

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL DE LOS
PROCESOS DE ESTERILIZACIÓN Y CLARIFICACIÓN EN LA PLANTA
EXTRACTORA DE PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE OROCUE
CASANARE**

OSCAR ENRIQUE LEMUS PEREZ

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS EEST
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA**

DICIEMBRE DEL 2022

**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MONITOREO Y CONTROL DE LOS
PROCESOS DE ESTERILIZACIÓN Y CLARIFICACIÓN EN LA PLANTA
EXTRACTORA DE PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE OROCUE
CASANARE**

OSCAR ENRIQUE LEMUS PEREZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Director: Magister DIEGO ALFONSO PELAEZ CARRILLO

**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIAS EEST
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, DICIEMBRE DEL 2022**

DEDICATORIA

Este trabajo de grado esta dedico a Dios quién me guio y me dio fuerzas para seguir adelante y no desfallecer ante las adversidades. A mi madre Yolima Perez y padre Helver Lemus que durante toda mi vida han forjado en mí, Valores, Virtudes y son el mejor ejemplo de responsabilidad y dedicación, a mi hermana Diana Lemus y hermano Mauricio Lemus quien siempre confiaron en mis ideas y siempre han estado en los momentos difíciles demostrándome cariño. A mis compañeros y amigos quienes son y fueron un apoyo en las buenas y en las malas y por último a todos los docentes que hicieron parte en la formación de mi carrera en especial a Diego Alfonso Peláez, docente que confió en mis capacidades y me dio la oportunidad de realizar este proyecto junto su dirección, de haber sido constante, y siempre dar ese apoyo en los momentos más difíciles y un gran apoyo personal y profesional,

A mis compañeros y amigos, Carlos Abril, Edwin Guerrero y Diego Riveros

A mi director, Diego Peláez

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos a la empresa industrial aceitera del Casanare S.A por permitir realizar estas pasantías y por confiar en mis conocimientos, al jefe de mantenimiento eléctrico Brahayan Ricardo Diaz por brindarme sus conocimientos y recibir todo su apoyo, a mis compañeros de trabajo Milton Angarita, John Supanteve por estar siempre hay para realizar todo lo necesario y que todo saliera de la mejor manera.

RESUMEN

La automatización es un proceso que busca la eficiencia de los procesos, contribuyendo a aumentar la productividad en las organizaciones, además de reducir los costos de producción y mejorar la calidad del producto, para lo cual la planta extractora de palma de aceite en el municipio de Orocué Casanare se traza como objetivo principal implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma, siendo estos procesos elementales en su producción. Mediante esta investigación se muestra y explica los procesos automatizados durante la práctica realizados con la digitalización y medición de variables tales como la temperatura, presión y nivel de llenado de diferentes tanques presentes en el proceso. Este proyecto es relevante en la empresa porque permite construir un sistema automatizado que responda al valor de las variables digitalizadas facilitando el trabajo, a su vez se reducen los tiempos en los procesos, costos administrativos y operativos.

Palabras clave: Instrumentación, automatización, palma de aceite, esterilización, clarificación y monitorización.

ABSTRACT

Automation is a process that seeks to optimize the efficiency of processes, it will contribute to increasing productivity in organizations, in addition to reducing production costs and improving product quality, for which the oil palm extraction plant in the municipality de Orocué Casanare's main objective is to implement monitoring and control systems in the sterilization and clarification processes of palm oil, these being elementary processes in its production. Through this investigation, the automated processes are shown and explained during the practice carried out with the digitization and measurement of variables such as temperature, pressure and fill level of different tanks present in the process. This project is relevant in the company because it allows the construction of an automated system that responds to the value of digitized variables, facilitating work, while reducing process times, administrative and operational costs.

Keywords: Instrumentation, automation, oil palm, sterilization, clarification and monitoring.

ÍNDICE GENERAL

Introducción.....	12
1. Justificación.....	16
2. Delimitación.....	18
2.1 Objetivo general	18
2.2 Objetivos específicos	18
2.3 Acotaciones.....	18
3. Cargo desempeñado pasantía.....	20
4. Marco teórico.....	21
4.1. Estado del arte	32
5. Metodología.....	34
6. Resultados	35
6.1 Tipos de supervisión y control en procesos de esterilización y clarificación	35
6.2 Monitoreo de variables de temperatura y presión en procesos industriales de extracción de aceite	40
6.3 Sistemas de control en los procesos de esterilización y clarificación.....	43
6.4 Validación del sistema de monitoreo y control	46
6.5 Análisis costo-beneficio del sistema de monitoreo y control.....	48
7. Análisis e impacto de los resultados y pasantía	51
8. Conclusiones.....	53
Referencias	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Actividades realizadas.....	33
Tabla 2. Dilución por volumen de aceite crudo contra aproximado de aceite por volumen en aceite crudo diluido.	37
Tabla 3. Tipos de termocuplas.....	40
Tabla 4. Equipos utilizados para detección de variables de esterilización y clarificación.....	43
Tabla 5. Equipos que intervienen en el modo llenado	44
TABLA 6. Equipos que intervienen en modo mantenimiento y modo proceso	45
Tabla 7. Costos de los equipos utilizados para el sistema de monitoreo y control.	50
Tabla 8. Porcentajes de parada.	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura usual de un sistema automatizado.	20
Figura 2. Esquema del proceso de extracción de aceite de palma. Tomado de GREPALMA (2019, p. 17).	25
Figura 3. Comportamiento en tiempo real de PIA y caracterización de proveedores de fruto. Tomado de Fedepalma (2019, p.113).	26
Figura 4. Disminución de la pérdida total de aceite. La imagen de la izquierda muestra la actividad de una planta que no ha automatizado sus procesos y la de la derecha se encuentra automatizada. Tomado de Jaya y Sánchez (2017) ...	27
Figura 5. Eficiencia en producción relacionada con el beneficio. Se observa que aumenta la eficiencia de producción por medio de sistemas automatizados. Tomado de Rincón (2010).....	28
Figura 6. Esterilizadores de planta extractora de palma. Tomado de Rincón (2010).....	29
Figura 7. Proceso de clarificación. Tomado de Rincón (2010).	29
Figura 8. Sistema de control del esterilizador. Tomado de Llm (1998) [30].....	39
Figura 9. Termocuplas instaladas en el sitio de medición. Registro fotográfico. ..	41
Figura 10. Transmisor de presión instalado. Registro fotográfico	41
Figura 11. Variables monitoreadas en el proceso de esterilización. Registro fotográfico tomada a la pantalla de medición.	42
Figura 12. Variables monitoreadas en el proceso de clarificación. Registro fotográfico.....	43
Figura 13. Izquierda: Tanque sedimentado. Derecha: Sensor final de carrera. Registro fotográfico.	46
Figura 14. Funcionamiento del lazo de control del proceso de clarificación. Elaboración propia.	47
Figura 15. Nivel de la columna de vacío. Registro fotográfico.....	47
Figura 16. Izquierda: Gabinete ccm para el control de PLC. Derecha: Pruebas de temperatura a las termocuplas tipo K instaladas. (Ver planos eléctricos del anexo 2 para visualizar las señales de entrada). Registro fotográfico.	49

Introducción

La pasantía tiene como objetivo implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma en la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare S.A. Esta es una empresa que inicia operaciones a finales del año 2016, y se dedica a la producción, extracción y comercialización del aceite crudo de palma, aceite de palmiste y subproductos como torta de palmiste y cascarilla.

Aceitera del Casanare S.A., ofrece productos tanto en el mercado nacional como en el internacional. Desde el inicio de sus operaciones se ha buscado ser una empresa competitiva, dinámica, innovadora y eficiente, que garantice cada uno de los procesos implementados, además se busca que los recursos utilizados sean eficientes, adoptando buenas prácticas ambientales y sociales.

Las actividades y procesos llevados a cabo en la planta extractora se caracterizan por ser innovadores y tecnológicos en cuanto a la optimización de la mano de obra, la limpieza, además de lo relacionado con la parte estética de las instalaciones y áreas físicas.

Asimismo, es fundamental la adición e implementación de nuevos equipos y procedimientos en los procesos, siendo importante destacar que el tipo de esterilización es única en Latinoamérica, asimismo que la adición del sistema de pre-digestión y el sistema de fracturado o acondicionamiento de racimos de fruta fresca (RFF).

Estas son particularidades que a la empresa le ha permitido alcanzar un reconocimiento en la agroindustria de la palma aceitera como una planta innovadora y comprometida con el mejoramiento continuo de sus procesos.

La empresa con la implementación proyecta disminuir considerablemente los costos de producción, ya que en investigaciones previas la automatización muestra una reducción en los costos del ciclo de vida o aumento en la eficiencia del combustible. Los sistemas de automatización en las plantas son una tarea

importante dentro del tema de reducción de costo o reducción de gastos en los procesos. Por tanto, es necesario considerar toda la cadena de diseño, producción, implementación, operación, mantenimiento y reconfiguración o reciclaje [1]

En este sentido, vale mencionar que algunos componentes de un sistema pueden bajar sus costos si se optimizan de manera adecuada, reduciendo los gastos de reconfiguración y/o mantenimiento. Las tecnologías de control experimentan un desarrollo significativo impulsando el progreso de los sistemas, implementando sensores y actuadores innovadores, con el fin de buscar rendimiento de los sistemas integrados para el control, aumentando la eficiencia en el uso de las máquinas y combustible [1].

La planta extractora Industrial Aceitera del Casanare posee un sistema de funcionamiento que hasta el momento ha permitido cumplir con las demandas solicitadas. Sin embargo, se han identificado problemas en el desarrollo de varios de los procesos debido a que el sistema actual es antiguo.

No obstante, aunque este permite cumplir con las peticiones realizadas, con las debidas actualizaciones, los márgenes de utilidad mejorarían considerablemente al implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de producción, además se optimizarían tanto los gastos como el tiempo, potencializando el funcionamiento de procesos y aumentando la eficiencia.

Ahora bien, es primordial para la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare automatizar los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma, donde se puedan monitorear variables tales como la temperatura y presión, debido a que partir de esta información se puedan diseñar sistemas de control para mantener un rango de presión y temperatura, que contribuya a mejorar la cantidad y calidad de producción. Además, se optimizarían los gastos y el tiempo, logrando potencializar el funcionamiento de los procesos y por ende aumentar la eficiencia.

Por consiguiente, la empresa a lo largo de su existencia ha realizado auditorias y revisiones internas de cada uno de los procesos realizados. Para lo cual, fue importante realizar mi práctica, todo con el fin de dar inicio a un proceso modernización y actualización en los procesos de la planta con sistemas automatizados, concretamente se busca un aumento en la eficiencia en los procesos de esterilización y clarificación.

Para esto, la empresa solicita iniciar un proyecto de automatización, y es allí donde la pasantía cobra sentido para que sean implementados sensores, sistemas de control y demás herramientas que conllevan a la automatización de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare.

Este documento se encuentra compuesto inicialmente por la justificación de la problemática identificada y necesidades en la planta extractora, que pudiera dar solución a partir de ingeniería electrónica, posteriormente se encuentra la delimitación del problema.

En este sentido, el planteamiento se hace de manera precisa de los aspectos tenidos en cuenta en la práctica y en el desarrollo de la implementación de los sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare, siendo este el objetivo principal. Al igual se destaca el cargo desempeñado en la pasantía fue de “Eléctrico Líder”.

Más adelante se abordan el marco teórico, donde se fundamenta teóricamente el tema objeto de estudio, además de obtener mayor conocimiento de los elementos que deben contemplarse para desarrollar la investigación de práctica, seguido de los antecedentes investigativos o estado del arte. Después se relacionan las actividades desarrolladas para poder cumplir cada objetivo específico en el apartado metodológico.

En el siguiente capítulo se desarrollan cada uno de los objetivos formulados para dar cumplimiento a la implementación de los sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación de la planta extractora de aceite,

para lo cual fue necesario identificar los tipos de supervisión y control utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.

Posteriormente, luego se realiza el monitoreo de las variables de temperatura y presión, para proceder a la aplicación de los sistemas de control a los estados de llenado, mantenimiento de los procesos y finalmente se realiza la validación del sistema de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación.

Completando, todo lo anteriormente descrito, se encuentra el apartado de análisis e impacto de los resultados y de la pasantía, que como su nombre lo indica se hace un análisis sobre los resultados obtenidos, considerando el cumplimiento de la automatización realizado a través de la instalación y control de las diferentes variables presentes en los procesos de clarificación y esterilización de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare.

