



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TEMA:

“Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables”

AUTOR:

Fernández Franco, Manuel Alejandro

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

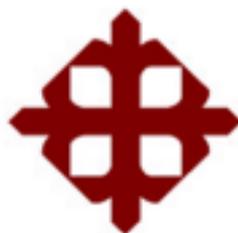
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

TUTORA:

Ing. Peñafiel Olivo, Kety Jenny. Mgs.

Guayaquil, Ecuador

2025



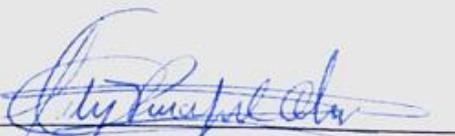
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por Fernández Franco Manuel Alejandro, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniería en electrónica y automatización**.

TUTOR (A)

f. 

Ing. Peñañiel Olivo, Kety Jenny. Mgs.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PhD.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Fernández Franco, Manuel Alejandro**

DECLARO QUE:

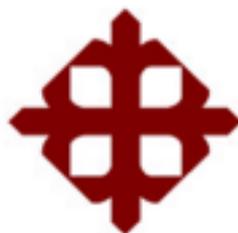
El trabajo de titulación, “Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables” previo a la obtención del título de Ingeniero en electrónica y automatización, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del trabajo de titulación referido.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2025

EL AUTOR

Fernández Franco, Manuel Alejandro



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, Fernández Franco, Manuel Alejandro

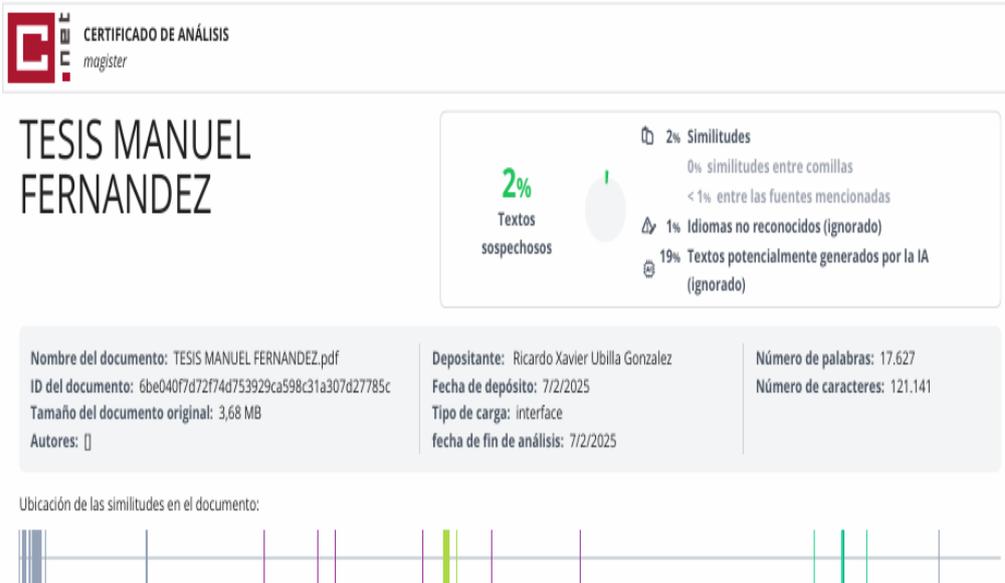
Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación “Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2025

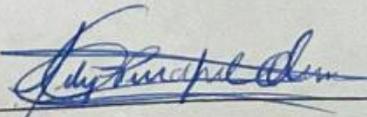
EL AUTOR

Fernández Franco, Manuel Alejandro

REPORTE COMPILATIO



Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación “Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables”, presentado por el estudiante Fernández Franco Manuel Alejandro, fue enviado al Sistema Anti-Plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. 

Ing. Peñafiel Olivo, Kety Jenny. Mgs.

AGRADECIMIENTO

En el culminar de esta ardua trayectoria académica, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Jehová, cuya guía y esperanza han iluminado mi vida para este hermoso logro académico y profesional. Gracias a Dios, por mostrarme su generosidad y compasión desde el primer día que empecé mi viaje académico.

A mis amados padres, agradezco por ser mis pilares de apoyo y brindarme las herramientas necesarias para poder desarrollarme como buena persona, y convertirme en un profesional. A mis queridas abuelas, les agradezco por su cariño y palabras de aliento que me llenaron de confianza. A mi querido abuelo, quien junto a mi padre me daba consejos de vida útiles para formar un carácter fuerte. Gracias por estar a mi lado desde el primer día que llegue a este mundo.

A mi hermosa novia quien pese a las dificultades ha sido mi acompañante en mi formación académica, brindándome amor, comprensión y motivación en cada momento, gracias por creer en mí. Extiendo mi agradecimiento hacia tu familia que me han tratado como un miembro más de ustedes.

A la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, quiero expresar mi profunda gratitud a esta prestigiosa institución académica que me brindó la oportunidad de adquirir conocimientos gracias a sus excelentes profesores, quienes me llevaron a desafiar mis límites y brindarme los conocimientos esenciales para convertirme en un profesional.

A el estimado director de carrera Bayardo Bohórquez quien deposito su confianza en mí desde los primeros semestres de la carrera, le agradezco sus enseñanzas brindadas y su respaldo. A mi estimada tutora de tesis Kety Peñafiel. El camino hacia la culminación de este proyecto no habría sido posible sin su orientación y compromiso. Agradezco su tiempo y paciencia.

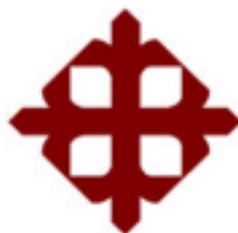
A mi querido hermano de otra madre, te agradezco por los increíbles momentos que pasamos desde nuestra infancia, las conversaciones profundas sobre el futuro y consejos de vida.

Este logro no es solo mío, sino de todas las personas importantes en mi vida que forman parte de viaje. Que estas palabras de agradecimiento reflejen a ustedes mi profunda gratitud de su influencia en mi vida.

DEDICATORIA

Dedico el siguiente trabajo de titulación en primer lugar a Jehová Dios todo poderoso, por su apoyo constante en todo momento, me ha proporcionado sabiduría e inteligencia para poder cumplir este logro.

No puedo olvidar mencionar a mi querida familia. Su apoyo constante en todo momento, sus palabras de aliento en momentos difíciles y sus alegrías de celebración de mis triunfos alcanzado, me han proporcionado la fortaleza necesaria para superar dificultades.



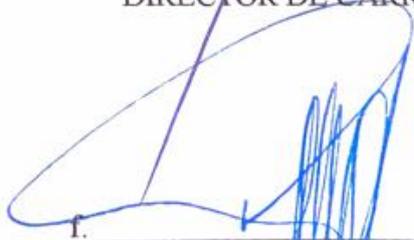
**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

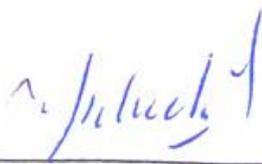
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, Msc.
COORDINADOR DEL ÁREA DE TITULACIÓN

f. 

Ing. Meléndez Rangel, Jesús Ramon, PhD.
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I	2
INTRODUCCIÓN	2
1.1 Justificación y alcance	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Preguntas de investigación	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo General	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Hipótesis	7
1.6 Metodología	8
CAPÍTULO II	9
MARCO TEÓRICO	9
1. Energía como motor del desarrollo sostenible	9
1.1 Energía tradicional hacia renovable	10
1.2 Energía y medio ambiente	12
1.3 El ahorro energético en la industrial del Ecuador	15
2. Proceso de producción de ingenio azucarero	30
2.1 Importancia del control térmico y llenado en el difusor	31
2.2 Tratamiento del jugo de caña de azúcar	34
2.3 Producto final	39
CAPÍTULO III	40

SISTEMA DE CONTROL AUXILIAR _____	40
1. Control del llenado y vaciado de estructura tipo domo _____	40
1.1 Elementos del sistema auxiliar en PCSimu _____	40
1.2 Diagrama del sistema auxiliar en CADeSimu _____	42
1.2.1 Diagrama de potencia _____	42
1.2.2 Diagrama de comando _____	44
1.2.3 Integración del Cuadro de Entradas y Salidas _____	45
1.3 Simulación del sistema de control _____	47
2. Control de temperatura en programa TIA PORTAL _____	50
CAPITULO IV _____	61
SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE _____	61
1. Diseño de fuente de energía renovable _____	61
1.1 Elementos de consumo _____	61
2. Esquema básico de una instalación fotovoltaica _____	65
2.1 Rendimiento global de la instalación _____	67
2.2 Regulador de voltaje _____	70
2.3 Baterías _____	72
2.4 Inversor solar _____	74
2.5 Conexión entre paneles _____	75
CAPITULO V _____	79
INVERSIÓN ECONÓMICA _____	79
1. Análisis de costes _____	79
2. R.O.I _____	81
CAPITULO VI _____	82
RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES _____	82
Comparación de resultados _____	83
Referencias _____	84

Índice de Figuras

Figura 1. Características de energía renovable _____	11
Figura 2. Variación de las emisiones de gases de efecto invernadero _____	13
Figura 3. Emisiones de gases contaminantes en Ecuador _____	14
Figura 4. Emisiones de CO2 en el S.N.I. del 2016 al 2023 _____	16
Figura 5. Comparación del impacto ambiental de las formas de producir energía _____	17
Figura 6. Sistema de combustión de carbón _____	18
Figura 7. Turbina de gas para generación eléctrica _____	19
Figura 8. Energía nuclear _____	21
Figura 9. Panel solar fotovoltaico _____	22
Figura 10. Imagen referencial de una instalación de panel solar _____	23
Figura 11. Bagazo de caña de azúcar como fuente de energía _____	25
Figura 12. Estructura térmica terrestre _____	28
Figura 13. Partes de un Aerogenerador _____	29
Figura 14. Recolección de caña de azúcar _____	30
Figura 15. Bombas de recirculación de jugo de caña _____	31
Figura 16. Cámara de difusor _____	32
Figura 17. Molino de cilindros _____	33

Figura 18. Extracción y Refinación de azúcar	36
Figura 19. Configuración SCADA del tachó cristalizador	37
Figura 20. Área de centrifugado de azúcar	38
Figura 21. Envasadora de azúcar con 4 pesadoras lineales	39
Figura 22. Estructura tipo domo en PCSimu	40
Figura 23. Bomba de agua trifásica y cañería	41
Figura 24. Integración de tablero de control	42
Figura 25. Diagrama de potencia	43
Figura 26. Diagrama de comando	45
Figura 27. Diagrama de comando junto entradas y salidas	47
Figura 28. Estado inicial de la simulación	48
Figura 29. Llenado de la estructura tipo domo	48
Figura 30. Vaciado de la estructura tipo domo	49
Figura 31. Bloque de normalizado y escala	51
Figura 32. Simulación parte 1	52
Figura 33. Entradas analógicas de incremento y decremento	53
Figura 34. Bloques de aceleración del proceso	54
Figura 35. Botones de acelerar y desacelerar	55

Figura 36. STOP de simulación	55
Figura 37. Visualización de HMI	56
Figura 38. Variables de los bloques de programación	57
Figura 39. Bloque de función (FB)	58
Figura 40. Enlace del PLC y HMI	59
Figura 41. Simulación del control de temperatura	59
Figura 42. Disminución de temperatura	60
Figura 43. Bomba de agua centrífuga 2CP40/180C	62
Figura 44. Datos de consumo energético diario	65
Figura 45. Componente de instalación fotovoltaica	66
Figura 46. Valores de coeficientes	68
Figura 47. Valores de coeficientes según su uso	68
Figura 48. Panel Solar Victron 250W poly	69
Figura 49. Controlador MPPT	71
Figura 50. Regulador solar	72
Figura 51. Batería de 2V victron	73
Figura 52. Batería solar de 24v	73
Figura 53. Inversor monofásico	74

Figura 54. Conexión en paralelo de un panel solar	75
Figura 55. Conexión en serie de un panel solar	76
Figura 56. Mezcla de conexión entre paneles solares	77
Figura 57. Arquitectura de instalación de fuente fotovoltaica de red trifásica	78

Índice de Tablas

Tabla 1 . Porcentajes de Emisiones de CO2 por sectores año 2015	15
Tabla 2. Comparación de fuentes de biomasa en Ecuador	26
Tabla 3. Clasificación de energía geotérmica según la temperatura del subsuelo	28
Tabla 4. Elementos del diagrama de potencia	43
Tabla 5. Elementos del diagrama de comando	44
Tabla 6. Sensores de nivel de agua y bobina temporizada para el vaciado	46
Tabla 7. Configuración de entradas y salidas	46
Tabla 8. Análisis de costos	79
Tabla 9. Costos del sistema auxiliar del control térmico y llenado de agua	80
Tabla 10. Costos de instalación fotovoltaica	80
Tabla 11. Comparación de resultados	83

RESUMEN

Este proyecto de titulación tiene como objetivo el diseño de un sistema de control auxiliar para abastecer el llenado de agua en domos, tener un correcto control térmico para el uso de agua hervida en el proceso de caña de azúcar, garantizando la protección integral de operadores y mayor competitividad en el mercado, gracias a la calidad del producto final.

Las fuentes de energía representan un papel fundamental en el desarrollo económico y social, debido a que los equipos tecnológicos se alimentan de electricidad para su funcionamiento. Para esto se incentiva el uso de energías renovables para evitar errores no deseados como racionamientos de energía, corto circuitos en los tableros eléctricos; los cuales representan cuantiosas pérdidas económicas.

Se realizó una investigación exhaustiva sobre las distintas formas de generar energía, por lo que se tomó la decisión del uso de energía renovable por medio de una instalación de paneles solares fotovoltaicos aprovechando el recurso natural inagotable que es el sol, que además disminuye el efecto de gases contaminantes en el medio ambiente.

Palabras claves: Energía renovable, sistema de control, electricidad, paneles solares, fuentes de energía, ambiente.

ABSTRACT

The objective of this degree project is to design an auxiliary control system to supply the water filling in domes, to have a correct temperature control for the use of boiled water in the sugar cane process, guaranteeing the integral protection of operators and greater competitiveness in the market, thanks to the quality of the final product.

Energy sources play a fundamental role in economic and social development, since technological equipment is powered by electricity for its operation. For this reason, the use of renewable energies is encouraged to avoid unwanted errors such as power rationing, and short circuits in electrical panels, which represent substantial economic losses.

An exhaustive investigation was carried out into the different ways of generating energy, so the decision was made to use renewable energy through the installation of photovoltaic solar panels, taking advantage of the inexhaustible natural resource that is the sun, which also reduces the effect of polluting gases in the environment.

Keywords: Renewable energy, control system, electricity, solar panels, energy sources, environment.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación y alcance

La industria azucarera tiene antiguos orígenes cuyos primeros rastros se documentan en las civilizaciones mesoamericana y asiática. La producción tradicional de azúcar es una planta que solo se desarrolla en las condiciones climáticas del Caribe y América del Sur, comenzó a gran escala en el siglo XV durante la expansión colonial europea. La caña de azúcar se convirtió en un cultivo estratégico en el Caribe y América del Sur. Con el inicio del siglo XVI, el comercio de este solo producto ya había transformado completamente las economías de las colonias locales y globales.

Al comienzo XVIII, la Revolución Industrial determinó un registro de inclinación eficiente en la industria de productos azucareros. La introducción de métodos tecnológicos como molinos de caña y los sistemas de limpieza mecánicos optimizó la extracción de jugo y su cristalización, aumentando la producción de gran manera. A este paso se complementó con el uso de calderas de vapor, que dieron paso a la eficiencia de los procesos.

A medida que el siglo XIX continuaba, la industria de azúcar se fue acoplando hacia un cambio industrial que involucra el control de trabajos y procesos. La llegada de sistemas de medición de temperatura junto con sistemas de medición y control, aunque limitados, permitió a los ingenieros de esa época optimizar variables claves como la temperatura y la presión en los procesos de cocción y cristalización, consolidando el camino hacia la automatización industrial.

En el siglo XX la industria azucarera enfrentó varios desafíos. La rivalidad directa con productos hechos a base de edulcorantes artificiales y un mayor índice de conciencia sobre la salud pública han llevado a una diversificación de productos, incluyendo azúcar morena, panela y edulcorantes naturales. Dentro de este análisis en busca de encontrar una solución, el auge para mejorar la eficiencia operativa y reducir costo fue la implementación de procesos industriales automatizados, lo que llevo a

cabo una relevante disminución en los tiempos de inactividad y un aumento en la calidad del producto final estimado.

Dentro del área industrial se necesita comunicación total y continua sobre un sistema de control industrial, ya que existen funciones que deben ejecutarse de manera permanente para asegurar un buen ambiente laboral para los operadores de diferentes áreas, fuera de catástrofes que puedan ser ocasionadas dentro de la industria.

