



UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA, INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

TFG

SCADA Y MODELADO PARCIAL DE SISTEMA DE
EXTRUSIÓN DE FILAMENTO

Alumnos: Santiago López Pina
Tutor: Víctor González Pacheco

Capítulo 1

Objetivos

Como se ha comentado a lo largo del capítulo introductorio, para el correcto funcionamiento de la línea es necesario un operador que controle y supervise el funcionamiento de la misma, realice la carga de granza en la extrusora y la carga y descarga de los carretes en la bobinadora. Debido a ello se generan errores en la producción que sólo son visibles una vez que el producto ha sido almacenado y es sometido a las convenientes pruebas de calidad, almacenando así un producto que no es de la calidad necesaria para comercializarlo.

Para minimizar el error humano, se propone la implementación de un sistema de aquisición y procesamiento de datos (SCADA) que permita el análisis durante y posterior la producción, de los diferentes parámetros del sistema. Con el fin de modelar parcialmente el mismo para tratar de cerrar el lazo de control entre la unidad tractora y el sistema de control del diámetro. De esta manera, podemos ver los aspectos que influyen en el diámetro y que el propio sistema sea capaz de corregirlo en tiempo real durante la producción.

El proyecto está definido por dos fases:

La primera fase en la que se desarrollará el sistema de adquisición de datos constará de los siguientes puntos:

- Recopilación y análisis de la documentación de todos los dispositivos de interés para el proyecto de la línea de extrusión. Ya que actualmente disponemos de instrumentación que no hemos elegido nosotros, deberemos adquirir toda la documentación para poder lograr conseguir la automatización del sistema y ver cómo funciona individualmente cada uno.
- Defición de los requisitos respecto a comunicaciones necesarias entre los dispositivos de la línea y el sistema de adquisición.
- Determinar los requisitos del autómata programable industrial (PLC) a utilizar.
- Programación del PLC. Puesto que será el encargado de llevar el control de la planta, deberemos programar la adquisición de datos, para establecer el control sobre la linea.

En esta fase, se pondrá en marcha todo el sistema en la planta, instalando el PLC y cableando toda la red de comunicaciones y sensores que disponemos. Así mismo se almacenarán datos de los seis sensores de temperatura que dispone la planta (cinco de ellos en extrusora y uno en bañera de enfriamiento), y sensor de diámetro. Con los datos adquiridos se modelará parcialmente la planta para intentar hacer un control en lazo cerrado entre la unión tractora de filamento y el sensor de diámetro del mismo. Durante esta fase se diseñará un sistema, para poder visualizar los datos adquiridos de forma remota.

La segunda fase del proyecto, consistirá en la implementación en planta de los distintos reguladores diseñados y probados en la fase anterior. Como primera aproximación la salida a controlar será el diámetro del filamento y la entrada la velocidad de extrusión, ya que es la variable que influye directamente en el diámetro a conseguir. Se estudiarán los beneficios de usar distintos tipos de controladores como pueden ser PID, fuzzy, etc. para posteriormente estudiar los beneficios e inconvenientes de cada uno de ellos.

Para el completo desarrollo de esta segunda fase, y poder demostrar el correcto funcionamiento en la línea, necesitaremos la aprobación de la empresa que explota la línea de extrusión. Aunque se tratará de un sistema modular que será fácil de integrar en otras líneas de producción parecidas. Siendo el sistema totalmente compatible y escalable para futuras líneas de extrusión que se adquieran.

A continuación, se detallan los objetivos a conseguir en el proyecto y un diagrama de gant con la planificación inicial del proyecto:

- Documentación de la instrumentación de la planta.
- Definir la arquitectura para la comunicación del PLC y la instrumentación
- Definir requisitos del PLC a adquirir.
- Programación del PLC.
- Realización del armario eléctrico para montar en la fábrica.
- Estudio de los datos adquiridos y desarrollo del modelo teórico de la planta.
- Comprobar qué regulador se amolda a nuestras necesidades.
- Puesta en marcha del regulador en planta y comprobar resultados.

Capítulo 2

Desarrollo

2.1. Búsqueda de información

El primer paso es identificar el hardware del que disponemos en la fábrica con ayuda de las fotos tomadas:



Figura 2.1: Variador Optidrive



Figura 2.2: Sensor de diámetro y perifería



Figura 2.3: Perifería distribuida

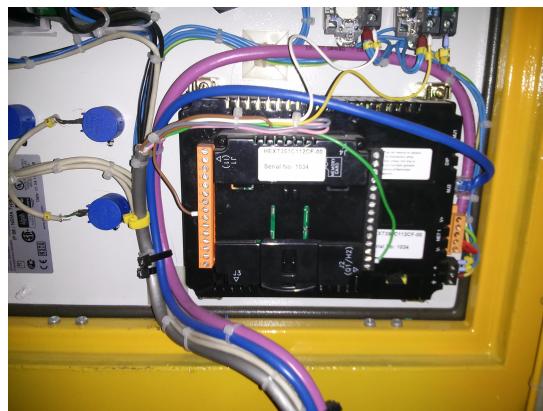


Figura 2.4: Pantalla HMI



Figura 2.5: Sensores de temperatura

Buscando en internet referencias de los posibles componentes que disponemos, y con ayuda de los responsables de la fábrica, llegamos a la conclusión de que el hardware que disponemos es el siguiente:

- **Reguladores temperatura Extrusora:** 5x Eroelectronic LFS
- **Regulador temperatura bañera:** 1x OMRON E5CC
- **Bobinadora: IO distribuidas:**
 - SmartStix I/O: HE559DQM706B y HE559DI710B
 - HMI: HE-XT351C112CF
 - Variador (control tractora): Optidrive rrp2 ODP-24400-SP
 - Sensor diámetro: conectado a módulo Adam 6066
 - Omron ZX-GIF41 (RS232)
 - Omron ZX-GTC41 (Controlador)
 - Omron ZX-GT28S41 (sensor)
 - Relés: OMRON MY2IN

Así mismo, disponemos de los datasheet y sabemos qué tipo de comunicación podemos disponer con cada uno, información necesaria para poder establecer la arquitectura del sistema.