Finalmente, se encuentran las conclusiones, que muestran los aportes alcanzados en el transcurso de la pasantía, para dar cumplimiento al objetivo principal, el cual consiste en la implementación de los sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación de la planta extractora de aceite.

1. Justificación

La planta extractora de palma de aceite busca obtener un mayor beneficio del proceso de extracción utilizado actualmente, ya que ha identificado varias fallas en el proceso. Debido a decisiones humanas cierta parte del producto generado es desperdiciado y desechado, aunque estos errores no deberían suceder en caso de que el protocolo se llevara adecuadamente.

En este sentido, es inevitable que en algún momento alguna distracción o en la toma de decisiones erróneas provoque que el proceso se vea comprometido que genere pérdidas en la empresa, sabiendo que éstas pueden ser controladas mediante la automatización de los procesos [2, 3].

Lo anterior indica que la planta extractora busca monitorear variables tales como la temperatura y presión, para mejorar la cantidad y calidad de producción. Además de monitorear el nivel del llenado de diferentes tanques, haciendo uso de un programa que permita apagar o encender las bombas conectadas a estos tanques, ya que se han presentado casos en los cuales las bombas siguen succionando después de haber recolectado todo el producto y por tanto succionan vacío que puede deteriorar o dañar la bomba [2, 3]

Por ende, se planea diseñar e implementar sistemas automatizados que permitan una mejor supervisión, control y manejo operativo de las plantas extractoras, generando una disminución de la intervención humana y, por tanto, los errores que se presentan a partir de dicha operación [4].

Sin embargo, para la implementación de estos sistemas es necesario conocer y monitorear varias variables, tales como la presión o temperatura para poder crear un sistema de control automatizado, que de acuerdo con las variables de entrada y la toma de decisiones se puedan implementar acciones programadas [4]

El primer paso hacia la automatización es el correcto monitoreo y digitalización de variables tales como la temperatura o presión en ciertos equipos de la planta. La identificación de las variables de entrada pertinentes en tiempo real, permite

diseñar un sistema de control automatizado que cumpla con ciertas necesidades de la planta extractora.

Sin embargo, para la implementación de estos sistemas es necesario conocer y monitorear varias variables, tales como la presión o temperatura para poder crear un sistema de control automatizado, que de acuerdo con las variables de entrada y la toma de decisiones se puedan implementar acciones programadas. Para la toma de mediciones existen dos tipos de herramientas, la directa y la indirecta. En la primera se mide la variable requerida directamente, es donde los conductores de carga son conectados de manera directa un equipo de medición.

En cambio, en la medición indirecta se toma mediante una variable diferente, la cual se consigue a partir de una fórmula de conversión y para ello se hace necesaria la “instalación de transformadores de corriente y transformadores de potencial o voltaje, los cuales se conectarán en la línea que vaya a ser medida, lo que permitirá que tanto la corriente como el voltaje sean reducidos a valores que se puedan medir con los equipos de medición que se disponen” [5].

Las mediciones directas e indirectas le permiten a la empresa tomar decisiones sobre el proceso, además de ofrecer ventajas respecto a otros en el mercado.

2. Delimitación

2.1 Objetivo general

Implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare.

2.2 Objetivos específicos

- Discriminar los **tipos de supervisión y control** utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.
- Monitorear las variables de temperatura y presión en los procesos de esterilización y clarificación.
- Aplicar sistemas de control a los estados de llenado, mantenimiento y proceso en los procesos de esterilización y clarificación en la planta extractora de aceite.
- Validación del sistema de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación en la planta extractora de aceite de palma.
- Realizar el análisis costo-beneficio del sistema de monitoreo y control de temperatura y presión propuesto, para la esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.

2.3 Acotaciones

El desarrollo del proyecto tiene una duración de 6 meses en las cuales se intervendrán los equipos de producción de la empresa con miras de cumplir los objetivos formulados. Cabe aclarar que el proyecto de grado estará limitado a las necesidades de la empresa, por tanto, es importante tener en cuenta que el presupuesto no es fijo, sino que este depende de lo que la empresa decida aprobar de acuerdo a lo que se solicite en el desarrollo del proyecto.

Por último, la herramienta computacional a usar va a ser la desarrollada por los fabricantes del PLC que se seleccionen, por el momento la empresa viene usando PLC de la empresa Allen Bradley, en dado caso de que se siguiera

usando el mismo, se podría trabajar con el Conected Component Workbench, utilizado para la automatización de procesos industriales.

3. Cargo desempeñado pasantía

El cargo desempeñado en la pasantía realizada en la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare es Eléctrico Líder. Participaron del proceso el personal de mantenimiento eléctrico, entre los que se encuentra el jefe de Mantenimiento, junto con tres eléctricos que apoyaron el proyecto, cada uno se encontraban en turnos de 8 horas.

El líder eléctrico tiene como funciones:

- Ensamblar tableros eléctricos según diseño y especificación técnica.
- Montar instalaciones eléctricas internas.
- Manejar redes eléctricas según normativa.
- Programar equipos de control de acuerdo con diseño de automatización y comunicación industrial.
- Mantenimiento en motores eléctricos trifásicos.

4. Marco teórico

Para implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma de la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare, se requiere tener presente el concepto de automatización considerando que es fundamental en la industria.

Lo anterior, es necesario porque a partir de la configuración de equipos y/o herramientas automatizadas se realizan procesos o tareas que contribuyen a la capacidad de ahorro de tiempo y dinero, además de asegurar precisión en las mediciones y variables que están configuradas para realizar actividades específicas, como es el caso de esta práctica.

Como punto de referencia, la automatización se implementó en inicios del siglo XX y su finalidad ejecutar un proceso a partir de acciones repetitivas mediante equipos, máquinas o elementos mecánicos y electromecánicos que están configurados para realizar una tarea específica que contribuye de gran manera a que los procesos sean más efectivos, eficaces, al igual que haya rapidez en dicho proceso [6].

Además, a partir de los procesos automatizados se obtiene reducción en tiempos y costos en la producción empresarial y por tanto, en el recurso humano. Es muy importante en aquellos casos donde el personal se encuentra realizando actividades peligrosas, por tanto, la automatización juega un gran papel en la industria, por el control y monitoreo que tiene sobre los procesos [6].

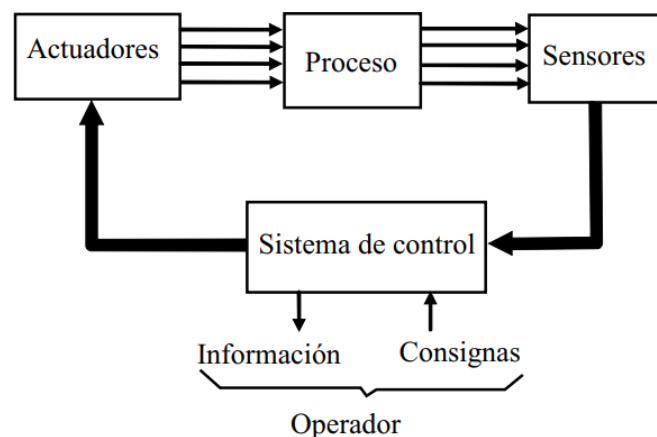


Figura 1. Estructura usual de un sistema automatizado.

En este sentido, un sistema automatizado es aquel proceso o máquina que reacciona de manera automática donde no intervienen los operarios para que el proceso funcione correctamente, realizando las tareas o acciones que debe cumplir. Mediante la siguiente figura se muestran los elementos que intervienen en un sistema automatizado.

En la estructura se logra identificar que el sistema automatizado está compuesto por un bucle cerrado (sensores que procesa las acciones del proceso configurado mediante actuadores), donde interviene el operador quien tiene a cargo las ordenes (iniciar, suspender, cambio de tarea de producción, entre otras actividades que sean configuradas y que hagan parte del proceso [7].

En este sentido, se puede comunicar la información del estado de los procesos automatizados, en este caso se relaciona con la supervisión del funcionamiento mediante un sistema de control el cual es configurado mediante algoritmos de señales binarias que se encargan de activar o inactivar las acciones, además de reaccionar a los valores que se reciban las señales de entrada y de salida [7].

Hay varias empresas que han alternado a la automatización, es el caso de una planta industrial de alimentación especializada en la fábrica de productos lácteos donde los procesos (llenado, clasificación, empaquetado y transporte) se realizan a partir de sistemas de control automatizados a través del control distribuido, convirtiéndose en un proceso rápido, oportuno y eficiente [8].

Para que esto fuera posible se acudió a utilizar controladores lógicos PLC's - (Control Lógico Programable) con el fin de comunicar a través de un bus de campo o estándar digital PROFIBUS que usa controladores, sensores de campo y sistemas de control utilizando un protocolo maestro-esclavo [8].

Este sistema permite que haya un rendimiento en el tiempo a un costo bajo, además de facilitar el mantenimiento para que haya estabilidad en el proceso, esto indica que la herramienta garantiza disponibilidad y confianza, porque el proceso se supervisa y controla a partir de un panel de operario, mediante la tecnología SCADA. La automatización facilita tener un sistema automático que

en caso de presentar alguna falla se genera una respuesta automática, todo con la finalidad de no suspender el proceso en el momento que surja una parada de emergencia [8].

La automatización industrial es bastante útil en todos los sectores productivos y para ello Servipaxa S.A. fábrica de productos plásticos del sector agrícola acude a los beneficios que ofrece la automatización en los procesos de producción de fundas de polietileno para banano que ayudan a reducir tanto costos de recursos humanos como los tiempos de fabricación, la productividad, asegurando que no hay riesgos en tareas que se consideran peligrosas y hasta tediosas, además requieren de un gran esfuerzo físico por parte del personal operario [9].

De esta manera, la empresa busca que las tareas sean simplificadas y controladas a través de la automatización de las máquinas y la configuración de dispositivos que son parte de la operación diaria [9].

De otra parte, el sector biogás igualmente aprovecha la tecnología de automatización para el control y monitoreo de las operaciones, utilizando mediciones en línea” y “en tiempo real”, además de ser funcionales el muestreo y análisis de datos para los laboratorios apoyados en protocolos de mantenimiento permitiendo que los procesos sean seguros y se tenga un control ambiental [10].

En el caso de la planta extractora Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S., para la optimización del proceso de recepción y almacenamiento de materia prima se generaron estrategias de mejoramiento tecnológico a partir de la automatización de la planta de producción, donde se reduce la intervención de los operadores en gran parte, al contar con sistemas de control en los procesos [9].

La planta de Palmas Oleaginosas Bucarelia S.A.S., identifica que la fruta se conserva mejor y ayuda a que se tenga mayor cantidad de aceite como efecto de la automatización. En el caso del contenedor vertical que se encuentra bajo un sistema automatizado su proceso, se disminuye la intervención de los

operarios que pueden realizar otras actividades y al igual se reducen los recursos físicos [11].

Ahora bien, la empresa Postobón diseñó una estrategia de control mediante un sistema automatizado para el proceso de refrigeración de los productos de la planta ubicada en Yumbo, Valle. Para que esto fuera posible identificaron cada una de las etapas del proceso, posteriormente diseñaron el sistema de control aplicado al PLC Siemens S7-300, con el fin de unificar el procesamiento y mando [12].

Parte de la optimización incluye el desarrollo de una interfaz HMI que permita mostrar los datos de operación, de mantenimiento y el sistema de mando del proceso de refrigeración, esto indica que se puede supervisar el comportamiento y realizar monitoreo sobre el proceso desde una estación remota [12].

De acuerdo a lo mencionado, dentro de las unidades de control y comunicación que fueron utilizadas para la automatización se encuentran Microcontroladores, Controladores Lógicos Programables - PLC's, controladores digitales de señales DCS's y controladores de automatización programable – PAC's [12].

Ahora bien, en relación con el tema objeto de estudio, el funcionamiento de una planta extractora de aceite de palma integra varios procesos o fases. La primera fase es la **recepción del fruto**, el cual es recolectado y llevado en camiones a la planta que realiza el proceso de extracción, el cuál es pesado mediante el uso de una báscula que permita determinar el peso recibido [13].

Posteriormente el fruto es depositado en tolvas que transportan el fruto a la sección de esterilización. La segunda fase es la **esterilización**, donde se realiza la cocción del fruto en los equipos esterilizadores en un tiempo de 90 minutos con una presión de 45 PSI (3 bares), todo con el fin de ablandar el fruto y facilitar separar el fruto del racimo [13].