Con relación a lo mencionado, es indispensable garantizar la comunicación total y continua de los sistemas industriales controlado. Para salvaguardar la seguridad de los trabajadores y la continuidad operativa del proceso, existen funciones críticas que deben ser ejecutadas de manera permanente, en especial en áreas catalogadas como zonas que tienen altos índices de riesgo. Estas acciones son ejecutadas y supervisadas a través de sistemas industriales que dependen de controladores lógicos programables (PLCs), dichos equipos dependen de fuente de energía constante para su operabilidad y evitar paradas imprevistas.

El siguiente tema de análisis se sitúa dentro de una fábrica industrial que se dedica al cultivo de caña de azúcar, producción y comercialización de azúcar (blanco, blanco especial, morena, blanco light, morena light, cruda, turbinado) y panela; al igual que toda industria que se dedica a su propia producción debe tener protocolos de seguridad para asegurar la integridad física de sus trabajadores, pero esto no asegura a cabalidad la protección de estos.

Es importante mencionar que los riesgos laborales pueden ocurrir en cualquier industria, una de las mayores consecuencias de un riesgo laboral es la parada de producción, donde cada hora que pase significa una pérdida económica; otra consecuencia es la integridad de los operadores que se encuentran realizando inspecciones a los equipos de manera constante.

La comunicación de un sistema de control en un área catalogada como una zona de riesgo debe tener una comunicación de manera obligatoria en todo momento, es por esto por lo que se debe crear un sistema de control auxiliar en caso de alguna falla inesperada como cortes de energía o un cortocircuito en esa área; una solución para este detalle es el uso de la energía renovable.

1.2 Planteamiento del problema

Dentro de la industria, la administración y control de temperatura junto al llenado de agua en estructuras tipo domo enfrentan varios desafíos relevantes con relación a su eficiencia energética y sustentabilidad. Los sistemas básicos de control, que tienen dependencia en gran manera se basan en fuentes de energía antiguas, tienen ciertas complicaciones en cuanto a su fiabilidad, seguridad y adaptabilidad a las fuertes exigencias energéticas demandadas.

Este tipo de restricciones conllevan a un alto consumo de energía, elevados gastos de operación y una considerable influencia ambiental. También, el desarrollo en la integración de fuentes de energía renovable en sistemas auxiliares ha sido complicada, por lo que ha hecho complejo el crecimiento hacia vías más sostenibles.

Dado a estas circunstancias, emerge la necesidad de realizar un diseño de control auxiliar e implementarlo con la finalidad que controle la temperatura de agua y gestione el suministro del llenado de agua, apoyándose por fuentes de energía limpia. Este sistema debe ayudar con la mejora de eficiencia energética en el uso de energía, disminuir las emisiones de gases contaminantes y asegurar la operatividad continua aún durante paros en el suministro eléctrico habitual.

El presente estudio de investigación busca la puesta en práctica para el desarrollo e integración de energías renovables para suministrar la energía necesaria hacia los sistemas de control, con el fin de mejorar su funcionamiento y sostenibilidad. Para ello, se sugiere:

- ✓ La elaboración un diseño de sistema auxiliar del control de temperatura y suministro de agua en estructuras tipo domo, usando energía limpia.
- ✓ El análisis de los requisitos técnicos y la sustentabilidad económica para dar solución a la propuesta.
- ✓ El desarrollo de modelos de simulación que evalúen el impacto de la integración de energías renovables en estos sistemas.

Realizar una implementación en este sistema de control auxiliar va a dar paso a la contribución de una mejora de la eficiencia energética, disminuir las emisiones y

dar garantía en la confianza de los sistemas de control térmico y llenado de agua en domos, por lo que estos aportes simultáneamente promoverán a la industria hacia la sostenibilidad energética

1.3 Preguntas de investigación

En el desarrollo del presente modelo de estudio, y tomando en cuenta los límites de seguridad para el personal de trabajo operativo, se aspira no solo cuidar de su bienestar, sino que también es primordial evitar relevantes pérdidas económicas en la producción del área de domos. Esto comprende realizar un análisis detallado de la continuidad de operación y asegurarlo mediante soluciones técnicas innovadoras. En este contexto, se genera una interrogante importante: ¿Cómo planificar el diseño de un sistema auxiliar para el control térmico y llenado de agua en domos, que también cumpla con estándares de sostenibilidad y tenga como soporte el uso de fuentes de energías renovables?

Tener una respuesta ante este análisis requiere de un estudio multifacético que analice los aspectos técnicos e implicaciones económicas que sean amigables con el ambiente. Por lo que es imprescindible identificar el uso de tecnologías que puedan integrarse de manera eficiente al proceso operativo, tomando en cuenta características de los domos y sus condiciones operativas.

Por otra parte, es fundamental examinar el proceso del producto final, para comprender la calidad de su producto final y evitar costos adicionales por interrupciones no deseadas o mantenimientos no planificados, que representan cuantiosas pérdidas económicas.

Finalmente, es importante desarrollar modelos de simulación que permita evaluar el impacto de la integración de energías renovables en el sistema auxiliar del control térmico y llenado de agua en domos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

El objetivo primordial del presente proyecto de investigación es examinar y destacar la importancia de realizar una optimización los sistemas auxiliares que controlarán la temperatura y suministro de agua en estructuras tipo domo a través de la integración de fuentes de energías limpias. El análisis propuesto tendrá como propósito el suministro de energía solar a través de una instalación fotovoltaica, disminuir los riesgos laborales mediante un sistema de control mediante PLC que refleje las variables a controlar por medio de la pantalla HMI (Interfaz Hombre Máquina).

Este modelo de suministro energético promoverá hacia procesos más eficientes y sostenibles para el cuidado del ambiente, fomentando el uso sostenible de energías renovables.

1.4.2 Objetivos específicos

Diseñar un sistema auxiliar de control térmico y llenado de agua para estructura tipo domos en donde se incorpore el uso de tecnologías renovables, con la finalidad de que se reduzcan emisiones de gases contaminantes y poder garantizar la estabilidad operativa y el control de variables del proceso industrial, a pesar de interrupciones del suministro de energía convencional.

Analizar el desempeño técnico y la inversión económica que llevará a cabo la solución propuesta, se realizará un análisis de indicadores de consumo diario, abastecimiento de energía en días donde no haya suficiente emisión de rayos solares asegurando la sostenibilidad y rentabilidad del sistema auxiliar por medio de una simulación para ver cómo sería la aplicación práctica dentro del proceso industrial.

1.5 Hipótesis

Realizar una la implementación de un sistema de control auxiliar apoyado por un sistema de energías limpias, que estará compuesto por tecnologías fotovoltaicas y respaldado con un banco de baterías, dentro una planta industrial donde su producto final y procesamiento es la caña de azúcar, lo que va a permitir garantizar una comunicación continua y la operación sin interrupciones de los sistemas de control automatizados.

Por esta razón se incluye controladores lógicos programables (PLCs), que tendrá un suministro eléctrico ininterrumpido de los dispositivos, incluso ante cortes de energía convencional o fallas inoportunas en la infraestructura eléctrica principal.

Así mismo, el sistema auxiliar va a contribuir en la protección de la integridad física de los trabajadores que realizan inspecciones, maniobras operativas y mantenimiento dentro o cerca de la cámara del difusor la cual también va a asegurar la continuidad operativa del sistema evitando paradas de producción no deseadas que puedan exponer al personal a situaciones de alto riesgo.

Por otro lado, va a permitir la reducción hacia la dependencia de energías tradicionales, como combustibles fósiles o distintas formas de generar energía las cuales ocasionan emisiones de gases contaminantes y un daño hacia el ambiente. Mediante el uso de energías renovables se va a contribuir significativamente a la disminución de la huella de carbono.

La validación de esta hipótesis va a demostrar que un sistema de control auxiliar apoyado por un sistema de energías limpias es una solución viable técnicamente, económicamente factible y amigable con el medio ambiente, por lo que este sistema va a garantizar una comunicación total, seguridad y continuidad cooperativa en los sistemas automatizados de la planta industrial donde se procesa caña de azúcar, optimizando su productividad y desempeño a largo plazo.

1.6 Metodología

La metodología que se empleará en este proyecto de investigación se desarrollará a través de etapas:

En primer lugar, se realizará una investigación sobre la importancia de la electricidad y el impacto ambiental que genera las distintas formas de generar energía, para así determinar el sistema de energía limpia seleccionado. Esto va a permitir evaluar el rol fundamental del uso de fuentes de energías renovables.

Se va a identificar los componentes y requerimientos claves para la alimentación eléctrica del sistema auxiliar y poder garantizar la operación ininterrumpida de los sistemas de control.

Con base a los resultados obtenidos, se va a realizar el diseño de la arquitectura del sistema de control auxiliar, el cual requerirá componentes de hardware y software específicos para la gestión eficiente y confiable del sistema a través del diseño optimizado.

Para evaluar el desempeño del sistema auxiliar, se realizará modelos de simulación que permitan estimar el consumo energético y los costos operativos asociados al mismo. Estos modelos de simulación permitirán visualizar la optimización del sistema auxiliar si es respaldado por energías renovables.

Finalmente, se documentará de manera detallada el proceso de diseño, implementación y evaluación del sistema de control auxiliar respaldado por energías renovables.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1. Energía como motor del desarrollo sostenible

La energía representa un componente esencial dentro de las estrategias de desarrollo del ámbito económico y social, representando un importante protagonismo en el progreso humano y desarrollo tecnológico. Su protagonismo trasciende de manera directa al aporte económico, ya que se encuentra enlazado con el concepto del movimiento, lo cual la convierte en una de las características más complejas que la humanidad ha tratado de definir. Las fuentes de energía, que se entienden como recursos que ofrece la naturaleza han sido aprovechados por el ser humano para hacer uso de diversas actividades que generen beneficios económicos, dichas fuentes naturales, tienen un origen común: el sol, el cual representa la fuente primaria de bastantes formas de energía que han sido implementadas en el planeta. (Llanes Cedeño, 2020)

Dentro del grupo de energía y sus diversas formas, hay una energía que destaca del resto, esta forma de energía es la electricidad. La electricidad es aquel suministro de energía que permite el uso de dispositivos y equipos tecnológicos. Sin embargo, debido al crecimiento de manera acelerada de la población y el aumento de cuantiosas demandas eléctricas para el entorno de hoy en día ha permitido el planteamiento de desafíos para satisfacer la demanda de energía, lo cual busca exhaustivamente garantizar un suministro confiable y sostenible de energía. En respuesta a este acontecimiento, se ha intensificado las investigaciones y desarrollo de nuevas fuentes de energía, con un énfasis en fuentes de energía renovable. Estas fuentes de energía amigable son imprescindibles para poder respaldar un futuro energético que sea factible y tolerable con el ambiente. (Llanes Cedeño, 2020)

Podemos determinar que la energía renovable se define como fuentes naturales inextinguibles, prácticamente inagotables. Varias de estas fuentes cuentan con una amplitud de energía sustancial, mientras que las demás tienen en particular reformarse de manera natural, lo que asegura su disponibilidad de recursos de manera prolongada. Por su bajo impacto ambiental, estas energías suelen ser clasificadas como limpias o verdes, ya que su generación no produce emisiones significativas de gases de efecto

invernadero, lo que las convierte en una alternativa clave para mitigar el cambio climático. (Gutiérrez, s.f.)

El resurgimiento y la creciente adopción de energías renovables se debe en gran medida a iniciativas globales como el Protocolo de Kioto, que fija límites a las emisiones de CO₂ y promueve estrategias internacionales para la transición hacia modelos energéticos más sostenibles. El marco promueve el desarrollo de tecnologías renovables y consolida su papel central en la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la protección del medio ambiente. (Llanes Cedeño, 2020)

1.1 Energía tradicional hacia renovable

En Física, la energía se define como aquella capacidad que tiene un sistema para poder ejecutar un trabajo o transferencia de calor, lo que se manifiesta por medio de un notable cambio. Un ejemplo de energía en donde se incluye algún esfuerzo de manera mecánica es el ejercicio que ejecuta una persona al momento de pedalear una bicicleta, otro ejemplo es la caída o movimiento constante del agua en un río o el calor que se libera mediante la combustión de carbón. (Serway, 2008)

A lo largo de la historia, la humanidad ha hecho uso de diferentes fuentes de energía para realizar una tarea o para calentarse. Al comienzo, se requería utilizar la fuerza de musculatura humana y de animales que puedan realizar cargas. Posteriormente, conforme al avance de la humanidad se comenzó a sacar provecho de la energía que se encuentra en el viento y en el agua. Luego, a medida que pasaba el tiempo, los avances tecnológicos abrieron un camino hacia la explotación de combustibles fósiles, carbón, gas natural y petróleo, lo que paulatinamente se fue transformando en la herramienta principal para poder producir y hacer uso de la energía que estos combustibles generaban. (Merino, 2012)

Según Arancibia y Estrada (2010), Las fuentes de energía renovables se definen como aquellas que, en relación con el consumo humano, son inagotables y cuyo uso no tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Las energías renovables abarcan todas aquellas que se obtienen mediante fuentes que vuelven a surgir de manera natural, lo que garantiza su sostenibilidad. En términos generales, estas fuentes de energía se clasifican como limpias o verdes, debido a su bajo nivel de contaminación y a la ausencia de emisiones significativas de gases que contribuyan al efecto invernadero.

El cambio positivo en busca de energías ecológicas amigables no solamente ofrece una solución sostenible a los problemas ambientales, tales como contaminación y el cambio climático, sino que a su vez tiene una significativa variable económica. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), realizar una inversión en tecnologías que apoyen a fuentes de energía renovables no solo reducirá las emisiones contaminantes de los gases, sino que también contribuirá a un desarrollo económico sustentable en países que se encuentran en desarrollo. Esta inversión económica generará un increíble aumento en las oportunidades laborales, particularmente en campos como la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, eólicos y biomasa, lo que evidencia que el crecimiento económico va de la mano con el cuidado ambiental. (CEPAL, 2020)

Figura 1. Características de energía renovable



Fuente. Elaborado por el autor

1.2 Energía y medio ambiente

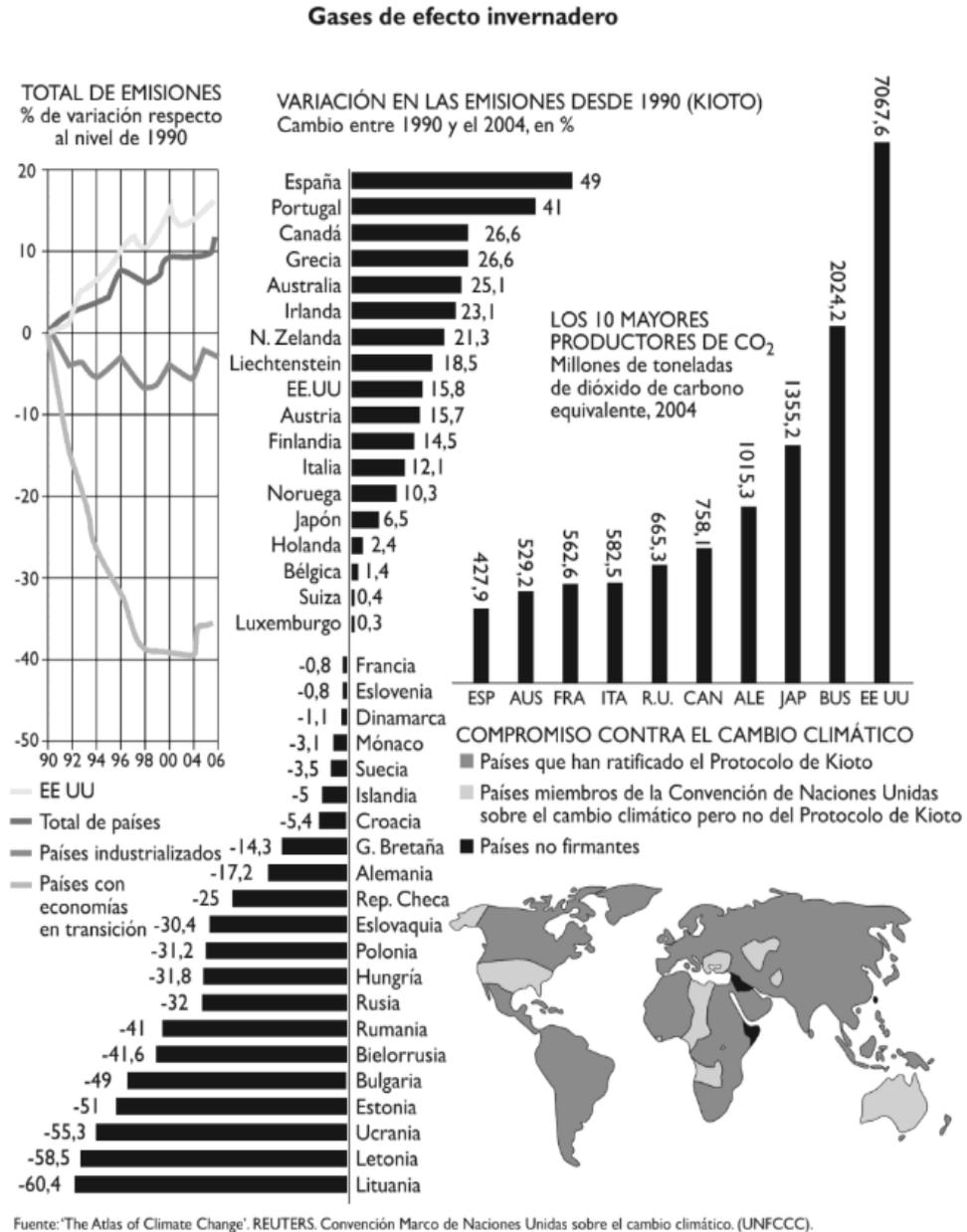
La producción, transporte y uso de energías de manera tradicional generan un impacto de manera considerable dentro del sistema ambiental, esto se debe principalmente al uso de combustibles fósiles tales como el carbón, el petróleo y el gas natural. Todas estas actividades están arraigadas a problemas ambientales de gran importancia, los cuales son responsables del cambio climático y lluvia ácida. El cambio climático, por ejemplo, se debe a la acumulación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano, que son gases que se liberan durante la quema de combustibles fósiles dentro de sectores como el transporte, la industria y la generación de energía.

