

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA
EN EL PROCESO DE AÑEJADO PARA MEJORAR LAS
CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

EDWARD ISSAC BECERRA GIL

ASESOR

JORGE ALBERTO VILLANUEVA ZAPATA

<https://orcid.org/0000-0002-2529-1161>

Chiclayo, 2022

**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE CONTROL DE
TEMPERATURA EN EL PROCESO DE AÑEJADO PARA
MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL ARROZ**

PRESENTADA POR:

EDWARD ISSAC BECERRA GIL

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR:

Abel Enrique Gonzalez Wong

PRESIDENTE

Absalon Rivasplata Sanchez

SECRETARIO

Jorge Alberto Villanueva Zapata

VOCAL

Dedicatoria

A Dios, por brindarme fortaleza y guiar mis pasos en todo momento. A mis padres, por su constante apoyo, confianza y orientación a lo largo de la carrera universitaria. Gracias a ellos he crecido como persona y han sido mi inspiración para poder llegar hasta este momento. A mi hermana, por brindarme su confianza y apoyo en todo momento y a todas las personas que me han brindado su apoyo, su tiempo y han hecho posible la culminación de este trabajo de investigación.

Agradecimientos

Agradecer especialmente a mi padre Vilmer Becerra Hernández y a mi madre María Nélida Gil Tello, por el apoyo, consejos y conocimientos que me brindan en todo momento. A mi asesor Mgtr. Ing. Jorge Alberto Villanueva Zapata, por su constante apoyo y enseñanzas brindadas en la realización del presente trabajo de investigación y finalmente al molino Del Agricultor, por haberme brindado los datos necesarios para poder llevar a cabo el desarrollo de la tesis.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción	7
Revisión de literatura	8
Materiales y métodos	13
Resultados y discusión	14
Conclusiones	31
Recomendaciones	32
Anexos	35

Resumen

El Molino del Agricultor SAC, se dedica al pilado y añejado de arroz de distintas calidades para los diferentes tipos de arroz que se produce en la región Lambayeque. Actualmente presenta un problema en las características del arroz añejado debido a la variabilidad de temperatura que ocurre en el proceso de añejado.

Se realizó un diagnóstico de la situación actual del molino, identificando una eficiencia de 94.6%. El 5.4 % restante equivale a 30 723 kg, que están representados en la cantidad de kg reducidos por el proceso de añejado y los subproductos obtenidos. Además, se tiene un total S/ 218,640.00 referente a los ingresos no percibidos.

Se diseñó un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado, donde se logró aumentar la producción a 544 900,42 kg de arroz añejado y la eficiencia en un 95.7%. Además, se obtuvo una mejora del proceso de 57,14% que se ve reflejado en la reducción de la cantidad de subproductos de 2733 a 1164, teniendo un total de 1569 sacos que son vendidos como arroz añejo.

Mediante el análisis de costo beneficio, se calculó la inversión de la propuesta, teniendo un costo total del sistema de S/ 121,871.54, el VAN de S/ 270,186.13, un TIR del 96%, y un beneficio de S/ 1.11 por cada sol invertido y un período de recuperación de 1 año con 2 días.

Palabras clave: Arroz añejo, Sistema de control de temperatura, Controlador PID

Abstract

El Molino del Agricultor SAC, is dedicated to the milling and aging of rice of different qualities for the different types of rice that is produced in the Lambayeque region. Currently it presents a problem in the characteristics of aged rice due to the temperature variability that occurs in the aging process.

A diagnosis of the current situation of the mill was carried out, identifying an efficiency of 94.6%. The remaining 5.4% is equivalent to 30 723 kg, which is represented in the amount of kg reduced by the aging process and the by-products obtained. In addition, there is a total of S/ 218,640.00 referring to the income not received.

A temperature control system was designed in the aging process, where it was possible to increase the production to 544,900.42 kg of aged rice and the efficiency by 95.7%. In addition, an improvement of the process of 57.14% was obtained, which is reflected in the reduction of the amount of by-products from 2,733 to 1,164, having a total of 1,569 bags that are sold as aged rice.

Through the cost benefit analysis, the investment of the proposal was calculated, having a total cost of the system of S / 121,871.54, the VAN of S / 270,186.13, an TIR of 96%, and a benefit of S / 1.11 for each sol invested and a payback period of 1 year with 2 days.

Keywords: Aged rice, Temperature control system, PID controller

Introducción

El arroz es el segundo cereal de mayor consumo a nivel mundial, siendo el continente asiático el que produce y consume el 80 % del arroz en el mundo. En el 2018, la FAO realizó un seguimiento del mercado del arroz respecto al año 2017, obteniendo una producción mundial de arroz de 759,6 millones de toneladas, de los cuales 503,9 millones de toneladas fueron destinados al proceso de pilado de arroz. [1]

En el Perú, el arroz es uno de los productos que tiene un mayor consumo, siendo uno de los elementos más importantes en la canasta básica familiar de los hogares peruanos. En 2019, el Ministerio de la Agricultura desarrolló el IV Censo Nacional de Arroz, donde se obtuvo como resultado que a nivel nacional se pilaron 408 970 toneladas de arroz, destacando el departamento de Lambayeque con el mayor volumen de arroz pilado de 38,1% es decir 155 919 toneladas de arroz pilado. [2]

Las empresas manufactureras están haciendo uso de sistemas automatizados donde se destacan sistemas de control de las variables temperatura, presión y flujo, que tienen como finalidad optimizar sus recursos y de mejorar sus procesos productivos manteniéndoles dentro de sus parámetros preestablecidos para cumplan con los requisitos necesarios del mercado. En 2015, el Ministerio de la Producción realizó un estudio sobre la situación actual de las Empresas Peruanas desarrollando un análisis basado los resultados de la primera encuesta Nacional de Empresas que desarrolló la INEI, obteniendo un gráfico de áreas apiladas del tipo de tecnología que utiliza un proceso de producción diario del año 2014, donde se puede observar que las industrias manufactureras tienen el 22,6% de Equipos Semiautomáticos y el 4,1% de Equipos Automáticos. [3]

La Empresa Molinera “Del Agricultor S.A.C.” se dedica al pilado y añejado de arroz de distintas calidades para los diferentes tipos de arroz que se produce en la región Lambayeque. En la presente tesis el estudio se basa en el proceso de añejado de arroz que cuenta con 3 añejadoras. Actualmente se tiene problemas con la variabilidad de temperatura que se producen en cada añejadora, debido a que el control y monitoreo de esta variable se realiza de forma manual, ocasionando que el arroz que está en proceso de añejado se estrese, se deshidrate hasta llegar a quebrarse, afectando las características del arroz.

Con la identificación de esta problemática se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el sistema de control de temperatura en el proceso de añejado mejorara las características del arroz del Molino “Del Agricultor SAC”?

Se propone un sistema de control de temperatura como una posible solución, para poder distribuir de manera homogénea la temperatura en las añejadoras, va a generar un informe del

comportamiento de la temperatura en cada proceso de añejado, mejor control del operario en las añejadoras; un correcto añejado y así mejorar las características del arroz en El Molino del Agricultor S.A.C. El objetivo general consiste en Proponer un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado para mejorar las características del arroz del Molino del Agricultor SAC. Teniendo como objetivos específicos, Diagnóstico de la situación actual del proceso de añejado de arroz en el Molino del Agricultor SAC, diseñar un sistema de control de temperatura para el proceso de añejado de arroz en el Molino del Agricultor SAC y analizar el costo-beneficio estimando resultados del diseño propuesto.

Este proyecto de investigación puede ser utilizado por aquellas empresas que busquen mejorar las características del arroz añejado mediante un sistema de control de temperatura que se encargara de controlar y distribuir de manera correcta la temperatura en una añejadora. Además, este estudio sirve como fuente de futuras investigaciones aplicadas a empresas molineras, ya que existe un vacío académico referente a esta metodología.

Revisión de literatura

En el 2005, Steidle [4] en su investigación titulada *“Monitoramento remoto de temperatura utilizando o sistema 1-wire™: avaliação da transmissão de dados1”* menciona que esta investigación se realizó con el propósito de evaluar la transmisión de información de temperatura que existe en un sistema de 1 cable utilizando conductores de bajo costo y de diferentes tipos, además de los efectos de la aplicación de esta tecnología en máquinas industriales donde es fundamental tener un monitoreo y control de la temperatura de forma remota y automática. Por ello, el objetivo general consiste en “Evaluar la transmisión de datos de la temperatura en el sistema de 1 cable”. La metodología que aplico fue utilizar 5 tipos de conductores, sensores de temperatura DS1820, un adaptador universal, un osciloscopio y una computadora para evaluar la transmisión de datos de temperatura en un laboratorio de electrónica de la facultar de ingeniería agrícola de la Universidad Federal de Viçosa. Teniendo como principal resultado, que el conductor telefónico CCI es el que alcanzo una mayor distancia de transferencia de datos de 150 m y además que es el conducto con el precio más bajo. El cable coaxial fue el conductor que alcanzo la menor distancia de transferencia de datos de 34m. Finalmente, concluye que, el sistema de 1 cable es una tecnología aplicable para transmitir información a grandes distancias (≤ 150 m) teniendo en cuenta la selección correcta de conductores. Además, que los conductores telefónicos son los obtuvieron mejor rendimiento de transmisión de información en la prueba de laboratorio. Con respecto al aporte de esta

investigación, se considera la información de una alternativo de control y monitoreo de temperatura de un proceso.

En el 2011, Aguirre [5] en su investigación titulada *“Diseño e implementación de un horno automático de secado y envejecido de arroz para la procesadora PROYELEC INGENIERÍAS. FASE I”* señala que el principal problema se basa en el proceso de envejecimiento y en el secado de arroz, ya que es un proceso antiguo y se realizaban de forma manual. Por ello, el objetivo general consiste en *“Diseñar e implementar un horno automático de secado y envejecido de arroz para la procesadora PROYELEC INGENIERÍAS. FASE I”*. Además, la metodología que empleó fue el análisis de la materia prima para poder determinar el % de humedad, las características del proceso de secado y envejecimiento. Teniendo como principal resultado que el arroz debe de estar en el rango de 20-22% de humedad para que pueda ingresar al proceso de secado y mantener una temperatura de 45 a 50°C. Por otro lado, para el proceso de envejecimiento el arroz debe de tener 14-16% de humedad y a una temperatura de 120°C. Finalmente, concluye que, en la implementación y diseño del horno automático, la máxima temperatura que puede alcanzar el horno es de 107°C, además tiene fácil mantenimiento y el tiempo de demora de los procesos dependerá de la cantidad de arroz que se ingrese. Con respecto al aporte de esta investigación, se considera el % de humedad y los °C de temperatura que se utilizan en el horno de envejecimiento de arroz.

En el 2015, Chiluisa [6] en su investigación titulada *“Diseño y construcción de un control de temperatura mediante un controlador lógico programable, visualización en un panel dactil para un horno secador, en el comercial Zhiong Xing Cia. Ltda. Planta de producción de Puzolana Pujili”* menciona que en el proceso de secado no existe ningún tipo control automático de la variable temperatura por lo que ocasiona una baja calidad del producto, aumentan los costos de fabricación, la mano de obra y los tiempos de entrega. Por ello, el objetivo general consiste en *“diseñar e implementar un control de temperatura para el horno secador que ayudara mejorar la calidad del producto, reducir costos de fabricación, mano de obra, mejorar el proceso y reducción de tiempos de entrega del producto.”*. Además, empezó a realizar su metodología con la identificación de los equipos que cuenta el horno de secado y uso de planos para la recopilación de información de las maquinarias. Después identifico los instrumentos para realizar el diseño del sistema eléctrico, recopilo la información de los requerimientos de los operarios para realizar el diseño del HMI y diseño el sistema de comunicación entre los sensores y los controladores. Teniendo como principal resultado, que la temperatura del horno de secado debe mantenerse en un rango de 60 a 80 °C, utilizando en planta un setpoint de 70°C con una variación de $\pm 1^\circ\text{C}$, aumento la producción de 90 toneladas

a 120 toneladas diarias y se redujo el consumo de combustible de 6000 a 5000 galones. Finalmente, concluye que, la implementación del control de temperatura, se tiene un proceso de secado óptimo con una temperatura que están dentro de los parámetros establecidos, aumentando la producción en el 25% y reducir el consumo de combustible en un 16.66%. Con respecto al aporte de esta investigación, se considera la metodología que empleo para realizar el diseño del control de la temperatura.

En el 2015, Espino [7] en su investigación titulada *“Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas”* explica que, la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas tiene la necesidad disminuir el tiempo de proceso de secado de los granos del cacao sin afectar su calidad, aroma y sabor. Por ello su objetivo general consiste en *“Diseñar y construir una máquina secadora de cacao, para una finca ubicada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas con la que se pretende disminuir el tiempo de secado del mismo sin afectar su calidad, aroma y sabor”*. La metodología se basó en una de la herramienta de despliegue de la función de calidad (QFD) para poder fijar los parámetros técnicos de calidad del cacao y las características del diseño. Se realiza las propuestas de diseño y mediante la matriz morfología se elige la tecnología óptima para el secado. Después se realiza la prueba de funcionamiento y verificación de la secadora. Como principal resultado, se determinó que el tiempo de secado de los granos de cacao es de 6 horas con 49 minutos y la temperatura controlada es de 45°C alcanzando una temperatura máxima de 59 °C lo que garantiza el correcto secado del grano. Finalmente concluye que el grano de cacao que es secado en la máquina secadora es de alta calidad y conserva sus cualidades organolépticas. Con respecto al aporte de esta investigación, se considera la metodología para determinar el tiempo de duración del proceso.

En el 2019, Suárez [8] en su investigación titulada *“Automatización del horno autoclave de secado de materiales compuestos del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana-CIDFAE”* indica que el CIDFAE posee un horno de secado autoclave que no cuenta con ningún tipo de control de temperatura y que funciona con el encendido de un número de focos incandescentes lo cual genera una variación de temperatura en el proceso que se ve reflejado en la calidad en el secado de los materiales compuestos. Por ello su objetivo general consiste en *“Mejorar la eficiencia y calidad en el secado de materiales compuestos por medio del uso de programas de polimerización acordes a las necesidades de las diferentes piezas de aviación fabricadas en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana”*. La metodología consiste en identificar los requerimientos de temperatura, duración, modo de operación y componentes eléctricos del horno autoclave de secado para

poder realizar el diseño eléctrico y de control PID del horno para los materiales compuestos. Después se realiza las pruebas de funcionamiento y verificación del horno autoclave. Teniendo como principal resultado, que el tiempo de secado se redujo de 24 horas a un promedio de 6 horas, con una temperatura máxima de 160 °C con una variación de ± 2 °C permitiendo que se produzcan un mayor número de piezas en poco tiempo con la calidad adecuada. Finalmente concluye, que el control PID permite contar con una temperatura constante durante todo el proceso de secado en el honor autoclave lo que garantiza que el producto tenga una alta calidad, además que el desarrollo del sistema HMI fue el adecuado y se adaptó a las necesidades y requerimientos del operario permitiendo un correcto control y monitoreo de la temperatura. Con respecto al aporte de esta investigación, se considera la metodología para determinar los componentes necesarios para realizar el diseño de control de temperatura.

Las industrias manufacturas emplean distintos tipos de procesos dentro de los cuales tenemos: Proceso continuo, es un flujo productivo que tiene como entrada a las materias primas por un extremo y como salidas tiene el producto terminado que se obtiene de forma continua por el otro extremo. Un claro ejemplo de este proceso es un sistema de calefacción. Procesos Discreto, el producto final de este proceso se obtiene a través de una serie de actividades, la mayoría con mucha similitud entre ellas. La entrada es un elemento discreto que se elabora de manera individual. Proceso discontinuo o por lotes, tiene como entradas diferentes cantidades de materia prima para dar inicio al proceso productivo. Un claro ejemplos de este proceso es la industria Automovilística. [9]

El arroz añejado o también llamado arroz envejecido, se puede producir de 2 maneras, la primera es un añejado de forma natural donde el grano de arroz con cáscara (arroz paddy) es almacenado por un tiempo máximo de 1 año, después ingresa al proceso de pilado. La segunda forma es un añejado artificial de arroz que se realiza en una añejadora de arroz, que consiste en un horno donde ingresa el arroz pilado fresco y mediante altas temperaturas se busca reducir el % de humedad, este proceso tiene un tiempo de duración de 28 a 35 horas. [10]

Sin embargo, existen problemas de variación de temperatura dentro de las añejadora debido a que existe un deficiente control de esta variable lo que va a ocasionar que no se garantice las características adecuadas del arroz añejado para que se comercialice en el mercado.

Por ello, es necesario implementar un sistema de control de temperatura para poder medir esta variable mediante un sensor, el cual emite datos analógicos, que serán convertidos en datos digitales a través de un convertidor A/D (convertidor analógico-digital). El dato digital obtenido se va a introducir al computador mediante una interfaz, que va a comparar esta temperatura con la temperatura programada y si existe alguna diferencia, el computador se encargara de enviar

una señal al amplificador, al relé hasta llegar al calefactor a través del interfaz para que aumente o disminuya hasta lograr la temperatura programada. [10]

Existe 2 tipos de sistema de control de temperatura: Sistema de control a lazo abierto, en el cual la señal de entrada no logra afectar a la salida, ya que esta no se realimenta y no es posible comparar la señal de entrada. Consta de 2 elementos que son el controlador y el proceso controlado [10]. Además, las variables que controlan el proceso productivo siguen una sola dirección y no recibe ninguna información sobre el estado en que se encuentra la variable en el proceso productivo [9]. Por otro lado, el sistema de control a lazo cerrado, el controlador es alimentado por la señal de error, que representa la diferencia que existe entre la señal de entrada y la realimentación, teniendo como fin el reducir el error y poder llevar la señal de salida al valor programado [10]. También se obtiene información sobre el comportamiento de la variable en el proceso productivo mediante los sensores y es empleado por la gran mayoría de procesos productivos [9].

Para diseñar el adecuado sistema de control de temperatura de necesita evaluar los distintos tipos de control, los cuales se dividen en 5: En el Control todo-nada, la válvula solo puede adoptar 2 posiciones, la abierta o cerrada, que va a permitir la entrada y salida de energía al proceso. Se caracteriza por la continua variación de la variable controlada y funciona correctamente si el proceso tiene una velocidad lenta de reacción y un tiempo mínimo de retardo. Se emplea una banda diferencial o zona neutral, para que permanezca en su última posición el elemento final del control, que se encuentra dentro de los valores de la variable de la banda diferencial. Control Proporcional, la posición de la válvula es inversa a la variable controlada, es decir cuando se tiene un intervalo de actuación de 0-100°C, la variable controlada se encuentra en 0°C la válvula está abierta, a 25°C está abierta en un 75%, a 50°C está abierta en un 50% y a 100°C está cerrada. Control Proporcional + Integral, el control integral actúa cuando se genera una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción del control proporcional. Esto se produce para solucionar el inconveniente del offset de la acción proporcional y se utiliza cuando se quiere mantener el valor de la variable igual al punto de consigna. Control Proporcional + Derivado, el control derivado actúa cuando existe una relación entre la velocidad de variación de la variable y la posición del elemento final de control. Esta acción es adecuada cuando no existe retrasos en los movimientos de la válvula de control y la variable. Control Proporcional + Integral + Derivado, la acción proporcional va a cambiar la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable controlada con respecto al punto de consigna; la acción integral es la que va a mover la válvula a una velocidad proporcional a la desviación de la variable controlada con

respecto al punto de consigna; La acción derivada es la que va a corregir la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad del cambio de la variable controlada. Para el control PID se va a utilizar la técnica de modulación de anchura de impulsos (PWM), que consiste en producir una onda senoidal (de bajo contenido armónico) con la misma frecuencia de la onda de salida del inversor y una amplitud proporcional a la solicitada, que van hacer comparadas con la onda de tensión simétrica de frecuencia elevada [11]. Santiago [12], en su investigación manifiesta que el PWM presenta una secuencia de pulsos rectangulares cuya amplitud va a depender de lavarlos de la señal moduladora, lo cual se manifiesta como un ancho de pulso variable.

