



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

Título

Implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias.

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Industrial

Autor:

Hidalgo Espinosa, Galo Sebastián

Tutor:

Mgs. Ángel Alberto Silva Conde.

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Galo Sebastián Hidalgo Espinosa**, con cédula de ciudadanía **060418077-8**, autor del trabajo de investigación titulado: **“Implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias.”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a la fecha de su presentación.



Galo Sebastián Hidalgo Espinosa

C.I: 060418077-8

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias.”**, presentado por **Galo Sebastián Hidalgo Espinosa**, con cédula de identidad número **060418077-8**, certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 11 días del mes de mayo del 2023.

Luis Stalin López Telenchana Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Mario Vicente Cabrera Vallejo Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Edison Patricio Villacrés Cevallos, PhD.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Ángel Alberto Silva Conde Mgs.
TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **“Implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias.”** Por **Galo Sebastián Hidalgo Espinosa**, con cédula de identidad número **060418077-8**, bajo la tutoría de **Ángel Alberto Silva Conde Mgs.**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 11 días del mes de mayo del 2023

Presidente del Tribunal de Grado
Luis Stalin López Telenchana Mgs.



Miembro del Tribunal de Grado
Mario Vicente Cabrera Vallejo Mgs.



Miembro del Tribunal de Grado
Ing. Edison Patricio Villacrés Cevallos, PhD.



CERTIFICADO ANTIPLAGIO



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-02.20
VERSIÓN 02: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Galo Sebastián Hidalgo Espinosa** con CC: **0604180778**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial **NO VIGENTE**, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**Implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un Controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias**", cumple con el **2 %**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio URKUND, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 2 de mayo de 2023

Mgs. Ángel Alberto Silva Conde
TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a mis abuelos paternos quienes han sido eje principal de inspiración y motivación para seguir adelante, pese a las adversidades que se presenten y poner la mejor actitud en cada actividad que se destine a cumplir.

Galo Sebastián Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi Padre por su apoyo incondicional y por qué ha sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que compone la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Facultad de ingeniería por confiar en mí, abrirme las puertas y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de su establecimiento educativo.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a Ángel Silva. Mgs, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Galo Sebastián Hidalgo

ÍNDICE GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA
DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO.....
ÍNDICE GENERAL
ÍNDICE DE TABLAS.
ÍNDICE DE FIGURAS
RESUMEN
ABSTRACT
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Planteamiento del problema.....	16
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos	17
1.4.1 Objetivo General.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos	17
CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Estado del Arte.....	18
2.2 Marco Teórico.....	18
2.2.1 Proceso de Secado.....	18
2.2.2 Humedad	19
2.2.2.1 Porcentaje de humedad	19
2.2.2.2 Porcentaje de humedad relativa	19
2.2.2.3 Humedad Absoluta.....	20
2.2.3 Temperatura	20
2.2.3.1 Temperatura psicrométrica de bulbo húmedo.....	20
2.2.4 Flujo de Aire	21
2.2.5 Tiempo de Secado	21
2.2.6 Ecuación de Antoine (Presión de Vapor).....	21
2.2.7 Pirámide CIM (<i>Computer Integrated Manufacturing</i>)	22
2.2.8 Tecnología Industrial 4.0	23
2.2.8.1 Análisis y simulación de datos (Big Data).....	24
2.2.8.2 Internet de las cosas (IOT)	24
2.2.8.3 Robótica 4.0 (Cobots)	25
2.2.8.4 Cloud computing.....	25
2.2.9 Redes de Comunicación industrial.....	25
2.2.9.1 Tipos de protocolo en comunicaciones industriales.....	25
2.2.9.2 Niveles de comunicación en una red industrial.....	26
2.2.10 Hardware	27

2.2.10.1	PLC	27
2.2.10.2	Fuente de alimentación AC/DC	27
2.2.10.3	Breaker	27
2.2.10.4	Relé de Estado Sólido	27
2.2.10.5	Variador de Frecuencia	27
2.2.10.6	Motor Trifásico	28
2.2.10.7	Sensor de Humedad y Temperatura	28
2.2.10.8	Raspberry pi	28
2.2.11	Software	28
2.2.11.1	Tia Portal V16	28
2.2.11.2	Kinco DTools.....	28
2.2.11.3	Raspberry-Pi (Sistema Operativo)	29
2.2.11.4	Eclipse, Mosquito (MQTT).....	29
2.2.11.5	Node Red.....	30
2.2.12	Términos utilizados.....	30
2.2.12.1	IoT (Internet of Things)	30
2.2.12.2	IIoT (Internet Industrial of Things).....	30
2.2.12.3	Modulación por ancho de pulso (PWM).....	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		32
3.1	Tipo de Investigación.....	32
3.2	Diseño de la Investigación	32
3.3	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	32
3.4	Población y Muestra.....	32
3.5	Procedimiento	32
3.5.1	Parámetros técnicos de los equipos a reemplazar	33
3.5.2	Criterios para la selección de componentes	34
3.5.2.1	Blower	35
3.5.2.2	Motor (rotación del cilindro).....	35
3.5.2.3	Controlador Lógico Programable (PLC).....	35
3.5.2.4	Sensor de Humedad Relativa y Temperatura (THD).....	36
3.5.2.5	Fuente de Energía DC	37
3.5.2.6	Servidor / Bróker.....	37
3.5.2.6.2	Comunicación con Tarjeta Raspberry pi 2B	38
3.5.3	Conformación de Tableros de control.....	39
3.5.4	Modificaciones en la Estructura del secador.....	40
3.5.4.1	Diagrama de Conexión.....	41
3.5.4.1.1	Detectar dispositivos en la red y cargar la configuración	42
3.5.4.1.2	Controles y configuración de comunicación MQTT	45
3.5.4.2	Configuración de la pantalla Kinco (HMI)	50
3.5.4.3	Adquisición de datos desde Node-red.....	51
3.5.4.4	Obteniendo humedad inicial	53
3.5.4.5	Obteniendo Temperatura de bulbo Húmedo	54
3.5.4.5.1	Tiempo de Secado Teórico.....	57
3.6	Hipótesis.....	60

3.6.1	Operacionalización de variables	61
3.7	Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos	62
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		63
4.1	Resultados	63
4.1.1	Parámetros Técnicos del secador rotativo.....	63
4.1.1.1	Diagramas eléctricos (control y potencia).....	64
4.1.1.2	Codificación en “TIA PORTAL V16”	65
4.1.1.3	Control de temperatura.....	68
4.1.1.4	Implementación de la tecnología industria 4.0	68
4.1.1.5	Sensor de temperatura y humedad	69
4.1.1.6	Resistencia eléctrica	70
4.1.1.7	Justificación Técnica del Variador de Frecuencia	71
4.1.1.8	Justificación técnica Blower	71
4.1.2	Comparativa de resultados de pruebas.....	71
4.2	Discusión.....	72
4.2.1	Prueba HJ-Biplot.....	72
4.2.2	Prueba T-student	76
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		78
5.1	Conclusiones	78
5.2	Recomendaciones.....	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
ANEXOS.....		82

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Parámetros de la ecuación de Antoine (P, mm Hg) y (T, °C).....	22
Tabla 2.	Observaciones detectadas en el secador rotativo	33
Tabla 3.	Características de Blower actual	34
Tabla 4.	Características del Motor de la cámara de secado actual	34
Tabla 5.	Características de resistencia actual	34
Tabla 6.	Características del Blower.....	35
Tabla 7.	Características del motor reductor	35
Tabla 8.	Características del PLC y módulo de salidas analógica.....	36
Tabla 9.	Descripción de permisos de accesos de usuarios	42
Tabla 10.	Configuración de PLC.....	42
Tabla 11.	Datos de las muestras del laboratorio para obtener humedad inicial	53
Tabla 12.	Datos de la prueba 1 de secado de granos de maíz	57
Tabla 13.	Operacionalización de variables	61
Tabla 14.	Características máximas de operación del secador rotativo.....	63
Tabla 15.	Características	64
Tabla 16.	Características del dispositivo.....	69
Tabla 17.	Comparativa de tiempos de secado	71
Tabla 18.	Descriptivos de las variables.....	72
Tabla 19.	Prueba t student para las medias del porcentaje de humedad	76
Tabla 20.	Prueba t student para las medias del tiempo de secado.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo estructural de una Piramide CIM en un entorno industrial	22
Figura 2. Componentes de una estructura industrial 4.0	23
Figura 3. Las 5 V de Big Data	24
Figura 4. Arquitectura básica de las redes de comunicación industrial.....	26
Figura 5. Eclipse, Mosquito (MQTT).....	29
Figura 6. Diagrama de conexión de red con Node-RED.....	30
Figura 7. Aplicación del sistema PWM a Led de potencia 3w.....	31
Figura 8. Controlador lógico programable (PLC)	35
Figura 9. Posición de instalación del sensor.....	37
Figura 10. Fuente de energía DC.....	37
Figura 11. Placa Raspberry pi 2b.....	38
Figura 12. Pantalla de instalación del Sistema operativo RaspBerry Pi OS.....	38
Figura 13. Tablero principal del equipo	40
Figura 14. Tablero secundario del equipo	40
Figura 15. Plano comparativo de las modificaciones e.	41
Figura 16. Esquema de conexión a internet.....	41
Figura 17. Ventana del software TIA Portal V16 para agregar dispositivos.....	43
Figura 18. Ventana del software TIA Portal V16 para detectar dispositivos	44
Figura 19. PLC y módulo detectado correctamente en el s.....	44
Figura 20. Pestaña de propiedades del PLC	45
Figura 21. Bloque principal Main[OB1]	46
Figura 22. Pestaña de librerías del software TIA Portal V16.....	47
Figura 23. Librería de comunicación MQTT	47
Figura 24. Base de datos con variables de comunicación MQTT	48
Figura 25. Bloque de comunicación MQTT.....	49
Figura 26. Variables de PLC utilizadas en la programación.....	50
Figura 27. Ventana de creación del proyecto en software “KincoDTools”.	50
Figura 28. Entorno de configuración de dispositivos e.	51
Figura 29. Diagrama de la programación en Node-Red.....	52
Figura 30. Interfaz de usuario del servidor.....	52
Figura 31. Secado y pesado de muestras de granos de maíz.	54
Figura 32. Diagrama secuencial para la obtención del tiempo se secado	58
Figura 33. Diseño representativo de la estructura final	63
Figura 34. Diagramas eléctricos	64
Figura 35. Programación en TIA Portal V16 (acondicionamiento de v..).....	65
Figura 36. Programación en TIA Portal V16 (salidas analógicas)	67
Figura 37. Paro de emergencia salida (PWM).....	67
Figura 38. Configuración de variable PID.....	68
Figura 39. Esquema de comunicación MQTT (Publicadores y suscriptores) ...	68
Figura 40. Posición de instalación del sensor	70
Figura 41. Resistencia eléctrica	70
Figura 42. HJ Biplot	74

RESUMEN

En la carrera de ingeniería industrial de la Universidad Nacional de Chimborazo, los estudiantes cuentan con un laboratorio de Operaciones Unitarias para la realización de prácticas, donde existe un secador rotativo piloto, que debido al uso dejó de estar operativo, además tomando en cuenta que el sistema de control se basa en lógica cableada local es muy rígido respecto al giro de la cabina de secado y el flujo de aire, el control de la temperatura parte de una termocupla donde su principal problema es la inercia térmica de la resistencia provocando un error significativo en sus valores, en el desarrollo de prácticas se presenta el inconveniente de no tener adquisición de datos, por lo que se debe utilizar otros equipos para el estudio del proceso. Debido a esto el principal objetivo de este estudio fue implementar la tecnología industria 4.0 (I 4.0) debido a las facilidades que proporciona tanto en el proceso de secado como la adquisición de datos para su estudio, partiendo de un controlador lógico programable (PLC) que permite la regulación de variables (temperatura, caudal y giro de la cabina de secado) según las necesidades del proceso de secado de granos, por otra parte para la gestión de los datos se implementó un servidor (Raspberry Pi) conectado a internet que permite la adquisición de datos en tiempo real y en cualquier lugar. Con el fin de demostrar el impacto de los cambios realizados en el equipo y la mejora en el proceso, se utilizó datos históricos de pruebas realizadas en el equipo mediante herramientas estadísticas (HJ-Biplot y Análisis Triádico Parcial) determinando que el equipo intervenido con tecnología I 4.0, redujo notablemente el porcentaje final de humedad, así también, los tiempos de secado disminuyeron, además los valores de los indicadores de temperatura de bulbo seco (T_{bs}) y temperatura de bulbo húmedo (T_{hb}) están altamente correlacionadas, demostrando así que el equipo 4.0 se comporta de manera estable. También se aplicó la prueba t-student evidenciando que las medias del porcentaje de humedad son diferentes (p -valor = 0,000) y las medias de los tiempos de secado también son diferentes (p -valor = 0,02).

Palabras clave: MQTT, raspberry pi, secador rotativo, tecnología industria 4.0

ABSTRACT

The Industrial Engineering Department of the Universidad Nacional de Chimborazo, the students have a laboratory of "Operaciones Unitarias" for the realization of practices, where there is a pilot rotary dryer, which due to use ceased to be operational, also taking into account that the control system is based on local wired logic is very rigid concerning the rotation of the drying cabinet and airflow, The temperature control is based on a thermocouple whose main problem is the thermal inertia of the resistance causing a significant error in their values, in the development of practices has the disadvantage of not having data acquisition, so you must use other equipment for the study of the process. Due to this, the main objective of this study was to implement the Industry 4.0 (I 4.0) technology due to the facilities it provides both in the drying process and data acquisition for its research, starting from a programmable logic controller (PLC) that allows the regulation of variables (temperature, flow and rotation of the drying booth) according to the needs of the grain drying process, on the other hand for data management a server (Raspberry Pi) connected to the internet was implemented that allows data acquisition in real-time and anywhere. To demonstrate the impact of the changes made in the equipment and the improvement in the process, historical data of tests carried out on the equipment were used utilizing statistical tools (HJ-Biplot and Partial Triadic Analysis), determining that the equipment intervened with I 4. 0 technology significantly reduced the final percentage of humidity, as well as the drying times. The values of the dry bulb temperature (Tbs) and wet bulb temperature (Thb) indicators are highly correlated, thus demonstrating that the 4.0 equipment behaves stably. The t-student test was also applied, showing that the means of the moisture percentage are different (p-value = 0.000), and the standards of the drying times are also different (p-value = 0.02).

Keywords: MQTT, raspberry pi, rotary dryer, industry 4.0 technology.



Reviewed by:
Mgs. Maria Fernanda Ponce
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603818188

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Durante la crisis financiera, las economías con una sólida base industrial sufrieron menos que las volcadas en los servicios. Un caso claro lo tenemos en Alemania, cuyas Mittelstand (pymes), muchas de ellas fabricantes, pudieron mantener o aumentar sus plantillas. Consciente de que la industria manufacturera contribuye significativamente a la creación de empleo y la innovación, el Gobierno alemán elaboró en 2011 la iniciativa “industria 4.0”, un concepto que se ha popularizado (Sanchon, 2018).

La tecnología del secado ha sufrido nuevas transformaciones de calidad y velocidad de producción al inicio de la revolución industrial, con el fin de satisfacer nuevos requerimientos compatibles con un mejor uso de la energía. En este aspecto, la introducción de nuevas tecnologías y el uso de diferentes modos de secado han significado el reemplazo gradual del secado al ambiente. En este sentido, el uso de equipos de secado ha mostrado ser una excelente opción, indicando la importancia de este método de secado (Briones & Guanoluisa, 2011).

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad la implementación de la tecnología industria 4.0 en el proceso de secado rotativo en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Chimborazo, el cual será un gran aporte para la realización de las prácticas de laboratorio de futuros proyectos y de esa manera potenciar los conocimientos adquiridos para que en la vida profesional se pueda poner en práctica estas destrezas y habilidades.

1.1 Antecedentes

Según (Briones & Guanoluisa, 2011), como resultado de su trabajo de tesis entregó al laboratorio de operaciones unitarias de la facultad de ingeniería un equipo denominado “Secador rotatorio piloto de granos”, con esto se llegó a documentar el tiempo de operación de 25 a 55 minutos para 2000 gramos de producto, además se establecieron prácticas para desarrollar con dicho equipo, sin embargo, se encontró que tenía pérdida de material por falla de diseño entre el tambor y las tapas de la cabina rotatoria del secador.

(Echeverry, 2010) en el desarrollo de su trabajo se encargó de “Diseñar y simular la automatización de la operación de un secador electromecánico de café”, para mejorar los actuales tiempos promedio de secado y humedades finales, en el mismo se puede destacar que trabajó con 200 kg de café y después de 18 horas logra reducir su humedad en un aproximado de 43%, hay que mencionar que para la simulación se realizaron estudios termodinámicos y de flujos de masa para después contrastar sus resultados con un equipo en funcionamiento, considerando un margen bajo de error.

En el trabajo de investigación de (Fuentes & Pinto, 2019) se desarrolló el diseño de controlador PID para prototipo de secado de café y/o cacao, para esto partieron de ecuaciones que representan el funcionamiento térmico de la máquina, además de obtener ecuaciones de flujo de materia, y de dicha investigación se obtuvo que la eficiencia energética mejora en un 25% aproximadamente en comparación con un sistema de control tradicional (On – Off).

El investigador (Borja, 2020) en su trabajo de titulación como magister en sistemas de Control y automatización industrial, llevo a cabo el diseño de una arquitectura usando el

protocolo MQTT, en el cual se detalló que esto permitiría una aproximación al cambio y al desarrollo del país en el campo industrial, debido a que todo esto se desenvuelve mediante software libre y equipos de fácil acceso e instalación, además se recalca su seguridad informática tanto como la disponibilidad para complementar el sistema con SNAP-7 y MySQL.

1.2 Planteamiento del problema

En los laboratorios de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, se puede evidenciar que no existe un plan de repotenciación en los equipos utilizados por los estudiantes para el desarrollo de prácticas generando una metodología de aprendizaje obsoleto siendo los causantes principales: los bajos recursos o la falta de conocimiento sobre los sistemas de control que puedan ser implementados.

En el caso del secador rotativo del laboratorio de operaciones unitarias, posee un control básico de temperatura, que funciona mediante un relé de enclavamiento y se establece una temperatura a la que se desconectará, generando el aumento en su temperatura en exceso por la energía que disipa, aun cuando se corta la alimentación, lo que se traduce en una falla de control en el proceso de secado, por otro lado, el giro del tanque y el flujo de aire son parámetros que según las características del producto deberían ser establecidas con el objetivo de evitar roturas o daños del mismo, sin embargo el equipo actualmente no cuenta con esas características, lo que genera una tarea tediosa y repetitiva para el operario.

Bajo estas consideraciones se puede denotar que no posee un sistema de control automático, que gestione las variables que intervienen en el proceso, obligando al operario a utilizar equipos externos para suplementar las deficiencias en su mayoría en la adquisición de datos para su posterior estudio.

1.3 Justificación

La implementación de la tecnología industria 4.0 mediante un controlador lógico programable para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo, es el control de las variables (temperatura, caudal y giro de la cabina) del proceso de secado, adquisición de datos en tiempo real y el histórico de las variables con el fin de su estudio priorizando mantener el equipo en funcionamiento en el tiempo requerido para llegar al porcentaje de humedad final del producto. Los operarios (estudiantes) que han utilizado el equipo presentan una dificultad respecto al tiempo disponible en el laboratorio es aproximadamente de 2 horas, de las cuales el 25 % es protocolo y una práctica de secado en el equipo, tiene una duración mínima de 5 horas, porque no se logra comprobar apreciar los efectos de secado sobre el producto tratado, con la propuesta de implementación de la tecnología I 4.0, los estudiantes aprovecharán el tiempo de práctica estudiando el proceso mas no controlando las variables de forma manual, al mismo tiempo, tiene opción de dejar el equipo en funcionamiento el tiempo requerido y desde cualquier lugar y momento acceder a los datos registrados en el servidor. Por otro lado, el técnico del laboratorio y el docente pueden supervisar el funcionamiento y control del equipo a distancia. Este estudio puede ser la base para implementar un sistema integrado para el control que permita conocer el estado a tiempo real de cada uno de los equipos del laboratorio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Implementar la tecnología industria 4.0 mediante un Controlador lógico para un proceso de secado rotativo en el laboratorio de operaciones unitarias.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Modificar la estructura de soporte del secador rotatorio para facilitar la implementación de un nuevo cuadro de control y el cambio de motores.
- Controlar la velocidad de giro del tanque del secador rotativo, reemplazando el motor monofásico por un motor trifásico, apoyado por un variador de frecuencia.
- Cambiar el Blower (soplador), por un Blower que sea controlable mediante un variador de frecuencia permitiendo regular el flujo de aire que ingresa en el proceso de secado.
- Implementar un control de temperatura mediante la adquisición de datos con un sensor de manera que la temperatura en el proceso se mantenga lo más estable posible frente a distintas perturbaciones.
- Desarrollar la programación que permita la adquisición de datos, el control y la monitorización de las variables que se pretende controlar en el proceso.
- Desarrollar las prácticas propuestas por los autores originales del equipo, buscando determinar los efectos que generaran las modificaciones propuestas.

CAPÍTULO II. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del Arte

La cuarta revolución industrial, es denominada por algunos autores como la era de la digitalización o Industria 4.0, debido al crecimiento exponencial de la tecnología y de las TIC y al continuo trabajo de las industrias por adoptar o implementar esta tecnología que combina los sistemas físicos, digitales y biológicos para generar una red de producción inteligente donde los distintos componentes interactúan y colaboran entre sí.

La Industria 4.0, Internet Industrial o Industria Inteligente son algunas de las denominaciones utilizada para referirse a un mismo fenómeno global: la digitalización de la industria, varias de estas tecnologías tienen ya un enorme potencial disruptivo, pero en conjunto van a transformar empresas, sectores y mercados industriales tal como los conocemos actualmente (Cevallos, 2016).

Según Astudillo et al., (2020) en su estudio "Optimización de control de un secador rotatorio para productos agroindustriales" para el control integral del secador rotatorio diseñaron un sistema de supervisión mediante el software LabVIEW V15.0, para la adquisición de datos utilizaron una tarjeta NI USB-6009. También implementaron una interfaz de operación que permite controlar el grado de temperatura del aire del secador con técnicas de control P, PI. Para el proceso de operación del equipo, programaron dos modos de operación, el modo en online donde se muestra el comportamiento del proceso y la cinética de secado y el modo offline donde se hace una predicción del tiempo de secado, porcentaje de humedad final y peso, aplicando las técnicas PAGE, WEIBULL y GAB siendo modelos ampliamente utilizados y probados para la generación de la cinética de secado de materia orgánica.

(Castillo & Contreras , 2016) en su investigación "Diseño e implementación de un sistema electrónico de control y monitoreo de temperatura para un secador rotatorio de productos" implementaron un sistema electrónico automatizado capaz de obtener los parámetros del proceso de secado en tiempo real, además desarrollaron un software donde se genera un histórico de datos minuto a minuto, para el control del proceso de secado de los productos implementaron sensores de temperatura y humedad, un actuador electrónico , además un tablero eléctrico que contiene todos los dispositivos de automatización.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Proceso de Secado

Seader (2011) define el secado como "la eliminación de la humedad, tanto si es agua como otros compuestos volátiles, de sólidos, soluciones, lodos y pastas para obtener productos sólidos". Es preciso resaltar que, al referirnos al secado, no se debe relacionar con la evaporación, ya que en esta última se debe alcanzar una temperatura de ebullición para que el líquido sea eliminado; por el contrario, en el secado el líquido es arrastrado por corrientes de aire a una temperatura elevada, considerando que es inferior a la temperatura de ebullición (Seader, 2011).

El proceso de secado de sólidos se considera un proceso de transferencia de masas, en este proceso de separación aplicado a una mezcla homogénea es decir en la cual no se identifica las partes de los componentes que intervienen, a menudo se considera que el

proceso de evaporación es homólogo al secado, siendo este una idea totalmente equivocada, si bien tienen el mismo concepto de separación, ambos difieren en el compuesto con el que se trabaja, mientras el secado se encarga de la separación de un sólido y un líquido, en la evaporación se habla de la separación de una mezcla homogénea entre sólidos (McCabe, 2007)

2.2.2 Humedad

Según Cengel & Boles (2005), afirman que “cualquier humedad agregada al aire saturado, se condensará”, de igual manera explican que la humedad que se encuentra en el aire depende de la presión tanto como de la temperatura en la que se encuentre. (McCabe, 2007), mencionan que “La humedad (H) es la masa de vapor que acompaña a una unidad de masa de gas libre de vapor”, por lo que según esto establecen tres ecuaciones que permite calcular la humedad real p.647 -648).

$$H_s = \frac{M_A p_A}{M_B (P - p_A)} \quad H_R = \frac{p_A}{p'_A} \quad H_A = 100 \frac{H}{H_s} = H_R \frac{P - p_{A'}}{P - p_A} \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

H= humedad real

Hs= humedad de saturación

HR= humedad relativa

HA= Porcentaje de humedad

p_A = presión parcial de vapor (atm)

p'_A = presión de vapor líquido

M_A & M_B = peso molecular de los componentes

2.2.2.1 Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad (HP) según Geankopolis (2006) se define como “100 multiplicado por la humedad real del aire, dividida entre la humedad de saturación que tendría el aire si fuera saturado a esa misma temperatura y presión” (p.579)

$$H_p = 100 \frac{H}{H_s}$$

Donde:

HP: porcentaje de humedad

H: humedad de una mezcla aire-vapor de agua.

Hs: Humedad de saturación

Ec.2

2.2.2.2 Porcentaje de humedad relativa

El porcentaje de humedad relativa según Geankopolis (2006) se entiende como “la cantidad de saturación de una mezcla de aire vapor de agua usando presiones parciales” (p.579)

$$H_R = \frac{p_A}{p_{AS}} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

HR= Humedad relativa.

PA= Presión parcial del vapor de agua en el aire.

PAS= presión de vapor de agua pura a la temperatura establecida.

2.2.2.3 Humedad Absoluta

Es la cantidad en kilogramos de vapor de agua contenida en un kilogramo de aire seco, llamando al agua “a” y “b” al aire, en una mezcla vapor-agua-aire las presiones de vapor son p_a y p_b y para la presión atmosférica, $p_a=1- p_b$ (Fonseca *et al.*, 2002). Entonces la humedad absoluta se expresa por la ecuación: (p.470)

$$H = \frac{M_a \cdot p_a}{M_b \cdot p_b} = \frac{M_a \cdot p_a}{M_b \cdot (1 - p_a)} \quad \text{Ec.4}$$

Siendo M_a y M_b los pesos moleculares del agua y el aire respectivamente.