2.2. Arquitectura planteada

Antes de plantear la arquitectura, deberemos establecer el protocolo de comunicaciones y el medio físico por el que irán conectados entre sí. El protocolo establece las reglas necesarias para que dos dispositivos se comuniquen correctamente, haciendo un simulacro con la realidad, sería el idioma que usan dos personas para hablar. Si dos personas mantienen una conversación en un distinto lenguaje, no se entenderán. Y el medio físico, es cómo se hará la comunicación. Mirando las especificaciones de los componentes llegamos a la siguiente conclusión

Dispositivo	Protocolo	Medio
Senores temperatura	Modbus	RS485
Pantalla HMI	Modbus	RS485
Adam	Modbus-TCP	RS485
Sensor diámetro	-	RS232
Variador	Modbus-TCP	RS485
Perifería distribuida	CsCAN	Modbus
Bobinadora		Cableado

Tabla 2.1: Dispositivos disponibles

Todos los dispositivos usan protocolos de comunicaciones industriales ampliamente conocidos, como son Modbus y CsCAN. El sensor de diámetro por ejemplo, está conectado a un PC mediante RS232, en el que almacena en una base de datos SQLITE (Ver imagen 2.6) las medidas que se van tomando, por ello, será necesario acceder a esa base de datos.

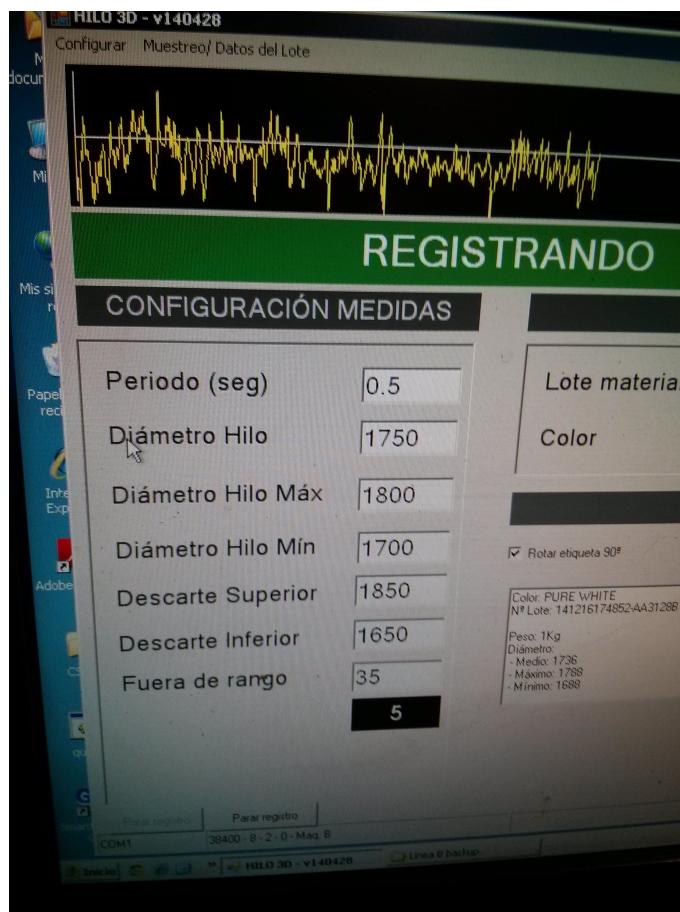


Figura 2.6: Programa que almacena las medidas tomadas en el sensor de diámetro

La bobinadora, no usa ningún protocolo de comunicaciones, mediante señales de entrada salida, ese va realizando la comunicación.

Por tanto, con esta información, podemos establecer la arquitectura del sistema.

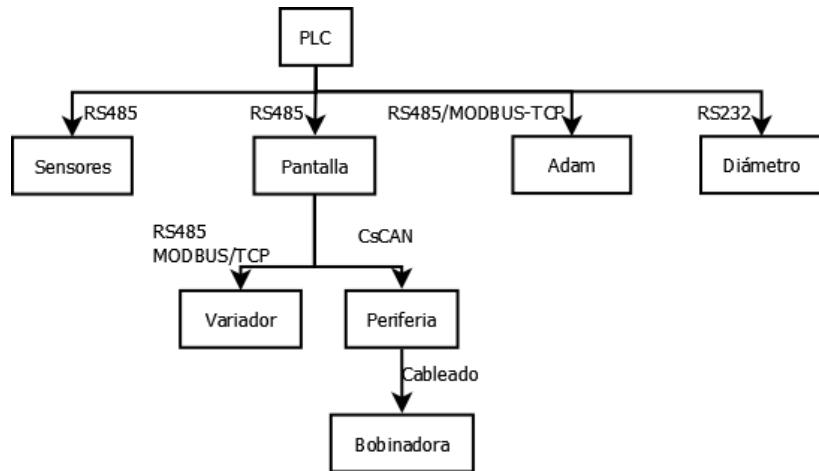


Figura 2.7: Arquitectura propuesta

Debemos buscar por tanto, un PLC que cumpla con las siguientes especificaciones:

Característica	Descripción	Cantidad
Comunicaciones industriales	Ethernet	1
	RS485	1
	RS232	1
Software	Acceso R/W a tabla SQL	
Almacenamiento externo	USB o SD	1
Periferia digital	Entrada	8
	Salida	0
Periferia analógica	Entrada	4
	Salida	1

Tabla 2.2: Especificaciones PLC

2.3. Elección del PLC

Se va a buscar un automáta programable (PLC) que cumpla las especificacione de la tabla 2.2, también se intentará buscar una marca que nos ofrezca las siguientes ventajas, no siendo estas imprescindibles, pero si ayudarán a la hora de elegir un modelo u otro:

- Licencia de desarrollo libre.
- Modelo básico con el mayor número de especificaciones necesarias.
- Capacidad de expansión de las características por medio de módulos.