En la tercera etapa denominada **desfrutación**; se hace la separación del fruto del racimo mediante un equipo rotatorio llamado desfrutador para que pueda

pasar por la sección de prensado, que tiene como finalidad extraer la mayor cantidad permitida de aceite crudo del fruto procesado. De otra parte, quedan los racimos vacíos que son transportados a la zona de manejo de raquis, para su debido procesamiento [13].

La cuarta etapa corresponde a la **extracción** donde el material que resulta del paso anterior es enviado a los digestores, equipos que se encargan de malaxar el fruto en un tiempo de 28 a 30 minutos antes de pasar por la prensa de extracción para que posteriormente pueda pasar por el proceso de limpieza y almacenamiento. En esta etapa se logra obtener tanto nueces como fibra de palma [13].

En la quinta fase, se realiza el proceso de **clarificación** la cual se hace con equipos especializados. La **desfibración** es la sexta etapa del proceso, en la que se realiza la separación de las nueces de la fibra, la cual fue obtenida en el proceso de prensado. La séptima fase es denominada **palmistería**, y se lleva a cabo el procesamiento de nueces que son clasificadas por tamaños y se trituran para separar las almendras y la cascarilla, esta última es utilizada en calderas como combustible [13].

Adicionalmente, existen otros procesos llamados extracción de aceite de palmiste, manejo de racimos vacíos, el almacenamiento y despacho de aceite, la generación de vapor y energía, manejo de efluentes, que para esta investigación no se consideran relevantes de acuerdo a los objetivos formulados [13].

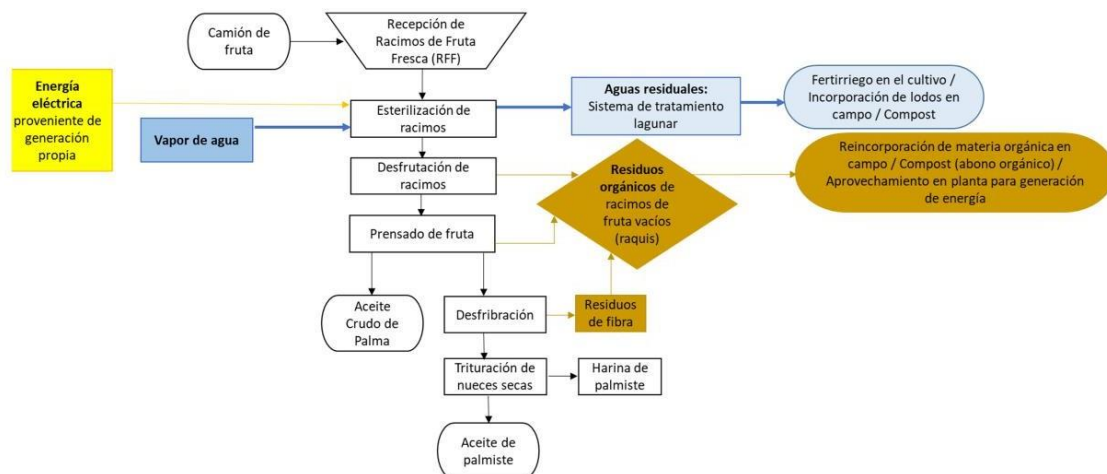


Figura 2. Esquema del proceso de extracción de aceite de palma. Tomado de GREPALMA (2019, p. 17).

Es fundamental que las plantas extractoras de aceite de palma utilicen técnicas, equipos tecnológicos, elementos computarizados para que sus procesos funcionen de manera automática, es decir que se hace uso de la automatización industrial, dado que su finalidad, es controlar los equipos que hacen parte de los procesos industriales donde los operarios son sustituidos por la tecnología para tener control de la operación y de los procesos de producción [14, 15].

En este sentido, la automatización ayuda a incrementar la producción, optimiza los procesos, reduce los tiempos y costos de producción, elimina errores y riesgos generados por el personal que trabajaba en la operación de manera manual [14, 15].

De acuerdo a lo anterior, Fedepalma se ha pronunciado en la importancia que tiene la tecnología aplicada en la automatización de los procesos de producción, porque da solución a problemas asociados a las operaciones que se hacen de manera repetida, las cuales requieren un monitoreo permanente, conllevando a tener mayores riesgos, asimismo se requiere de un gran esfuerzo físico, por tanto, es necesario integrar la automatización a los procesos mediante sensores, controladores autónomos (PLC) y sistemas SCADA [16].

Adicionalmente, es primordial la automatización para hacer seguimiento a las variables que intervienen en el proceso de extracción de aceite, es el caso de la

temperatura, presión, el nivel de tanques, las vibraciones mecánicas, entre otros. Sumando, la implementación de medición termográfica y analizar los procesos térmicos y mecánicos de extracción de aceite [16].

Desde otra perspectiva, Fedepalma ha estado trabajando con metodologías para determinar el potencial industrial de aceite denominada mediciones PIA, donde se registre un gran avance donde se puede identificar datos como son la cantidad de aceite que es producido por lotes, fincas, o proveedor, obteniendo dicha información con total confiabilidad que nunca se había dado, siendo que cubre aproximadamente entre el 85% y 90% del fruto recolectado [17].

Mediante la metodología PIA se han fortalecido 150 mediciones en tiempo real de 40 proveedores de fruto que han sido evaluados, dicha información se obtiene mediante un indicador de manera instantánea con diferencia de tan solo cinco segundos y este valor se registra en línea gracias a la automatización y al equipo NIR Online [17].

Las soluciones que se trabajaron con la metodología PIA son las del sistema “sistema semiautomatizado con vertedero hidráulico y sensores especializados; y la automatizada integrando NIR Online, que permite automatizar por completo la determinación de PIA por proveedores y TEA total del día” [17], esto se observa en la siguiente figura.

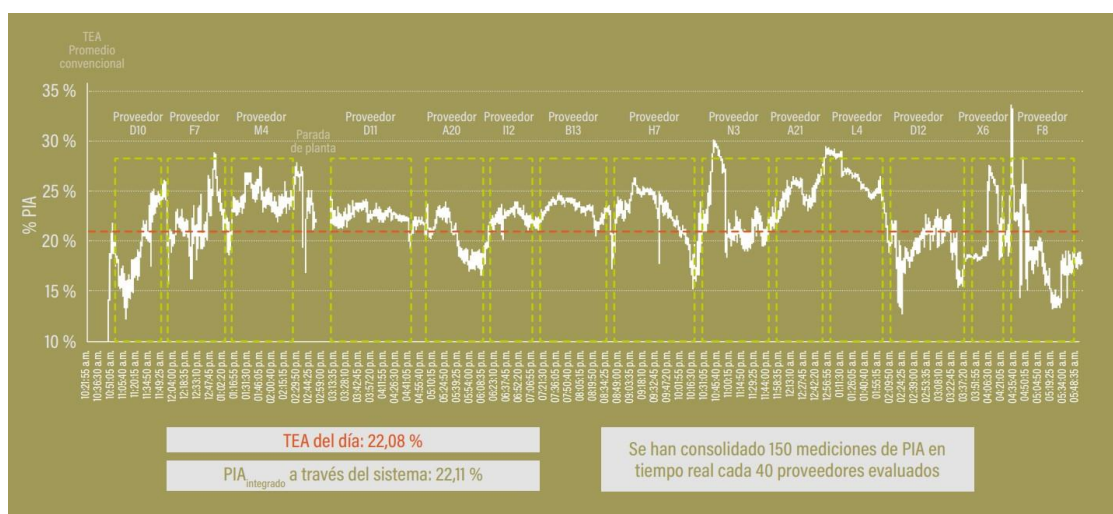


Figura 3. Comportamiento en tiempo real de PIA y caracterización de proveedores de fruto. Tomado de Fedepalma (2019, p.113).

Por otro lado, es importante mencionar que la sistematización de procesos reduce de manera significativa el error humano que puede generar los operarios en una planta extractora, por tanto, tiene un gran impacto ya que contribuye a la eficiencia, y a la confiabilidad, caso contrario puede suceder con el muestreo manual del proceso por parte del personal, que puede conducir a tomar malas decisiones en el proceso de gestión [18, 19].

Estas declaraciones no solo se pueden ver de forma indirecta, sino que también se muestran en la Figura 3, donde se observa la disminución de la pérdida total de aceite en la planta de Colombia en los últimos 10 años, y la relación directa se expresa en términos porcentuales [18, 19].

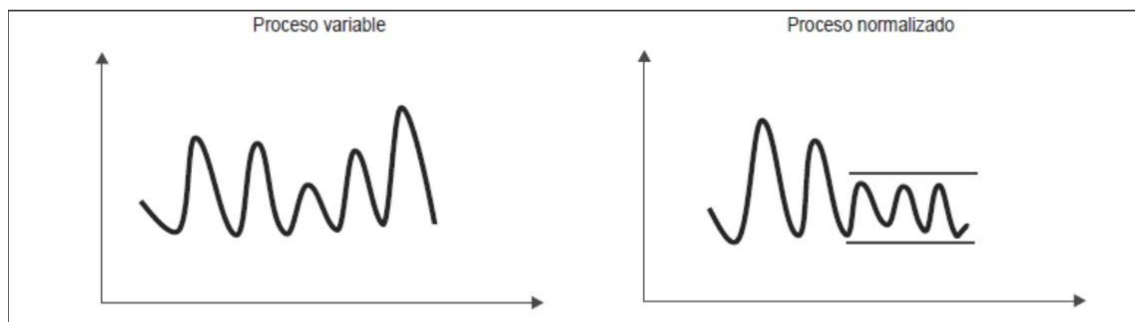


Figura 4. Disminución de la pérdida total de aceite. La imagen de la izquierda muestra la actividad de una planta que no ha automatizado sus procesos y la de la derecha se encuentra automatizada. Tomado de Jaya y Sánchez (2017)

Contemplando que la planta extractora de palma de aceite en el municipio de Oroque Casanare, no dispone de ninguna automatización en los procesos, ya que solo cuentan con sistemas donde requieren intervención de personal, por tanto, se considera primordial, referir la eficiencia de producción obtenida en una planta extractora donde implementaron sistemas automatizados [18, 19].

Para lo cual se tuvieron en cuenta los periodos 2000-2005 que muestran una diferencia de 0,15%, esto significa que una planta que procesa 100.000 toneladas de aceite ahorrará 150 toneladas de aceite, equivalente alrededor de \$US 102.000 a \$US 68.000 por tonelada (Figura 4). Esto demuestra que es fundamental hacer una inversión en un proyecto de automatización que implemente buenas prácticas [18, 19].

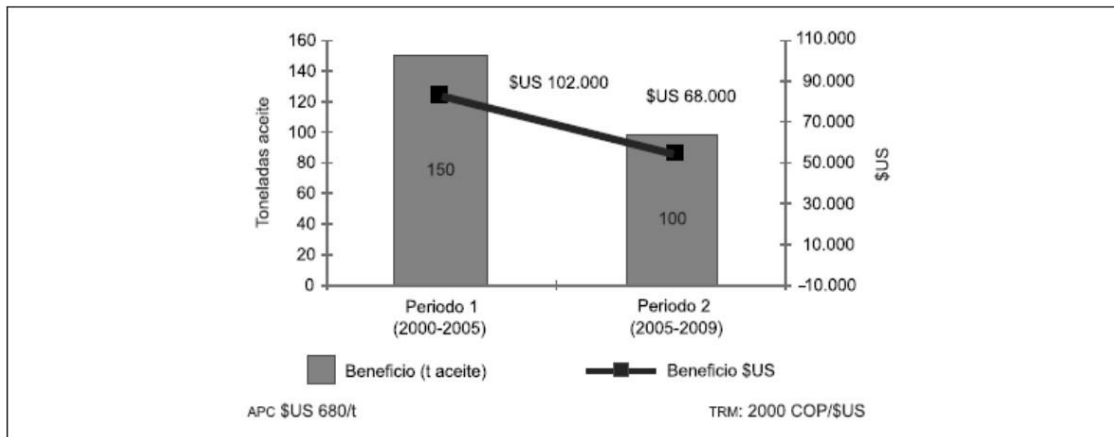


Figura 5. Eficiencia en producción relacionada con el beneficio. Se observa que aumenta la eficiencia de producción por medio de sistemas automatizados. Tomado de Rincón (2010).

El proceso de esterilización se presenta cuando la fruta se somete a un proceso de cocción de 90 minutos a una presión de 3 bar en un aparato denominado esterilizador y su finalidad es ablandar el fruto y facilita la separación de los racimos [20]. Para este proceso se aplica la automatización industrial basada en PLC a la esterilización, ya que funciona como controlador lógico programable que ayuda a regular la presión dentro del esterilizador a través de una señal proporcional.