También para calcular la humedad absoluta se puede utilizar la siguiente ecuación (Cattstreaming, 2020).

$$\omega_1 = \frac{c_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2(h_{fg0} + c_{pv}T_2 - h_{f2})}{h_{fg0} + c_{pv}T_1 - h_{f2}} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

w= humedad absoluta.

w2= temperatura psicrométrica de bulbo húmedo

c_{pa} = Calor específico del aire seco.

h_{fg0} = entalpia de vaporización del agua a 0°C.

c_{pv} = Calor específica del vapor de agua.

h_{f2} = Entalpia del agua saturada a T_2

2.2.3 Temperatura

La temperatura se refiere al estado térmico de un cuerpo comparado con su grado de transmitir calor. La temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor o frío de los cuerpos o del ambiente. En el sistema internacional de unidades, la unidad de temperatura es el Kelvin (Química.Es, 2023).

En el caso de los secadores de granos se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($-dX/d\theta$) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo (Abarca & Aldaz, 2014)

2.2.3.1 Temperatura psicrométrica de bulbo húmedo

La temperatura de bulbo húmedo se mide mediante un psicrómetro compuesto por dos termómetros, uno de ellos envuelto en un paño constantemente humedecido (termómetro de bulbo húmedo) y el otro, junto al primero, en equilibrio térmico con el aire atmosférico (termómetro de bulbo seco). El termómetro de bulbo húmedo recibe un flujo constante de aire, la humedad del paño se evapora, proceso donde se consume energía calórica y este calor es el que se obtiene como bulbo húmedo, llegando al punto del equilibrio y estabilización (Marques & Marcal , 1991).

Ec

$$\omega_2 = \omega_s = a \frac{p_s(T_2)}{P - P_s(T_2)}$$

Donde a= constante psicrométrica y dependerá de la temperatura, geometría del bulbo del termómetro y de la velocidad del aire. Valores empíricos de la constante psicrométrica:

- a = 0,000662 °C.-utilizado para psicrométricos con sistema con aspiración de aire tipo ASSMANN, donde la velocidad del aire es mayor que 3 m/s.
- a= 0,000800 °C.- utilizado para psicrométricos sin movimiento del aire, donde la velocidad del aire es del orden de 1 m/s.
- a=0,00120 °C.-utilizado para psicrométricos con aire en reposo (Marques & Marcal , 1991).

2.2.4 Flujo de Aire

Es el movimiento de aire entre dos puntos, como resultado de una diferencia de presión entre estos, con la dirección de flujo siempre siendo del punto de mayor a menor presión.

El flujo másico de aire se lo obtiene a partir del balance de energía entre el calor ganado por el aire en el proceso de calentamiento y el calor cedido por el aire a los granos de cacao para la evaporación del contenido de humedad (Mora, 2016).

Se lo calcula con la ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_w * h_{fg} + \dot{m} (\text{grano} - \text{humedo}) C_p \text{ grano} (T_{out} - T_{in})}{h_2 - h_1}$$

2.2.5 Tiempo de Secado

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final (Mora, 2016).

$$t = \frac{L_s(X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

Donde:

t= tiempo de secado

L_s= masa del producto a secar (kg)

X₁= humedad inicial del producto

X₂ = humedad final del producto

A= área de superficie de contacto con el flujo de aire

R_c= velocidad de secado

2.2.6 Ecuación de Antoine (Presión de Vapor)

Es una ecuación que permite obtener el valor de la presión de vapor en función de la temperatura para componentes puros y se basa en una correlación de tres parámetros A, B, C. Función Logarítmica decimal (Ec. de Antoine)

$$\log_{10}P^o = A - \frac{B}{T + C}$$

$$P^o = 10^{A - \frac{B}{T + C}}$$

Donde los valores de A, B y C dependen de las unidades utilizadas para la presión de vapor y temperatura, y del rango de temperatura a la cual se obtiene la correlación. Para un mismo componente puede haber diferentes parámetros estos dependerán del rango de la temperatura. En la tabla 1 se evidencia dos conjuntos de parámetros para el cálculo de la presión de vapor de agua para dos rangos de temperaturas.

Tabla 1.

Parámetros de la ecuación de Antoine (P, mm Hg) y (T, °C)

No	A	B	C	T min	T max
1	8.07131	1730.63	233.426	1	100
2	8.14019	1810.94	244.485	99	374

Nota. Tomado de (Brito, 2016)

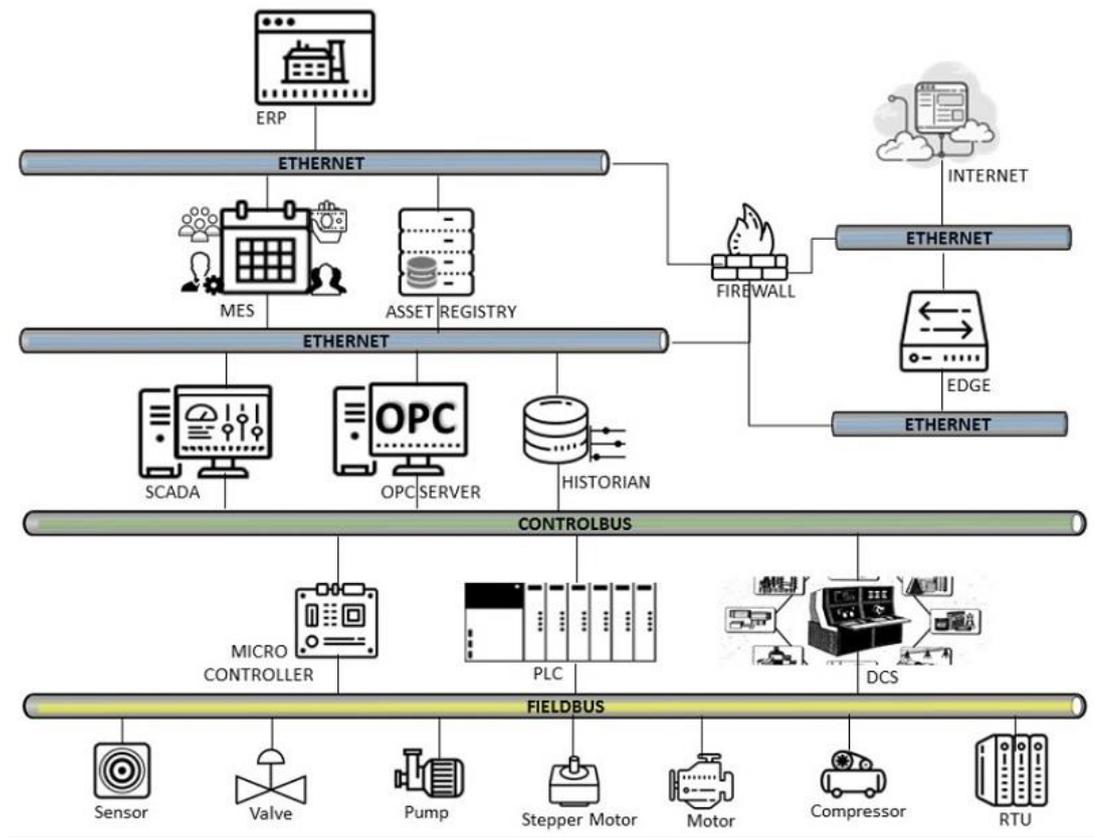
2.2.7 Pirámide CIM (*Computer Integrated Manufacturing*)

La pirámide CIM se denomina a la fabricación automatizada, al transporte automatizado de piezas y materiales, utilizando tecnologías computarizadas en todas las fases de la fabricación de un producto, desde el diseño hasta la fabricación y el control de calidad. El modelo CIM contempla el sistema de fabricación como un todo, reuniendo la automatización de cada actividad y las relaciones entre ellas formando un único bloque. Además, las aplicaciones se estructuran de forma jerárquica, dividiendo las tareas de control en diferentes niveles funcionales (Ardoli & Aresi, 2015).

En la Figura 1 se muestra en la parte inferior, justo en contacto con el proceso físico, a los sensores y actuadores incluyendo válvulas, compresores y bombas. En el primer nivel encontramos el nivel de supervisión e intermediados por una red especializada en tiempo real (fieldbus) mediante el control con PLCs, DCSs y microcontroladores, subimos un nivel más a través de otra red especializada (bus de control) mediante la supervisión con sistemas como los SCADA. A partir de ahí, los sistemas, se parecen más a los sistemas de información de otros campos como los MES (Manufacturing Execution System) y los registros activos y en el último nivel se encuentran los ERP (Enterprise Resource Planning) y también redes más comunes como ethernet /wifi (Gavilán, 2019).

Figura 1.

Ejemplo estructural de una Pirámide CIM en un entorno industrial



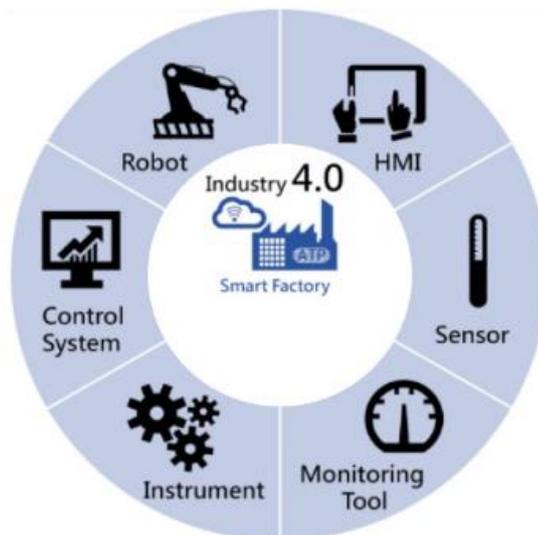
Nota. Tomado de (Gavilán, 2019)

2.2.8 Tecnología Industrial 4.0

En el momento que se habla de industria 4.0, se tocan varios puntos diversos, ya que es un concepto bastante amplio, pero si se habla de tecnología industrial se realiza una segmentación del tema a los equipos o sistemas que se han de utilizar para cumplir con los denominados pilares de la industria 4.0, de los cuales, se puede mencionar:

Figura 2.

Componentes de una estructura industrial 4.0



2.2.8.1 Análisis y simulación de datos (Big Data)

Se emplea soluciones de hardware y software que permite recopilar, almacenar y organizar el acceso a conjuntos de una gran cantidad de datos, donde los mecanismos tradicionales de procesamiento de datos son deficientes. Big Data Industrial propone metodologías y tecnologías para el procesado y análisis en tiempo real de fuente de datos masivas (Rozo , 2020). Mediante el cruce de datos históricos y actuales, softwares con algoritmos basados en la inteligencia artificial y en el aprendizaje automático pueden detectar patrones de comportamiento (lantek, s.f.).

Big Data se describe generalmente en 5 dimensiones que lo caracterizan, denominadas las 5 V de Big Data como se indica en la Figura 3.

Figura 3.

Las 5 V de Big Data



Nota. Tomado de (Rozo , 2020)

A continuación, se describe cada una de las 5 dimensiones:

- Volumen: mucha información, con dificultad de ser procesada por métodos tradicionales.
- Variabilidad: se refiere a datos que están en continuo cambio, por lo que se necesitan algoritmos sofisticados que entiendan el contexto y decodifiquen el significado preciso de datos.
- Veracidad: los datos que se recopilan deben ser válidos ya que pueden estar incompletos o incorrectos.
- Velocidad: los datos se generan y almacenan a una rapidez sin límites.
- Variedad: los datos se obtienen de diversas herramientas, plataformas, dispositivos y fuentes, y pueden estar estructurados o no estructurados.

2.2.8.2 Internet de las cosas (IOT)

Se trata de escenarios en los que la conectividad a la red y la capacidad de computación se extienden a objetos, sensores y elementos cotidianos que no se consideran ordenadores, es decir, existe una interacción entre el mundo físico y biológico con los sistemas cibernéticos, lo que permite a estos dispositivos intercambiar, consumir y generar datos con una intervención humana mínima (Rozo , 2020).

La arquitectura para una solución IOT está compuesta por 5 capas las cuales se describen a continuación:

- 1.- Capa de percepción: se encarga de obtener las características y dimensiones de los objetos (temperatura, humedad, etc.) a partir de sensores y transformar la

información en señales digitales para su difusión a través de la red.

- 2.- Capa de red: se encarga de emitir la información obtenida en la capa de percepción al centro de procesamiento mediante redes como 3G, 4G, Wifi y otras.
- 3.- Capa de procesamiento: donde se analiza, procesa y reúne una cantidad enorme de datos que llegan desde la capa de red, las aplicaciones que emplea esta capa son base de datos, cloud computing, procesamiento inteligente y masivo de datos.
- 4.- Capa de aplicación: es la responsable de generar las aplicaciones según el caso o industria en particular.
- 5.- Capa de negocio: es la encargada del IoT, donde se encuentran el manejo de las aplicaciones y el negocio, la seguridad de los usuarios y la búsqueda del modelo de negocio (Rozo , 2020).

2.2.8.3 Robótica 4.0 (Cobots)

Se trata de implementar elementos tecnológicos adaptativos, que sean capaces de trabajar de forma conjunta con otras máquinas y personal, de manera totalmente autónoma, segura y fiable. No sólo se refiere a maquinaria de automatización, sino a robots colaborativos inteligentes, capaces de procesar la información del entorno y tomar decisiones en base a ella (EDS, 2020).

2.2.8.4 Cloud computing

Según el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología NIST define el cloud computing como “La computación en la nube es un modelo para permitir el acceso ubicuo, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden aprovisionarse y liberarse rápidamente con un mínimo esfuerzo de administración o interacción con los proveedores de servicios”

2.2.9 Redes de Comunicación industrial

En el ámbito de la automatización de procesos industriales, las redes de comunicación industrial establecidas entre los dispositivos que se encargan del control de estos sistemas permiten el adecuado funcionamiento, supervisión y control de estos procesos. Además, al estar en un entorno interconectado en el que la máquina industrial con posibilidades de comunicación puede funcionar de forma independiente o con una mínima intervención humana (SICMA21, 2021).

2.2.9.1 Tipos de protocolo en comunicaciones industriales

Las comunicaciones entre dispositivos se efectúan mediante el uso de diversos protocolos de comunicaciones industriales, que son un grupo de reglas que facilitan la transferencia e intercambio de datos entre los dispositivos a comunicar (SICMA21, 2021). Algunos de los protocolos más empleados en el ámbito industrial son:

- Modbus RTU: Desarrollada por Modicon, funciona en una red RS-485
- Ethernet TCP/IP
- Profinet: es un estándar similar a Ethernet para la automatización, que se centra en la integración de procesos e interfaces para la conexión en red en todas las

áreas de proceso. Esta red se caracteriza por su flexibilidad y por su capacidad para personalizar máquinas y procesos en el centro de producción.

- Profibus: es uno de los FieldBus más reconocidos en la industria de la automatización por su versatilidad de uso.
- As-i: se centra en la conexión de sensores con un sistema de bus muy potente y eficaz.

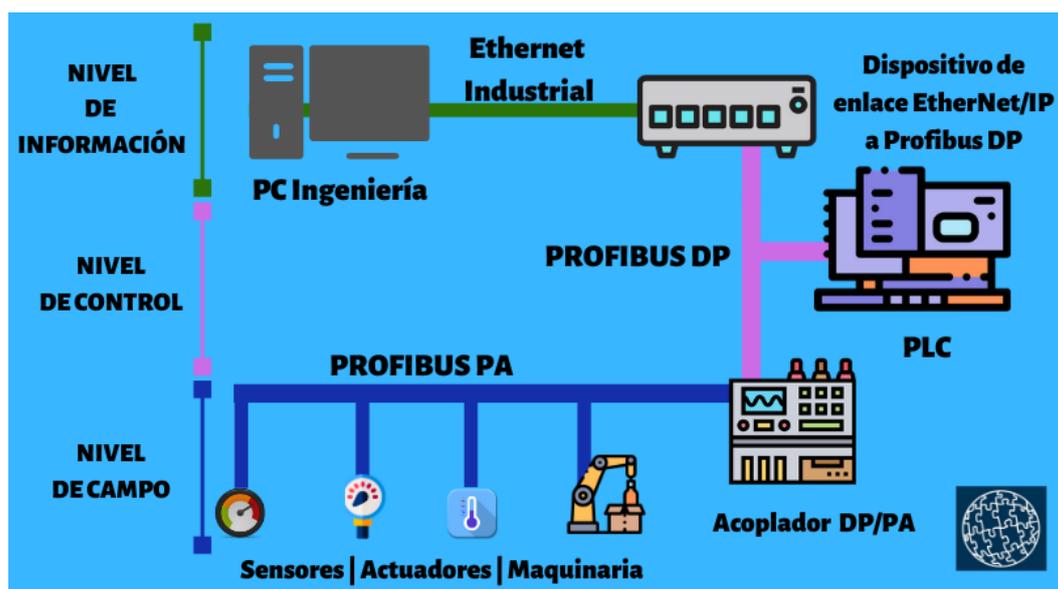
Modbus es posiblemente el protocolo de comunicación industrial más común, pero su desempeño es limitado, por lo tanto, Ethernet ha resultado ser el estándar dominante para la capa física de múltiples protocolos industriales tales como: Ethernet/IP, Ethernet TCP/IP, Modbus TCP/IP y Profinet, mediante estos protocolos es posible conectar de forma sencilla diversos dispositivos como PLC, HMI, E/S de campo y bancos de válvulas (SICMA21, 2021).

2.2.9.2 Niveles de comunicación en una red industrial

Los sistemas de redes de comunicaciones industriales se agrupan en distintos niveles en virtud de su funcionalidad, como se muestra en la Figura 4:

Figura 4.

Arquitectura básica de las redes de comunicación industrial



Nota. Tomado de (SICMA21, 2021)

2.2.9.2.1 Redes a nivel de campo

Este nivel incluye dispositivos dispersos como sensores y actuadores, módulos de E/S y unidades de acondicionamiento de máquinas que se conectan con los sistemas de automatización a partir de un sistema de comunicación en tiempo real.

La comunicación de datos se basa en un ciclo de bus corto, cuya durabilidad real depende de la aplicación y oscila entre una décima de segundo. Para el adecuado control de los procesos, las señales de control deben transmitirse en cuestión de milisegundos, de acuerdo con estos requisitos Profibus DP y Profinet IO se emplean tanto para la automatización de plantas como la automatización de procesos (SICMA21, 2021).

2.2.9.2.2 Redes a nivel de control

A nivel de planta, los controles programables (PLC) se comunican entre sí y con los sistemas informáticos de la oficina técnica utilizando estándares como Ethernet TCP/IP. En el nivel de control se sitúan todos los sistemas informáticos de automatización que controlan el proceso. Los controladores están conectados a sensores/actuadores a nivel de campo y cada uno controla una parte del sistema (SICMA21, 2021).

2.2.9.2.3 Redes a nivel de información

El controlador de nivel de planta recopila información de gestión de los niveles de área y gestiona todo el sistema de automatización a través del sistema MES y ERP (SICMA21, 2021).

2.2.10 Hardware

2.2.10.1 PLC

Los autores del libro (Mandado et al., 2009) “Autómatas programables y Sistemas de automatización”, explican que los autómatas programables o simplemente PLC (Controlador lógico programable), estos son los encargados de controlar los procesos como el riego automático de un jardín tanto como sistemas complejos de fabricación, partiendo de una programación en la que se establecen los lineamientos de funcionamiento para que frente a estas entradas se accionen subprocesos o mecanismos a través de las salidas del PLC que cumplan con el cometido principal de la programación.

2.2.10.2 Fuente de alimentación AC/DC

La fuente de alimentación AC/DC separa la salida de tensión alterna de la salida de tensión continua. Ambas salidas de la fuente de alimentación se ajustan de forma sincronizada y continua. La pantalla de la fuente de alimentación AC/DC muestra la tensión aplicada medida y la corriente de flujo en las salidas (Cervera, 2020).

2.2.10.3 Breaker

Es un aparato capaz de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando ocurren fallas. Un breaker (interruptor de circuito) tiene como función principal proveer protección a equipos eléctricos y cableado (Alburqueque, 2021).

2.2.10.4 Relé de Estado Sólido

Este tipo de relés es usado generalmente para aplicaciones donde se requiere un uso continuo de los contactos y una rápida respuesta a la conmutación. Además, un relé de estado sólido puede conmutar altos amperajes; en el caso del relé electromecánico destruirían en poco tiempo los contactos (Fernández, 2022).

2.2.10.5 Variador de Frecuencia

Un variador de frecuencia es un regulador industrial que se localiza entre el alimentador de energía y el motor, la energía pasa por este variador y regula la energía que ingresa antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento que se ha elegido utilizar (Piñón, 2019).

2.2.10.6 Motor Trifásico

El motor W50 o trifásico ofrece rendimiento performance y cumple los más rigurosos criterios de eficiencia y seguridad. Su diseño fue desarrollado por medio de una serie de herramientas informáticas sofisticadas, como programas de análisis estructural y electromagnético y programas de optimización de proyectos eléctricos. También fue ensayado y evaluado en las más diferentes condiciones de trabajo. Su carcasa garantiza una amplia resistencia mecánica del motor. Sus aletas ofrecen una gran capacidad de disipación de calor, lo que resulta en mayor vida útil y alta eficiencia energética (Weg, 2021).

2.2.10.7 Sensor de Humedad y Temperatura

Un circuito electrónico puede comunicarse con el mundo real para adaptarse a las diversas variables de un entorno, esta interacción no sería posible sin la existencia de los sensores y actuadores. Los sensores pueden ser utilizados para medir diversos rangos de energías, así como movimiento de señales eléctricas, radiación térmica o magnética, y más. Los actuadores se utilizan para interrumpir voltajes o corrientes. Existen una gran variedad de dispositivos estos pueden ser analógicos y digitales, el tipo de entrada o salida del transductor depende en su gran mayoría por el tipo de señal que desee procesar, dicha señal puede ser censada o controlada, además se pueda definir un sensor para que convierta una variable física en otra (Lascano, 2017).

2.2.10.8 Raspberry pi

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida de bajo costo, este ordenador fue creado en Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi y por Ramón Santamaría "RAYSAN", fue desarrollado con el objetivo de estimular la enseñanza de ciencias de la computación e informática en las escuelas de la localidad.

Es una maravilla en miniatura, guarda en su interior un importante poder de cómputo en un tamaño no más grande que el de una tarjeta de crédito. Es capaz de realizar cosas extraordinarias, puede ser utilizada en proyectos de electrónica, y para muchas de las cosas que hace el PC de escritorio, como hojas de cálculo, procesadores de texto y juegos. También reproduce vídeo de alta definición (Martillo & Zambrano, 2015).

2.2.11 Software

2.2.11.1 Tia Portal V16

TIA Portal V16 le permite trabajar adecuadamente con el servidor de proyecto de TIA. Puede usar la funcionalidad del servidor de proyecto para trabajar con una ingeniería multiusuario, una puesta en marcha multiusuario y ahora con ingeniería exclusiva (Oinonen, 2022).

El TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) permite un acceso completo a la automatización digitalizada, desde la planeación digital e ingeniería integrada hasta una operación transparente.

2.2.11.2 Kinko DTools

Versiones en cuatro idiomas, chino simple, chino tradicional, inglés y coreano. La configuración admite todas las fuentes instaladas en el sistema informático.

Función de Internet de las cosas, admite la recopilación y el almacenamiento de datos en la nube. VNC Interoperabilidad pantalla a pantalla, pantalla a ordenador, pantalla a terminal de teléfono móvil. Admite el registro de operaciones y otros controles convenientes.

La interfaz guiada, el diseño humanizado, lo que ves es lo que obtienes, se puede iniciar rápidamente (Arellano & Bautista, 2021)

2.2.11.3 Raspberry-Pi (Sistema Operativo)

Raspberry Pi OS (anteriormente llamado Raspbian) es una distribución del sistema operativo GNU/Linux basado en Debian, y por lo tanto libre para la SBC Raspberry Pi, orientado a la enseñanza de informática.

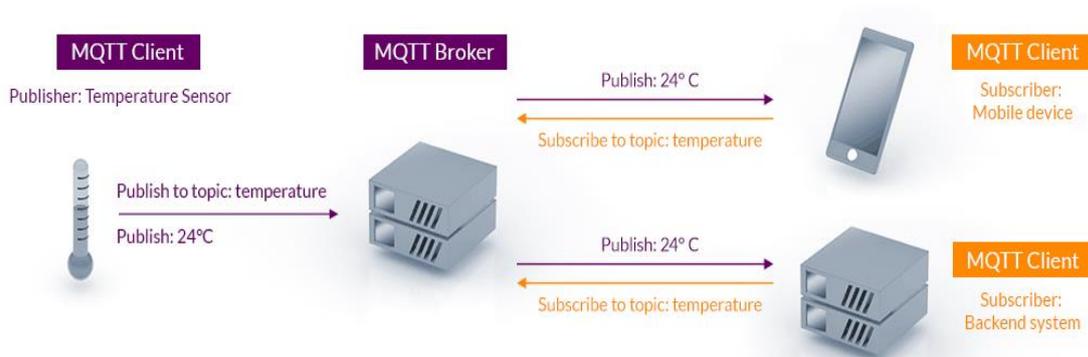
Técnicamente el sistema operativo es un port no oficial de Debian armhf para el procesador CPU de Raspberry Pi, con soporte optimizado para cálculos en coma flotante por hardware, lo que permite dar más rendimiento según qué casos. El port fue necesario al no haber versión Debian armhf para la CPU ARM v6 que contiene el Raspberry Pi. Destaca también el menú "raspi-config" que permite configurar el sistema operativo sin tener que modificar archivos de configuración manualmente. Entre sus funciones, permite expandir la partición Root para que ocupe toda la tarjeta memoria, configurar el teclado, etc. (Fábregas, 2020).

2.2.11.4 Eclipse, Mosquito (MQTT)

Eclipse es una fundación sin fines de lucro que promueve la colaboración e innovación en código libre, sus inicios datan del año 2001 como parte de la empresa IBM que fue respaldado por un consorcio de proveedores de software, uno de los proyectos que ha logrado crear esta empresa es Mosquito, un software de comunicación mediante protocolo MQTT de código abierto, el protocolo en cuestión, es una manera de mensajería estándar de OASIS diseñado para Internet de las cosas, que funciona a base de publicadores y suscriptores, extremadamente ligero, hoy en día se utiliza en una amplia variedad de industrias (Eclipse Mosquito, 2017).

Figura 5.