De este modo, conseguiremos reducir el coste total del proyecto. Partiendo de estos requisitos y buscando distintos proveedores por internet, las empresas que mejor se ajustan son:

- **UNITRONICS:** La compañía ofrece un PLC con pantalla HMI de bajo coste, que es idoneo para pequeños proyectos que no requieran demasiada capacidad. El principal problema es que no dispone de ninguna expansión para almacenar en tarjetas SD, ni se tiene conocimiento de qu se pueda conectar a una bas de datos MYSQL de forma directa.
- **WAGO:** Cumple todos los requisitos que necesitamo, sin embargo, es necesario pagar una licencia para poder usar el software disponible

- **ABB:** El PLC de la gama eco trae de serie la mayoría de las cosas que necesitamos, además, si no se superan ciertas limitaciones, no es necesario pagar una licencia para poder usar el software de desarrollo.

Se habla con cada uno de los distribuidores que ofrecen los productos en España, pidiendo un presupuesto con el material necesario para suplir las necesidades del proyecto:

Distribuidor	Precio (€)
Unitronics	390
Wago	1374
Abb	506

Tabla 2.3: Presupuestos de los tres distribuidores

Debido al alto presupuesto que nos propuso Wago se descartó, ya que en una primera aproximación, se eligió por que ofrecían alternativas baratas a grandes empresas como Siemens y ABB, sin embargo en el caso que nos ocupa y como se puede ver en la tabla 2.3 el precio de ABB es muy competitivo. De hecho es la marca que se elige, debido a que el coste con la marca Unitronics no supone un gasto excesivo y la fiabilidad de los automátas y el software que provee es mejor. Además trae de serie un servidor web con el que podremos hacer una interfaz WEB en la que veremos el estado de la fábrica de forma remota. Por ello, el hardware que se decide adquirir es el siguiente:

- PM564-RP-ETH CPU AC500-eCo, 128kB, 6DI/6DO-R/2AI/1AO, 24VDC. ETH y WEBSERVER. (Requiere: conectores 9+11 polos)
- AI562 Módulo S500-eCo, 2AI PT100/1000, Ni100/1000, Resist. 150/300 (Requiere conector 11 polos)
- MC502 SD Memory Card 512 MB
- MC503 Adaptador para tarjeta SD de memoria AC500-eCo.

2.4. NO SE COMO LLAMARLOOO

Una vez realizado el pedido del PLC y disponibles los datasheet de los sensores, desde la fábrica de filamento nos informan que no desean continuar con el proyecto y que no nos facilitarán más información acerca del proceso de fabricación. Por ello, el sentido de este proyecto cambia, ya que no podremos tener acceso a los sensores ni ninguna instrumentación de la fábrica.

Se decide entonces cambiar el enfoque del proyecto, desde BQ se tiene planes de investigación en lo referente a los polímeros usados en la impresión 3D para poder mejorar en el producto que ofrecen, y hay intención de adquirir dos extrusoras propias:

- Extrusora industrial.
- Extrusora de laboratorio.

Con cualquiera de estas dos extrusoras se podría implementar el sistema propuesto para este proyecto, sin embargo el principal problema son los tiempos de adquisición que no se tiene planeado comprarlas hasta el último trimestre de 2015, con lo que el plazo de entrega del presente proyecto se alargaría.

Podría realizarse el proyecto sin tener ninguno de los materiales, únicamente con el PLC y simuladores del protocolo MODBUS, pero no sería algo completo. En el departamento de robótica e innovación de BQ se dispone de un KIT DIY de una extrusora de filamento, filestruder.

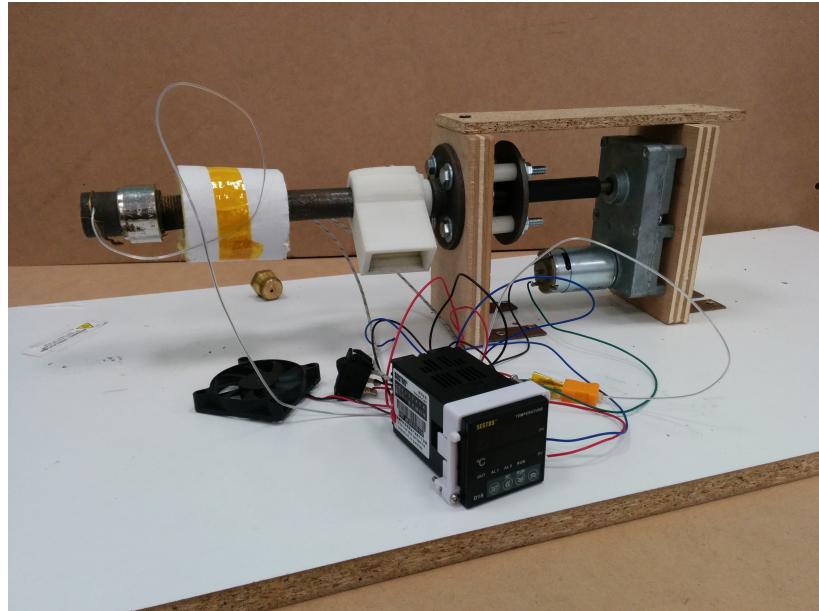


Figura 2.8: Maqueta de filastruder montada

Filastruder se presenta como proyecto en Noviembre de 2012 [1] y consiguió recaudar 212,278\$ en una campaña de kickstarter. Es un extrusor de baja capacidad y de bajo coste, liberado como Open Source. Todo el proceso de construcción del extrusor se documentó en el foro y se creó una comunidad de usuarios interesados en los extrusores caseros.

