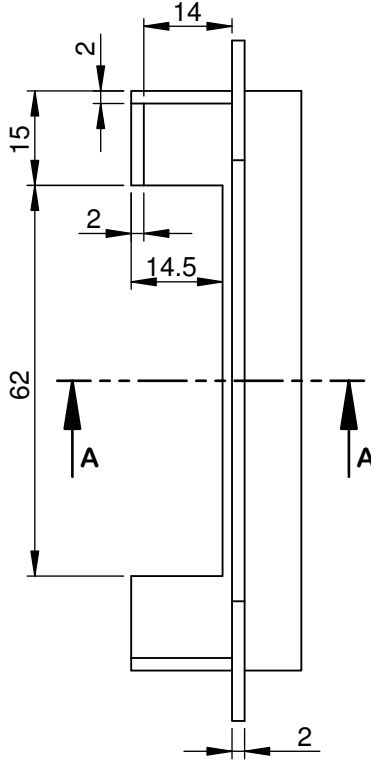
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

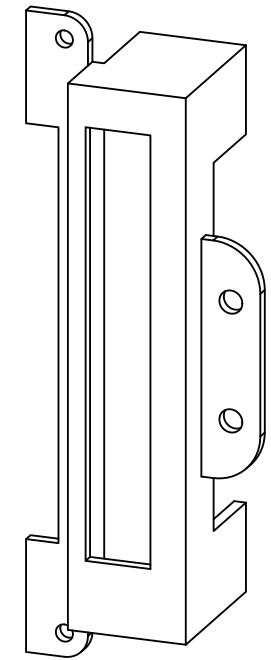
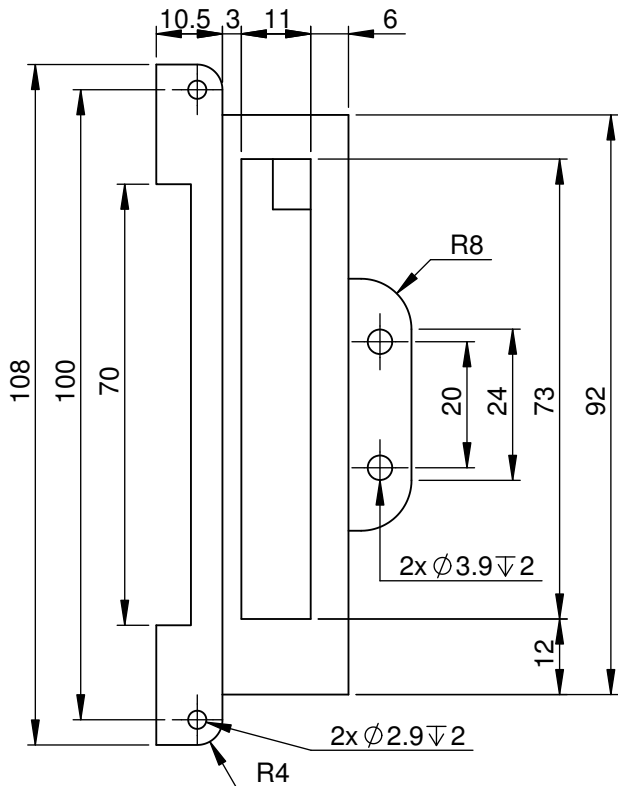
CÓDIGO DIBUJO HOR - DIS - PZA - 2		PLANO CASE PARA DISPLAY			CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ		
		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	35 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	2 de 2	



SECCIÓN A-A



VISTA AUXILIAR INFERIOR



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

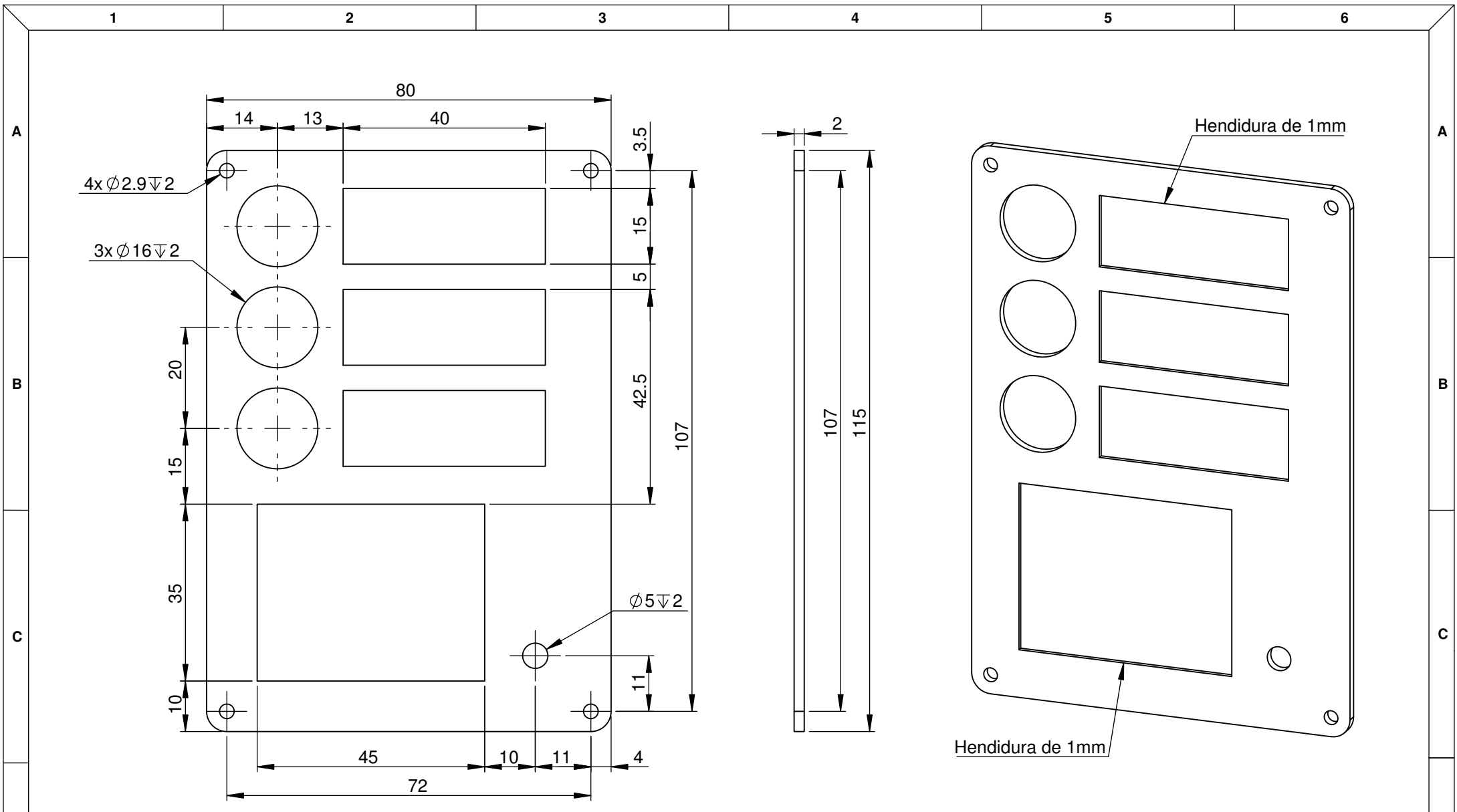
CÓDIGO DIBUJO
 HOR - DIS - PZA - 3

PLANO
 CASE PARA DISPLAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

NOMBRE		FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	25 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	5 : 6	No escale el dibujo	
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1

A4



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

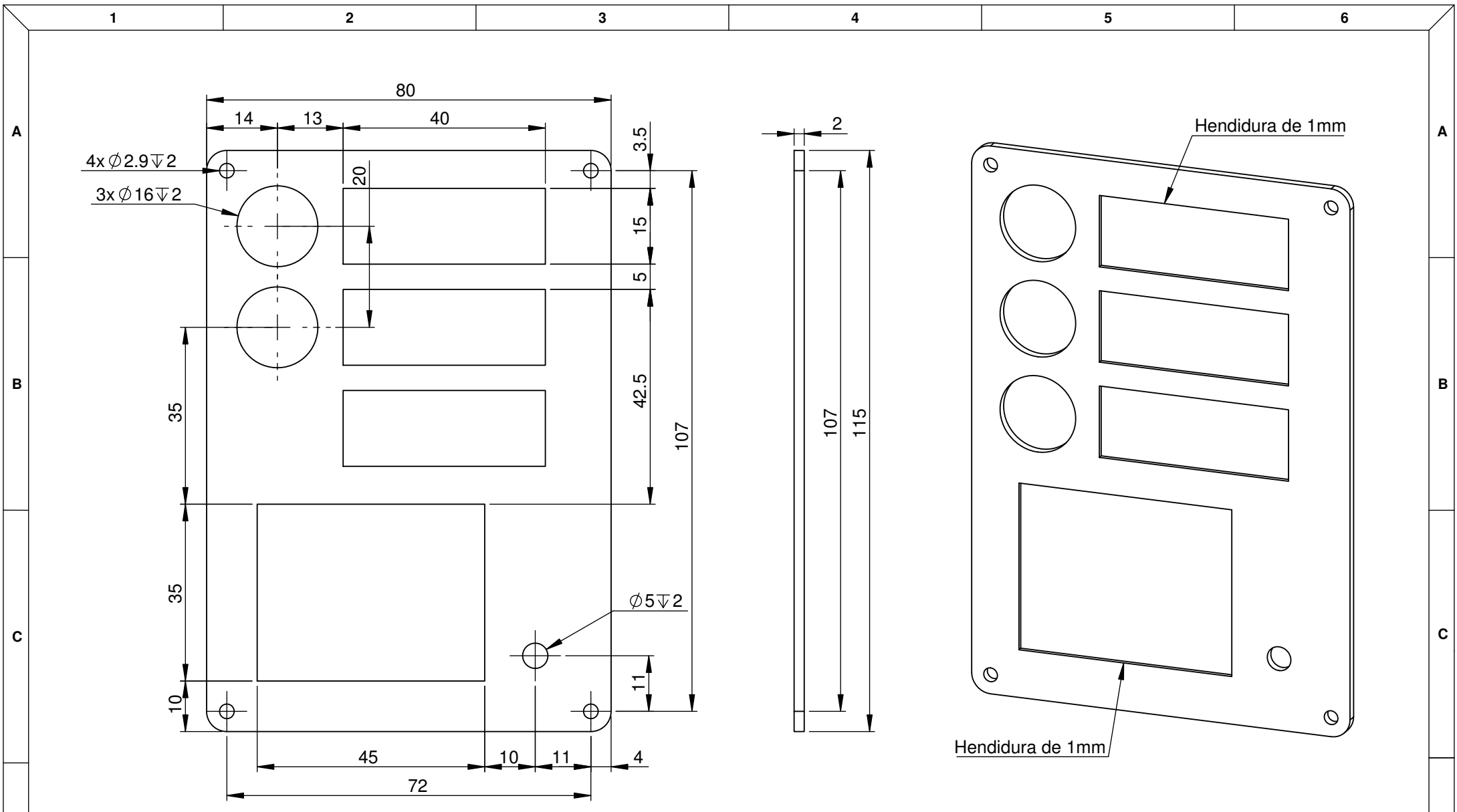
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
 HOR - CON - T1 - PZA - 2

PLANO
 CASE PARA INTEGRADOR ALICAT / CONTROLADOR DE TEMPERATURA

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	30 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1	



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

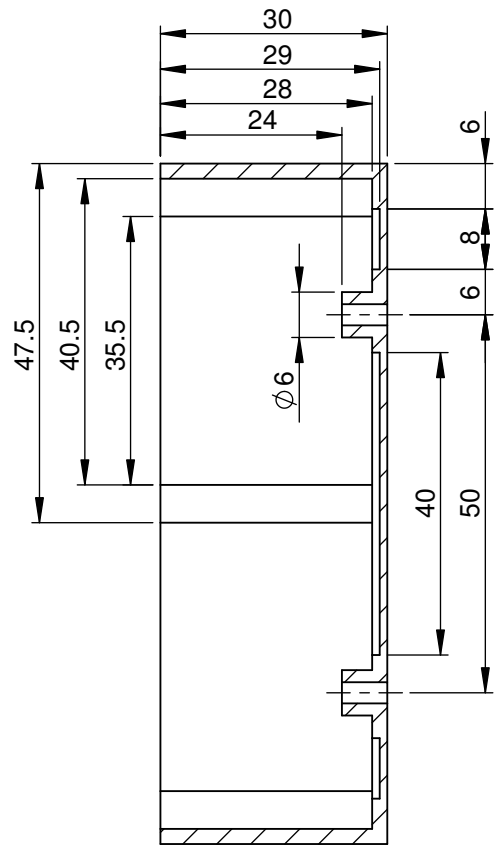
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
 HOR - CON - T2 - PZA - 1

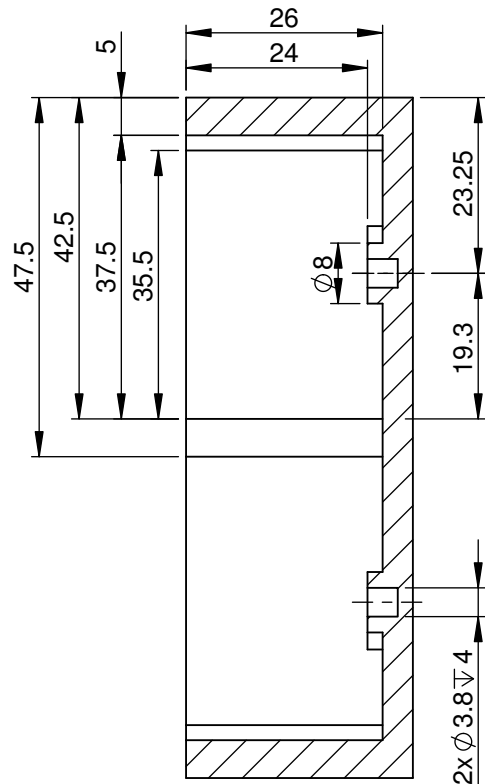
PLANO
 CASE PARA INTEGRADOR ALICAT / CONTROLADOR DE TEMPERATURA

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

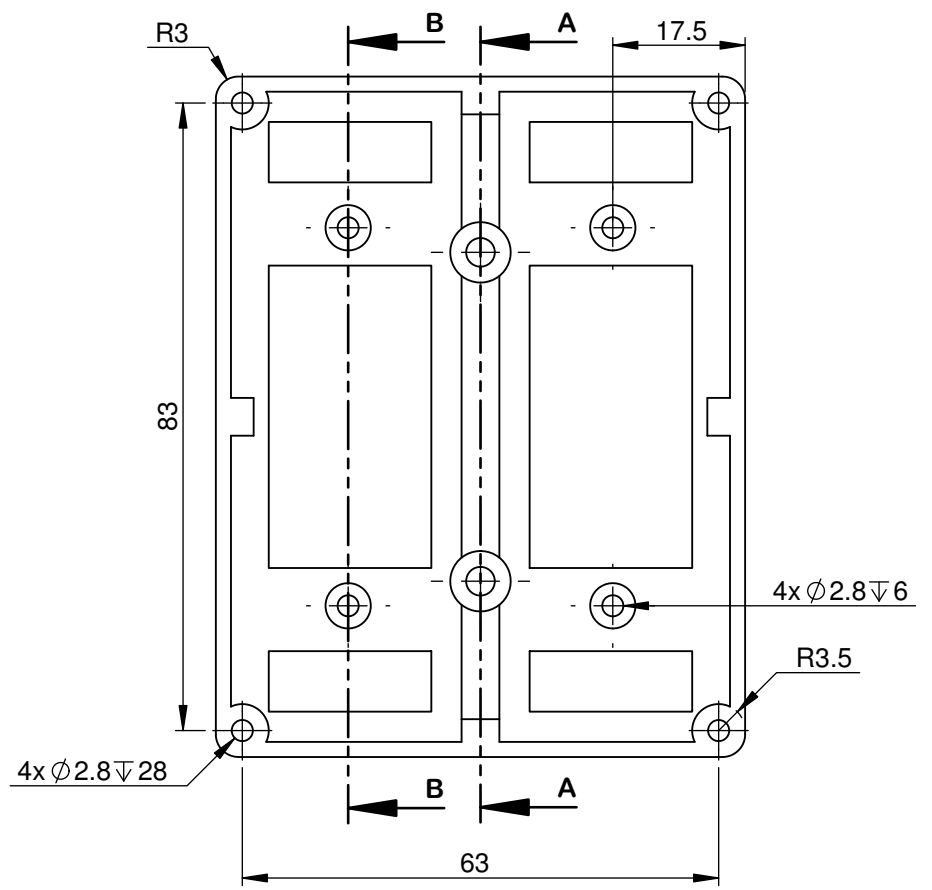
		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	30 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1	



SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

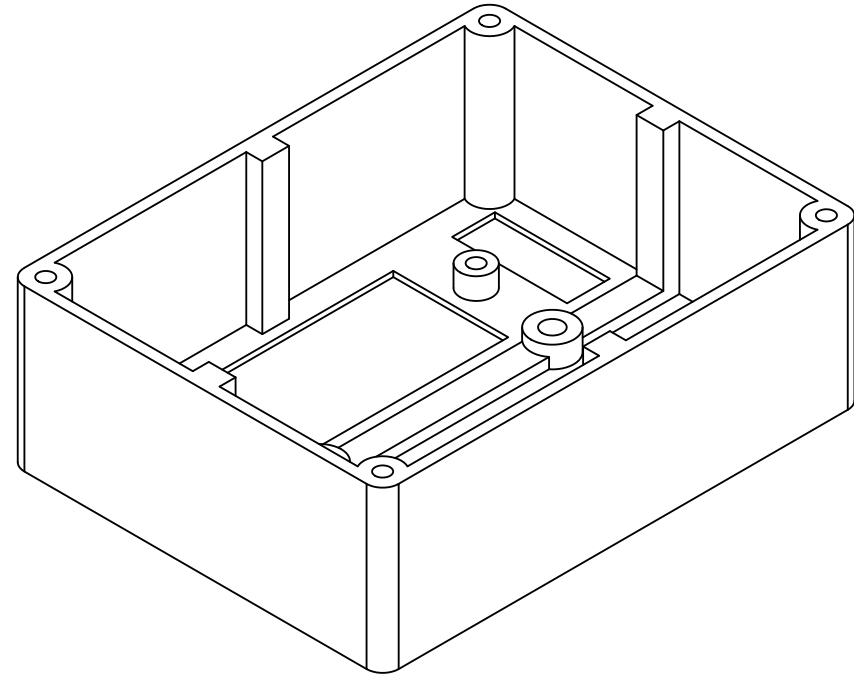
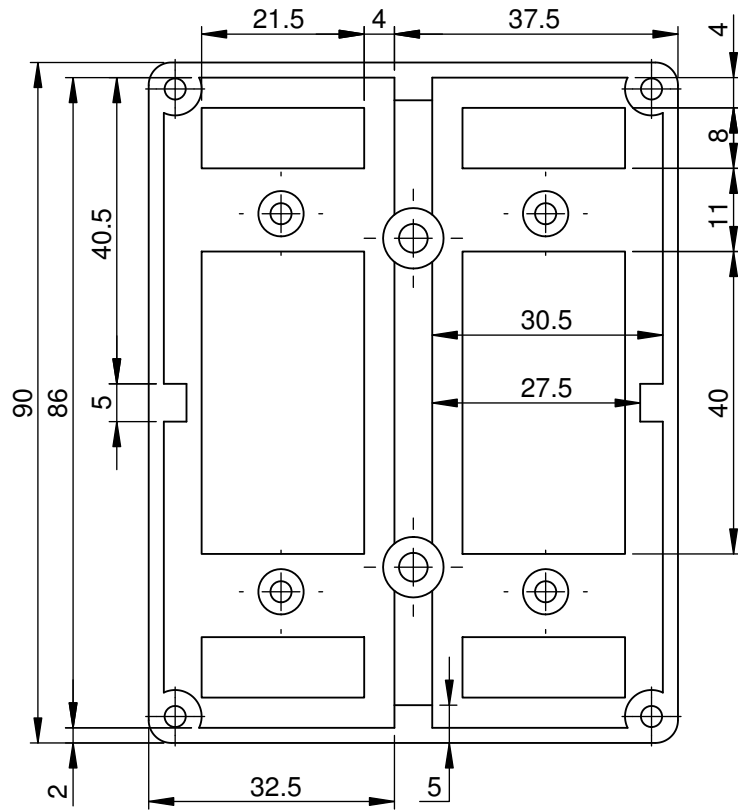
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
 HOR - GEN - PZA - 3

PLANO
 CASE PARA COMUNICACIÓN
 ALICAT / RS485

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	45 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 2	



NOTAS:

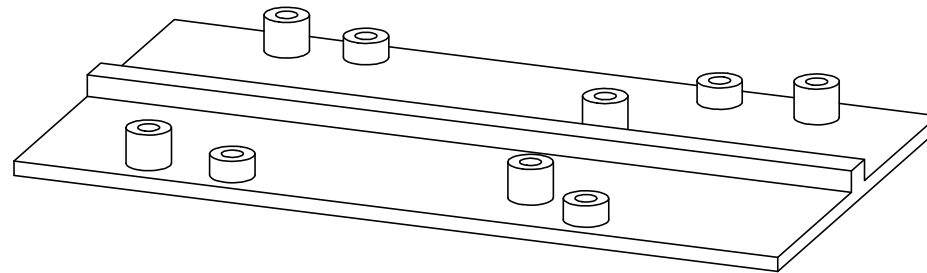
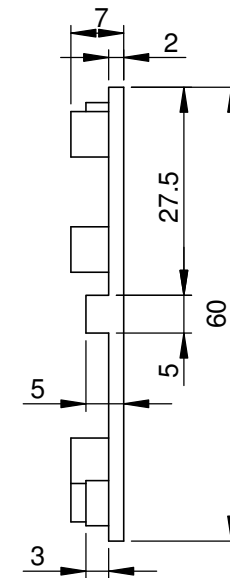
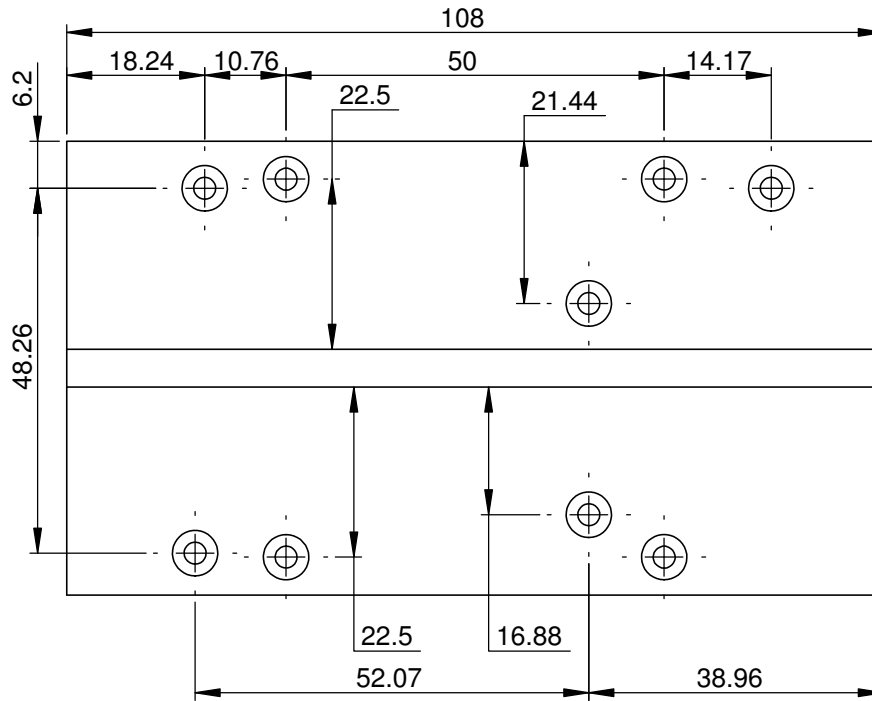
- 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
- 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO HOR - GEN - PZA - 3	PLANO CASE PARA COMUNICACIÓN ALICAT / RS485		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ		
DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro			
DIBUJADO Carolina Gómez	REVISADO PhD. Hermann Alcázar Rojas	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 45 g	DIMENSIONES mm	
		ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo		A4
		REVISIÓN 1.0	HOJA 2 de 2		



NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

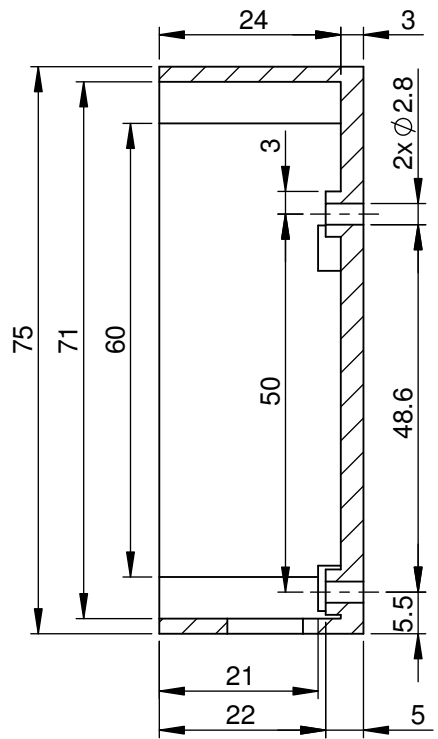
CÓDIGO DIBUJO
HOR - CON - T4 - PZA - 1

PLANO
CASE INTEGRADOR DE COMUNICACIÓN MAESTRO

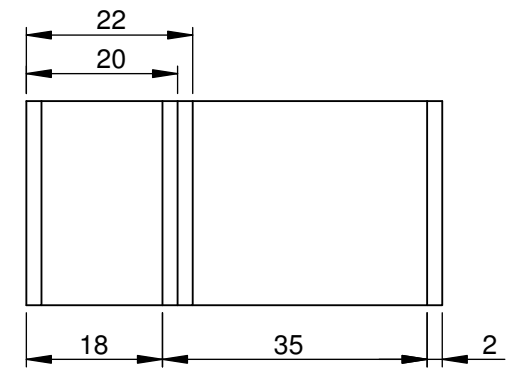
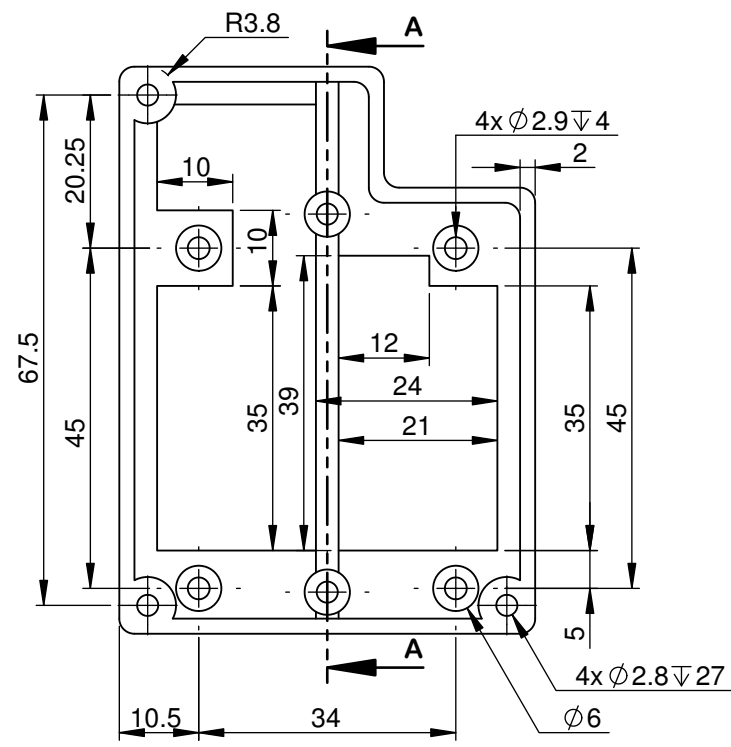
CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

NOMBRE		FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	25 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1

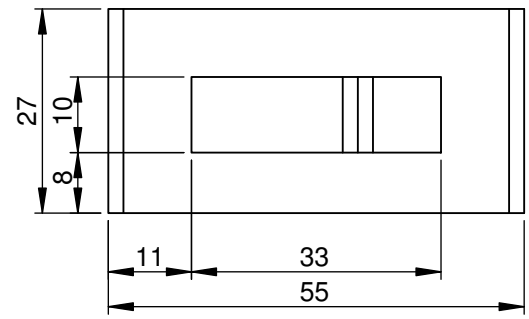
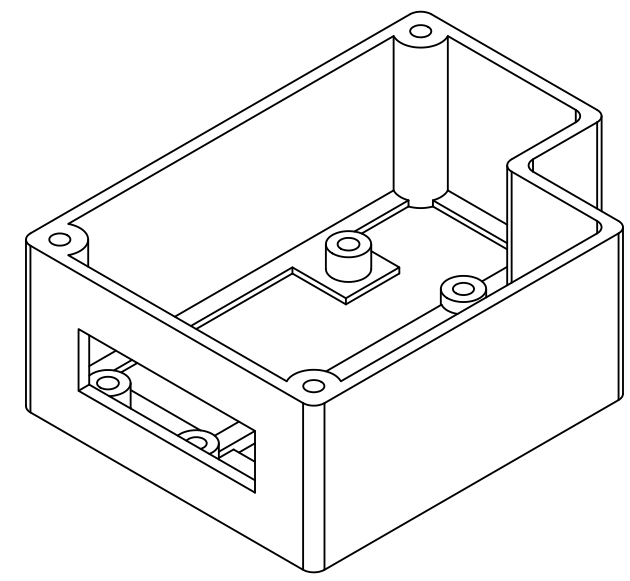
A4



SECCIÓN A-A



VISTA AUXILIAR SUPERIOR



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CÓDIGO DIBUJO
 HOR - GEN - PZA - 5

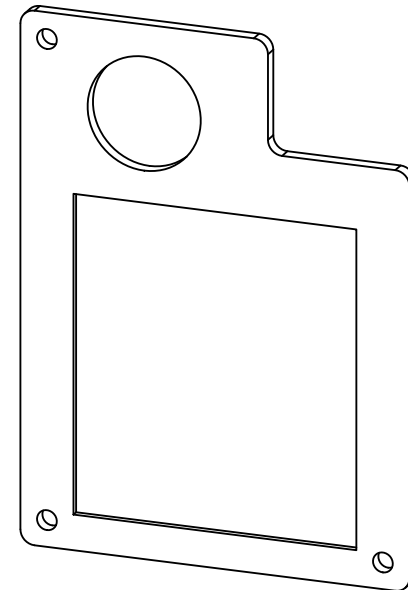
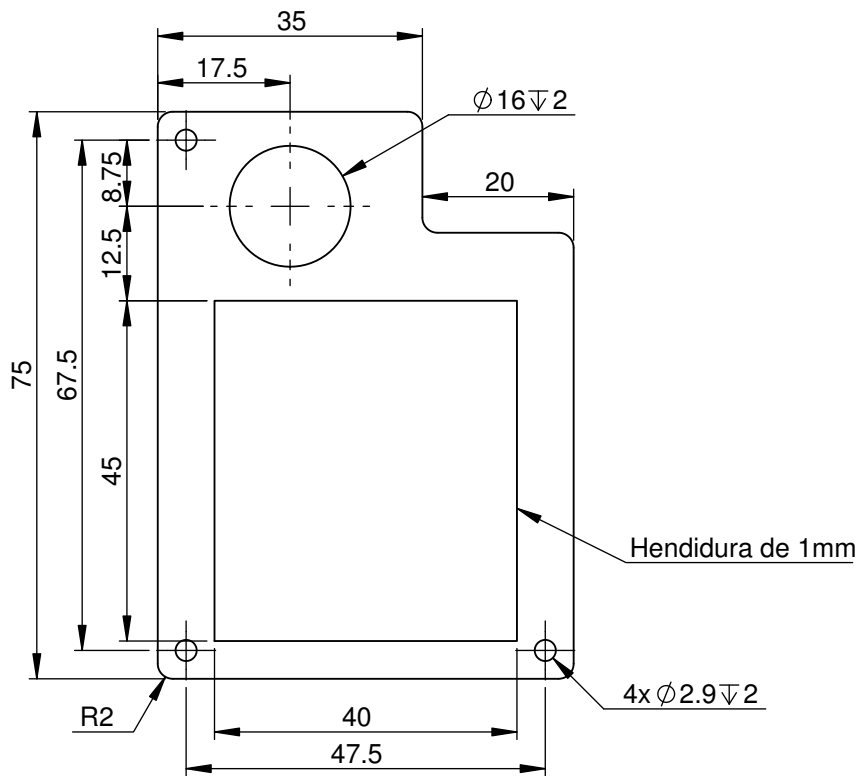
PLANO
 CASE PARA RELAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

NOMBRE		FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	30 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1

A4



NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO

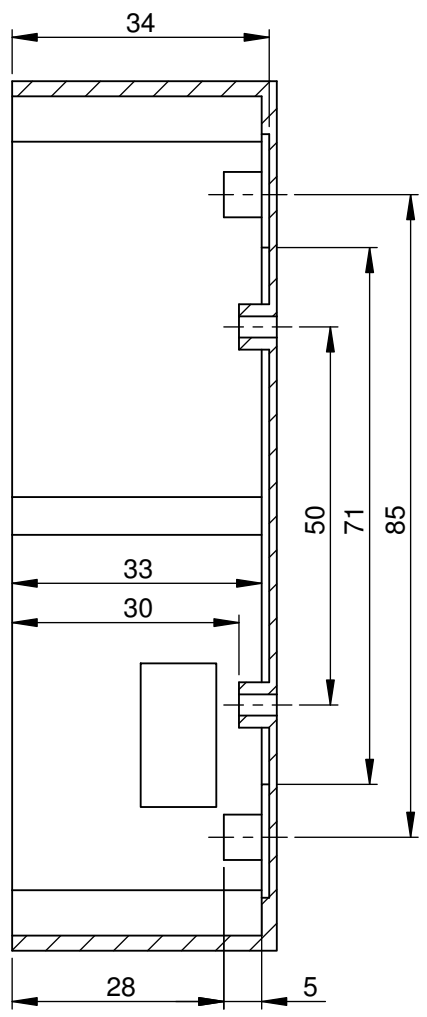
HOR - GEN - PZA - 6

PLANO

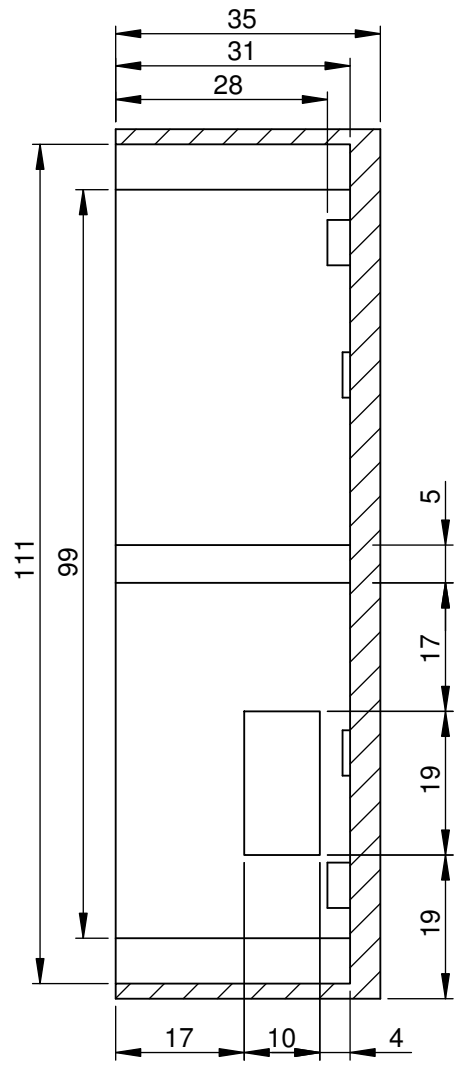
CASE PARA RELAY

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

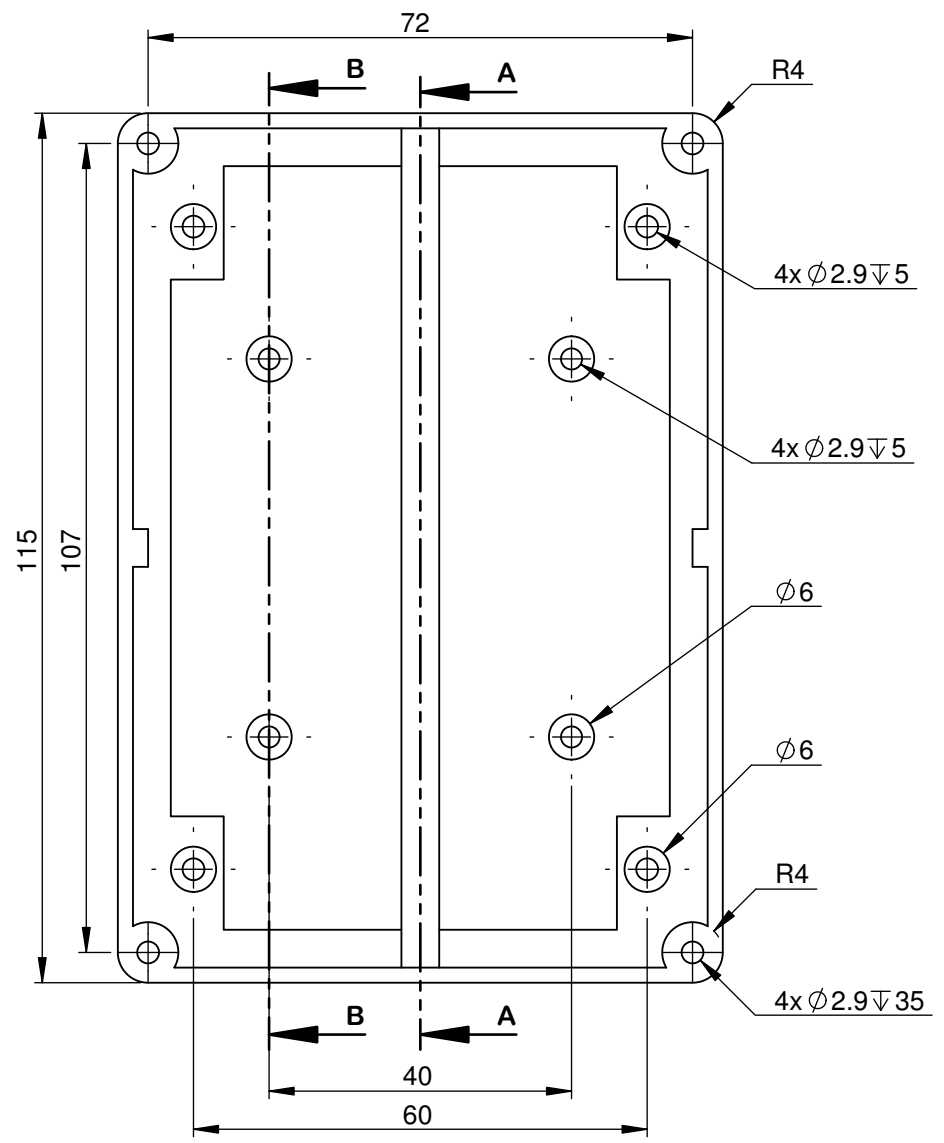
		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
		Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DISEÑADO				PESO	15 g	DIMENSIONES	mm
DIBUJADO		Carolina Gómez	Nov - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	
REVISADO		PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1
							A4



SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

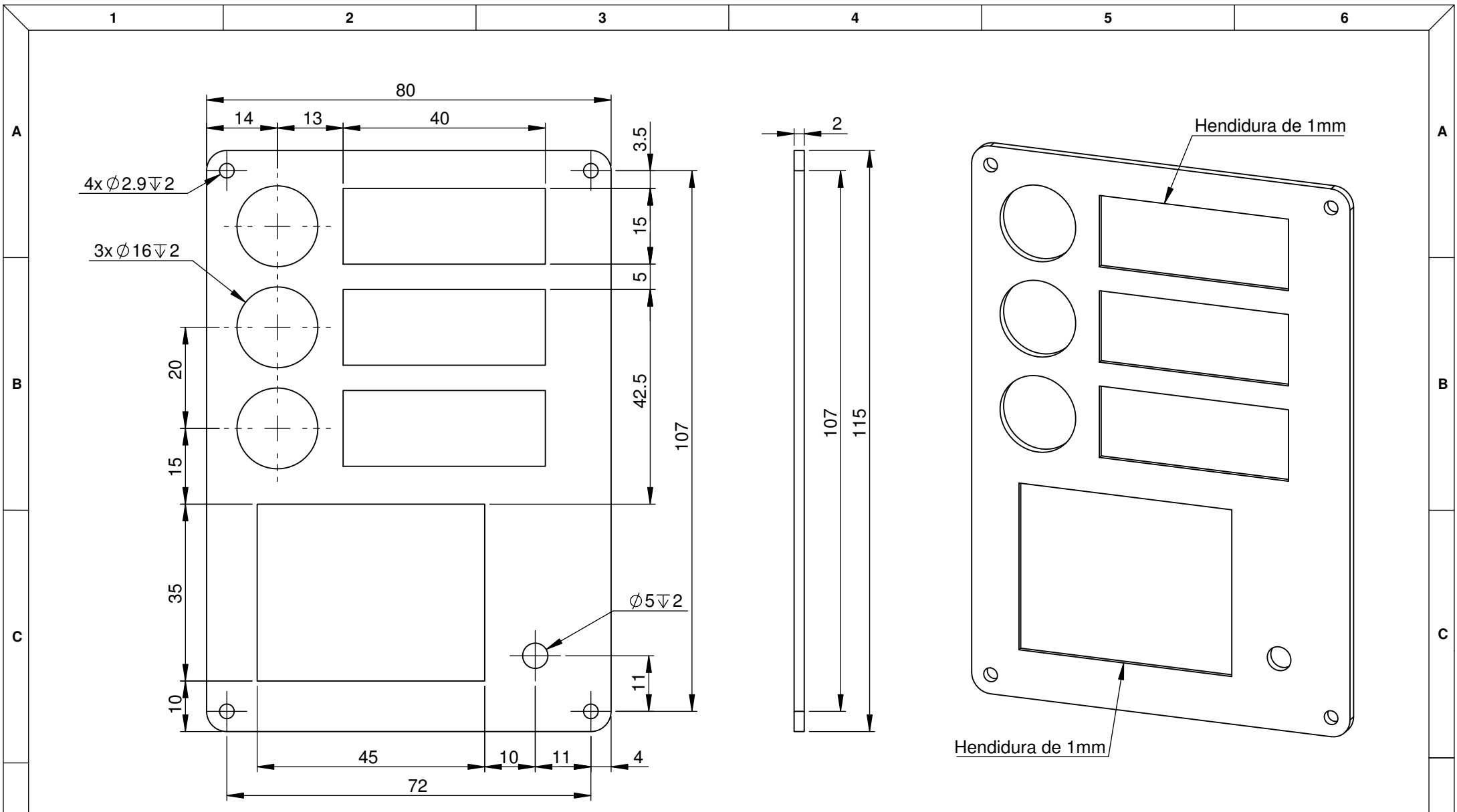
CÓDIGO DIBUJO
 HOR - CON - T1 - PZA - 1

PLANO
 CASE PARA INTEGRADOR ALICAT / CONTROLADOR DE TEMPERATURA

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

NOMBRE		FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	65 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo	
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 2