Materiales y métodos

Para poder realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de añejado de arroz en el Molino Del Agricultor SAC, se recopiló información mediante la observación directa y entrevista con el maquinista y el jefe de producción sobre el proceso de añejado de arroz, con la finalidad de adquirir conocimientos de cómo se desarrolla este proceso y las causas de los problemas que cuenta. Por otro lado, con los registros históricos brindados por el molino, se realizó un análisis documental con el propósito de obtener los indicadores de producción, el comportamiento y variación de la temperatura durante todo el proceso, la cantidad de subproductos que se generan y el impacto económico.

Para poder desarrollar el diseño del sistema de control de temperatura para el Proceso de añejado de arroz, se basó en los resultados del primer objetivo y mediante el análisis de los antecedentes y marco teórico, permitió evaluar y determinar los componentes necesarios para el desarrollo y diseño del sistema automatizado mediante un control de temperatura en el proceso de añejado de arroz.

Para Analizar el costo-beneficio estimando resultados del diseño propuesto, se evaluó la viabilidad económica del diseño propuesto para poder calcular el VAN, TIR, costo-beneficio y el tiempo de recuperación de la inversión mediante el uso de la hoja de cálculo de Excel.

Resultados y discusión

Diagnóstico de la situación actual del proceso de añejado

La empresa El Molino del Agricultor SAC se dedica al servicio de pilado y añejado de arroz en la región Lambayeque. Empezó el desarrollo de sus actividades el 01 de enero del 2012 y se encuentra ubicado en la carretera Panamericana Norte km 777. Su producto estrella, es el arroz blanco pilado, que se comercializa en diversas presentaciones. Teniendo como principal presentación el arroz Misterioso Añejo Naranja de 49 kg, que se diferencia del resto por el menor % de quebrado, tiza, mancha y humedad, además por un mayor % de blancura.

El proceso de añejado de arroz se realiza mediante una añejadora, donde se deposita el arroz pilado en un compartimiento cerrado para ser sometido a altas temperatura con el fin de acelerar el proceso de envejecido. Cabe resaltar que este proceso tiene un tiempo de duración de 28 a 35 horas, dependiendo de las características, el tipo y la variedad del arroz que se produce en la región Lambayeque.

La empresa actualmente en el área de añejado cuenta con 3 añejadoras de distintas capacidades (255 sacos, 240 sacos y 280 sacos de 49 kg respectivamente). Cada añejadora cuenta con un PLC de la marca DELTA del modelo AS218RX, que no está funciona de manera automática. Además, constan de 2 áreas, en el área 1 se registra la temperatura del aire que es generado por las resistencias; y en el área 2 se registra la temperatura del horno de añejado, además en esta área es donde tiene contacto directo la temperatura con el arroz que se va a añejar.

En el periodo de enero hasta diciembre del 2019, se obtuvo una producción promedio mensual de 538 493,67 kg de arroz añejado. La eficiencia física refleja la relación que existe entre la cantidad de materia prima mensual utilizada en promedio que es de 569 216,67 kg/mensual de arroz blanco para producir 538 493,67 kg/mensual de arroz añejado obteniendo como resultado 94.6%. El 5.4 % restante que equivale a 30 723 kg, que representa la cantidad de kg reducidos por el proceso de añejado y los subproductos obtenidos.

Los subproductos es el arroz añejado que no cuenta con las características adecuadas (exceso en el porcentaje de quebrado, de tiza, de mancha; y déficit en el % de humedad y blancura) para que salga al mercado como producto final.

Para realizar el diagnóstico de la situación actual del proceso de añejado, se hizo uso de una de las herramientas de calidad, que es el diagrama Ishikawa, que se puede observar en la figura 1.

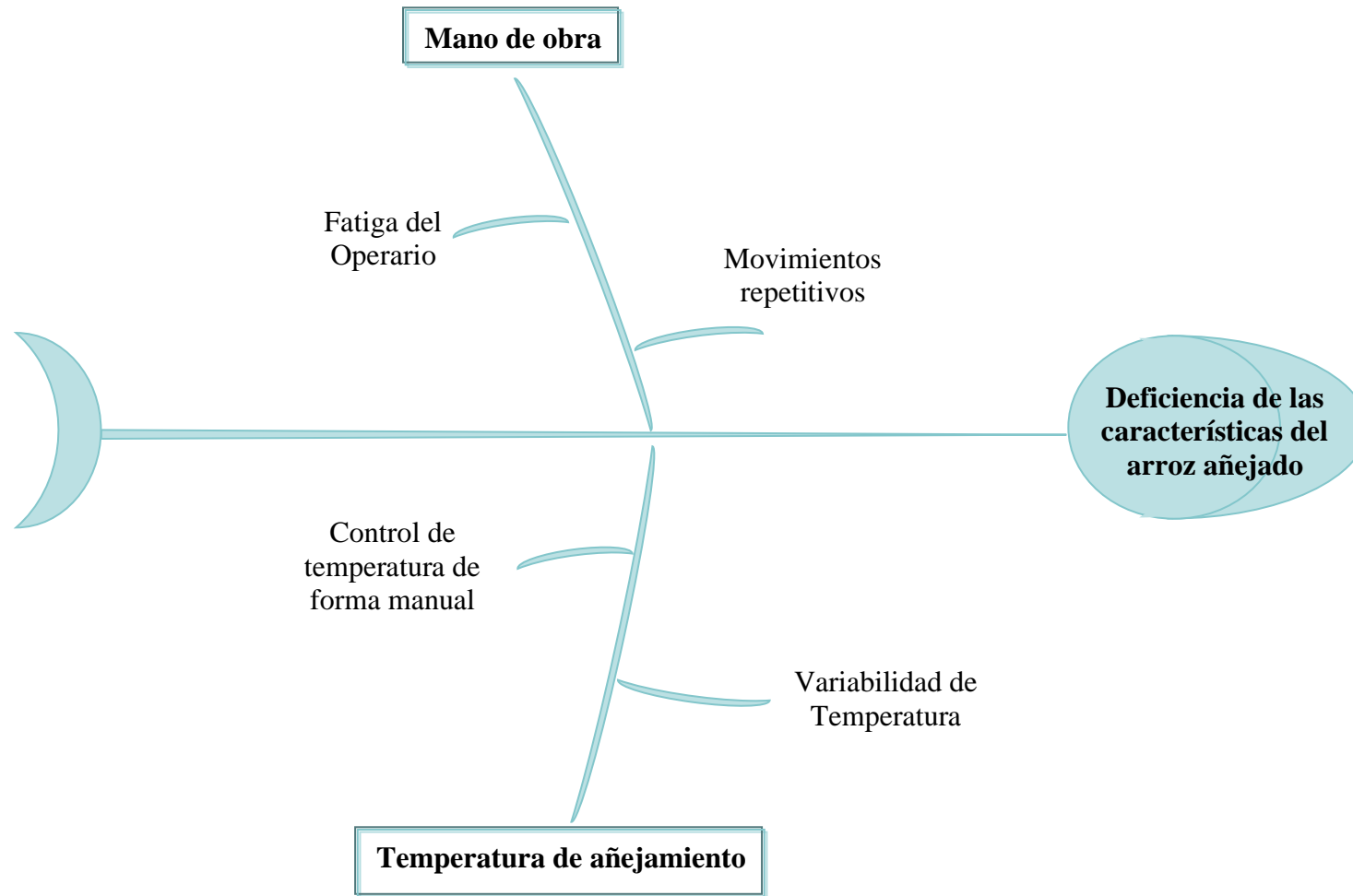


Figura 1. Diagrama Ishikawa

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

La cantidad de kilogramos obtenidos de subproductos son generados por la variabilidad de temperatura que se produce en el horno de añejado debido a la fatiga del operario por movimientos repetitivos, ya que se encarga del registro, control y monitoreo de la temperatura durante el proceso de añejado, haciendo un total de 14 a 17 registros de temperatura por lote añejado. Este proceso dura aproximadamente 25 a 38 horas, lo cual le genera que fatiga por los movimientos monótonos que realiza y por calor que recibe de la añejadora (aproximadamente 82°C).

Otra causa que genera la variabilidad de temperatura en el horno de añejado es el control de temperatura que se realiza de manera manual, que consiste en que el operario se acerca al tablero de control, accede al panel HMI para verificar la temperatura que registran los sensores y si existe alguna de variación la corrige.

Este control de temperatura de forma manual ocasiona una variabilidad de temperatura durante todo el proceso de añejado ocasionando que el arroz que se encuentra en el horno se llegue a estresas, se deshidratarse hasta llegar a quebrarse y no lograr las características deseadas del producto final.

En la tabla 1, se observa el promedio de las temperaturas registradas en las 2 áreas de la añejadora N° 03 respecto a los 17 lotes de 280 sacos de arroz de 49 kg que han sido añejados en el mes de octubre del 2019.

Tabla 1. Promedio de temperatura registrada en la Añejadora N° 03.

AÑEJADORA N° 03		
N° Lotes	Temperatura Aire	Temperatura Horno
1	75.61	72.50
2	71.49	69.31
3	76.29	70.14
4	71.00	66.70
5	74.75	69.44
6	75.56	71.50
7	67.00	65.06
8	67.30	62.90
9	71.25	67.44
10	71.75	68.95
11	72.56	69.56
12	73.67	67.06
13	69.88	66.31
14	69.06	63.67
15	69.88	66.31
16	66.67	62.06
17	72.44	68.56

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

En la Figura 2, se puede observar la temperatura del aire que se produjo en cada lote de arroz que ha sido añejado en el mes de octubre del 2019. La temperatura de todos los lotes que se añejaron no se encuentra dentro de los límite mínimo y máximo permisible.

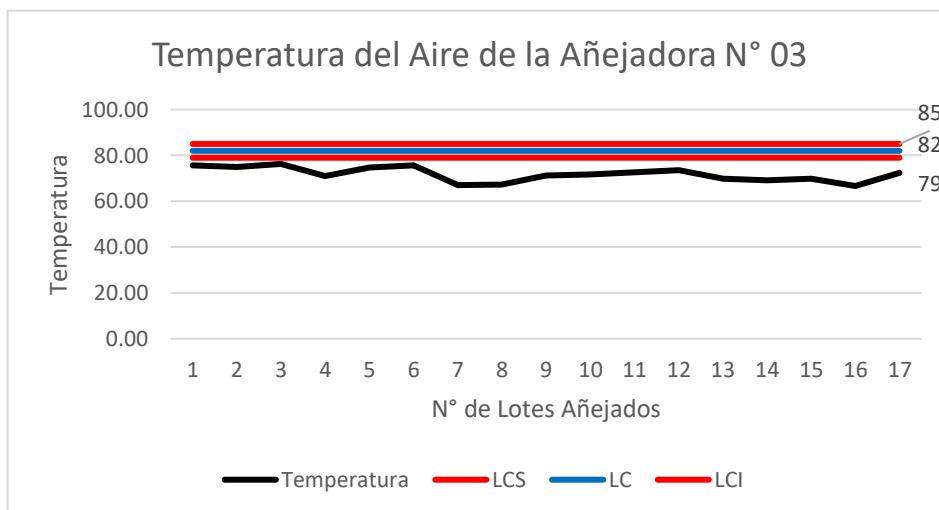


Figura 2. Temperatura del Aire de la Añejadora N° 03

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Se puede observar en la Figura 3, que la temperatura del Horno que se produjo en cada lote de arroz que ha sido añejado en el mes de octubre del 2019, están por debajo del límite mínimo permisible.

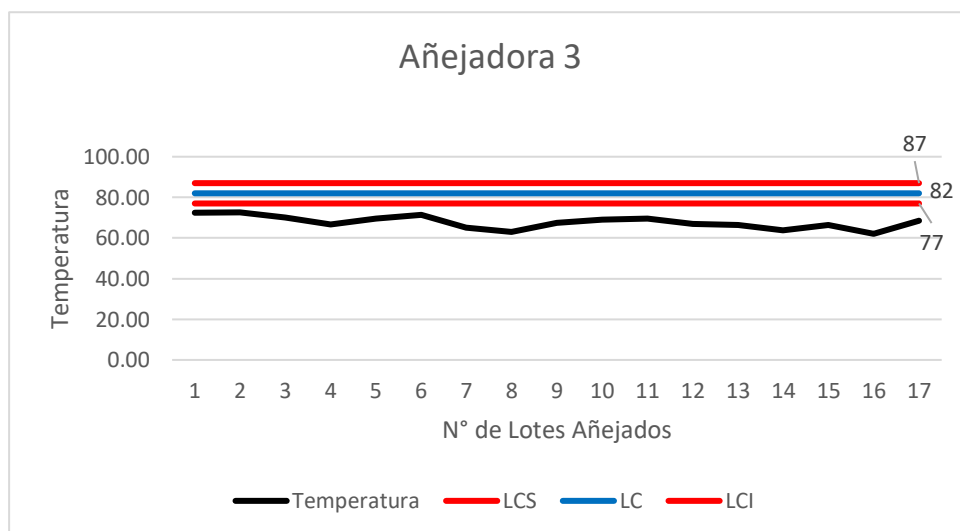


Figura 3. Temperatura del Horno de la Añejadora N° 03

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

El promedio de temperaturas y comportamiento de la temperatura del aire y del horno de la añejadora N°01 y N°02 se pueden observar en el anexo (del anexo 2 al 7).

Debido al deficiente control de la Temperatura en el proceso de añejado, ocasionan una variabilidad de temperatura dentro de la añejadora generando una excesiva cantidad de subproductos. Estos subproductos se venden a un precio de S/. 60, para obtener algunos ingresos, ya que no se podrán vender como productos finales debido a las características que poseen.

En la tabla 2, se observa lo que la empresa deja de percibir por la excesiva cantidad de subproductos generados. Sino se hubiera generado esa variabilidad de temperatura en las añejadoras estos subproductos se hubieran vendido como producto final a un precio de S/. 140. Teniendo un total de ingresos no percibidos en todo el año 2019 de S/. 218,640,00.

Tabla 2. Ingresos que dejo de percibir El molino del Agricultor SAC

Mes	Subproductos (saco/mes)	Ingresos de arroz añejo (S/.)	Ingresos de subproductos (S/.)	Ingresos totales que dejo de percibir (S/.)
Enero	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Febrero	209	S/ 29,260.00	S/ 12,540.00	S/ 16,720.00
Marzo	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Abril	225	S/ 31,500.00	S/ 13,500.00	S/ 18,000.00
Mayo	240	S/ 33,600.00	S/ 14,400.00	S/ 19,200.00
Junio	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Julio	240	S/ 33,600.00	S/ 14,400.00	S/ 19,200.00
Agosto	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Setiembre	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Octubre	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Noviembre	230	S/ 32,200.00	S/ 13,800.00	S/ 18,400.00
Diciembre	209	S/ 29,260.00	S/ 12,540.00	S/ 16,720.00
Total	2733	S/ 382,620.00	S/ 163,980.00	S/ 218,640.00

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Con la implementación de esta propuesta de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado para mejorar las características del arroz se podrá obtener una mejora del 57,14%.

$$\text{Mejora} = \left(\frac{218,640.00}{382,620.00} \right) * 100$$

$$\text{Mejora} = 57,14\%$$

Diseño del sistema de control de temperatura para el proceso de añejado de arroz

Dentro del sistema de control de temperatura se considerarán ciertos parámetros para que funcione correctamente y poder obtener las características adecuadas del arroz que se va a añejar. Cabe señalar que el área de calidad del molino Del Agricultor S.A.C., realizó pruebas experimentales con las añejadoras, logrando determinar los parámetros adecuados para el correcto añejado:

- ✓ **Características Físico – Químicos:** El arroz pilado antes de entrar al horno de añejado debe de tener 4% de Tiza, 4.5 - 5% de Quebrado, el 0.4% de Mancha y el 39% de Blancura.
- ✓ **Temperatura:** La temperatura correcta para añejar el arroz es de 75 °C, con una variación de ± 5 °C.
- ✓ **Tiempo de añejado:** El arroz se estará añejando a una temperatura de 75 °C en un tiempo total promedio de 31 horas.
- ✓ **Cantidad de arroz que ingresa al añejado:** En la añejadora N°1 ingresa un total 255 sacos con un peso total de 12 495 kg, en la añejadora N°2 ingresa un total 240 sacos con un peso total de 11 760 kg y en la añejadora N°3 ingresa un total 280 sacos con un peso total de 13 720 kg.

Para que se dé un correcto añejado dependerá de la temperatura que se genere en el horno de la añejadora, debido a que la características físico químicas, el tiempo de añejado, la cantidad de arroz que ingresa al horno de añejado ya han sido determinados por el área de control de calidad del molino. Otro factor que influye es la corriente de aire que será calentada por las termocuplas y va a circular por todo el horno de añejado, cuando el aire no es calentado con la temperatura correcta se va a dar un incorrecto añejado.

El diseño del control de temperatura de este trabajo de investigación, se va a requerir el uso de los siguientes componentes: PLC, módulo de salida, módulo de señal, fuente de alimentación, SWICH, HMI, variador de velocidad, relé de estado sólido trifásico, relé de estado sólido monofásico, lámparas de señalización, pulsador de parada de emergencia y el software tia portal. Las fichas técnicas se pueden observar en los anexos (del anexo 8 al 18).

Antes de empezar con la programación se va a determinar los valores para el controlador PID, ya que va a controlar la temperatura de la añejadora a pesar de las variaciones que puedan ocurrir durante el proceso de añejado de arroz.

Por ello, se va a determinar la función de transferencia mediante datos experimentales, debió a que la añejadora N° 3, fue fabricada de forma artesanal y no se cuenta con los datos técnicos. Por lo tanto, se realizó las mediciones de temperatura de la añejadora hasta que llegue al

punto de calentamiento. Las mediciones se realizaron en el un lapso de tiempo de 7,8 horas, con un total de 234 mediciones. Posteriormente, con la ayuda del programa Excel y aplicando la herramienta solver se pudo obtener los valores más exactos de los parámetros de K, tau (t) y el ΔU , para poder ajustar la curva de comportamiento de la temperatura y poder hallar la función de transferencia de primer orden. La función de transferencia mediante datos experimentales y el calculo de los valores PID de la añejadora N° 01 y N° 02 se pueden observar en el anexo 29 y 30.

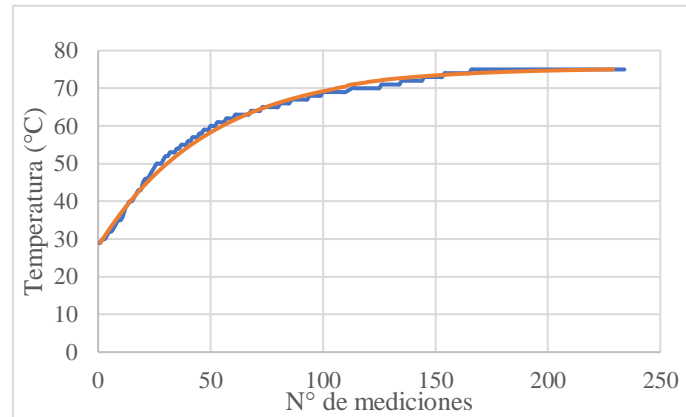


Figura 4. Ajuste del análisis de temperatura de la añejadora N° 03

Fuente: Excel.

$$y(s) = \frac{K}{t s + 1}$$

$$y(s) = \frac{1.00}{49.15 s + 1}$$

Con la función de transferencia calculada, utilizaremos el programa Matlab para obtener la curva exacta del desplazamiento de la temperatura y los valores PID para el sistema de control de temperatura. Por ello utilizaremos la herramienta Simulink y elegiremos los componentes necesarios para realizar la simulación y diagramar el controlador PID, En este caso seleccionamos el componente step, sum, PID controller, transfer Fcn, transport delay y el scope.