Sus características permiten graficar el comportamiento de variables y reprogramar presiones y tiempos de ciclo en función de la madurez de la fruta. Por lo tanto, es posible un control completo del sistema. El costo de implementarlo es de aproximadamente \$35.000 (tres esterilizadores) Ver Figura 5. El beneficio de producción muestra una reducción de 0,022% de la pérdida de aceite/rff, y el incremento de la eficiencia del sistema [18, 19].



Figura 6. Esterilizadores de planta extractora de palma. Tomado de Rincón (2010).

Por otra parte, en el proceso de clarificación es cuando se libera el aceite obtenido de lodos y otras impurezas mediante equipos especiales [20]. En el proceso de clarificación se implementan varios procesos automatizados, el más común es el monitoreo de cada variable en clarificadores, decantadores, balsas de lodos, donde se registra la señal no solo de la temperatura, sino también del nivel del líquido en la balsa o cápsulas secadoras al vacío (Figura 6) [18, 19].

Sobre ellos se realiza vigilancia o monitoreo de presión negativa. Otra aplicación que comúnmente se diseña es la automatización de filtros de cepillo, con un sistema electroneumático con válvula ON/OFF, y este se puede programar con un temporizador para controlar una secuencia de eventos a través de una lógica que abre y ejecuta la purga electroneumática [18, 19].

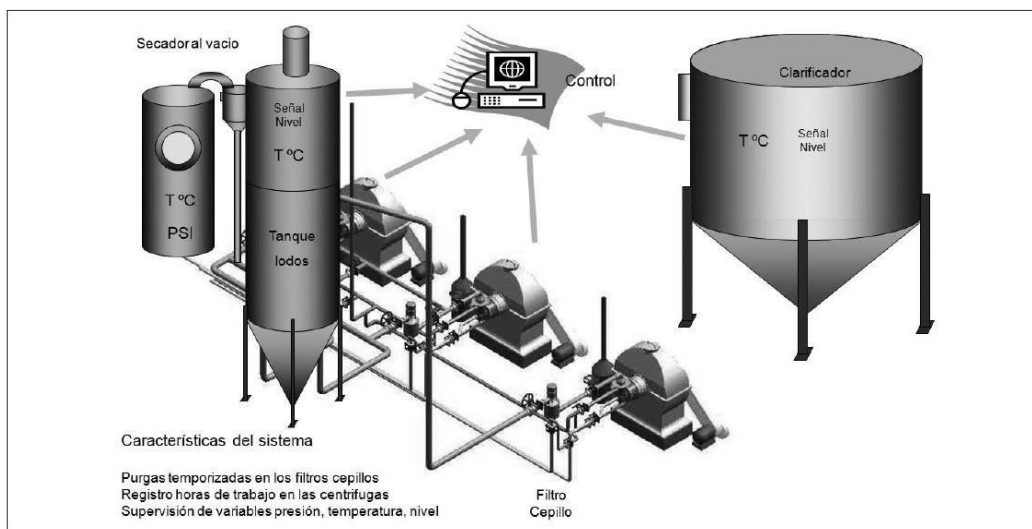


Figura 7. Proceso de clarificación. Tomado de Rincón (2010).

Hay dos métodos de medición; medición directa y medición indirecta. Para la medición directa, se utilizan instrumentos de medición como calibradores vernier, micrómetros y máquinas de medición por coordenadas para medir directamente el tamaño de los objetos. Estas medidas también se denominan medidas absolutas. Dependiendo de la escala del instrumento de medición, las mediciones se pueden realizar en un amplio rango, pero también existe la posibilidad de mediciones incorrectas debido a lecturas incorrectas de la escala [21].

En la medición indirecta, las dimensiones se miden utilizando instrumentos de medición, como indicadores de cuadrante, que observan la diferencia entre un objeto de referencia y dispositivos como bloques patrón y calibres. Estas también se denominan medidas comparativas, ya que se utilizan objetos con dimensiones estándar para la comparación. Cuanto más predeterminada sean la forma y dimensiones de un dispositivo de referencia, más fácil será la medición. Sin embargo, este método también tiene la desventaja de que el rango de medición es limitado [21].

Para la medición del nivel de líquido en un recipiente se puede medir la distancia desde la superficie hasta una línea de referencia. Esta línea forma el punto de partida para la medición de nivel. La línea de referencia puede estar en cualquier punto del nivel del líquido, siendo el punto más común el fondo del tanque. Se pueden utilizar transmisores de presión los cuales se instalan en el fondo de los dos tanques para determinar la presión hidrostática que ejerce el agua contenida en ellos y determinar el nivel mediante un factor de conversión [22].

Por otra parte, otro sistema de medición del nivel de un líquido se puede realizar mediante los sensores capacitivos que pueden manejar la medición de nivel de campo o continua, usando sondas para monitorear los cambios de nivel de líquido en el tanque, ajustando electrónicamente la salida a los valores de capacitancia y resistencia para luego convertirlo en señales analógicas. La sonda y el recipiente son equivalentes a las dos placas polares del capacitor, y el líquido es proporcional al dieléctrico. Debido a que la señal solo informa de cambios de nivel, la acumulación de material en la sonda no tiene efecto [23].

Para la medición de temperatura uno de los métodos más utilizados en la industria consiste en dos metales diferentes unidos en un extremo, la termocupla tipo K, también llamada termopar. Cuando la unión de dos metales se calienta o se enfría, se desarrolla un voltaje dependiente de la temperatura. Las aleaciones de termopar generalmente se suministran en forma de alambre. Los termopares tipo K miden temperaturas de 250 °C a 1250 °C [24].

En estas medidas, dependiendo del montaje, el rango funcional estará entre 0° y 700°C. Podría utilizarse un termopar tipo K 0800 con rosca M6 debido a que sus características se adaptan al rango de temperatura en el que se va a utilizar, en este caso tiene un rango de medida de 0° a 800°C, el blindaje exterior metálico y su módulo MAX6675 [24].

Por último, para la medición de presión se puede usar un sensor, dispositivo o transmisor que convierte la presión en una señal eléctrica, donde esta puede ser un voltaje o una corriente (análoga proporcional a la presión), asimismo, puede trabajarse con una señal digital o incluso una señal compuesta, considerándose que este tipo de sensores son ampliamente usados por la industria [25]

4.1. Estado del arte

Se hace necesario mencionar que, en la búsqueda realizada para desarrollar el estado del arte, se encuentran investigaciones que superan los cinco años. Dentro de los proyectos se encuentran el de Barrera y Vargas [26] donde el objetivo principal es automatizar y supervisar la planta extractora de aceite de palma en la etapa de esterilización.

En esta investigación se plantea mejorar el proceso de extracción de aceite de palma, asimismo se tuvo en cuenta tener el control sobre el mantenimiento de los equipos que intervienen en el proceso. Para lo cual, se trabajó con la herramienta SCADA llamado PCIM y un PLC SIEMENS S7300, que fue enlazada con una serie de sensores que llevaron señales de las variables más relevantes del proceso. Dentro de los procesos automatizados se encuentra la supervisión,

la esterilización, la extracción de aceite en las prensas, la clarificación y la caldera.

Por otra parte, existe la investigación realizada por Abreu y Corzo [27] cuyo objetivo es la optimización de la producción de aceite proveniente del fruto de palma africana en la empresa COOPAR (Cooperativa Palmas Risaralda LTDA) por medio del control una automatización programable en el proceso de esterilización y una pantalla HMI que cuenta con los estándares pertinentes, adicionalmente se ejecuta una valoración al proceso de automatización y se diseñó un módulo que muestra el funcionamiento del proceso de esterilización.

Adicionalmente, realizaron un estudio para el Instituto de Investigación y Desarrollo de Tecnologías Aplicadas (IIDTA) de la Universidad de Pamplona con el propósito de diseñar un sistema automatizado para controlar y monitorear tanto la presión como el tiempo de cocción del fruto de la palma africana, es así que explican de manera técnica los márgenes, escalas utilizadas para el proceso. Mediante esta investigación se pueden identificar el ciclo del proceso de esterilización, así mismo se identifica su magnitud e intervención de las máquinas, entre otros aspectos [28].

Por último, el proyecto más grande y con mayor financiación de los últimos años es realizado en donde la empresa patrocinadora del proyecto se dedica a la extracción de aceite de palma y posee más de 7000 hectáreas sembradas en Mapiripán (Meta). El proyecto radica en aumentar la producción de aceite de palma ya que se desaprovecha gran parte de las cosechas [15].

Durante el desarrollo del proyecto el fruto se vendía el fruto a extractoras distantes, con altos costos de transporte y dificultades logísticas, propias de la zona. Como solución el proyecto busco implementar una planta de 30 TRFF/H [15].

5. Metodología

A continuación, se encuentran cada una de las actividades realizadas para cada objetivo específico formulado.

Tabla 1. Actividades realizadas

Objetivos específicos	Actividades
1. Discriminar los tipos de supervisión y control utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.	<u>1. Búsqueda bibliográfica de los procesos usados por las empresas de extracción de aceite de palma.</u> <u>2. Reconocimiento del funcionamiento de los procesos utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la planta extractora de aceite de palma.</u> <u>3. Identificación de los tipos de supervisión y control utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la planta extractora de aceite.</u>
2. Monitorear las variables de temperatura y presión en los procesos industriales de extracción de aceite.	<u>4. Buscar y elección de herramientas que se utilizaran en el monitoreo y control de los procesos de esterilización y clarificación.</u> <u>5. Implementar la herramienta elegida para el monitoreo de las variables necesarias.</u>
3. Aplicar sistemas de control a los estados de llenado, mantenimiento y proceso en los procesos de esterilización y clarificación en la planta extractora de aceite.	<u>6. Desarrollo de programas a utilizar en el control de los estados de modo llenado, modo mantenimiento y modo proceso de los procesos de esterilización y clarificación de la planta extractora de aceite.</u> <u>7. Implementar el control del modo llenado, modo mantenimiento y modo proceso. Implementar control a clarificación.</u> <u>8. Redacción de la parte de planteamiento, marco teórico y antecedentes para la elaboración del documento entregable de la tesis.</u>
4. Validación del sistema de monitoreo y control en los procesos de esterilización, clarificación en la planta extractora de aceite de palma.	<u>9. Validar el sistema de monitoreo y control en los procesos de esterilización, clarificación en la planta extractora de aceite de palma.</u>
5. Realizar el análisis costo-beneficio del sistema de monitoreo y control de temperatura y presión propuesto, para la esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.	<u>10. Análisis cualitativo del costo beneficio del sistema de monitoreo y control implementado.</u> <u>11. Finalización del documento del proyecto de grado.</u>

Elaboración propia.

6. Resultados

En este apartado se encuentran el desarrollo de cada uno de los objetivos específicos de la pasantía.

6.1 Tipos de supervisión y control en procesos de esterilización y clarificación

A continuación, se desarrolla el primer objetivo específico formulado, enfocado en especificar los tipos de supervisión y control utilizados en los procesos de esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma, a nivel general.

El método de esterilización consiste en cocinar los racimos y la fruta suelta al vapor a una presión de aproximadamente 276 kPa. Este proceso se hace generalmente durante una hora, pero el tiempo puede variar ligeramente, según el estado de la fruta y la disponibilidad de vapor [29].

Además, en este proceso se busca evitar posibles aumentos de ácidos grasos libres, además de facilitar la separación mecánica para soltar el fruto que aún está adherido al racimo, asimismo prepara el mesocarpio para el posterior prensado y finalmente acondiciona las nueces para romperlas [29].

Considerando que el aire es un mal conductor de calor en la esterilización, se hace necesario eliminar la mayor cantidad de aire posible, en dicho proceso. Para ello, la mayoría de las plantas realizan la esterilización mediante ciclos de doble o triple pico, los dos primeros son básicamente para eliminar el aire atrapado del contenedor [29].

Para determinar la eficiencia de la esterilización se deben conocer tres variables: Las pérdidas de aceite en el condensado del esterilizador, en el raquis de los racimos y en los racimos duros y no separados. En la primera variable la pérdida de aceite es conocida, pero no registrada, ya que el muestreo de partes representativas del condensado es difícil debido a la gran variedad de petróleo y el volumen del petróleo descargado [29].