Eclipse, Mosquito (MQTT)



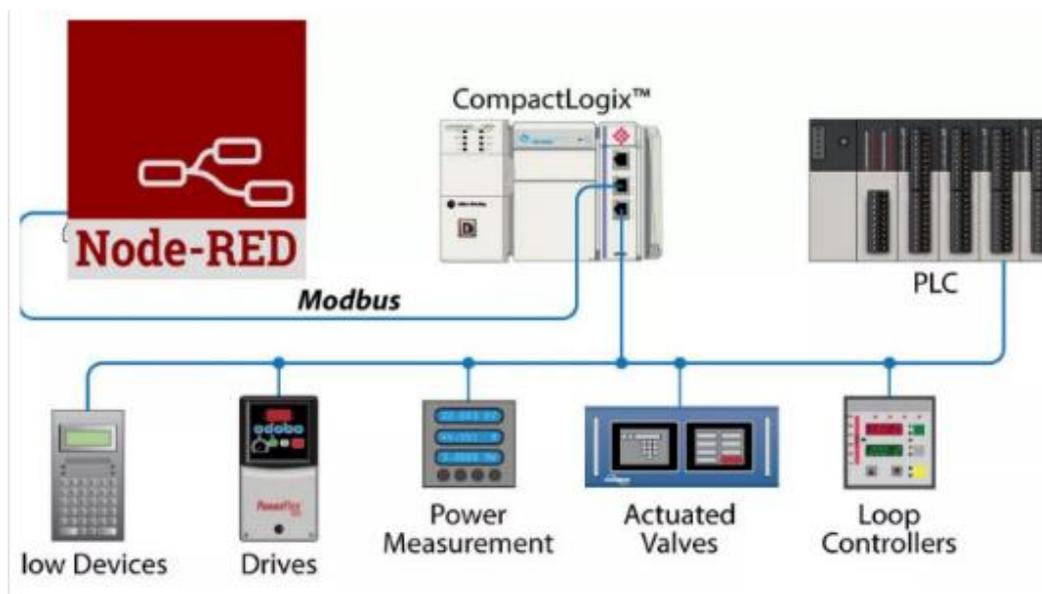
Nota. El grafico representa las aplicaciones del software de comunicación mediante protocolo MQTT, tomado de Eclipse Mosquito (2017).

2.2.11.5 Node Red

Se emplea Node Red por su simplicidad para crear flujos de publicación/ suscripción con tópicos MQTT de los Nodos IoT. Node provee un entorno de ejecución para un determinado lenguaje de programación y un conjunto de librerías básicas, o módulos nativos, a partir de las cuales crear aplicaciones orientadas principalmente a las redes de comunicación, aunque una parte de estas librerías permite interactuar con componentes del sistema operativo a través de funciones que cumplen con el estándar POSIX (Bahmanyar *et al.*, 2022).

Figura 6.

Diagrama de conexión de red con Node-RED



Nota. Tomado de (Jecrespom, 2020)

2.2.12 Términos utilizados

2.2.12.1 IoT (Internet of Things)

El IoT es una red de equipos conectados que se pueden comunicar entre sí y ofrecer datos a los usuarios a través de Internet. Los equipos del IoT se pueden conectar a Internet y cuentan con sensores que les permiten recopilar datos. Un equipo del IoT puede ser útil por sí mismo, pero cuando se utilizan varios juntos, son incluso más valiosos. A medida que más tipos de equipos se pueden conectar a Internet, el IoT crece cada día, incorporando desde maquinaria de fábricas a subestaciones eléctricas pasando por edificios e infraestructuras. Fabricantes, compañías energéticas, ayuntamientos y otras organizaciones usan el IoT (Data, 2021).

2.2.12.2 IIoT (Internet Industrial of Things)

El IIoT es una subcategoría del IoT. El término se refiere a la tecnología del IoT que se utiliza en entornos industriales, concretamente en instalaciones de fabricación. El IIoT es una tecnología clave de la Industria 4.0, la siguiente fase de la revolución industrial. La Industria 4.0 pone el foco en la tecnología inteligente, los datos, la automatización, la

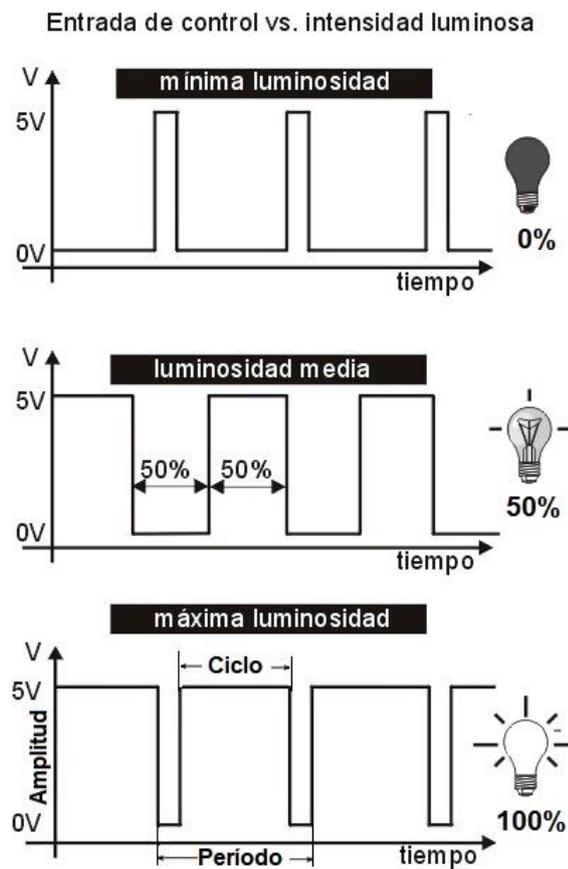
interconectividad, la inteligencia artificial, etc. Estas tecnologías están revolucionando la forma en la que se gestionan las fábricas y organizaciones industriales (Data, 2021)

2.2.12.3 Modulación por ancho de pulso (PWM)

Se usa en inversores DC/AC monofásicos y trifásicos. Se basan en la comparación de una señal de referencia a modular y una señal portadora de forma triangular o diente de sierra; la comparación generará un tren de pulsos de ancho específico que se utilizan en la conmutación del puente inversor (Contreras, 2005).

Figura 7.

Aplicación del sistema PWM a Led de potencia 3w



Nota. Tomado de (Shoptronica, 2020)

CAPÍTULO III. METOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo cuantitativa ya que se recopilará información técnica de prácticas de secado anteriormente desarrolladas con el equipo y compararlas con la información que aportará una base de datos generada en el servidor del equipo a partir de las señales que recibirá el PLC desde un sensor de humedad y temperatura, permitiendo así cumplir con los objetivos planteados en el presente trabajo.

3.2 Diseño de la Investigación

El presente trabajo es una investigación experimental debido a que se manipulan intencionalmente las variables de estudio, mejorando las características técnicas del equipo e instrumentos de control con tecnología industria 4.0 para obtener salidas diferentes y mejoradas en el proceso. Es además un estudio de campo puesto que todas las mediciones se realizan en un mismo lugar y tiempo que en este caso es el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Nacional de Chimborazo.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para el desarrollo de la investigación fue necesario el uso de técnicas e instrumentos de recolección de datos, según el propósito de la presente investigación estos son:

- Adquisición de datos (humedad relativa, temperatura de bulbo seco y tiempo) por parte del equipo mediante el sensor incorporado y recopilados en una base de datos.
- Consulta de diferentes fuentes relacionadas al secador rotativo, su uso, funcionamiento y guías de prácticas en laboratorio, donde detalla (humedad, temperatura y peso).

3.4 Población y Muestra

Se dispondrá de registros experimentales de parámetros técnicos (tiempo de secado y humedad relativa) que entrega el PLC del secador rotativo rediseñado y con datos históricos de funcionamiento del secador rotativo antes de la implementación de la tecnología industrial 4.0. El tipo de muestreo fue aleatorio y se consideró como tamaño de la muestra el 10% del total de datos obtenidos por parte del sensor que estarán almacenados en el servidor.

3.5 Procedimiento

Como primera acción es necesario determinar el estado actual tanto del sistema de control como el hardware, esto se lleva a cabo mediante la observación, y diagnóstico, para lo cual se ha dividido el equipo en distintas secciones.

Tabla 2.

Observaciones detectadas en el secador rotativo

Sección	Observaciones	Diagrama o evidencia
Generador de flujo de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Blower trabaja a un caudal estable con variaciones debido a corrientes parasitas • El caudal es regulable mediante acción mecánica. 	
Cámara de calentamiento	<ul style="list-style-type: none"> • No presenta aislamiento térmico • Resistencia no operativa 	
Tolva de carga de producto	<ul style="list-style-type: none"> • Tolva es pequeña para la cantidad de producto que se puede procesar • No presenta una tapa para evitar pérdida de flujo de aire • Difícil acceso para limpieza del equipo 	
Cámara de secado	<ul style="list-style-type: none"> • La cámara no es ermitica • Existe desperdicio de producto por fallas en el diseño de la cámara • El giro de la cámara es mediante un motor monofásico de velocidad constante 	
Tapa de descarga de producto	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil acceso para limpieza del equipo y extracción del producto 	
Cuadro de Control	<ul style="list-style-type: none"> • Es un control de lógica cableada • El controlador de temperatura actúa sin tomar en cuenta la inercia térmica de la resistencia • El control de temperatura tiene una termocupla en condiciones no operativas 	

3.5.1 Parámetros técnicos de los equipos a reemplazar

De acuerdo con las observaciones del estado actual del equipo a continuación se describen los datos técnicos de los equipos que van a ser cambiados, tomando en cuenta que se busca lograr una mayor flexibilidad en el manejo del equipo, frente a las variables que se desea controlar como: velocidad del flujo de aire, rotación de la cámara de secado y

temperatura mediante modulación de ancho de pulso (PWM) en la activación de la resistencia.

Tabla 3.

Características de Blower actual

Característica	Valor
Marca	RONG LONG
Modelo	VN 25
Voltaje	220 v (1~)
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3750 RPM
Caudal volumétrico	25 m ³ /h

Tabla 4.

Características del Motor de la cámara de secado actual

Característica	Valor
Voltaje	220 v (1~)
Frecuencia	60 Hz
Potencia	1/8 Hp
Revoluciones (Caja de reducción)	55rpm

Tabla 5.

Características de resistencia actual

Característica	Valor
Voltaje(V)	220 v (1~)
Frecuencia (Hz)	60 Hz
Potencia(W)	3000 W

Nota. Los datos presentados en esta tabla fueron obtenidos de la documentación perteneciente a los autores originales del equipo, a razón de que el estado actual de la resistencia no es operativo

3.5.2 Criterios para la selección de componentes

Los componentes que permitirán el cumplimiento de los objetivos del presente estudio se enfocan en la adquisición de datos para posteriormente almacenar en una base de datos que permita desarrollar las evaluaciones estadísticas, así como demostrar el alcance de la tecnología 4.0 en el control a distancia de un equipo, tomando como medio la conectividad a internet.

Los criterios de optimización fueron:

- Reemplazar las partes que se encuentre defectuosas
- Facilitar al operario la utilización del equipo
- Permitir el control de las variables en tiempo real de manera local y a distancia (Temperatura, Flujo de aire y Rotación de la cámara de secado).

3.5.2.1 Blower

Las características principales que presenta el equipo en cuestión son, motor trifásico su funcionamiento es 100% libre de aceite, sin vibración y puede trabajar hasta con temperaturas de 180°C.

Tabla 6.

Características del Blower

Característica	Valor
Modelo	GB -550S
Voltaje	220/440 V (~3)
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	3400 RPM
Caudal volumétrico	132 m ³ /h
Potencia	550 W (0.75Hp)
Presión	24 KPa
Vacum	-19 KPa
Corriente	3.01 A / 1.5A

3.5.2.2 Motor (rotación del cilindro)

El motor presente en la siguiente sección esta incorporado con un reductor.

Tabla 7.

Características del motor reductor

Característica	Valor
Modelo	(WEG)W22 High Eff.
Eficiencia eléctrica	(IE2) - 68%
Grado de protección	IP55
Voltaje(V)	220 v (3~)
Frecuencia (Hz)	60 Hz
Potencia(W)	0.18 KW (0.25 Hp)
Revoluciones (RPM)	1705-1720
Caja de reducción (ACORN)	60 – 1

3.5.2.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

Para evaluar las alternativas de implementación de la tecnología industrial 4.0, se requiere un controlador programable que permita escribir, leer variables analógicas, así como tener una respuesta rápida en las salidas por lo que se requirió un PLC de alimentación de corriente continua, que las entradas y salidas sean de igual manera de corriente continua.

Figura 8.

Controlador lógico programable (PLC)



Nota. En la Figura 5 se muestra el correcto acoplamiento del módulo de salidas analógicas al PLC. Tomado de (SIEMENS, 2022)

Tabla 8.
Características del PLC y módulo de salidas analógica

Característica	Valor
Modelo	1214C (214-1AG40-0XB0)
Modo de operación (Alimentación/entradas/Salida)	DC/DC/DC
Voltaje	24v DC
Entradas Analógicas	2 (0 a 10 V)
Salidas Analógicas	0
Entradas Digitales	14
Salidas Digitales	10
Resolución por canal (entrada analógica)	10 bits
Modulo adicional	
Modelo	(232-4HB30-0XB0)
Voltaje	24v DC
Entradas Analógicas	0
Salidas Analógicas	2 (-10 a 10 V) ó (0 a 20 mA)
Entradas Digitales	0
Salidas Digitales	0
Resolución por canal (salida analógica)	V: 14bits ó A: 13bits

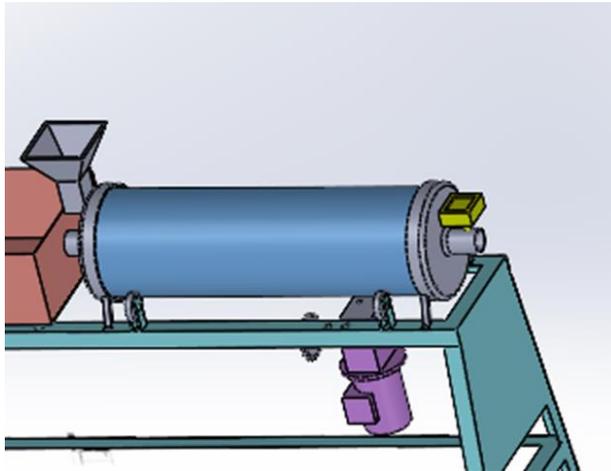
Nota. LA versión del software del PLC tiene que ser la V4.4, ya que admite el uso del paquete para comunicación MQTT, en versiones inferiores no hay soporte para dicha comunicación. Tomado de (SIEMENS, 2022)

3.5.2.4 Sensor de Humedad Relativa y Temperatura (THD)

El sensor escogido es el que cuenta con un display integrado que permite verificar la humedad relativa y temperatura de bulbo seco el rango de temperatura es (-19,8 a 60°C) mientras que la humedad es de 0% a 99.9%, la salida de los valores es de 4 – 20 mA CD, la ubicación del sensor es justamente en el terminal de salida tubular, debido a que en sus características destaca ser un sensor de conductos.

Figura 9.

Posición de instalación del sensor



Nota. Diseño realizado del equipo en Solid Works. Numero de sensores: 1

3.5.2.5 Fuente de Energía DC

La fuente fue seleccionada en base a los requerimientos del PLC y de el sensor THD que se utilizara, requiriendo una fuente que tenga 24v de salida y que soporte 5 amperes de consumo para evitar problemas de desabastecimiento de corriente en el sistema.

Figura 10.

Fuente de energía DC



Nota. Tomado de (SIEMENS, 2022)

3.5.2.6 Servidor / Bróker

Para determinar que placa utilizar en este sistema se priorizó costo, disponibilidad en el mercado y características técnicas como la conectividad a internet, las opciones son reducidas debido a la disponibilidad del mercado, teniendo como única opción a la marca Raspberry y entre todas sus opciones se optó por Raspberry pi 2 modelo “B”, ya que el costo es reducido y para sacar el mayor provecho a su procesador como sistema operativo se decidió instalar “Raspios-bullseye-lite”.

Figura 11.
Placa Raspberry pi 2b

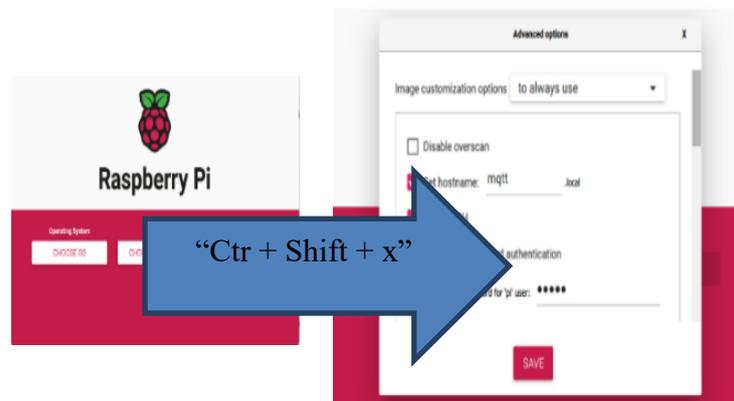


Nota. En esta placa se instala tanto el sistema operativo como el bróker, que permite dar el servicio a la red de comunicación MQTT. Tomado de (RaspberryPi, 2015)

3.5.2.6.1 Sistema operativo

El sistema operativo se debe instalar en un SD mediante un software de la misma casa comercial “Raspberry pi Imager”, al igual que la imagen del sistema operativo, en la configuración es muy importante configurar la comunicación “ssh”, para poder trabajar de manera remota la configuración de la Raspberry, para ello hay que presionar “Ctr + Shift + x”, en la pantalla de inicio del programa como se muestra en la Figura 12.

Figura 12.
Pantalla de instalación del Sistema operativo RaspBerry Pi OS

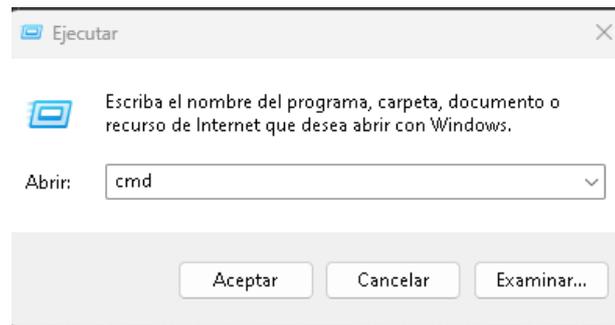


Donde se debe establecer la información necesaria para el acceso de manera remota a la tarjeta Raspberry, una vez instalado el sistema operativo y configurado basta con insertar la SD en la Raspberry y muy importante conectar a la red mediante su puerto RJ45.

3.5.2.6.2 Comunicación con Tarjeta Raspberry pi 2B

Para comenzar con la instalación de Node red y Mosquito (MQTT), es esencial saber que estamos en la misma red tanto el ordenador que ocuparemos para la configuración y la raspberry pi. En el ordenador comenzaremos abriendo el símbolo del sistema para iniciar la comunicación.

1. Presionar (Win+R)
2. Escribir “cmd” y presionar “Aceptar”



3. En la pantalla escribir el siguiente comando “ssh pi@mqtt.local” y presionar enter.
 - Es importante recordar que “pi” es el usuario por defecto de la tarjeta raspberry y su contraseña es la que hayamos ingresado anterior mente en la configuración
 - “mqtt.local” es la dirección que hemos establecido por defecto a la raspberry
4. En este momento nos aparecerá pi@mqtt en la línea de comando como se muestra a continuación.



lo que significa que estamos dentro de la raspberry y se pueden instalar los programas necesarios con los siguientes comandos:

- sudo apt-get update
- sudo apt-get upgrade
- sudo apt-get install node-red
- sudo apt-get install mosquitto
- sudo apt-get install mosquitto-client

En el anexo 1 y 2 se tiene una guía más detallada de la instalación y configuración requerida en raspberry pi.

3.5.3 Conformación de Tableros de control

En este proyecto se requirió 2 gabinetes para poder aportar flexibilidad al laboratorio, ya que el Blower se pretende utilizarlo como potenciador en otros procesos, razón por la cual tiene 2 modos de operación en manual serviría de aporte para otros procesos, y el modo automático permitirá el control desde el PLC.

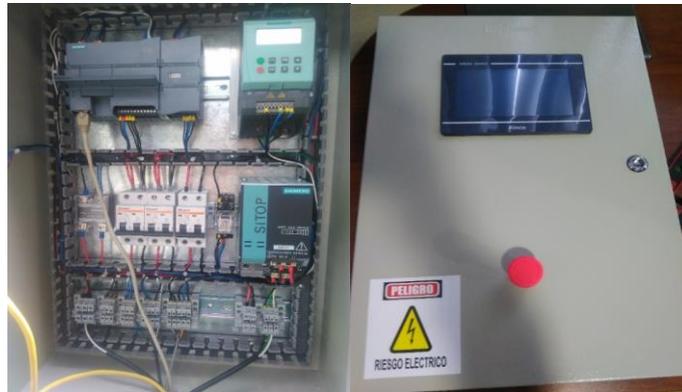
El primer gabinete está compuesto de:

- PLC y Modulo de salidas analógicas
- Fuente de alimentación
- 3 Brakers
- Relé universal de 8 pines
- Relé de estado solido
- Variador de frecuencia
- Borneras
- HMI

- Raspberry Pi
- Botón de paro de emergencia

Figura 13.

Tablero principal del equipo



El segundo modulo tiene un selector que permite alternar los modos de operación, entre manual y automático y en su interior está compuesto de:

- Variador de frecuencia
- Barker
- Borneras
- Selector
- Luz Testigo

Figura 14.

Tablero secundario del equipo



3.5.4 Modificaciones en la Estructura del secador

La estructura del equipo requiere modificaciones debido a la falta de espacio para la incorporación de los 2 tableros de control por lo que a continuación se presenta un plano esquemático comparativo elaborado en “SolidWorks” del antes y después de las modificaciones realizadas en el equipo.

Se puede evidenciar en la figura siguiente que se ha aumentado una estructura de soporte para los tableros la misma que puede ser desacoplada para evitar problemas en su transporte o movilidad, también se puede detallar que en la estructura se incorporó las modificaciones para el anclaje de Blower y del motor que permite la rotación de la cabina de sacado, es importante destacar que en la estructura base del secador se suprimió el anterior tablero de control que se encontraba debajo del Blower.

En la figura 16 se puede apreciar distintos usuarios, y cada uno tiene distintos permisos de acceso debido a los softwares que disponen y a la red en la que se encuentran por lo que a continuación se detalla cada uno de los casos Tabla 9.

Tabla 9.

Descripción de permisos de accesos de usuarios

Usuario	Red	Software	Permiso de acceso
1-Laptop	Red institucional	MQTT-Explore KinkoDTools	Control de HMI Comunicación MQTT Acceso a servidor y base de datos mediante navegador Web
2-Celular	Red estudiantes	MyMQTT (APP)	Comunicación MQTT Acceso a servidor y base de datos mediante navegador Web
3-Ordenador	Red externa	Ningún software	Ningún acceso
4-Ordenador	Red externa Red VPN	FortyClient VPN KinkoDTools MQTT-Explorer	Control de HMI Comunicación MQTT Acceso a servidor y base de datos mediante navegador Web
5- Celular	Red externa	Ningún Software	Ningún acceso
6-Tablet	Red externa Red VPN	FortyClient APP	Acceso a servidor y base de datos mediante navegador Web
7-Laptop	Red estudiantes	Ningún Software	Acceso a servidor y base de datos mediante navegador Web

Nota. La comunicación MQTT tanto para suscribirse como para publicar es necesario un usuario y contraseña configurados adecuadamente.

Configuración de PLC

En esta sección se detalla cómo se llegó a la configuración del PLC mediante el software “TIA Portal V16”, partiendo desde la identificación de dispositivos, que previamente fueron cableados e instalados en sus respectivos gabinetes.

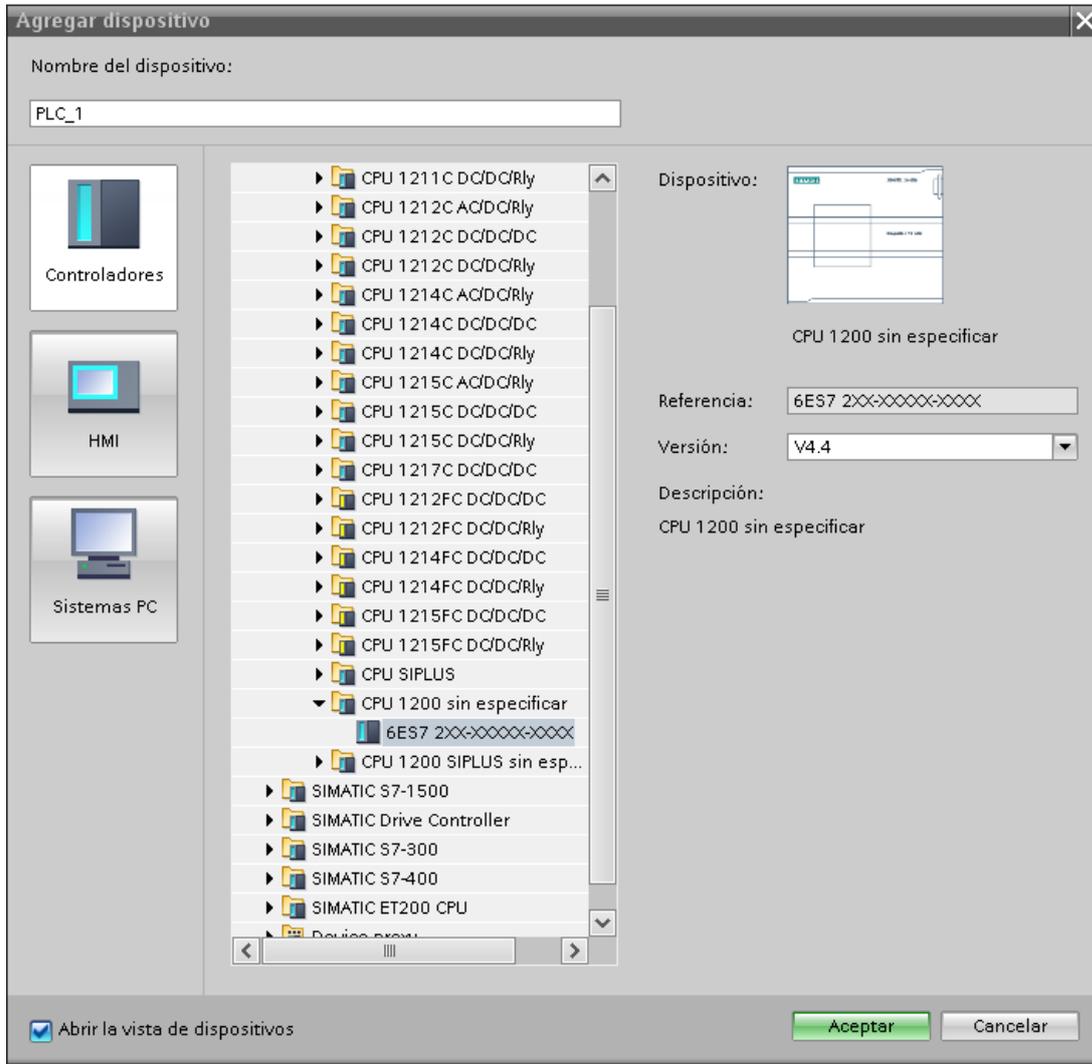
3.5.4.1.1 Detectar dispositivos en la red y cargar la configuración

La programación del PLC parte de encontrar modelo y versión del equipo que disponemos, par a ello debemos verificar que esté conectado físicamente a la red, después en el programa “TIA Portal V16”, creamos un nuevo proyecto y nos dirigimos a “vista de proyecto”, en la parte inferior izquierda de la pantalla, enseguida buscamos la opción “agregar dispositivo” en la ventana de la izquierda en la siguiente Figura 17 se muestra la pantalla que nos aparecerá en la misma tenemos que buscar el modelo del dispositivo que disponemos , en caso de no saber el programa permite detectar el dispositivo , para eso nos

dirigimos a la opción CPU sin especificar, sin embargo es importante seleccionar la versión adecuada porque de lo contrario no encontrara el equipo.