A4



NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
 HOR - CON - T1 - PZA - 2

PLANO
 CASE PARA INTEGRADOR ALICAT / CONTROLADOR DE TEMPERATURA

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	30 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 1	

1 2 3 4 5 6

A

B

C

D

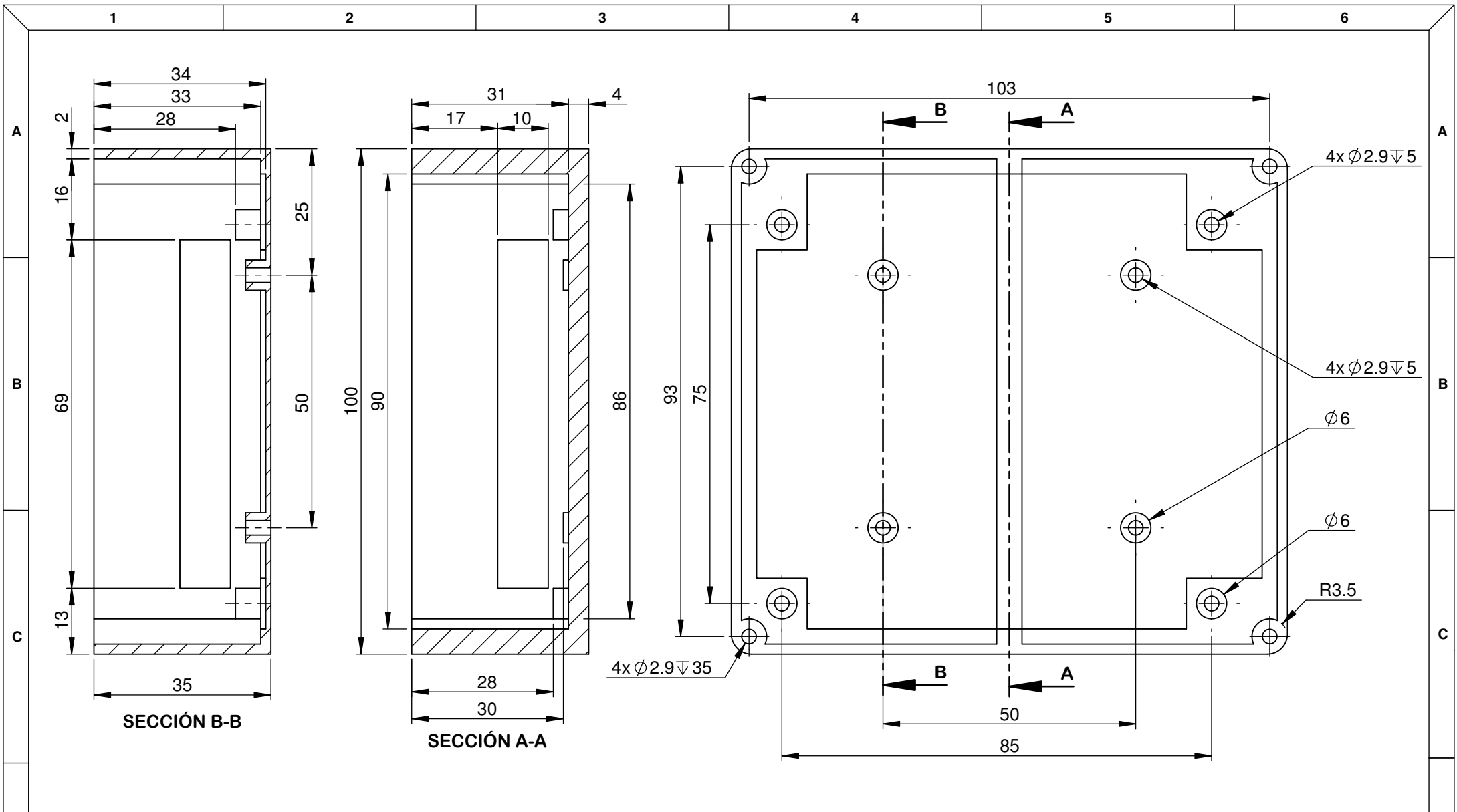
A

B

C

D

1 2 3 4 5 6



NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

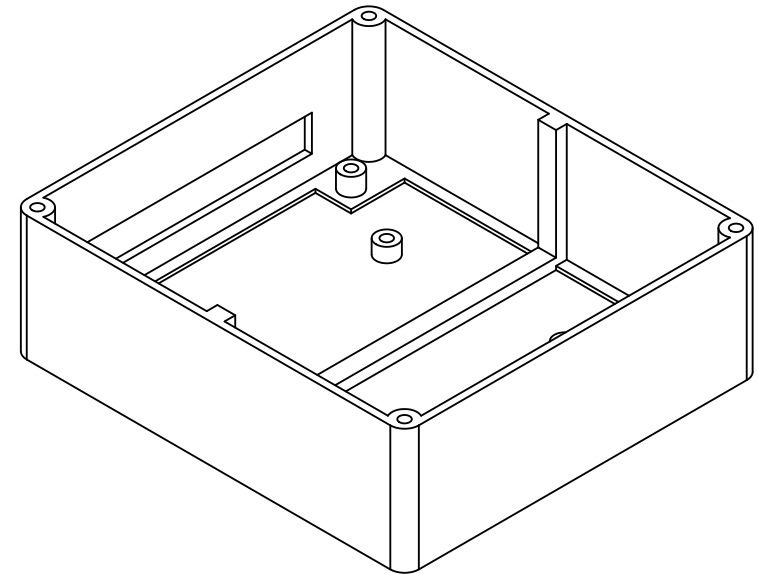
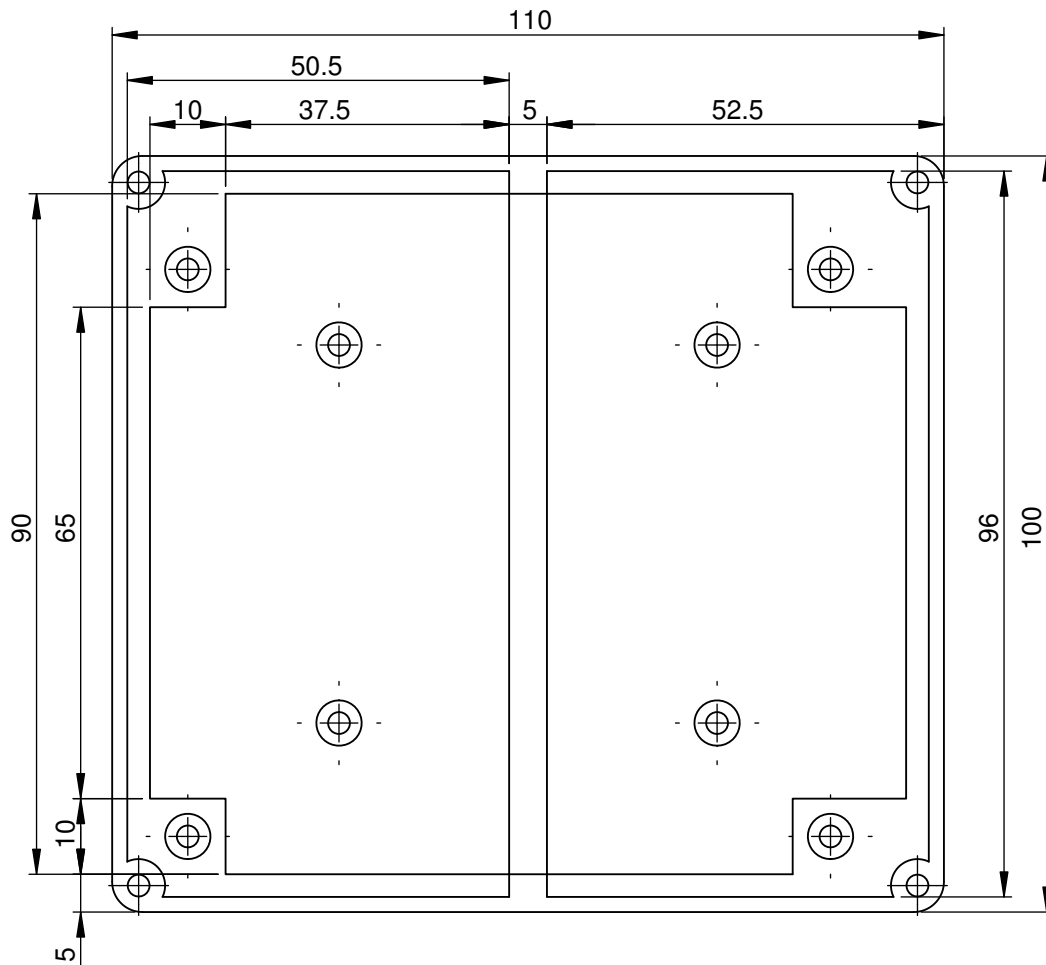
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
HOR - CON - T3 - PZA - 1

PLANO
CASE PARA LECTOR DE TERMOCUPLAS

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	70 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	1 de 2	



ESCALA 2 : 3

NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO
HOR - CON - T3 - PZA - 1

PLANO
CASE PARA LECTOR DE TERMOCUPLAS

CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.			
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	70 g	DIMENSIONES	mm	
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo		A4
			REVISIÓN	1.0	HOJA	2 de 2	

1

2

3

4

5

6

A

A

B

B

C

C

D

D

1

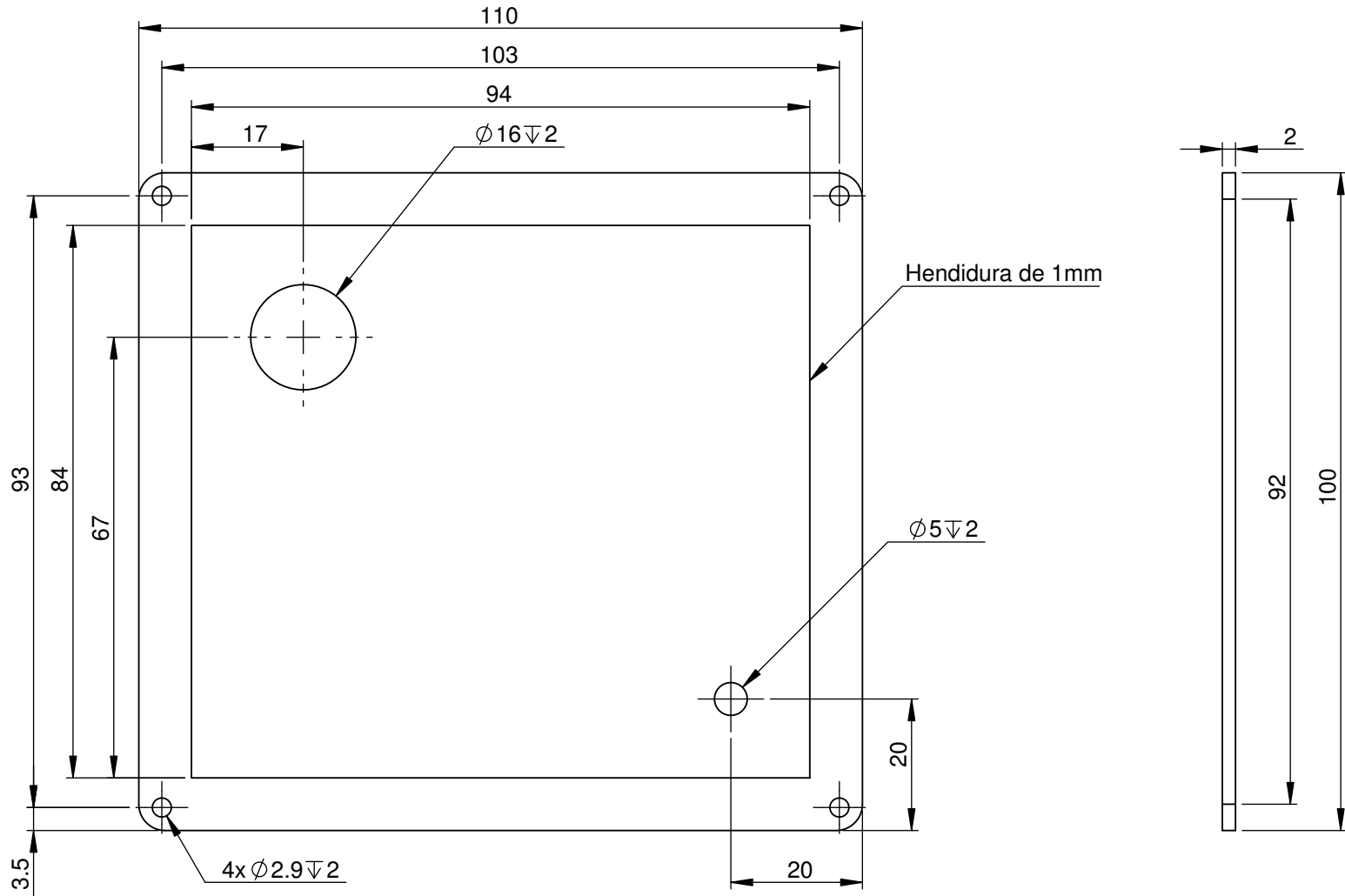
2

3

4

5

6



NOTAS:

1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
2. Infill al 10%



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T3 - PZA - 2	PLANO CASE PARA LECTOR DE TERMOCUPLAS		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ		
NOMBRE Carolina Gómez Chacón		FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro		
DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO 30 g	DIMENSIONES	mm
REVISADO	PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	
			REVISIÓN 1.0	HOJA 1 de 2	A4