Así mismo, la lluvia ácida surge a causa de la emisión de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, los cuales son causados debido a la combustión de carbón y petróleo. Este es un fenómeno ambiental el cual afecta gravemente a los ecosistemas, dañando la biodiversidad los suelos y las fuentes de agua dulce. Según González (2019), estas actividades no sólo degradan el entorno natural, sino que también tiene repercusiones dentro de la salud humana, ya que la contaminación del aire se deriva de los combustibles fósiles y esto está asociado a enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Organismos internacionales, como el panel intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC), ha hecho énfasis en la importancia del reemplazo de fuentes de energía tradicionales por alternativas ecológicamente sostenibles. Este cambio es esencial no solo para la protección del ambiente, sino también para preservar la calidad de vida y la salud de las personas. (IPCC, 2021)

Para tomar cartas en el asunto de la problemática ambiental que es causada por el continuo uso de combustibles fósiles, se ha identificado 2 estrategias fundamentales: hacer énfasis en la mejora de eficiencia energética y el incremento en la participación de fuentes de energía ecológicas. Estas 2 estrategias no solo tienen la capacidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también son fundamentales para construir una matriz energética sostenible que reduzca la dependencia de combustibles fósiles, lo cual es una condición necesaria para mitigar los efectos del cambio climático a futuro. (Canaza-Choque, 2019)

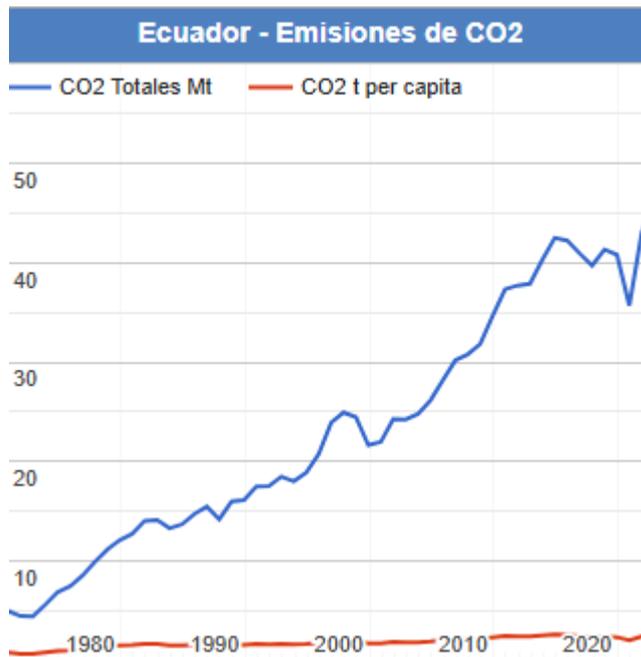
Figura 2. Variación de las emisiones de gases de efecto invernadero



Fuente. Energías renovables. Reverte. Velasco, J. G. (2009)

Estos son los resultados de la variación de emisiones de efecto invernadero en el periodo del año 1990 y 2004, sino se emplean cartas en el asunto para hacer frente a la emisión de gases tóxicos, el ambiente seguirá deteriorándose con el pasar del tiempo, y esa es la importancia de implementar estrategias de energía renovable que disminuyan la contaminación.

Figura 3. Emisiones de gases contaminantes en Ecuador



Fuente. Energía y medio ambiente – emisiones de CO2 (Expansión, 2023)

En Ecuador, la importancia por el cuidado conservación del ambiente han jugado un papel fundamental en las últimas décadas. Sin embargo, este compromiso afronta retos que están ligados a un modelo económico que por años ha dependido de actividades extractivas, tales como la explosión petrolera y minas. Según Karla (2021), Este enfoque consecutivo de extracción de combustibles fósiles ha generado una huella ambiental profunda, lo que causa alteración al ecosistema y genera efectos adversos tanto en la biodiversidad como en la calidad de vida de las localidades rurales. (Karla, 2021)

Dentro de este contexto, la sostenibilidad y la sustentabilidad emergen como conceptos primordiales. La sostenibilidad se enfoca en saciar las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades que se tendrán a futuro, mientras que la sustentabilidad es la capacidad de los sistemas naturales Para poder regenerarse á mantenerse a lo largo del tiempo. Para lograr este equilibrio, es importante promover un desarrollo inclusivo que ponga en prioridad la conservación de los recursos naturales, a su vez es importante fomentar El progreso social y económico. (CEPAL, 2020)

Finalmente, fomentar la educación ambiental y la participación ciudadana desarrollará un papel crucial en la transición hacia un modelo de ambiente sostenible. De acuerdo con Pérez y Rodríguez (2021), la reflexión social colectiva sobre las consecuencias que tienen las acciones del ser humano en el ambiente es fundamental para promover políticas públicas de forma efectiva y con habilidades responsables a nivel individual, institucional y comunitario. (Pérez, 2021)

1.3 El ahorro energético en la industrial del Ecuador

Es muy importante describir el ahorro energético en el sector industrial. Dentro del factor económico se adhieren aquellos costos medioambientales. Las industrias manufactureras son en gran medida causantes de más del 20% de la contaminación de gases nocivos que generan hacia el planeta. (Empresa Cambio Energético, 2018)

En la siguiente tabla se expone como se distribuye las emisiones de CO2 del Ecuador.

Tabla 1. Porcentajes de Emisiones de CO2 por sectores año 2015

Sectores	%Emisión de CO2
Procesos Industriales	49,46%
Otros productos	44,92%
Energía	5,62%

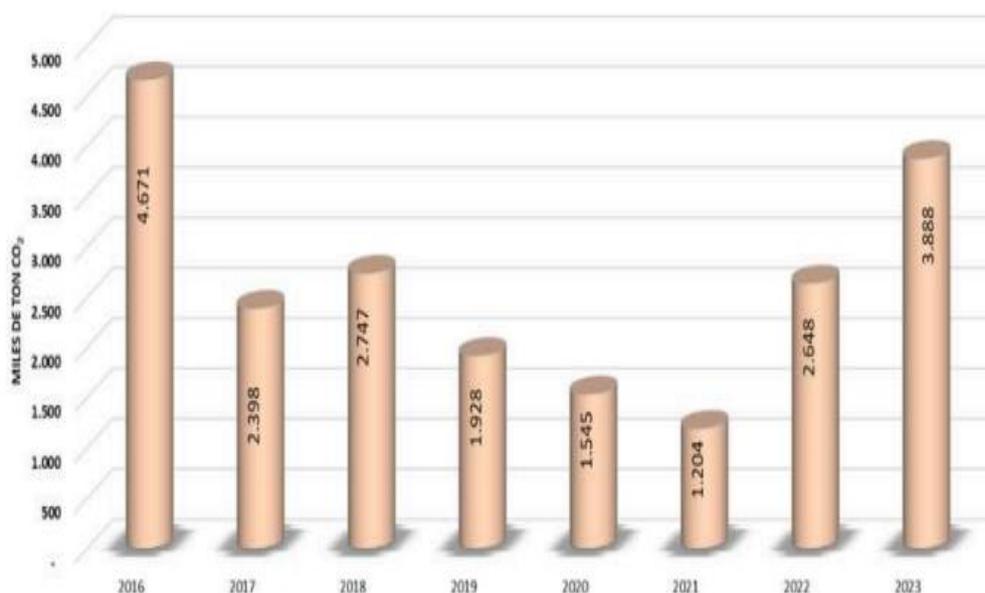
Fuente. El cambio climático y la energía en América Latina (Heres, 2015)

En este contexto, la aplicación de prácticas de eficiencia energética en las fábricas o plantas de producción se ha convertido en un elemento importante para desarrollar competitividad a nivel empresarial. Existen diversos métodos y estrategias para reducir el consumo de energía en las industrias, incluso sin necesidad de recurrir a una cuantiosa inversión. Esto puede iniciar desde el cambio de potencia contratada en las plantas de producción hasta evitar elevados picos de tensión. (Heres, 2015). Sin embargo, según Pasqualino & Cabrera (2015), la existencia de alternativas sostenibles más eficientes, como la energía solar térmica, permite a las industrias reducir su dependencia significativa de los combustibles fósiles para generar calor útil en sus procesos de producción. Algunas industrias necesitan procesos térmicos para producir sus productos finales.

La industria es un eje fundamental del desarrollo nacional por lo que se encuentra directamente relacionado con la demanda energética nacional. La actividad industrial abarca procesos, herramientas, materias de primera mano, desarrollo tecnológico, insumos y productos que exige un alto consumo energético (INER, 2014). En el 2012, el sector industrial hizo consumo de 5012365 MWh de electricidad, lo que representa el 40% de la demanda energética del país. Entre ellas, las zonas costeras tienen el mayor consumo de electricidad, con un 59% (2.978.238 MWh), seguidas de las zonas montañosas, con un 39% (1.953.980 MWh), seguidas por las regiones oriental e insular, con un 2% (80.113 MWh.) y 1 % (34 MWh) (CONELEC, 2015)

A pesar de que Ecuador cuenta con diferentes tipos de industrias y una gran cantidad de abonados, con el fin de aumentar la eficiencia energética, mejorar la conectividad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el Ecuador ha implementado un proyecto de eficiencia energética industrial en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (CONELEC, 2015). También adopta la norma ISO 50001 “Sistema de Gestión Energética”. Requisitos y guías de uso”. ISO 50001 es una herramienta útil que contribuye a la mejora sistemática de la eficiencia energética con un enfoque de mejora continua. (INER, 2014)

Figura 4. Emisiones de CO2 en el S.N.I. del 2016 al 2023



Fuente. Matriz Factor Emisión CO2 S.N.I. 2023 (CENACE, 2024)

Este análisis se ha realizado dentro de distintos informes que son el factor de emisión de CO2 del S.N.I. En la gráfica se logra ver las toneladas de CO2, que son emitidas hacia el ambiente para poder cumplir con el abastecimiento de la demanda energética del país, dentro del rango de los años 2015-2023. En el análisis se logra identificar una alta emisión de CO2 en 2016 a causa de grandes proyectos hidroeléctricos. (CENACE, 2024)

Ecuador ha mantenido una dependencia tradicional de las fuentes de energía renovables, con un enfoque predominante en la forma de energía hidroeléctrica, que se complementa con un porcentaje de energía térmica (no renovable) las cuales generada por combustibles fósiles. El país posee una notable riqueza en recursos renovables; los índices de insolación, por ejemplo, se sitúan dentro de los más elevados a nivel global, lo cual posibilita la instalación de plantas fotovoltaicas de alto rendimiento lo que permite calentar agua de manera eficiente y económica. (Llanes Cedeño, 2020)

Figura 5. Comparación del impacto ambiental de las formas de producir energía

Comparación del impacto ambiental de las diferentes formas de producir electricidad								
(Emisiones de contaminantes para todo el ciclo de combustible. En toneladas por GWh producido)								
FUENTE	CO ₂	NOX	SO ₂	PARTÍCULAS SÓLIDAS EN SUSPENSIÓN	CO	HIDRO-CARBURROS	RESIDUOS NUCLEARES	TOTAL
Carbón	1.058,2	2,986	2,971	1,626	0,267	0,102	-	1.066,1
Gas natural (**)	824,0	0,251	0,336	1,176	TR(*)	TR	-	825,8
Nuclear	8,6	0,034	0,029	0,003	0,018	0,001	3,641	12,3
Fotovoltaica	5,9	0,008	0,023	0,017	0,003	0,002	-	5,9
Biomasa	0,0	0,614	0,154	0,512	11,361	0,768	-	13,4
Geotérmica	56,8	TR	TR	TR	TR	TR	-	56,8
Eólica	7,4	TR	TR	TR	TR	TR	-	7,4
Solar térmica	3,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	3,6
Hidráulica	6,6	TR	TR	TR	TR	TR	-	6,6

(*) Trazas, (**) Gas natural en ciclo combinado
La emisión de la biomasa presupone la regeneración anual de la cantidad consumida, lo que raras veces sucede.

Fuente: US Department of Energy, Council for Renewable Energy Education y Worldwatch Institute.

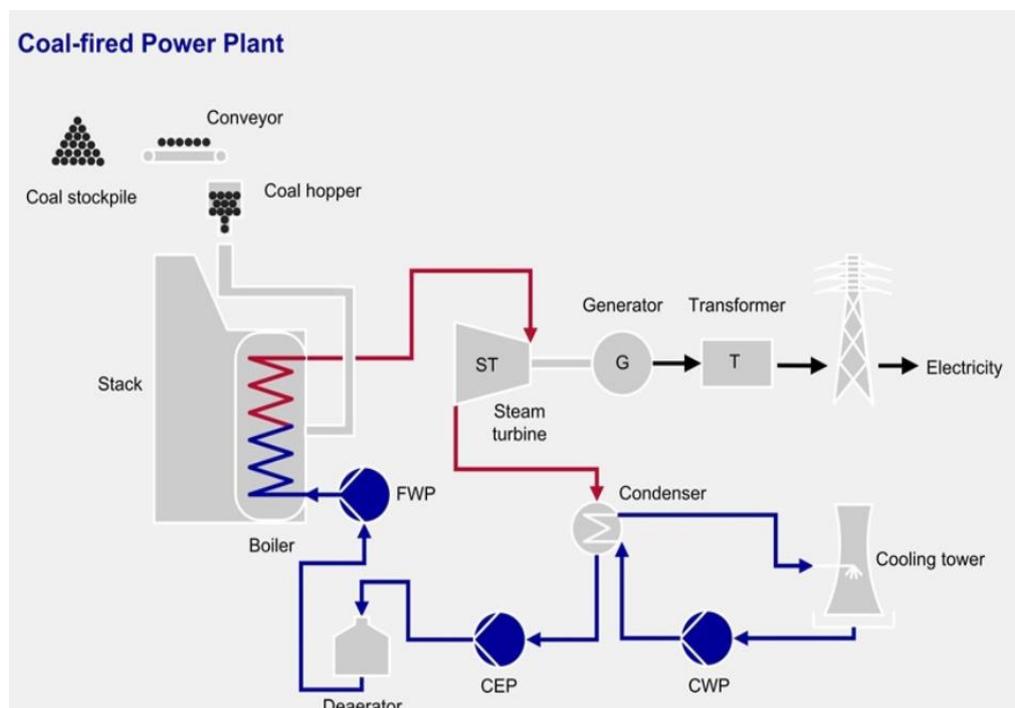
Fuente. Las Energías renovables. (Merino, 2012)

Generación de energía del carbón

El carbón durante a lo largo de los años ha sido usado como un suministro de energía indispensable para generar electricidad. Sin embargo, su impacto en el ambiente y sus recursos limitados han llevado a cuestionarse su trayectoria en el futuro energético. El carbón vegetal nace por medio de las plantas muertas que hace millones de años se asentaron al fondo de los pantanos. El carbón es una piedra rica en carbono que comprime el material vegetal de arena y arcilla y lo transforma en carbón vegetal. A su vez, contiene carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno. La combustión libera calor cuando se combina con el oxígeno. (Sophia, 2023)

Las centrales térmicas de carbón y petróleo están equipadas con turbinas de vapor que convierten la energía térmica de la combustión en energía mecánica, funcionando, así como generadores. Todas las fábricas utilizan turbinas de vapor para lograr la pérdida entre la alta presión y temperatura del vapor y la baja presión del vapor condensado. La eficiencia global de una central eléctrica depende principalmente del tipo de caldera (subcrítica, supercrítica o ultra - supercrítica) y del tipo de turbina de vapor utilizada. (SULZER, 2023)