Figura 17.

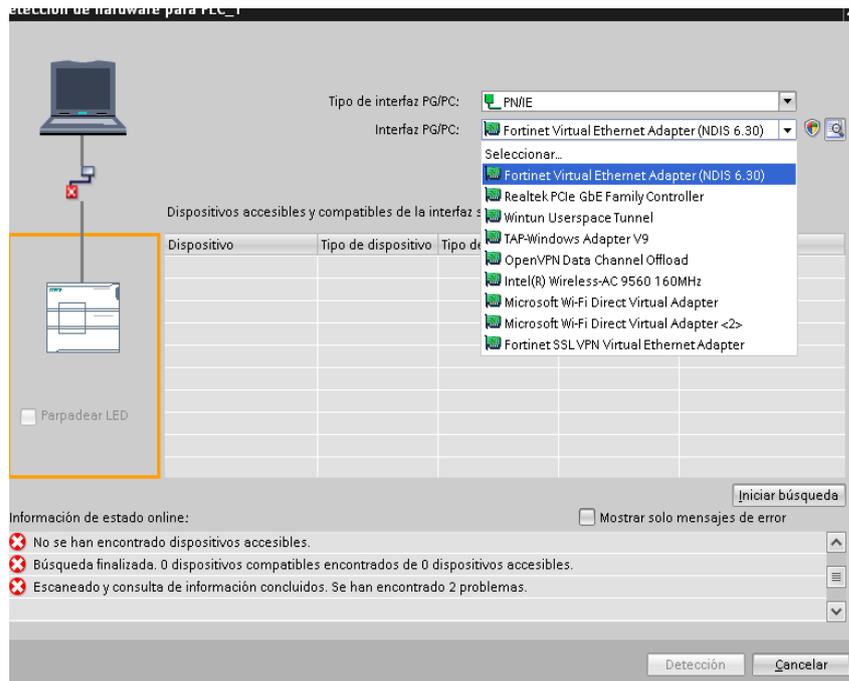
Ventana del software TIA Portal V16 para agregar dispositivos



Posteriormente se abrirá la ventana de dispositivos en la cual aparece un cuadro de dialogo que permite 2 opciones para identificar el hardware conectado, la primera es utilizando un catálogo y la segunda es una manera de detectar automáticamente, para esta situación ocuparemos la segunda opción y se desplegara la siguiente pantalla Figura 18.

Figura 18.

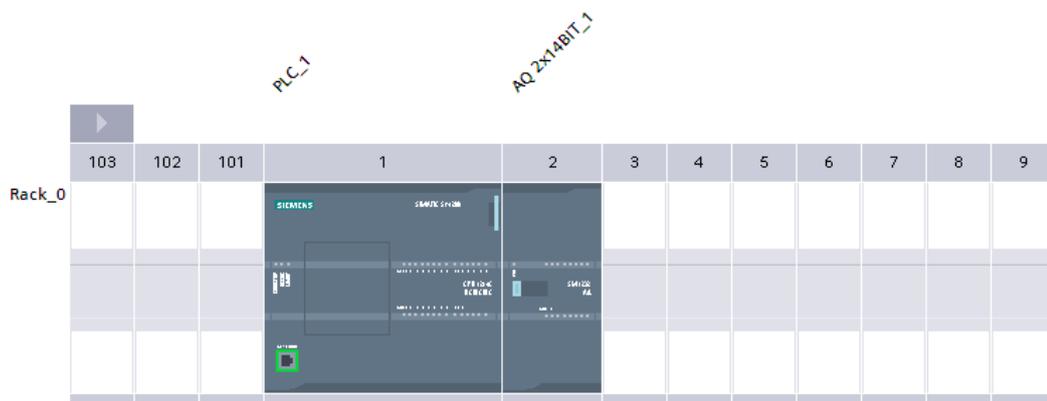
Ventana del software TIA Portal V16 para detectar dispositivos



La que permite escanear la red en busca de dispositivos, pero antes de iniciar la búsqueda es muy importante determinar que tarjeta de red es la que estamos utilizando para la comunicación con el equipo, si no existe complicaciones en la red inmediatamente aparecerá todos los dispositivos accesibles en la red, en este caso debería aparecer únicamente el PLC del secador, si todo ha salido bien aparecerá el PLC y los módulos adicionales que estén conectados.

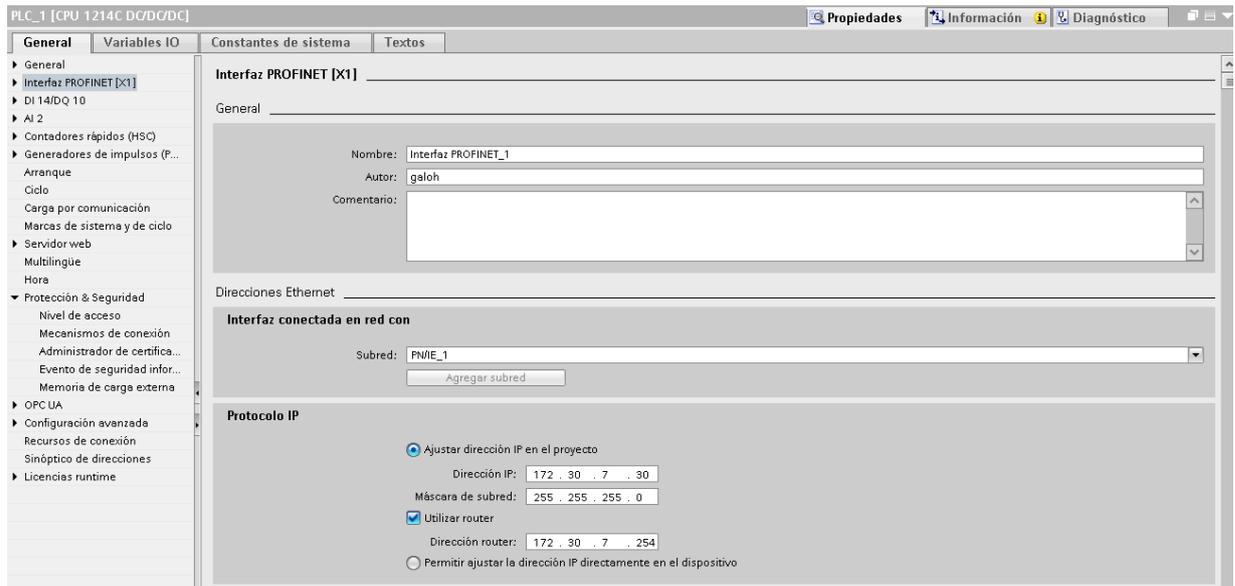
Figura 19.

PLC y módulo detectado correctamente en el software TIA Portal V16

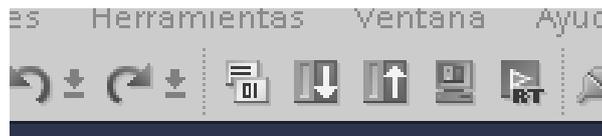


El momento de seleccionar el PLC en la parte inferior aparece una pestaña “Propiedades” en la que es importante buscar la opción “Interfaz PROFINET”, aquí establecemos la IP fija y en el apartado de “Protección y seguridad”, es importante activar la opción “Put y Get”, esto nos permitirá modificar las memorias desde el HMI.

Figura 20.
Pestaña de propiedades del PLC



Después de realizar las configuraciones es importante seleccionar el PLC y dar en la opción de compilar y cargar que se encuentra en la barra de herramientas.



3.5.4.1.2 Controles y configuración de comunicación MQTT

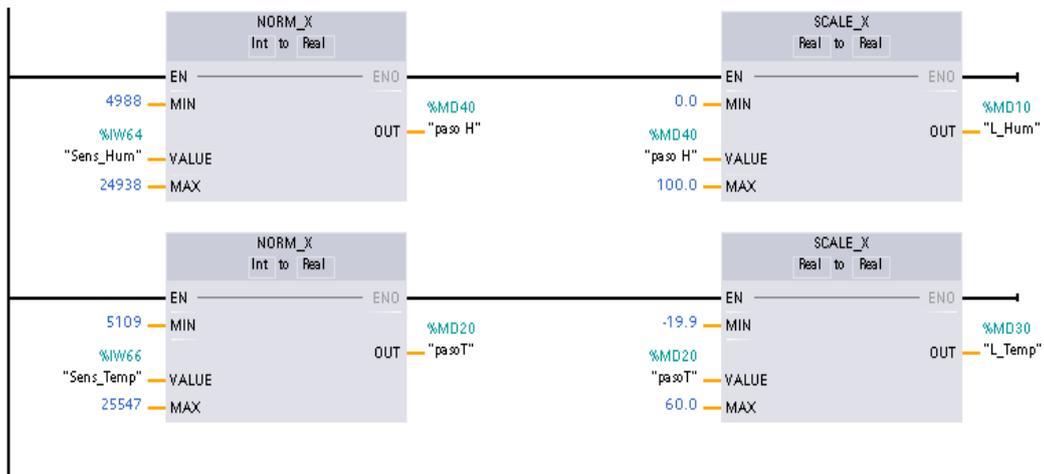
Para comenzar con la programación, nos dirigimos al navegador en la carpeta “Bloques de programa” se habrá generado automáticamente el bloque principal “Main[OB1]”.

Figura 21.

Bloque principal Main[OB1]

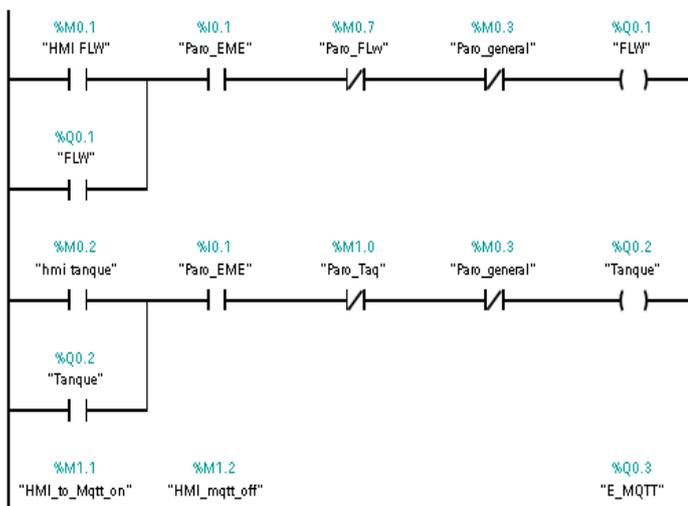
Segmento 1: Acondicionamiento de Variables Adquiridas

Lectura de variables de entrada y acondicionamiento para impresion en HMI



Segmento 2: Control HMI

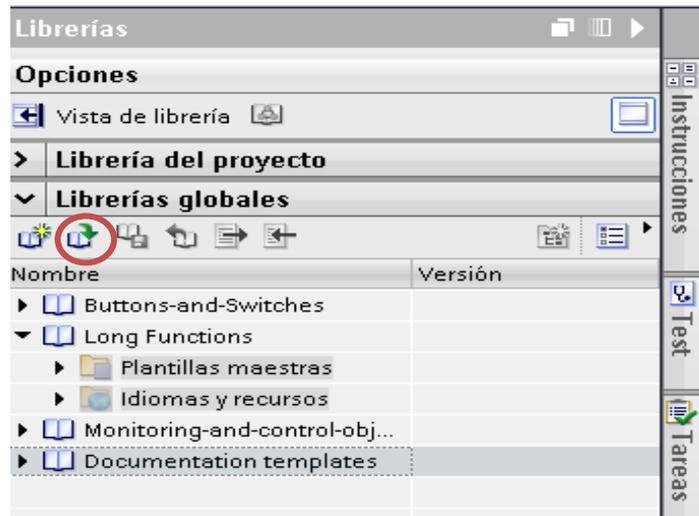
Logica de control a partir de los botones que modifican las memorias desde el HMI



Para la comunicación MQTT entre el PLC y El servidor se necesita la librería “Libraries_Comm_Controller”, que se encuentra disponible en la página de siemens junto con manuales y ejemplos, para importar la librería descargada tenemos que dirigirnos a la ventana que se encuentra a la derecha y dar clic en el icono que se muestra a continuación, en la ventana que aparece se selecciona la librería descargada.

Figura 22.

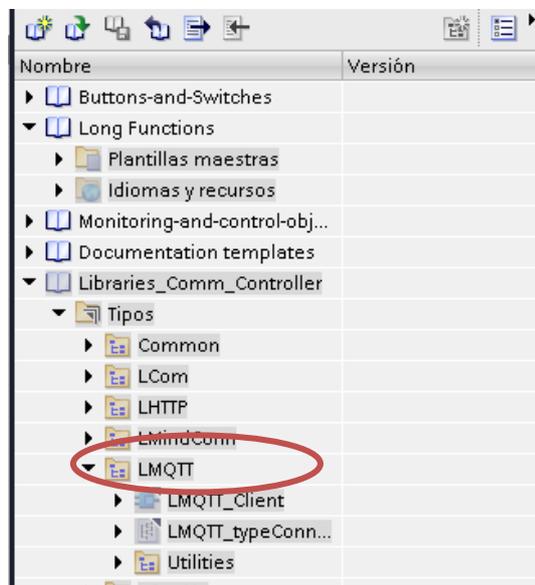
Pestaña de librerías del software TIA Portal V16



Ahora podemos notar que en la lista de librerías aparece lo que anteriormente agregamos, en este listado hay que buscar “LMQTT_Client”, arrastramos hasta una línea de código y veremos que aparece un bloque con algunos datos por configurar.

Figura 23.

Librería de comunicación MQTT



Para poder hacer que funcione es importante crear una base de datos que almacene todas las características que solicita el bloque de comunicación MQTT, en esta base de datos se almacenara información como IP del Broker, usuario, contraseña ,certificados(opcional) y se debe destinar un espacio para el almacenamiento del mensaje tanto de envío como de recepción , un segmento aconsejable es crear una estructura que contenga la información de control , que no son más que variables tipo booleanas para activar , publicar , Suscribirse o

des suscribirse de algún tema , en la figura 21 siguiente se muestra la estructura recomendada.

Figura 24.

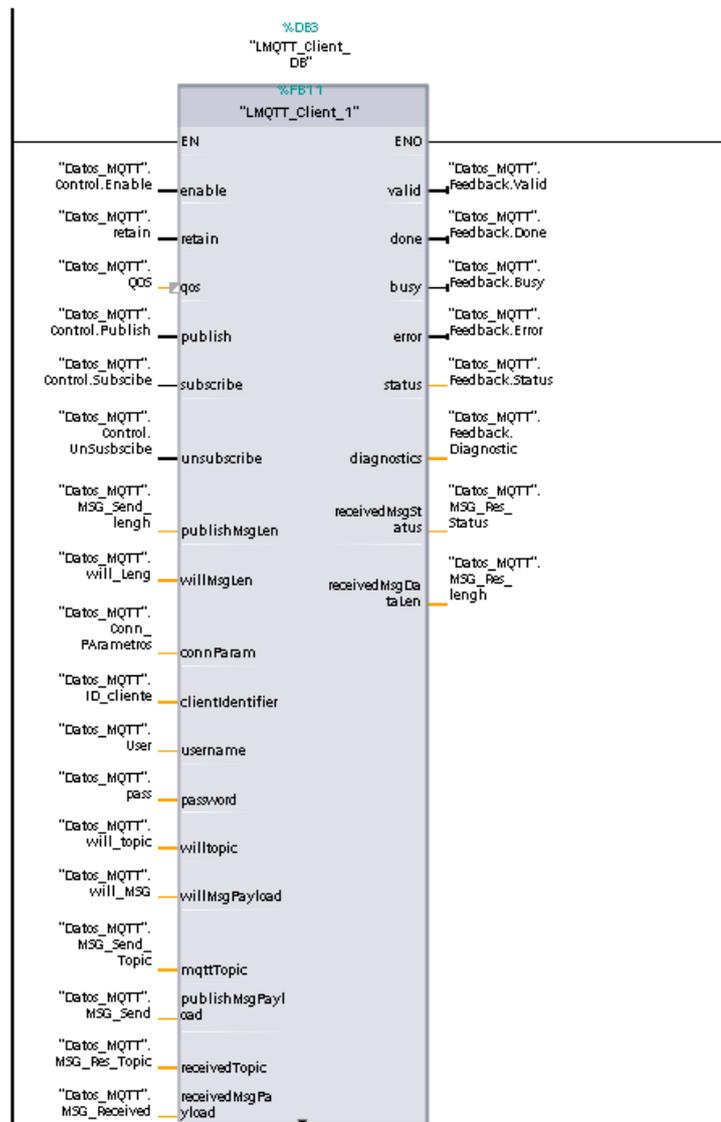
Base de datos con variables de comunicación MQTT

	Nombre	Tipo de datos	Valor de arran...	Remanen...
1	Static			<input type="checkbox"/>
2	Conn_PArámetros	"LMQTT_typeConnP...		<input type="checkbox"/>
3	hwId	HW_ANY	0	<input type="checkbox"/>
4	connId	CONN_OUC	10	<input type="checkbox"/>
5	brokerAddress	Struct		<input type="checkbox"/>
6	tls	Struct		<input type="checkbox"/>
7	keepAlive	UInt	0	<input type="checkbox"/>
8	ID_cliente	WString[20]	WSTRING#'Clie...	<input type="checkbox"/>
9	pass	WString[20]	WSTRING#'una...	<input type="checkbox"/>
10	User	WString[20]	WSTRING#'PLCs...	<input type="checkbox"/>
11	will_topic	WString[20]	WSTRING#'willt...	<input type="checkbox"/>
12	will_MSG	Array[0..99] of Byte		<input type="checkbox"/>
13	will_Leng	UInt	10	<input type="checkbox"/>
14	QOS	UInt	0	<input type="checkbox"/>
15	retain	Bool	false	<input type="checkbox"/>
16	MSG_Send	Array[0..99] of Byte		<input type="checkbox"/>
17	MSG_Send_lengh	UDInt	0	<input type="checkbox"/>
18	MSG_Received	Array[0..99] of Byte		<input type="checkbox"/>
19	MSG_Res_lengh	UDInt	0	<input type="checkbox"/>
20	MSG_Res_Topic	WString[100]	WSTRING#''	<input type="checkbox"/>
21	MSG_Res_Status	USInt	0	<input type="checkbox"/>
22	Control	Struct		<input type="checkbox"/>
23	Enable	Bool	false	<input type="checkbox"/>
24	Publish	Bool	false	<input type="checkbox"/>
25	Subscribe	Bool	false	<input type="checkbox"/>
26	UnSusbscibe	Bool	false	<input type="checkbox"/>
27	Feedback	Struct		<input type="checkbox"/>
28	MSG_Send_Topic	WString[100]	WSTRING#'Lab/...	<input type="checkbox"/>

Cada una de estas variables tiene que estar enlazada a una entrada o salida el bloque que anterior mente se agregó, como se indica en la siguiente figura 25.

Figura 25.

Bloque de comunicación MQTT



Es importante destacar que la programación no solo abarca el bloque de comunicación MQTT y la base de datos, malla de eso se encuentra la adquisición de datos y conversión apropiada, codificación de datos para el envío de mensajes, el control mediante el HMI y acondicionamiento de variables para poder enviar al módulo de salidas analógicas, para lo cual en la siguiente figura se muestra todas las variables que han intervenido en la programación.

Figura 26.

Variables de PLC utilizadas en la programación

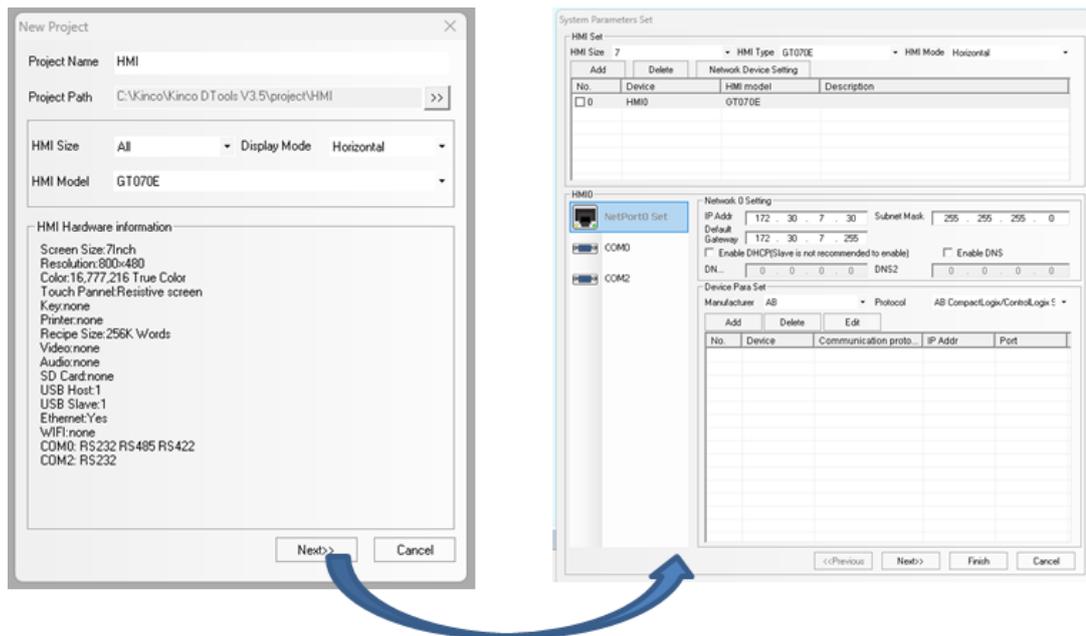
Variables PLC				Variables PLC			
	Nombre ▲	Tipo de datos	Dirección		Nombre ▲	Tipo de datos	Dirección
1	ACT_Temp	Bool	%M38.1	26	paso H	Real	%MD40
2	D_act_temp	Bool	%M38.0	27	paso1	Real	%MD18
3	E_MQTT	Bool	%Q0.3	28	paso2	Real	%MD22
4	encl_PID	Bool	%M0.0	29	paso3	Real	%MD26
5	Enclave_Pubic	Bool	%M1.6	30	paso4	DInt	%MD60
6	Enclave_temp	Bool	%M1.7	31	paso5	DInt	%MD44
7	FLW	Bool	%Q0.1	32	paso6	Real	%MD50
8	FLW_selector	Bool	%I0.0	33	paso7	Int	%MW54
9	HMI_FLW	Int	%MW6	34	pasoT	Real	%MD20
10	HMI FLW	Bool	%M0.1	35	Pub_switch	Bool	%M1.3
11	hmi tanque	Bool	%M0.2	36	Pulso1	Bool	%M0.4
12	HMI_mqtt_off	Bool	%M1.2	37	Pulso2	Bool	%M1.5
13	HMI_T_Fuci	Int	%MW48	38	Resist_On	Bool	%M0.5
14	HMI_T_PUB	Int	%MW8	39	Sal_an_FLW	Word	%QW98
15	HMI_Tanque	Int	%MW4	40	Sal_an_Tanque	Int	%QW96
16	HMI_to_Mqtt_on	Bool	%M1.1	41	Sal_Hmi_Resis	Int	%MW2
17	L_Hum	Real	%MD10	42	Sens_Hum	Int	%IW64
18	L_hume	Real	%MD12	43	Sens_Temp	Int	%IW66
19	L_Temp	Real	%MD30	44	Subs_switch	Bool	%M1.4
20	out_PWM	Bool	%Q0.0	45	Tanque	Bool	%Q0.2
21	Paro_EME	Bool	%I0.1	46	Testigo_pub	Bool	%M38.3
22	Paro_Flw	Bool	%M0.7	47	Time_Func	DInt	%MD56
23	Paro_general	Bool	%M0.3	48	Time_pub	DInt	%MD34
24	Paro_Res	Bool	%M0.6	49	Timer_desact	Bool	%M38.2
25	Paro_Taq	Bool	%M1.0	50	<Agregar>		

3.5.4.2 Configuración de la pantalla Kinco (HMI)

La configuración del HMI se hace por medio de un software gratuito “KincoDTools”, teniendo el programa basta con abrir un nuevo archivo, seleccionamos el modelo de pantalla que tenemos y nos aseguramos de que la pantalla este conectada mediante USB al ordenador al mismo tiempo que debe estar conectada a la red, al dar siguiente se abre la configuración tanto de la pantalla.

Figura 27.

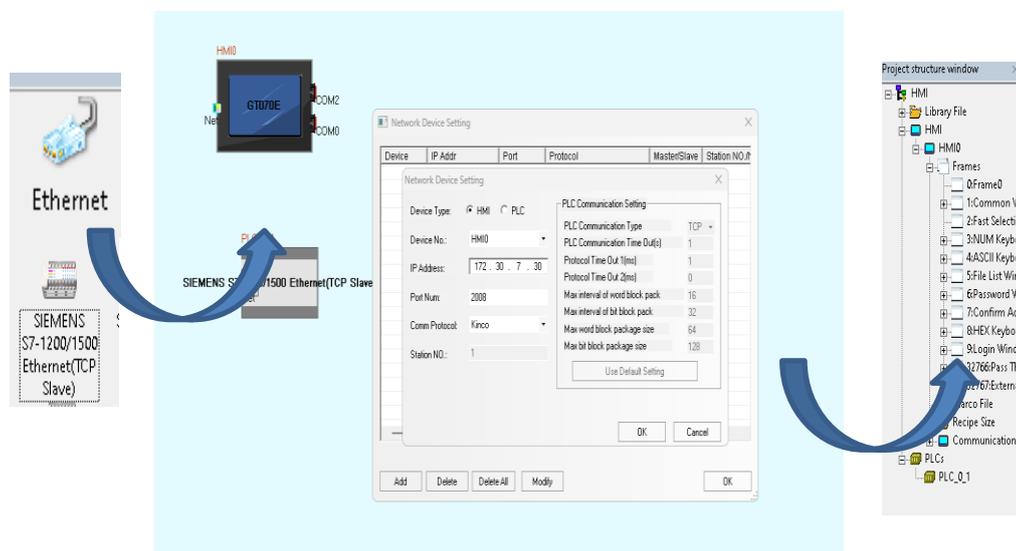
Ventana de creación del proyecto en software “KincoDTools”.