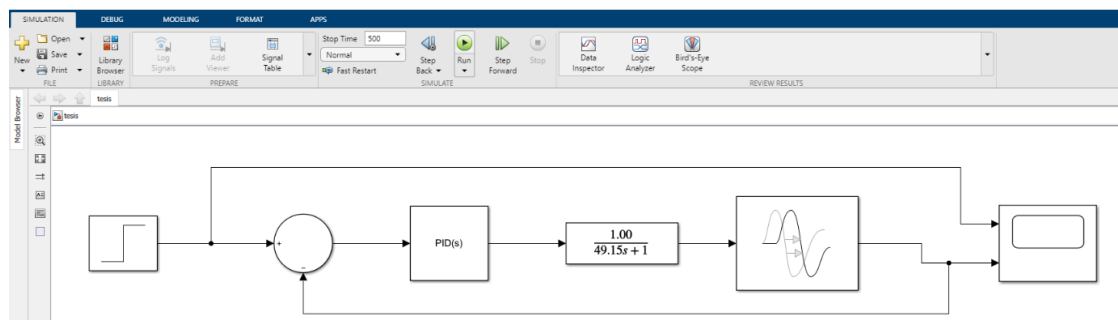


Figura 5. Ventana Simulink

Fuente: Matlab.

Ingresamos la función de transferencia de primer orden en el componente transfer Fcn. Luego hacemos doble clic en el componente PID y nos aparecerá una ventana referente a los parámetros del PID en la cual seleccionaremos la opción denominada Tune. Después, seleccionaremos la opción de Update Block para que la curva se ajustó y obtener los valores del PID.

Los valores obtenidos PID obtenidos mediante el software Matlab son:

$$P = 1.541$$

$$I = 0.05087$$

$$D = 2.745$$

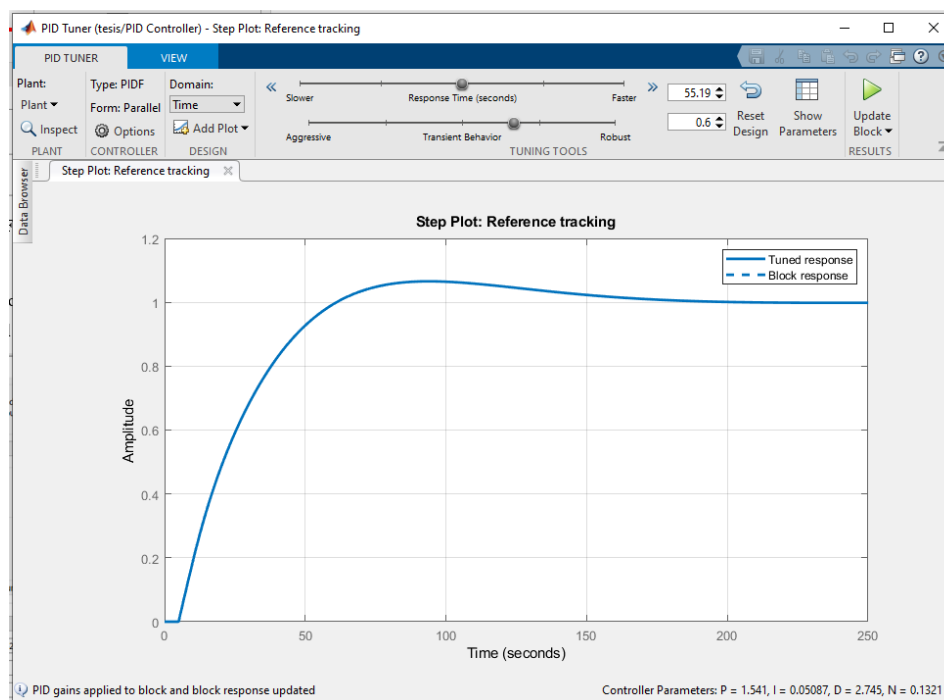


Figura 6. Ventana PID Tuner

Fuente: Matlab.

Después de determinar todos los componentes necesarios para el proyecto; elaborar los planos de diagrama eléctrico de fuerza, de mando y comunicación; y encontrar los valores PID, se precede a realizar la programación del sistema de control de temperatura en el proceso de añejado mediante el software tia portal v16. Los planos de eléctrico se pueden observar en los anexos (del anexo 19 al 28).

En primer lugar, se creó un nuevo proyecto en el software, donde se seleccionó el CPU 1215C con su módulo de salida SM 1222, módulo de señal RTD SM 1231 y la pantalla HMI SIPLUS KTP1000. Posteriormente, con la ayuda de plano de diagrama eléctrico de mando

PLC (observar el anexo 21), se procedió a ingresar las variables de entradas y salidas, detallando el tipo de dato y la dirección que le corresponde.

Después de colocar y determinar las variables se procedió a realizar la programación del sistema de control de temperatura mediante controladores PID. En este caso el bloque de programación de los controladores PID se denomina Cyclic interrupt (OB30) y los demás componentes van en el bloque denomina Main (OB1).

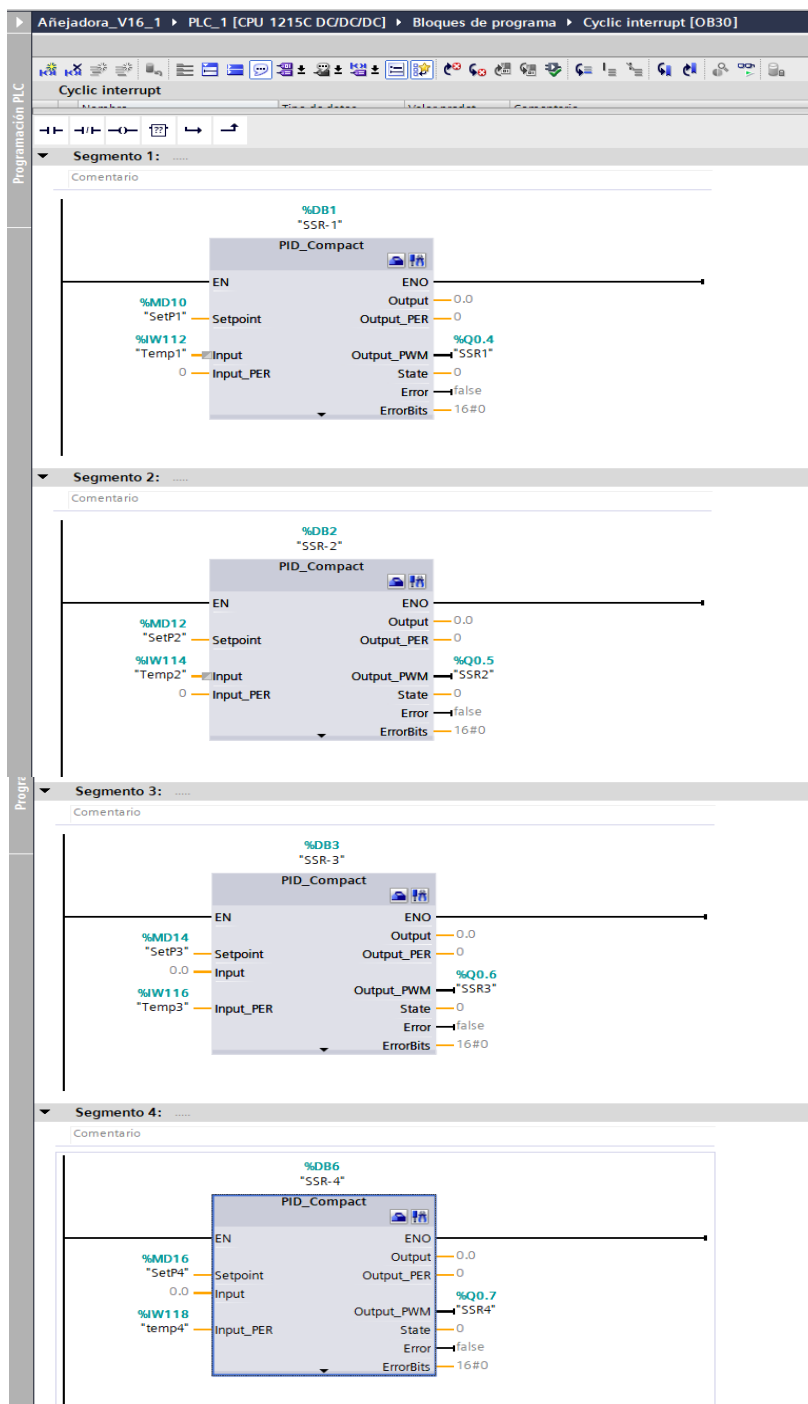


Figura 7. Bloque Cyclic Interrupt

Fuente: Tia Portal

Después de colocar los PID compact en los segmentos del bloque Cyclic interrupt se procede a configurarlos. Cabe recalcar que cada controlador PID va a controlar un relé de estado sólido trifásico, debido a que cada relé controla a un grupo de resistencia (cada grupo contiene 9 resistencias). En el anexo 28 se puede observar la configuración del controlador PID.

Después, de programar el bloque Cyclic Interrupt, se va a programar los demás componentes en el bloque denomina Main (OB1).

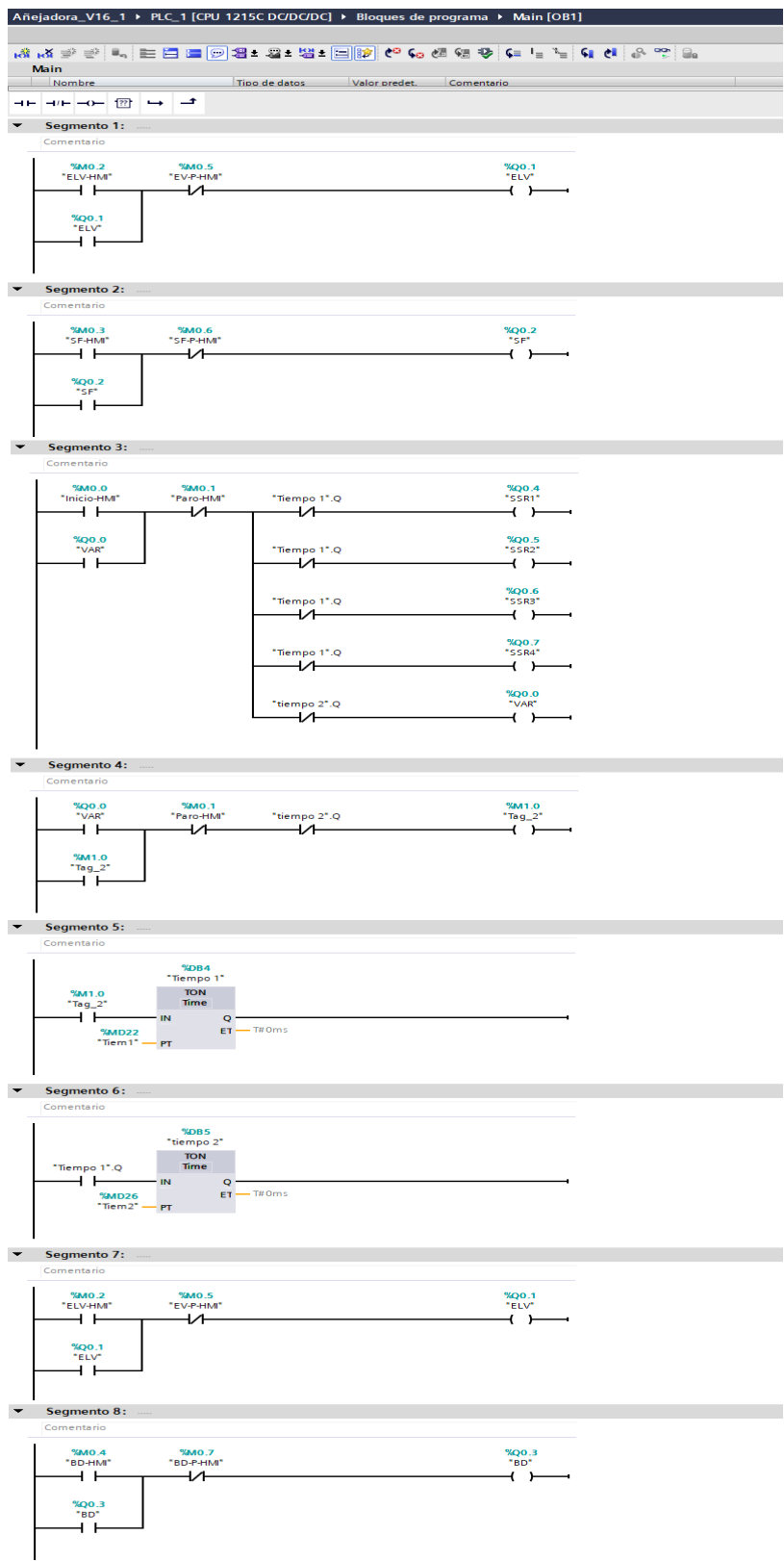


Figura 8. Bloque Main

Fuente: Tia Portal V15

Por último, se programa y diseña las ventanas del HMI, que se pueden observar en el anexo 29.

Con la propuesta de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado, se logra mejorar las características del arroz que se ve reflejado en la disminución de subproductos, aumento de la producción y eficiencia física.

La producción de arroz añejo aumenta en un total de 544 900,42 kg y la eficiencia física aumenta en un total de 95.7%. El 4.3 % restante que equivale a 14 316,25 kg, representa la cantidad de kg reducidos por el proceso de añejado y los subproductos obtenidos. Además, la cantidad de subproductos disminuyeron a un total de 1164 sacos y los ingresos no percibidos redujeron de S/ 218,640.00 a S/ 93,120.00.

En la tabla 3, se puede observar que la cantidad de arroz añejo aumento en un total de 133 427 sacos y los subproductos disminuyo en un total de 1 164 sacos.

Tabla 3. Producción en el proceso de añejado

MES	2019		2020	
	ARROZ AÑEJO (SACO/MES)	SUBPRODUCTOS (SACO/MES)	ARROZ AÑEJO (SACO/MES)	SUBPRODUCTOS (SACO/MES)
Enero	11059	230	11190	98
Febrero	10060	209	10179	89
Marzo	11059	230	11190	98
Abril	10818	225	10946	96
Mayo	11526	240	11663	102
Junio	11059	230	11190	98
Julio	11526	240	11663	102
Agosto	11526	230	11657	98
Setiembre	11059	230	11190	98
Octubre	11059	230	11190	98
Noviembre	11059	230	11190	98
Diciembre	10060	209	10189	89
TOTAL	131870	2733	133427	1164

Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Los 1557 sacos que aumentaron se podrán vender en el mercado nacional debido al incremento de demanda que se genera cada año. En la tabla 4, se aprecia el pronóstico de la demanda respecto al consumo de arroz pilado para un período de 5 años mediante el análisis de regresión lineal, por ello se tomó como referencia el consumo del año 2015 al 2020 publicado en el boletín trimestral N° 3 -2021 del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [13].

Tabla 4. Perú: Demanda del arroz pilado en miles de toneladas

Año	Demanda Histórica					Proyección				
	15/16	16/17	17/18	17/18	18/19	20/21	21/22	22/23	23/24	24/25
Demanda	2350	2400	2450	2500	2525	2580	2625	2670	2715	2760

Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

Elaboración: propia

Análisis costo-beneficio

Para poder determinar si la propuesta de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado sea conveniente, es importante determinar el análisis del costo-beneficio.

Los componentes a utilizar para el sistema de control de temperatura fueron cotizados mediante el catálogo de la lista de precios del año 2020 de la empresa siemens (PLC, módulo de salida, módulo de señal, fuente de alimentación, swich, HMI, variador de velocidad, lámparas de señalización, pulsador de parada de emergencia, software y licencia del TIA PORTAL) y para los relés de estado sólido fue cotizado en la marca NOVUS.

En la tabla 4, se puede observar el modelo de cada componente con su determinado costo, teniendo como un costo de S/ 42,012.54 por cada tablero de control. además, la empresa cuenta con 3 añejadoras por lo que necesitarán emplear 3 tableros de control, teniendo un costo total de S/ 121,871.54.

Tabla 5. Costo del sistema de control de temperatura

COSTO DE LOS COMPONENTES			
DESCRIPCIÓN	COSTO POR UNIDAD (S/)	CANTIDAD	TOTAL (S/)
CPU 1215C / modelo 6ES7215-1AG40-0XB0	S/ 4,003.00	1	S/ 4,003.00
SM 1222 / modelo 6ES7222-1HH32-0XB0	S/ 1,245.00	1	S/ 1,245.00
RTD SM 1231 / modelo 6ES7231-5PF32-0XB0	S/ 3,788.00	1	S/ 3,788.00
PM 1207 / modelo 6EP1332-1SH71	S/ 617.00	1	S/ 617.00
SCALANCE CSM 1277 / modelo 6GK7277-1AA10-0AA0	S/ 1,093.00	1	S/ 1,093.00
SIPLUS KTP1000 / modelo 6AG1647-0AF11-4AX0	S/ 14,499.82	1	S/ 14,499.82
SINAMICS G120C / modelo 6SL3210-1KE21-7UF1	S/ 6,451.00	1	S/ 6,451.00
NOVUS / modelo SSR3-4890	S/ 348.92	4	S/ 1,395.68
FOTEK / modelo SSR-10DA	S/ 35.00	4	S/ 140.00
SIRIUS ACT – 3SU / modelo 3SU1152-6AA20-1AA0	S/ 66.00	8	S/ 528.00
SIRIUS ACT – 3SU / modelo 3SU1152-6AA40-1AA0	S/ 66.00	8	S/ 528.00
SIRIUS ACT – 3SU / modelo 3SU1050-1HB20-0AA0	S/ 137.00	1	S/ 137.00
Tablero de control	S/ 1,050.00	1	S/ 1,050.00
TOTAL			S/ 35,475.50
COSTO DE INSTALACIÓN			
Rollo de cable número 16	S/ 96.00	2	S/ 192.00
Cable ethernet	S/ 4.00	3	S/ 12.00
Costo de instalación	S/ 500.00	1	S/ 500.00
Costo de programación	S/ 3,000.00	1	S/ 3,000.00
TOTAL			S/ 4,204.00
OTROS COSTOS			
Costo de software + licencia	S/ 2,633.04	1	S/ 2,633.04
Costo de elaboración de planos	S/ 200.00	1	S/ 200.00
TOTAL			S/ 2,833.04

Fuente: Propia

Los precios incluyen IGV

Moneda: Sol

Para poder comprobar si el sistema de control de temperatura en el proceso de añejado es conveniente para el molino, se deberá realizar el análisis costo-beneficio. Por ende, se procede a realizar el cálculo de flujo de caja, donde se va a considerar la depreciación de los componentes del tablero de control de un 10% y el impuesto a la renta del 28% establecido por la SUNAT. Respecto al TMAR (tasa mínima aceptable de rendimiento) del trabajo de investigación, Baca [15] en su libro Fundamento de Ingeniería económica, nos brinda una fórmula para poder calcularla: $TMAR = i + f + i * f$.

El premio al riesgo (i) tiene un valor del 15% debido a que se considera un nivel de riesgo medio referente a la propuesta determinador por la empresa y el valor de la inflación nacional (f) es la media de la inflación anual de los 5 años previos al trabajo de investigación, obtenidos de los informes anuales que brinda el BCRP (Banco de reserva del Perú). En la tabla30, se muestra el procedimiento realizado para el cálculo de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR), el cual se obtuvo como resultado el 18,08%.