Sin embargo, las muestras tomadas durante la última evacuación de agua dan una idea de la pérdida de aceite en la condensación. Algunas fábricas han instalado sumideros separados para el condensado del esterilizador. El volumen de aceite recogido en estos sumideros puede ser una guía útil para la pérdida. El aceite recuperado de los colectores no debe incorporarse al proceso, debido a su mala calidad, especialmente en lo que se refiere a su alto contenido en hierro y ácidos grasos libres [29].

Por otra parte, en la segunda variable, Pérdida de aceite del raquis, la cantidad de aceite que se adhiere al raquis del racimo indica la cantidad de aceite que sale del fruto durante el proceso de esterilización, especialmente durante las últimas etapas del período de espera, la demora entre la esterilización y la separación y el proceso de separación [29].

Por último, los racimos duros y sin separarse, a medida que los racimos limpios salen del tambor separador, algunos de ellos aún tienen restos de fruta adheridos. Estos se conocen como racimos duros no separados. Los racimos duros son aquellos con frutos fuertemente adheridos. Normalmente, estos racimos tienen más de la mitad de la fruta original [29].

Los racimos no separados son aquellos que todavía tienen algunos frutos que se pueden quitar manualmente. Tanto los racimos duros como los racimos no separados deben tener la fruta removida y esterilizada. En caso de que el porcentaje de estos sea demasiado alto y el inspector de raquis no pueda manipularlos, los racimos se escapan a la incineradora [29].

Esta es una pérdida conocida pero no registrada de la planta, ya que el porcentaje de pérdida es generalmente bajo y es difícil determinar con precisión la magnitud de las pérdidas. Por lo general, se tiene cuidado de asegurar una esterilización y separación adecuadas para mantener las pérdidas al mínimo [29].

Por otra parte, en la clarificación, el proceso posterior a la extracción, el aceite crudo de la prensa suele diluirse en la prensa o después de la extracción en el

tanque de crudo. En la prensa se produce una dilución que se traduce en un aumento del aporte a la misma, y el crudo sale bien homogeneizado, para proceder a la posterior separación en el decantador continuo [29].

Para lograr esto los procesos más usados son los siguientes:

1. Dilución de petróleo crudo

La composición del crudo de la prensa de tornillo es de aproximadamente 66% de aceite, 24 % de agua y 10 % de NOS. En esta composición, el crudo es muy viscoso y por tanto es imprescindible añadir una cantidad suficiente de agua en la dilución, para conseguir una adecuada sedimentación del crudo del limo. La dilución se produce durante el proceso de compresión [29].

Al hacer un experimento, agregando agua al petróleo crudo, se demostró que hasta una dilución del 50%. hubo un aumento en la viscosidad; sin embargo, más allá de este punto, la viscosidad disminuyó hasta llegar al 100% de dilución [29].

A medida que el punto de dilución continuó aumentando, la viscosidad continuó disminuyendo, aunque no de manera tan notable. Con base en los resultados de este experimento, se decidió establecer un punto de dilución entre 50 y 100%. Se encontró que una dilución entre 60 y 70% era adecuada para nuestros tanques de sedimentación [29].

No se recomienda una dilución superior al 100%, ya que el tamaño de la planta de enjuague debe ser mayor y el volumen de pérdidas de aceite puede aumentar. Normalmente, la dilución en prensa se revisa cuidadosamente cada hora para asegurar que el crudo que pasa al tanque de endurecimiento continuo es uniforme en todo momento [29].

El control de la dilución en el proceso de clarificación es fundamental para el correcto funcionamiento del tanque de sedimentación continua. Para facilitar la medición, la dilución dada se mide por la cantidad de aceite en el aceite crudo diluido (suponiendo que el aceite crudo contiene aproximadamente un 65 % de

aceite limpio). Para obtener una dilución del 70 % del crudo, el contenido de aceite en el crudo debe ser del 39,6% [29].

Tabla 2. Dilución por volumen de aceite crudo contra aproximado de aceite por volumen en aceite crudo diluido.

% dilución por volumen de aceite crudo	% aproximado de aceite por volumen en aceite crudo diluido
0	67.3
50	44.9
60	43.5
70	39.6
80	37.4
90	35.4
100	33.6

Nota: Se supone que el aceite crudo contiene aproximadamente un 65 % de aceite limpio. Tomado de AH NGAN (1998).

La prueba de centrifugación simple, que da el contenido de aceite por volumen de crudo, es de gran valor para asegurar que se obtiene un crudo diluido homogéneo y uniforme, que pasa al tanque de sedimentación continua. La prueba de centrífuga también se puede aplicar al examen del sedimento y el aceite superior del tanque de sedimentación continua [29].

2. Sedimento sin arena

Los lodos del tanque continuo pasan a un tanque de lodos y luego al hidrociclón de remoción de arena y al tamiz vibratorio de lodos (o tamiz rotatorio de lodos). El propósito de la trampa de arena es reducir el contenido de arena del sedimento a un nivel mínimo, para minimizar el desgaste de la centrífuga y el bloqueo de la boquilla. En la práctica, se considera aceptable que el contenido de arena se reduzca a 0,04 o 0,06% [29].

3. Sección de purificación

El aceite que se separa en el tanque de sedimentación continua va a un precalentador de aceite de palma, para garantizar que la temperatura del aceite sea lo suficientemente alta para la centrífuga y el deshidratador al vacío. Normalmente se toman muestras durante las distintas etapas de la sección de purificación para comprobar el contenido de humedad. La humedad final del aceite producido debe mantenerse entre 0,10 y 0,25% [29].

Se ha encontrado que cuando la humedad del aceite producido es demasiado baja, puede representar un mayor riesgo de oxidación en los tanques de almacenamiento [29].

Si el contenido de humedad del aceite supera el nivel del 0,25 %, podría provocar la sedimentación del agua en los tanques de almacenamiento, creando problemas con la formación de ácidos grasos libres debido a la hidrólisis. El alto contenido de humedad también hace que los ácidos grasos aumenten más rápidamente durante los viajes, especialmente al extranjero, que normalmente tardan dos meses en llegar al comprador final. El contenido de impurezas del aceite de palma durante la producción debe mantenerse entre 0,02 y 0,04% [29].

4. Clarificación del aceite de palma mediante decantadores

Más recientemente, se han utilizado decantadores en el proceso de clarificación del aceite de palma para separar materiales sólidos gruesos directamente del aceite crudo sin diluir. El aceite y los sólidos más livianos se pasan a tanques de sedimentación regulares y a la centrífuga. Estos decantadores pueden reducir el volumen de efluente del proceso de clarificación del aceite, ya que se ha observado una reducción de pérdidas [29].

Hoy, en las plantaciones de Pamol, los decantadores se utilizan activamente como máquinas de tres etapas, para separar el crudo sin diluir, obteniendo un aceite limpio, exceso de agua y sólidos. Si este sistema de decantadores tiene éxito, permitirá suprimir los tanques de sedimentación continua, las centrífugas

y las bombas y calentadores asociados al proceso. Este sistema puede ser más fácil de manejar y podría disminuir el problema de los efluentes [29].

5. Sistema de control en el proceso de esterilización

En el siguiente esquema se visualiza el sistema de supervisión y/o control del proceso de esterilización de la planta extractora de aceite.

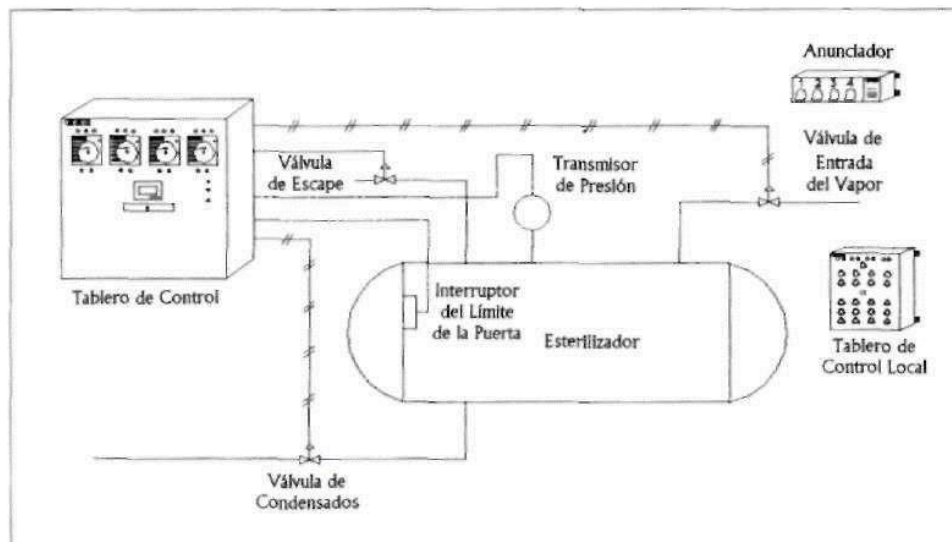


Figura 8. Sistema de control del esterilizador. Tomado de Llm (1998) [30].

6.2 Monitoreo de variables de temperatura y presión en procesos industriales de extracción de aceite.

En esta sección se desarrolla el objetivo específico #2, de allí el subtítulo, siendo que apunta a monitorear las variables de temperatura y presión en los procesos industriales de extracción de aceite.

Las empresas de extracción de aceite no especifican exactamente las herramientas que usan para el sistema de control de los procesos de esterilización y clarificación. Por lo tanto, con la información recolectada en el objetivo anterior se logran identificar las variables y los sistemas de control utilizados para la automatización de los procesos que por medio de herramientas seleccionadas por la empresa permitieron dar inicio al proceso de automatización de los procesos seleccionados (clarificación y esterilización).

Tabla 3. Tipos de termocuplas

Calibración	Elemento Positivo	Elemento Negativo	Rango de temperatura habitual	Línea de error estándar (elija la más grande)	Línea de error especial (elija la más grande)
Tipo T	Cobre	Constantan	-200°C~0°C	+/-1°C ou +/- 1,5%	--/--
Tipo T	Cobre	Constantan	0°C~370°C	+/-1°C ou +/- 0,75%	+/-0,5°C ou +/-0,4%
Tipo J	Hierro	Constantan	0°C~760°C	+/-2,2°C ou +/-0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo E	Cromel	Constantan	0°C~870°C	+/-1,7°C ou +/- 0,5%	+/-1,0°C ou +/-0,4%
Tipo K	Cromel	Alumel	0°C~1260°C	+/-2,2°C ou +/- 0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo N	Nicrosil	Nisil	0°C~1260°C	+/-2,2°C ou +/- 0,75%	+/-1,1°C ou +/-0,4%
Tipo S	90% Platino / 10% Rhinate	Pt 100%	0°C~1480°C	+/-1,5°C ou +/- 0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo R	87% Platino / 13% Rhinate	Pt 100%	0°C~1480°C	+/- 1,5°C ou +/- 0,25%	+/-0,6°C ou +/-0,1%
Tipo B	70% Platino / 30% Rhinate	94% Platino / 06% Rhinate	870°C~1700 °C	+/- 0,5%	+/-0,25%

En la tabla anterior se observa los diferentes tipos de termocuplas, se dividen según su elemento positivo y su elemento negativo, su rango de operación de temperatura.

Por facilidades de adquisición, rango de temperaturas, precisión y exactitud parra el proceso de lectura de temperatura en el **proceso de esterilización** se hizo usó de cinco (5) Termocuplas tipo K. Esta herramienta de medición se encarga de enviar la información de temperatura al módulo temperatura del PLC que permite que el PLC entienda y pueda leer la información proporcionada por la termocupla.

Por último, el PLC se encarga de leer la información y mediante un cable ethernet enviarla a la pantalla HMI weintek donde puede ser revisada por los operadores. Finalmente, se muestra en la siguiente imagen las termocuplas tipo K instaladas, donde se mide la temperatura de los esterilizadores.



Figura 9. Termocuplas instaladas en el sitio de medición. Registro fotográfico.

Por otro lado, el proceso para medir la presión en el sistema es el mismo realizado con la medición de temperatura, con la diferencia que el sensor usado para medir dicha variable se utiliza un transmisor de presión que se encarga de enviar la señal a un módulo in 4.20 mA que le permite al PLC entender la información proporcionada por el sensor.



Figura 10. Transmisor de presión instalado. Registro fotográfico

En la pantalla de la medición anterior se observan los datos de la presión del sistema. En la siguiente figura se identifican las variables monitoreadas en el proceso de esterilización.