Arrastrar los iconos PLC-Siemens y “Ethernet” hacia el área de trabajo, con eso se abrirá una pantalla para poder configurar los puertos de comunicación, se establecen las IP’s y el puerto tiene que ser 102, este es el puerto de comunicación de Siemens, una vez en este punto se puede comenzar con el diseño de las pantallas, siendo un software bastante intuitivo no es complicado enlazar las memorias a cada botón que se ingresa.

Figura 28.

Entorno de configuración de dispositivos en software “KincoDTools”.

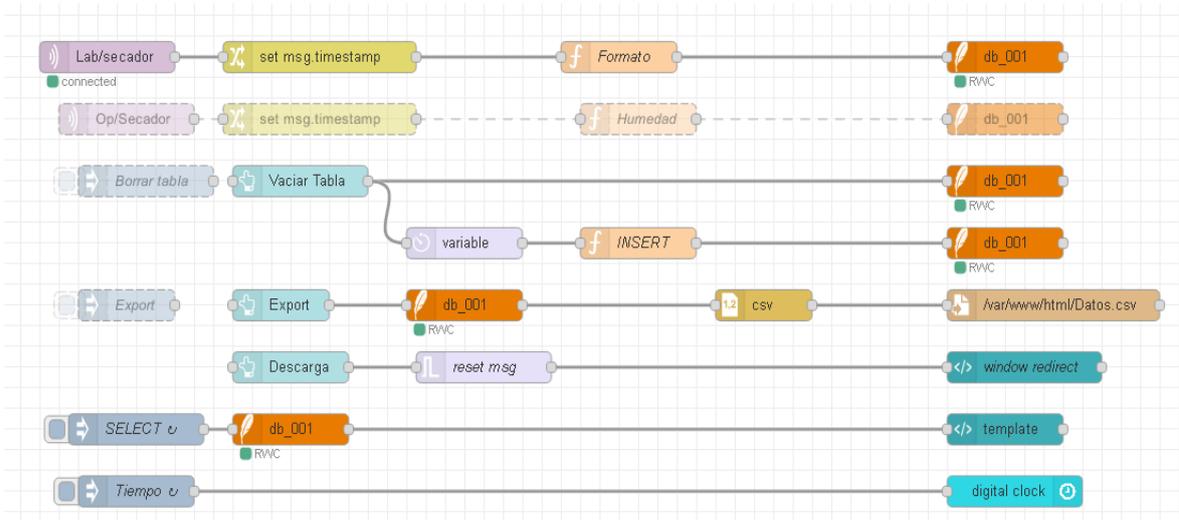


3.5.4.3 Adquisición de datos desde Node-red

Los datos hasta el momento están siendo enviados desde el PLC hacia el servidor, pero una vez que llega al servidor lo único que hace es reenviar a los usuarios que se han suscrito al tema en específico, para el almacenamiento en una base de datos se utilizó los diagramas de bloques de node red, como se muestra en la siguiente figura 29.

Figura 29.

Diagrama de la programación en Node-Red



Al mismo tiempo se desarrolló la interfaz gráfica de los datos adquiridos, el tiempo está en formato “Epoch-Unix”, es el número de segundos desde 1 de enero de 1970 00:00, para desarrollar la coínversión hay fórmulas en Excel, La interfaz de usuario presenta 3 botones el primero es ahora descargar, el segundo es para exportar el contenido y el tercero es para vaciar la tabla, previo a realizar una práctica hay que vaciar la tabla una vez concluya el tiempo de secado se exportara para que se genere el archivo como base de datos y después se puede descargar.

Figura 30.

Interfaz de usuario del servidor

Datos de secado

DESCARGA	EXPORT	VACIAR TABLA
----------	--------	--------------

11:05:49

Index	Tiempo	Temperatura	Humedad
0	1679840718204	18.9671	57.969
1	1679840658157	18.9671	57.969
2	1679840598150	18.9671	57.969
3	1679840538140	18.9671	57.969
4	1679840478132	18.9671	57.969
5	1679840418129	18.9671	57.969
6	1679840358118	18.9671	57.969
7	1679840298114	18.8342	57.974
8	1679840238101	18.8498	57.969
9	1679840178093	18.8342	58.12
10	1679840118084	18.8342	58.14
11	1679840058077	18.8342	58.14
12	1679839998070	18.8342	58.14
13	1679839938058	18.8342	57.99
14	1679839878051	18.8381	58.14
15	1679839818041	18.8342	58.14
16	1679839758039	18.8342	58.14
17	1679839698085	18.8342	58.14
18	1679839638029	18.8342	58.14
19	1679839578010	18.8342	58.16
20	1679839518009	18.8342	58.14
21	1679839457996	18.8342	58.14
22	1679839397988	18.8264	58.31
23	1679839337979	18.7599	58.225
24	1679839277967	18.8342	58.31
25	1679839217962	18.8342	58.31
26	1679839157967	18.8264	58.31
27	1679839097951	18.7013	58.245
28	1679839037943	18.7208	58.31

3.5.4.4 Obteniendo humedad inicial

La obtención del tiempo de secado teórico requiere de la humedad inicial del producto por lo que solicitando los permisos debidos se accedió al laboratorio de Control de Calidad para desarrollar la prueba de deshidratación a altas temperaturas en una estufa, todo esto conforme lo establece la norma NTE INEN 1513 (1987-01) consiguiendo los siguientes resultados Tabla 10.

Tabla 10.

Datos de las muestras del laboratorio para obtener humedad inicial

Muestra	M1	M2	M3	M4	M5
peso crisol	36.26550	35.73370	22.28530	24.51790	50.22070
peso muestra	25.347	25.4136	10.4753	10.2404	25.4057
hora					
0:00:00	61.6125	61.1473	32.7606	34.7583	75.6264
9:30:00	58.5566	58.8223	31.1871	33.2343	73.0706
10:30:00	56.2726	56.6837	30.1443	32.2829	70.752

11:30:00	54.3329	54.9029	29.3686	31.601	68.8676
12:30:00	53.3784	53.9627	28.9831	31.281	67.9373
13:30:00	52.5015	53.1076	28.6372	30.9994	67.0706
14:30:00	51.7569	52.3535	28.3576	30.7836	66.3834
15:30:00	51.4991	52.0937	28.2739	30.724	66.1596
Peso muestra seca	15.23360	16.36000	5.98860	6.20610	15.93890
Humedad por muestra	66.3888	55.3399	74.9207	65.0054	59.3943
Media muestral	64.2098				

Con el objetivo mantener todo el proceso lo más prolijo posible, se optó por tomar los pesos de cada una de las muestras y a cada uno de los recipientes, además se utilizó equipos de laboratorio con certificados de mantenimiento actualizados.

Figura 31.

Secado y pesado de muestras de granos de maíz.



3.5.4.5 Obteniendo Temperatura de bulbo Húmedo

Para obtener la temperatura de bulbo húmedo (T_{bh}) a partir de Temperatura de bulbo seco (T_{bs}) y la humedad relativa (Hr) es necesario aplicar una serie de fórmulas en un proceso iterativo de aproximación, ya que los datos que se calculan se correlacionan, para explicación se tomara los datos de la primera prueba (p1)

A continuación, se presenta los resultados de un ejemplo de cálculo de la presión de vapor (P_v) a partir de temperatura de bulbo seco (50.37) y humedad relativa (13.06%) aplicando la ecuación de Antonie.

Método de Antonie						
a	b	c	T	Psat(mmHg)		Psat(KPa)
				Log (P) = A - (B / (T + C))		
8.0713	1730.63	233.426	50.37	Log(P)=1.97	P=94.0052	12.5340

Nota. a, b, c: constantes de Antonie.

$$Hr\% = \frac{P_v}{P_{sat@Tbs}} \rightarrow P_v = Hr\% \times P_{sat@Tbs}$$

$$P_v = 0.1306 \times 12.5340$$

$$P_v = 1.63 \text{ KPa}$$

Considerado que la presión atmosférica es 101.325KPa entonces la humedad de corriente saturada (ω_s) a la temperatura de bulbo seco es:

$$\omega_s = 0.622 \frac{P_v(T_{bs})}{P_{atm} - P_v(T_{bs})}$$

$$\omega_s = 0.622 \frac{1.63}{101.2 - 1.63}$$

$$\omega_s = 0.0102264 \frac{\text{Kg } H_2O}{\text{Kg aire seco}}$$

A partir de la ecuación de humedad absoluta, basándonos en tablas tenemos los siguientes datos obtenidos de la tabla A4 del libro "Termodinámica" (Cengel & Boles, 2012)

Variable	Temperatura	Entalpia
h_{fg0}	0	2500.9
h_f	50.37	211.01
Calor específico del aire		Calor específico del Vapor
$C_{pa} = 1.005 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}$		$C_{pv} = 1.8723 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg K}}$

Observación: en la ecuación ω_1 se tiene T_2 la misma que es temperatura de bulbo húmedo y h_{f2} es la entalpia de vapor saturado a la temperatura de bulbo húmedo, por lo que esta dependencia de variables evita que tengamos una solución simple causando que la solución se obtenga por un proceso iterativo, resolviendo las 2 ecuaciones conjuntamente.

Ecuación de humedad absoluta

$$\omega_1 = \frac{c_{pa}(T_2 - T_1) + \omega_2(h_{fg0} + c_{pv}T_2 - h_{f2})}{h_{fg0} + c_{pv}T_1 - h_{f2}}$$

$$\omega_1(h_{fg0} + c_{pv}T_1 - h_{f2}) = c_{pa}T_2 - c_{pa}T_1 + \omega_2h_{fg0} + \omega_2c_{pv}T_2 - \omega_2h_{f2}$$

$$T_{bh} = T_2 \quad \omega_1(h_{fg0} + c_{pv}T_{bs} - h_{f2}) = c_{pa}T_{bh} - c_{pa}T_{bs} + \omega_2h_{fg0} + \omega_2c_{pv}T_{bh} - \omega_2h_{f2}$$

$$T_{bs} = T_1 \quad \omega_1(h_{fg0} + c_{pv}T_{bs} - h_{f2}) + c_{pa}T_{bs} - \omega_2h_{fg0} + \omega_2h_{f2} = c_{pa}T_{bh} + \omega_2c_{pv}T_{bh}$$

$$\omega_1(h_{fg0} + c_{pv}T_{bs} - h_{f2}) + c_{pa}T_{bs} - \omega_2(h_{fg0} - h_{f2}) = T_{bh}(c_{pa} + \omega_2c_{pv})$$

$$T_{bh} = \frac{\omega_1(h_{fg0} + c_{pv}T_{bs} - h_{f2}) + c_{pa}T_{bs} - \omega_2(h_{fg0} - h_{f2})}{c_{pa} + \omega_2c_{pv}}$$

$$T_{bh} = \frac{((2500.9 + (1.8723 \times 50.37) - h_{f2})0.0102 + 1.005(50.37) - \omega_2(211.01 + h_{f2}))}{(1.005 + \omega_2 \cdot 1.8723)}$$

$$T_{bh} = \frac{((2595.20 - h_{f2})0.0102 + 50.62 - \omega_2(211.01 + h_{f2}))}{(1.005 + \omega_2 \cdot 1.8723)}$$

Lo que se detalla en rojo son las variables que dependen entre sí por lo que es preciso basarse en la experiencia de Almeida (2017) explica que cuando la humedad en el aire es demasiado alta las temperaturas de bulbo seco y húmedo son bastante próximas es decir mientras más elevado sea la humedad relativa más cercanos serán los valores de temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco, por lo que para este caso a manera de ejemplo se plantean 2 suposiciones una correcta y una incorrecta.

Humedad de corriente saturada a T_{bh}	Humedad de corriente saturada a T_{bh}
Sp: $T_{bh} = 30$	Sp: $T_{bh} = 25.5$
Mediante tablas: $h_{f2} = 125.74$	Mediante tablas: $h_{f2} = 106.92$
$\omega_2 = 0.622 \frac{P_v(T_{bh})}{P_{atm} - P_v(T_{bh})}$	$\omega_2 = 0.622 \frac{P_v(T_{bh})}{P_{atm} - P_v(T_{bh})}$
$\omega_2 = 0.622 \frac{4.23}{101.325 - 4.23} = 0,027$	$\omega_2 = 0.622 \frac{3.25}{101.325 - 3.25} = 0.0206$
$T_{bh} = \frac{(25.25 + 50.62 - 64.47)}{1,055} = 10.79$	$T_{bh} = \frac{(25.44 + 50.62 - 49.46)}{1,0436} = 25.49$
Erróneo	Correcto

Nota. $P_v(T_{bh})$: calculado mediante método de Antonie **Sp:** Suposición en base al criterio de (Almeida, 2017)

El valor que se establece como temperatura de bulbo húmedo para la temperatura de bulbo seco (50.37) y la humedad relativa (13.06%), sería 25.49, este proceso debe seguirse por cada uno de los valores, utilizando Excel se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 11.*Datos de la prueba 1 de secado de granos de maíz.*

Peso inicial	1500	Peso perdido	516.00 g	Residuo	45g		
Peso final	1032	Humedad F	34.40%				
Tiempo	T_{bs} (°C)	Hr (%)	T_{bh} (°C)	Tiempo	T_{bs} (°C)	Hr (%)	T_{bh} (°C)
0:00:00	19.00	0.00	0.00	1:06:00	50.81	12.99	25.58
0:01:30	25.98	0.00	0.00	1:11:00	50.67	13.03	25.48
0:02:00	35.03	0.00	0.00	1:16:00	49.31	13.51	24.70
0:02:30	39.00	0.00	0.00	1:21:00	50.14	13.21	25.19
0:03:00	50.03	0.00	0.00	1:26:00	50.97	12.94	25.68
0:04:30	55.00	0.00	0.00	1:31:00	51.04	12.92	25.74
0:06:00	50.01	13.06	25.49	1:36:00	51.44	12.80	25.95
0:11:00	49.74	13.35	24.93	1:41:00	50.46	13.10	25.37
0:16:00	49.5	13.44	24.82	1:46:00	49.61	13.15	24.84
0:21:00	49.97	13.27	25.07	1:51:00	50.4	12.87	25.32
0:26:00	50.26	13.16	25.25	1:56:00	50.81	12.74	25.55
0:31:00	50.03	13.24	25.12	2:01:00	51.63	12.50	26.05
0:36:00	50.11	13.22	25.16	2:06:00	50.92	12.70	25.63
0:41:00	50.35	13.13	25.30	2:11:00	50.51	12.93	25.41
0:46:00	50.65	13.04	25.47	2:16:00	50.97	12.79	25.67
0:51:00	50.67	13.03	25.49	2:21:00	51.52	12.63	25.98
0:56:00	49.33	13.51	24.72	2:26:00	49.15	13.43	24.60
1:01:00	50.74	13.01	25.55	2:31:00	49.36	13.34	24.73
				2:36:00	50.63	12.89	25.45
						Media	25.31

Nota. *T_{bs}*: Temperatura Bulbo Seco; *Hr*: Humedad relativa; *T_{bh}*: Temperatura bulbo húmedo.

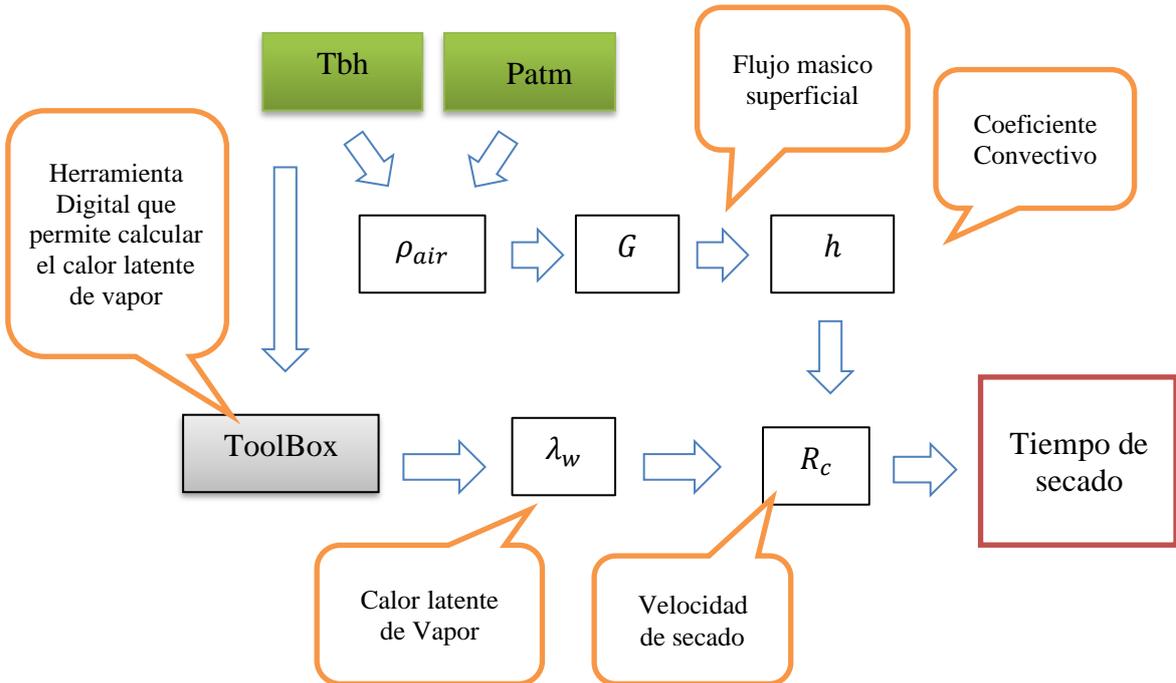
Los datos de color azul son información de precalentamiento, se han descartado por que presentarían falsos positivos, la humedad final se ha calculado en relación con el peso inicial, peso final y agregando el residuo que es la materia que expulso el equipo debido a defectos en la cabina de secado

3.5.4.5.1 Tiempo de Secado Teórico

Con la premisa de que en 2 horas y media de secado se logró reducir la humedad desde 64.2% hasta 34.4%, se desarrolló el cálculo de tiempo de secado teórico, pero partiendo desde la temperatura de bulbo húmedo y presión atmosférica siguiendo la Figura 28 que se muestra a continuación.

Figura 32.

Diagrama secuencial para la obtención del tiempo se secado



Nota. T_{bh}: Temperatura bulbo húmedo; Patm: Presión atmosférica

Datos iniciales

Temperatura de bulbo húmedo	$T_{bh} = 25.31\text{ }^{\circ}\text{C}$		
Presión atmosférica local	$P_{atm} = 101.2\text{ KPa}$	Velocidad del aire	$v = 1.72\text{ m/s}$ $v = 6192\text{ m/h}$
Humedad inicial del maíz	$w_0 = 64.20\%$	Peso del Maíz	$L_s = 1.5\text{ Kg}$
Humedad Final	34.4%	Tiempo de Proceso Real	$t_{real} = 2,5\text{ h}$

Se ingresa los datos de Temperatura de bubo Húmedo a la tabla de propiedades del aire a 1 atmosfera, en este caso es necesario interpolar para encontrar el valor exacto.

Datos obtenidos de tabla

T1= 25	$\rho_{1air} = 1.184\text{ Kg/m}^3$
---------------	-------------------------------------

Tabla A – 9 (ÇENGEL, Yunus A propiedades del aire a 1 atm)

Para lograr tener una mejor precisión se hace una regla de tres para encontrar la densidad del aire a la presión de la localidad donde se desarrolla la prueba

$$X = \frac{101.2\text{ KPa} \times 1.184\text{ Kg/m}^3}{101.325\text{ KPa}}$$

101.325 KPa = 1atm	1.184Kg/m ³
--------------------	------------------------

101.2 KPa =Riobamba	X= 1.1825 Kg/m3
---------------------	----------------------------------

Los datos marcados de rojo son experimentales según Geankopolis (2006), para calcular el tiempo de secado en flujo perpendicular al producto en sistema internacional.

Cálculo del flujo masico

$$G = V \cdot \rho$$

$$G = 1.72 \frac{m}{s} * \frac{1.1825 Kg}{m^3} * 3600 \frac{s}{1h}$$

$$G = 7322.28 \frac{Kg}{h m^2}$$

Cálculo coeficiente Convectivo

$$h = 1.17 * G^{0.37}$$

$$h = 1.17 * 7322.28^{0.8}$$

$$h = 31.48 \frac{W}{m^2 K}$$

Mediante la herramienta Digital “ToolBox”, se ingresa la temperatura de bulbo húmedo y encontramos el calor latente de vapor.

$$(ToolBox) \lambda_w@25^{\circ}C = 2441.3 \frac{KJ}{Kg}$$

Cálculo de Velocidad de secado

$$R_c = \frac{h(T - T_w)}{\lambda_w}$$

$$R_c = 31.48 * \frac{50.37 - 25.49}{2441.3}$$

$$R_c = 1.1550 \frac{Kg}{m^2 h}$$

Cálculo del Tiempo de secado

$$t = \frac{L_s(X_1 - X_2)}{A * R_c}$$

$$t = \frac{1.5 (0.64 - 0.34)}{0.2025 * 1.1550}$$

$$t = 1.9238 h$$

El área que tiene de contacto se calculó distribuyendo los granos a secar en una superficie plana de tal modo que se forme un cuadrado, procurando que ningún grano sobreponga a otro, obteniendo un cuadrado de lado 45cm de lo que resulto un área 0.2025m²

El tiempo de secado Teórico resultante es 1.92h es decir 1h con 55 minutos, llegar a este tiempo de secado seria lo óptimo, sin embargo, el error que existe con el tiempo real, se atribuye al error producido por las pérdidas de calor y de masa.

Para el estado anterior del equipo se puede desarrollar el mismo calculo con la diferencia que los datos que se trabajarán serán obtenidos de las practicas que desarrollaron los autores originales del equipo.

- Temperatura de bulbo seco:29°C
- Temperatura de bulbo húmedo:16 °C
- Caudal:22.9 m3/h
- Velocidad:0.27m/s
- Humedad inicial:85.80%
- Humedad Final (Experimental):67.60%
- Tiempo de secado (Experimental):0.5h

De lo que se obtuvo los siguientes resultados:

Flujo masico superficial		Velocidad de Secado	
G(kg/hm2)	1149.4282	Rc(Kg/m2h)	0.3053

Coefficiente convectivo		Tiempo de secado teórico	
h(w/m ² K)	15.8695	t(h)	5.90
Calor latente de Vapor			
(App - ToolBox) @ 25°C	2432.21		

3.6 Hipótesis

La implementación de la tecnología industria 4.0 mejora el control de la temperatura, flujo de aire y la rotación del tanque permitiendo así la reducción del tiempo de operación en el equipo de secado y reducción del porcentaje de humedad del grano.

3.6.1 Operacionalización de variables

Tabla 12.

Operacionalización de variables

Variables	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumento
Variable Independiente:					
Implementación de la tecnología industria 4.0 en el secador rotativo	La industria 4.0 y la manufactura inteligente son parte de una transformación, en la que las tecnologías de fabricación y de la información se han integrado para optimizar los procesos de fabricación, alcanzar una mayor flexibilidad, eficiencia y generar una propuesta de valor para sus clientes, así como responder de forma oportuna a las necesidades de su mercado	Diseño y mejoramiento del proceso de secado	<p>Modificar la estructura de soporte del secador rotatorio</p> <hr/> <p>Reemplazar el motor monofásico por un motor trifásico</p> <hr/> <p>Cambiar el Blower</p> <hr/> <p>Implementar un control de temperatura</p>	Recolección de información para la investigación e implementación en el proceso	Observación e investigación
Variable Dependiente:					
Reducción en el tiempo de operación de secado y la humedad en el grano	Un secador rotatorio consta de un cilindro hueco que gira por lo general, sobre un eje, con una ligera inclinación hacia la salida. Los sólidos granulares húmedos se calientan por la parte superior y se desplazan por el cilindro a medida que éste gira. La deshidratación de los sólidos granulares es evidente debido a la transferencia de calor.	Recolección de datos	<p>Sensor de Humedad y Temperatura</p> <hr/> <p>Peso de muestra</p> <hr/> <p>Tiempo</p>	Documentación	<p>Guías de laboratorio</p> <p>Base de datos</p>

3.7 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

Se analizó de manera separada los parámetros técnicos del secador rotativo en las condiciones anteriores y luego del rediseño con la implementación de la tecnología 4.0 y para su análisis estadístico por tratarse de datos cuantitativos continuos (que vienen de un proceso de medir y que admiten valores decimales) se utilizó medidas de tendencia central como la media y la desviación estándar, así como los valores y mínimos y máximos para cada variable.

Para la contrastación de la hipótesis se utilizó estadística inferencial multivariante con las técnicas de HJ-Biplot y “Análisis Triádico Parcial (PTA)” que forma parte de los métodos STATIS. Se seleccionó estas técnicas de análisis de datos porque se miden de manera conjunta tres matrices de datos. La primera matriz mide los mismos individuos (secador rotativo anterior – secador rotativo rediseñado); la segunda matriz mide las mismas variables (tiempo, porcentaje de humedad, temperatura), y la tercera matriz contiene los datos medidos en distintas ocasiones (registros en diferentes tiempos)

Se corrió en el programa Rstudio con el fin de obtener resultados en términos de datos analíticos y de representación gráfica.

El HJ-Biplot muestra en un plano de dimensión reducida el comportamiento de las variables, las longitudes de los vectores indican la importancia de la variable como contribución a un eje factorial, el ángulo entre los vectores determina el grado de correlación entre las mismas y el sentido de los vectores determinan si la correlación es directa o inversa.

El análisis Triádico Parcial permitió observar a las variables agrupadas en sus principales componentes y el comportamiento del conjunto de variables a través del tiempo en que se realizaron las distintas tomas de observaciones concentradas en una sola matriz (compromiso).

La contrastación de las hipótesis se la hizo mediante la prueba “T student” para evidenciar si existen diferencias significativas en las medias del tiempo y en el porcentaje de humedad antes y después de la implementación de la tecnología 4.0.

Las hipótesis que se contrastan son:

H0: “La tecnología 4.0 instalada en el secador rotativo no causó variación el tiempo de operación respecto de la humedad alcanzada en el producto”

H1: “La tecnología 4.0 instalada en el secador rotativo generó una mejora en el tiempo de operación respecto a la humedad alcanzada en el producto”

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Parámetros Técnicos del secador rotativo

Las modificaciones desarrolladas en el equipo como cambio de motores, resistencia y la implementación del sistema de control y monitoreo, han tenido como resultado las siguientes características.

Figura 33.