Figura 6. Sistema de combustión de carbón



Fuente. Generación de energía por combustión de carbón. (SULZER, 2023)

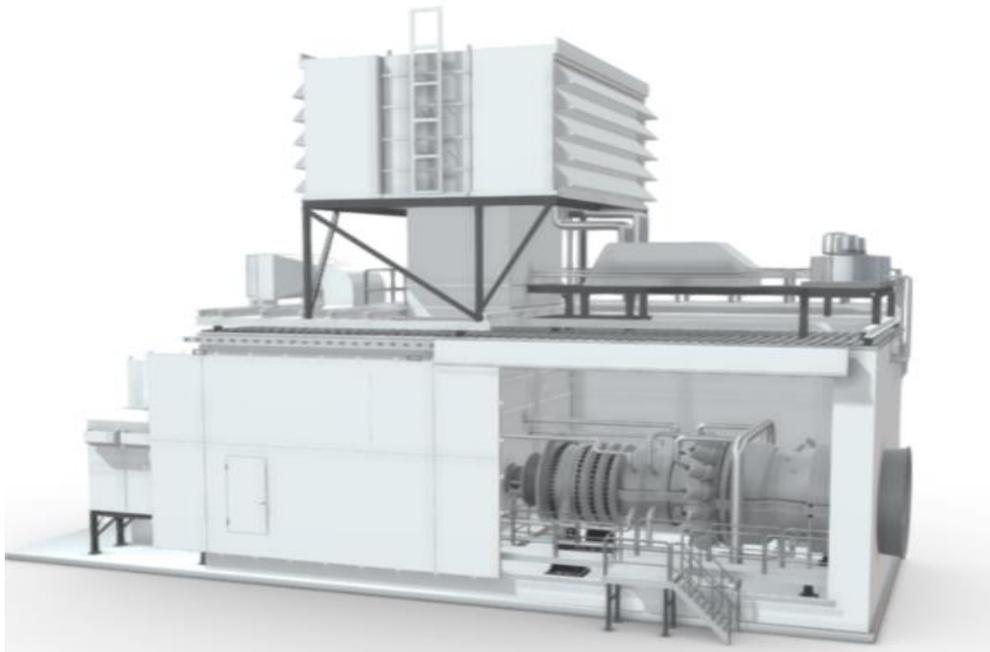
La dependencia hacia un combustible altamente carbonizado ha provocado un notable aumento de la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono a la atmósfera, lo que ha empezado a superar las condiciones naturales que regulan la temperatura promedio del planeta, dando origen a problemas modernos que limitan gravemente al crecimiento de la economía y la calidad de vida, como lo es el cambio climático. (Arrieta, 2014)

Generación eléctrica de combustión de gas

El proceso del gas natural para la generación eléctrica comienza cuando el gas natural se calienta en un quemador de turbina de gas a una temperatura y presión determinada, luego este vapor hace girar unos álabes unidos a un eje rotor; a la salida de la turbina se encuentra el rotor que genera una energía mecánica para luego ser transformada en energía eléctrica. (Isaías, 2016)

Las centrales de ciclo combinado hacen uso de una turbina de gas, la cual funciona por medio del calentamiento por combustión de aire comprimido y este permite tomar provecho del calor a través de un ciclo de vapor. (PRIMAGAS, 2023)

Figura 7. Turbina de gas para generación eléctrica



Fuente. Turbina de gas para generación eléctrica. (SAVREE, 2025)

El aire entra al generador de gas de una turbina de gas, el fluido que circula por la turbina es un fluido gaseoso, el primer paso que va a realizar es el incremento de presión el cual se realiza en un compresor normalmente axial, eso quiere decir que el aire circula paralelo al eje impulsado por unos alavesees en los que el espacio que ocupa una masa de aire cada vez reduce su espacio, el aire comprimido pasa a través de la sección del difusor lo que aumenta la presión estática del aire antes de entrar a la sección de quemadores, esto vence la inercia del rotor para aumentar las revoluciones por minuto y poder conectarlo dentro de la red de generación de energía. (RENOVETEC, 2018)

Generación de energía nuclear

La electricidad se puede generar mediante la energía nuclear, pero el paso inicial implica la liberación de energía. Esta energía se puede aprovechar mediante dos procesos: fusión y fisión nucleares. En el caso de la fusión nuclear, La energía se emite cuando los núcleos atómicos se combinan para formar un núcleo más grande, un proceso idéntico al que alimenta el sol. Por el contrario, la fisión nuclear implica la división de los núcleos en núcleos más pequeños, lo que también libera energía. Las centrales nucleares manejan la función nuclear para producir electricidad. Mientras las reacciones nucleares se encuentran en proceso (fisión o fusión nucleares), los átomos padecen una disminución de su masa. Esta disminución de masa llega a distorsionarse en una proporción significativa de energía térmica y radiación, un fenómeno que Albert Einstein demostró en su ecuación $E=mc^2$. El calor originado se emplea luego de haber instaurado el vapor y poder generar electricidad. (CSN, s.f.)

Figura 8. Energía nuclear



Fuente. ¿Qué es la energía nuclear y cómo se genera? Ventajas e inconvenientes. (BBVA, 2024)

Generación de energía fotovoltaica

Según Arencibia (2016), la tecnología fotovoltaica permite la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Esta conversión se produce mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en generar una corriente continua a partir de la radiación electromagnética producida por la luz solar. Para facilitar este proceso se requiere una célula fotovoltaica compuesta por material semiconductor que ha sido sometido a un dopaje para crear un campo eléctrico en el interior de la célula. Cuando la luz solar incide sobre la célula, los fotones emitidos (partículas energéticas) pueden ser reflejados, absorbidos o atravesarla sin ningún impacto. (Arencibia Carballo, 2016)

Los fotones absorbidos ceden su energía a los electrones que conforman el material semiconductor, la energía en cuestión es utilizada específicamente por los electrones situados en el interior de la capa de valencia, lo que les permite obtener la energía suficiente para romper el enlace que los une al núcleo, lo que les permite

moverse libremente por el material (Guardiola, 2008). El campo eléctrico presente en el interior del material provoca la acumulación de cargas tanto positivas como negativas en sus extremos, lo que da lugar al establecimiento de una diferencia de potencial (García López, 2009). Cuando se introduce un conductor entre los terminales de la célula, se hace evidente que circulará una corriente capaz de realizar un trabajo productivo al unirle una carga específica. (Guardiola, 2008)

El avance de la tecnología ha propiciado el desarrollo de células fotoeléctricas o fotovoltaicas, que son dispositivos a base de silicio diseñados para convertir la luz solar en energía eléctrica. El silicio establece el 90% de material empleado en células fotovoltaicas, necesarias para su reserva en la corteza terrestre y a su elevada eficiencia de energía. (García López, 2009)

Las celdas fotovoltaicas son instrumentos que se diseñan para poder transformar la luz solar en energía eléctrica. Tiene como composiciones materiales que son sensibles a la luz, como el silicio puro, al cual se le debe aumentar cantidades disminuidas de otros elementos químicos para poder regenerar su efectividad. Cuando los rayos solares inciden sobre estas celdas, los electrones se liberan, lo que genera una corriente eléctrica. Cada celda puede producir una corriente de 2 a 4 amperios y un voltaje de entre 0.46 y 0.48 voltios. (Arencibia Carballo, 2016)

Figura 9. Panel solar fotovoltaico



Fuente. Las Energías renovables. (Merino, 2012)

Para alcanzar los niveles de voltaje necesarios para aplicaciones específicas, las celdas se agrupan en paneles fotovoltaicos conectados en serie. Estos paneles se apoderan de la radiación solar y la modifica en energía eléctrica en forma de corriente continua. En consecuencia, esta corriente se acumula en baterías, para poder aprobar su uso inclusive durante las horas en las cuales no haya luz solar. Así mismo, los módulos fotovoltaicos son aptos para emplear la radiación solar directa como la difusa, lo que da paso a la generación de electricidad a pesar de días nublados, lo que garantiza un suministro de manera perseverante. (Arencibia Carballo, 2016)

Uno de los aspectos importantes que hay que tomar en cuenta al considerar un proyecto de generación de energía fotovoltaica es la irradiación solar que promedia la ubicación en donde se instalará el proyecto. Este factor influye de manera directa en la cantidad de energía que se puede receptor, y en consecuencia, el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. Además, la erradicación solar tendrá correlación con la eficiencia de los paneles. (Muñoz, 2021)

El Ecuador destaca por encontrarse entre las emisiones de radiación solar más altas a nivel global, gracias a su ubicación geográfica estratégica que lo convierte en una región con un alto potencial de emisión solar, estimándose una radiación media de 3-4 KWh/ m²/día. Este factor resulta esencial para el diseño y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. En particular, la energía óptima se genera cuando los paneles están inclinados en un ángulo que coincide con la latitud del lugar de instalación, lo que permite captar la mayor cantidad de radiación posible. (Orellana, 2015)

Figura 10. Imagen referencial de una instalación de panel solar



Fuente. Paneles Solares: ¿Qué son y cómo la energía fotovoltaica sería una 'solución' en los cortes de luz?. (PRIMICIAS, 2024)

Generación de Bioenergía

La biomasa se identifica como toda materia orgánica que puede ser transformada en bioenergía. Este recurso proviene de fuentes agrícolas, forestales, ganaderas y materiales procedentes de industrias similares, como el sector agroalimentario, forestal y la acuicultura. Asimismo, la fracción orgánica de los residuos municipales también se consideran como biomasa. (Gregorio, 2019)

En su definición más amplia, el término biomasa hace referencia a cualquier material orgánico provenientes de plantas o animales. Como una fuente de energía renovable y sostenible, la biomasa se produce de manera constante a través de la integración de elementos como el dióxido de carbono, airea, agua, suelo y radiación solar con los organismos vivos. Tras la muerte de estos organismos, los microorganismos descomponen su biomasa en componentes básicos, como agua y dióxido de carbono, liberando energía en el proceso. (Bain, 2011)

Esta es una fuente de energía que se consigue quemando materia viva y se usa para muchas cosas. El recurso se coge del resultado de procesos naturales o creados por el hombre que pasan diariamente. Puede ser conseguido de muchas formas y dependiendo de donde viene y cómo se cambia, tiene muchos usos. La biomasa puede absorber la luz del sol, lo cual es la cualidad principal que crea las moléculas para hacer energía luego. La fotosíntesis, en este caso, es el proceso que cambia las partes de luz en impulsos que pueden generar reacciones combustibles. Después de que termina el cambio de energía, esta permanece guardada y, con ayuda de herramientas especiales, se puede hacer un fácil uso. (ARIAE, 2014)

Las plantas de electricidad específicas usan madera o tallos de caña de azúcar como fuente principal de suministro. Así, calientan ollas llenas de agua hirviendo en donde dejan el material biodegradable, cuyo vapor se guarda para hacer electricidad. Una de las partes buenas de este material es que es un recurso renovable. Esto ayuda a bajar gastos en comprar materia prima y hacer más rápido el proceso de suministro. en ollas llenas del agua que hierve donde dejan el material biodegradable cuyo vapor es guardado para producir electricidad. Una característica

de este material es ser un recurso renovable. Esto ayuda a bajar gastos en la adquisición de materia prima y agilizar proceso de abastecimiento. (BioEconomía, 2024)

Figura 11. Bagazo de caña de azúcar como fuente de energía



Fuente. Potencial Energético de la Biomasa en Ecuador: Transformando Residuos Agrícolas en Energía Limpia. (Farmonaut, 2024)

De acuerdo con Farnamout (2024) el proceso para generar electricidad por medio de biomasa en Ecuador sigue los siguientes procesos.

1. Se recolecta bagazo de caña después que se extraiga el zumo importante para su fabricación
2. Se transporta el bagazo hacia calderas del ingenio azucarero
3. El bagazo se dirige a un proceso de combustión para poder producir vapor en alta presión.

4. Se utiliza el calor del vapor para vencer la fuerza de las turbinas y poder generar electricidad.
5. El proceso en cuestión también aporta a los ingenios azucareros una forma de utilizar los residuos de manera eficiente

Tabla 2. Comparación de fuentes de biomasa en Ecuador

Fuente de Biomasa	Potencial Energético Estimado (GWh/año)	Ventajas	Desafíos
Bagazo de Caña de Azúcar	5,000	<ul style="list-style-type: none"> – Disponibilidad inmediata – Infraestructura existente – Bajo costo de obtención 	<ul style="list-style-type: none"> – Estacionalidad de la cosecha – Competencia con otros usos (papel, alimento animal)
Residuos Agrícolas	3,500	<ul style="list-style-type: none"> – Diversidad de fuentes – Amplia distribución geográfica – Reducción de desechos agrícolas 	<ul style="list-style-type: none"> – Logística de recolección compleja – Variabilidad en la calidad del residuo
Residuos Forestales	2,800	<ul style="list-style-type: none"> – Alto poder calorífico – Contribuye a la gestión forestal sostenible 	<ul style="list-style-type: none"> – Acceso a zonas remotas – Posible impacto en ecosistemas
Cultivos Energéticos	1,400	<ul style="list-style-type: none"> – Producción controlada y planificada – Potencial para recuperar tierras degradadas 	<ul style="list-style-type: none"> – Requiere inversión inicial alta – Competencia con cultivos alimentarios

Fuente. Potencial Energético de la Biomasa en Ecuador: Transformando Residuos Agrícolas en Energía Limpia. (Farmonaut, 2024)

Esta tabla comparativa nos ayuda a ver las distintas fuentes de biomasa que hay en Ecuador, sus posibles poderes energéticos, y también las ventajas y retos con cada una. Es claro que, aunque el bagazo de azúcar es una fuente grande, hay otras opciones que podrían complementar para la generación de energía. Esta materia prima de biomasa es baja en emisiones de gases contaminantes para el ambiente, lo que

incentiva a las grandes industrias a implementar nuevas medidas de generación de energía en base de fuentes primarias de biomasa.

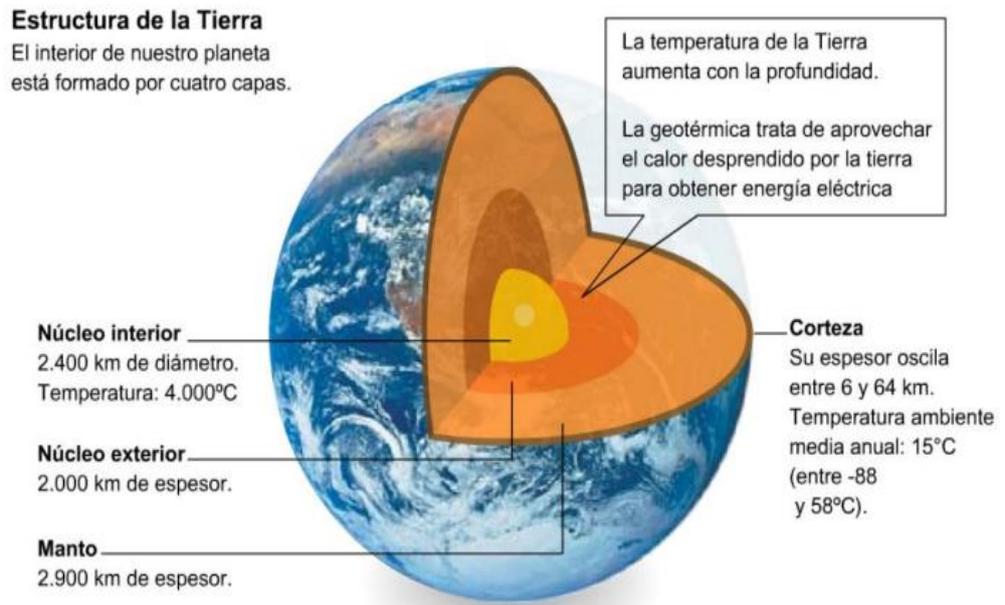
Generación de energía geotérmica

Según Santoyo y Barragán (2010) la energía geotérmica se refiere a la energía que está en el interior de la tierra, que se toma con el uso del calor del centro de la tierra, esta se encuentra guardada en rocas, tierra y aguas bajo la superficie; es una fuente de energía que no se inagotable, tiene una tecnología robusta, limpia y útil para la generación eléctrica. El uso del calor de la tierra para hacer energía útil es conocido por la humanidad desde hace mil años. Encontrar grandes áreas que están calientes y no muy profundas, es lo primero que se busca al decidir dónde construir una central geotérmica. (Santoyo & Barragán, 2010)

La energía geotérmica viene del calor que se guarda en la tierra. Es vista como una energía renovable. La diferencia de calor entre el interior de la tierra y la superficie crea un gradiente térmico, lo cual resulta en un movimiento de calor desde el interior a la superficie. Esta forma de energía puede ser dividida por las temperaturas. Temperatura alta ($T^a > 150^{\circ}\text{C}$) son depósitos de aguas cerradas a altas temperaturas en tierras con actividad magmática nueva o restante que funciona como un calor; se ubican entre 1500 y 3000 metros de profundidad. Temperatura media ($150^{\circ}\text{C} > T^a > 90^{\circ}\text{C}$) son depósitos con algunas temperaturas entre 90 y 150°C que se encuentran en cuencas sedimentarias, ubicados entre 1000 y 3000 metros. Las roturas del suelo pueden provocar que ascienda agua caliente a la superficie haciendo lugar a fuentes de vapor. El lugar de los manantiales termales comunes, que tiene baja temperatura $90^{\circ}\text{C} > T^a > 25^{\circ}\text{C}$ y muy baja temperatura o baja entalpía $25^{\circ}\text{C} > T^a$. Las dos categorías son tipos de lugares que están cerca superficie y usan la diferencia de calor entre el suelo y superficie. Esto muestra que geotermia tiene desde usos con agua hasta otros que usan la diferencia de calor entre el suelo y superficie. El suelo y el subsuelo. La energía de calor de la tierra con baja energía puede ser usada en cualquier parte sobre el planeta. Este tipo de energía se apoya en que el subsuelo puede guardar calor y mantener su temperatura casi igual todo el año. Para poder usar la energía de calor de la tierra con baja energía; usualmente se usan intercambiadores de calor, los cuales

pueden ser tierra-agua o tierra-aire. Ambos funcionan del mismo modo, solo cambia el fluido. (Cárcel Carrasco & Martínez Márquez, 2015)

Figura 12. Estructura térmica terrestre



Fuente. *La energía térmica de baja entalpía.* (Cárcel Carrasco & Martínez Márquez, 2015)

La energía geotérmica se considera una fuente de energía renovable con un enorme potencial de aplicación en múltiples campos y se puede dividir en dos categorías principales: una basada en la temperatura del suelo debajo donde se ubica y la otra en función de su tecnología de extracción y uso.