1 2 3 4 5 6

A

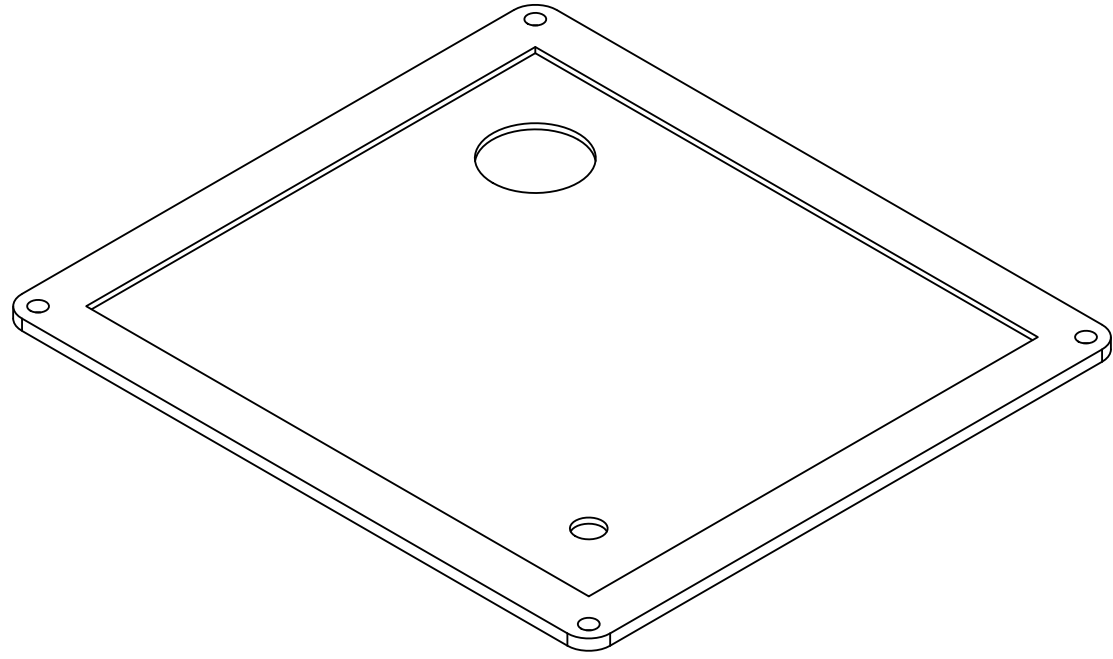
A

B

B

C

C



D

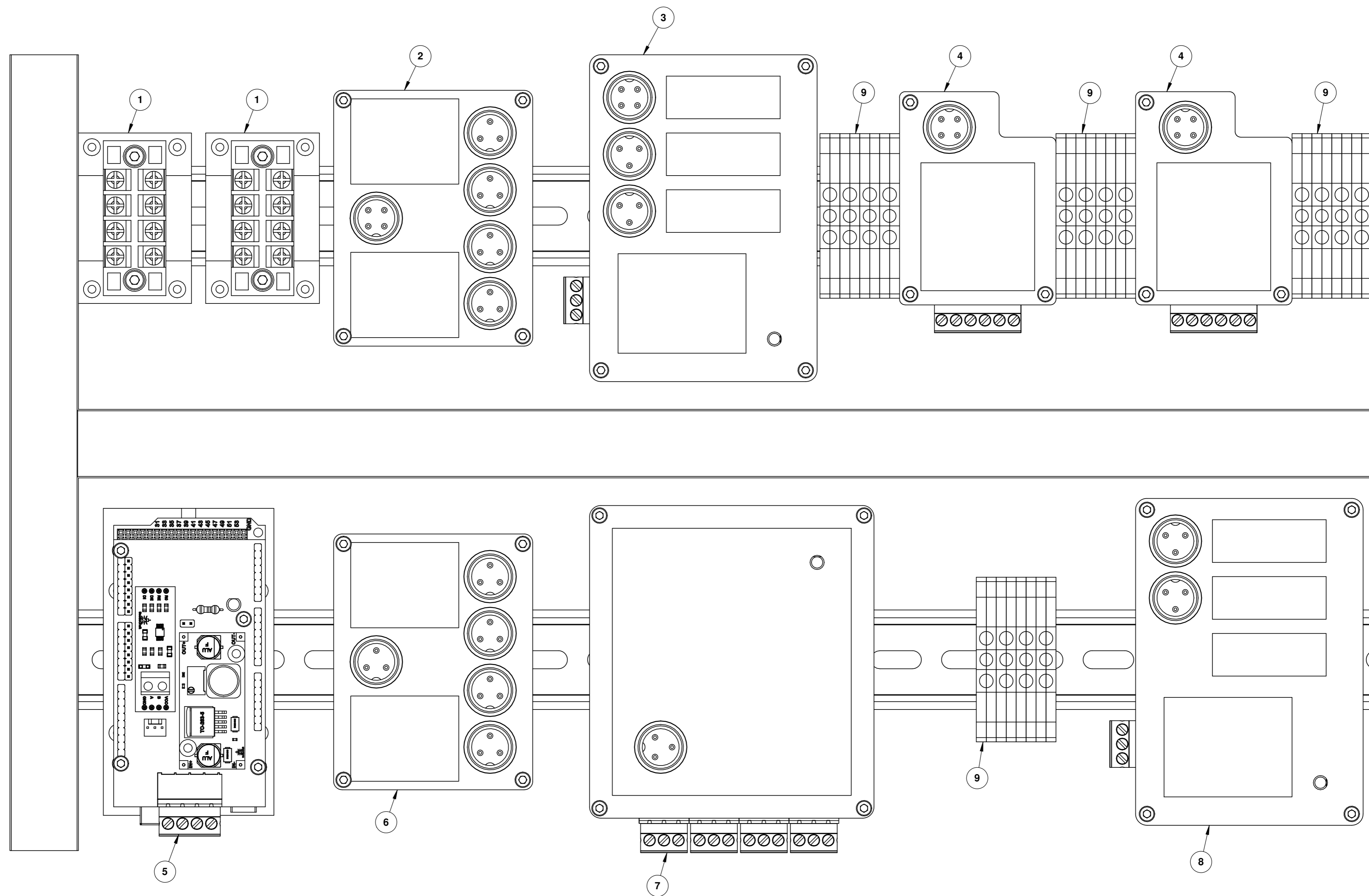
D

NOTAS:
 1. Impresión estándar con resolución de 0.1 mm.
 2. Infill al 10%




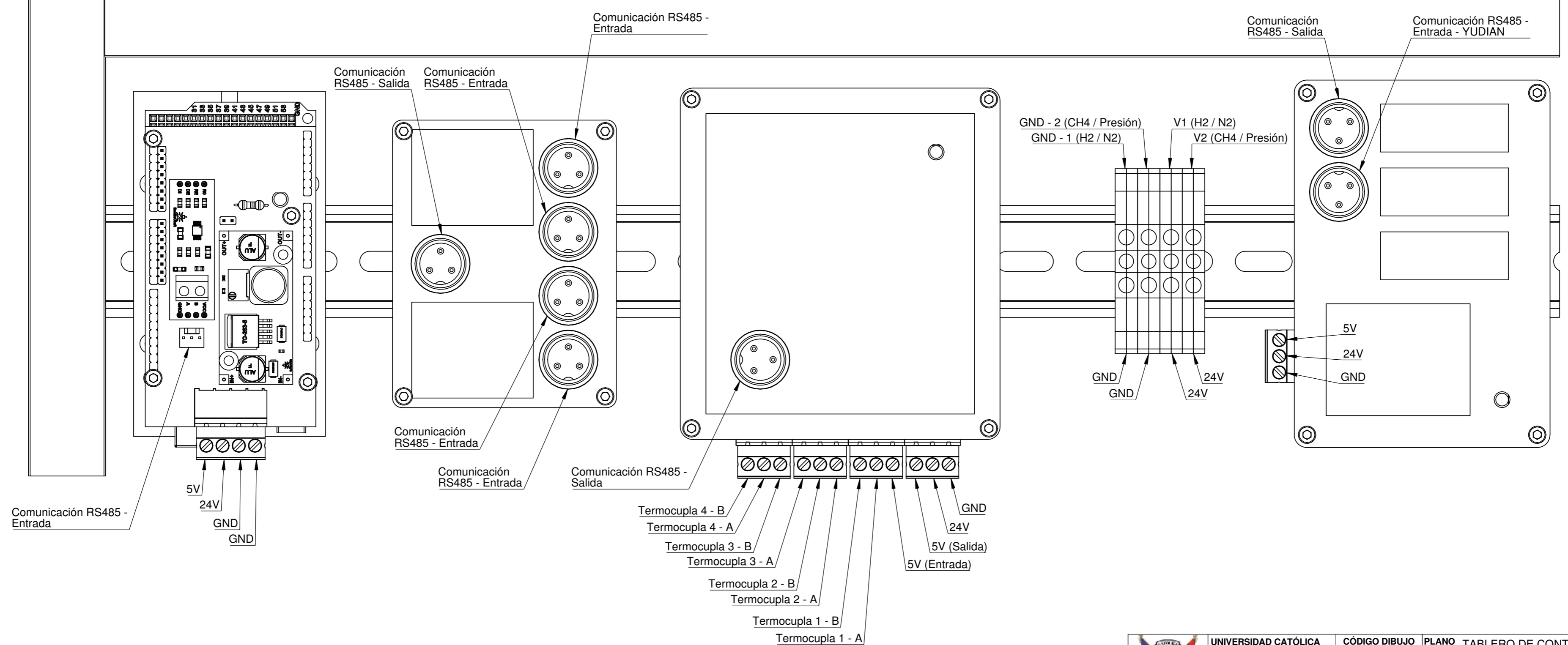
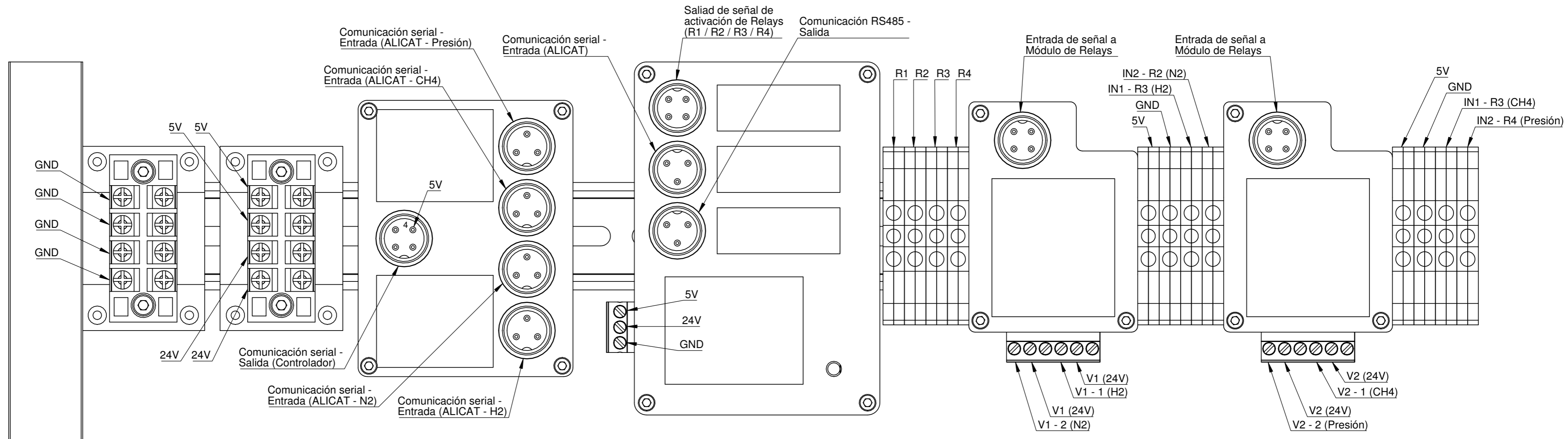
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T3 - PZA - 2	PLANO CASE PARA LECTOR DE TERMOCUPLAS		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ		
	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.		
DIBUJADO Carolina Gómez	FECHA Nov - 2016	PESO 30 g	DIMENSIONES mm	REVISADO PhD. Hermann Alcázar Rojas		
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	HOJA 2 de 2	A4	

1 2 3 4 5 6



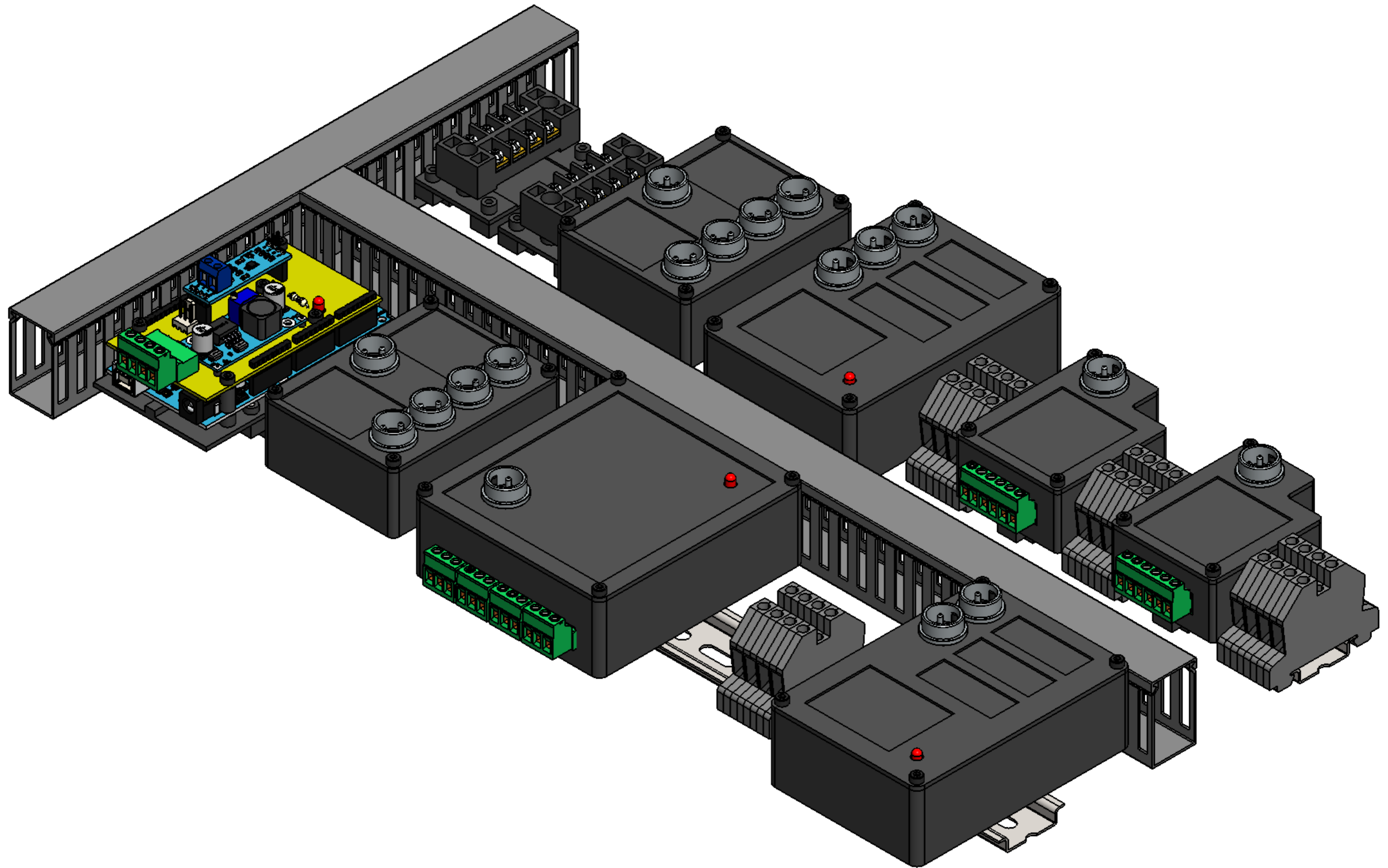
ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN
1	2	HOR - POD - ENS - 1	Módulo distribuidor de poder
2	1	HOR - CAL - ENS - 1	Módulo de integración de comunicación ALICAT
3	1	HOR - CON - T1 - ENS - 1	Módulo integrador de sistema ALICAT
4	2	HOR - REL - ENS - 1	Módulo relay
5	1	HOR - CON - T4 - ENS - 1	Módulo integrador de comunicación maestro
6	1	HOR - CRS - ENS - 1	Módulo de integración de comunicación RS485
7	1	HOR - CON - T3 - ENS - 1	Módulo lector de termocuplas
8	1	HOR - CON - T2 - ENS - 1	Módulo integrador de controladores de temperatura
9	16		Soporte de sujeción para riel DIN


 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica</p> <p>CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos</p>	<p>CÓDIGO DIBUJO: HOR - TAB - ENS - 1</p> <p>PLANO: TABLERO DE CONTROL DE HORNO</p>	<p>CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ</p>
	<p>NOMBRE: Carolina Gómez Chacón</p> <p>FECHA: Nov-2016</p>	<p>MATERIAL: Plástico ABS negro</p>
	<p>DISEÑADO: Carolina Gómez</p> <p>DIBUJADO: Carolina Gómez</p>	<p>ACABADO: Rebarbar y romper las aristas vivas.</p> <p>PESO: _____</p>
	<p>REVISADO: Ph.D. Hermann Alcázar Rojas</p> <p>FECHA: Dic-2016</p>	<p>ESCALA: 1 : 1</p> <p>REVISIÓN: 1.0</p> <p>DIMENSIONES: mm</p> <p>HOJA: 1 de 3</p> <p>A2</p>

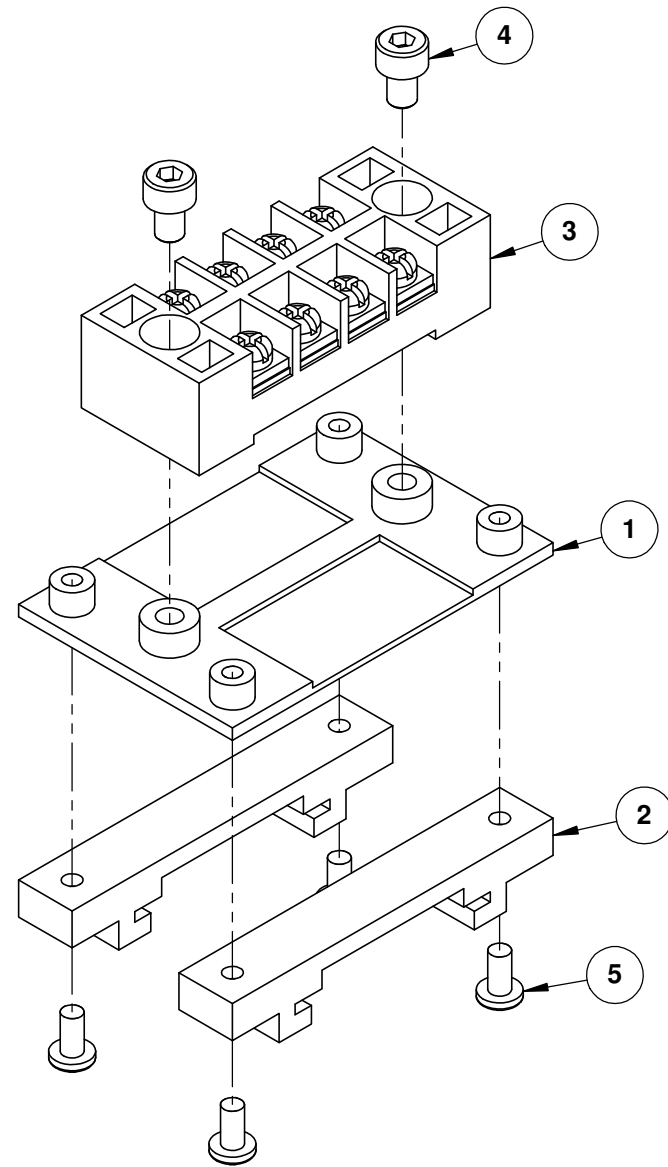


	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - TAB - ENS - 1	PLANO TABLERO DE CONTROL DE HORNO	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov-2016	MATERIAL Plástico ABS negro	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.
	DIBUJADO Carolina Gómez	PESO Nov-2016	ESCALA 1 : 1	DIMENSIONES mm No escale el dibujo
	REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	REVISIÓN Dic-2016	HOJA 1.0	2 de 3 A2

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

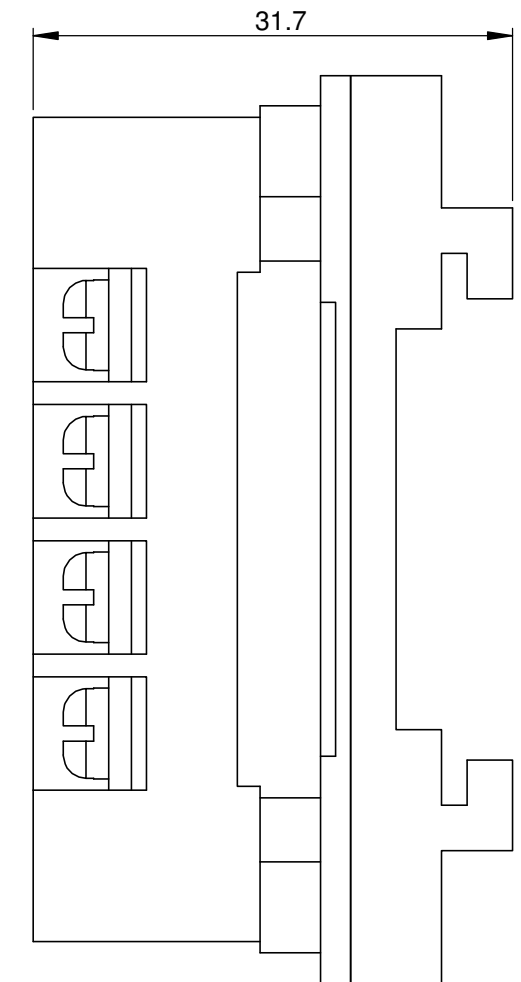
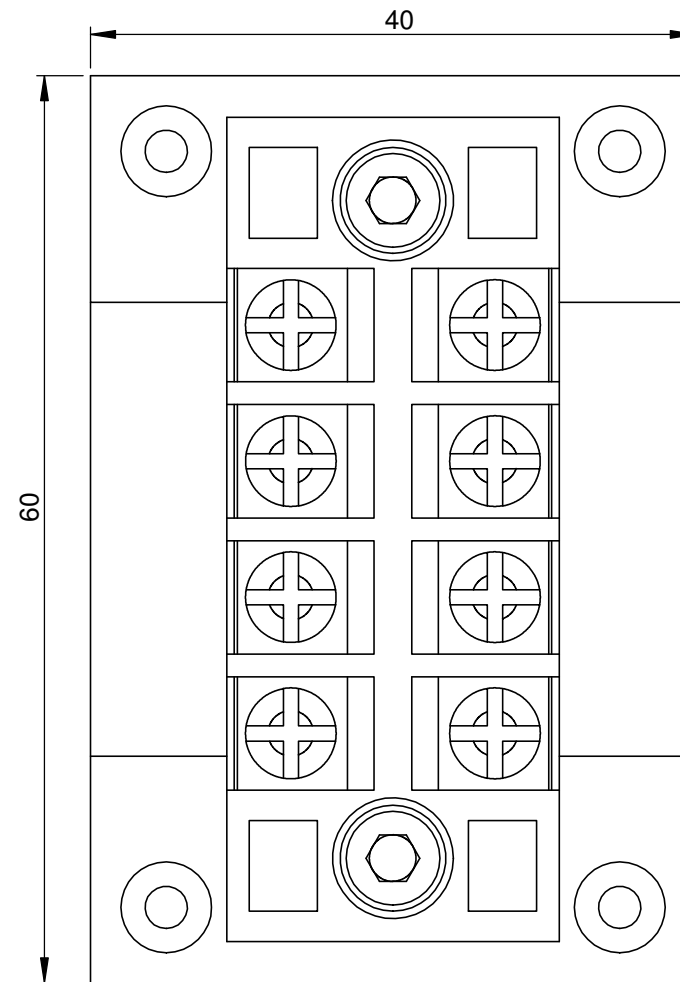
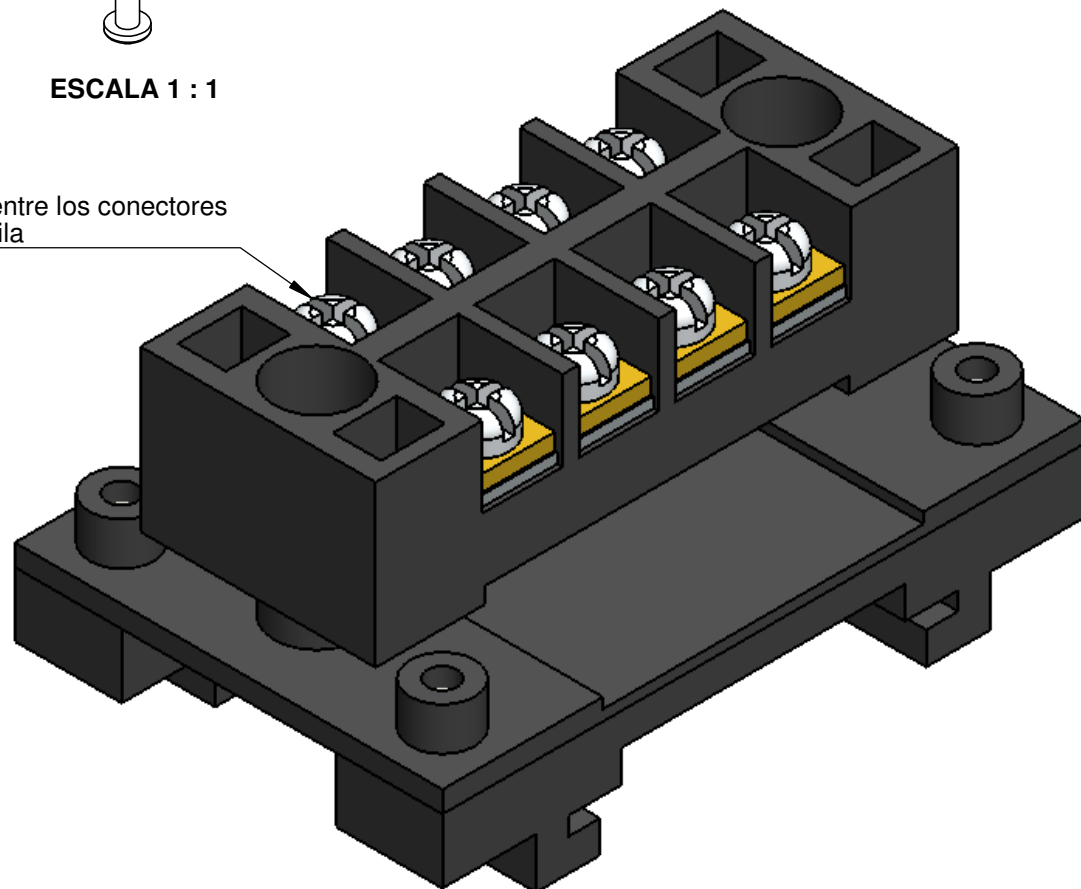