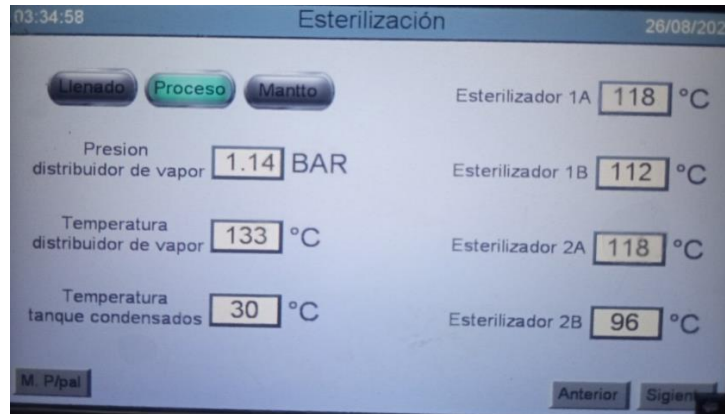


Figura 11. Variables monitoreadas en el proceso de esterilización. Registro fotográfico tomada a la pantalla de medición.

En el **proceso de clarificación** se instaló el mismo sistema de medición ya mencionado, diferenciándose en el uso de cable de fibra óptica, utilizado entre los dos (2) PLC. Vale mencionar que cuando hay una gran distancia, es probable

que pueda perderse la conexión, siendo que la transmisión de datos en algunos protocolos de conexión tiene un límite de distancia.

Adicional a esto para la detección de la temperatura se usaron dos (2) PLC en la técnica maestro-esclavo, donde uno de ellos maneja el otro aumentando la capacidad de trabajo que tendrían por separado. Los equipos usados para la detección de estas variables se logran identificar en la tabla 3.

Tabla 4. Equipos utilizados para detección de variables de esterilización y clarificación.

Ítem	Cantidad	Nombre	Referencia	Medida
1	1	HMI weintek	MT8071iE	
2	1	Switch comunicación	Starix 2000	
3	1	PLC	2080-LC50-48AWB	
4	2	Modulo temperatura	2085-IRT4	
5	1	Modulo in 4.20mA	2085-IF4	
6	5	Sensor de temperatura	Termocupla tipo K	Rosca de 1/2 x 6 " sensor
7	1	Temperatura de presión		Rosca de ¼
8	1	Gabinete de control mímico	Alto	30 cm
			Ancho	30 cm
9	1	Gabinete de control ccm	Alto	210 cm
			Ancho	100 cm
Nombre		Referencia		Descripción
PLC		MICRO 850 2080-LC50-24QWB		24VDC/14 in/10out
Switch UTP		Stratix2000		24VDC/5 port UTP

Elaboración propia.

En la siguiente figura se identifican las variables monitoreadas en el proceso de clarificación en la planta extractora, cabe resaltar que son dos clarificadores, a cada clarificado se le hizo medida de temperatura a tres posiciones (superior, centro e inferior).



Figura 12. Variables monitoreadas en el proceso de clarificación. Registro fotográfico.

6.3 Sistemas de control en los procesos de esterilización y clarificación

En este subcapítulo se desarrolla el objetivo específico #3, encaminado a aplicar sistemas de control a los estados de llenado, mantenimiento y proceso en los procesos de esterilización y clarificación en la planta extractora de aceite.

El sistema de control usado para este proyecto fue el sistema de control on-off el cual consiste en realizar o no una acción de acuerdo con el valor de una variable, este sistema de control solo tiene dos estados, por lo tanto, está realizando o no una acción, pero nunca se regula ni se realiza ninguna acción a medias.

Para el **proceso de esterilización** se creó el sistema de control en el proceso de modo llenado, modo mantenimiento, modo proceso. El sistema de **control del modo llenado** verifica el estado de los equipos usados en este proceso y si los detectas en las condiciones estipuladas en el código deja iniciar el proceso de modo llenado, de lo contrario informa del error y no deja realizar el proceso. En este modo llenado intervienen los equipos que se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Equipos que intervienen en el modo llenado

Esterilizador 1B	Esterilizador 2B
Esterilizador 1A	Esterilizador 2A
Redler 3	
Acondicionador de fruto	
Redler 2	

Elaboración propia

Por otra parte, el control instalado en el **modo mantenimiento** permite que dependiendo del estado de las maquinas el sistema permita o no iniciar los equipos en desorden.

Por último, en el **modo proceso** se programó para que durante el paso de modo llenado a modo proceso no se apagaran los equipos, como ocurría anteriormente, y se permitiera el encendido de nuevos equipos para el siguiente proceso.

TABLA 6. Equipos que intervienen en modo mantenimiento y modo proceso

sinfín retorno fruto		
Redler a digestores		
Sinfín cooker 1	Sinfín cooker 2	
Cooker 1	Cooker 2	
Redeler a cookers		
Sinfín de fruta suelta		Redler inclinado de raquis
Sinfín bajo desfrutador		Redler horizontal salida raquis
Desfrutador		
Redler Fruta esterilizada		
Esterilizador 1B	Esterilizador 2B	
Esterilizador 1A	Esterilizador 2A	
Redler 3		
Acondicionador de fruto		
Redler 2		

Elaboración propia

Vale mencionar que para el proceso de esterilización no dispone de sensores instalados, por tanto, no se puede establecer el lazo de control para este proceso.

En relación al sistema de control implementado en el **proceso de clarificación** debe verificar ciertas condiciones, dentro de las cuales se encuentra que el sistema detecte que se encuentren las bombas en modo automático, siendo que el modo manual únicamente se requiere para el encendido.

Al igual, es importante considerar que el tanque sedimentado debe estar por encima del nivel medio. En la siguiente imagen se observa el tanque sedimentado donde se encuentran los tres niveles (bajo, medio y alto) donde se utiliza el sensor final de carrera.



Figura 13. Izquierda: Tanque sedimentado. Derecha: Sensor final de carrera.
Registro fotográfico.

Referente al sistema de control, este también verifica el correcto estado de las bombas que conectan el tanque sedimentado con el tanque de vacío para

permitir el inicio del proceso de clarificación. A continuación, se esquematiza el funcionamiento del lazo de control del proceso de clarificación.

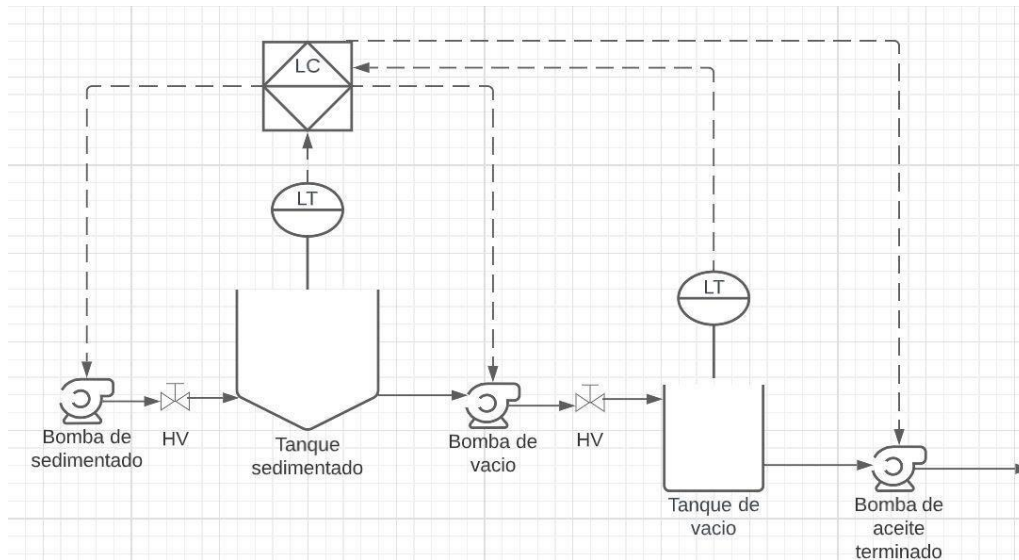


Figura 14. Funcionamiento del lazo de control del proceso de clarificación. Elaboración propia.

Otro sistema de control instalado es el del nivel de la columna de vacío (medida por un radar de nivel), esta debe estar por encima del 20% para mantener encendidas las bombas que llevan al tanque de almacenamiento. Adicionalmente, si el nivel está por encima del 90% manda a apagar la bomba del tanque sedimentado para evitar riegos.



Figura 15. Nivel de la columna de vacío. Registro fotográfico.

Para el proceso del nivel de la columna de vacío no se realizaron pruebas que verifiquen su correcto funcionamiento debido a que no se logró instalar el radar de nivel y por tanto el sistema de control no puede detectar la variable necesaria, el nivel del líquido, esto indica que no se pueden tomar acciones de acuerdo con lo que informe el instrumento, es decir el sistema de medición o radar de nivel. Para más información en el circuito eléctrico instalados, se identifican los planos en los anexos de este documento de grado.

6.4 Validación del sistema de monitoreo y control

Ahora bien, en esta sección se evidencia el cumplimiento del objetivo específico #4, el cual apunta a la validación del sistema de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación en la planta extractora de aceite de palma.

Para validar el sistema de monitoreo y control, se da inicio a la verificación de las variables de llenado, temperatura y presión, mediante herramientas de medición exteriores al sistema implementado, permitiendo verificar que coincidan las mediciones externas con las del sistema, esto con el fin de asegurar el correcto funcionamiento.

Por otro lado, en el sistema de control la validación se realizó mediante pruebas de ensayo y error, ya que mientras se implementaba el código realizado se encontraban fallas que eran corregidas reescribiendo partes del código hasta conseguir un correcto funcionamiento del sistema de control en el encendido de máquinas, modo de llenado y de proceso, entre otros.

Vale mencionar que los problemas presentados durante la instalación del proceso fueron principalmente físicos debido a la dificultad de instalación del cableado, falta de contacto, diversos problemas de fábrica que retrasaron la instalación, estas dificultades fueron saneadas con el mismo método usado en las demás, es decir pruebas de ensayo y error, hasta lograr el resultado esperado y tolerado para la lectura de los sensores.

En la siguiente imagen se observa el gabinete de ccm (centro de Control de Motores) donde se encuentran los PLC instalados.

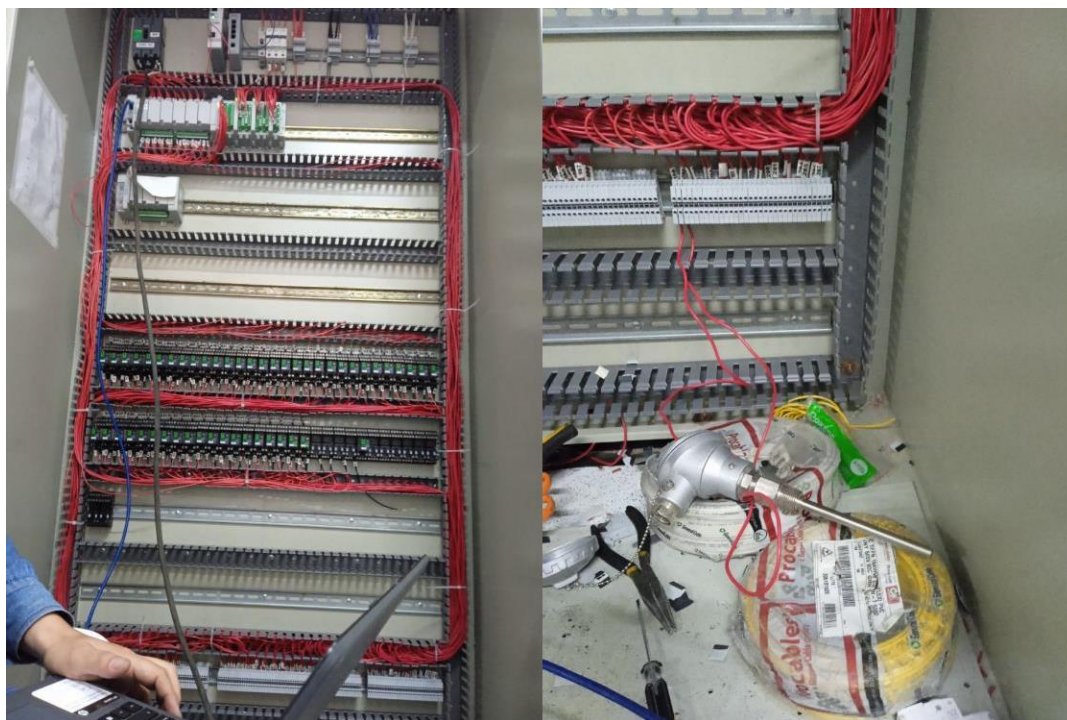


Figura 16. Izquierda: Gabinete ccm para el control de PLC. Derecha: Pruebas de temperatura a las termocuplas tipo K instaladas. (Ver planos eléctricos del anexo 2 para visualizar las señales de entrada). Registro fotográfico.