Tabla 3. Clasificación de energía geotérmica según la temperatura del subsuelo

Tipo de yacimiento		Rango de temperatura	Uso principal
Muy baja entalpía	Subsuelo con o sin agua	5 °C < T < 30 °C	Climatización
	Aguas subterráneas	10 °C < T < 30 °C	
Baja entalpía	Aguas termales	22 °C < T < 50 °C	Balnearios, Acuicultura
	Zonas volcánicas	< 100 °C	Calor de distrito

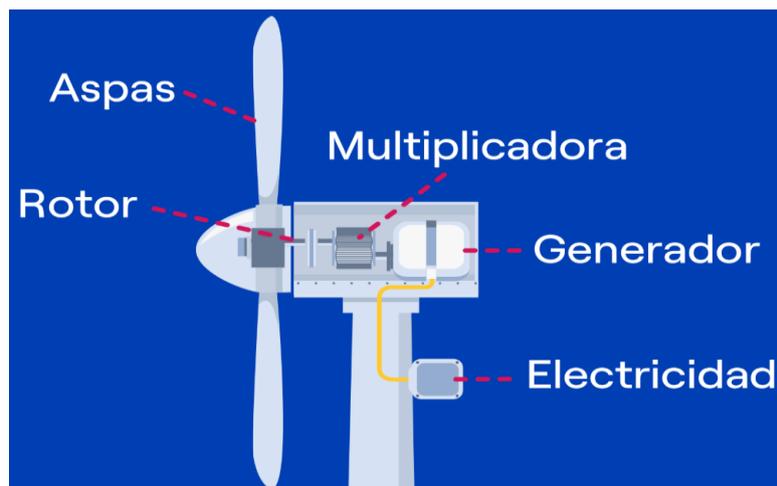
	Almacenes sedimentarios profundos		
Media entalpía		$100\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Electricidad Circuitos binarios
Alta entalpía		$T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Electricidad

Fuente. La energía térmica de baja entalpía. (Cárcel Carrasco & Martínez Márquez, 2015)

Generación de energía eólica

La energía eólica es una fuente de energía renovable que se consigue a través del uso de la fuerza del viento. Los aerogeneradores son los que ayudan a guardar la fuerza del viento para empezar el proceso de hacer electricidad. Las aspas son las principales que recogen la fuerza del viento, el rotor sirve para transmitir el movimiento de las aspas, y entonces la multiplicadora es la encargada de los cambios de velocidad, y por último el generador funciona como una turbina de imanes para transformas la engería mecánica en voltaje eléctrico. (Endesa S.A., 2021)

Figura 13. Partes de un Aerogenerador



Fuente. Conoce la energía eólica: sus ventajas, qué es y cómo funciona. (Endesa S.A., 2021)

Generación de Energía Hidráulica

De acuerdo con Ingfocol Ltd. (2015), la energía hidráulica es una categoría de energía que se deriva del movimiento del H₂O, denominado también energía hídrica es la energía que utiliza la fuerza del H₂O cuando fluye a través de un conducto

(aproximadamente en forma de energía cinética) y el potencial de la corriente o saltos de H₂O (es decir, a modo de energía potencial). La energía que se genera a partir del fluido de agua dentro de la madre naturaleza es una fuente de energía sustentable, ya que el ciclo hídrico anual es propulsado por la energía solar. La utilización más significativa es abarcada por centrales hidroeléctricas. El generador tiene como función transformar la energía mecánica en energía eléctrica.

2. Proceso de producción de ingenio azucarero

Todo comienza cuando la caña de azúcar es recolectada por volquetas industriales y son llevadas hacia el proceso industrial de la obtención de azúcar. La primera área es el patio de cañas, en donde se deposita la caña de azúcar en un lavado de impurezas, luego por medio de bandas transportadoras continua su ciclo. Dentro del trayecto existen varios equipos que despedazan la caña con el propósito de ganar la mayor cantidad de sacarosa. Entre estos equipos se encuentran dos picadores, que se encargan de nivelar los niveles de caña de azúcar en partes iguales, luego está el martillo desfibrador que aplasta la caña para aprovechar la sacarosa del azúcar, y el proceso avanza mediante las bandas transportadoras hacia la cámara del difusor.

Figura 14. Recolección de caña de azúcar



Fuente. Ingenio azucarero inicia su periodo de zafra. (Tierra & mar, 2022)

La cámara de difusor es el encargado de separar la sacarosa (jugo) de la fibra, el difusor cuenta con varios captadores de jugo el cual es bombeado hacia los calentadores de jugo, el proceso del jugo de caña de azúcar es similar al de una taza de té en el que ponemos los sobres de hierbas sumergidos en agua hirviendo para que se desprenda la esencia del juego de aquellas hierbas y tengamos listo el té. De vuelta con la explicación, la cámara de difusor cuenta con 4 captadores de jugo, de los cuales 3 captadores de jugo son de recirculación hacia el difusor, esto se realiza con el fin de tener un jugo de caña de azúcar con mayor concentración.

Figura 15. Bombas de recirculación de jugo de caña



Fuente. Más grande y más antiguo ingenio de azúcar de Ecuador se modernizó con tecnología WEG. (WEG, 2010)

2.1 Importancia del control térmico y llenado en el difusor

En el interior de la cámara de difusor, el fruto de la caña de azúcar empieza a desarrollarse para dar comienzo al procedimiento de extracción de su jugo. En la primera etapa, la caña es regada con agua caliente, lo que permite disolver y liberar el jugo de azúcar contenido en sus fibras. Este zumo extraído en la primera etapa es

colectado por el primer colector de jugo, el cual almacena el líquido para su posterior recirculación. A medida que la caña sigue su curso, es nuevamente bañada, pero esta vez con el jugo de azúcar extraído en fases anteriores. Este recirculado del jugo permite maximizar la extracción de sacarosa.

Posteriormente, en la última fase dentro de la cámara del difusor interviene el cuarto captador de jugo con la mayor concentración de sacarosa. Este jugo es bombeado hacia la siguiente etapa del proceso, conocido como ‘Romana de jugo’, en donde se hace un control y una medición de la calidad y la concentración de este. Paralelamente, la fibra de caña conocida como ‘bagazo’ se dirige hacia otro proceso distinto.

Figura 16. Cámara de difusor



Fuente. Extracción de jugo de caña de azúcar con un Difusor único en México. (Valencia,

2017)

Una vez que la caña de azúcar ha pasado por el difusor, la fibra separada de la sacarosa, conocida como bagazo, es dirigida hacia un nuevo proceso que involucra el uso de molinos. Es importante destacar que únicamente la fibra, ya libre de la mayor

parte de la sacarosa, sale del difusor, mientras que el jugo de azúcar extraído permanece dentro del sistema para su posterior procesamiento. Posteriormente, el bagazo se somete a un proceso de molienda que involucra dos molinos. Estos molinos se encargan de comprimir aún más la fibra, logrando reducir entre el 70% y el 80% de la humedad contenida en el bagazo. Esta humedad residual se debe a que, durante su paso por la cámara del difusor, la caña fue repetidamente bañada con agua caliente y jugo de azúcar, lo que incrementó su contenido de líquido.

El proceso de molienda elimina el exceso de humedad al extraer el líquido restante, dejando el bagazo con un contenido de humedad reducido, que varía entre el 10% y el 15%. Esta reducción es crucial porque el bagazo, tras finalizar este proceso, es dirigido hacia las calderas. Allí, se utiliza como biomasa para la generación de energía térmica, alimentando calderas que producen el vapor necesario para diversas operaciones dentro de la planta, como la generación de electricidad o el calentamiento de otros procesos industriales. Este aprovechamiento del bagazo no solo optimiza el uso de los recursos, sino que también contribuye a la sostenibilidad del proceso al reducir la dependencia de combustibles fósiles.

Figura 17. Molino de cilindros



Fuente. Molino de cilindros para caña de azúcar. (DirectIndustry, 2025)

Una vez que el jugo de caña de azúcar es extraído en el difusor, se bombea hacia el área conocida como ‘Romana de jugo’, donde se realiza el pesaje del jugo obtenido para cuantificar la cantidad de sacarosa extraída en relación con las toneladas de caña procesadas. Tras este paso, el jugo es enviado a un tanque denominado ‘tanque flash’. En este tanque se reciben todas las cargas de jugo provenientes de la romana antes de ser transferidas a la fábrica. Este proceso marca el inicio del tratamiento térmico del jugo, conocido como el ‘cocinado’, que permite identificar y evaluar la presencia de contaminantes para su posterior limpieza.

2.2 Tratamiento del jugo de caña de azúcar

Posteriormente, el jugo pasa a un tanque llamado SRI, donde se realiza un proceso de separación y purificación inicial. En este tanque se mide el pH del jugo mediante un medidor especializado, lo que permite controlar la acidez o alcalinidad del líquido, un factor crucial para mantener la calidad del producto. Además, en el SRI se lleva a cabo la separación de impurezas mediante un proceso de floculación. Se añade un químico floculante que provoca la aglomeración de las partículas livianas, las cuales ascienden a la superficie, mientras que las partículas más pesadas, que representan la suciedad más densa, se sedimentan en el fondo del tanque.

Luego de que el jugo haya sido parcialmente purificado dentro del tanque de SRI, el jugo se bombea hacia otro tanque de almacenamiento que se llama ‘1000 T’, que es donde se conserva el jugo que ya ha sido limpio para la siguiente área.

El siguiente paso se realiza en el área de clarificación, que tiene como objetivo principal quitar más impurezas del jugo de caña, en comparación de la etapa anterior, dentro de este proceso ya no se utiliza el químico floculante; en su lugar, se añade un compuesto químico ‘Cal’ que se encarga de regular el pH. Se debe tener en cuenta que es primordial mantener un pH neutro, dado que si existe una elevación de pH puede provocar una alteración a la calidad del jugo. El compuesto químico ‘Cal’ También es importante para la limpieza de impurezas residuales. Una vez terminada la fase de clarificación, el jugo es llevado hacia las torres de sulfatación, que es el área donde se implementa azufre para mantener totalmente puro el producto, dado que el azufre ejecuta sus compuestos químicos en purificar y blanquear el producto, eliminando así compuestos no deseado para mejorar la calidad final del jugo.

Luego, el zumo procesado es llevado hacia un recipiente específico que se conoce como tacho de meladura. En este procedimiento, el jugo ya ha atravesado por varios procedimientos de para su purificación, se ha realizado chequeos de pH y eliminación de residuos para su limpieza, estando listo para las próximas fases del proceso industrial.

Finalmente, el jugo tratado se dirige hacia un recipiente conocido como tacho de meladura. En esta fase, el jugo ya ha sido sometido a varios procesos de purificación, control de pH y eliminación de impurezas, encontrándose listo para las siguientes etapas del proceso industrial.

Luego que el jugo de caña ha sido completamente purificado, se dirige al área de tachos, en esto proceso el jugo es sometido a un precalentamiento dentro del área de pre-evaporadores. En este proceso, la misión principal es la reducción de humedad del jugo para aprovechar la concentración sacarosa. Los vapores que se generan durante la combustión del bagazo son aprovechados para generar el calor necesario para el área de pre-evaporadores por medio de conductos conectados a la chimenea del proceso de combustión, aprovechando la energía térmica de manera esencial.

Inicialmente, el jugo presenta una densidad de aproximadamente 3 en una escala del 1 al 10, lo que indica una consistencia ligeramente viscosa. Los pre-evaporadores actúan eliminando parte del agua contenida en el jugo, lo que incrementa su concentración de sólidos disueltos. Como resultado de este proceso, la densidad del jugo aumenta de 6 a 7, volviéndose más espeso y concentrado.

Después de este proceso, el jugo que se encuentra concentrado de manera parcial es dirigido hacia varios evaporadores, que son cuatro en total, los cuales son puestos de manera secuencial uno tras otro. Dentro de cada evaporador, el jugo pierde más humedad en consecuencia del calor que se le aplica, lo que hace que su densidad se eleve paso a paso, el jugo llega a una alta densidad de 10, por lo que llega a desarrollar una textura parecida a la miel de abeja debido a que posee una alta concentración de sacarosa y además reduce de maneras significativa el agua.

Figura 18. Extracción y Refinación de azúcar

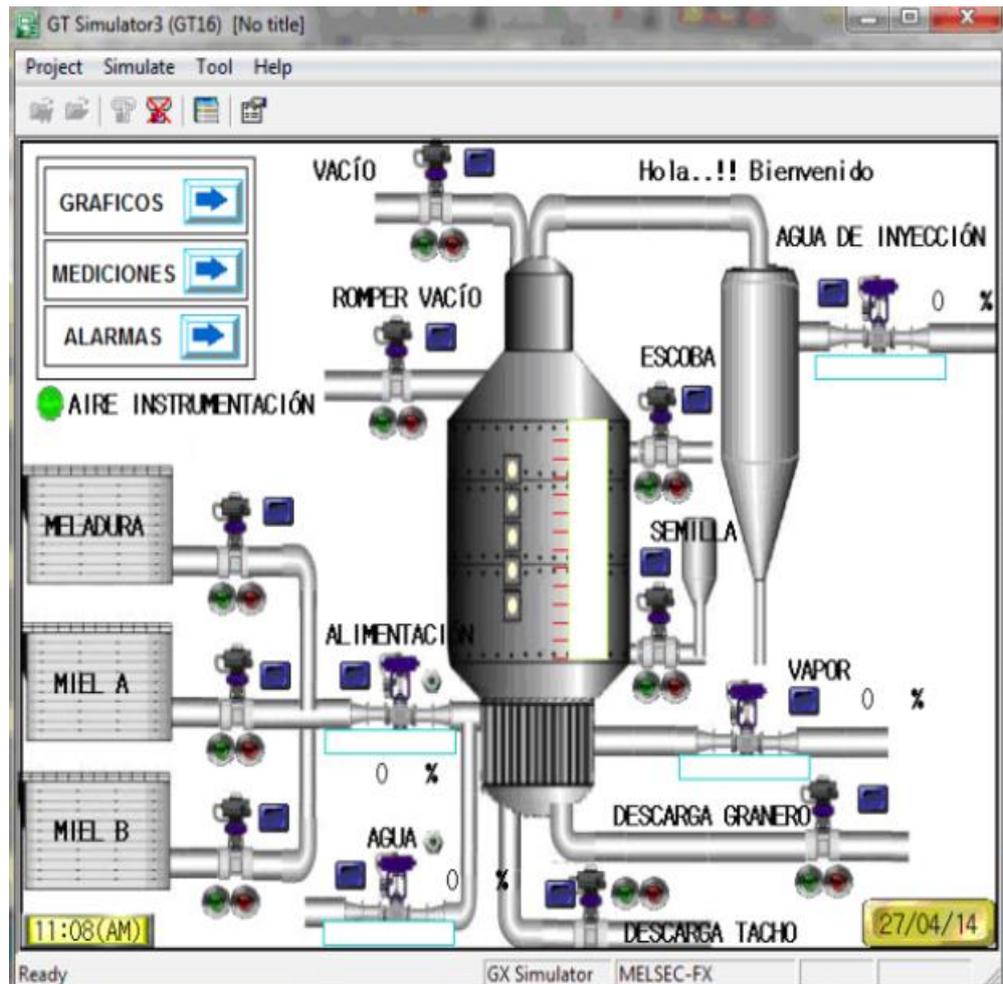


Fuente. Extracción y refinación de azúcar. (UNELLEZ, 2024)

Una vez que el jugo ha alcanzado la densidad adecuada en los evaporadores, se traslada al área de tachos, donde comienza el proceso de cristalización del azúcar. En esta etapa, la miel concentrada (jugo espeso con alta concentración de sacarosa) se mezcla con diminutas partículas cristalinas conocidas como semillas de cristalización, que tienen una apariencia similar a la harina fina.