Algunas de las características de este extrusor son:

Par de detenimiento del motor	$12N.m$
Velocidad del motor	$3rpm$
Tiempo para extruir 1kg	$24H$
Diámetro del husillo	$15,875mm$
Longitud del husillo	$255mm$
Tolerancia declarada	$\pm 0,05mm$

Tabla 2.4: Características filastruder. Fuente[2]

La filastruder que disponemos, trae un controlador PID que mediante una resistencia de potencia y un termopar tipo J, consigue regular la temperatura del dado de la extrusora. Así mismo, trae un motor de continua, con una etapa reductora, para poder mover el husillo y hacer avanzar los pellets de PLA por el cañón.

La maqueta lleva parada alrededor de un año y no se sabe muy bien si su funcionamiento es el correcto, por ello, se monta con una fuente de alimentación y se comprueba si al menos es capaz de mover el husillo y calentar el carucho.

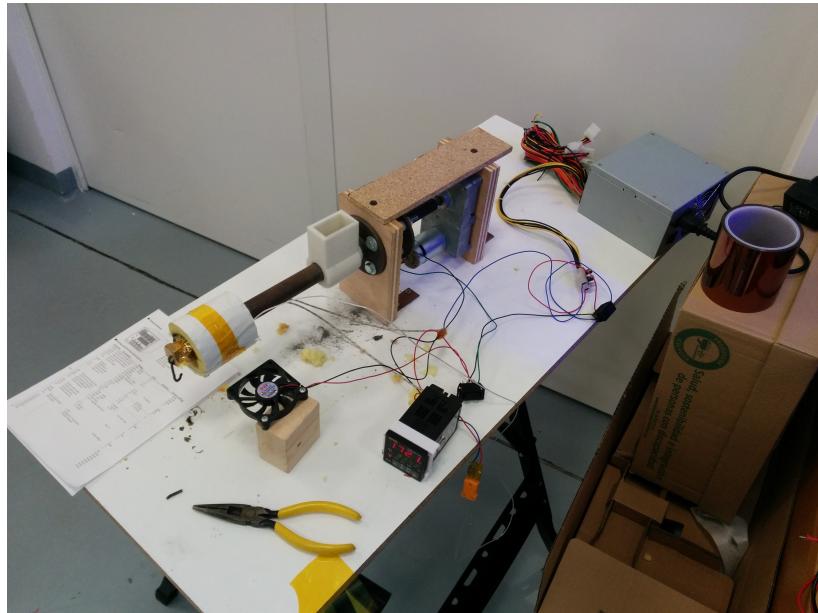


Figura 2.9: Maqueta de filastruder funcionando

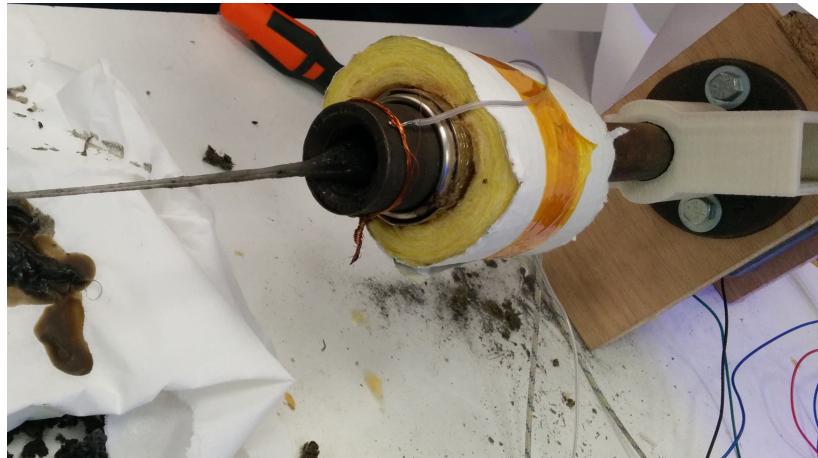


Figura 2.10: Maqueta de filastruder funcionando

Después de vaciar y limpiar correctamente el cañón, comprobamos que el funcionamiento del filastruder puede sernos útil para al menos hacer un proyecto a escala reducida de lo que originariamente se pensó. Por tanto, los objetivos vistos en el capítulo 1, página 2, no cambian.

En este punto, tenemos accesibles los materiales necesarios para la realización del proyecto, así podremos avanzar en el proyecto sin necesidad de pedir permisos a tercera personas, sin embargo se añaden nuevas tareas al proyecto, como la puesta en marcha de nuestra propia extrusora, lo cual añadirá una dificultad extra y hará que la fecha de entrega final se proloongue.

2.5. Montaje Filastruder

El control de temperatura del filastruder se realiza mediante un regulador PID modelo Sestos D1S. Conectandole el termopar tipo J y el cartucho calefactor, es capaz de regular la temperatura que deseemos del dado, el único problema es que no dispone de comunicaciones industriales, y sólo se puede introducir la temperatura deseada mediante el display que incorpora.



Figura 2.11: Controlador PID de temperatura Sestos

Se decide entonces no usar el PID e integrarlo directamente en el PLC ya que, con el hardware que compramos tenemos dos entradas analógicas capaces de leer sensores de temperatura del tipo PT100. De este modo, podremos introducir dos zonas de calentamiento, una en el dado del cañon y otra en la entrada de los pellet para poder tener varios registros de temperaturas como se tenía en la idea principal , que se disponian hasta cinco sensores de temperatura.