Diseño representativo de la estructura final

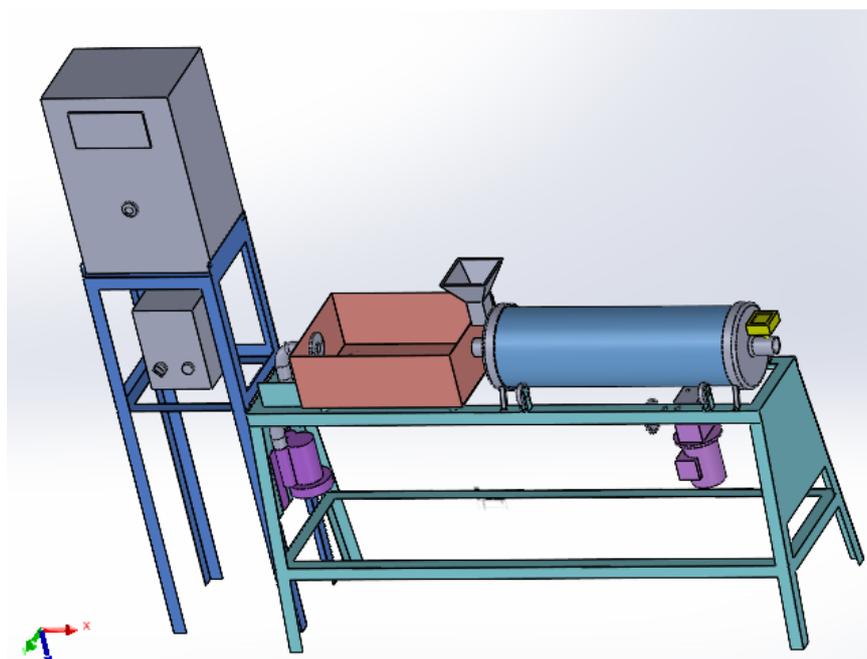


Tabla 13.

Características máximas de operación del secador rotativo

Detalle	Valor
Capacidad del secador rotativo	2.92 m ³
Carga máxima	5 kg
Carga máxima para pruebas	1,5 kg – 2 kg
Energía requerida en la resistencia	5400 vatios/ 220V
Velocidad de giro del tambor	28 rpm
Flujo de aire	132 m ³ /h
Voltaje (V)	220 v (3~)
Frecuencia (Hz)	60 Hz

Para la determinación del porcentaje de humedad inicial y tiempo de secado del maíz, se realizó de acuerdo con el método establecido por la NTE INEN 1513 (1987-01), en el laboratorio de control de calidad de la carrera de ingeniería agroindustrial.

Tabla 14.
Características

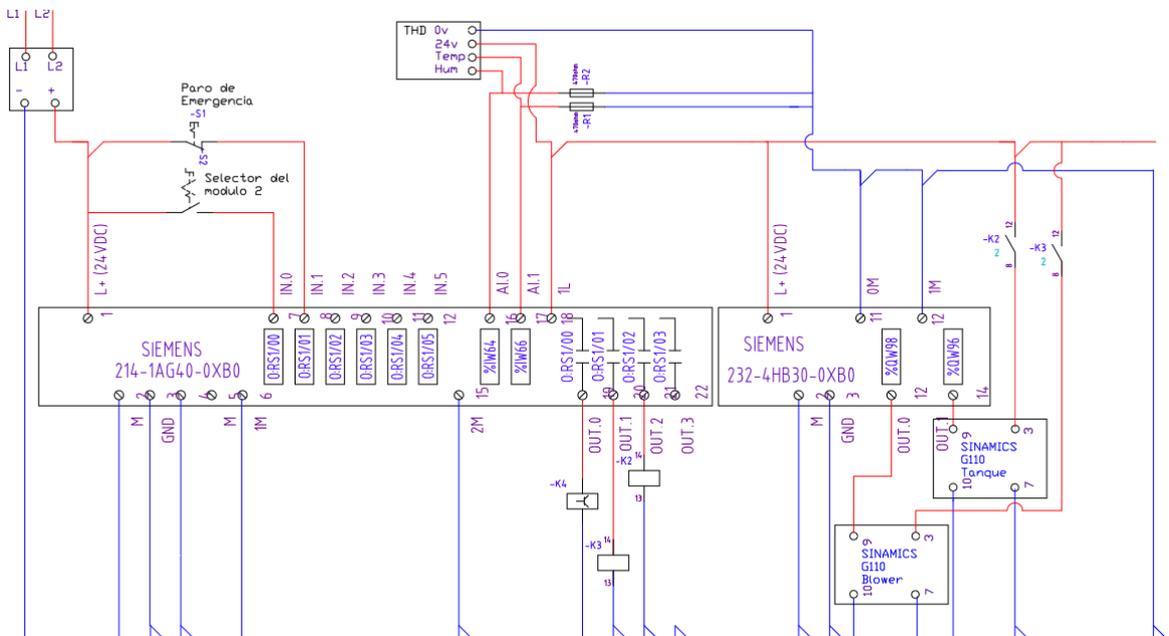
Detalle	Valor
% de humedad inicial	64,20 %
% de humedad final	34,40 %
Humedad de comercialización	Min. 13% y Max. 30%
Temperatura Max. de secado	50 - 60°C
Tiempo de secado teórico	3,85 horas
Tiempo de secado experimental	2,5 horas

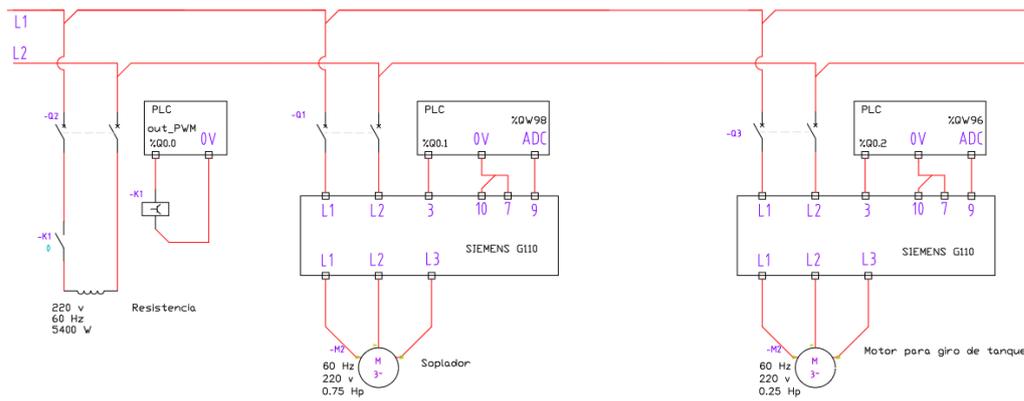
La diferencia de tiempos se debe a que el tiempo de secado experimental, llegando a la humedad de 34,4 % y con este dato se desarrolló el cálculo del tiempo de secado, para determinar en qué tiempo debió haber llegado la humedad mencionada, además de no contabilizar la pérdida de materia prima seca por defectos mecánicos en la cabina de secado.

4.1.1.1 Diagramas eléctricos (control y potencia)

El diagrama parte de los componentes que componen ambos tableros de control, tanto para el diagrama de potencia como el diagrama de control, cada componente en el plano es representativo, es decir el plano no representa medidas dimensionales de los equipos.

Figura 34.
Diagramas eléctricos



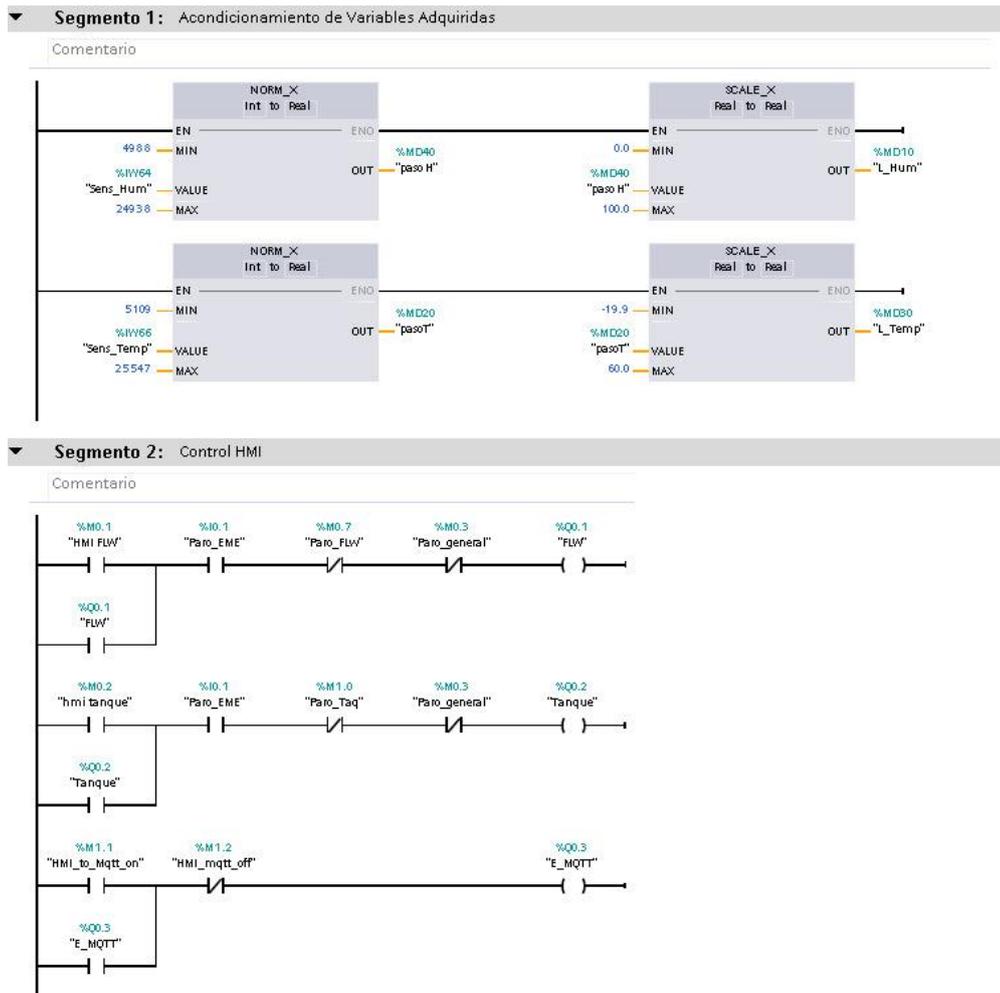


4.1.1.2 Codificación en “TIA PORTAL V16”

El funcionamiento del equipo parte de la adquisición de información y el procesamiento de la misma, en la figura que se muestra a continuación podemos observar los módulos que se denominan “NORM_X” permite escalar el valor que ingresa al PLC por medio de una resistencia (470 ohm), que transforma la señal del sensor de miliamperios a voltaje para poder ser interpretado, estableciendo un mínimo y máximo a la entrada, la salida será en un rango de 0 a 1, en este caso son 2 señales que aporta el Sensor THD de Temperatura y humedad por lo que requerimos 2 bloques independientes para cada línea de comunicación, inmediatamente en la salida se tiene una variable que se denomina como “Paso”, que su única función es mover el dato de salida a la entrada de otro bloque “SCALE_X”, este bloque es importante, si bien cumple la misma función que el otro bloque la diferencia radica en que este en su entrada solo admite valores de 0 a 1 además permite poner un máximo y mínimo a la salida de la variable, facilitando la comprensión de los datos adquiridos, procurar que los máximos y mínimos estén de acuerdo con los parámetros que contempla el sensor o sonda que este instalado de lo contrario presentaríamos valores erróneos, el momento de su lectura.

Figura 35.

Programación en TIA Portal V16 (acondicionamiento de variables)



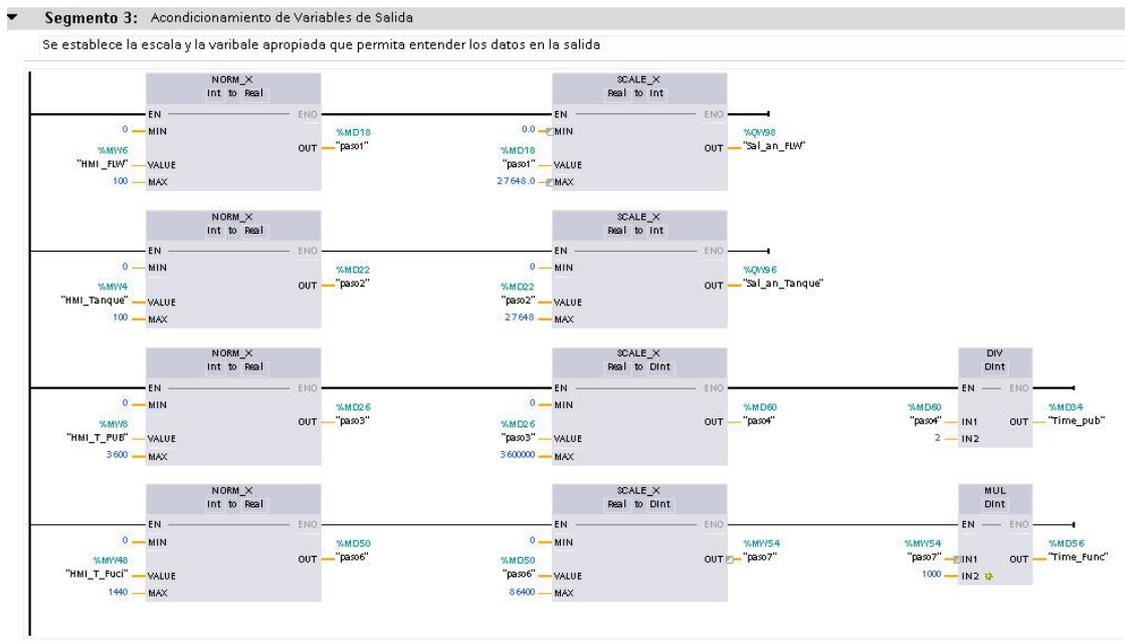
Para el control desde el HMI es importante recordar tener activa la Función “Put y Get”, en la configuración del PLC, de lo contrario no permitirá la modificación de las memorias desde el HMI, en la figura anterior se puede observar cómo se utilizan las memorias, hacia salidas del PLC, que representan la activación de cada una de sus descripciones como es el caso de “Tanque” es la salida (%Q0.2), que permite la activación del motor que gira la cabina de secado ,a su vez esta salida es activada por una memoria (%M0.2) controlada desde el HMI, entre la activación y la salida tenemos una de entrada (%I0.1) que en la codificación es una compuerta abierta , sin embargo en el diagrama de control se puede observar que es un paro de emergencia normalmente cerrado, esto debido a la lógica que en caso de ser presionado se corta la energía, deteniendo el proceso en ese instante por otro lado también tenemos un paro de emergencia en el HMI que es controlado por una memoria pero la diferencia es que configurada como una compuerta cerrada que el momento que se presiona se abre e interrumpe la activación de la salida.

Para el caso de escritura de variables analógicas de salida se ocupa la misma lógica incluso los mismos bloques, la diferencia radica en el origen de la información, en la siguiente figura para la salida (%Qw96), la información que almacena la memoria (%MW4) parte desde el HMI que tiene un rango de 0 a 100 este mismo rango se ocupara para establecer la escala de entrada al bloque “NORM_X”, de igual manera que en el caso anterior

se ocupa una memoria para pasar la información al bloque “SCALE_X”, pero en este caso la salida del bloque tiene que ser todo el rango de bits que pueda controlar el módulo instalado (27648), buscando así tener mayor precisión en la información aportada.

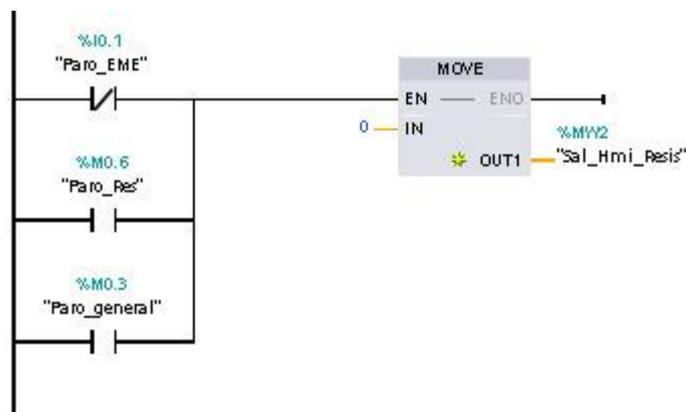
Al final de la figura se puede observar en la última línea hay un bloque de operación, se han incorporado ya que el rango máximo de operación del bloque “SCALE_X”, no era suficiente para establecer los milisegundos de funcionamiento enviados a un temporizador por lo que se trabajó en una escala menor y a la salida se multiplico por un factor de conversión.

Figura 36.
Programación en TIA Portal V16 (salidas analógicas)



Para el control de la resistencia es necesario recordar que funciona por modulación de ancho de pulso (PWM) por lo que la activación depende de una variable que establece el intervalo de pulsaciones por segundo, motivo por el cual se decidió que en caso de detener la resistencia no basta con detener el control PID, hay que cambiar el valor de la memoria que establece los pulsos por segundo como se muestra a continuación.

Figura 37.
Paro de emergencia salida (PWM)



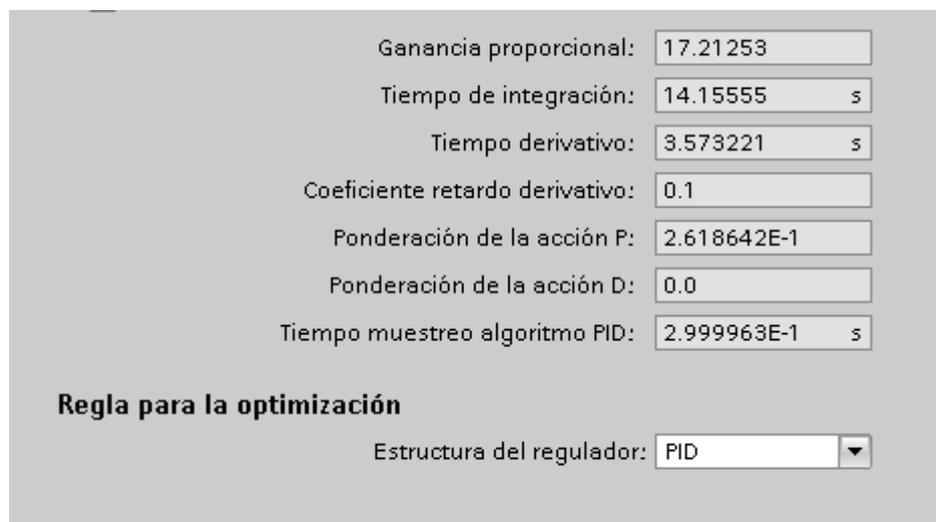
4.1.1.3 Control de temperatura

El control de temperatura se hace mediante la modulación de anchos de pulso desde un puerto de salida del PLC hacia un relé óptico que a su vez da el paso de energía hacia la resistencia eléctrica, y se regula mediante un control PID en base a la lectura que aporta el sensor de temperatura instalado en el secador, hay que mencionar que el PID se ha hecho de manera automática en base a una función propia del programa “TIA Portal V16” desarrolla pruebas de la resistencia frente a los datos que recibe del sensor.

Los parámetros que se muestran en la siguiente figura representan los resultados generados automáticamente por el programa.

Figura 38.

Configuración de variable PID



Ganancia proporcional:	17.21253
Tiempo de integración:	14.15555 s
Tiempo derivativo:	3.573221 s
Coefficiente retardo derivativo:	0.1
Ponderación de la acción P:	2.618642E-1
Ponderación de la acción D:	0.0
Tiempo muestreo algoritmo PID:	2.999963E-1 s

Regla para la optimización

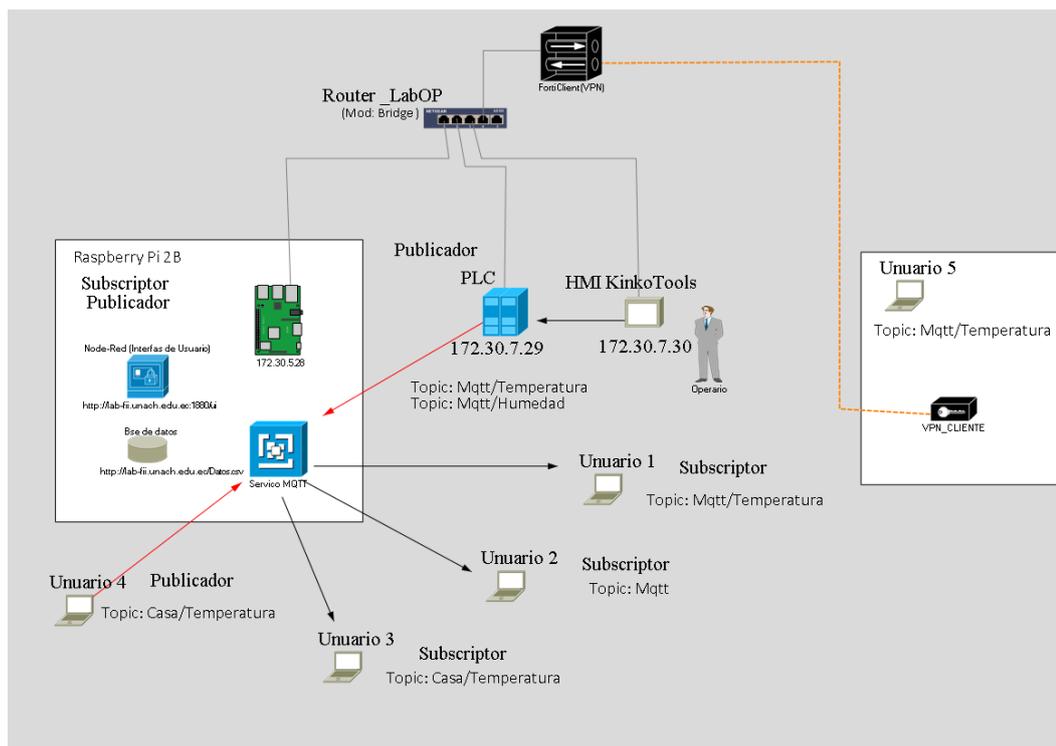
Estructura del regulador: PID

4.1.1.4 Implementación de la tecnología industria 4.0

Para la conexión a internet primero hay que tener claro cómo está estructurada la red de información, partiendo por: los actores que intervienen son “Raspberry Pi” como servidor que almacena la información y permite su correcta descarga ,PLC encargado de control y envío de la información hacia el servido , y el HMI está encargado de ser el medio de comunicación entre el operario y el equipo, por cuestiones de seguridad en caso de requerir acceder al equipo desde un red externa se deberá solicitar un usuario y contraseña para conectarse vía VPN a la red institucional, una vez dentro tenemos acceso al equipo para descargar la información y si se desea controlar se requiere la simulación de la pantalla HMI mediante el software “KinkoDTTools”.

Figura 39.

Esquema de comunicación MQTT (Publicadores y suscriptores)



La lógica del funcionamiento respecto al movimiento de la información se basa en suscriptor y publicador, todos los usuarios registrados como publicadores, presentes en el diagrama superior pueden enviar mensajes y de igual manera los que estén de suscriptores pueden recibir mensajes, sin embargo lo que determina que usuario recibe que mensaje es el “Topic”, de manera que si el publicador no coincide con el suscriptor en su topic nunca le llegarán los mensajes, por ejemplo el PLC está registrado como publicador a 2 topic’s por lo que toda la información que publique de temperatura la recibirá el usuario 1 y 5 pero el usuario 2 recibirá la información de temperatura y humedad, ya que está suscrito a todos los subtemas de “Mqtt”, por otro lado los usuarios 3 y 4 nunca recibirán la información que publique el PLC, porque tienen un topic muy distinto.

Tabla 15.

Características del dispositivo

Dispositivo	IP Fijas	DNS
Raspberry pi	172.30.7.28	lab-fii.unach.edu.ec
PLC	172.30.7.29	-----
HMI (KinkoDTools)	172.30.7.30	-----

Nota: El equipo que gestiona la red institucional facilitó un DNS, accesible solo dentro de la red institucional para el servidor, si se desea descargar los datos la dirección sería: lab-fii.unach.edu.ec/Datos.csv y para visualizar en tiempo real: lab-fii.unach.edu.ec/ui

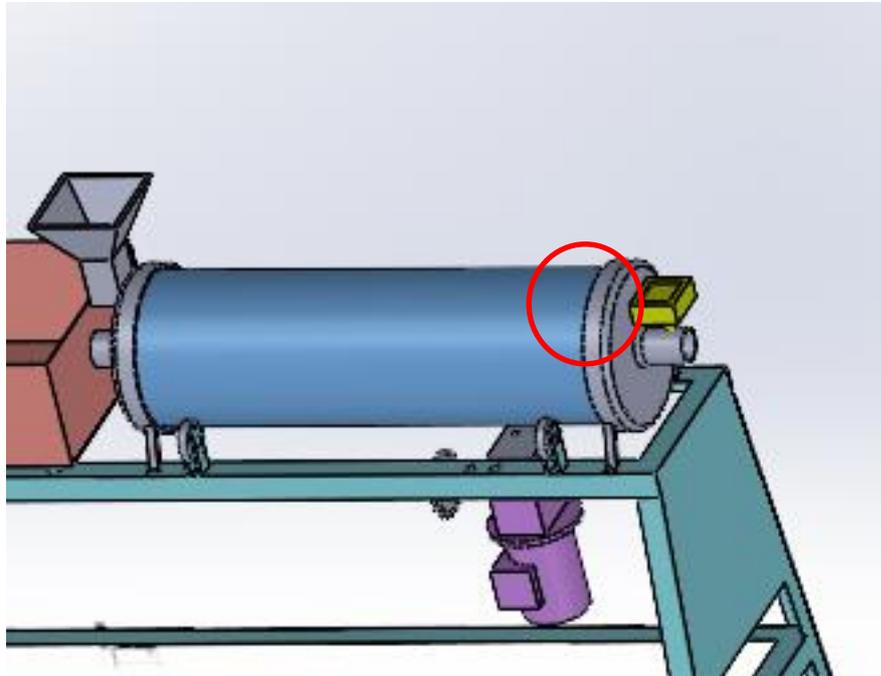
4.1.1.5 Sensor de temperatura y humedad

El sensor cuenta con un display integrado que permite verificar la humedad relativa y temperatura de bulbo seco el rango de temperatura es (-19,8 a 60°C) mientras que la humedad es de 0% a 99.9%, la salida de los valores es de 4 – 20 mA CD, la ubicación del

sensor es justamente en el terminal de salida tubular, como se muestra en la figura 36, el sensor está en color amarillo.

Figura 40.

Posición de instalación del sensor



Nota: Diseño realizado del equipo en Solid Works. Numero de sensores: 1

4.1.1.6 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica instalada es de 5400 vatios a 220 voltios, en concreto la función que cumple es pasar la energía eléctrica a energía calórica según los pulsos que sean necesarios para cumplir con la deficiencia de temperatura que sea calculado por el PLC, mediante la información que le aporte el sensor.

Figura 41.

Resistencia eléctrica



Nota. El gráfico representa a las resistencias eléctricas instaladas con aislamiento térmico.