Dichas semillas de cristal no son añadidas de manera directa, ya que primero debe prepararse por medio de un proceso en específico. Los sacos de semilla se mezclan con alcohol al 100% y se deja fermentar por aproximadamente un día. Esta fase permite que las semillas, que al comienzo eran del tamaño de un grano de arena, se empieza a desarrollar para continuar hacia el proceso de cristalización.

Figura 19. Configuración SCADA del tacho cristalizador



Fuente. Automatización del tacho cristalizador de azúcar crudo del central Julio Antonio Mella. (Mulet Hing & Fernández Salazar, 2015)

Una vez listas, las semillas cristalinas se inyectan en los tachos que contienen la miel de caña. Aquí, bajo condiciones controladas de temperatura y vacío, se inicia la cristalización: los cristales comienzan a crecer, alcanzando tamaños de entre 2 y 3 milímetros. Este crecimiento se debe a la saturación de la solución de sacarosa, que favorece la adhesión de más moléculas de azúcar alrededor de los cristales iniciales. Como resultado, se obtienen cristales de azúcar de mayor tamaño y pureza.

Luego del proceso de cristalización, el siguiente proceso al que son llevado los cristales es el secado, en donde el exceso de humedad es removido, lo que asegura la calidad y estabilidad del producto. Dentro de esta etapa, el líquido sobrante, que antes era miel, ha compartido la mayor parte de sacarosa a los cristales, quedando en un

residuo no tan dulce. Después, los cristales de azúcar son llevados al proceso de centrifugado. En esta área, se hace uso de la fuerza centrífuga para realizar la separación de cristales de azúcar del remanente de miel, mientras que el residuo de miel se vuelve a utilizar en el proceso de cristalización dos o tres veces; sin embargo, después de varios usos, pierde en gran mayoría su sabor y su contenido de sacarosa.

Una vez reutilizado el residuo de miel y no cuenta con suficiente sacarosa para volverla a usar, se vuelve un subproducto que se conoce como ‘melaza’. Este subproducto es más espeso, de oscuro color y con mayor densidad que la miel original. Aunque la melaza ya no utiliza para los demás procesos para la producción del azúcar, tiene otro tipo de aplicaciones dentro de la industria alimentaria, producción de alcohol y la fabricación de biocombustible.

Durante el proceso de centrifugado, porciones controladas de agua son inyectadas en 2 fases claves. En el comienzo, es aplicado un ligero rociado de agua para poder eliminar gran parte de la miel que se adhiere a los cristales. Una vez que la centrífuga logra alcanzar revoluciones más altas, se aplica la segunda inyección de agua, con el objetivo de garantizar que los cristales de azúcar puedan quedar completamente libres de residuos de miel. Este lavado es fundamental para obtener un azúcar de alta pureza y con el color característico de un producto refinado.

Figura 20. Área de centrifugado de azúcar



Fuente. Centrifugas BMA: Permanencia en el proceso. (BMA, 2022)

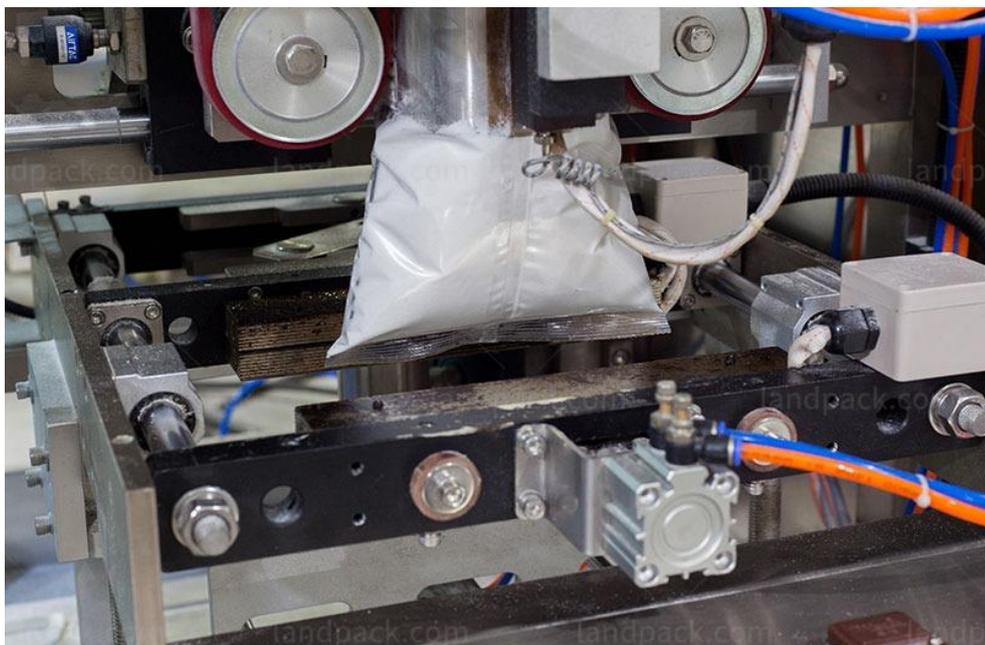
Una vez finalizado el centrifugado, los cristales de azúcar, ya separados y parcialmente secos, se trasladan al área de secado. En esta fase, se utilizan secadoras industriales que funcionan mediante la inyección de vapor caliente. El calor del vapor permite eliminar cualquier rastro de humedad que pueda quedar en los cristales. Este paso es crucial, ya que el azúcar húmedo tiende a aglomerarse y endurecerse, formando bloques compactos similares a rocas, lo que afecta su calidad y dificulta su manejo y almacenamiento.

2.3 Producto final

Luego de asegurar que el azúcar este totalmente seca, el azúcar se dirige hacia el área de envasado. En esta área se realiza el empaclado de diferentes presentaciones de azúcar, sus presentaciones pueden variar desde fundas pequeñas para el uso del hogar hasta grandes sacos que son destinados a la industria o exportación. Este proceso de envasado se realiza bajo normas de calidad para garantizar que el azúcar llegue a su destino final en condiciones es estándares de pureza, frescura y textura

Así termina el procesa de la producción industrial del azúcar a partir de la caña de azúcar, un ciclo que convierte la materia prima natural que es la caña de azúcar en un producto refinado y listo para la distribución y consumo de este.

Figura 21. Envasadora de azúcar con 4 pesadoras lineales



Fuente. Envasadora de azúcar con 4 pesadoras y bombas lineales. (BMA, 2022)

CAPÍTULO III

SISTEMA DE CONTROL AUXILIAR

1. Control del llenado y vaciado de estructura tipo domo

Para el desarrollo del sistema de control, se empleó el software de simulación digital CADeSimu, una herramienta especializada en el diseño de arquitecturas de sistemas auxiliares. Esta aplicación permite la creación de esquemas eléctricos y la representación gráfica de circuitos de control, facilitando la visualización y organización de los componentes del sistema.

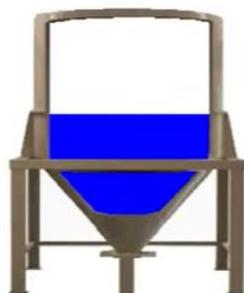
Además, se hizo uso de PCSimu, el cual junto con CADeSimu es un complemento esencial que permite a través de un entorno virtual simular el funcionamiento del sistema diseñado. Este combo de herramientas es útil en la industria, ya que crea la oportunidad de la evaluación del comportamiento del sistema antes de ejecutar el proyecto de manera real. A causa de este programa de simulaciones, se logra identificar fallos para poder optimizar el rendimiento del sistema y realizar ajustes que son necesarios para aumentar su eficiencia operativa. Estas herramientas no solo simplifican el proceso de diseño y simulación, a su vez se reducen pérdidas asociadas a pruebas físicas y minimizan posibles riesgos en la industria.

1.1 Elementos del sistema auxiliar en PCSimu

Lo primero que se va a realizar es colocar todos los elementos necesarios en la herramienta PCSimu:

Colocar un tanque que va a representar la estructura tipo domo

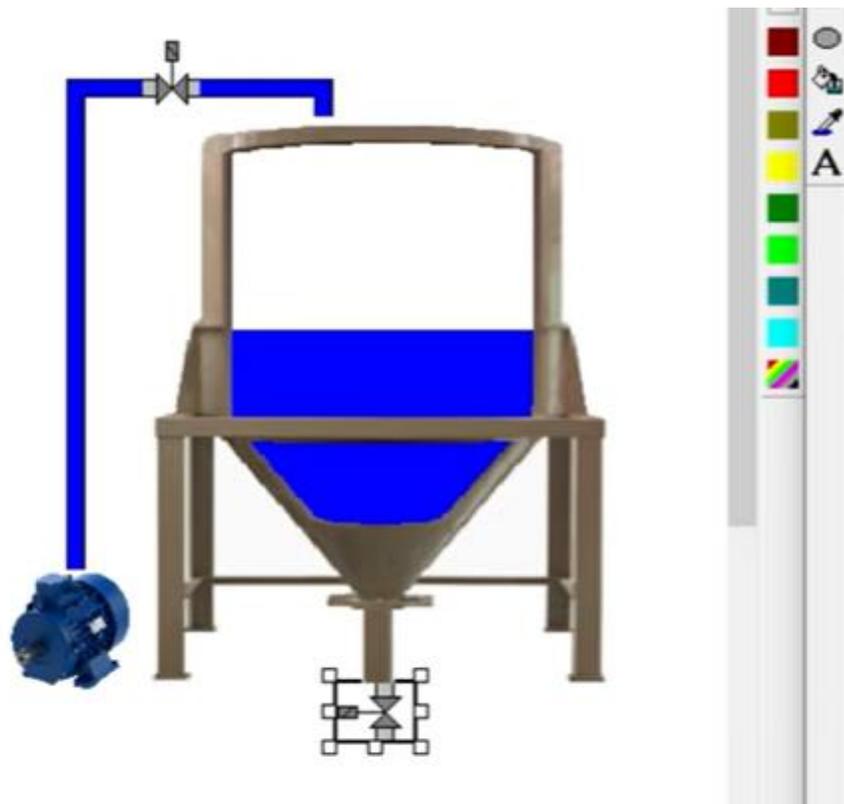
Figura 22. Estructura tipo domo en PCSimu



Fuente. Elaborado por el autor

Incorporar una bomba de agua trifásica, conectada mediante una red de cañerías que permiten el flujo de agua hacia un tanque de almacenamiento. Luego ponemos dos válvulas estratégicas: La primera se ubica aguas arriba del motor de manera horizontal para controlar el flujo de salida, y la segunda, situada aguas abajo del tanque de manera vertical, permite realizar el vaciado de este de manera eficiente cuando sea necesario.

Figura 23. Bomba de agua trifásica y cañería



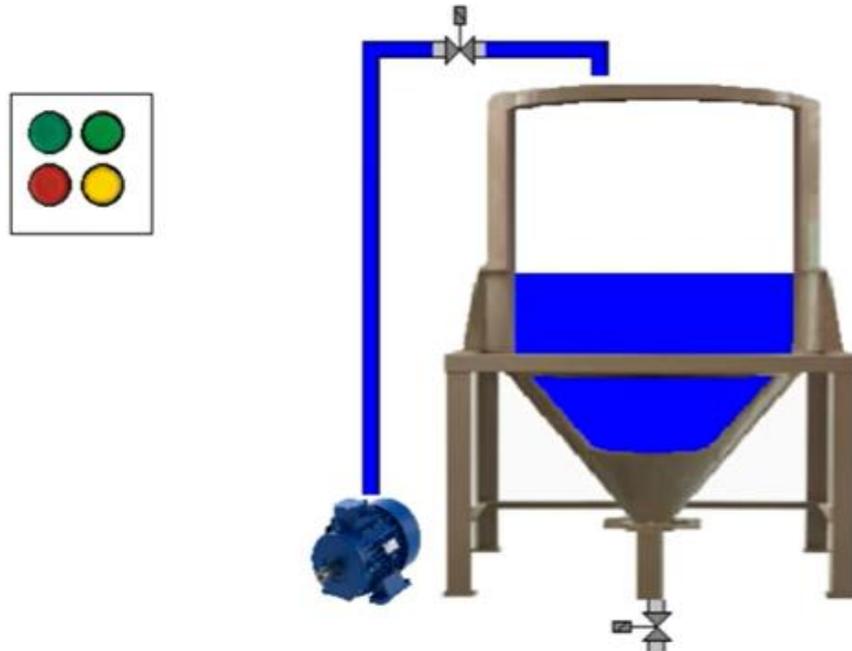
Fuente. Elaborado por el autor

Ahora se colocan pulsadores en el tablero para el control operativo del sistema, un pulsador de color verde destinado para el arranque del motor y otro de color rojo para poder dar fin el proceso de manera segura, en donde la luz led de color verde indicará el arranque del motor y un led amarillo para indicar que se activó la protección térmica.

Esta estructura no solo va a garantizar el control del flujo de agua que debe llegar a la estructura tipo domo, sino que también optimiza el mantenimiento del

sistema y la seguridad operativa, lo que permite identificar cualquier anomalía del proceso

Figura 24. Integración de tablero de control



Fuente. Elaborado por el autor

1.2 Diagrama del sistema auxiliar en CADeSimu

Lo primero que hay que hacer es incorporar todos los elementos necesarios en la herramienta CADeSimu. Para el diseño del sistema de control eléctrico, se elaboran dos diagramas fundamentales: el diagrama de potencia y el diagrama de comando, los cuales permiten representar de manera clara el funcionamiento del sistema.

1.2.1 Diagrama de potencia

En primer lugar, se establece la alimentación trifásica junto con el cable de protección a tierra (cable PE). A partir de esta alimentación, se conectan los siguientes elementos esenciales que se muestran en la tabla 4.

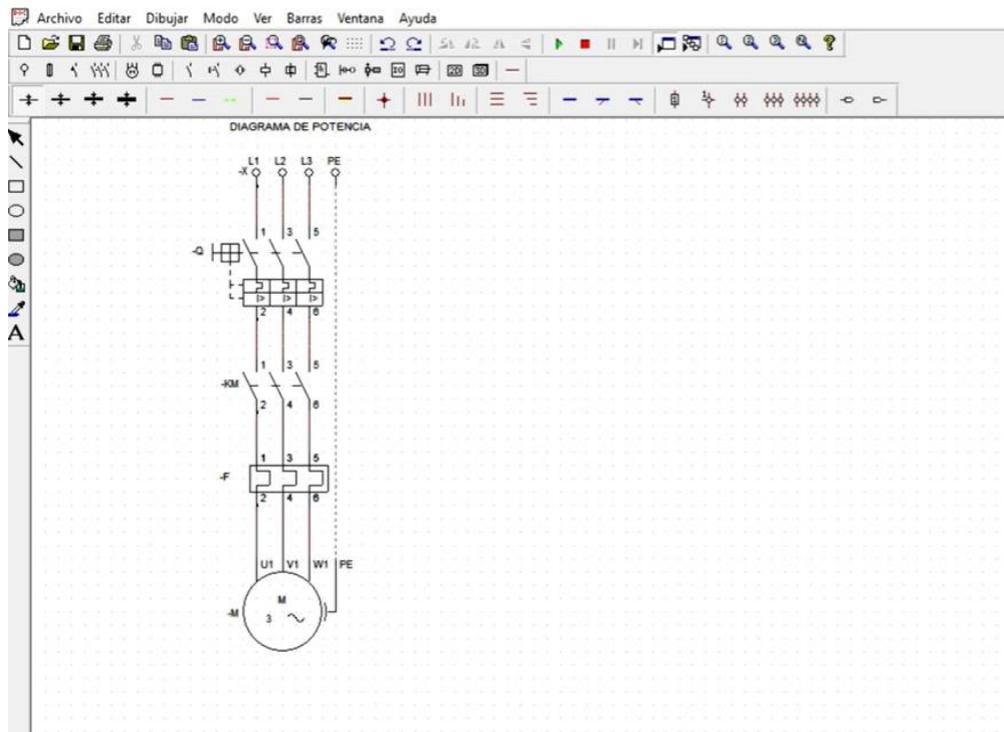
Tabla 4. Elementos del diagrama de potencia

Elementos	Características
Disyuntor	Protege el sistema contra sobrecargas y cortocircuitos.
Contactora trifásica	Es quien permite realizar un control remoto al motor, lo que facilita el comienzo y final.
Relé térmico	Elemento que brinda una protección contra sobrecalentamiento del motor, el cual se activa en caso de detectar una temperatura elevada.
Motor trifásico	Es el componente principal que será controlado para el bombeo de agua.