Se pasa a instalar sobre una plancha de madera la filastruder y todo el cableado futuro que se va a usar a lo largo del proyecto:



Figura 2.12: Se ancla la estructura a la base

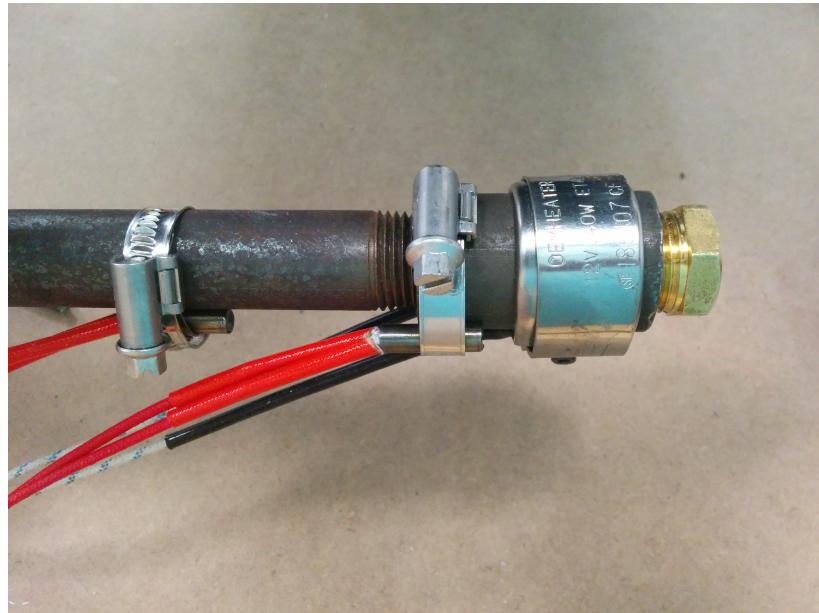


Figura 2.13: Calefactor en la alimentación y cañón

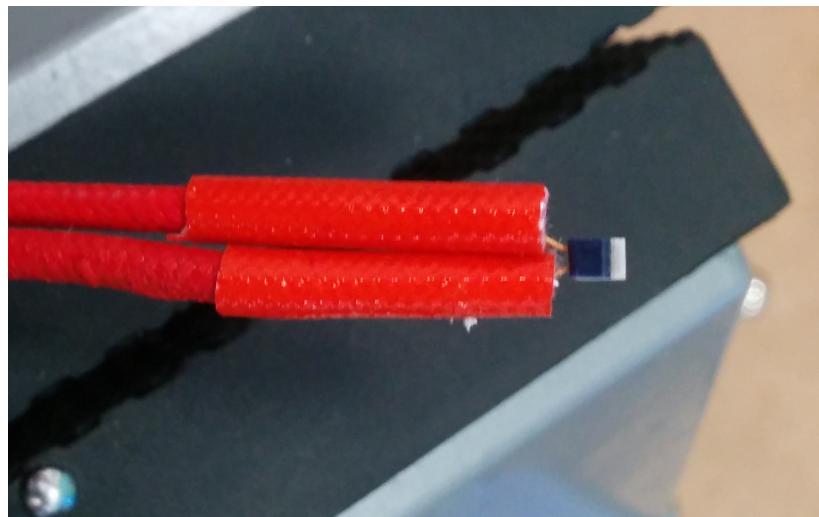


Figura 2.14: Sensor PT100 de temperatura

Una vez instalados los cartuchos y las sondas de temperatura en la filastruder, se pasa a aislar el cañon para que la disipación de calor al exterior no sea elevada y poder mantener una temperatura constante.

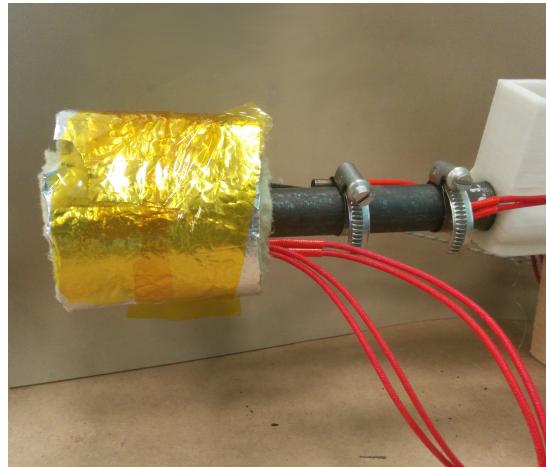


Figura 2.15: Filastruder montado

El siguiente paso es cablear todas las señales a un armario que instalaremos en la propia maqueta en el espacio reservado para ello, este armario estará conectado al armario del PLC para poder realizar el control de la maqueta:

- Sondas de temperatura.
- Reles para controlar las resistencias de potencia y el motor del husillo.

El circuito eléctrico a cablear está indicado en el Anexo ??.

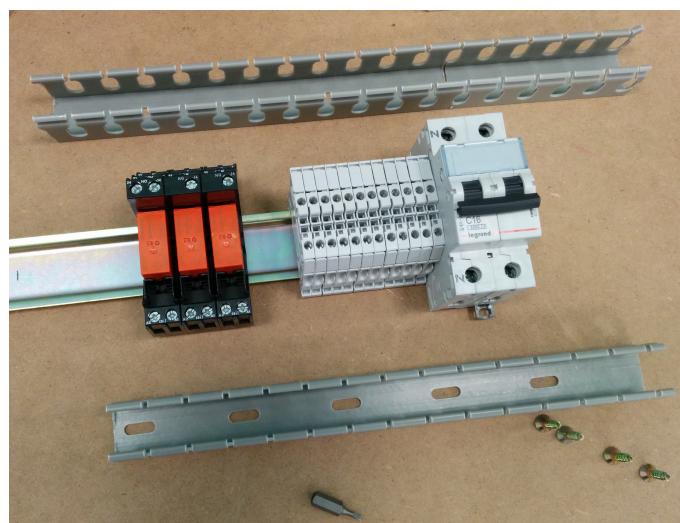


Figura 2.16: Presentación de los componentes en el lugar adecuado.