	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - TAB - ENS - 1	PLANO TABLERO DE CONTROL DE HORNO	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
		NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov-2016	MATERIAL Plástico ABS negro
	DISEÑADO Carolina Gómez	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 	DIMENSIONES mm
	DIBUJADO Carolina Gómez	REVISADO PhD. Hermann Alcázar Rojas	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		HOJA 3 de 3	NO ESCALE EL DIBUJO	A2



ESCALA 1 : 1

Continuidad entre los conectores de la misma fila



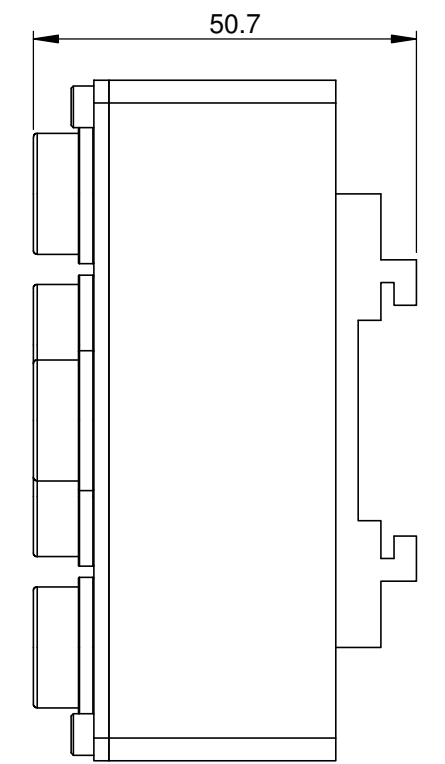
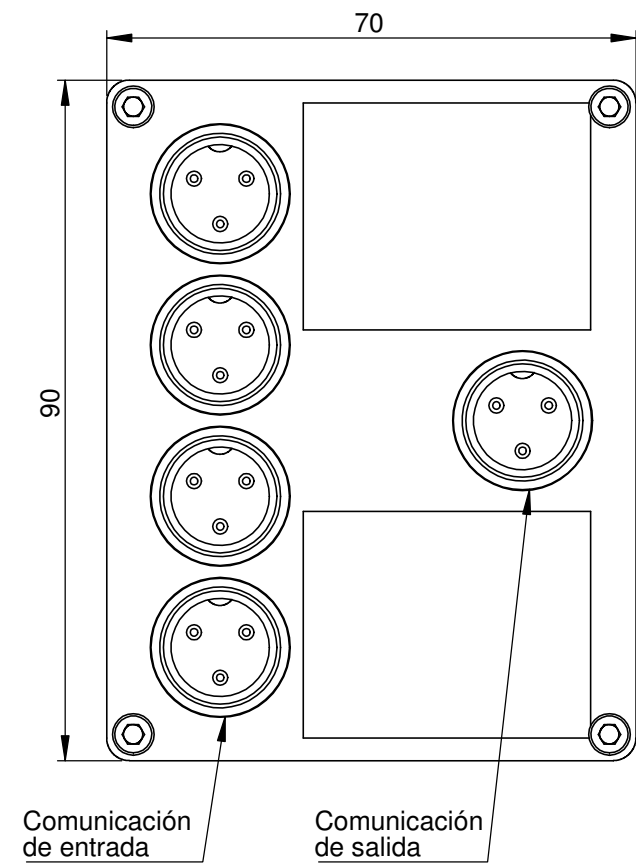
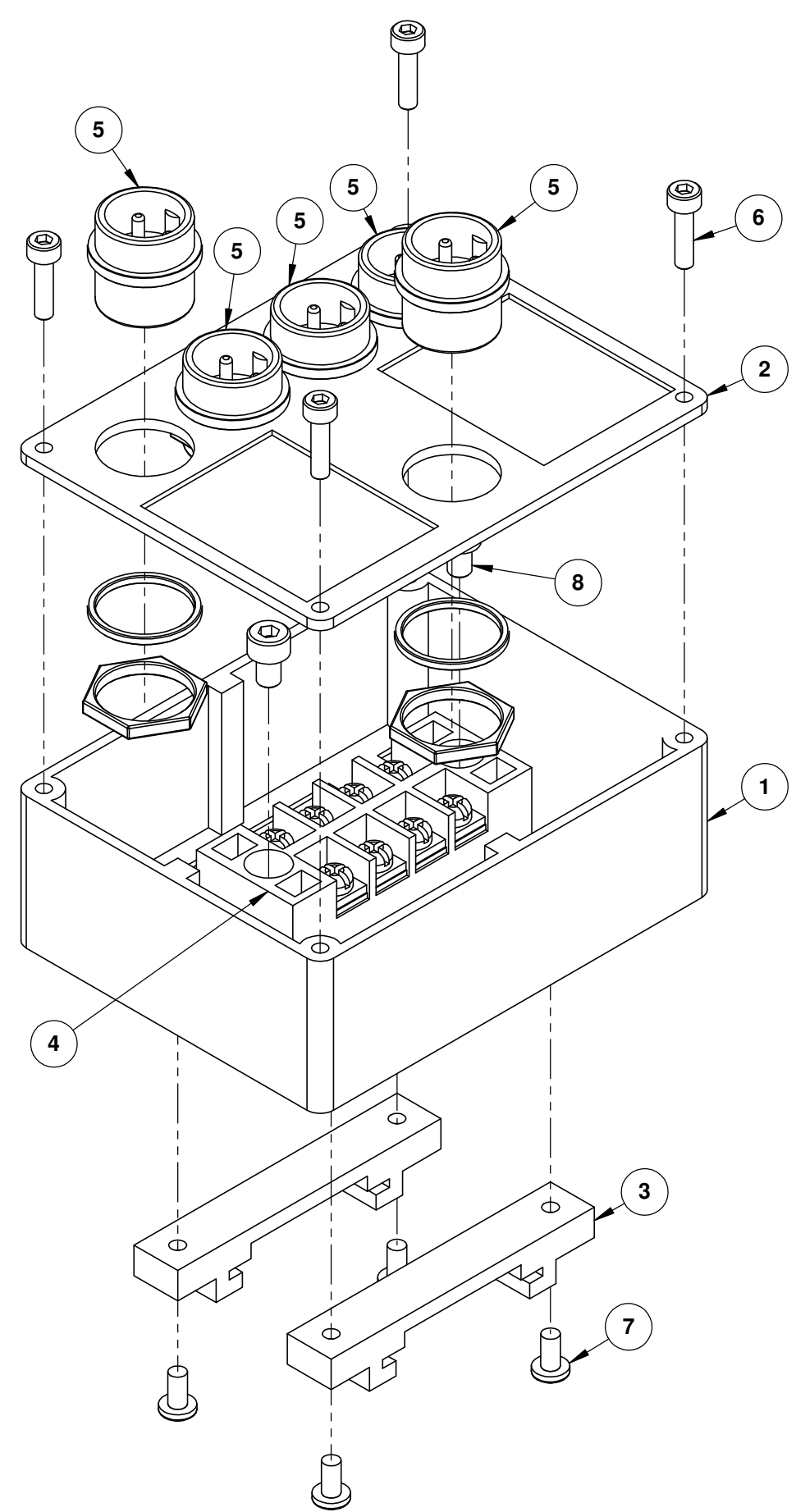
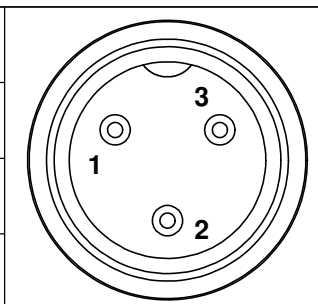
ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-GEN-PZA-2	Soporte de sujeción para distribuidor	Plástico ABS	30 g
2	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
3	1	_____	Distribuidor de señal 4x4	_____	_____
4	2	_____	M4x5 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____
5	4	_____	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	_____

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		CÓDIGO DIBUJO HOR - POD - ENS - 1		PLANO MÓDULO DISTRIBUIDOR DE PODER		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		NOMBRE Carolina Gómez Chacón		FECHA Nov - 2016		MATERIAL Plástico ABS negro / A307	
	DISEÑADO		ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.		PESO 38 g		DIMENSIONES mm	
	DIBUJADO Carolina Gómez		REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas		ESCALA 2 : 1		REVISIÓN 1.0	

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

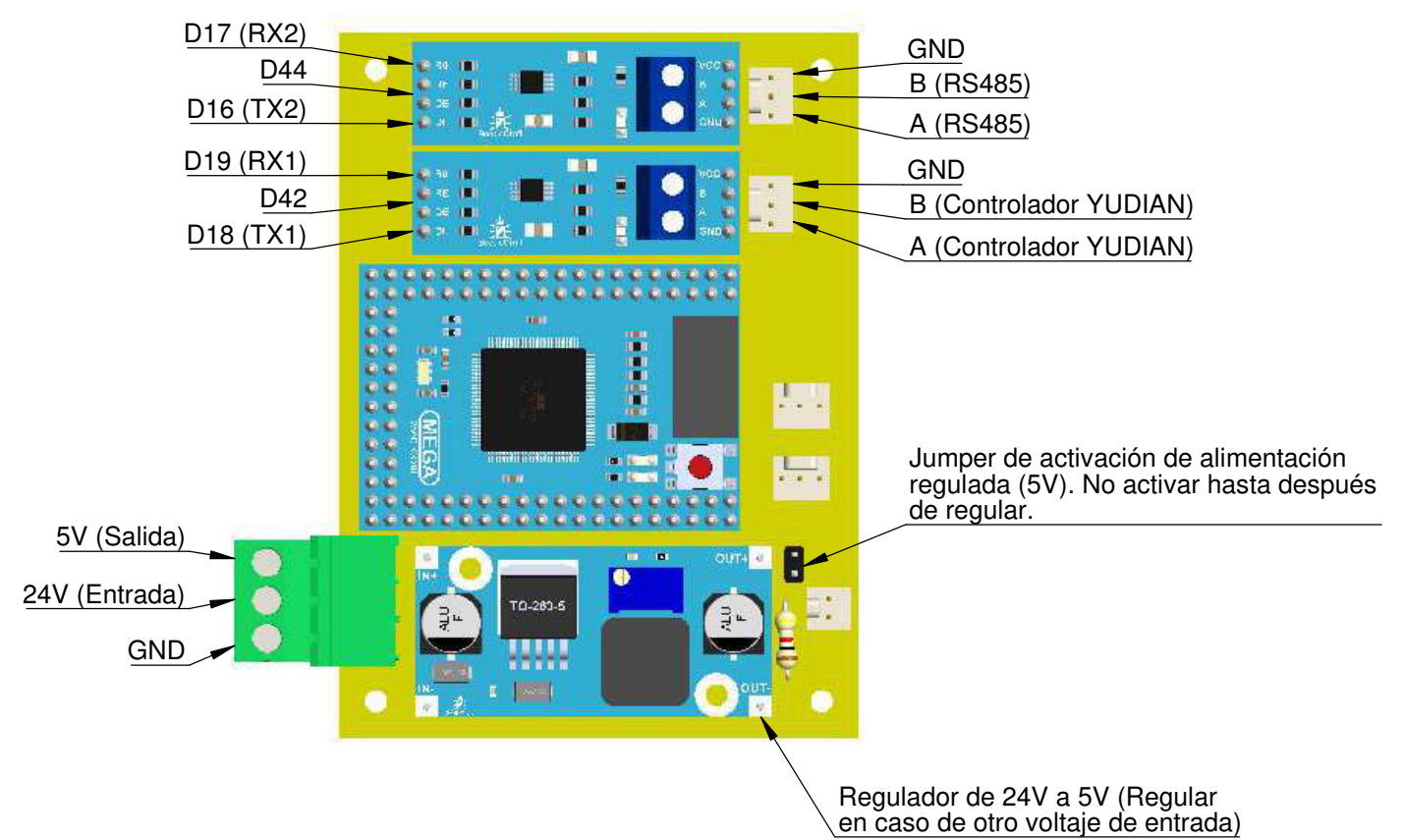
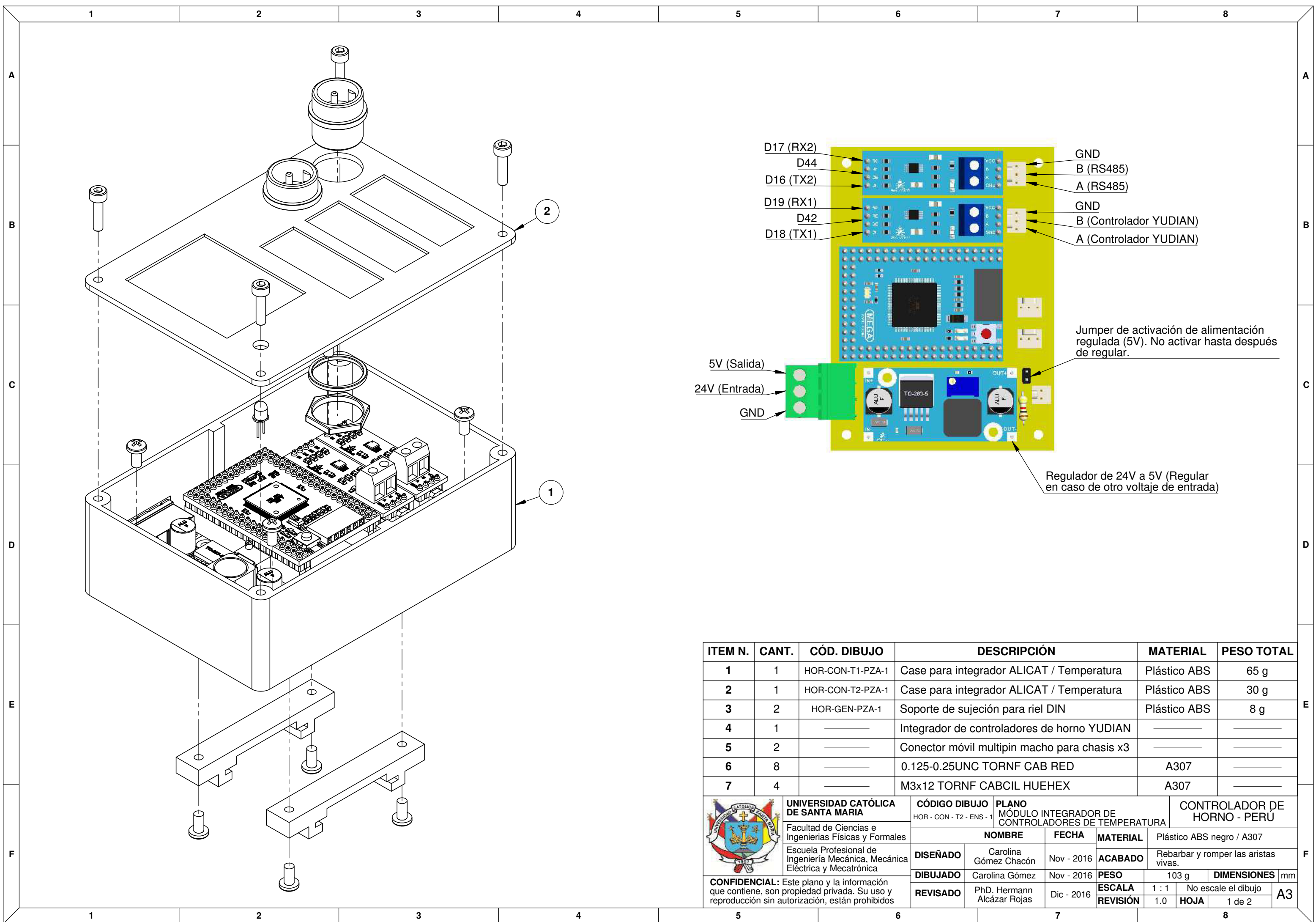
A3

PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN
1	A
2	B
3	GND



ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-GEN-PZA-3	Case para comunicación ALICAT / RS485	Plástico ABS	45 g
2	1	HOR-GEN-PZA-4	Case para comunicación ALICAT / RS485	Plástico ABS	20 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	_____	Distribuidor de señal 4x4	_____	_____
5	5	_____	Conector móvil multipin macho para chasis x3	_____	_____
6	4	_____	M3x12 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____
7	4	_____	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	_____
8	2	_____	M4x5 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		CÓDIGO DIBUJO HOR - CRS - ENS - 1	PLANO MÓDULO DE INTEGRACIÓN DE COMUNICACIÓN RS485	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
			NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307
	DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	ACABADO	Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 73 g
	DIBUJADO	Carolina Gómez	PESO	DIMENSIONES mm	ESCALA 1 : 1
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	FECHA Dic - 2016	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0
		HOJA 1 de 1	HOJA 1 de 1	A3	



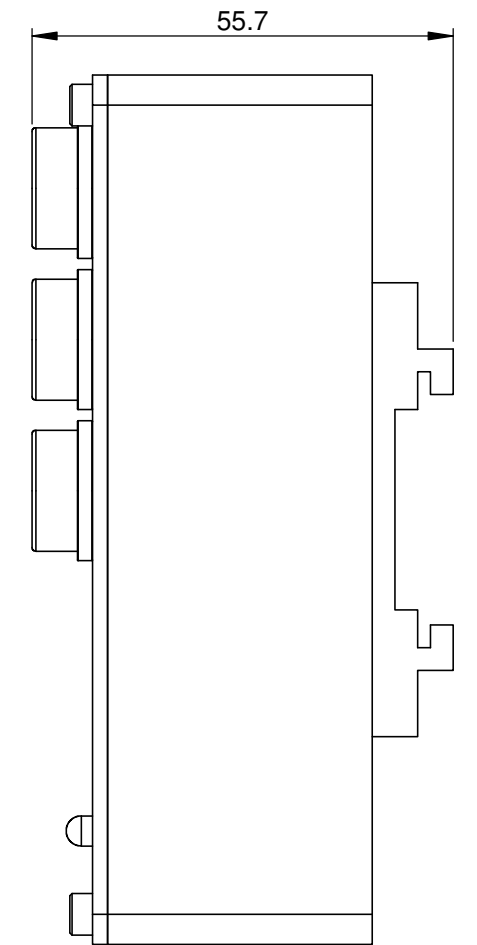
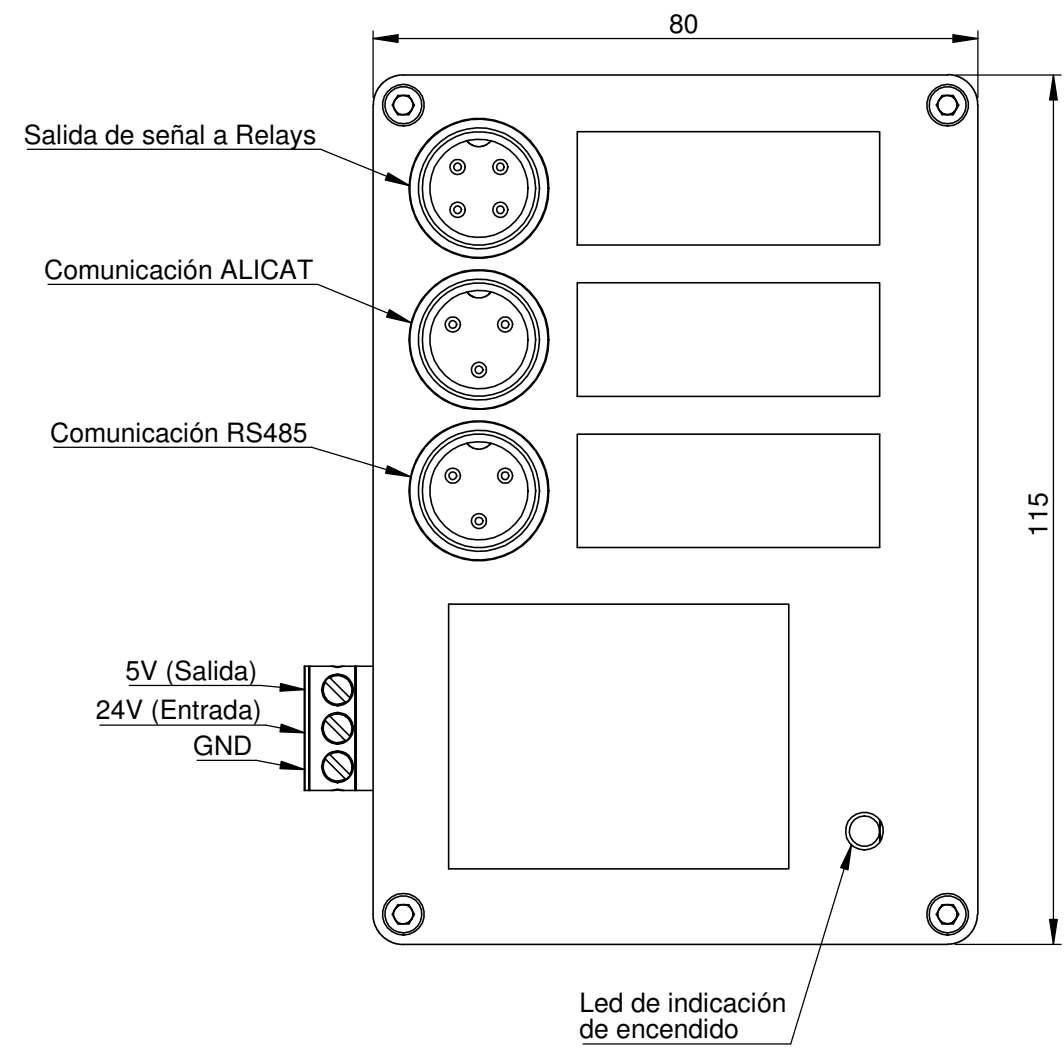
ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-CON-T1-PZA-1	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	65 g
2	1	HOR-CON-T2-PZA-1	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	30 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	—	Integrador de controladores de horno YUDIAN	—	—
5	2	—	Conector móvil multipin macho para chasis x3	—	—
6	8	—	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	—
7	4	—	M3x12 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	—