Fuente. Elaborado por el autor

Luego que se hayan seleccionado estos elementos, se procede a realizar el cableado de cada uno de los componentes, se debe asegurar que se realice una correcta conexión entre los elementos mencionados en la tabla 4. Una vez realizado esto, el diagrama de potencia está listo

Figura 25. Diagrama de potencia



Fuente. Elaborado por el autor

1.2.2 Diagrama de comando

A continuación, se desarrolla el diagrama de comando, que regula la lógica de funcionamiento del sistema. Para ello, se utiliza una alimentación monofásica, con el neutro dispuesto en la parte inferior del esquema para facilitar la organización del cableado. Los componentes se muestran en la tabla 5

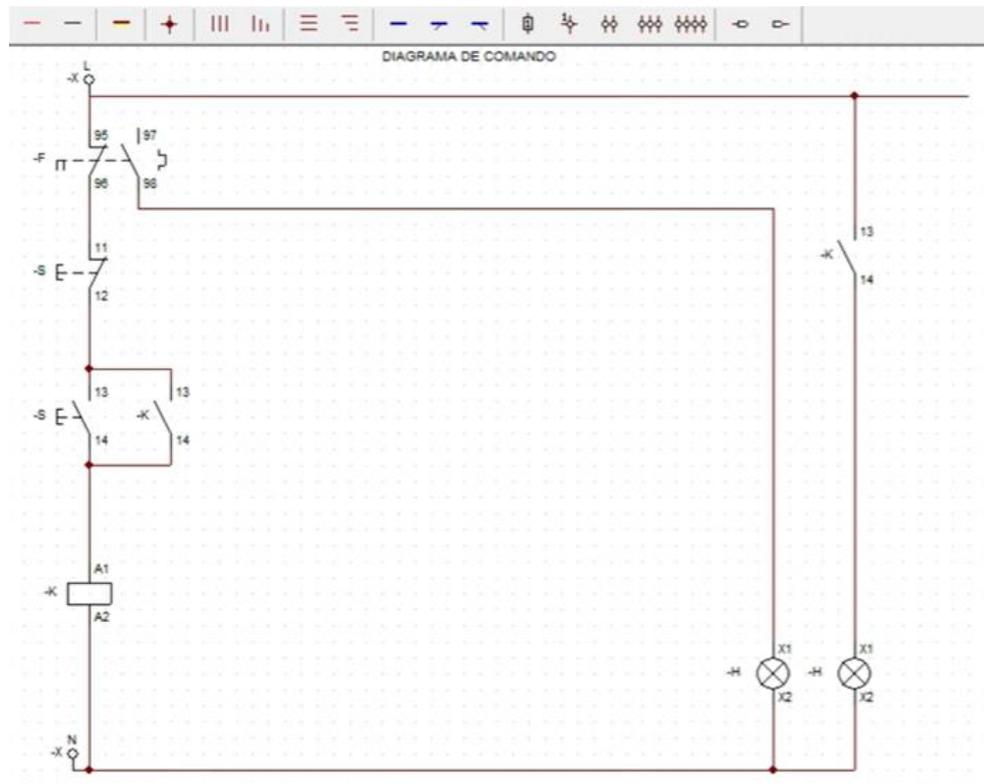
Tabla 5. Elementos del diagrama de comando

Elementos	Características
<i>Contactos del relé térmico</i>	Se emplean un contacto normalmente cerrado (NC) para la protección del motor y un contacto normalmente abierto (NA) que activa un piloto señalizador cuando el relé térmico se dispara por sobrecalentamiento
<i>Pulsadores de control</i>	Un pulsador normalmente cerrado (NC) para detener el motor de forma segura (pulsador de parada). Un pulsador normalmente abierto (NA) para iniciar el motor (pulsador de arranque).
<i>Bobina del contactor</i>	Se conecta para controlar la apertura y cierre de los contactos de potencia del motor.
<i>Enclavamiento eléctrico</i>	Se implementa utilizando un contacto normalmente abierto del contactor, conectado en paralelo con el pulsador de arranque.
<i>Pilotos señalizadores</i>	Un LED de color verde el cual indica que el motor se encuentra operativo. Un LED de color amarillo el cual se activa cuando haya un fallo y se dispare el relé térmico.

Fuente. Elaborado por el autor

Luego que se hayan seleccionado estos elementos, se procede a realizar el cableado de cada uno de los componentes, se debe asegurar que se realice una correcta conexión entre los elementos mencionados en la tabla 4. Una vez realizado esto, el diagrama de comando está listo

Figura 26. Diagrama de comando



Fuente. Elaborado por el autor

1.2.3 Integración del Cuadro de Entradas y Salidas

Para completar el sistema de control, se incorpora un cuadro de entradas y salidas (I/O) que permitirá la comunicación con el software PCSimu, facilitando la simulación y monitoreo del proceso. Además, se asignan nombres de referencia a cada componente para estandarizar la identificación en los diagramas de potencia y comando.

Asignación de nombres de referencia:

- **Pulsador de parada:** STOP (normalmente cerrado, NC)
- **Pulsador de arranque:** START (normalmente abierto, NA)
- **Bobina del contactor:** KM
- **Enclavamiento eléctrico:** KM (contacto auxiliar del contactor)
- **Piloto de motor encendido:** H1 (LED verde)

- **Piloto de protección térmica:** H2 (LED amarillo)

Para mejorar la automatización, se añaden sensores de nivel de agua que controlarán el arranque y la parada del motor, además de un temporizador para gestionar el vaciado del tanque.

Tabla 6. Sensores de nivel de agua y bobina temporizada para el vaciado

Sensor de nivel bajo (B1)	<p>Tipo: Detector inductivo normalmente abierto (NA). Función: Activar el motor cuando detecta un nivel bajo de agua. Conexión: Cableado en paralelo con el pulsador de arranque (START).</p>
Sensor de nivel alto (B2)	<p>Tipo: Detector inductivo normalmente cerrado (NC). Función: Detener el motor cuando detecta un nivel alto de agua. Conexión: Cableado para cortar la alimentación de la bobina del contactor (KM) al activarse.</p>
Bobina temporizada (KT)	<p>Se activa cuando el sensor de nivel alto (B2) detecta el llenado específico del tanque. Después de 30 minutos, activa un contacto temporizado normalmente abierto (KT), que a su vez controla la válvula de vaciado (KV).</p>
Enclavamiento eléctrico para el vaciado	<p>Implementado mediante un contacto auxiliar normalmente abierto en paralelo con el contacto temporizado (KT). Garantiza que la válvula de vaciado (KV) permanezca activa durante el proceso de vaciado completo.</p>

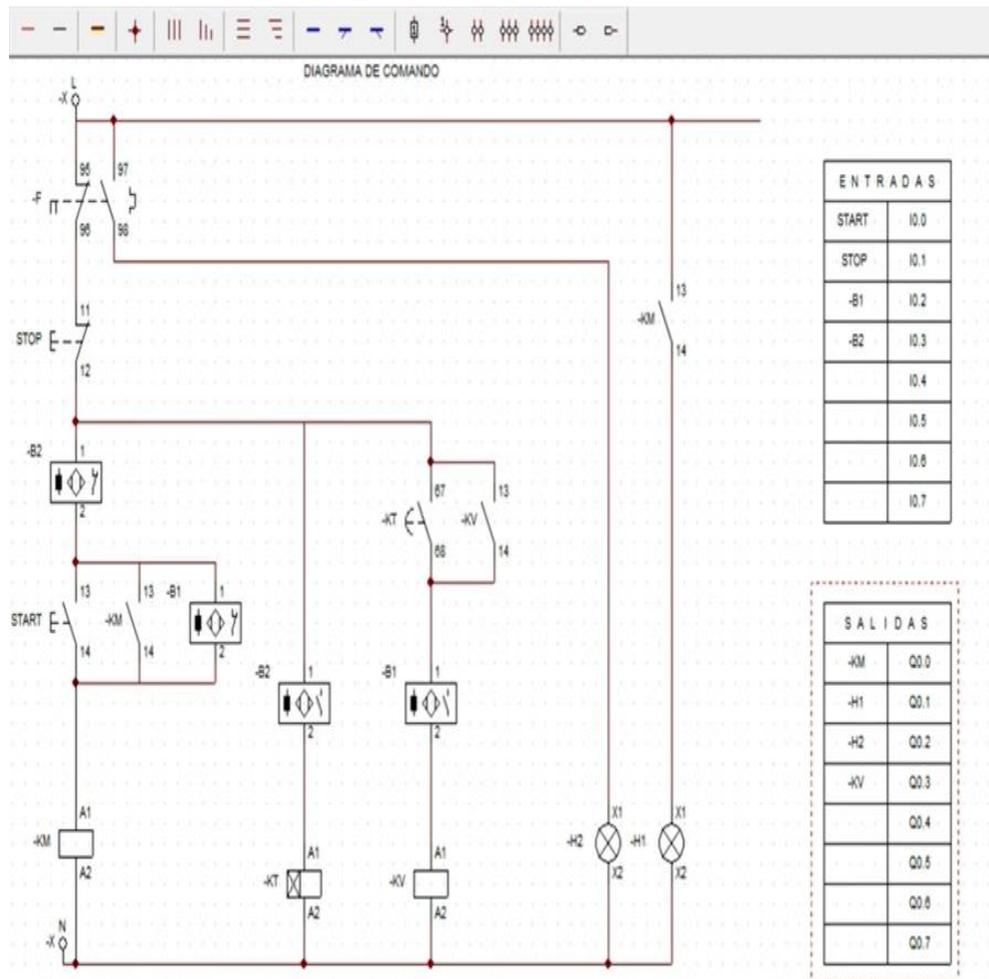
Fuente. Elaborado por el autor

Tabla 7. Configuración de entradas y salidas

Entradas	<p>I00: Pulsador de arranque (START) I01: Pulsador de parada (STOP) I02: Sensor de nivel bajo (B1) I03: Sensor de nivel alto (B2)</p>
Salidas	<p>Q00: Bobina del contactor (KM), que activa el motor en un único sentido de giro (derecha). Q01: Piloto de motor encendido (H1) Q02: Piloto de relé térmico (H2) Q03: Válvula de vaciado (KV)</p>

Fuente. Elaborado por el autor

Figura 27. Diagrama de comando junto entradas y salidas

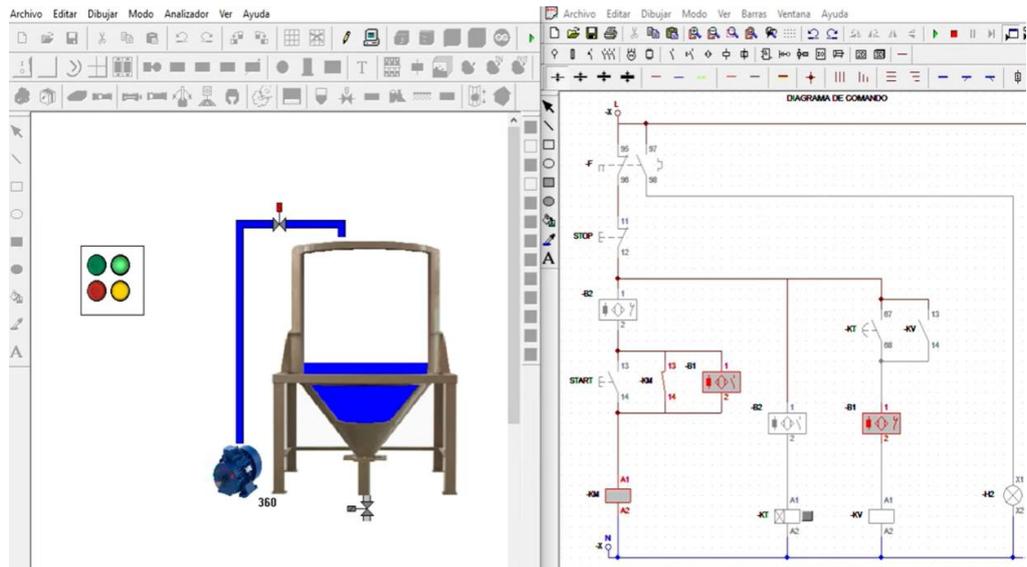


Fuente. Elaborado por el autor

1.3 Simulación del sistema de control

Se procederá a la simulación del sistema diseñado utilizando PCSimu, verificando el correcto funcionamiento de los sensores, temporizador, motor y válvula de vaciado. El objetivo es asegurar que el sistema automatice de forma eficiente el proceso de llenado y vaciado de la estructura tipo domo.

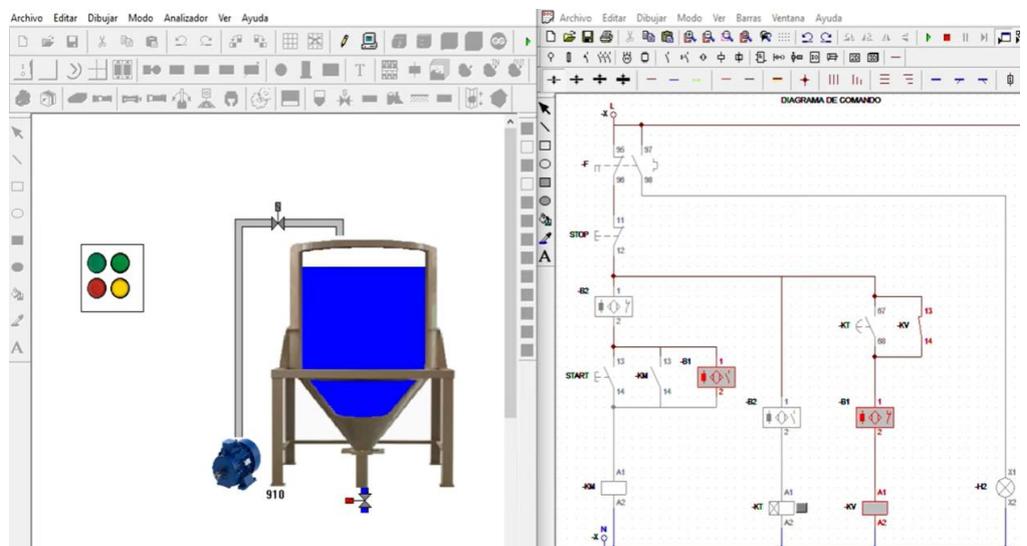
Figura 28. Estado inicial de la simulación



Fuente. Elaborado por el autor

Se inicia la simulación del sistema de control utilizando PCSimu. El proceso comienza con el tanque en nivel bajo, lo que permite que el sensor de nivel bajo (B1) cierre su contacto y active el motor trifásico. El piloto verde (H1) se enciende, indicando que el motor está en funcionamiento y que el llenado del tanque ha comenzado.

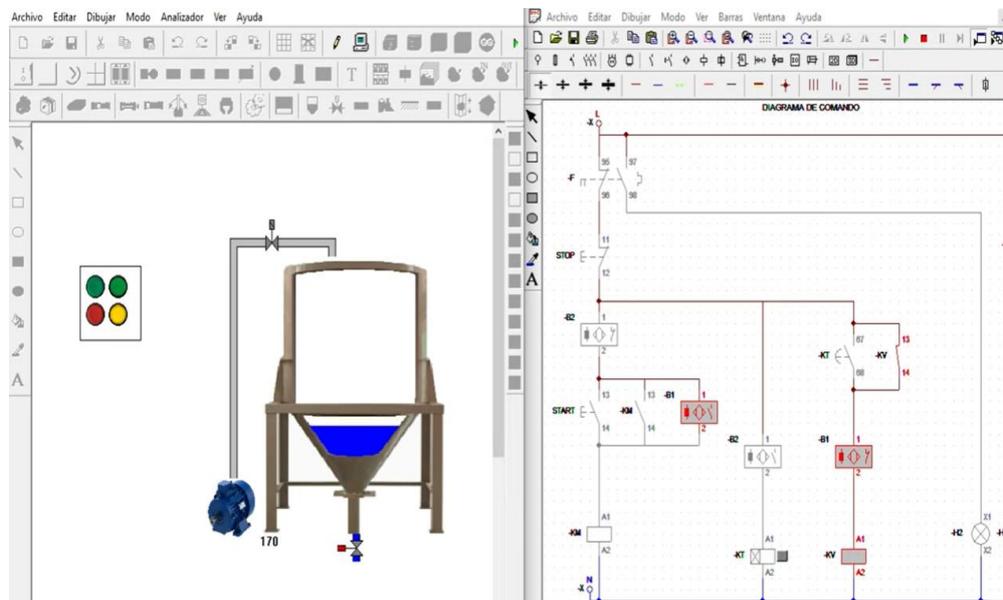
Figura 29. Llenado de la estructura tipo domo



Fuente. Elaborado por el autor

A medida que el agua sube, el motor continúa operando hasta que el nivel alcanza el sensor de nivel alto (B2). En ese momento, el sensor de nivel alto desactiva el motor, lo que apaga el piloto de color verde (H1) y se activa la bobina del temporizador (KT), que inicia una cuenta regresiva de 30 minutos (Esto se realiza para bañar a la caña de azúcar con agua caliente en la cámara del difusor). Una vez finalizada la cuenta regresiva, el contacto temporizado (KT) se cierra, activando la válvula de vaciado (KV) y permitiendo que el agua comience a vaciarse del tanque. La válvula de vaciado se mantiene abierta gracias al enclavamiento eléctrico, lo que garantiza que el tanque llegue a un nivel de vaciado estimado.