Como se muestra en la figura 15, foto lado izquierdo se procede a dar inicio al PLC, las pruebas se hacen de la siguiente manera se mueve perilla para cambiar los modos de control realizados y se van activando los relevos manualmente y así poder observar que están en buen funcionamiento.

De esta misma manera se realizaron las pruebas para el control en clarificación se activaron los PLCS y se pudo evidenciar que había un correcto funcionamiento en la comunicación maestro-esclavo, se pudo constatar que activando manualmente los finales de carrera de nivel alto y nivel bajo se activaban la alarma y el control se detenía, apagando de este modo las bombas involucradas en este control.

6.5 Análisis costo-beneficio del sistema de monitoreo y control

En esta sección se desarrolla el objetivo específico #5, donde se realiza el análisis costo-beneficio del sistema de monitoreo y control de temperatura y presión propuesto, para la esterilización y clarificación de la extracción de aceite de palma.

Para este análisis no se logró realizar ningún estudio cuantitativo debido a que el proceso más que un ahorro se realizó para iniciar un proceso de automatización que en el futuro significara un ahorro y una mayor eficiencia en los procesos.

Por esta razón para este proyecto el análisis costo-beneficio se reduce al monitoreo de las variables, tales como la temperatura, presión, estado de los tanques, nivel de llenado de los tanques, permitiendo a la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare construir mecanismos de control e inmediatamente tener un control estricto de las variables por medio de una revisión no automatizada. El costo total del proyecto se identifica en la siguiente tabla, el cual totaliza \$56.888.390.

Tabla 7. Costos de los equipos utilizados para el sistema de monitoreo y control.

Cantidad	Nombre	Valor unidad	Valor total
2	HMI weintek MT8071iE	\$ 4.338.784	\$ 8.677.568
3	Switch comunicación Starix 2000	\$ 1.668.480	\$ 5.005.440
1	PLC 2080-LC50-48AWB	\$ 3.095.584	\$ 3.095.584
2	Modulo temperatura 2085-IRT4	\$ 2.246.784	\$ 4.493.568
1	Modulo in 4.20mA 2085-IF4	\$ 2.406.304	\$ 2.406.304
1	Modulo Salida digitales 2085-OW16	\$ 1.738.668	\$ 1.738.668
11	Sensor de temperatura Termocupla tipo K	\$ 175.968	\$ 1.935.648
1	Transmisor de presión	\$ 818.656	\$ 818.656
1	Gabinete de control mímico	\$ 489.568	\$ 489.568
1	Gabinete de control ccm	\$ 327.552	\$ 327.552
1	PLC MICRO 850 2080-LC50-24QWB	\$ 2.133.440	\$ 2.133.440
1	Switch UTP Stratix2000	\$ 3.860.992	\$ 3.860.992
2	CT 4-20mA	\$ 236.491	\$ 472.982
3	Final de carrera	\$ 45.000	\$ 135.000
63	Relevos 220 v 14 pines	\$ 91.915	\$ 5.790.645

63	Base relevos 14 pines	\$ 44.825	\$ 2.823.975
5	Cable alambre N°16 royo	\$ 169.000	\$ 845.000
1	Sensor de Radar Nivel	\$ 1.325.000	\$ 1.325.000
6	Cable 4x12 100m	\$ 643.000	\$ 3.858.000
4	cable 3x14 100 m	\$ 399.000	\$ 1.596.000
325	Borneras	\$ 5.000	\$ 1.625.000
300	Cable ethernet	\$ 1.507	\$ 452.100
25	Adaptador Rj45	\$ 1.000	\$ 25.000
100	Cable fibra óptica	\$ 26.900	\$ 2.690.000
2	Convertidor rj45 a fibra óptica	\$ 133.350	\$ 266.700
Total			\$ 56.888.390

Elaboración propia.

En relación a la disminución de tiempos como beneficio de la implementación de los procesos de esterilización y clarificación se logró reducir los tiempos de parada aproximadamente entre una y dos veces por semana, con un tiempo mínimo de 20 minutos y máximo de 60 minutos, esto indica que en caso de solo presentarse una parada se disminuye en un 25% el tiempo en el mes y en el momento que se presenten dos paradas el tiempo se reduce en un 50% mensualmente.

Considerando, las paradas y tiempos que se muestran en siguiente tabla, encontrando en la primera línea las cuatro (4) paradas que semanalmente se registraban antes de la automatización, paradas con un tiempo de 20 minutos (mínimo) y 60 minutos (máximo), lo que implica que en el mes se perdían 320 minutos en el tiempo mínimo y se lograban perder 960 minutos mensuales cuando la parada registraba 1 hora de suspenso del proceso.

Tabla 8. Porcentajes de parada.

Paradas Semana	Minutos Mínimo Parada	Minutos Máximo	Tiempo Mínimo Mes (Minutos)	Tiempo Máximo Mes (Minutos)
4	20	60	320	960
1	20	60	80	240
2	20	60	160	480
Reducción Porcentual 1 Parada semana			25%	25%
Reducción Porcentual 2 Parada semana			50%	50%

Elaboración propia.

Lo anterior indica que, la automatización contribuye de gran manera con el proceso porque incrementa el tiempo en funcionamiento, es decir que se obtiene el producto final más rápido en la planta extractora. Vale mencionar que, aunque el aceite producido no aumente, el beneficio se refleja en la reducción de los tiempos de paradas. En este sentido, normalmente la empresa recibe de 350 a 600 toneladas de fruta de palma para procesar, lo que conlleva a que la producción del aceite se logra tener en menor tiempo.

7. Análisis e impacto de los resultados y pasantía

La empresa logro los objetivos estipulados al inicio del proyecto, ya que con las instalaciones reportadas en el documento la compañía se logró dar inicio al proceso de automatización mediante la instalación y control de las diferentes variables importantes presentes en los procesos de clarificación y esterilización.

La automatización de los procesos de clarificación y esterilización le permite a la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare estar cada vez más cerca de implementar un sistema de control automatizado más avanzado y adecuado a las condiciones que la compañía desea lograr tener en un futuro.

La experiencia obtenida en la práctica de la pasantía desarrollada en la planta extractora Industrial Aceitera del Casanare en mi concepto considero que tuvo un gran impacto, por el hecho de tener el primer acercamiento y oportunidad real de poner a prueba los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de ingeniería electrónica.

Lo anterior indica que la teoría aprendida se hizo realidad en su aplicación del conocimiento en relación a los equipos y elementos que se requieren para la automatización de los estados de llenado, mantenimiento y proceso en los procesos de esterilización y clarificación.

En el momento de realizar las pruebas de ensayo y error, se presentaron varias dificultades que conllevo a reescribir el código para lograr un funcionamiento correcto del encendido de máquinas, el nivel de llenado, el modo de mantenimiento y el proceso de los procesos de clarificación y esterilización.

Mediante la práctica adquirí mayor conocimiento al tener que buscar soluciones de respuesta a la implementación del sistema de medición y de control. Asimismo, se presentaron fallas con la instalación del cableado afectando la marcha de las máquinas, por tanto, fue necesario tomar decisiones técnicas para resolver los inconvenientes.

Adicionalmente, mediante la pasantía se logra comprender el funcionamiento de los procesos de producción en una empresa para poder desarrollar el trabajo con total éxito, permitiendo adquirir mayor conocimiento de manera directa con una empresa del sector industrial y que desarrolla actividades de producción de palma de aceite.

La pasantía, fue posible, gracias al personal de acompañamiento, quienes disponen de una excelente experiencia profesional, de quienes recibí una correcta orientación para lograr cumplir con el objetivo principal formulado el cual se enfocó en implementar sistemas de monitoreo y control en los procesos de esterilización y clarificación del aceite de palma.

8. Conclusiones

- Se lograron instalar las bases que permitirán a la planta extractora de palma de aceite en el municipio de Orocué, Casanare, iniciar un proceso de automatización completo para todas las actividades que se realizan en la extracción de aceite de palma, esto se realizó para mejorar el funcionamiento del proceso ya que el control realizado era muy anticuado.
- Se instalaron equipos que me permiten leer los diferentes instrumentos de medición instalados de las máquinas que intervienen en el proceso de clarificación y esterilización, desde un solo equipo se logran ver todas las variables importantes, tales como la presión, temperatura y nivel de llenado, en los diferentes tanques de clarificación permitiendo de esta manera que el operario encargado pudiera ver en tiempo real estas variables, ya que permite una mejor calidad del proceso.
- Se instalaron pequeños sistemas de control que evitan una supervisión estricta en tiempo real de algunos de los procesos descritos en el documento debido a su automatización.
- Los procesos que se encuentran automatizados disponen de una lectura de la mayoría de las variables importantes, permitiendo al empleado supervisar desde una misma pantalla en tiempo real el proceso de producción y así mismo tomar medidas de acuerdo a la información que se obtenga.
- Mediante la automatización de los estados de llenado, mantenimiento y proceso en los procesos de esterilización y clarificación se logró reducir los tiempos de parada aproximadamente entre una y dos veces por semana, y con igual tiempo que se presentaban las paradas antes de los sistemas de monitoreo de control implementados. Esto permitió que el operario tuviera más tiempo, para ser dedicados en otra labor del área de proceso, antes se manejaban un operario y un auxiliar, ahora solo es un operador.

Lo anterior indica que en caso de solo presentarse una parada se disminuye en un 25% el tiempo en el mes y en el momento que se presenten dos paradas el tiempo se reduce en un 50% mensualmente.

REFERENCIAS

- [1] *ERBE, Heinz-H. COST ASPECTS OF PLANT AUTOMATION – COST OF OWNERSHIP. En: IFAC Proceedings Volumes, [en línea]. 2005. vol. 38, no. 1 [consultado el 6, agosto, 2022], p. 84-89. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.3182/20050703-6-cz-1902.01396>>. ISSN 1474-6670.*

- [2] *MARTÍNEZ SANTA, Fernando, GAMBOA TORRES, Javier y RODRÍGUEZ FALLA, Andrés. Sistema de supervisión y automatización del proceso de clarificación de agua en la planta de tratamiento de agua potable, El Dorado. En: Revista especializada en Ingeniería #ashtag, (13), 11-28. [en línea]. 2019. Disponible en Internet: <<https://doi.org/10.52143/2346139X.617>>.*

- [3] *BARRERA CUERVO, Joan Feyder y VARGAS Juan Carlos. Automatización y supervisión de planta extractora de aceite de palma. [en línea]. 2010. Disponible en Internet: <<https://bit.ly/3CPxeKB>>.*

- [4] *MORALES, Santiago Calero; LORENZO, Angie Fernández; CONCEPCIÓN, Raúl Ricardo Fernández. Estudio de variables clave para el análisis del control del rendimiento técnico-táctico del voleibol de alto nivel. , Lecturas: Educación física y deportes, 2008, no 121, p. 17. Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/ESf2AGL>>.*

- [5] *SÁNCHEZ FLORES, César Iván. Implementación de un sistema de medición con registro de demanda, programado para que integre la demanda en un período de 5 minutos con intervalo de un minuto, en el primario que alimenta al Sistema Trolebús, de Quito, desde la Subestación Carolina de la Empresa Eléctrica Quito. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE. [en línea]. 2019. Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/TSf5XHN>>.*

- [6] AGUDELO, Néstor; TANO, Giovanni; VARGAS, C. Andrés. *Historia de la automatización. Bogotá. Accessed: Nov, 2020, vol. 1. Universidad ECCI., Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/31l2peO>>.*
- [7] SANCHIS LLOPIS, Roberto, ROMERO PÉREZ, Julio Ariel, ARIÑO LATORRE, Carlos Vicente. *Automatización industrial. 2010. Ingeniería de sistemas industriales y diseño., Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/E1OFVjt>>.*
- [8] GONZÁLEZ-FILGUEIRA, Gerardo; PERMUY, Francisco Javier Rodríguez. *Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, 2018, no 27, p. 1-17., Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/91OzY4a>>.*
- [9] ALCOCER QUINTEROS, Patricio Rubén, CALERO ZURITA, Mabel., CEDEÑO ZAMBRANO, Nivaldo., & LAPO MANCHAY, Esthela. *Automatización de los procesos industriales, Journal of business and entrepreneurial studies: JBES, 2020, vol. 4, no 2, p. 123-131. Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/v1YYQDA>>.*
- [10] HERNÁNDEZ, Evelyn.; SAMAYOA, Svetlana.; ALVAREZ, Erwin. y TALAVERA, Carlos. *Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras., Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Honduras, PNUD y Gobierno de España. 2012. <https://cutt.ly/A1YUO1r>.*
- [11] PRIETO CADAVID, Lubar Patricia. *Optimización del proceso de recepción y almacenamiento de materia prima en la planta extractora Palmas Oleaginosas Bucarelia SAS. 2021., Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/l1YTSPA>>.*
- [12] ERASO CASIERRA, Alexis Fabricio y ZULUAGA CÁRDENAS, Daniel Felipe., *Optimización del sistema de automatización para la refrigeración de*

productos líquidos finales antes del embotellado en la planta de Postobón SA Yumbo. 2010. Disponible en <<https://cutt.ly/H1OH0dF>>.