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T2 - ENS - 1	PLANO MÓDULO INTEGRADOR DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.
	DIBUJADO Carolina Gómez	PESO Nov - 2016	PESO 103 g	DIMENSIONES mm
	REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	REVISIÓN Dic - 2016	ESCALA 1 : 1	HOJA No escale el dibujo 1 de 2

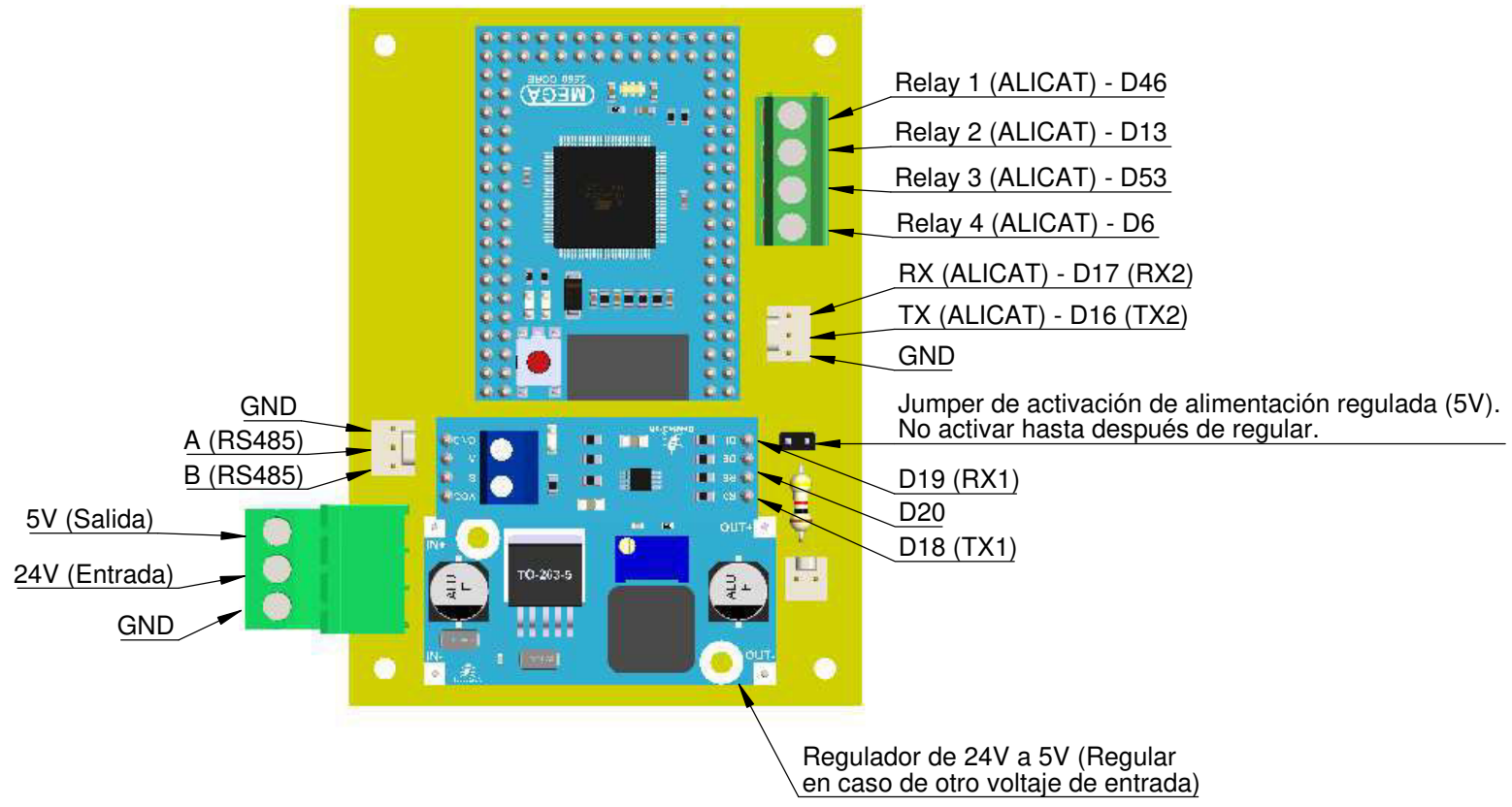
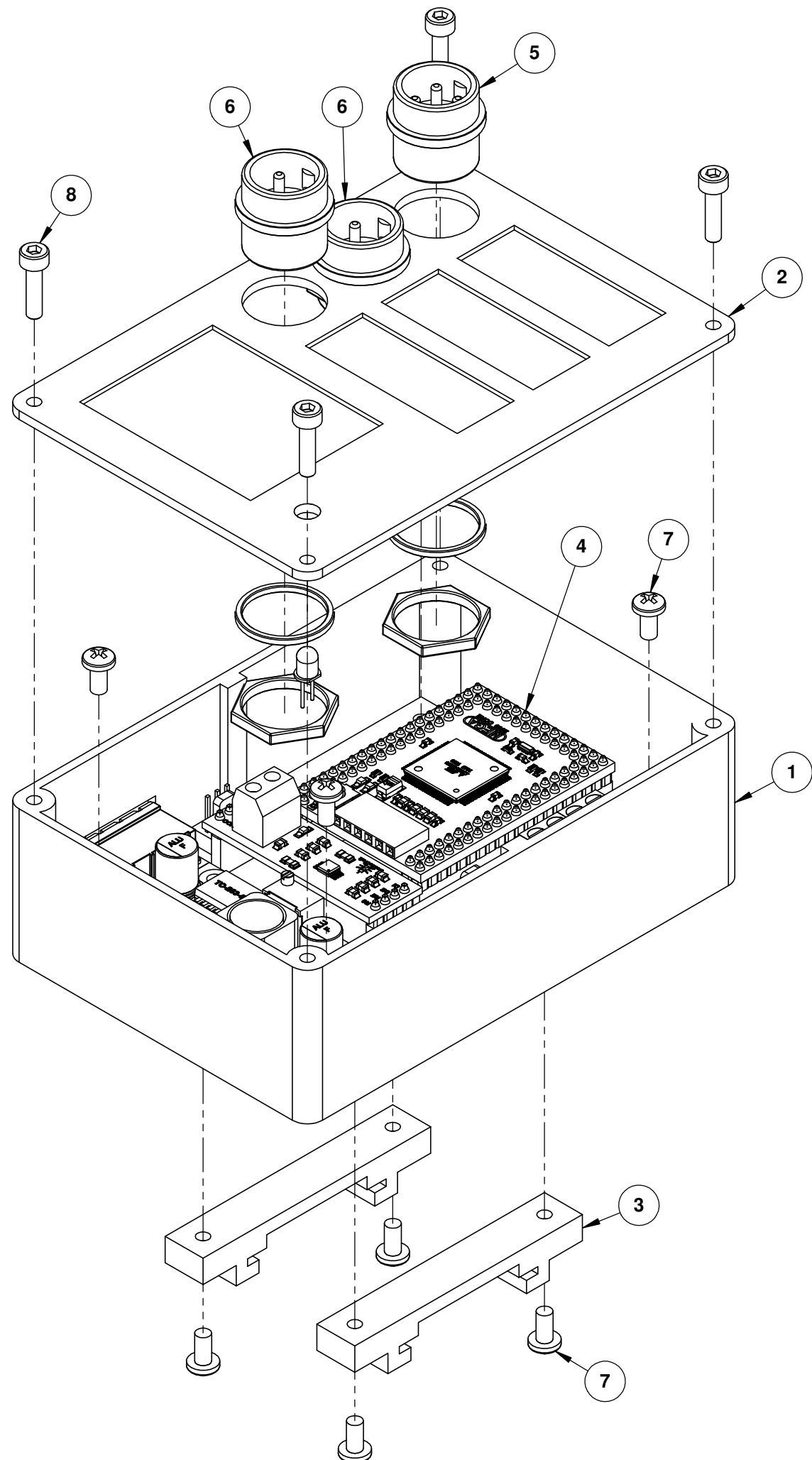
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

A3

1		2		3		4		5		6		7		8	
PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN	Diagrama 4		PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN	Diagrama 6		PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN	Diagrama 8					
1	TX (ALICAT) - D16 (TX2)			1	A			1	Relay 1 (ALICAT) - D46						
2	RX (ALICAT) - D17 (RX2)			2	B			2	Relay 2 (ALICAT) - D13						
3	GND			3	GND			3	Relay 3 (ALICAT) - D53						
—	—	—	—	4	Relay 4 (ALICAT) - D6										
COMUNICACIÓN ALICAT				COMUNICACIÓN RS485				SALIDA DE SEÑAL DE RELAYS							

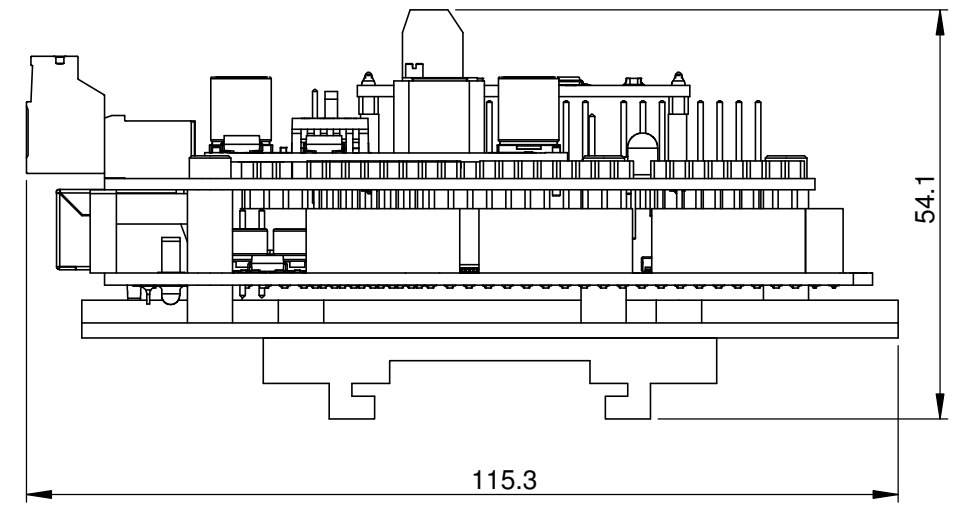
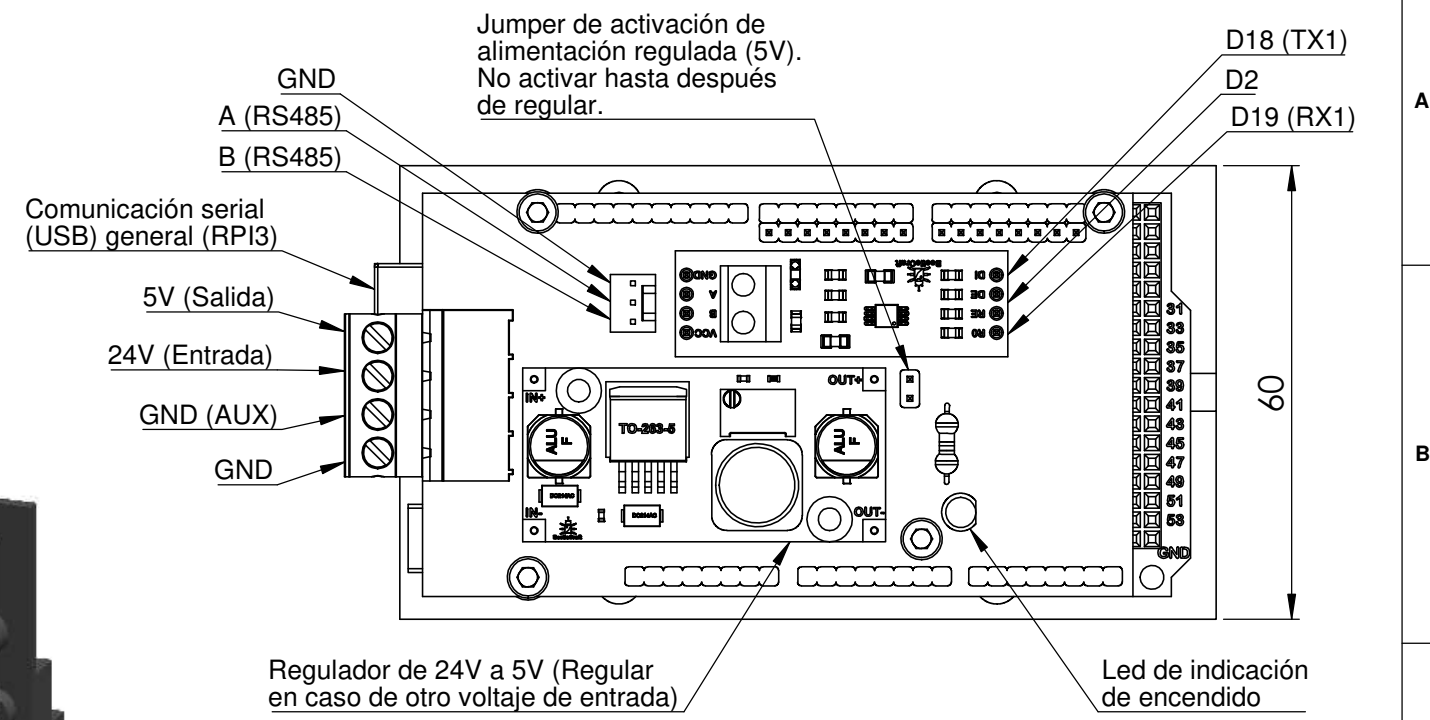
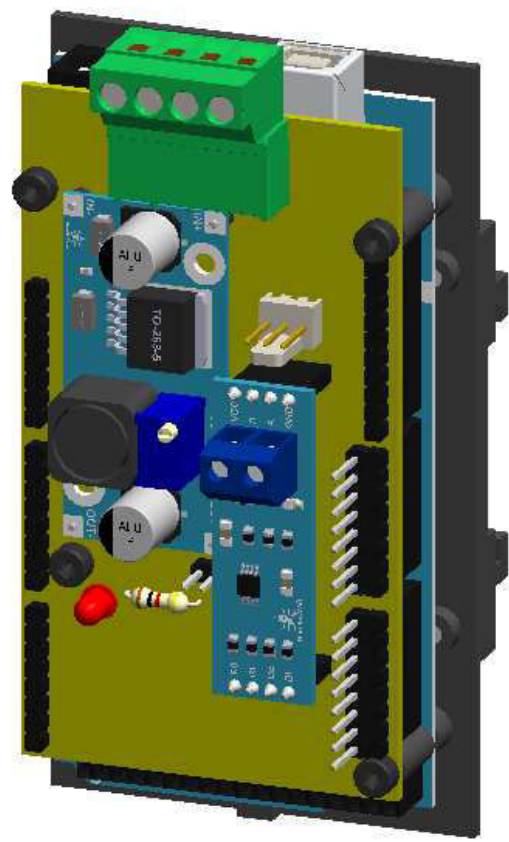
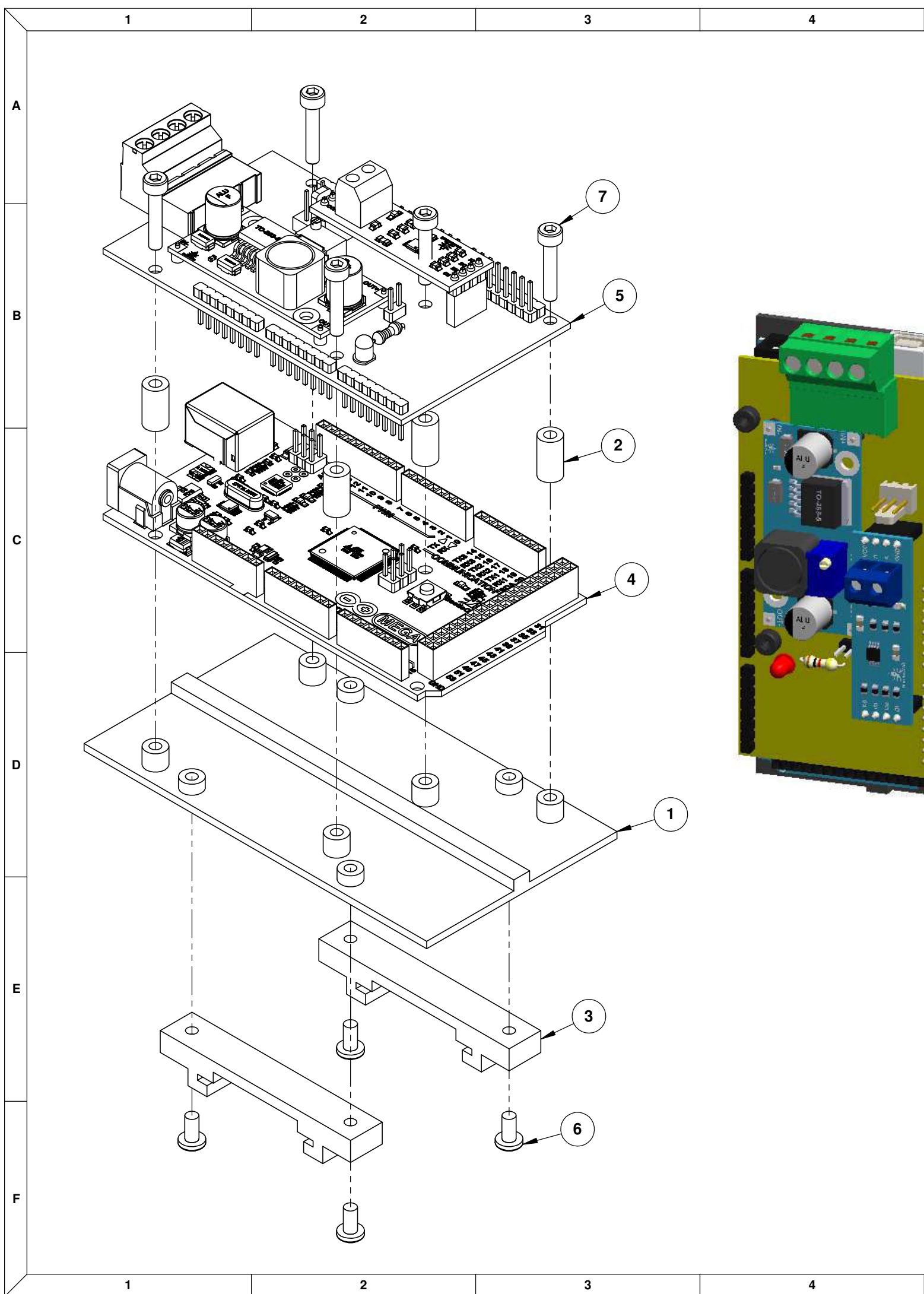


	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	CÓDIGO DIBUJO	PLANO		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	HOR - CON - T1 - ENS - 1	MÓDULO INTEGRADOR DE SISTEMA ALICAT		Plástico ABS negro / A307	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DISEÑADO	NOMBRE	FECHA	MATERIAL	Rebarbar y romper las aristas vivas.
	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos	DIBUJADO	Carolina Gómez Chacón	Nov - 2016	ACABADO	
	REVISADO	Carolina Gómez	Nov - 2016	PESO	103 g	DIMENSIONES mm
		PhD. Hermann Alcázar Rojas	Dic - 2016	ESCALA	1 : 1	No escale el dibujo
				REVISIÓN	1.0	HOJA 2 de 2
						A3



ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-CON-T1-PZA-1	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	65 g
2	1	HOR-CON-T1-PZA-2	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	30 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	_____	Integrador de sistema ALICAT	_____	_____
5	1	_____	Conector móvil multipin macho para chasis x4	_____	_____
6	2	_____	Conector móvil multipin macho para chasis x3	_____	_____
7	8	_____	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	_____
8	4	_____	M3x12 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____