Tabla 6. Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento

Número	Año	Inflación acumulada anual (%)
1	2015	4%
2	2016	3.23%
3	2017	1.36%
4	2018	2.48%
5	2019	2%
f = Inflación media anual		2.67%
i = Premio al riesgo		15%
TMAR =		18.08%

Fuente: Propia

En la tabla 5, se observa el flujo de caja de la propuesta, en la cual se obtuvo el valor actual neto de S/ 270,186.13 que representa la utilidad que va a obtener el molino en un periodo de 5 años; la tasa interna de retorno es de 96%; el costo-beneficio es de S/ 2.11, esto quiere decir que por cada sol invertido se gana S/ 1.11; y el período de recuperación de la inversión es de 1 año con 2 días. Estos resultados validan la rentabilidad que va a generar el sistema de control de temperatura en el proceso de añejado en el molino del Agricultor SAC.

Tabla 7. Flujo de caja de la propuesta

FLUJO DE CAJA						
Beneficios	AÑO					
	0	1	2	3	4	5
Demanda		133427	133427	133427	133427	133427
INGRESOS POR VENTAS		S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00
INVERSIÓN						
Costo de los componentes	S/	106,426.50				
Costo de instalación	S/	15,445.04				
Total de inversión	S/	121,871.54				
Imprevistos (5%)	S/	6,093.58				
TOTAL DE INGRESOS	S/	127,965.12	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00	S/ 18,679,780.00
EGRESOS						
Costo de materia prima		S/ 16,668,600.00	S/ 16,668,600.00	S/ 16,668,600.00	S/ 16,668,600.00	S/ 16,668,600.00
Costo de añejado		S/ 1,736,312.50	S/ 1,736,312.50	S/ 1,736,312.50	S/ 1,736,312.50	S/ 1,736,312.50
Costo de insumos		S/ 97,233.50	S/ 97,233.50	S/ 97,233.50	S/ 97,233.50	S/ 97,233.50
Depreciación (10%)		S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65
TOTAL DE EGRESOS		S/ 18,512,788.65	S/ 18,512,788.65	S/ 18,512,788.65	S/ 18,512,788.65	S/ 18,512,788.65
UTILIDAD BRUTA		S/ 166,991.35	S/ 166,991.35	S/ 166,991.35	S/ 166,991.35	S/ 166,991.35
Impuesto a la renta (30%)		S/ 50,097.41	S/ 50,097.41	S/ 50,097.41	S/ 50,097.41	S/ 50,097.41
UTILIDAD (después de impuestos)		S/ 116,893.95	S/ 116,893.95	S/ 116,893.95	S/ 116,893.95	S/ 116,893.95
Depreciación (10%)		S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65	S/ 10,642.65
UTILIDAD NETA	-S/	127,965.12	S/ 127,536.60	S/ 127,536.60	S/ 127,536.60	S/ 127,536.60
UTILIDAD ACUMULADA	-S/	127,965.12	-S/ 428.52	S/ 127,108.07	S/ 254,644.67	S/ 382,181.26
Valor actual neto (VAN)	S/	270,186.13				
Tasa de interés de retorno (TIR)		96%				
Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)		18.08%				
Beneficio/costo	S/	2.11				
Periodo de Recuperación		1 año y 2 días				

Fuente: Propia

Evaluación de impacto de la propuesta

El diseño del sistema de control de temperatura en el proceso de añejado tiene un impacto económico positivo para el molino, por ende, debe considerar el efecto que esto ocasiona a su entorno. Por ello, se evaluará el impacto ambiental y social de la propuesta.

La propuesta tiene un impacto positivo al medio ambiente ya que no utiliza ningún combustible fósil para el proceso de añejado de arroz. Solo utiliza energía eléctrica y no emite humo ni sustancias tóxicas que pueda dañar el ambiente. Se va a considerar 2 indicadores: el consumo de energía eléctrica en el proceso de añejado de arroz y el indicador de huella de carbono para poder calcular la cantidad de CO₂e, teniendo en cuenta que 1 kwh consumido equivale a 0.40 Kg CO₂e.

Referente al impacto social, esta propuesta contribuye de forma positiva al operario para que pueda realizar su labor de una mejor manera, ya que evitara que tenga fatiga por movimientos repetitivos, debido a que el proceso contara con un control automático de temperatura y el operario no estará yendo a cada momento a las añejadoras para revisar si el proceso esta con la temperatura adecuada, dejando de lado sus otras labores.

Discusiones

Respecto a los parámetros de funcionamiento de la añejadora, en el presente artículo se consideró que el horno de añejado va a funcionar a una temperatura de 75°C, además el arroz pilado que va a ingresar debe tener 30 días de reposo con 10% a 12% de humedad, aunque esta temperatura que se asume es menor, otros investigadores como Aguirre [5] en su investigación realizada para el “*Diseño e implementación de un horno automático de secado y envejecido de arroz para la procesadora de PROYELEC INGENIERÍAS. FASE I*”, su horno de añejado funciona a una temperatura de 107° C; pues el arroz que ingresa al horno cuenta con mayor porcentaje de humedad de 14% a 16% y es de distinta variedad. Otro caso similar es de Espinoza [7] quien, en su investigación de “*Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas*”, su horno de secado funciona a una temperatura controlada de 45° C alcanzando una temperatura máxima de 59° C, ya que a esta temperatura de secado se garantiza que el cacao conserve sus características organolépticas. Ambos proyectos diseñan e implementan un horno con una temperatura controlada lo cual garantiza que el producto cuente con la calidad y características adecuadas para que puedan salir al mercado.

De acuerdo al cálculo de los parámetros PID mediante el software Matlab utilizando la función de transferencia, Suárez [8] en su investigación referida a la “Automatización del horno autoclave de secado de materiales compuestos del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana-CIDFAW”, para hallar la función de transferencia utiliza la herramienta ident del Matlab mediante datos medidos de entrada y salida, como entrada utilizó la tensión de alimentación del horno autoclave (110 VAC) y como salida se toman los valores registrados de temperatura en el circuito de adquisición de datos, obteniendo como resultado que a los 307 °C se calienta el horno, la función de transferencia fue $y(s) = \frac{2.97}{1033.6969 s+1}$, el parámetro P = 0.74, el I = 0.0096 y el D = 51.08. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación se desarrolló el cálculo de la función de transferencia mediante datos experimentales debido a que la añejadora fue fabricada de forma artesanal y no se cuenta con los datos técnicos. Se utilizó el programa Excel, obteniendo la siguiente función $y(s) = \frac{1.00}{49.15 s+1}$. Con el cálculo de función de transferencia se procedió a utilizar la herramienta Simulink del Matlab donde elegimos los componentes necesarios para realizar la simulación y diagramar el controlador PID, obteniendo los valores del parámetro P = 1.541, el I = 0.05087 y el D = 2.745.

Conclusiones

Al término de este trabajo de investigación se logró diseñar un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado del molino Del Agricultor SAC, donde se logra mejorar las características del arroz que se ven reflejadas en la disminución de sacos de subproductos en un 57,14%.

Mediante el diagnóstico de la situación actual del proceso de añejado del Molino del Agricultor SAC, que presentaba un problema de variabilidad de temperatura en el horno de añejado, esto va alterar las características del producto final, viéndose reflejado en la cantidad de subproductos que se genera. En el año 2019, se obtuvo una cantidad total de 3 203 sacos de subproductos con un peso total de 156 947 kg, que son vendidos a un menor costo que el producto final en el mercado, dejando de percibir un total de S/. 218,640.00. Además, se analizó otras posibles causas que puedan ocasionar esta variabilidad de temperatura como es el control de temperatura de forma manual y la fatiga del operario por movimientos repetitivos.

Para la solución del problema se propuso el diseño del sistema de control de temperatura para el proceso de añejado de arroz con la finalidad de mejorar las características del arroz añejado. Primero se estableció los parámetros del diseño, segundo se determinó los componentes para el tablero de control, tercero se realizó el cálculo PID mediante el cálculo de la función de transferencia mediante datos experimentales y el programa MATLAB y por último se realizó el diseño del sistema de control de temperatura del proceso de añejado mediante el programa TIA PORTAL.

La propuesta de un sistema de control de temperatura en el proceso de añejado para mejorar las características del arroz tiene un costo total de S/ 121,871.54, donde se tendrá una mejora del proceso de 57,14%, reduciendo el número de sacos de subproductos de 2 733 a 1 164, teniendo un total de 1569 sacos que son vendidos como arroz añejo. Además, se realizó el análisis costo-beneficio de la propuesta, obteniendo como resultado un VAN de S/ 270,186.13, un TIR del 96% con un período de recuperación de 1 año con 2 días y un beneficio de S/ 1.11 por cada sol invertido.

Recomendaciones

Se recomienda que el molino Del Agricultor SAC, realice investigaciones orientadas a seguir automatizando otras etapas del proceso de añejado de arroz, como es la carga de materia prima, la descarga del arroz añejado y el envasado ya que estas actividades se realizan de forma manual, con el fin de poder disminuir sus costos de mano de obra, disminuir el tiempo de duración del proceso y analizar los beneficios que otorgara esta mejor para poder ser implementada.

Se debe realizar un análisis para evaluar qué tipo o variedad de arroz es más óptimo para que ingrese al proceso de añejado, con el fin de obtener un producto con una mayor calidad y pueda venderse con un mayor precio en el mercado.

Referencias

- [1] Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura, «FAO,» 27 Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>. [Último acceso: 25 Septiembre 2020].
- [2] Ministerio de Agricultura y Riego, «Informe: IV Censo nacional de arroz en molinos, almacenes y comercios mayoristas, 2019,» Lima, 2019.
- [3] Ministerio de la Producción, «Análisis basado en los resultados de la primera Encuesta Nacional de Empresas 2015,» Biblioteca nacional del Perú, Lima, 2017.
- [4] A. J. Steidle Neto, S. Zolnier, D. de Carvalho Lopes, J. Helvecio Martins y A. . J. Steidle Filho, «Monitoramento remoto de temperatura utilizando o sistema 1-wireTM: avaliação da transmissão de dados1,» *Exacta*, nº 3, pp. 115-123, 2005.
- [5] J. F. Aguirre Cueva, «Diseño e implementación de un horno automático de secado y envejecido de arroz para la procesadora de PROYELEC INGENIERÍAS. FASE I,» Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador, 2011.
- [6] J. T. Chiluisa Guato, «Diseño y construcción de un control de temperatura mediante un controlador lógico programable, visualización en un panel dactil para un horno secador, en el comercial ZHIONG XING CIA. LTDA. planta de producción de Puzolana Pujilí,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, 2015.
- [7] C. N. Espinosa Martínez y V. A. Ruiz Buitrón, «Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas,» Universidad de las Fuersas Armadas, Sangolquí, 2015.
- [8] M. A. Suárez Cañizares, «Automatización del horno autoclave de secado de materiales compuestos del centro de investigación y desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana-CIDFAW,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2019.
- [9] J. Cembranos Nistal , Automatismos eléctricos, neumáticos e hidráulicos, Madrid: Paraninfo, 2002.
- [10] A. . J. Carrillo Paz , Sistemas Automáticos de Control, Fundamentos Básicos de Análisis y Modelado, Santa Rita: UNERMB, 2011.
- [11] C. MEJÍA CÁCERES, «Análisis de los parámetros eléctricos para la regulación de velocidad optima de motores asíncronos mediante control escalar con modulación de ancho de pulso.,» Uuniversidad nacional del centro del Perú, Huancayo, 2013.

- [12] M. Santiago Bernal, «Comunicaciones vía fibra óptica utilizando modulación de retardos óptimos como portadoras de información.,» Instituto nacional de astrofísica. óptica y electrónica Tonantzintla, Puebla, 2013.
- [13] M. d. D. A. y. Riego., «Observatorio de Commodities,» Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, Lima, 2021.
- [14] E. M. d. A. S. Interviewee, [Entrevista]. 9 Setiembre 2019.
- [15] Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control, «IEEC,» 2011. [En línea]. Available:
ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_ISE6_1_1.pdf.
[Último acceso: 26 noviembre 2020].
- [16] SIEMENS, «Lista de Precios 2020,» Siemens, 2019.
- [17] G. Baca Urbina, Fundamentos de la ingeniería económica, Mexico D.F.: McGraw-Hill, 2007.

Anexos

Anexo 1: Ficha técnica del arroz Misterioso Añejo Naranja

ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO	
Nombre del Proveedor	El molino del Agricultor SAC
Dirección de Planta	Carretera Panamericana Norte km 777
Denominación del Producto	Misterioso Añejo Naranja
Variedad	NIR
Presentación	49 kg
Registro Sanitario	E1513820N/MSELMS
Fecha de emisión de Reg. Sanitario	11 de mayo del 2020
1. Descripción del Producto	
Arroz Añejo	
2. Especificaciones Técnicas	
2.1. Características Físico - Químicos	
Humedad	12-13%
Quebrado	5%
Tiza	5%
Mancha	0.5-0.8%
Blancura	37 %
2.2. Características Organolépticas	
Sabor	Agradable
Olor	Característico
Color	Blanco cremoso
Textura	Bien pulido
Tamaño	7 mm x 2 mm
3. Envase	
Saco de Polipropileno de color naranja	
4. Condiciones de transporte y almacenamiento	
Conservar en un lugar fresco	
5. Tiempo de vida útil	
1 año	
6. Forma de Preparación	
2 ¼ de taza de agua por 2 tazas de arroz.	

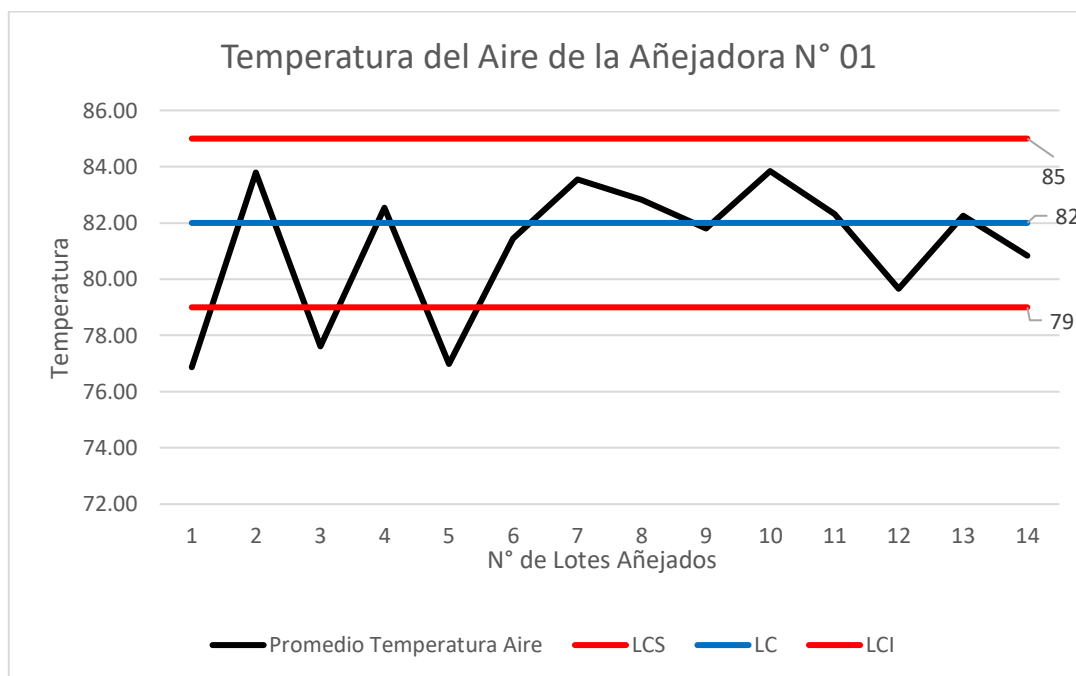
Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Anexo 2: Promedio de temperatura registrada en la Añejadora N° 01

AÑEJADORA N° 01		
N° Lotes	Temperatura Aire	Temperatura Horno
1	76.87	60.60
2	83.80	66.87
3	77.60	59.63
4	82.54	58.13
5	76.99	53.87
6	81.45	52.30
7	83.55	55.65
8	82.83	68.06
9	81.80	75.20
10	83.84	65.25
11	82.31	66.44
12	79.65	67.45
13	82.25	72.63
14	80.83	68.25

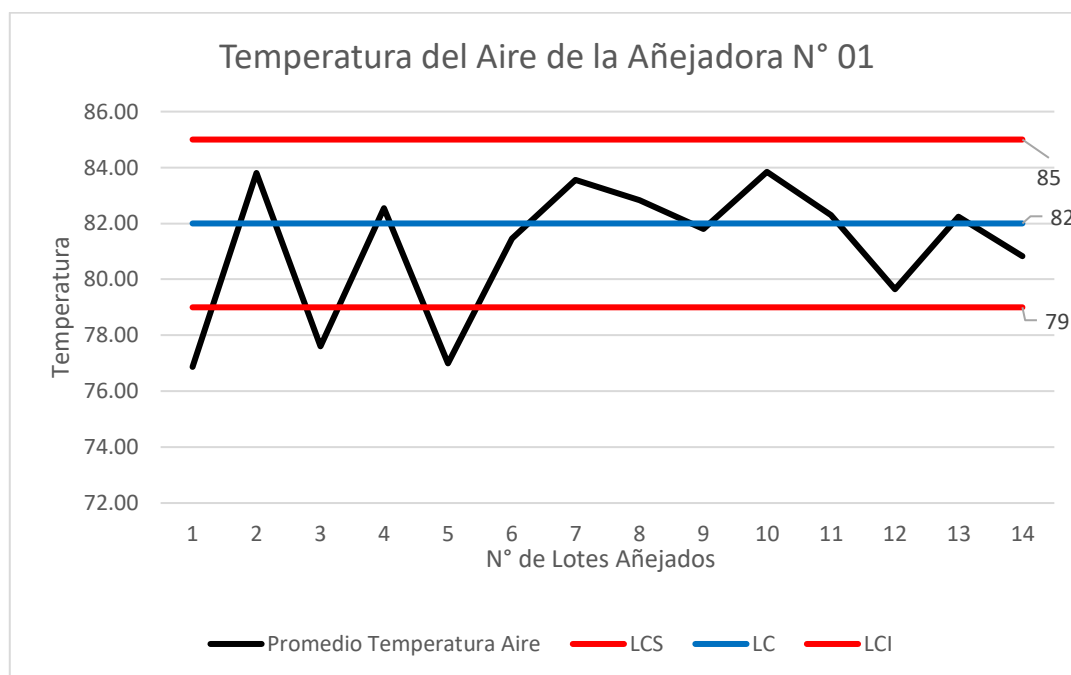
Fuente: El Molino del agricultor SAC.

Anexo 3: Comportamiento de la temperatura del aire en la añejadora N° 01



Fuente: El Molino del agricultor SAC.