Justificación técnica

Se tomó en cuenta la recomendación de que es preferible utilizar una resistencia que tenga un rango mayor de potencia de la requerida. Luego para su selección también se consideraron los siguientes factores: capacidad de la acometida eléctrica; área que requiero calentar; tiempo de calentamiento; material que debo calentar; espacio disponible para la instalación.

4.1.1.7 Justificación Técnica del Variador de Frecuencia

Se consideró que el variador de frecuencia debía tener suficiente capacidad de corriente para que el motor pueda producir el par requerido para la carga. Para la selección del variador de frecuencia también se consideró los datos de placa del motor que mueve la carga, verificando que el variador de frecuencia sea capaz de entregar la corriente, par y potencia máxima que dispone el motor, considerando el tipo de carga que controlará.

4.1.1.8 Justificación técnica Blower

Para la selección del ventilador, se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- El caudal de ventilación necesario (Q), expresado en m³/h, para la correcta renovación del aire.
- La presión necesaria.
- El nivel de ruido tolerable.
- El Blower seleccionado satisface estos requisitos.

4.1.2 Comparativa de resultados de pruebas

Los datos presentados a continuación son una recopilación de los resultados de cálculos en base a las practicas desarrolladas en el laboratorio para el caso de “E4.0”, y para el caso “EA”, se desarrolló en base a la información existente en prácticas anterior mente desarrolladas, se debe notar un factor algo no coincidente marcado de rojo, ya que se desarrolla la practica en un periodo de 30 minutos de lo que aplicando los cálculos necesario se logró encontrar que el tiempo necesario es de 5.9 horas, se puede estimar que ha existido alguna falla por parte de los autores del equipo “EA”

Por otro lado, en el equipo E4.0, el tiempo experimental es mayor que el tiempo calculado (Tiempo teórico), lo que se atribuye a desperfecto existentes en la estructura de la cámara de secado y a la perdida de calor que existe en la cámara de calentamiento.

Tabla 16.

Comparativa de tiempos de secado

EA	Temperatura de bulbo seco (Ts)		Temperatura de bulbo húmedo (Tbh)		caudal (m ³ /h)	humedad inicial	media de humedad final experimental	Tiempo de secado experimental (h)
	29		16		22.9	85.80%	67.60%	0.5
Resultados	G [kg/hm ²]	h [w/m ² K]	Rc [Kg/m ² h]	T [h]				

		1149.42	15.86	0.305	5.9		
E4.0	Datos iniciales	Temperatura de bulbo seco (Ts)	Humedad Relativa (Hr)	Temperatura de bulbo húmedo (Tbh)	caudal (m ³ /h)	humedad inicial	media de humedad final experimental
		50.01	13.00%	25.17	92.2	64.00%	31.00%
	Resultados	G [kg/hm ²]	h [w/m ² K]	Rc [Kg/m ² h]	T [h]		Tiempo de secado experimental (h)
		7322.28	31.48	1.15	1.71		2.5

Nota. EA: equipo antes de las modificaciones, E4.0: Equipo con tecnología industrial 4.0

4.2 Discusión

4.2.1 Prueba HJ-Biplot

En la tabla 17 se observa los valores de las medidas de tendencia central que corresponden a cada uno de los indicadores del equipo en las dos condiciones: la primera antes de la implementación de la tecnología I 4.0 (E4.0) y la segunda cuando se realizó dicha implementación (EA).

Para las 5 mediciones realizadas, la media del valor de la temperatura Ts, Tw, caudal y velocidad del equipo 4.0 es superior al del equipo anterior, mientras que los porcentajes de humedad son menores en el equipo 4.0.

Tabla 17.

Descriptivos de las variables

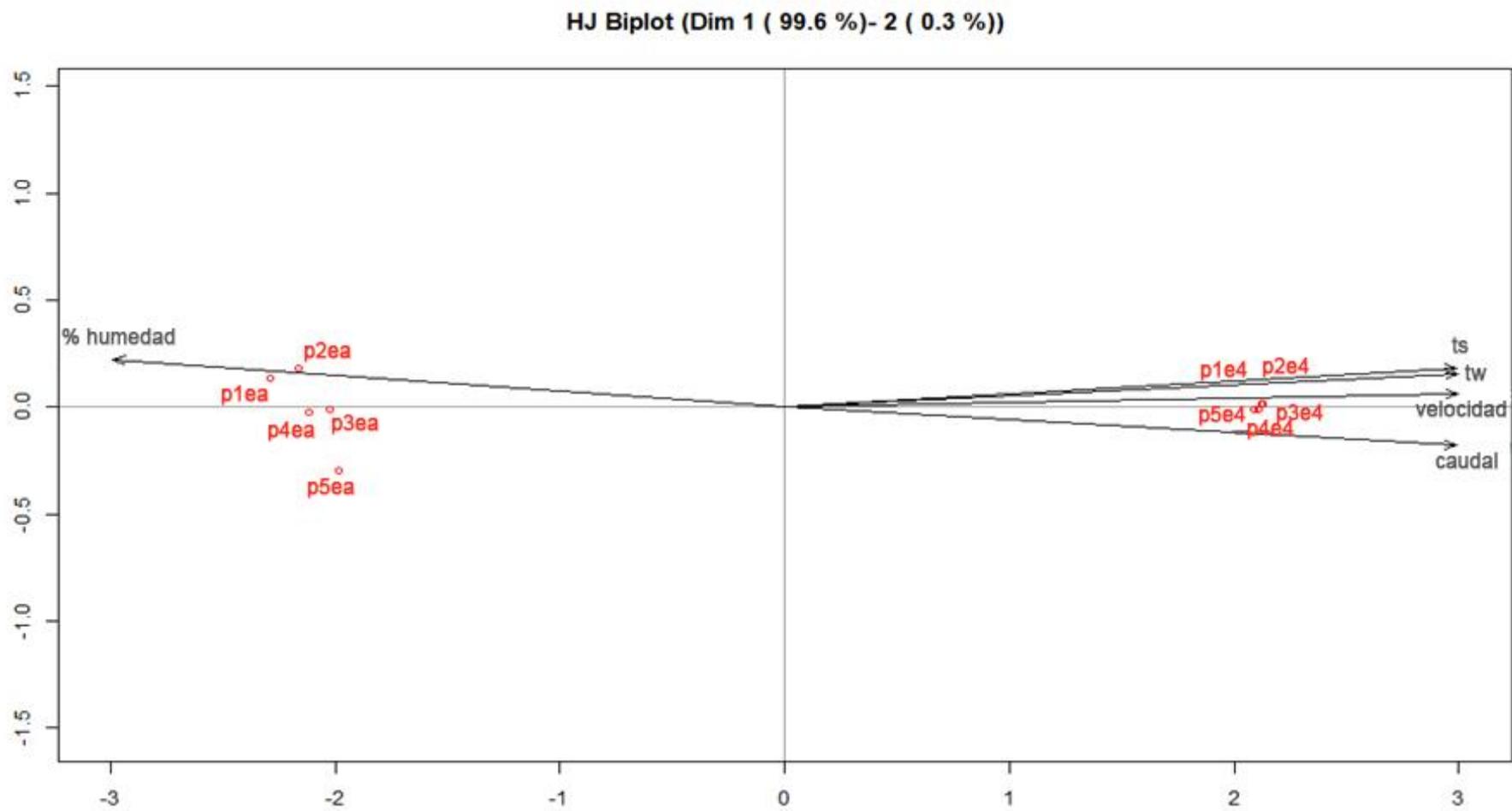
	Mínimo	Máximo	Significancia
Ts EA	13,70	16,50	15,1833
Tw EA	16,00	17,70	16,7500
% humedad EA	67,60	85,80	78,2167
Caudal EA(m ³ /h)	17,50	29,10	24,1833
Velocidad EA(m/s)	,21	,35	,2900
Ts E4.0	49,40	51,60	50,5283
Tw E4.0	41,70	43,10	42,4283
% humedad E4.0	12,80	13,40	13,1267
Caudal E4.0(m ³ /h)	92,20	92,20	92,2000
Velocidad E4.0(m/s)	1,72	1,72	1,7200

Nota. Ts: temperatura bulbo seco; Tw: temperatura bulbo húmedo; EA: equipo antes de la modificación; E4.0: equipo después de la modificación; los datos presentados son de las pruebas realizadas, mas no de las limitaciones del equipo.

El espacio de dimensión reducida HJ Biplot indica diferente distribución de las pruebas de indicadores para cada uno de los equipos. Las que corresponden al equipo antes de la intervención con tecnología 4.0 se encuentran bien representados en los cuadrantes 2 y 3, y las que corresponden al equipo 4.0 están representadas en los cuadrantes 1 y 2. Todos

los indicadores contribuyen de forma mayoritaria al eje 1 (99,6%). El indicador de porcentaje de humedad es el más relevante. Los ángulos agudos que forman los indicadores de Ts, Tw, Cauda y velocidad están muy correlacionados entre sí.

Figura 42.
HJ Biplot

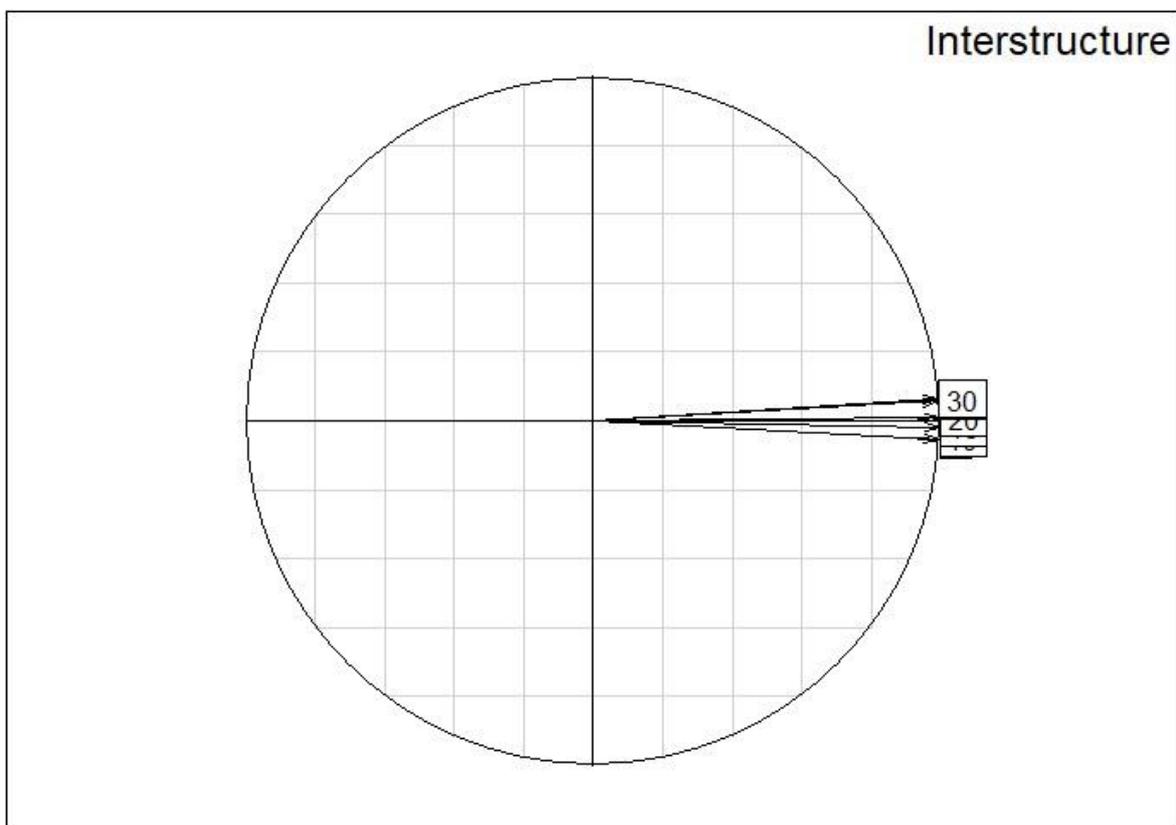


En el proceso de la Interestructura se estudia la relación entre las distintas matrices, el propósito es hallar una matriz de correlaciones vectoriales entre matrices; en otras palabras, la diferenciación global entre tablas de datos. La finalidad es la representación gráfica en el plano de la proyección. Con tal fin, la interestructura se representa en un subespacio de dimensión reducida, descomponiendo espectralmente la matriz de correlaciones vectoriales y proyectándola.

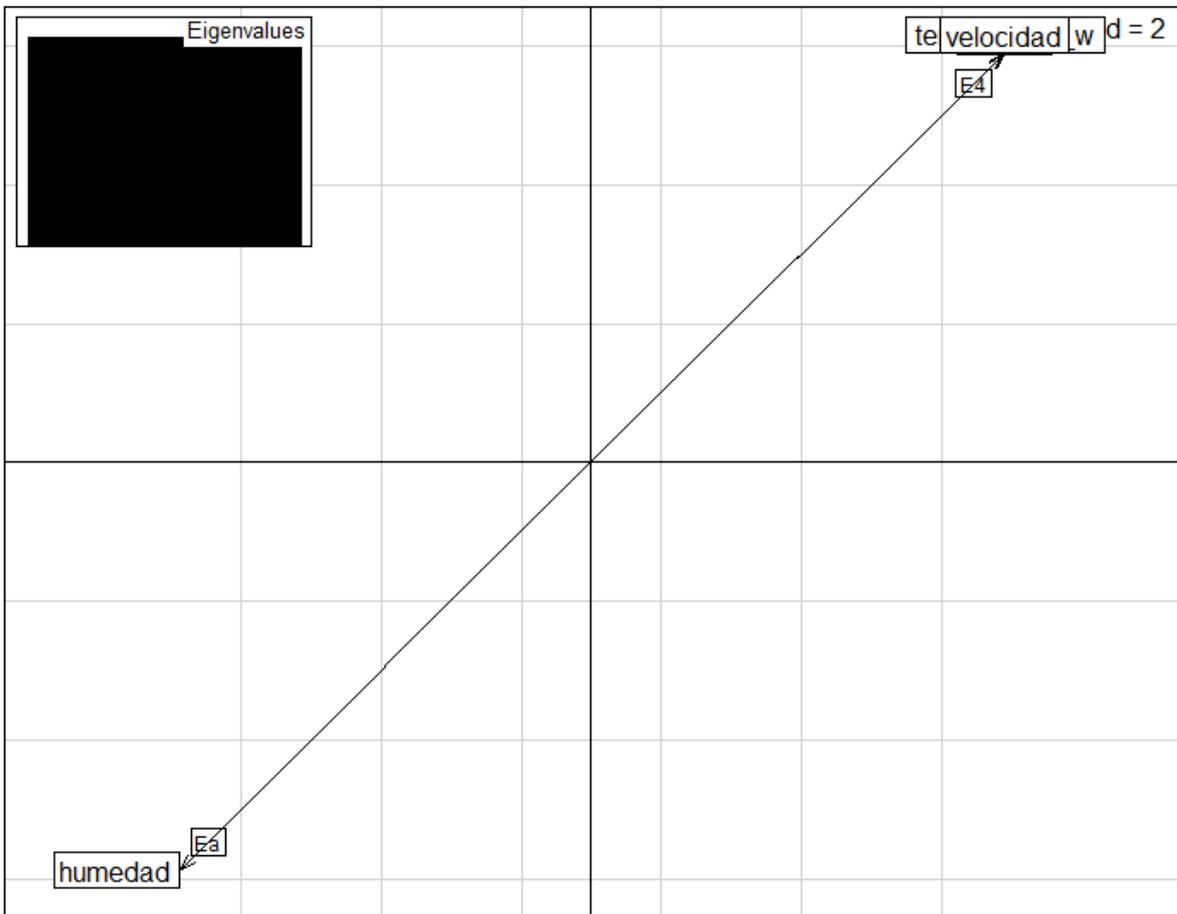
De acuerdo con los diferentes tiempos en los que se tomaron las mediciones. Se observa que hay correlación entre las variables medidas para los diferentes tiempos en los que se tomaron esas mediciones.

Figura 43.

Matriz de correlaciones vectoriales



La temperatura y la velocidad son las que más aportan para el cálculo de la matriz compromiso y que hacen que el porcentaje de humedad se reduzca.



4.2.2 Prueba T-student

El p- valor o significancia menor que 0,01 indica que hay suficiente evidencia estadística para afirmar que hay diferencia significativa entre los porcentajes de humedad antes y después de la implementación de la tecnología 4.0 en el secador rotativo. Cuando se implementa la tecnología 4.0 el porcentaje de humedad se reduce.

Tabla 18.

Prueba t student para las medias del porcentaje de humedad

t-test de igualdad de medias para muestras independientes			
	t	df	Sig. (2-tailed)
% humedad EA y E 4.0	2	10	0,000
	5,277		

Nota. t: estadístico de prueba df: grado de libertad Sig. (2-tailed): valor de significancia

El p-valor o significancia menor que 0,05 indica que hay suficiente evidencia estadística para afirmar que hay diferencia significativa entre los tiempos de secado antes y

después de la implementación de la tecnología 4.0 en el secador rotativo. Cuando se implementa la tecnología 4.0 el tiempo de secado se reduce.

Tabla 19.

Prueba t student para las medias del tiempo de secado

t-test de igualdad de medias para muestras independientes			
	t	df	Sig. (2-tailed)
Tiempo de secado EA y E 4.0	3,755	4	0,02

Nota. t: estadístico de prueba df: grado de libertad Sig. (2-tailed): valor de significancia

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se modificó la estructura de soporte del secador rotatorio para facilitar la implementación de un nuevo cuadro de control y el cambio de motores. La modificación de la estructura de soporte del secador rotatorio ha sido una solución exitosa para mejorar la estabilidad del secador rotatorio además de mantener los motores en el lugar adecuado.

Para controlar la velocidad de giro del tanque del secador rotativo, se reemplazó el motor monofásico por un motor trifásico, apoyado por un variador de frecuencia. El reemplazo del motor monofásico por un motor trifásico y variador de frecuencia ha sido una solución efectiva para mejorar la flexibilidad del equipo, para el secado de maíz 7 rpm es lo adecuado, siendo que el equipo expulsa menor cantidad de residuos (granos molidos) debido al diseño del secador. Esta iniciativa demuestra que la inversión en nuevas tecnologías es esencial para mejorar la calidad de los procesos de producción.

Se cambió el Blower (soplador), por un Blower controlable mediante un variador de frecuencia que permitió regular el flujo de aire que ingresa en el proceso de secado. El cambio del Blower ha permitido regular de manera más precisa el flujo de aire que ingresa en el proceso de secado del equipo. Esta solución ha mejorado significativamente la calidad del proceso de secado, reduciendo el tiempo de secado

Se implementó un control de temperatura mediante la adquisición de datos con un sensor de manera que la temperatura en el proceso se mantenga lo más estable posible frente a distintas perturbaciones en 50°C sin que el producto sufra cambios. Esta implementación ayuda a secar el grano preservando las propiedades internas del grano, siempre y cuando no se exceda la temperatura recomendada (60°C).

Se desarrolló la programación que permitió la adquisición de datos, el control y la monitorización de las variables que se controlan en el proceso se ha logrado recopilar información en tiempo real, lo que ha permitido mejorar el control de las variables y optimizar el proceso en su conjunto, lo que ha llevado a una disminución en el tiempo de inactividad y un aumento en la eficiencia general del proceso.

Se desarrollaron pruebas en el equipo implementado con tecnología 4.0, lo que permitió comparar con los datos recopilados de prácticas desarrolladas con el mismo equipo previo a las modificaciones, encontrando una evidente mejora en la flexibilidad y en el rendimiento equipo.

Las técnicas utilizadas permiten separar los indicadores para los dos equipos que son los del equipo anterior (antes de la intervención 4.0) y los del equipo intervenido con tecnología 4.0. Se observa una diferencia muy marcada entre el porcentaje de humedad y el caudal de aire, la correlación es muy alta entre estos indicadores y es inversa. Es decir, al incrementarse el caudal en el equipo intervenido con tecnología 4.0 se redujo el porcentaje de humedad. T_s y T_w están altamente correlacionadas en todas las pruebas del equipo 4.0 lo que evidencia que el equipo 4.0 se comporta de manera estable, lo cual se logra con la mejora de los sistemas de control implementados (PLC, sensores, resistencias eléctricas, variador de frecuencia y el blower)

El p-valor en la prueba t student evidencia que hay diferencia en las medias de los tiempos de secado para las dos condiciones del secador (antes y después de la implementación de la tecnología 4.0). Los tiempos de secado son menores cuando se implementó esta tecnología 4.0.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un estudio de pérdidas de flujo másico en el tambor rotativo debido a su deficiencia en el diseño del equipo.
- Realizar pruebas de secado en otros granos, con el fin de contrastar con los resultados estadísticos obtenidos en este estudio.
- Aumentar una función que permita al usuario seleccionar un producto y se carguen automáticamente parámetros recomendados a manera de receta
- Hacer un estudio completo para evaluar las pérdidas tanto de calor como las pérdidas de masa existentes y proponer modificaciones de su estructura.
- Incrementar el tamaño del sistema instalado en el secador, expandiéndolo hacia otros equipos, con el fin de tener un laboratorio de última tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, A., & Aldaz, M. (2014). *Diseño y construcción de un secador rotatorio para la obtención de escamas pet*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Alburqueque, M. (2021). *Conversor resonante con control de voltaje de entrada y de salida empleado como fuente de alimentación en aplicaciones de generación de ozono*.
- Arellano, E., & Bautista, J. (2021). *Automatización del proceso de insoladora de marcos textiles para control de calidad utilizando visión artificial en la empresa El Greco*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Bahmanyar, D., Razmjoo, N., & Mirialili, S. (2022). Multi-objective scheduling of IoT-enabled smart homes for energy management based on Arithmetic Optimization Algorithm: A Node-RED and NodeMCU module-based technique. *Knowledge-Based Systems*, 247. <https://doi.org/108762>
- Borja, E. (2020). *Diseño De Una Arquitectura Usando El Protocolo Message Queue Telemetry Transport* (Matt). <http://dSPACE.espace.edu.ec/bitstream/123456789/14099/1/20T01337.pdf>
- Briones, X., & Guanoluisa, M. (2011). *Alternativas de evaluación del lenguaje en niños pre escolares*. Universidad Nacional de Chimborazo: <http://dSPACE.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7646/1/06678.pdf>
- Cengel, Y., & Boles, M. (2005). *Termodinámica IV*. Enseñanza De La Ingeniería Térmica Y De Fluidos.
- Cervera, M. (2020). *Diseño y simulación de un convertidor AC/DC para la alimentación de un ordenador portátil*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cevallos, V. (2016). Industria 4.0, la gran oportunidad. *Economía Aragonesa*, 109.
- Contreras, J. (2005). Modulación por ancho de pulso (PWM) y modulación vectorial (SVM). Una introducción a las técnicas de modulación. *El hombre y la Máquina*, 25, 70-83.
- Data, C. (2021). *COPA-DATA ¿Qué es el IoT y el IIoT?* <https://www.copadata.com/es/productos/platform-editorial-content/que-es-el-iiot-y-el-iiot-copa-data/>
- Dintén, R., Yebenes, J., López, P., Zorrilla, M., & Drake, J. (2019). *Arquitectura de referencia para soporte de Industria 4.0 basada en tecnología big data*. Jornadas de tiempo real.
- Echeverry, D. (2010). *Diseño y simulación de la automatización de un secador electromecánico de café*. The NEFE quarter century project: Implications for researchers, educators, and policy makers from a quarter century of financial education: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.03.004> <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2010.01.004> <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/12/42> <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2009.11.005> <http://www.sciencemag.org/content/323/5911/240.short>
- Eclipse Mosquito. (2017). *MQQT*. <https://mosquitto.org/>
- Fábregas, F. (2020). Aprender Raspberry Pi 4 con 100 ejercicios prácticos. *Marcombo*. <https://doi.org/97884267-2776-3>

- Fernández, L. (2022). *Control de un relé de estado sólido mediante una aplicación Qt empleando Ethernet y Bus CAN.*
- Fuentes, A., & Pinto, O. (2019). *Diseño de controlador PID para prototipo de máquina de secado de café y/o cacao para la empresa Penagos Hermanos.*
- Hawking, S. (2018). *Organización de la materia.*
- Lascano, S. (2017). *Sistema de control y monitoreo para evitar hipertermia y deshidratación en las personas que realizan actividad física. .* <https://doi.org/110265,197>
- Martillo, D., & Zambrano, E. (2015). *Diseño De Aplicaciones De Sistemas Embebidos Basados En: Tecnología Raspberry-Pi Y Odroid-U3.* <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/11409/1/UPS-GT001580.pdf>
- McCabe, W. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9).
- Mora, A. (2016). *Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao con capacidad de 3 toneladas diarias para la producción nacional.* Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Oinonen, R. (2022). *TIA Portal WinCC Advanced HMI-päivitys.*
- Piñón, P. (2019). *Diseño de una interfaz gráfica de usuario para el control de un motor trifásico por medio de un variador de frecuencia.* Instituto Politécnico Nacional.
- Sanchon, M. (2018). Los pilares de la industria 4.0. *Revista de negocios del IEEM. Revista de negocios*, 46-54.
- Weg, M. (2021). *W50 Motor Trifásico. Catálogo Técnico - Mercado Internacional.* <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h1d/h3d/WEG-w50-motor-electrico-trifasico-50005368-brochure-spanish-web.pdf>

ANEXOS

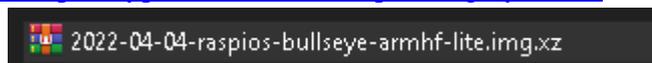
Anexo 1. Instalación del raspberry pi os Lite con comunicación ssh