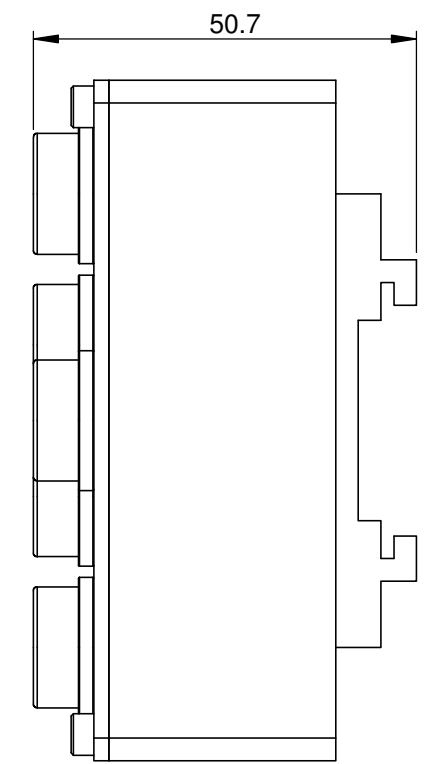
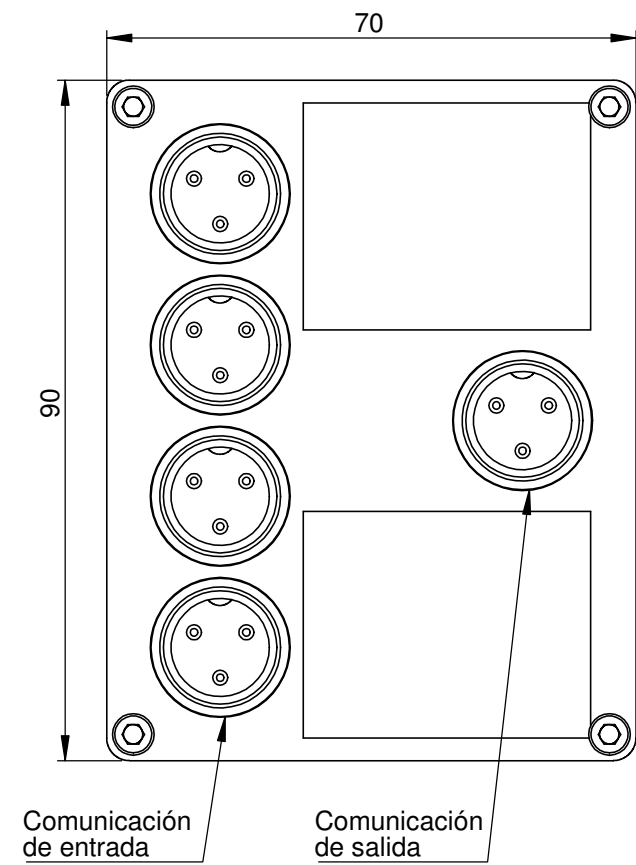
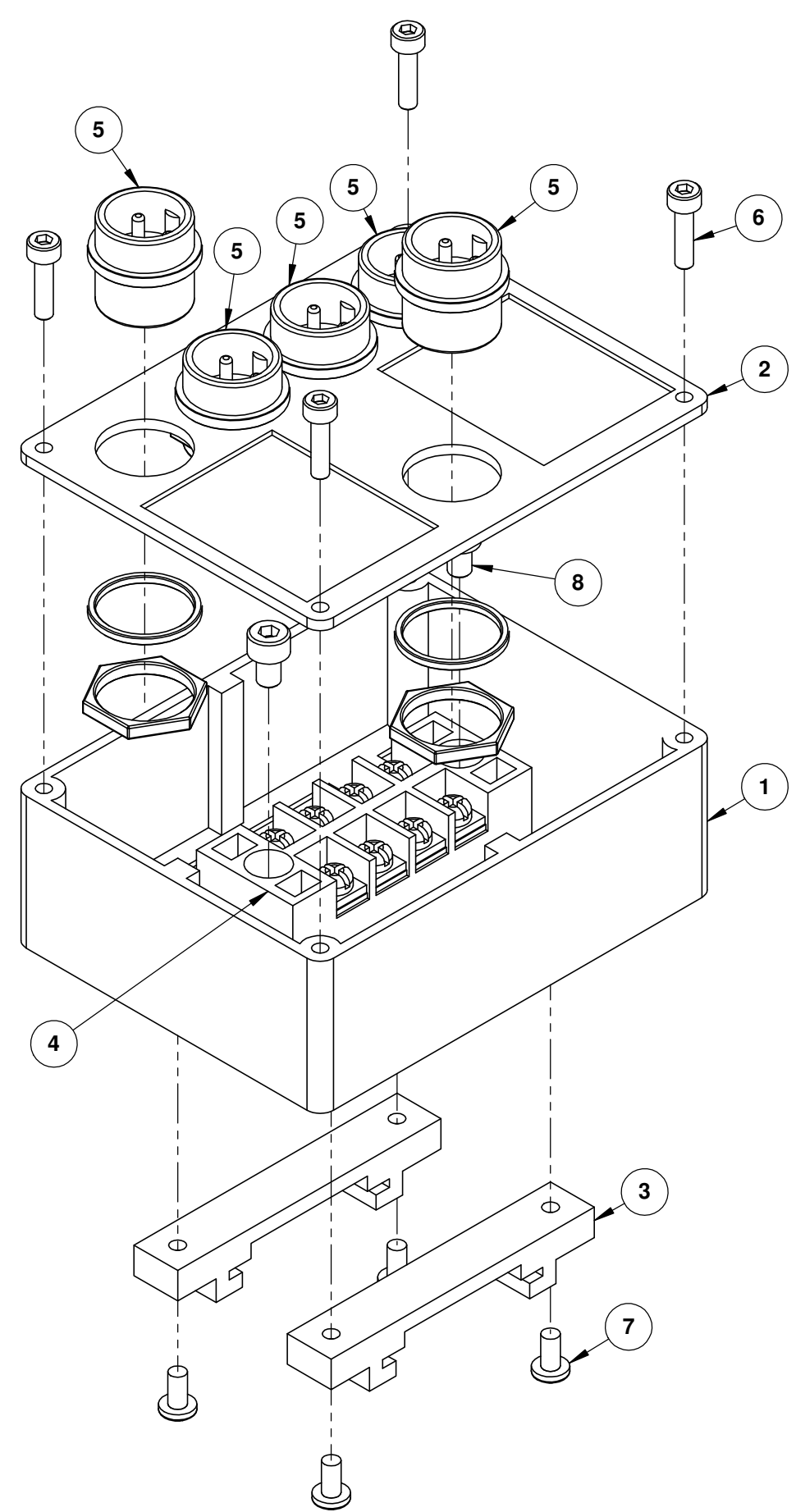
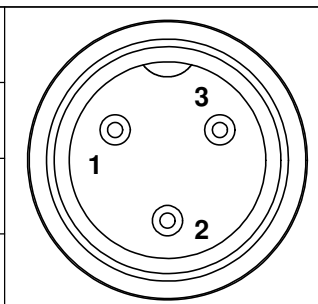
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T1 - ENS - 1	PLANO MÓDULO INTEGRADOR DE SISTEMA ALICAT	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
			NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307
	DISEÑADO			ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	
	DIBUJADO			PESO 103 g	DIMENSIONES mm
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos			REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0
			HOJA 1 de 2	A3	



ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-CON-T4-PZA-1	Case integrador de comunicación maestro	Plástico ABS	25 g
2	5	HOR-CON-T4-PZA-2	Case integrador de comunicación maestro	Plástico ABS	5 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	—	Arduino Mega2560	—	—
5	1	—	Placa de integración de comunicación maestro	—	—
6	5	—	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	—
7	4	—	M3x16 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	—

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T4 - ENS - 1	PLANO MÓDULO INTEGRADOR DE COMUNICACIÓN MAESTRO	CONTROLADOR DE HORNO - PERU
			NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307
	DISEÑADO	Carolina Gómez Chacón	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 38 g	DIMENSIONES mm
	DIBUJADO	Carolina Gómez	PESO 38 g	ESCALA 1 : 1	NO escale el dibujo
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	FECHA Dic - 2016	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0
				HOJA 1 de 1	A3

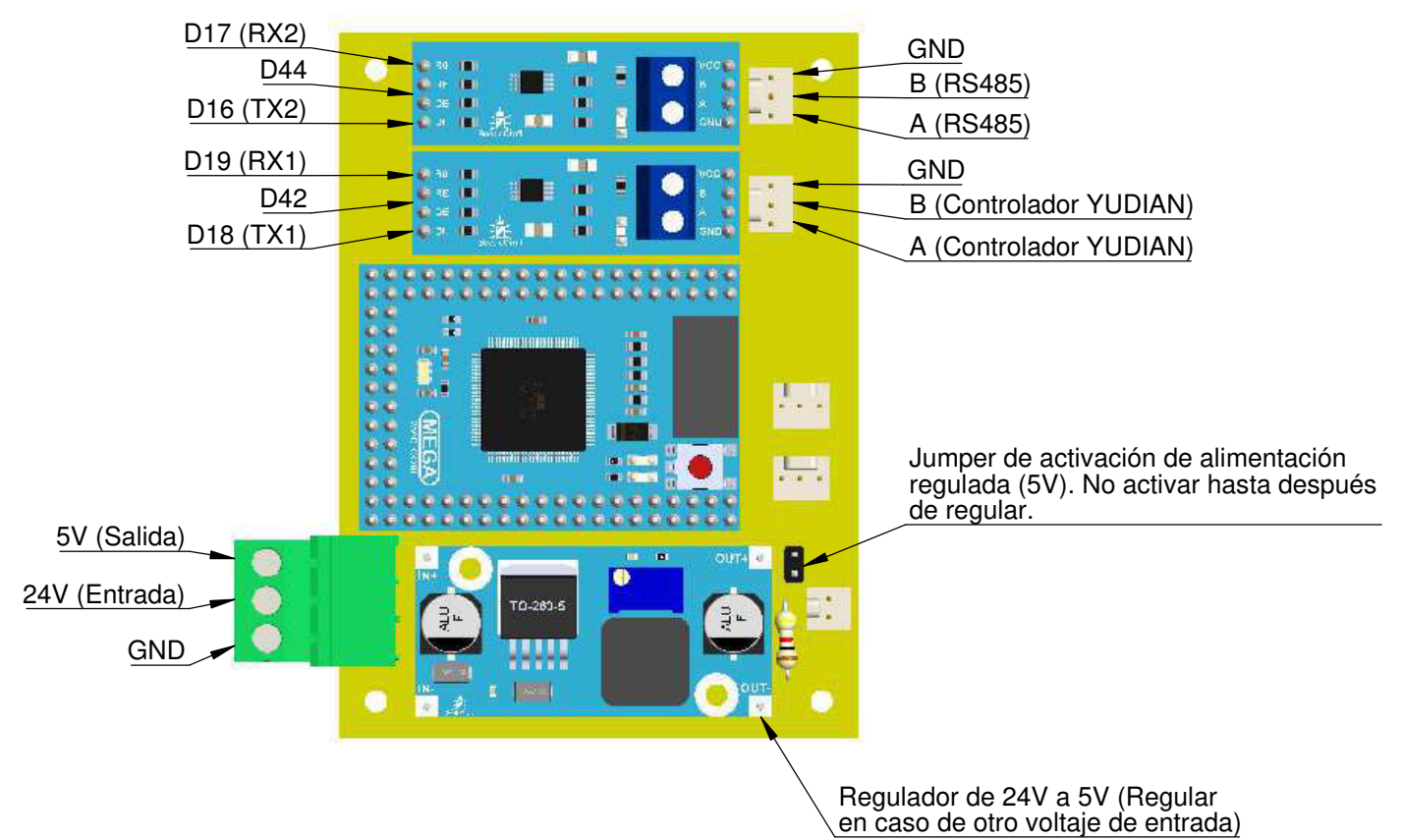
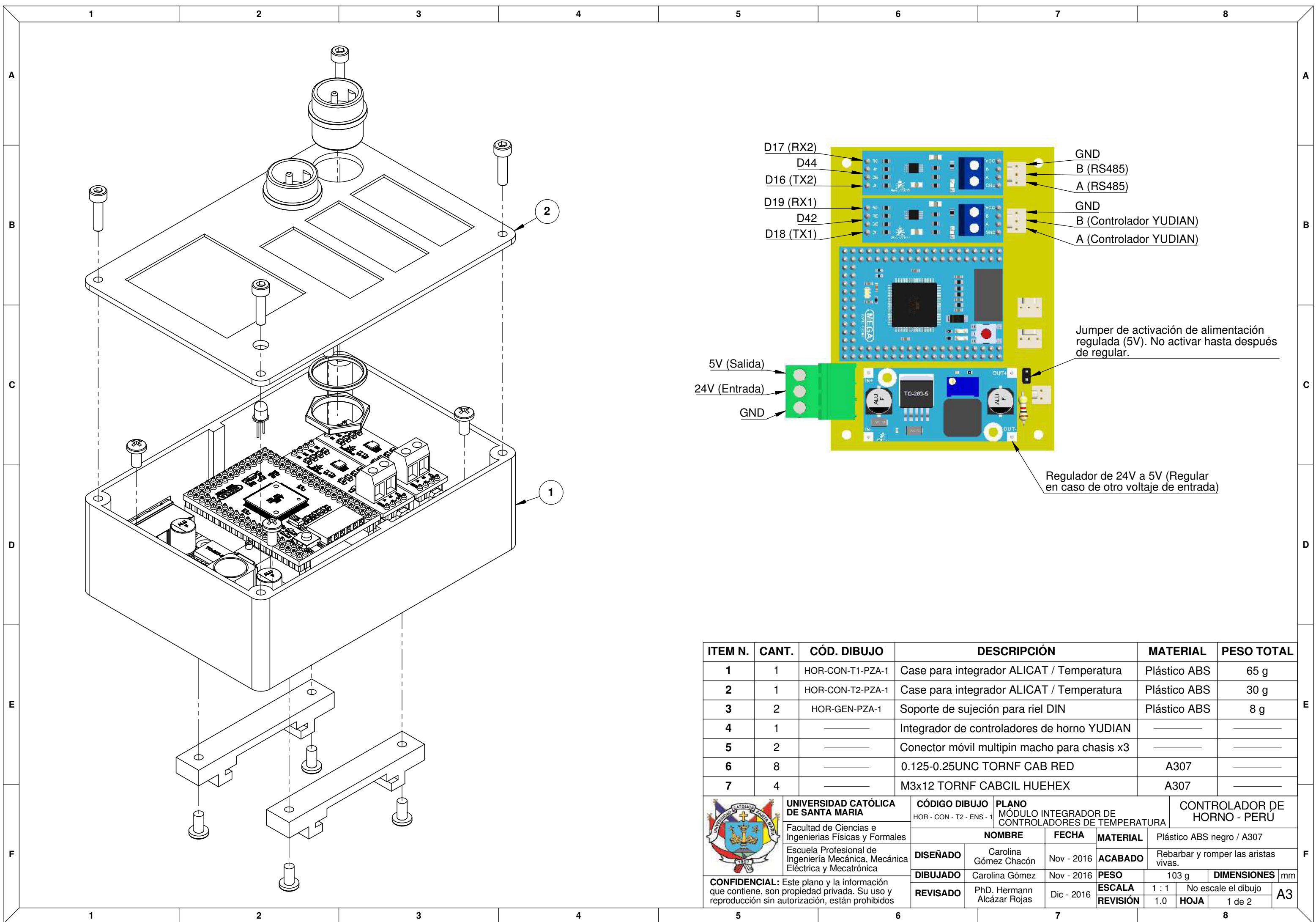
PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN
1	A
2	B
3	GND



ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-GEN-PZA-3	Case para comunicación ALICAT / RS485	Plástico ABS	45 g
2	1	HOR-GEN-PZA-4	Case para comunicación ALICAT / RS485	Plástico ABS	20 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	_____	Distribuidor de señal 4x4	_____	_____
5	5	_____	Conector móvil multipin macho para chasis x3	_____	_____
6	4	_____	M3x12 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____
7	4	_____	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	_____
8	2	_____	M4x5 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____

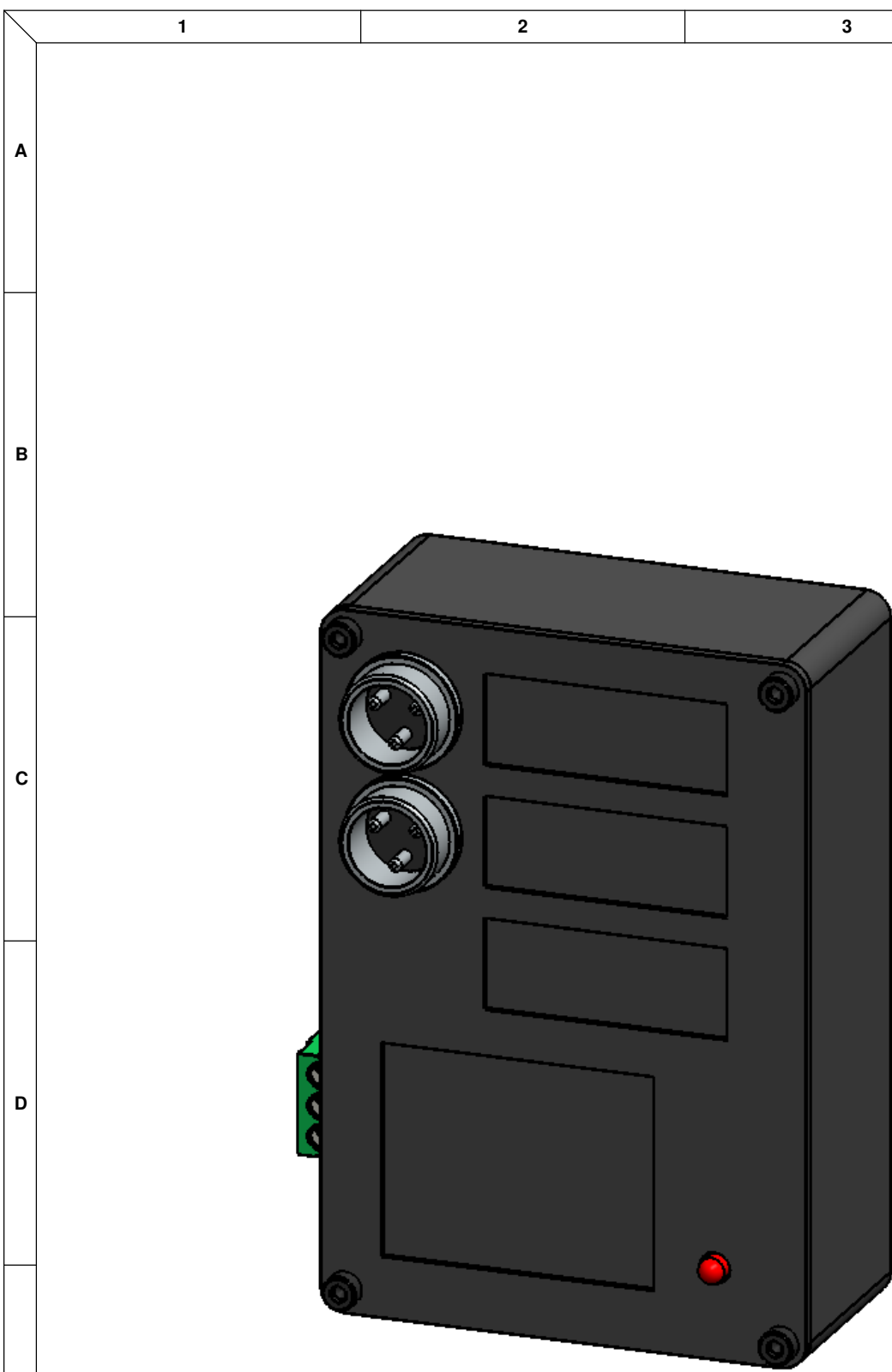
	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - CRS - ENS - 1	PLANO MÓDULO DE INTEGRACIÓN DE COMUNICACIÓN RS485	CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ
		NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307
	DISEÑADO	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 73 g	DIMENSIONES mm
	DIBUJADO Carolina Gómez	REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos

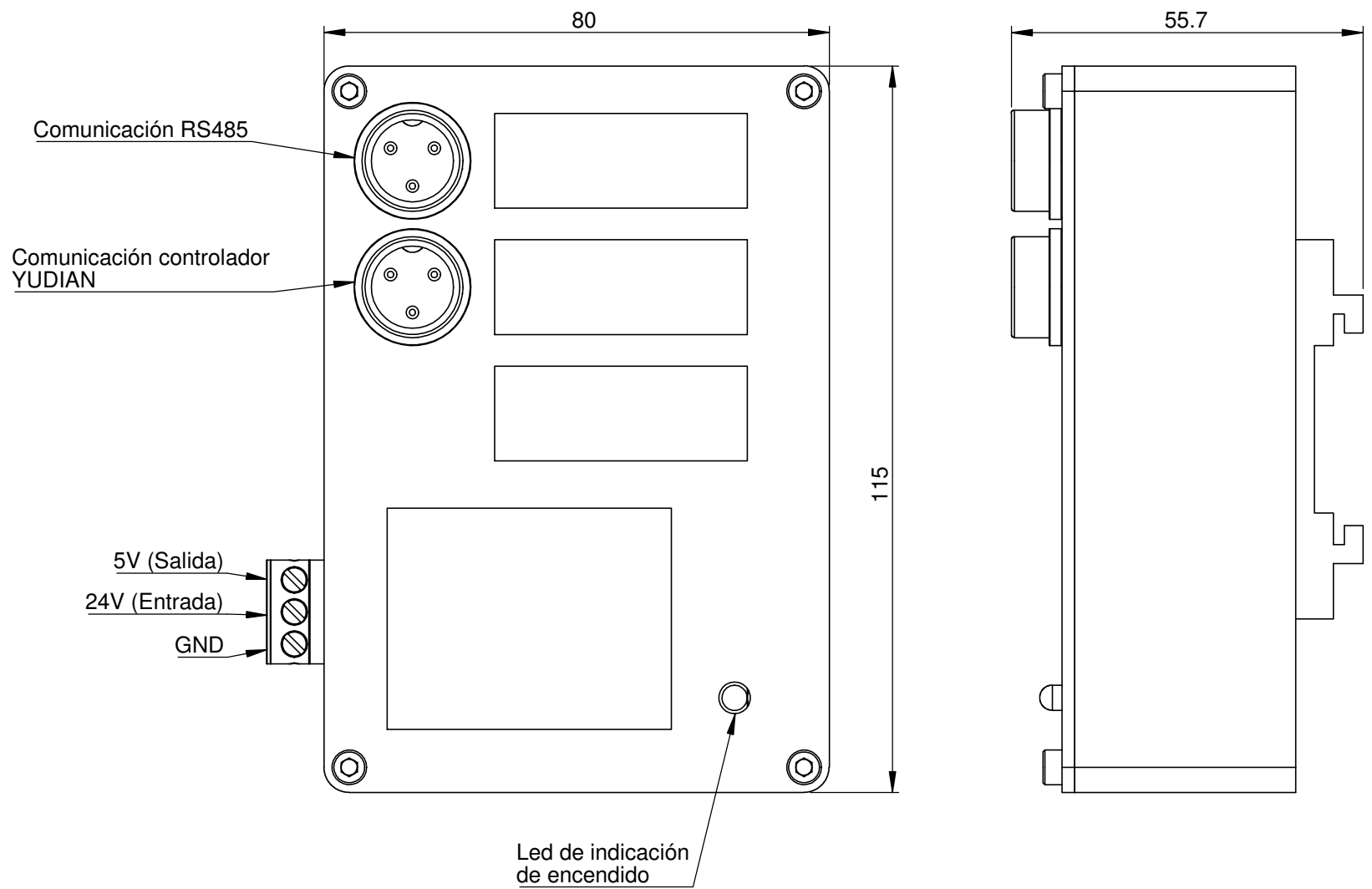


ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-CON-T1-PZA-1	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	65 g
2	1	HOR-CON-T2-PZA-1	Case para integrador ALICAT / Temperatura	Plástico ABS	30 g
3	2	HOR-GEN-PZA-1	Soporte de sujeción para riel DIN	Plástico ABS	8 g
4	1	_____	Integrador de controladores de horno YUDIAN	_____	_____
5	2	_____	Conector móvil multipin macho para chasis x3	_____	_____
6	8	_____	0.125-0.25UNC TORNF CAB RED	A307	_____
7	4	_____	M3x12 TORNF CABCIL HUEHEX	A307	_____

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T2 - ENS - 1	PLANO MÓDULO INTEGRADOR DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.		PESO 103 g	
				DIBUJADO Carolina Gómez		REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	
	CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos			ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0	DIMENSIONES No escale el dibujo	HOJA 1 de 2

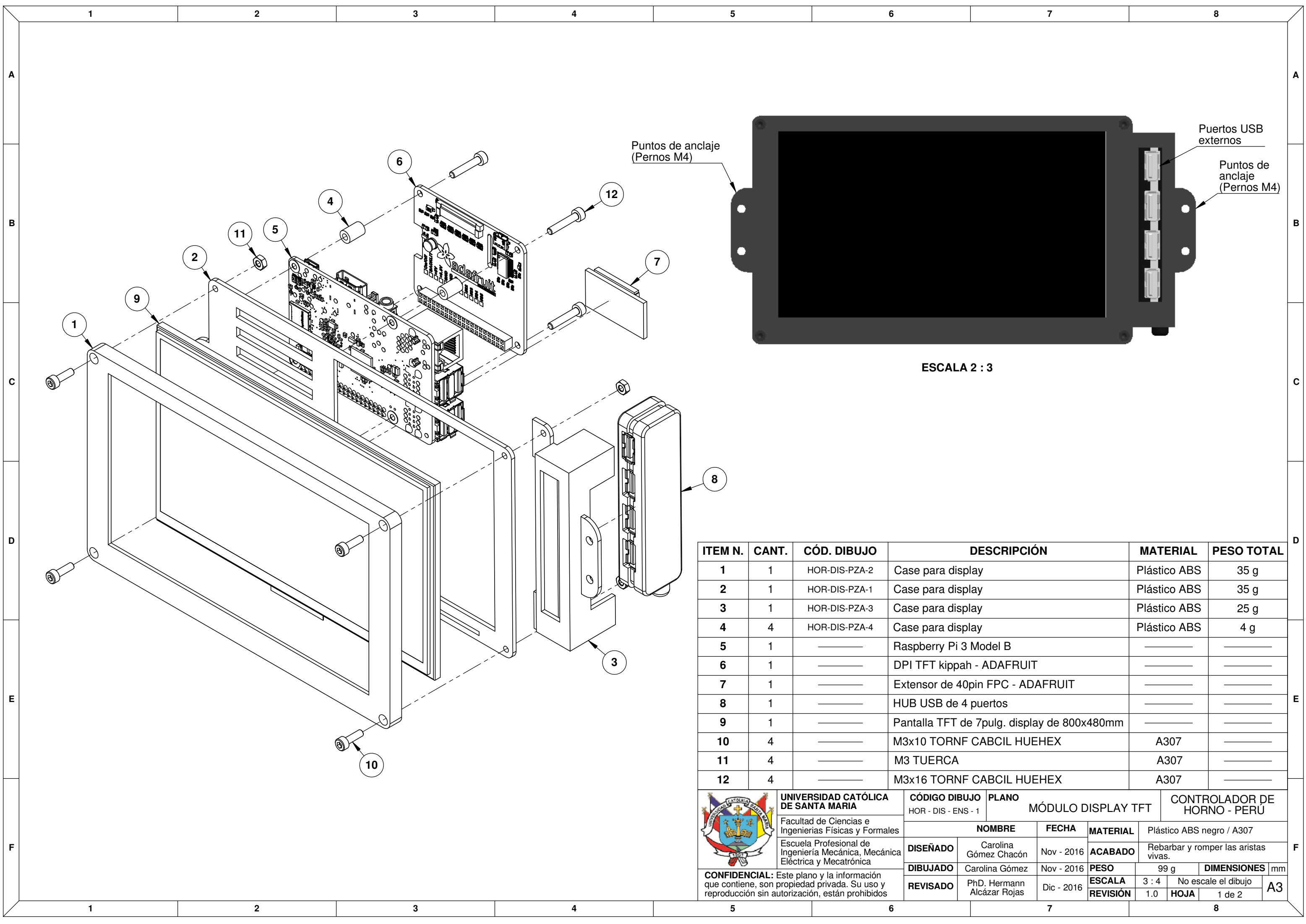


PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN			PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN
1	A			1	A
2	B			2	B
3	GND			3	GND
—	—	COMUNICACIÓN RS485		COMUNICACIÓN CONTROLADOR YUDIAN	



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T2 - ENS - 1	PLANO MÓDULO INTEGRADOR DE CONTROLADORES DE TEMPERATURA		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
		NOMBRE Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307		
	DISEÑADO	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	PESO 103 g	DIMENSIONES	mm	
	DIBUJADO Carolina Gómez	REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	ESCALA 1 : 1	REVISIÓN 1.0	HOJA 2 de 2	A3

CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos




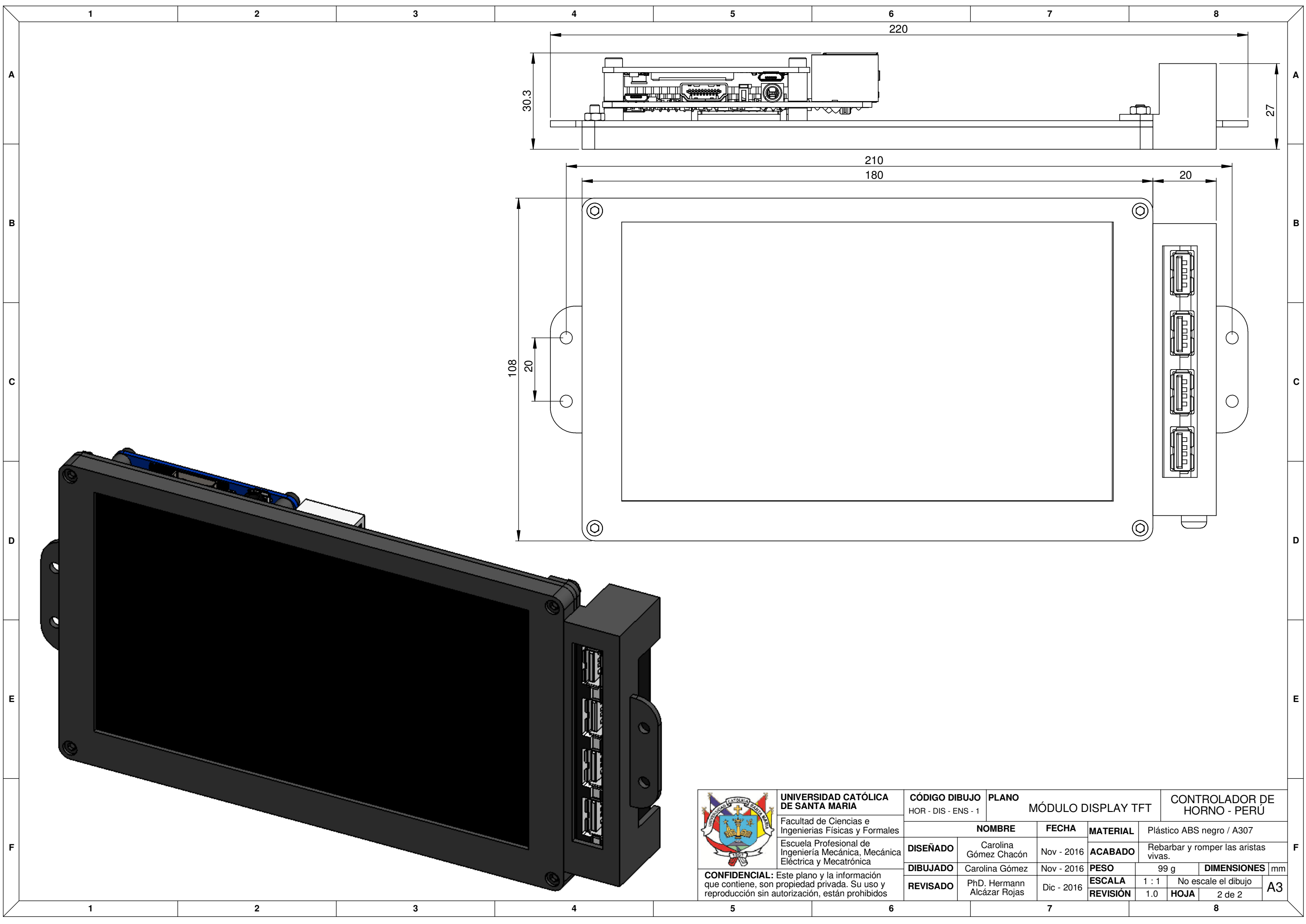
Puntos de anclaje (Pernos M4)


Puertos USB externos
Puntos de anclaje (Pernos M4)

ESCALA 2 : 3

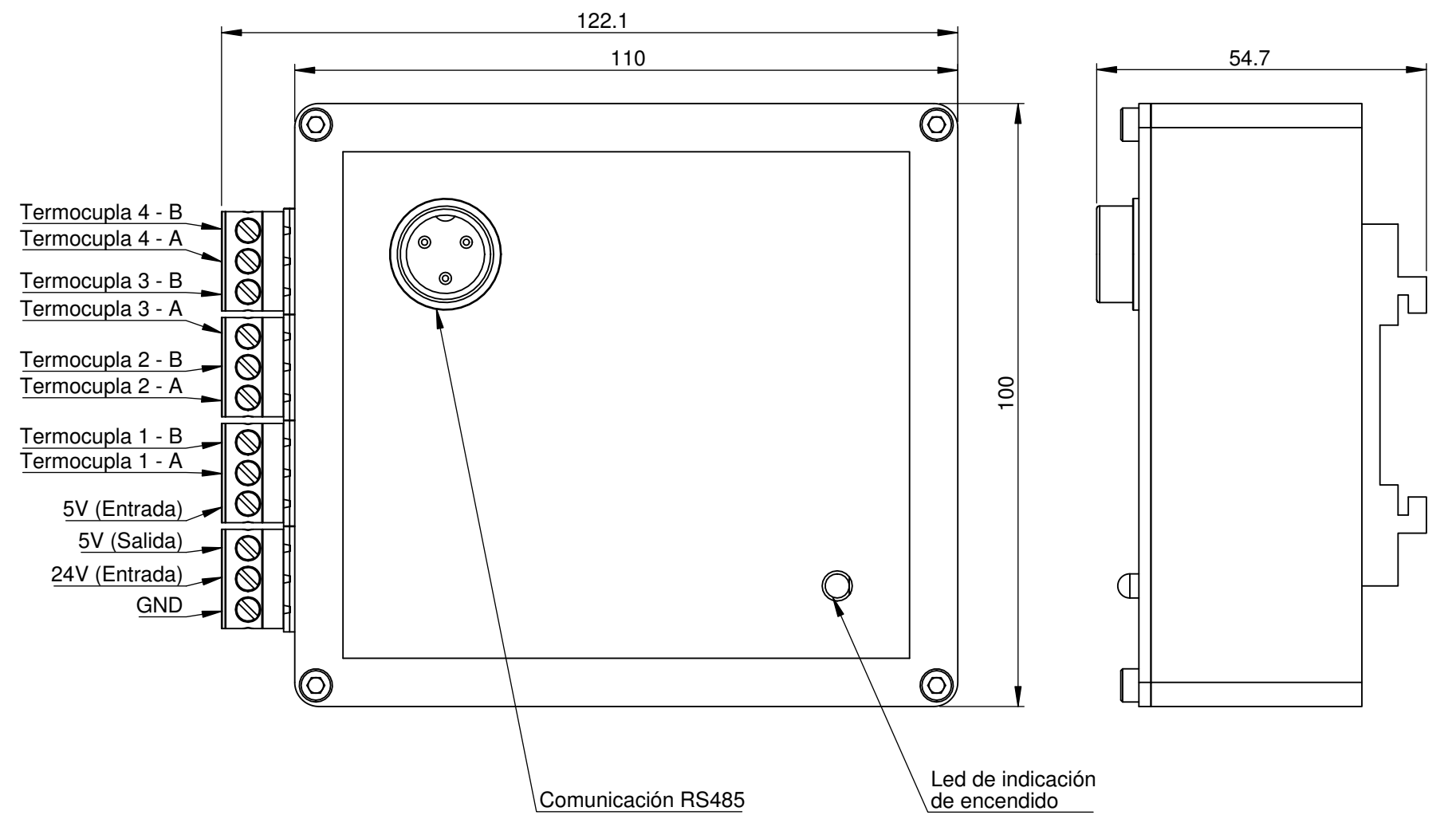
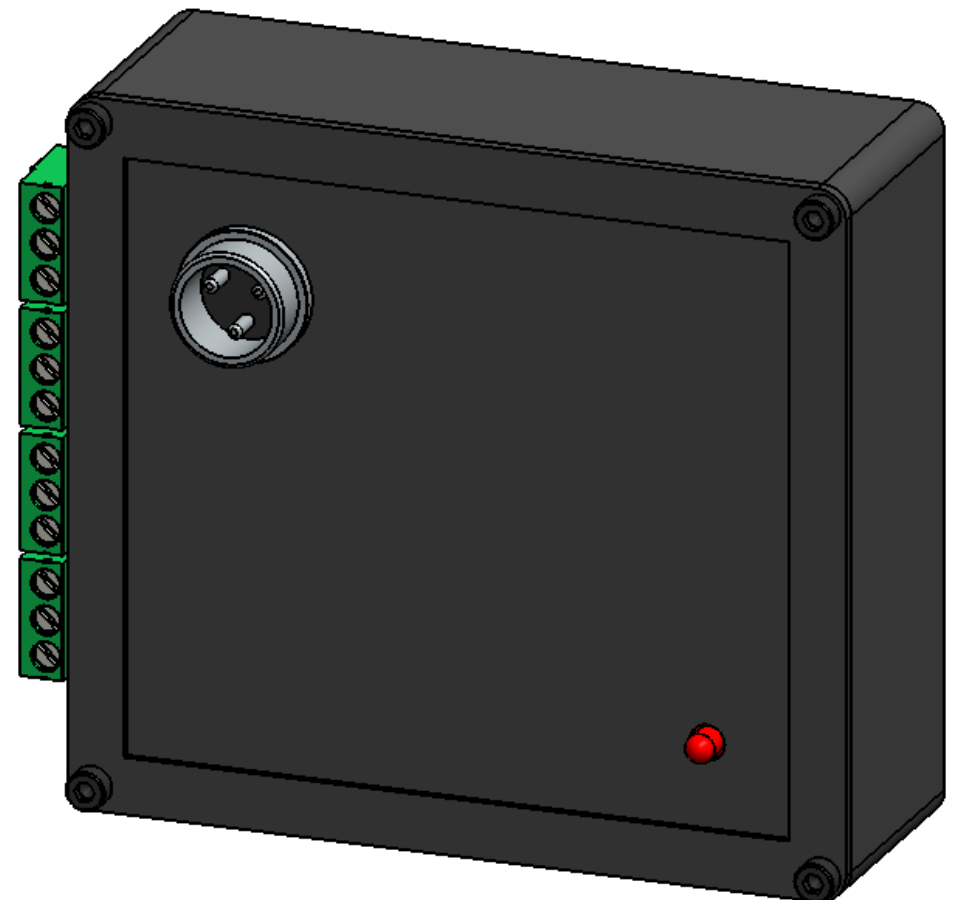
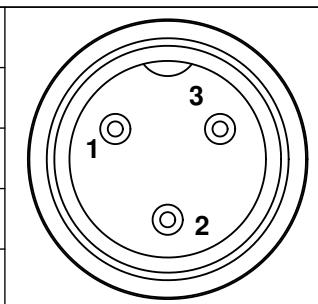
ITEM N.	CANT.	CÓD. DIBUJO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	PESO TOTAL
1	1	HOR-DIS-PZA-2	Case para display	Plástico ABS	35 g
2	1	HOR-DIS-PZA-1	Case para display	Plástico ABS	35 g
3	1	HOR-DIS-PZA-3	Case para display	Plástico ABS	25 g
4	4	HOR-DIS-PZA-4	Case para display	Plástico ABS	4 g
5	1	————	Raspberry Pi 3 Model B	————	————
6	1	————	DPI TFT kippah - ADAFRUIT	————	————
7	1	————	Extensor de 40pin FPC - ADAFRUIT	————	————
8	1	————	HUB USB de 4 puertos	————	————
9	1	————	Pantalla TFT de 7pulg. display de 800x480mm	————	————
10	4	————	M3x10 TORNIF CABCIL HUEHEX	A307	————
11	4	————	M3 TUERCA	A307	————
12	4	————	M3x16 TORNIF CABCIL HUEHEX	A307	————

	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		CÓDIGO DIBUJO HOR - DIS - ENS - 1	PLANO MÓDULO DISPLAY TFT		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón		FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307		ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	
	DIBUJADO Carolina Gómez		FECHA Nov - 2016	PESO 99 g		DIMENSIONES mm	
	REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas		FECHA Dic - 2016	ESCALA 3 : 4		No escale el dibujo	
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos			REVISIÓN 1.0		HOJA 1 de 2		A3



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales		CÓDIGO DIBUJO HOR - DIS - ENS - 1		PLANO MÓDULO DISPLAY TFT		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica		NOMBRE Carolina Gómez Chacón		FECHA Nov - 2016		MATERIAL Plástico ABS negro / A307	
	DISEÑADO		REVISADO		ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.		PESO 99 g	
	DIBUJADO Carolina Gómez		PhD. Hermann Alcázar Rojas		ESCALA 1 : 1		DIMENSIONES No escale el dibujo	
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos				REVISIÓN 1.0		HOJA 2 de 2		A3

PIN	DESCRIPCIÓN DEL PIN
1	A
2	B
3	GND
—	—



	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales	CÓDIGO DIBUJO HOR - CON - T3 - ENS - 1	PLANO MÓDULO LECTOR DE TERMOCUPLAS		CONTROLADOR DE HORNO - PERÚ	
	Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica	DISEÑADO Carolina Gómez Chacón	FECHA Nov - 2016	MATERIAL Plástico ABS negro / A307	ACABADO Rebarbar y romper las aristas vivas.	
		DIBUJADO Carolina Gómez	FECHA Nov - 2016	PESO 108 g	DIMENSIONES mm	
		REVISADO Ph.D. Hermann Alcázar Rojas	FECHA Dic - 2016	ESCALA 1 : 1	No escale el dibujo	
CONFIDENCIAL: Este plano y la información que contiene, son propiedad privada. Su uso y reproducción sin autorización, están prohibidos		REVISIÓN 1.0	HOJA 2 de 2	A3		