Anexo 4: Comportamiento de la temperatura del horno en la añejadora N° 01



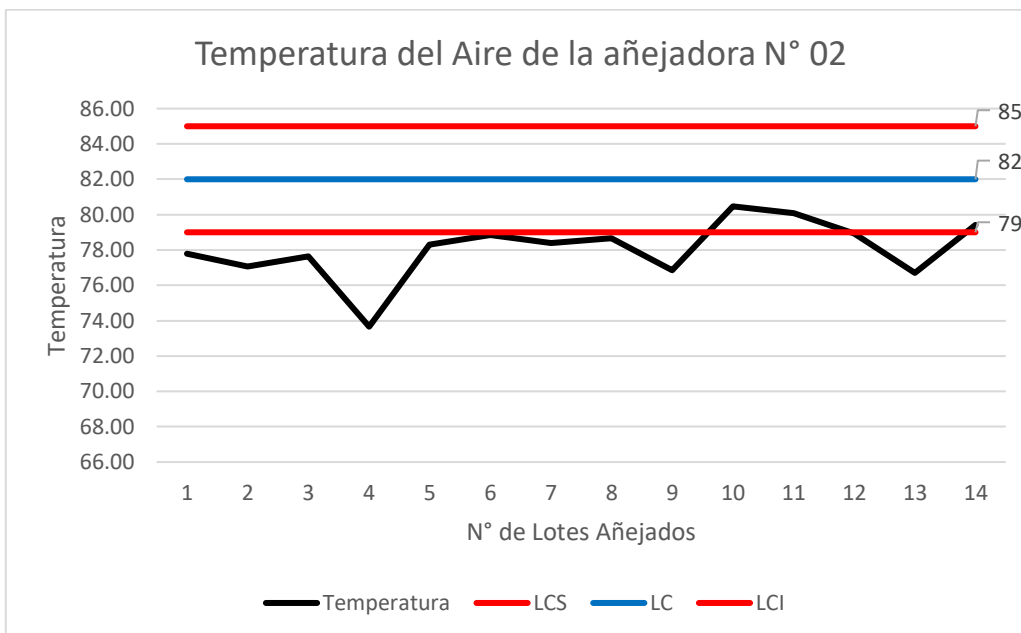
Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Anexo 5: Promedio de temperatura registrada en la Añejadora N° 02

AÑEJADORA N° 02		
N° Lotes	Temperatura Aire	Temperatura Aire
1	77.80	50.90
2	77.08	51.67
3	77.63	49.32
4	73.66	49.22
5	78.31	51.25
6	78.84	51.63
7	78.40	50.41
8	78.65	55.17
9	76.84	49.31
10	80.47	52.86
11	80.09	50.65
12	78.95	50.61
13	76.71	48.13
14	79.41	49.97

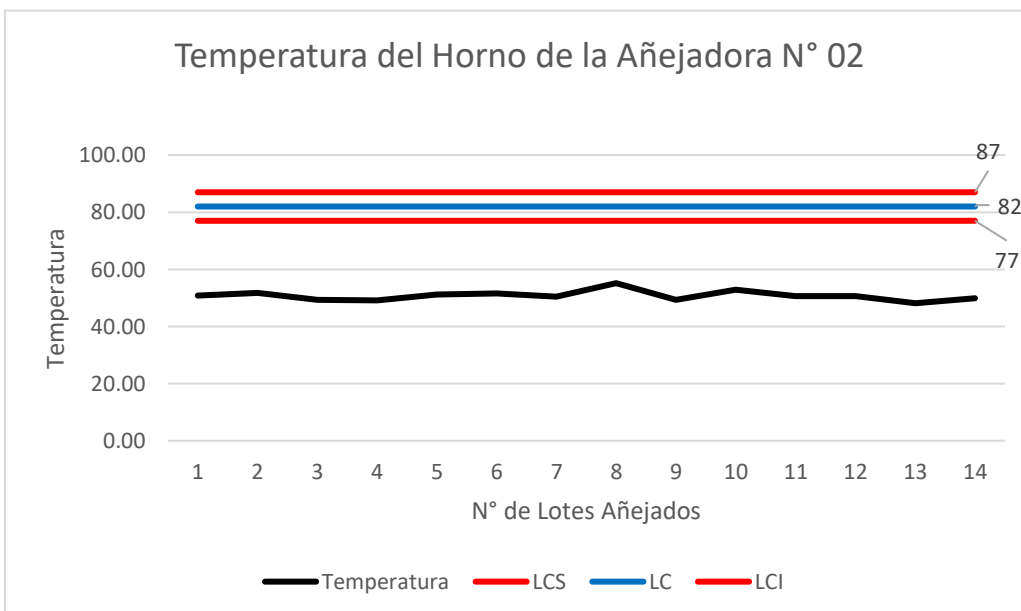
Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Anexo 6: Comportamiento de la temperatura del aire en la añejadora N° 02



Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Anexo 7: Comportamiento de la temperatura del horno en la añejadora N° 02




Fuente: El Molino del agricultor S.A.C.

Anexo 8: Ficha técnica del CPU 1215C

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO DE PRODUCTO	CPU 1215C DC/DC/DC
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	24 V DC
ENTRADAS	✓ 14 digitales ✓ 2 analógicas
SALIDAS	✓ 10 digitales ✓ 2 analógicas
MEMORIA DE TRABAJO	Integrada de 125 Kbyte
MEMORIA DE CARGA	Integrada de Mbyte Enchufable con SIMATIC Memory Card
INTERFAZ	PROFINET – Ethernet
SERVIDORES WEB	Sí soporta

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 9: Ficha técnica del SM 1222

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO DE SALIDA	Relé
SALIDAS	16 digitales
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN (bobina de relé L. + (DC)	24 V
TENSIÓN DE SALIDA	✓ 5 V DC a 30 V DC ✓ 5 a 250 V AC

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 10: Ficha técnica del RTD SM 1231

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO DE PRODUCTO	SM 1231, AI 8x16 bit RTD
ENTRADAS	8 analógicas, termorresistencias
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	24 V DC
TERMORRESISTENCIAS	Pt10, Pt50, Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000, Ni100, Ni120, Ni200, Ni500, Ni1000, Cu10, Cu50, Cu 100 y LG-Ni1000.
RESISTENCIAS	150 Ω , 300 Ω y 600 Ω

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 11: Ficha técnica del PM 1207

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO	24 V / 2,5 A
ENTRADA	AC monofásico
SALIDA	DC estabilizada y aislada galvánicamente

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 12: Ficha técnica del HMI

FICHA TÉCNICA	
	
TASA DE TRANSFERENCIA	10 Mbit/s, 100 Mbit/s
Nº DE COMPONENTES DE RED	4
TIPO DE ALIMENTACIÓN	DC
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	24 V

Fuente: Catalogo Siemens 2019

Anexo 13: Ficha técnica del HMI

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO DE PRODUCTO	SIPLUS KTP1000 BASIC COLOR PN
PANTALLA	10,4"
TECLAS	8 teclas táctiles
RESOLUCIÓN	640 x 480 píxeles
CONEXIÓN	Ethernet

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 14: Ficha técnica del Variador de Frecuencia

FICHA TÉCNICA	
	
TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN	Trifásica, 380-480 V AC
POTENCIA DE MOTOR	7.5 HP
CORRIENTE DE SALIDA	12.5 A
GRADO DE PROTECCIÓN	IP20
ENTRADAS	6 entradas digitales 1 entrada analógica
SALIDAS	2 salidas digitales 1 salida analógica
Comunicación	PROFINET, EtherNet / IP

Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 15: Ficha técnica del relé de estado sólido trifásico

FICHA TÉCNICA	
	
INTENSIDAD NOMINAL	90 A
TENSIÓN DE TRABAJO	40 a 530 V
FRECUENCIA DE TRABAJO	47 a 63 Hz
DISPARO	Cruzamiento por cero

Fuente: NOVUS Automation.

Anexo 16: Ficha técnica del relé de estado sólido monofásico

FICHA TÉCNICA	
	
VOLTAJE DE CONTROL	3-32 VDC
VOLTAJE DE CARGA	24-380VAC
VOLTAJE DE TRABAJO	250 VAC
INTENSIDAD NOMINAL	10 A

Fuente: FOTEK

Anexo 17: Ficha técnica de las lámparas de señalización

FICHA TÉCNICA	
	
TENSIÓN	24V AC/CD
	
TENSIÓN	24V AC/CD

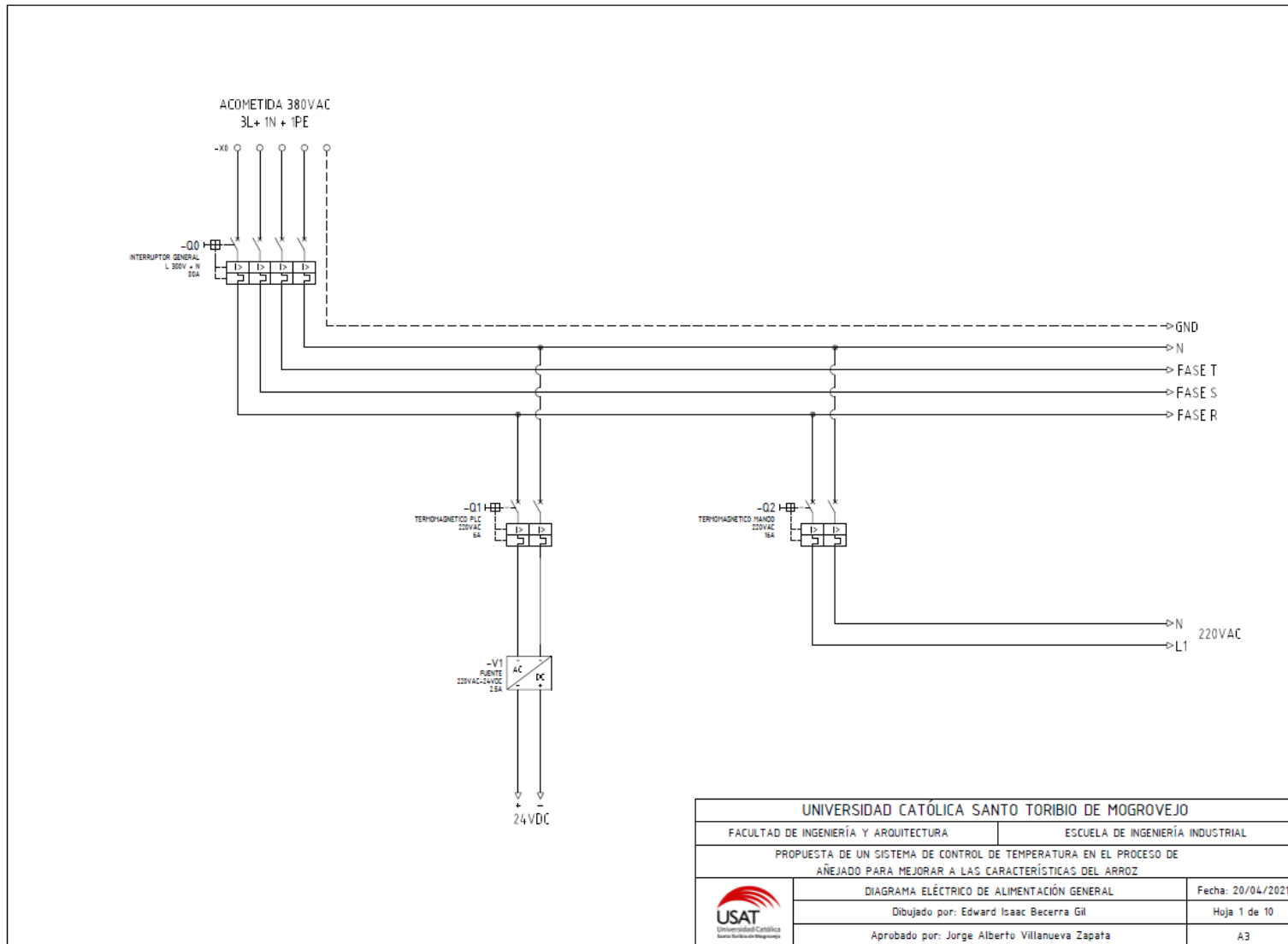
Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 18: Ficha técnica del Variador de Frecuencia

FICHA TÉCNICA	
	
TIPO DE DESENCLAVAMIENTO	Por giro
POSICIONES	2
GRADO DE PROTECCION	IP 66, IP 67, IP 69

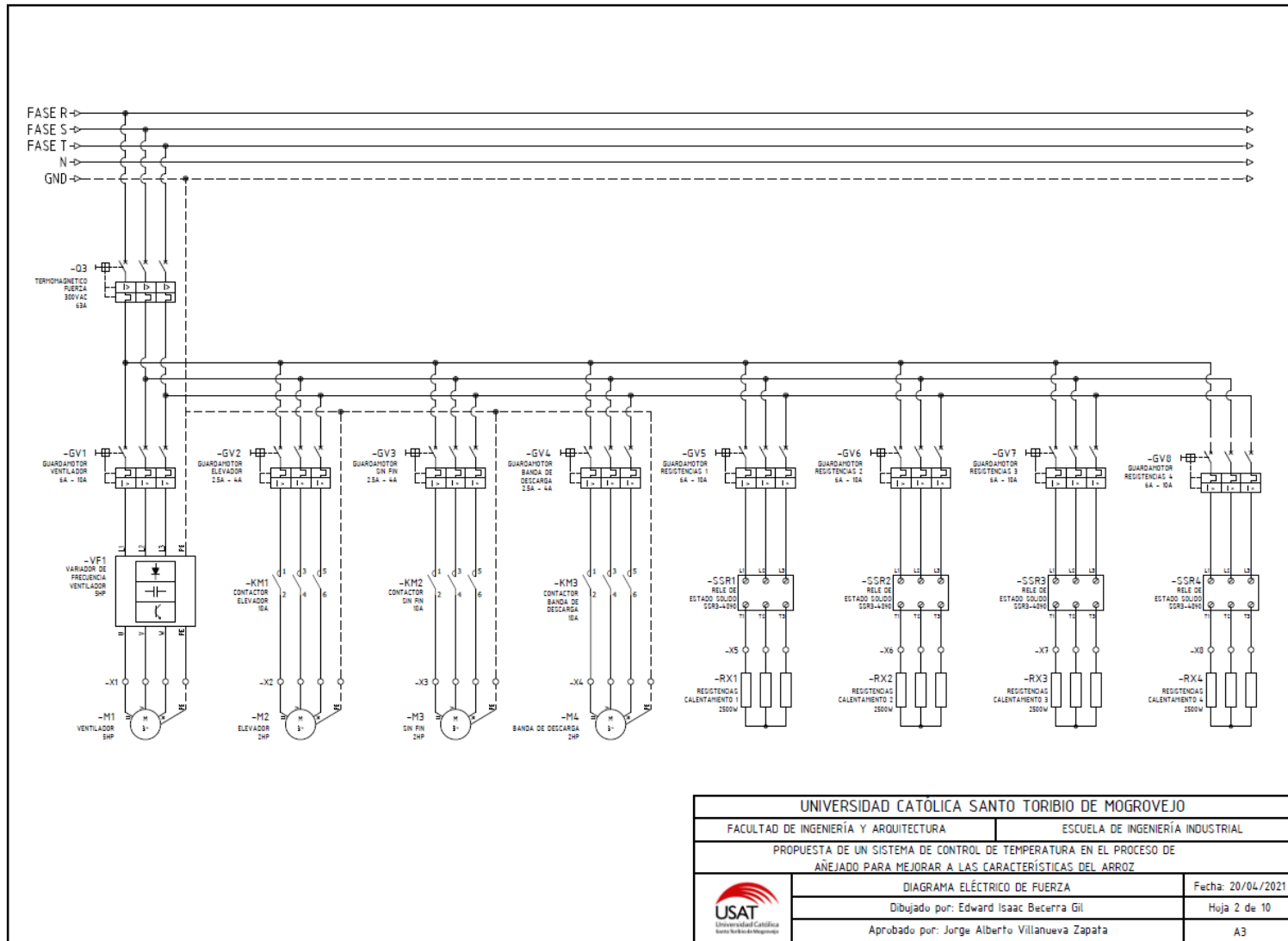
Fuente: Catalogo Siemens 2019.