[13] GREPALMA. *Guía ambiental de la agroindustria de palma de aceite en Guatemala. Comité Técnico Ambiental de Gremial de Palmicultores de Guatemala. [en línea], 2019. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/qSswzsH>>.

[14] VELÁSQUEZ COSTA, José Antonio. *Prototipo Pick and Place Machine. Perfiles de Ingeniería, 2019, vol. 15, no 15, p. 111-120. [en línea]. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/0SsznQG>>.

[15] GARCÍA, Juan Antonio. *Tema 8. Introducción a la Automatización Industrial. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Málaga. 2020., [en línea]. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/oSsv69q>>.

[16] FEDEPALMA. *Nota Técnica: Participación de Cenipalma en el VI Congreso de Automatización Industrial – Automatiza 2017. En: Revista El Palmicultor. Edición septiembre 2017 No. 547., [en línea]. 2017. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/MSsmve5>>.

[17] FEDEPALMA. *Informe de gestión Fedepalma 2019. [en línea]. 2020. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/TSSYPkN>>.

[18] JAYA CAMACHO, Roni Mauricio y SANCHEZ MENDEZ, David Antonio. *Diseño del sistema de supervisión y control para la automatización de un horno autoclave con capacidad de 45 toneladas/hora, utilizado en el proceso de esterilización de fruto en una planta extractora de aceite de palma. Tesis doctoral. [en línea]. 2017. Disponible en Internet:* <<https://cutt.ly/8Sgj4RI>>.

- [19] RINCÓN CARRASCAL, Héctor Adrian. *Sistemas de control y automatización para incrementar la productividad en plantas de beneficio*. En: *Palmas.*, [en línea]. 1, enero, 2010. vol. 31, especial [consultado el 1, marzo, 2022], p. 9. 2010. Disponible en Internet: <<https://cutt.ly/5AHaLls>>..
- [20] MESA, Héctor Andrés y PIÑEROS BELTRÁN, Luis Henry. *Fabricación y montaje de los equipos para una planta extractora de aceite de palma*. En: *Universidad Piloto de Colombia.*, [en línea]. Tesis (Especialización en Gerencia de Proyectos). Facultad De Ciencias Sociales y Empresariales. [consultado el 26, febrero, 2022]. [en línea]. 2018. Disponible en: <<https://cutt.ly/UAHueJG>>.
- [21] ARCOS MORALES, Rafael. *Instrumentos de Medición Mecánica*. Ternium. *Manual de contenido del participante*. Instituto Tecnológico Superior de Xalapa., [en línea]. 2014. Disponible en: <<https://cutt.ly/4SgyK9s>>.
- [22] RAMÍREZ ECHAVARRÍA, J. L., & LONDOÑO PARRA, C. M. *Rediseño e implementación de un prototipo para la medición y control de nivel y caudal de agua.* , En: *TecnoLógicas*, 171-186. [en línea]. 2007. Disponible en: <<https://cutt.ly/9SgBVNw>>.
- [23] ALONSO PINZÓN, Edicson Fabian; LUGO BENITEZ, John Fredy. *Instrumentación y Control de Nivel para un Sistema de Tanques de Hipoclorito de Sodio para Brinsa SA.*, [en línea]. 2019. Disponible en: <<https://repositorio.itc.edu.co/handle/001/386>>.
- [24] BEDOYA MARTÍNEZ, Daniel Arturo. *Diseño de un contrastador de temperatura para termómetros de termocuplas tipo K*. [en línea], 2014. Disponible en: <<https://cutt.ly/GSgNoRb>>.
- [25] GARCÍA IBARRA, Alejandro Rafael; HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Arturo; RAMÍREZ BELTRÁN, Jorge, REINA MUÑOZ, Rodrigo; & CHARRY RODRIGUEZ, Edgar. *Transmisor de presión diferencial de muy alta*

precisión y estabilidad., Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 35(1), 57-77. [en línea]. 2014. Disponible en: <<https://cutt.ly/6SgNWZL>>.

[26] BARRERA CUERVO, Joan Feyder y VARGAS Juan Carlos. *Diseño de sistema de supervisión y automatización para planta extractora de aceite de palma.*, [En línea]. 2010. [consultado el 3, marzo, 2022]. Disponible en <<https://bit.ly/3CxrPrc>>.

[27] ABREU IBARRA, Jensen Ramiro y CORZO SILVA, Leonel Abraham. *Diseño y cálculo para la automatización del proceso de esterilización del fruto de palma africana en la obtención de aceite para la empresa Coopar (Cooperativa Palmas Risaralda Ltda)*, ubicada en el municipio del Zulia, Norte de Santander. [En línea]. 2015. [consultado el 3, marzo, 2022]. Disponible en <<https://cutt.ly/BAHqkLa>>.

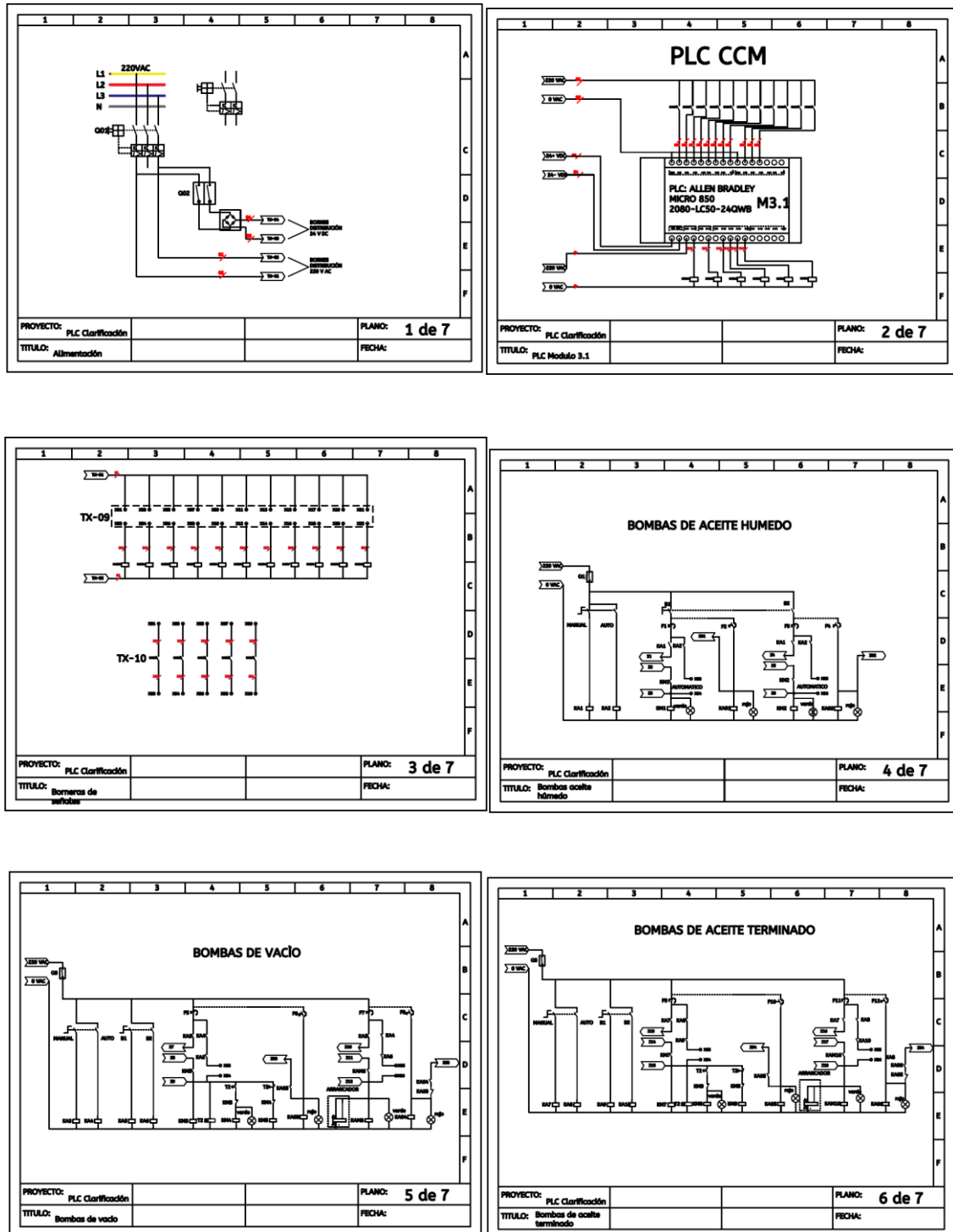
[28] ROZO IBÁÑEZ, Durvvin Alexis y VELASCO ESCALANTE, Libardo Antonio. *Ingeniería de automatización para el proceso de esterilización en la extracción de aceite de palma africana de la empresa Oleoflores Ltda.*, En: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. [en línea]. Vol. 2 - No 10. (2007). p. 82-87. [consultado el 26, febrero, 2022]. Disponible en <<https://cutt.ly/NAHy0VC>>.

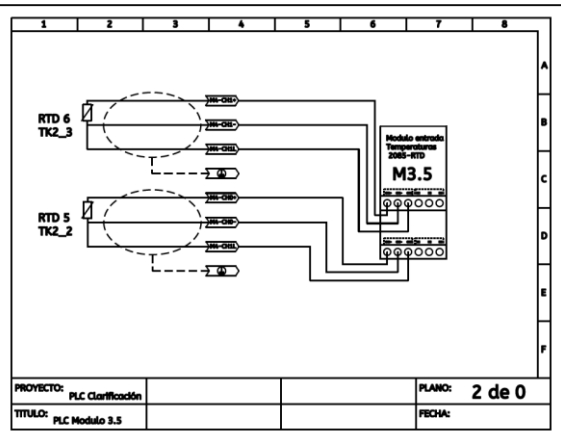
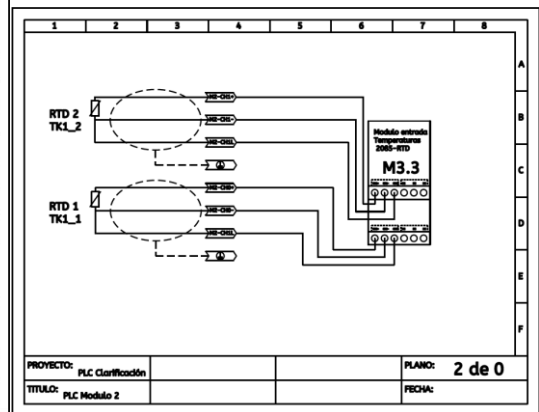
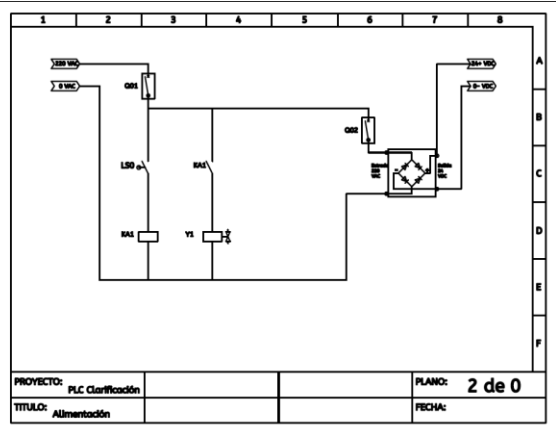
[29] MA, Ah Ngan. *La planta extractora de aceite de palma: control del proceso.* En: Revista Palmas. 1998. vol. 19, no. 274-279, p. 5. <<https://cutt.ly/2CqBAxp>>.

[30] LLM, Nicholas BH. *Implementación de la automatización en las plantas de beneficio.* Revista Palmas, 1998, vol. 19, no especial, p. 287-298. <https://bit.ly/3FSAHeh>.

Anexos

Anexo 1. Planos eléctricos PLC clarificación





Anexo 2. Planos eléctricos PLC Esterilización