Figura 2.17: Atornillamos las canaletas y guías a la madera.

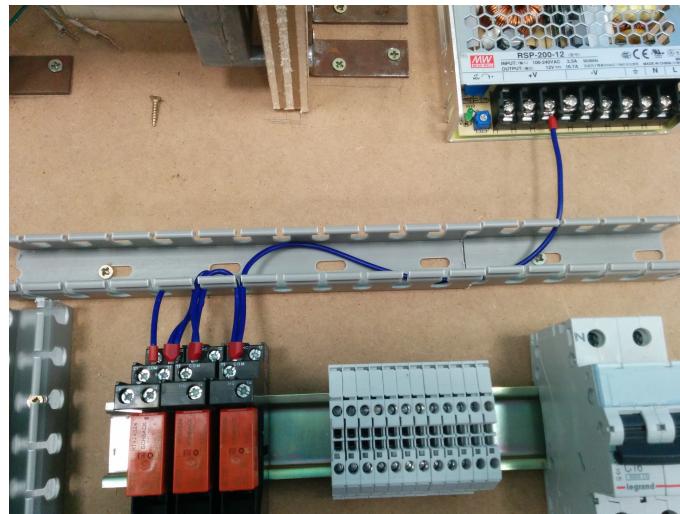


Figura 2.18: Cableamos los componentes según los esquemas.

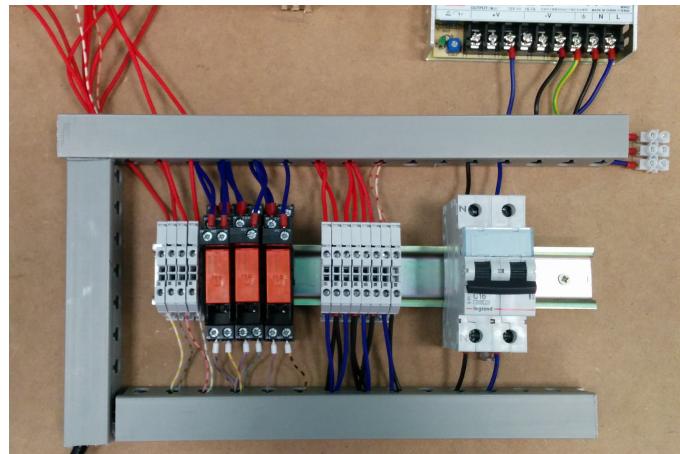


Figura 2.19: Aspecto final cuadro eléctrico maqueta.

A continuación se va a realizar el montaje del armario eléctrico

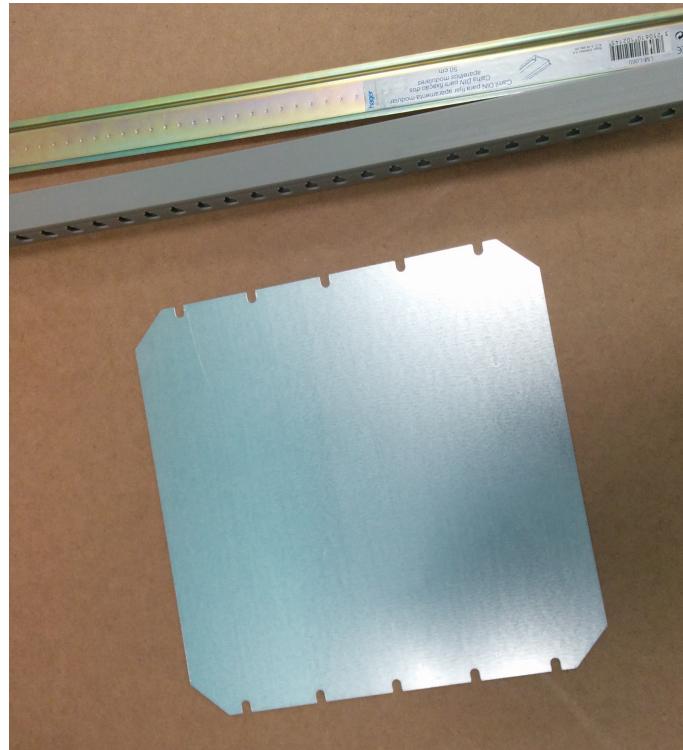


Figura 2.20: Lámina, canaleta y guía donde irá el PLC.

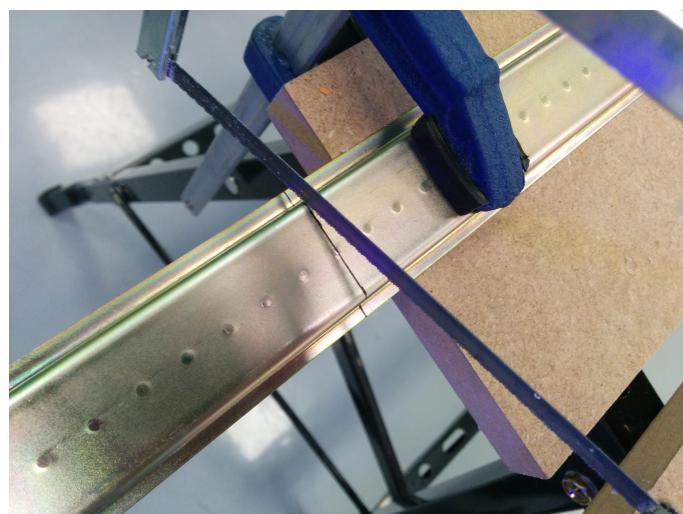


Figura 2.21: Cortamos la guía y canaleta según las necesidades.