Anexo 19: Diagrama eléctrico de alimentación general



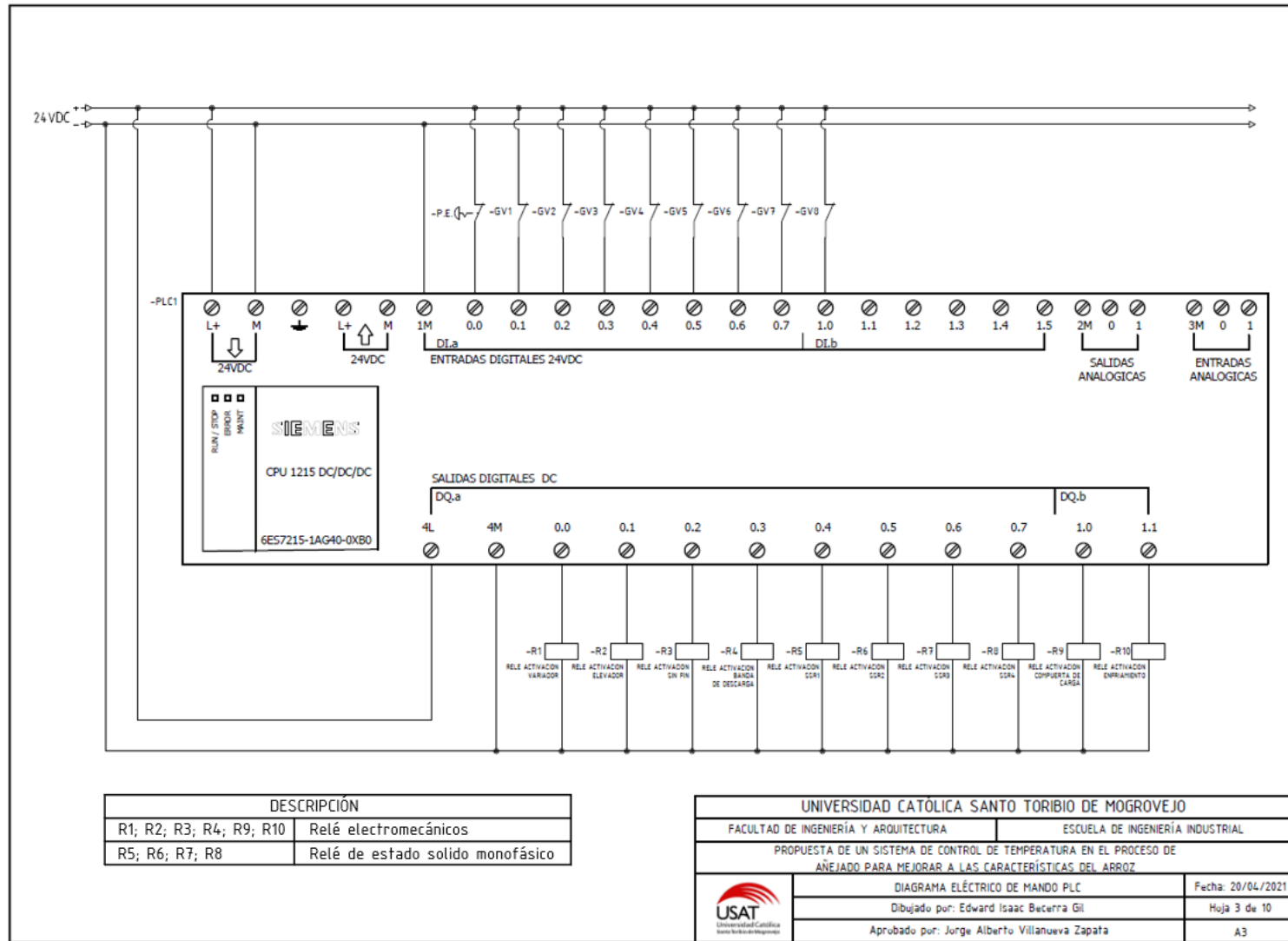
Fuente: Elaboración propia

Anexo 20: Diagrama eléctrico de fuerza



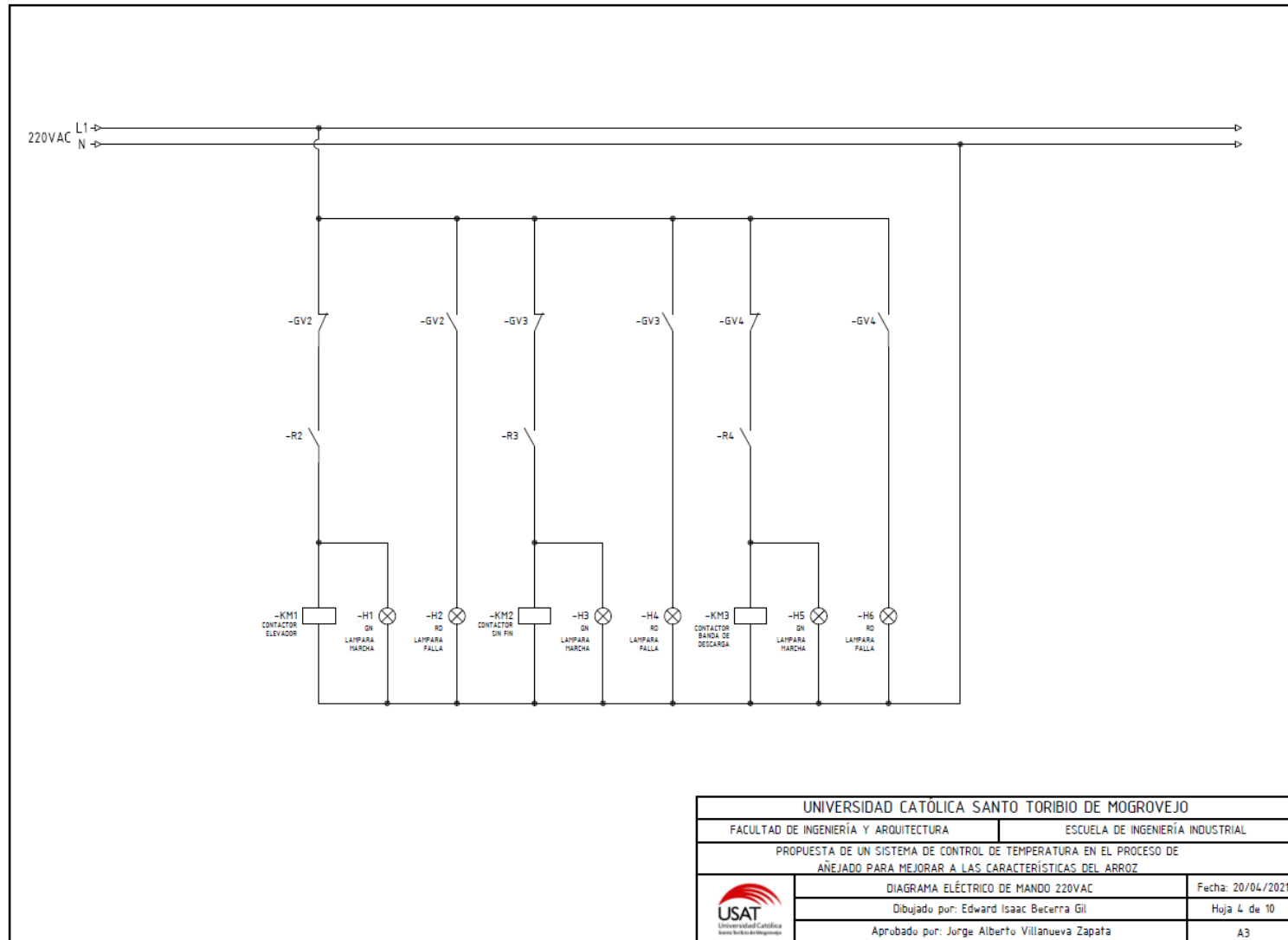
Fuente: Elaboración propia

Anexo 21: Diagrama eléctrico de mando PLC



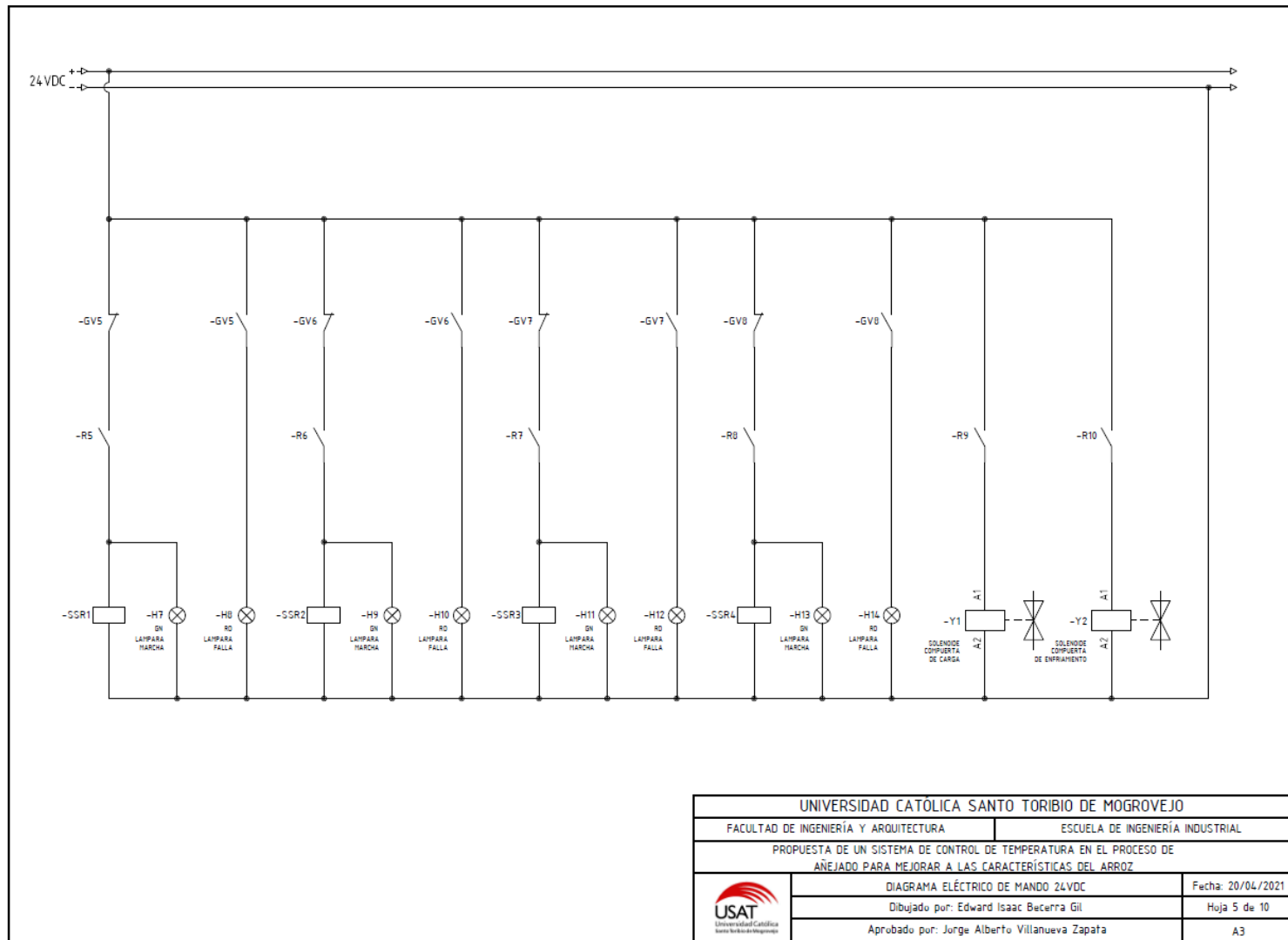
Fuente: Elaboración propia

Anexo 22: Diagrama eléctrico de mando 220V AC



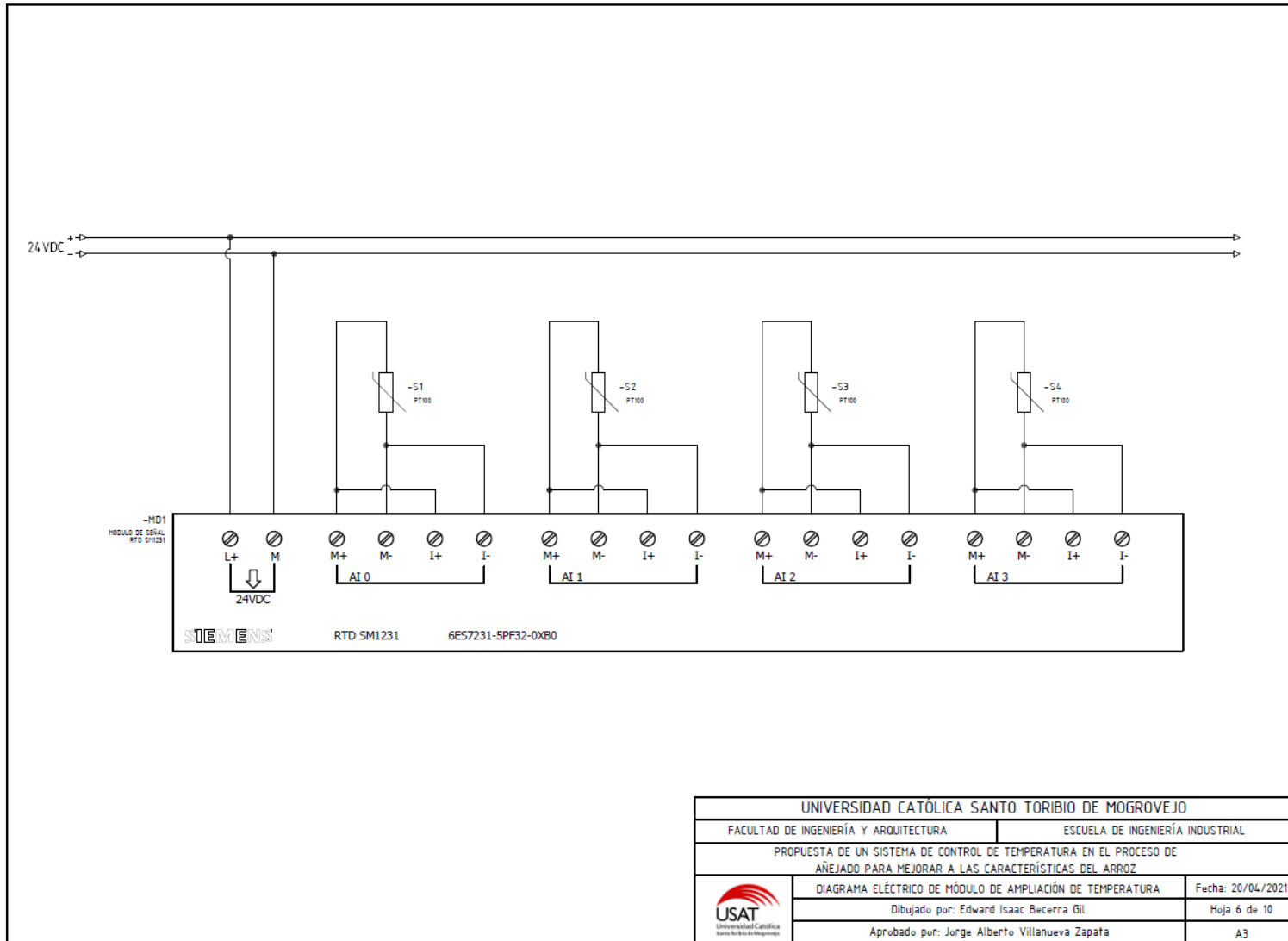
Fuente: Elaboración propia

Anexo 23: Diagrama eléctrico de mando 24V DC



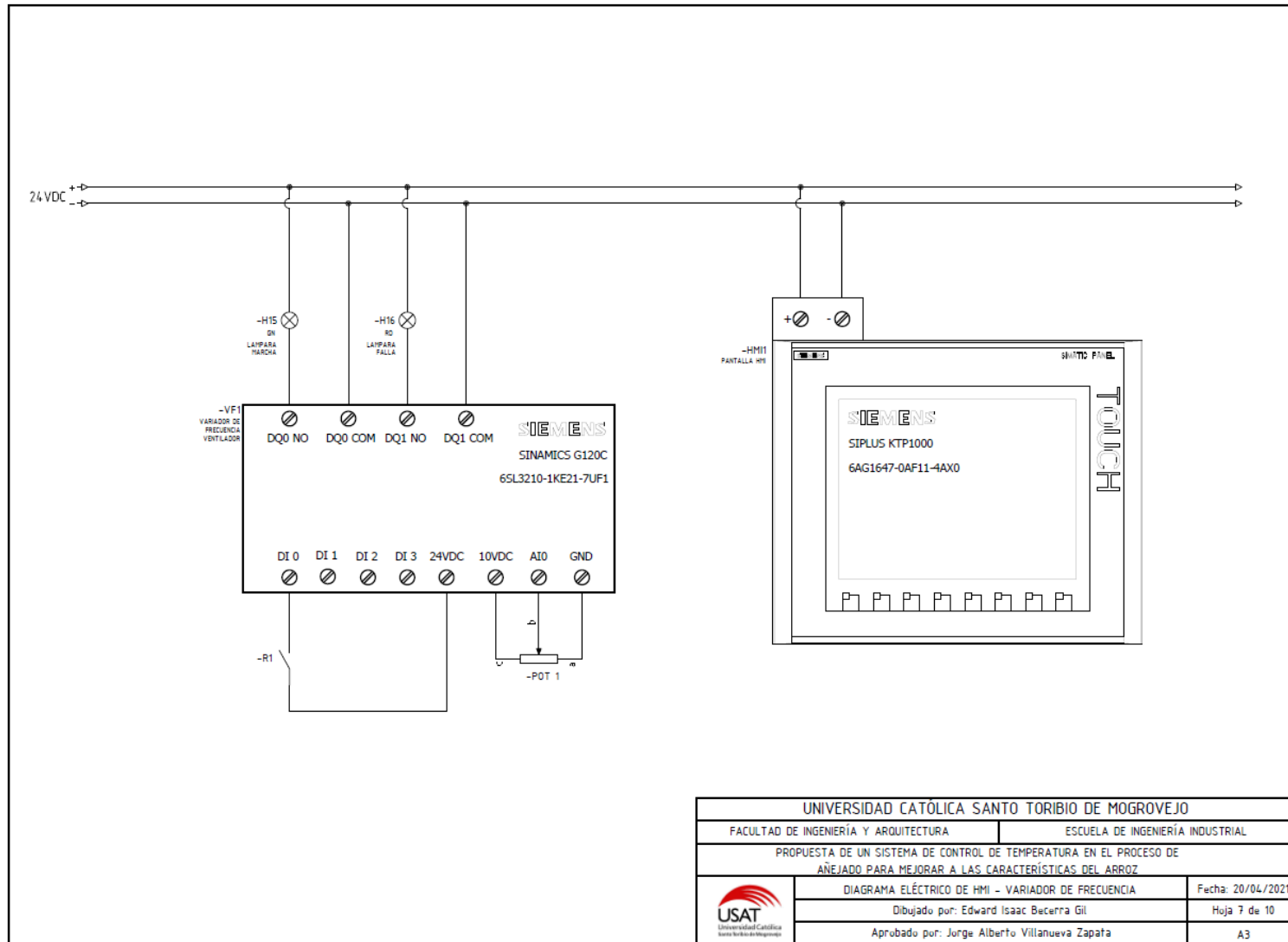
Fuente: Elaboración propia

Anexo 24: Diagrama eléctrico de módulo de ampliación de temperatura



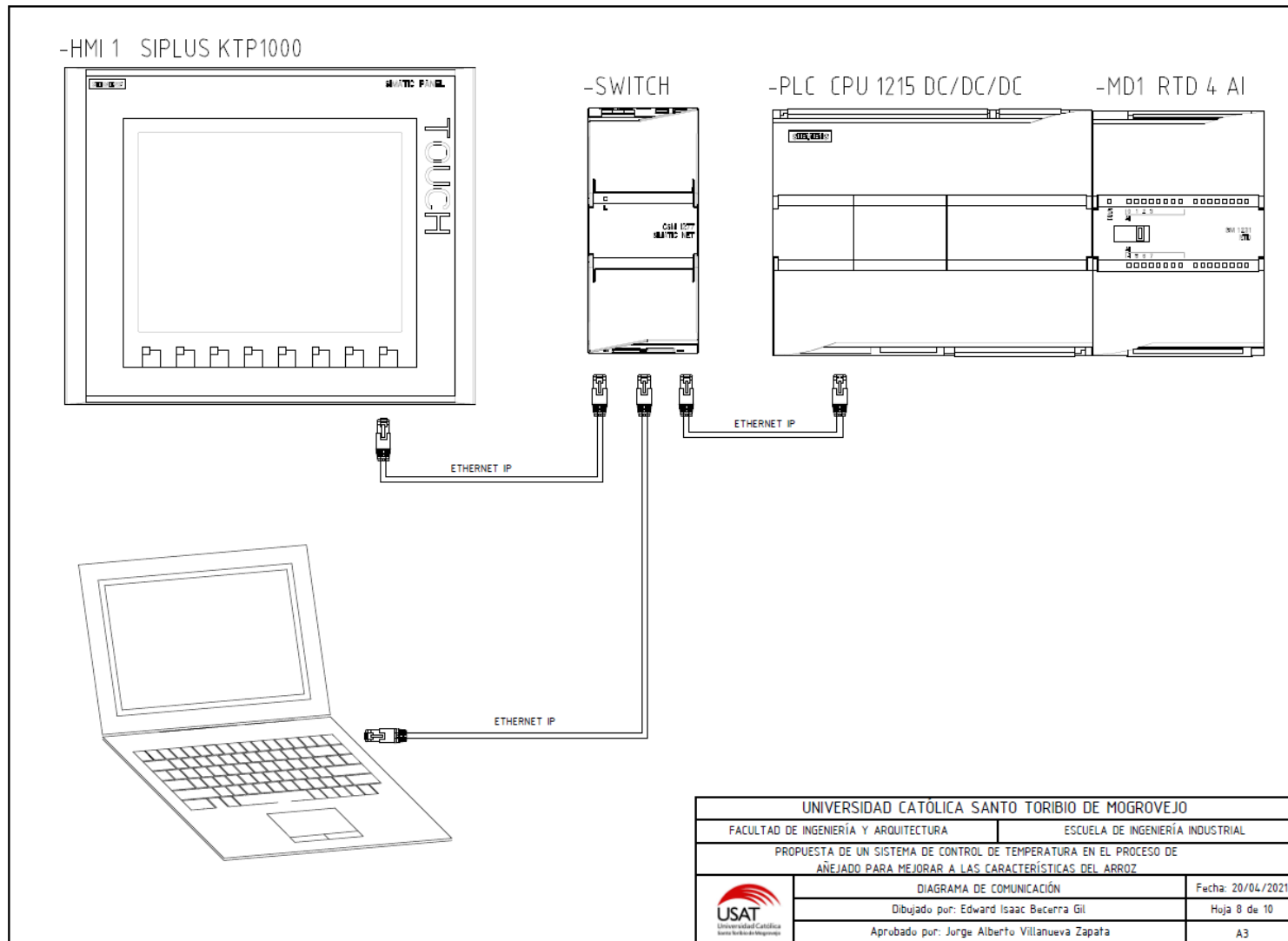
Fuente: Elaboración propia

Anexo 25: Diagrama eléctrico de HMI - variador de frecuencia



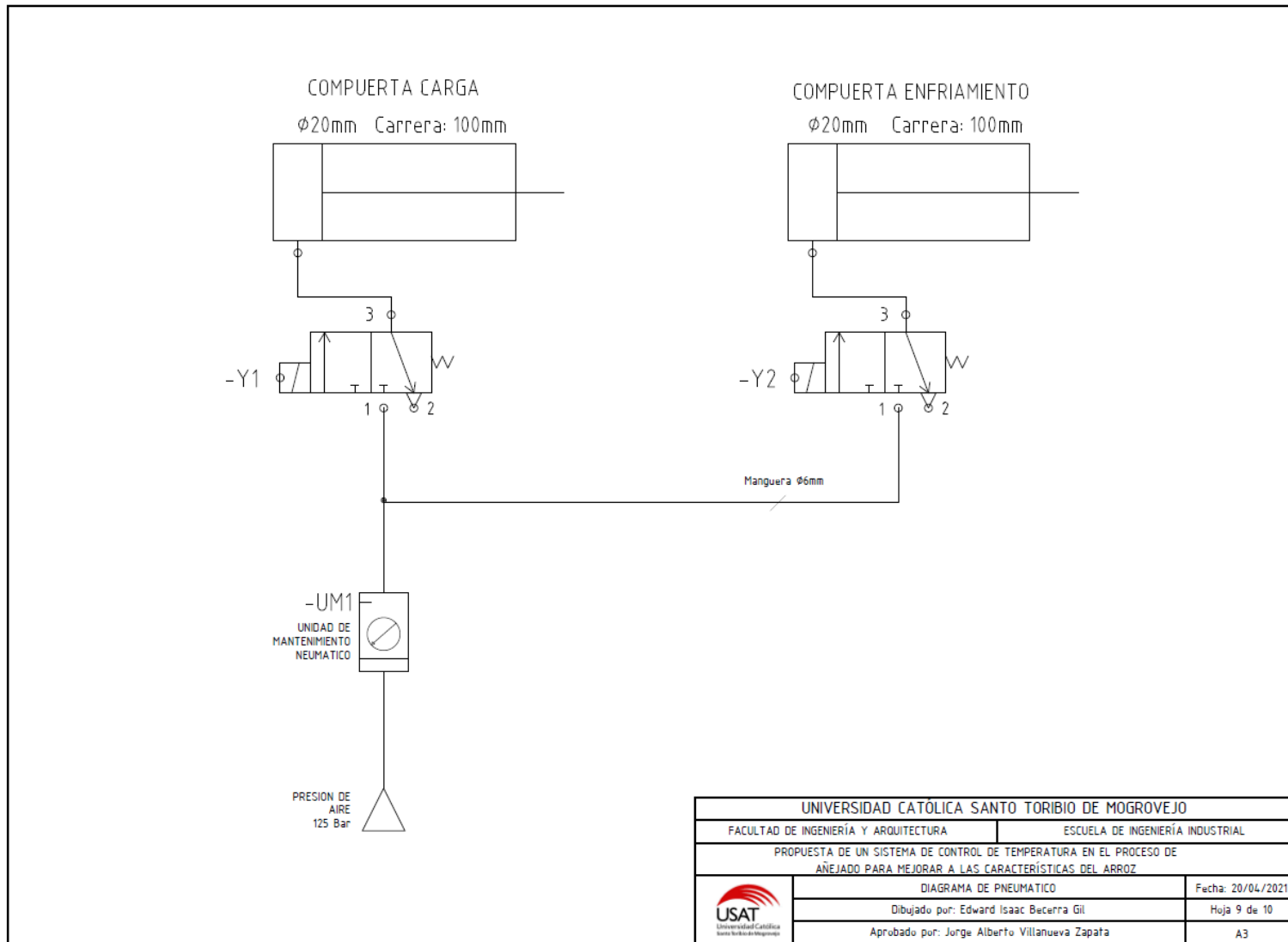
Fuente: Elaboración propia

Anexo 26: Diagrama de comunicación



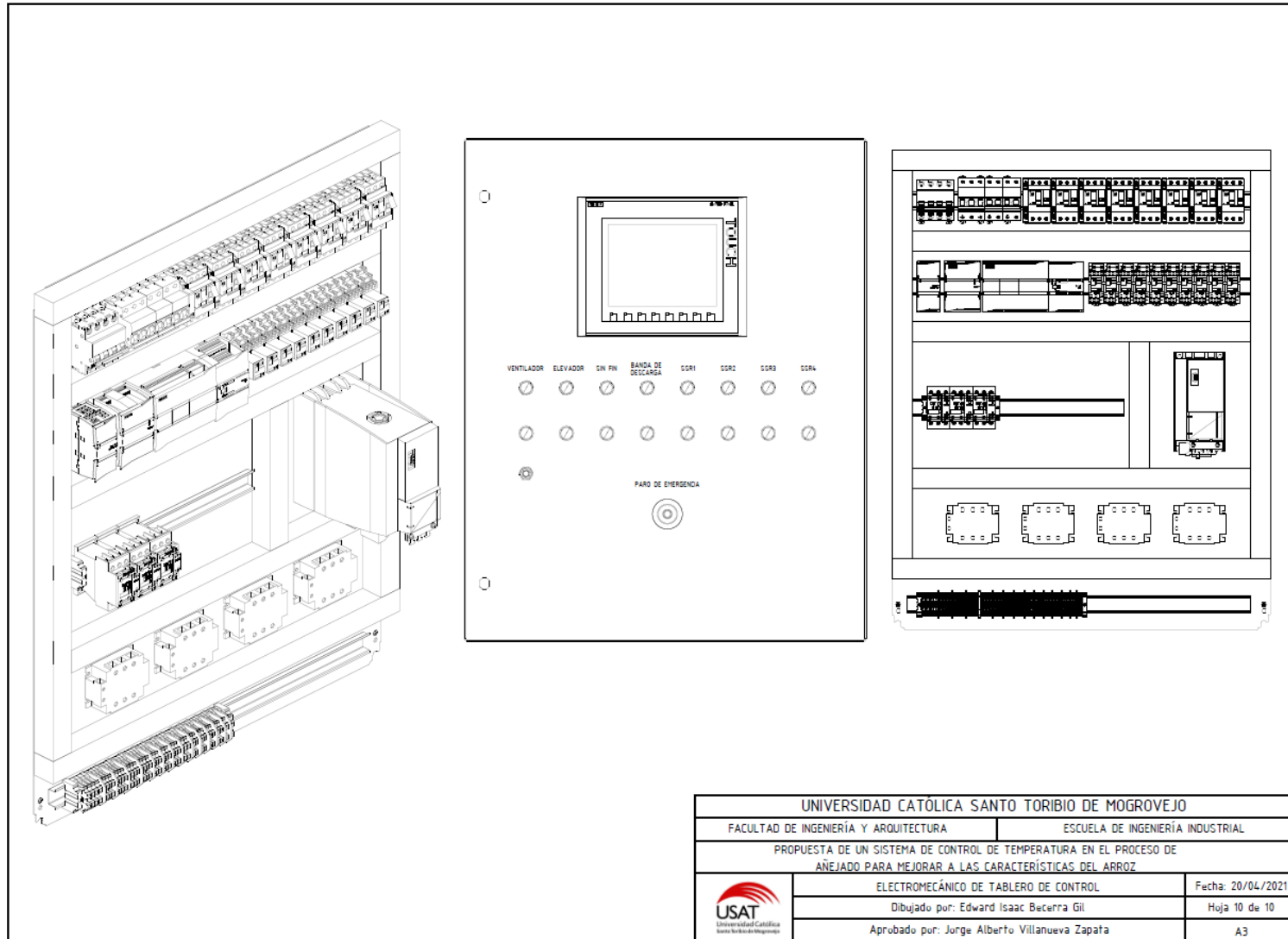
Fuente: Elaboración propia

Anexo 27: Diagrama neumático



Fuente: Elaboración propia

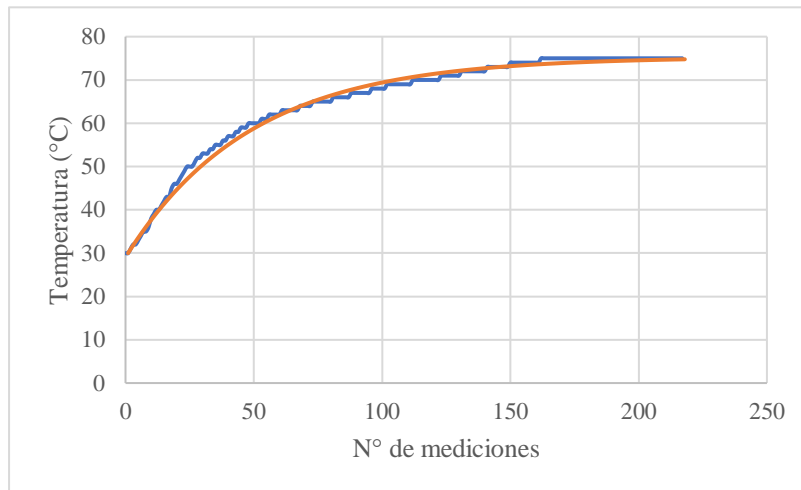
Anexo 28: Electromecánico de tablero de control



Fuente: Elaboración propia

Anexo 29: Cálculos de los valores PID de la Añejadora N° 1.

- Función de transferencia mediante datos experimentales

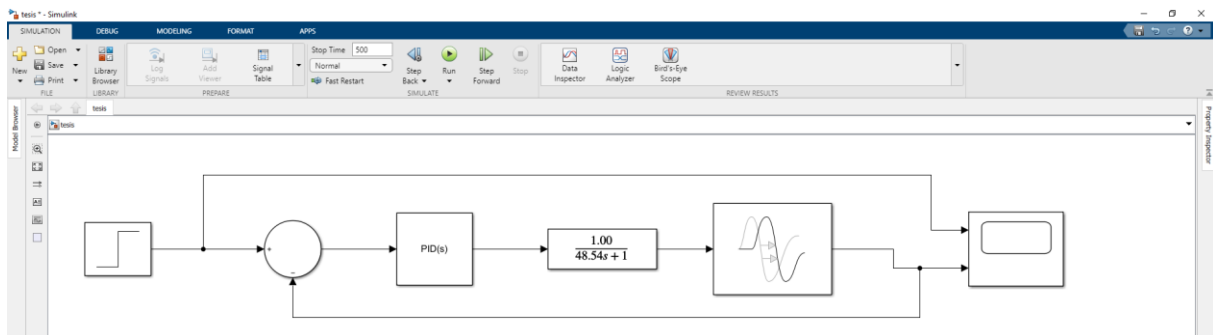


Fuente: Excel