Es necesario disponer de una sd superior a 8Gy un lector de SD

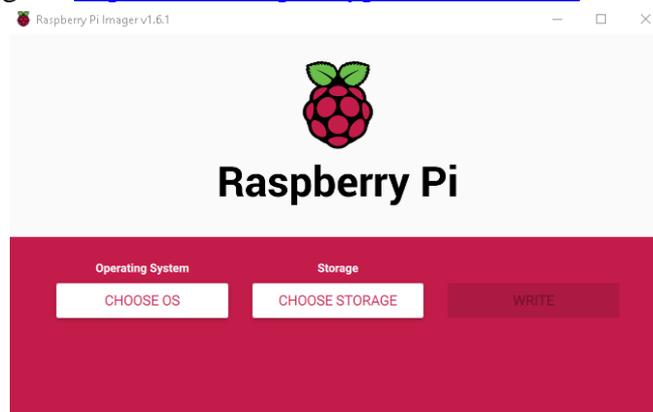
Una vez conectada la SD al ordenador

1. Descargar programa e imagen de sistema operativo

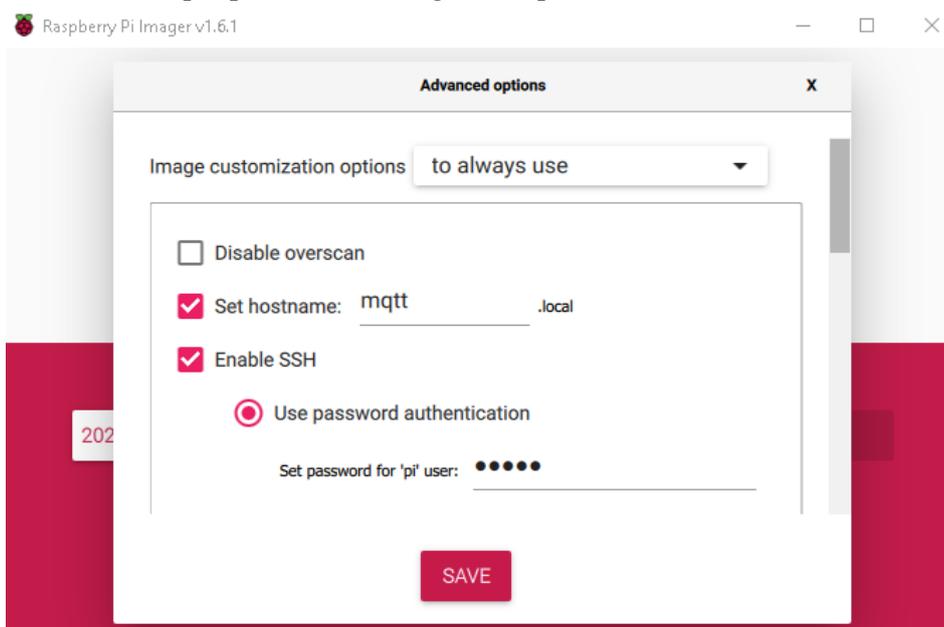
SO: <https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>



Raspberry-PI imagen : <https://www.raspberrypi.com/software/>



2. Estando en el programa para darclick en “Choose OS” y seleccionar “use custom”, en el cuadro que aparece dirigirse a la ruta en la que se descargó la imagen y seleccionarla
3. En “choose storage” seleccionar la unidad SD en la que queremos gravar el SO
4. Presionar el siguiente comando de teclas “CTL+ SHIFT + X”, aparecerá la siguiente ventana, en la que podremos configurar el protocolo de comunicación ssh



Nota: en” Set hostname:”se escribe la dirección que vamos a utilizar para comunicarnos y en” Set password for ‘Pi’ user:” se debe escribir una contraseña, que MÁS delante usaremos, en este caso se utilizó “unach”

5. Finalmente dar en WRITE
6. Insertar SD en Raspberry, verificar que el cable ethernet esté conectado y energizar la raspberry

Para comunicarnos con la raspberry:

1. Abrir el símbolo del sistema Presionando “Win + R” y escribiendo “cmd” y presionar Enter
2. Aquí escribir “ssh pi@mqtt.local” (**opcional:** pi@172.30.7.28)
3. Aparecerá un dialogo que tendremos que responder escribiendo “yes” y dando entre
4. Pedirá la contraseña que anteriormente asignamos en este caso es “Unach01”
5. Seguido de esto al final aparecerá una línea como esta

```
pi@mqtt:~ $
```

6. En esta línea se puede observar que estamos dentro de la raspberry mediante el protocolo ssh

Anexo 2. Configuración MQTT

Verificar que nos encontramos en la versión 11 (bullseye), con el comando lsb_release -a

```
pi@mqtt:~/mosquitto $ lsb_release -a
No LSB modules are available.
Distributor ID: Raspbian
Description: Raspbian GNU/Linux 11 (bullseye)
Release: 11
Codename: bullseye
```

Opcion 1	Option 2
sudo apt-get update	sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade	sudo apt-get upgrade
sudo snap install mosquitto	sudo apt-get install mosquitto
sudo apt-get install snap	sudo apt-get install
sudo apt --fix-broken install	

mosquitto -v

```
pi@mqtt:~ $ mosquitto -v
1658035155: mosquitto version 2.0.11 starting
1658035155: Using default config.
1658035155: Starting in local only mode. Connections will only be possible from clients running on this machine.
1658035155: Create a configuration file which defines a listener to allow remote access.
1658035155: For more details see https://mosquitto.org/documentation/authentication-methods/
1658035155: Opening ipv4 listen socket on port 1883.
1658035155: Error: Address already in use
1658035155: Opening ipv6 listen socket on port 1883.
1658035155: Error: Address already in use
```

cd /etc/mosquitto/
sudo nano mosquitto.conf

Place your local configuration in /etc/mosquitto/conf.d/
#
A full description of the configuration file is at
/usr/share/doc/mosquitto/examples/mosquitto.conf.example
pid_file /run/mosquitto/mosquitto.pid
persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/
log_dest file /var/log/mosquitto/mosquitto.log

```

log_type all
log_timestamp true
include_dir /etc/mosquitto/conf.d
listener 1883
allow_anonymous true

```

```

pi@mqt: /etc/mosquitto
GNU nano 5.4 mosquitto.conf
# Place your local configuration in /etc/mosquitto/conf.d/
#
# A full description of the configuration file is at
# /usr/share/doc/mosquitto/examples/mosquitto.conf.example

pid_file /run/mosquitto/mosquitto.pid

persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/

log_dest file /var/log/mosquitto/mosquitto.log

include_dir /etc/mosquitto/conf.d
listener 1883
allow_anonymous true

```

Para salir presionar Ctrl + X y responder con “Y “seguido presionar enter
sudo systemctl restart mosquitto

El siguiente comando permite crear usuarios y contraseñas para la comunicación, a pesar de que el servidor si permite la comunicación anónima, es una configuración requerida

Tomando la siguiente estructura:

```

sudo mosquitto_passwd -c /etc/mosquitto/passwd "USUARIO"
enseguida pedirá que ingresemos una contraseña en este caso:
sudo mosquitto_passwd -c /etc/mosquitto/passwd PLCsim

```

```

pi@mqt:/etc/mosquitto $ sudo mosquitto_passwd -c /etc/mosquitto/passwd pi
Password:
Reenter password:

```

No aparecerá lo que se escriba sin embargo hay que introducir la clave de manera correcta, hacer este proceso tantas veces como usuarios requerimos

Us:PLCsim	Us:pi
Pass:unach	Pass:py01

Y para terminar el siguiente comando reinicia el servicio en la raspberry pi:
sudo systemctl restart mosquitto

Para más información acudir al siguiente link:

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/configurar-mosquitto/>

Anexo 3. Instalación de mosquito

Una vez que estemos conectados por ssh a la raspberry creamos una carpeta dentro de la ya creada “Lab”, solo para mantener el orden en los ficheros

- mkdir Brocker
- cd Brocker
- nano docker-compose.yml

```

pi@mqt: ~/lab/BROKER $ cd ..
pi@mqt: ~/lab $ mkdir Brocker
pi@mqt: ~/lab $ cd Brocker/

```

En esta pantalla que nops aparece es el editor de texto “nano” de sistema Linux, en el mismo se pega el siguiente código

version: "3"

services:

 mosquitto:

 image: eclipse-mosquitto

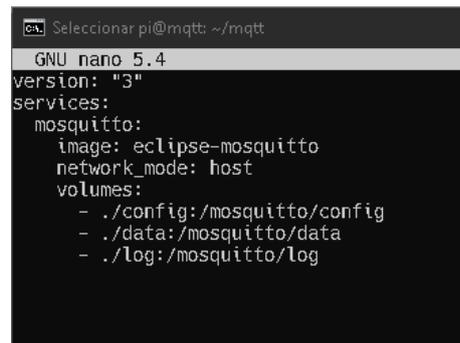
 network_mode: host

 volumes:

 - ./config:/mosquitto/config

 - ./data:/mosquitto/data

 - ./log:/mosquitto/log



```
Seleccionar pi@mqtt: ~/mqtt
GNU nano 5.4
version: "3"
services:
  mosquitto:
    image: eclipse-mosquitto
    network_mode: host
    volumes:
      - ./config:/mosquitto/config
      - ./data:/mosquitto/data
      - ./log:/mosquitto/log
```

Para salir presionamos “Ctl + x ” y luego respondemos con una ‘y’ y verificamos que el nombre del archivo este bien escrito “Docker-compose.yml”

Creemos 3 carpetas dentro del directorio lab/Brocker/

- mkdir config data log

- cd config 

- nano mosquitto.conf

La configuración que debemos introducir es la siguiente, en este caso no se requiere autenticación, ya que es un sistema didáctico

```
persistence true
```

```
persistence_location /mosquitto/data/
```

```
log_dest file /mosquitto/log/mosquitto.log
```

```
listener 1883
```

```
allow_anonymous true
```

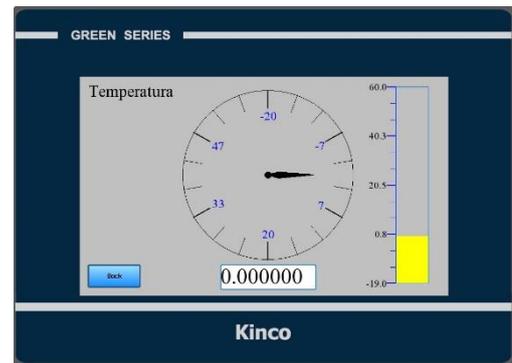
Nota: la sección “allow_anonymous true”, se utiliza para evitar que los usuarios que se conecten requieran autenticación, de ser necesario recomiendo seguir los pasos explicados en la siguiente pagina: <https://www.zonagadget.com/broker-mqtt-en-docker-con-mosquitto-broker/>

Se graba de igual manera que en el caso anterior con “Ctrl + x” y después ‘Y’ ahora retrocedemos un directorio y ejecutamos el archivo empaquetado docker

- cd ..

- docker-compose up -d

Anexo 4. Pantallas HMI



Anexo 5. Interfaz de usuario en Node-red

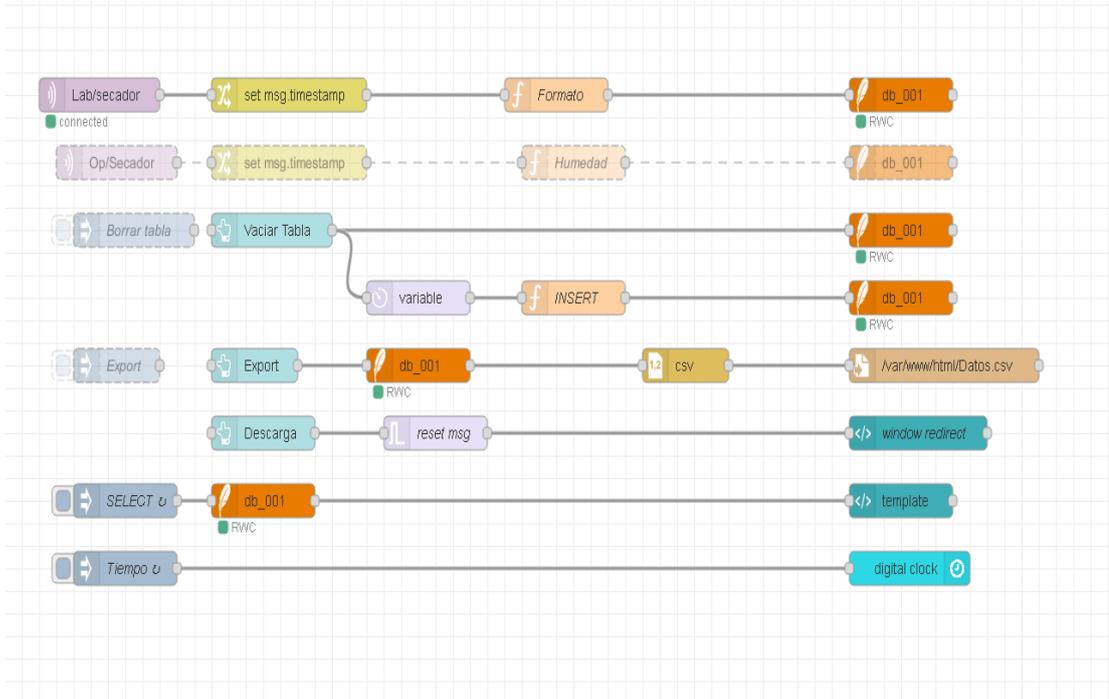
Datos de secado

DESCARGA EXPORT VACIAR TABLA

23:36:00

Index	Tiempo	Temperatura	Humedad
0	1679840718204	18.9671	57.969
1	1679840658157	18.9671	57.969
2	1679840598150	18.9671	57.969
3	1679840538140	18.9671	57.969
4	1679840478132	18.9671	57.969
5	1679840418129	18.9671	57.969
6	1679840358118	18.9671	57.969
7	1679840298114	18.8342	57.974
8	1679840238101	18.8498	57.969
9	1679840178093	18.8342	58.12
10	1679840118084	18.8342	58.14
11	1679840058077	18.8342	58.14
12	1679839998070	18.8342	58.14
13	1679839938058	18.8342	57.99
14	1679839878051	18.8381	58.14
15	1679839818041	18.8342	58.14
16	1679839758039	18.8342	58.14
17	1679839698085	18.8342	58.14
18	1679839638029	18.8342	58.14
19	1679839578010	18.8342	58.16
20	1679839518009	18.8342	58.14
21	1679839457996	18.8342	58.14
22	1679839397988	18.8264	58.31
23	1679839337979	18.7599	58.225

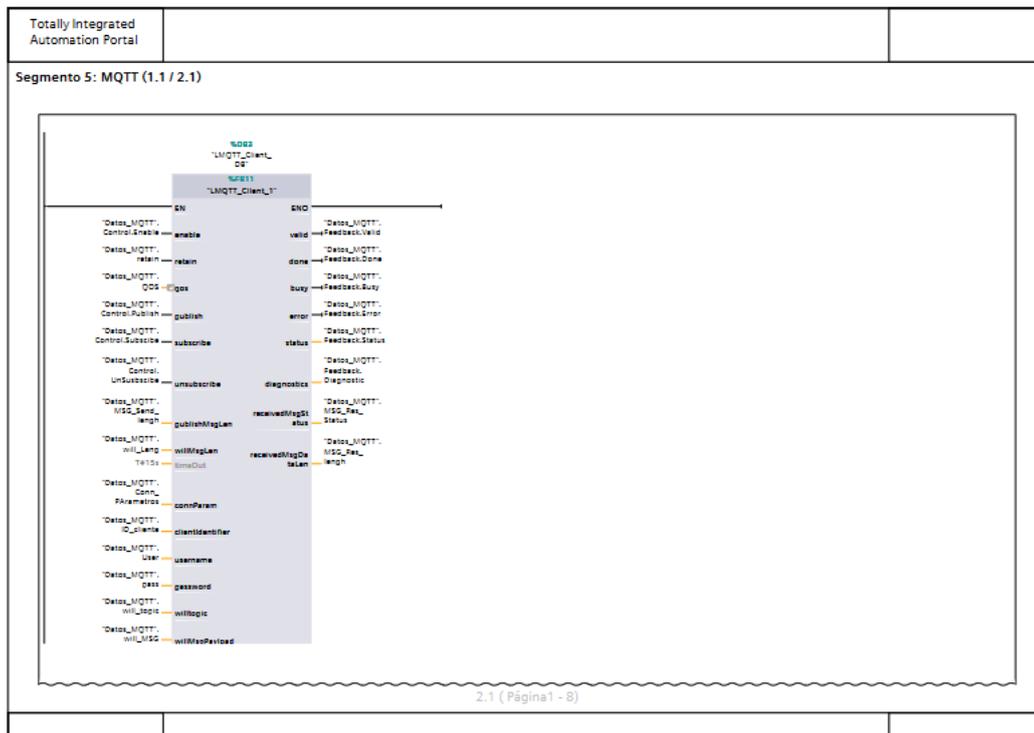
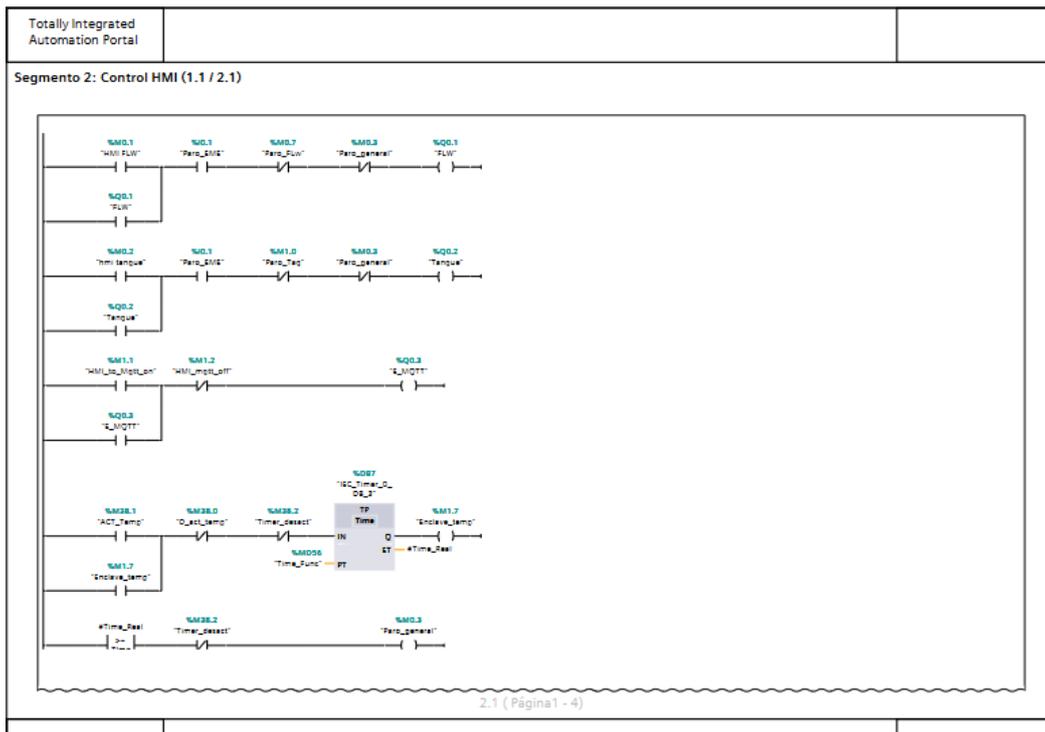
Anexo 6. Programación del Node-red



Anexo 7. Codificación en TIA PORTAL V16

Totally Integrated Automation Portal								
Plc_lader / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC] / Bloques de programa								
Datos_MQTT [DB1]								
Datos_MQTT Propiedades								
General								
Nombre	Datos_MQTT	Número	1	Tipo	DB	Idioma	DB	
Numeración		Automático						
Información								
Título		Autor		Comentario		Familia		
Versión	0.1	ID personalizado						
Datos_MQTT								
Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA/Web API	Escribible desde HMI/OPC UA/Web API	Visible en HMI Engineering	Valor de ajuste	Comentario
▼ Static								
▼ Conn_PArámetros	"LMQTT_type-ConnParam_1"		False	True	True	True	False	
hwid	HW_ANY	0	False	True	True	True	False	
connid	CONN_OUC	10	False	True	True	True	False	
▼ brokerAddress	Struct		False	True	True	True	False	
qdnAddress	String	"	False	True	True	True	False	
▼ ipAddress	IP_V4		False	True	True	True	False	
▼ ADDR	Array[1..4] of Byte		False	True	True	True	False	IPv4 address
ADDR[1]	Byte	172	False	True	True	True	False	IPv4 address
ADDR[2]	Byte	30	False	True	True	True	False	IPv4 address
ADDR[3]	Byte	7	False	True	True	True	False	IPv4 address

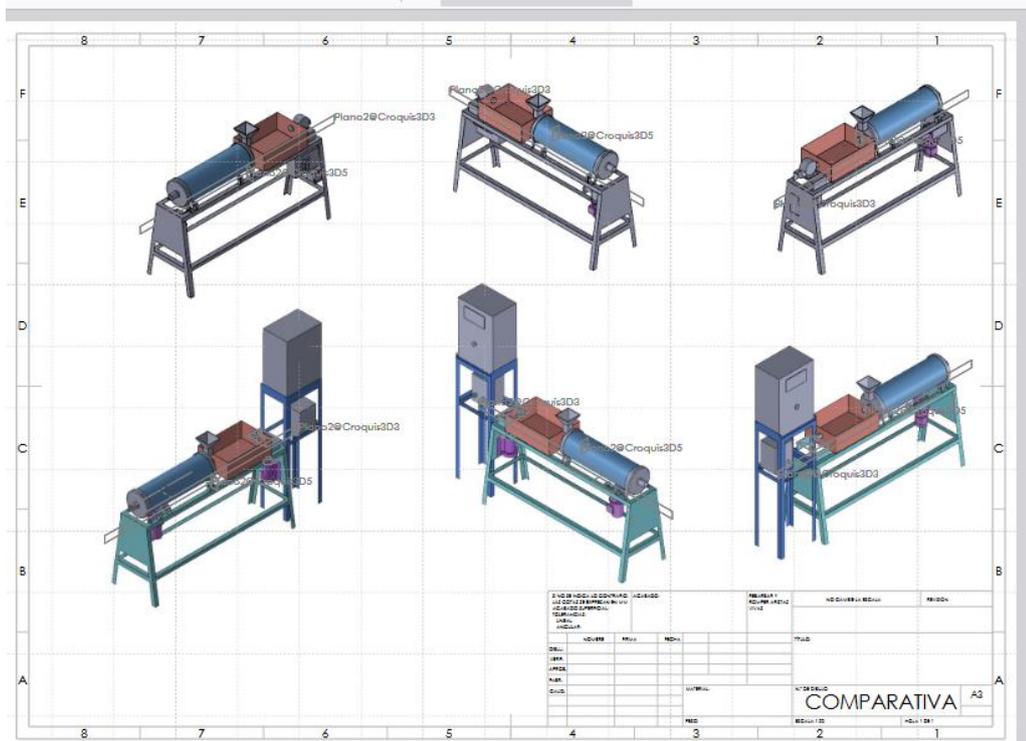
Anexo 8. Programación principal PLC



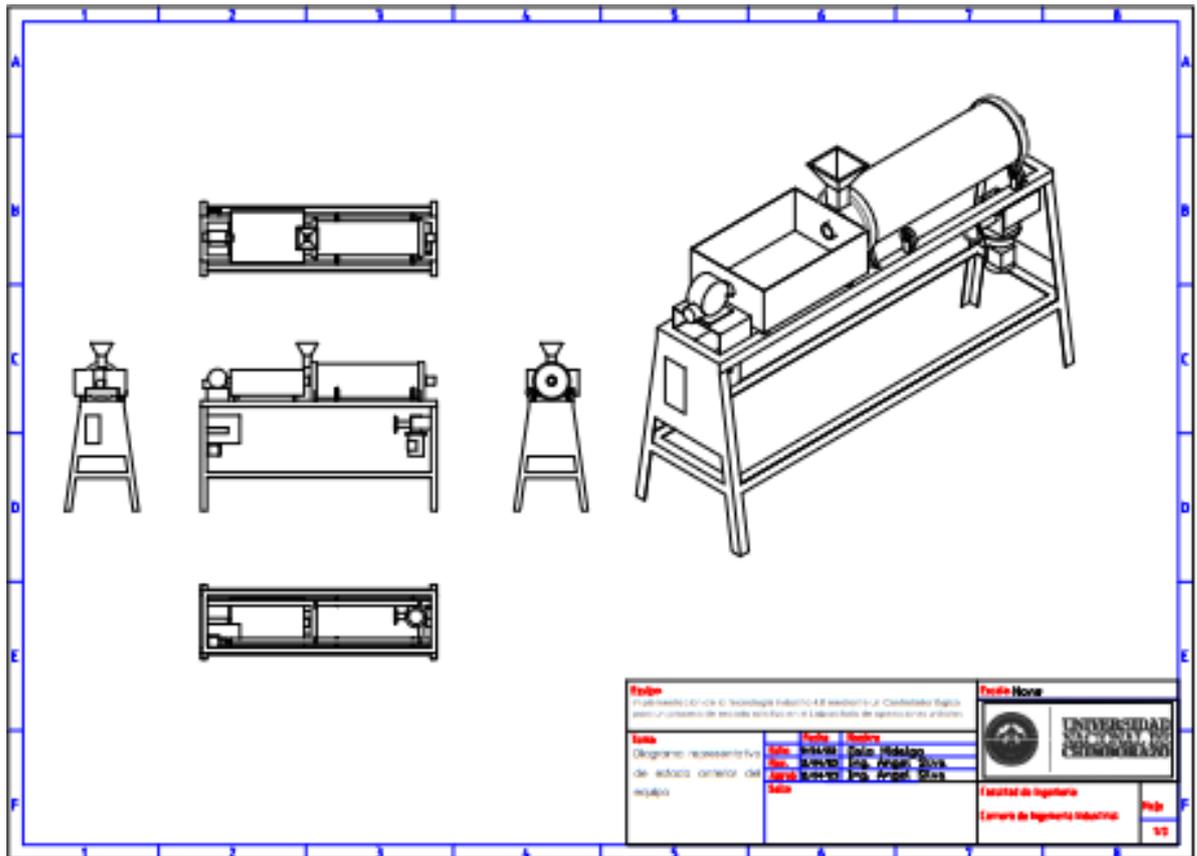
Anexo 11. Variables utilizadas

Totally Integrated Automation Portal								
Plc_lader / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/DC]								
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
❏ Sens_Hum	Int	%IW64	False	True	True	True		
❏ Sens_Temp	Int	%IW66	False	True	True	True		
❏ Faro_EME	Bool	%IO.1	False	True	True	True		
❏ FLW_selector	Bool	%IO.0	False	True	True	True		
❏ out_PWM	Bool	%QO.0	False	True	True	True		
❏ FLW	Bool	%QO.1	False	True	True	True		
❏ Sal_an_FLW	Word	%QW98	False	True	True	True		
❏ Sal_an_Tanque	Int	%QW96	False	True	True	True		
❏ Tanque	Bool	%QO.2	False	True	True	True		
❏ E_MQTT	Bool	%QO.3	False	True	True	True		
❏ pasoT	Real	%MD20	False	True	True	True		
❏ pasoH	Real	%MD40	False	True	True	True		
❏ L_hume	Real	%MD12	False	True	True	True		
❏ L_Temp	Real	%MD30	False	True	True	True		
❏ Faro_Res	Bool	%MO.6	False	True	True	True		
❏ Resist_On	Bool	%MO.5	False	True	True	True		
❏ Sal_Hmi_Resis	Int	%MW2	False	True	True	True		
❏ HMI_FLW	Int	%MW6	False	True	True	True		
❏ paso1	Real	%MD18	False	True	True	True		
❏ HMI FLW	Bool	%MO.1	False	True	True	True		

Anexo 12. Comparativa



Anexo 13. Ensamble anterior



Anexo 14. Ensamble final