Figura 2.22: Comprobamos que entra dentro del armario.

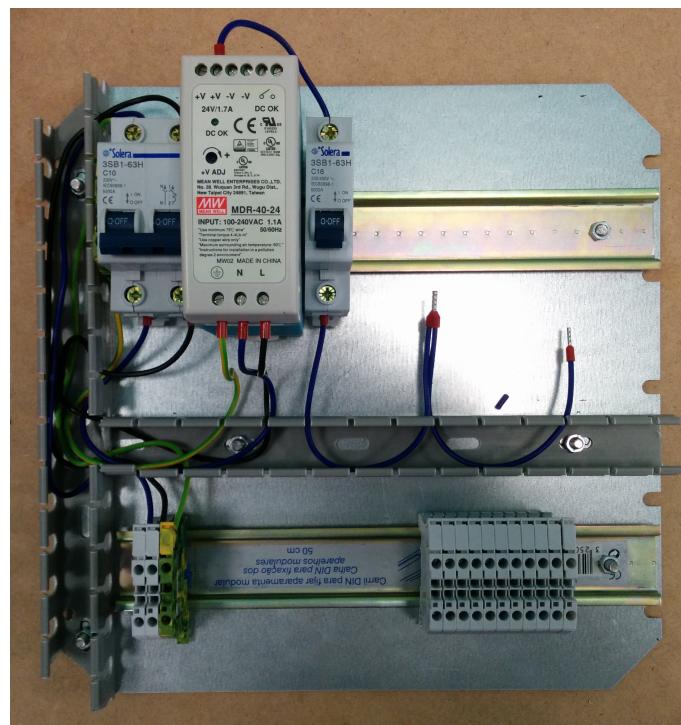


Figura 2.23: Cableamos los dispositivos entre sí.



Figura 2.24: Cableamos las entradas-salidas del PLC.

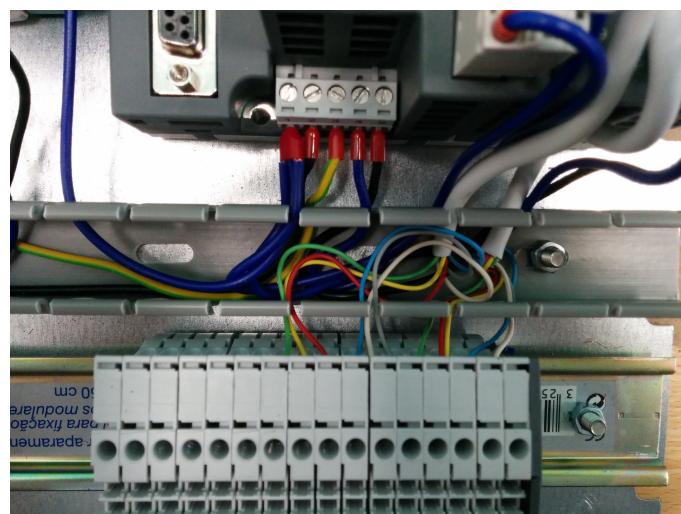


Figura 2.25: Regletero con acceso a los pines del PLC.

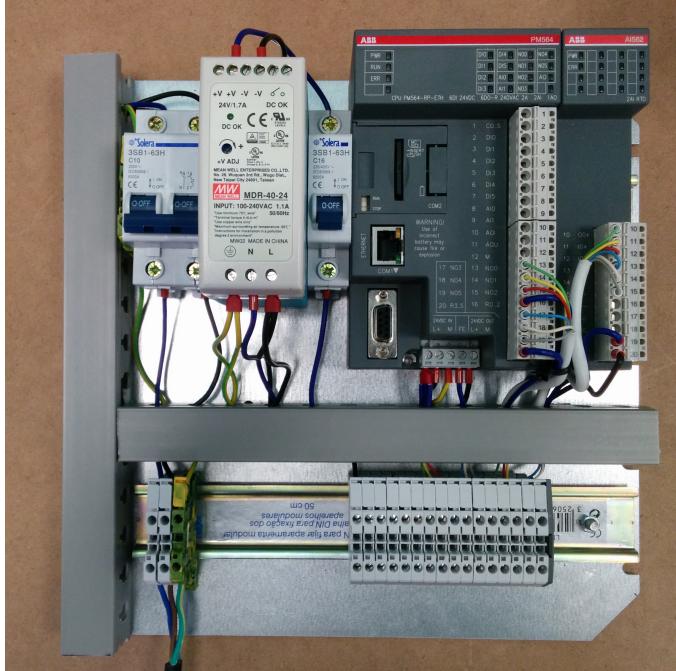


Figura 2.26: Cuadro terminado.

Hasta el momento, tenemos todo el hardware del PLC disponible así como la extrusora para poder crear el filamento, nos faltaría por adquirir un sensor de diámetro para poder registrar todas las temperaturas y llegar a uno de los objetivos planteados que es sacar el modelo de la planta.

Se buscan modelos industriales de sensores de diámetro como los que se usan en la fábrica de Huesca, sin embargo, su precio se sale del presupuesto establecido para el proyecto. Por ello, debemos buscar una alternativa barata y que sea funcional.