$$y(s) = \frac{K}{t s + 1}$$

$$y(s) = \frac{1.00}{48.54 s + 1}$$

- Obtención de la curva exacta del desplazamiento de la temperatura y los valores PID para el sistema de control de temperatura.



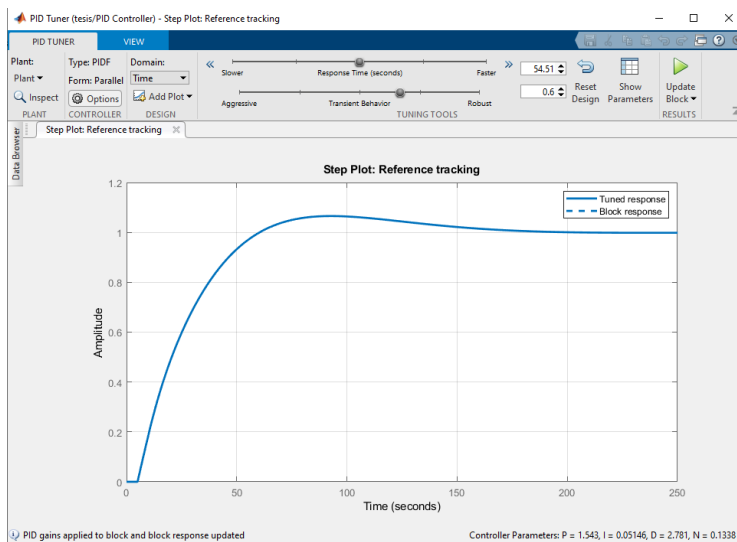
Fuente: MatLab

Los valores obtenidos PID obtenidos mediante el software Matlab son:

$$P = 1.543$$

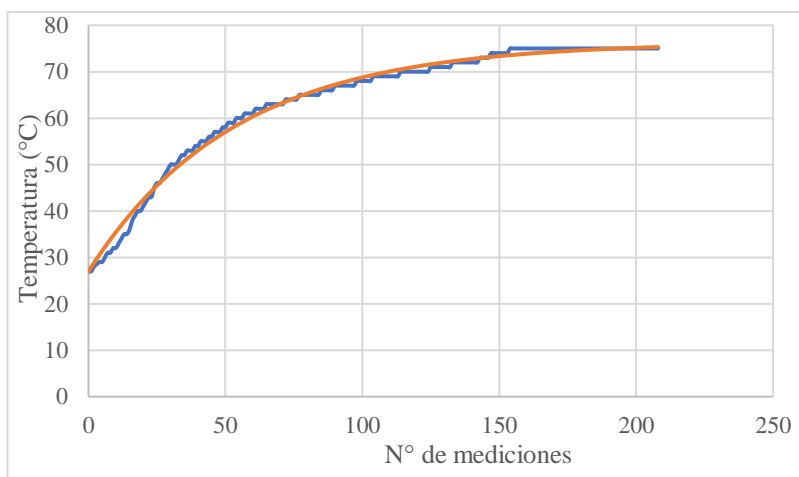
$$I = 0.05146$$

$$D = 2.781$$



Anexo 30: Cálculos de los valores PID de la Añejadora N° 2.

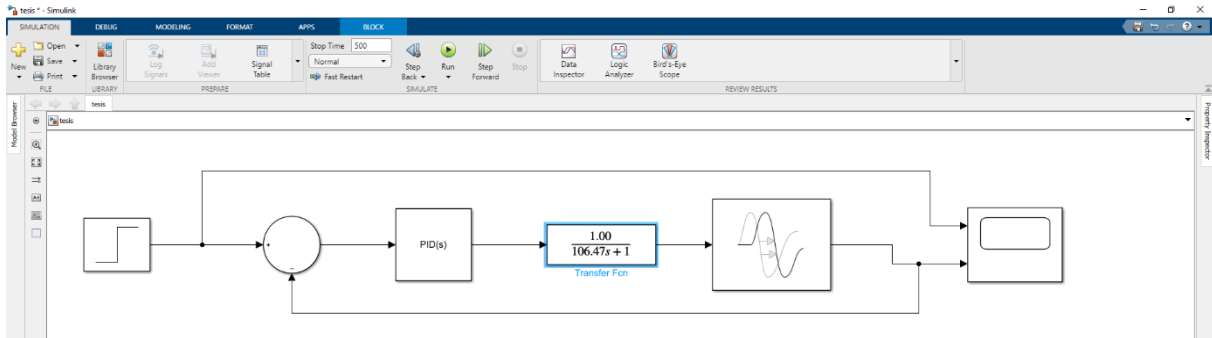
- Función de transferencia mediante datos experimentales.



$$y(s) = \frac{K}{t s + 1}$$

$$y(s) = \frac{1.00}{106.47 s + 1}$$

- Obtención de la curva exacta del desplazamiento de la temperatura y los valores PID para el sistema de control de temperatura.



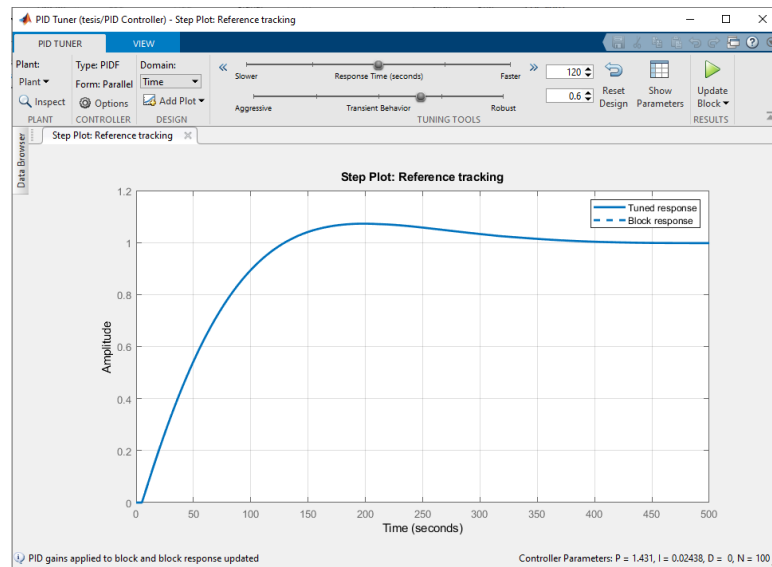
Fuente: MatLab

Los valores obtenidos PID obtenidos mediante el software Matlab son:

$$P = 1.431$$

$$I = 0.02438$$

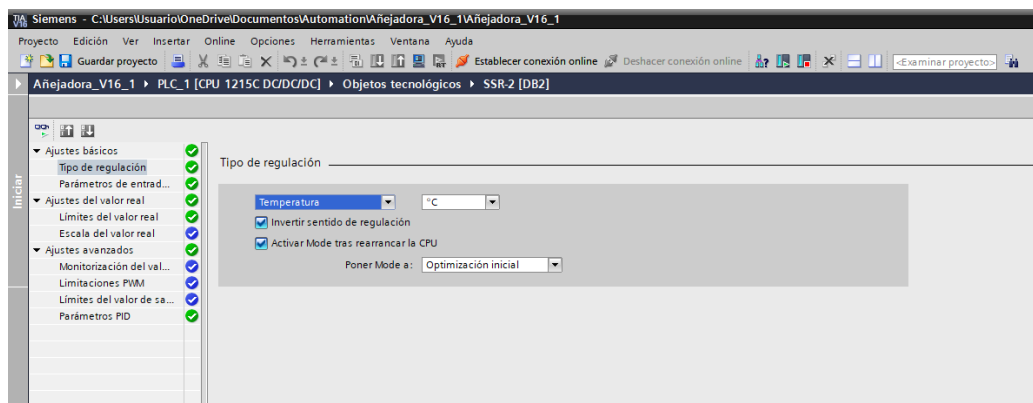
$$D = 0$$



Fuente: MatLab

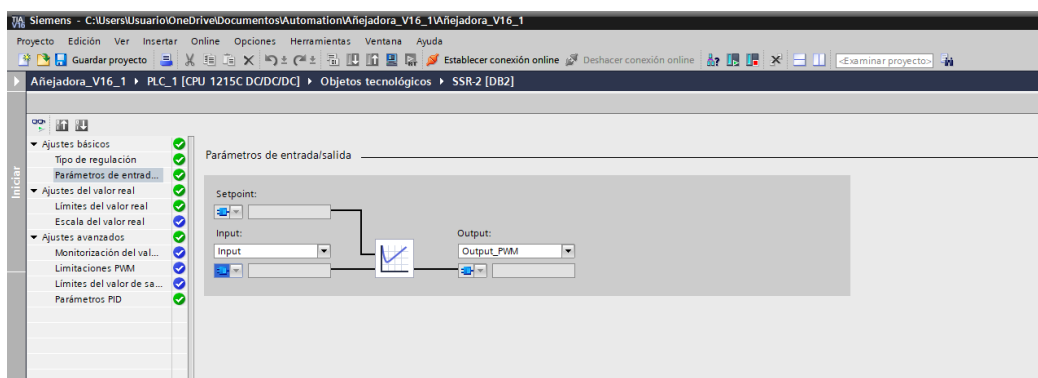
Anexo 31: Configuración del controlador PID

- Configuración del tipo de regulación: Se configura el tipo de regulación seleccionando temperatura y activando la consilla de invertir sentido de regulación. En la opción mode seleccionamos la opción de optimización inicial.



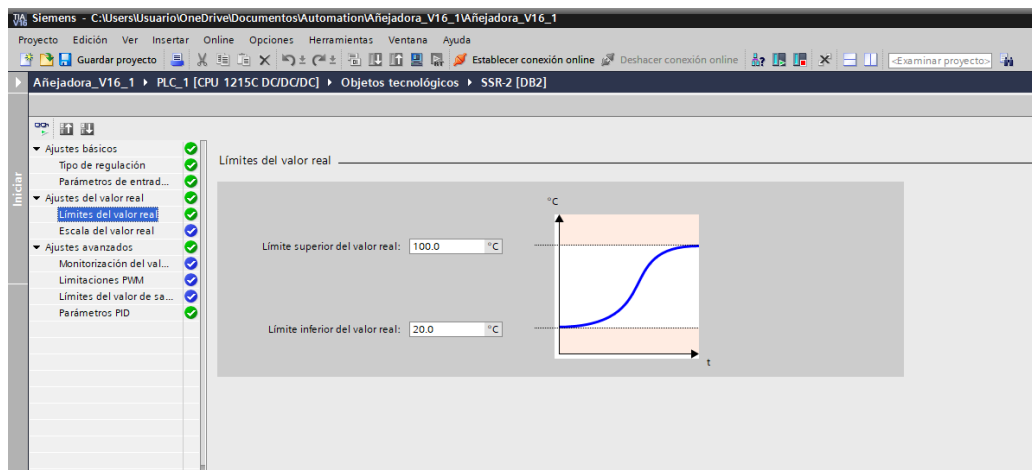
Fuente: Tia Portal

- Configuración de los parámetros de entrada/salida: En parámetros de entrada/salida, seleccionamos como input la opción del mismo nombre input y como output seleccionamos la opción output_PWM.



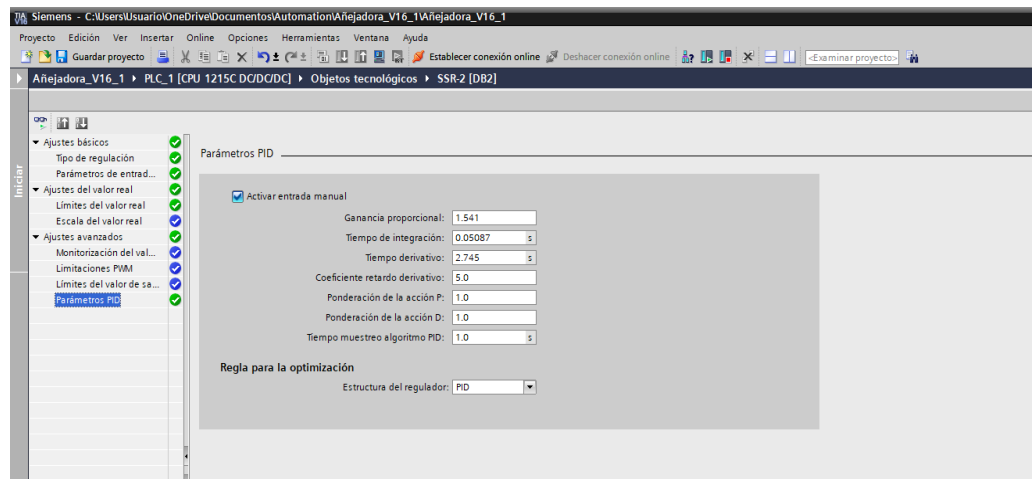
Fuente: Tia Portal

- Configuración de los límites de valor real: En los límites del valor real, colocaremos como límite superior de valor real la cantidad de 100 °C y como límite inferior de valor real la cantidad de 20 °C, cuando el sistema supere estos 2 límites se activará una alerta y se apagará el sistema.



Fuente: Tia Portal

- No modificamos la escala de valor real, debido a que nuestra entrada que seleccionamos es el Input y para modificar este apartado se con la entrada Input_PER. Además, tampoco se modificará la monitorización del valor real, limitaciones PWM y los límites del valor de salida.
- Configuración de los parámetros PID: En este apartado se van a ingresar los valores PID que hemos obtenido anteriormente mediante el software Matlab.



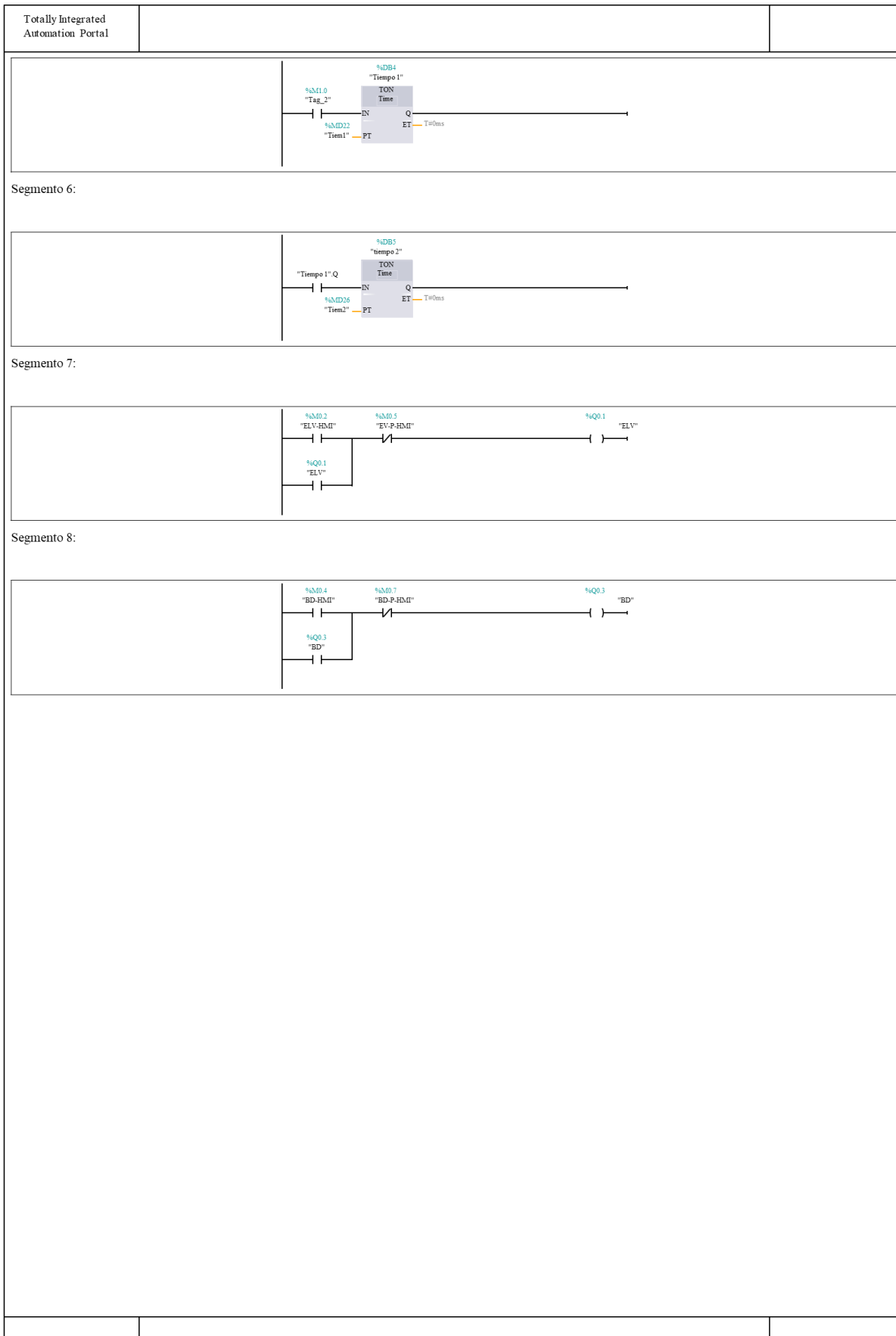
Fuente: Tia Portal

Anexo 32: Programa completo PLC

- Bloque de programa Main [OB1]

Totally Integrated Automation Portal							
Añejadora_V16_1 / PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Bloques de programa							
Main [OB1]							
Main Propiedades							
General							
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración	Automático						
Información							
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizado					
Main							
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Comentario			
▼	input						
	Initial_Call	Bool		Initial call of this OB			
	Remanence	Bool		=True, if remanent data are available			
	Temp						
	Constant						
Segmento 1:							
Segmento 2:							
Segmento 3:							
Segmento 4:							
Segmento 5:							

Fuente: Tia Portal



• Bloque de programa Cyclic interrupt [OB30]

Totally Integrated Automation Portal							
Añejadora_V16_1 / PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Bloques de programa							
Cyclic interrupt [OB30]							
Cyclic interrupt Propiedades							
General							
Nombre	Cyclic interrupt	Número	30	Tipo	OB	Idioma	KOP
Numeración		Automático					
Información							
Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizado					
Cyclic interrupt							
Nombre		Tipo de datos		Valor predet.		Comentario	
▼ Input							
Initial_Call		Bool				Initial call of thisOB	
Event_Count		Int				Events discarded	
Temp							
Constant							
Segmento 1:							
Segmento 2:							
Segmento 3:							
Segmento 4:							

- Lista de Variables

Totally Integrated Automation Portal								
Añejadora_V16_1 / PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/DC] / Variables PLC								
Añejadora [37]								
Variables PLC								
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA/Web API	Escribible desde HMI/OPC UA/Web API	Visible en Supervisión HMI Engineering	Comentario	
PE	Bool	%I0.0	False	True	True	True		
GV1	Bool	%I0.1	False	True	True	True		
GV2	Bool	%I0.2	False	True	True	True		
VAR	Bool	%Q0.0	False	True	True	True		
ELV	Bool	%Q0.1	False	True	True	True		
GV3	Bool	%I0.3	False	True	True	True		
GV4	Bool	%I0.4	False	True	True	True		
GV5	Bool	%I0.5	False	True	True	True		
GV6	Bool	%I0.6	False	True	True	True		
GV7	Bool	%I0.7	False	True	True	True		
GV8	Bool	%I1.0	False	True	True	True		
SF	Bool	%Q0.2	False	True	True	True		
BD	Bool	%Q0.3	False	True	True	True		
SSR1	Bool	%Q0.4	False	True	True	True		
SSR2	Bool	%Q0.5	False	True	True	True		
SSR3	Bool	%Q0.6	False	True	True	True		
SSR4	Bool	%Q0.7	False	True	True	True		
CC	Bool	%Q1.0	False	True	True	True		
ENF	Bool	%Q1.1	False	True	True	True		
Inicio-HMI	Bool	%M0.0	False	True	True	True		
Paro-HMI	Bool	%M0.1	False	True	True	True		
Temp1	Int	%IW112	False	True	True	True		
Temp2	Int	%IW114	False	True	True	True		
Temp3	Int	%IW116	False	True	True	True		
temp4	Int	%IW118	False	True	True	True		
SetP1	Real	%MD10	False	True	True	True		
SetP2	Real	%MD12	False	True	True	True		
SetP3	Real	%MD14	False	True	True	True		
SetP4	Real	%MD16	False	True	True	True		
Tiem1	Time	%MD22	False	True	True	True		
Tiem2	Time	%MD26	False	True	True	True		
ELV-HMI	Bool	%M0.2	False	True	True	True		
SF-HMI	Bool	%M0.3	False	True	True	True		
BD-HMI	Bool	%M0.4	False	True	True	True		
EV-P-HMI	Bool	%M0.5	False	True	True	True		
SF-P-HMI	Bool	%M0.6	False	True	True	True		
BD-P-HMI	Bool	%M0.7	False	True	True	True		

Fuente: Tia Portal

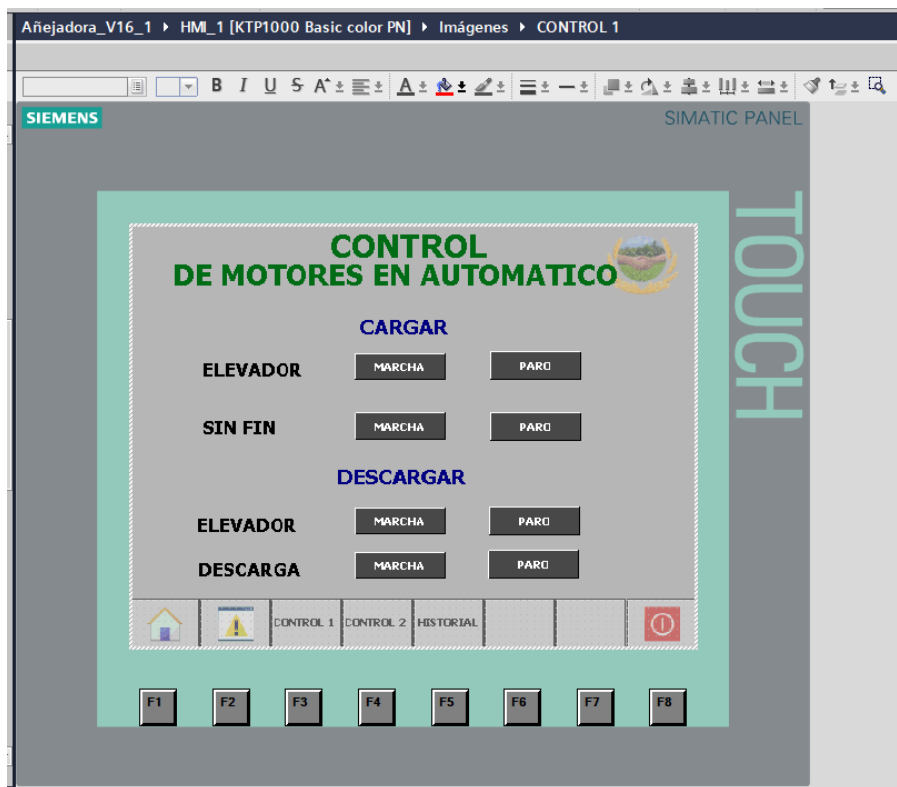
Anexo 33: Ventanas de la Pantalla HMI

- Ventana principal del HMI



Fuente: Tia Portal

- Ventana secundaria CONTROL 1



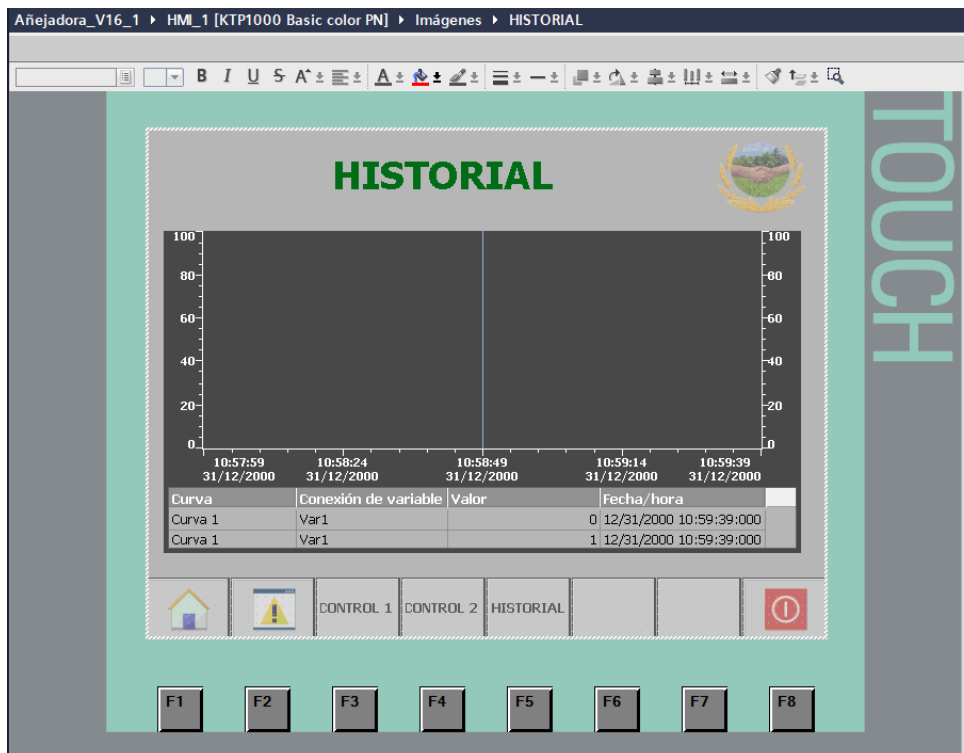
Fuente: Tia Portal

- Ventana secundaria CONTROL 2



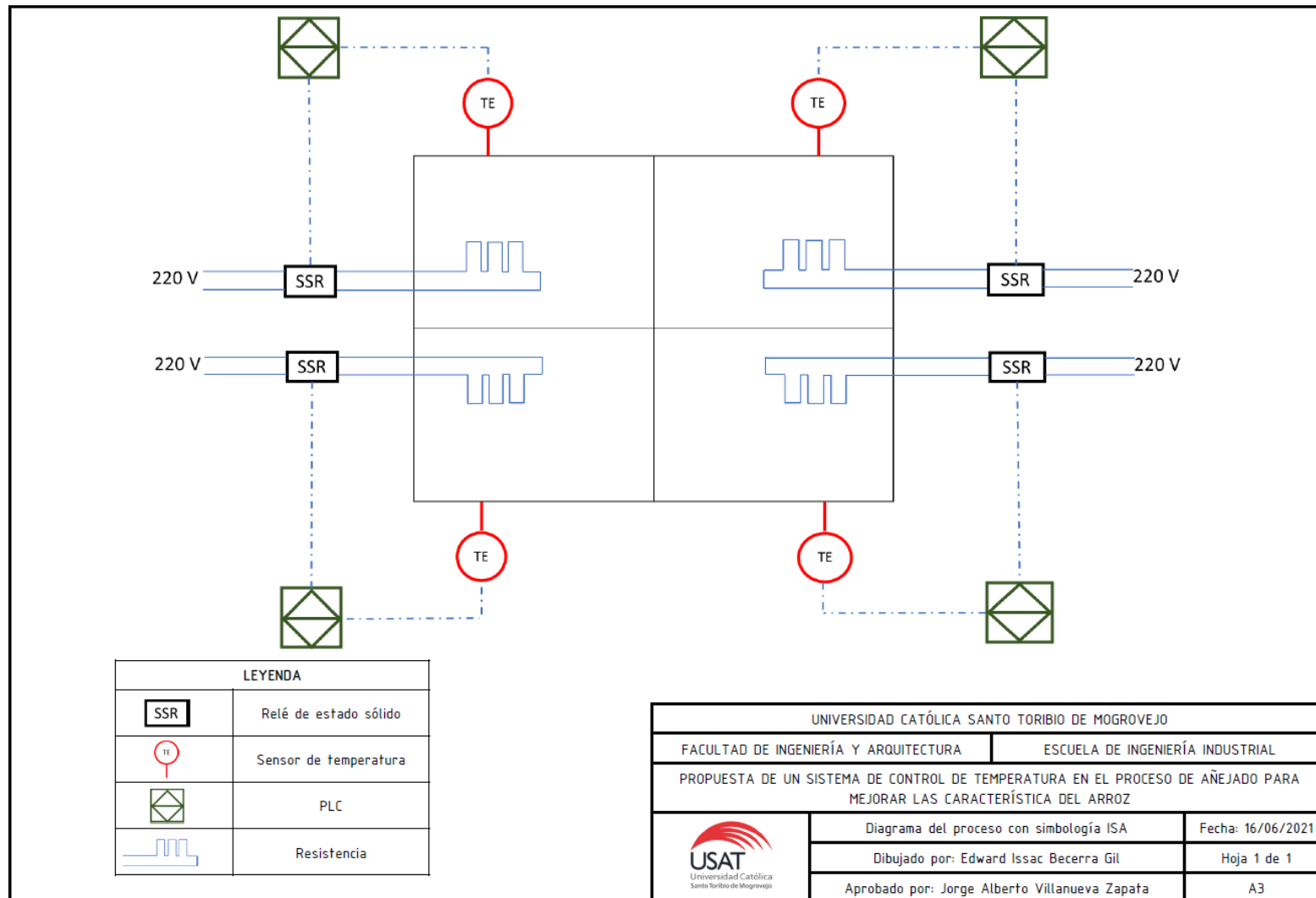
Fuente: Tia Portal

- Ventana secundaria Historial.



Fuente: Tia Portal

Anexo 34: Diagrama del proceso con simbología ISA



Fuente: Elaboración propia