Buscando por internet se encuentra un proyecto en la web thingiverse [3] de un sensor de diámetro DIY con licencia Creative Commons. En el que se incluye toda la documentación necesaria para realizar un sensor de diámetro analógico el cual es capaz de medir filamentos de hasta 3mm, lo cual entra dentro de nuestro margen de trabajo (filamento de 1.75mm).

2.6. Sensor de diámetro DIY

El sensor funciona de la siguiente manera. Dispone de un sensor CCD lineal de 1x128 pixels (ver imagen 2.27), el cual es iluminado de forma constante por un LED de alta iluminancia, el filamento, al pasar por encima del sensor, proyecta una sombra sobre él, haciendo que los píxeles tengan distinta luminosidad, de esa manera, un microcontrolador es capaz de calcular el diámetro del elemento que está por encima del sensor, una vez calculado el diámetro, usando un conversor DAC, escribe en una salida analógica un valor de tensión (comprendido entre 0-3v), teniendo una relación directa mm-V, es decir, para un diámetro de 1,75mm, obtendremos a la salida 1,75V

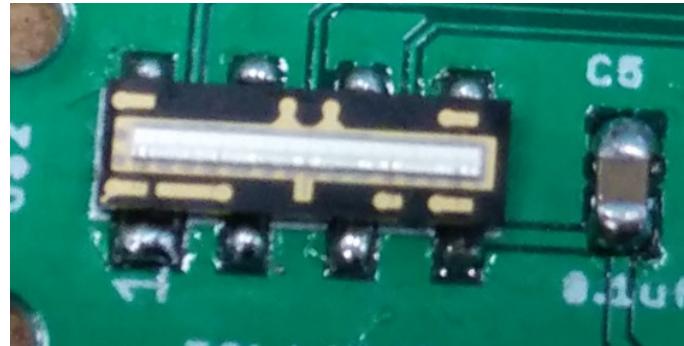


Figura 2.27: Sensor CCD lineal.

El usuario, vende los sensores a través de internet ya montados, programados y calibrados, lo cual nos interesa ya que nos ahorraría tiempo en la integración con el proyecto, sin embargo, al ir a hacer el pedido, no hay stock y el usuario no tiene planes de vender más. Pero como dijimos anteriormente, está toda la información accesible en internet para poder realizar por nosotros mismos uno, esta es una de las ventajas del Open Source, así pues, pusimos en marcha los pedidos con el BOM correspondiente.

El trabajo necesario para poner en marcha el sensor es el siguiente:

- Realizar el pedido en una tienda de electrónica
- Realizar PCBs del sensor
- Soldar componentes a la PCB
- Programar microcontrolador
- Comprobar correcto funcionamiento.

2.6.1. Realizar el pedido en una tienda de electrónica

Se realiza el pedido a la empresa mouser, que es un distribuidor de componentes electrónicos, con el siguiente material.

Descripción	Cantidad
Condensador cerámico SMD 0,1 μ F	2
Condensador cerámico SMD 1 μ F	2
Condensador cerámico SMD 10 μ F	1
LED Trough hole Rojo	1
LED SMD Rojo	1
Resistencia SMD 1/8 WAT 150ohms	1
Resistencia SMD 1/8 WAT 300ohms	1
Resistencia SMD 1/8 WAT 1Kohms	1
Pulsadores SMD	1
8bit Microcontrolador Freescale	1
Sensor CCD 1x128 pixeles	1

Tabla 2.5: BOM sensor de diámetro

2.7. Realizar PCB del sensor

Para conseguir la PCB se usan los ficheros gerber disponibles en la web del proyecto [3]. Los ficheros gerber, contienen la información necesaria para la fabricación de la placa de circuito impreso

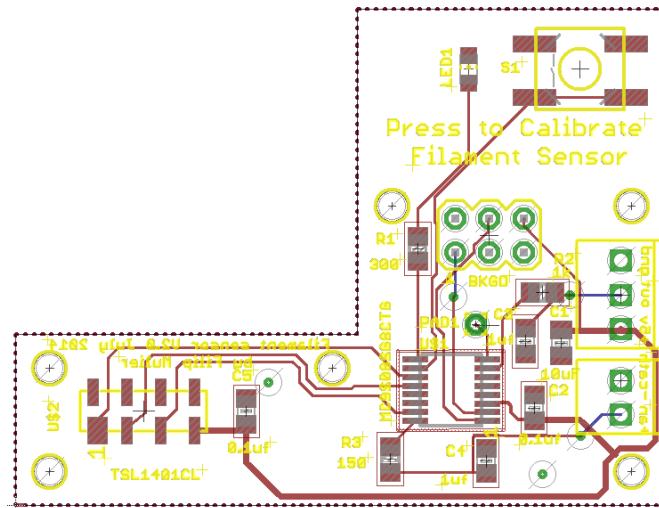


Figura 2.28: Fichero gerber de la pcb.

hemos conseguido los siguientes objetivos que definimos en el capítulo 1. Ver página 3.

- Documentación de la instrumentación de la planta.
- Definir la arquitectura para la comunicación del PLC y la instrumentación
- Definir requisitos del PLC a adquirir.
- Realización del armario eléctrico para montar en la fábrica.

Y nos quedaría por completar:

- Programación del PLC.
- Estudio de los datos adquiridos y desarrollo del modelo teórico de la planta.
- Comprobar qué regulador se amolda a nuestras necesidades.
- Puesta en marcha del regulador en planta y comprobar resultados.

Bibliografía

- [1] T. Elmore. Filastruder developement thread. <http://www.soliforum.com/post/4783/#p4783>, August 14 2015.
- [2] D. Trapero. Disño, construcción y control de un extrusor de filamento para impresoras 3d. page 37, August 14 2015.
- [3] flipper. Filament width sensor prototype version 3. <http://www.thingiverse.com/thing:454584>, August 14 2015.