Figura 30. Vaciado de la estructura tipo domo



Fuente. Elaborado por el autor

Durante este proceso, el nivel del agua desciende hasta que alcanza nuevamente el sensor de nivel bajo (B1), que activa su contacto, enviando la señal para cerrar la válvula de vaciado (KV) y reactivar el motor trifásico. Con la reactivación del motor, el piloto verde (H1) se enciende nuevamente, indicando que el proceso de llenado ha comenzado otra vez. Este ciclo se repite de forma continua, asegurando la automatización eficiente del sistema de llenado y vaciado del tanque.

2. Control de temperatura en programa TIA PORTAL

Para la creación y desarrollo del sistema de control de temperatura se utilizó un robusto software de simulación 'TIA PORTAL', dicho software es una herramienta avanzada que permite el diseño y programación de rutinas para procesos industriales, lo cual facilita al operador los datos de las variables precisas para las variaciones de temperatura dentro de las estructuras de tipo domo.

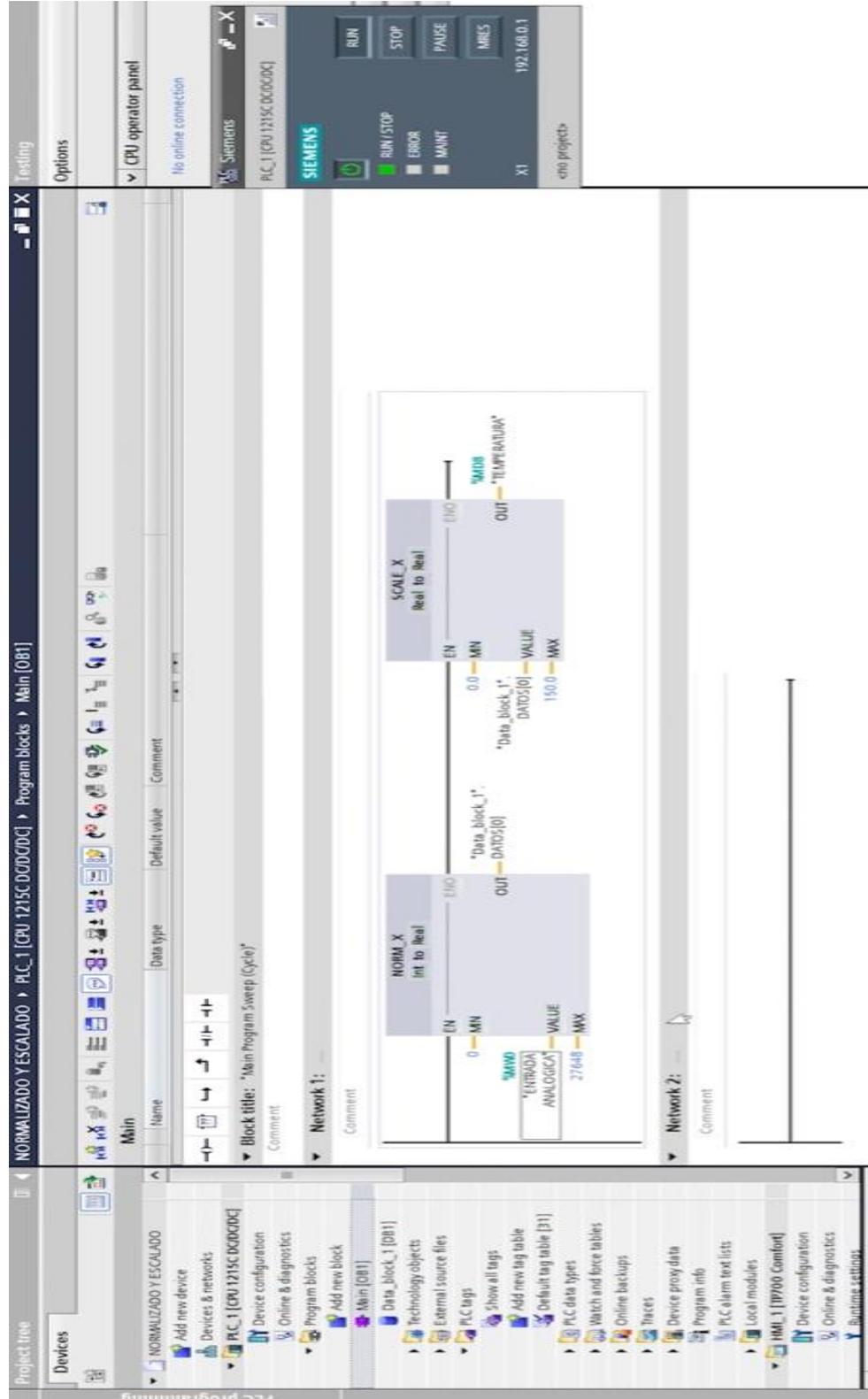
Es importante mencionar que TIA PORTAL integra aplicaciones para poder visualizar el sistema mediante pantallas HMI (Human Machine Interfaz) lo que la convierte a este software en una ayuda fundamental en procesos industriales, debido a que puede simular un comportamiento de variables controladas en un proceso industrial real. Dicha capacidad de simular variables reales facilita al operador la detección rápida de probables fallos, y a su vez contribuir al rendimiento del sistema mediante la optimización de ajuste estratégicos para lograr potenciar su eficiencia de producción. Gracias al proceso de funciones que se mencionan, el control de temperatura se acopla a las exigencias requeridas de la industria.

Para ajustar la configuración del sistema de control de temperatura mediante TIA PORTAL, se debe utilizar el bloque Normalizar en serie con el bloque Escalar. La entrada será un valor de tipo entero a real, y la salida se mantendrá de real a real para así garantizar precisión en los cálculos. El rango de valores de referencia se establece de cero a 27.648, según las especificaciones técnicas del PL; para la entrada o sea signará una interna del PLC, Y según sus especificaciones técnicas se utilizará MW0, la cual representa la entrada analógica que se va a simular.

Para mantener un orden claro y evitar el repetido uso de marcas internas, el resultado de salida se manejará por medio de bloques de datos, llamados 'Datos'. En este bloque de datos se debe crear un array con el propósito de almacenar valores tipo real. Al final, el primer elemento array, que se denomina Dato [0], será el resultado del grupo de salida escalado, lo que facilitará el manejo de información para futuras operaciones de monitoreo y control. Esta configuración va a permitir cambiar de forma precisa la señal analógica simulada por un valor real escalado; este proceso va a mejorar la gestión de datos en el proceso de control de temperatura. Para la entrada

del bloque Escalar se especificarán rangos mínimos y máximos de temperatura de 0 a 150 °C conforme a la simulación de la temperatura.

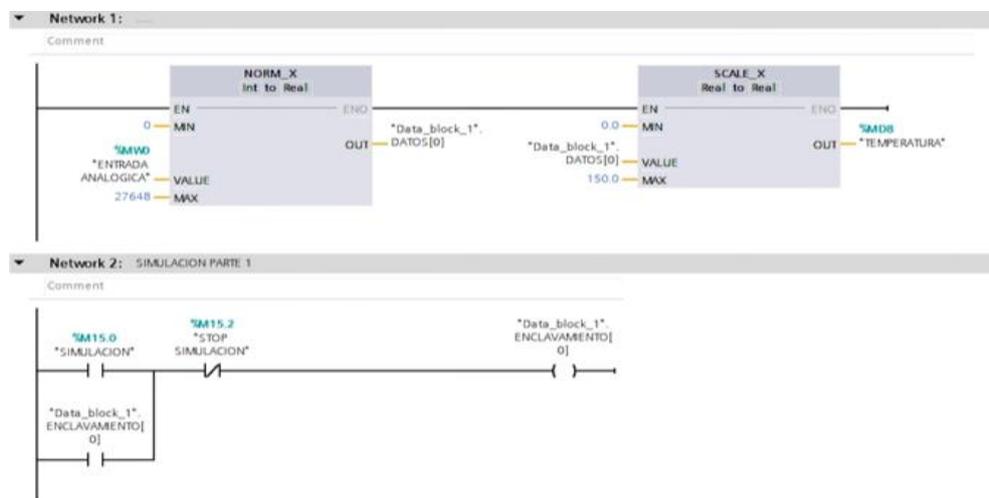
Figura 31. Bloque de normalizado y escala



Fuente. Elaborado por el autor

Para completar la simulación en la pantalla HMI en TIA PORTAL, se implementará un enclavamiento lógico que permitirá controlar el inicio y la detención del proceso de simulación. Se utilizará la marca interna M15.0 como el botón de arranque de la simulación (Start), y la marca interna M15.2 como el botón de detención (Stop). El enclavamiento se configurará de manera que, al presionar el botón asociado a M15.0, se active la simulación, manteniéndose en estado activo hasta que se presione el botón de M15.2, que desactivará la simulación. Para la salida de este enclavamiento se utilizará un bloque de datos, configurado como un dato booleano, que almacenará el estado del proceso de simulación (activo o inactivo).

Figura 32. Simulación parte 1

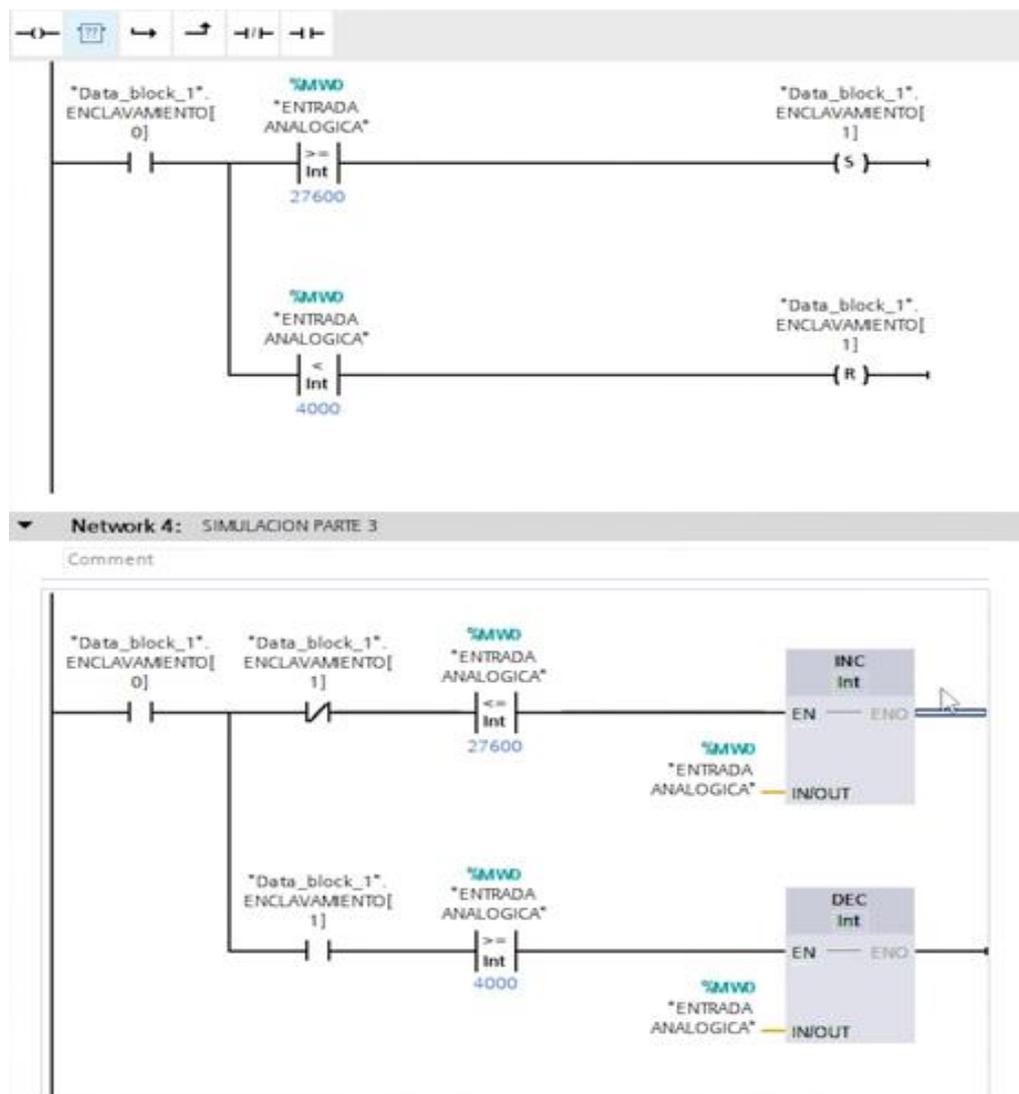


Fuente. Elaborado por el autor

Luego, establecemos los límites de la simulación de temperatura, definiendo un rango que va desde 4,000 hasta 27,600 en la entrada analógica MW0, lo que corresponde aproximadamente a una temperatura de 20°C a 150°C. Utilizamos comparadores: uno "Mayor o Igual" (\geq) para detectar si $MW0 \geq 27,600$ y otro "Menor" ($<$) para verificar si $MW0 < 4,000$. Cuando la temperatura supera los 27,600, se activa un enclavamiento (Set) registrado en el bloque de datos booleano, y cuando baja de 4,000, se desactiva el mismo enclavamiento (Reset), controlando así los ciclos de simulación.

A continuación, se añade la lógica de incremento y decremento de la entrada analógica. Si el valor de MW0 es menor que 27,600 se activa una operación aritmética que incrementa el valor de MW0 simulando un aumento gradual de la temperatura. Por otro lado, si MW0 es mayor o igual a 4,00, se usa otra forma de cálculo para mostrar una caída de temperatura. Estos procesos de subida y caída de temperatura son manejados por los mismos enclavamientos mencionados en el proceso anterior; esto garantiza que la simulación sea constante y estable.

Figura 33. Entradas analógicas de incremento y decremento

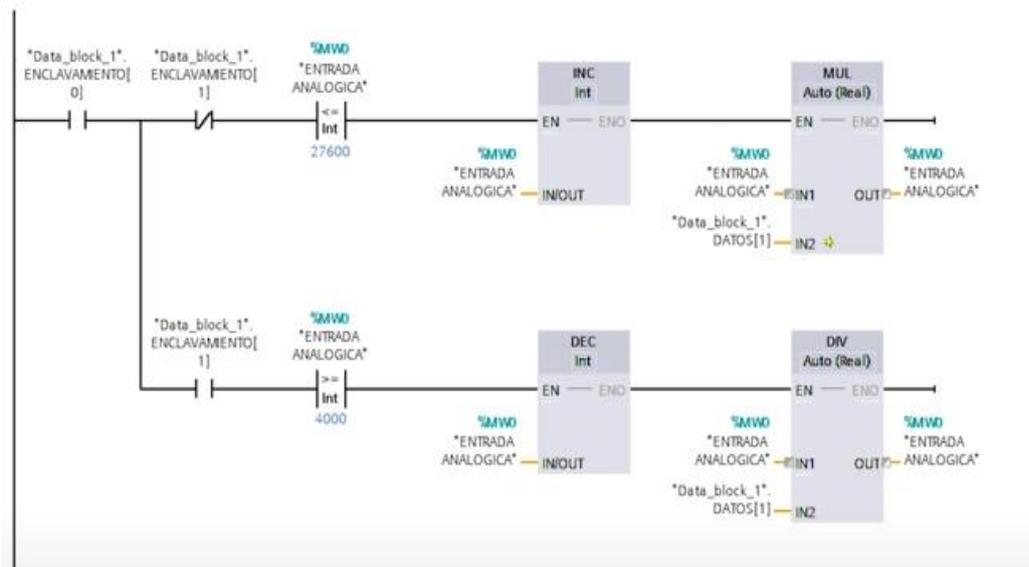


Fuente. Elaborado por el autor

Para acelerar el proceso de simulación, se incorpora un bloque de multiplicación. En la entrada IN1 del multiplicador se utiliza el valor de MW0,

mientras que en la entrada IN2 se emplea un dato del bloque de datos de tipo real, que actúa como factor de aceleración. El resultado de esta operación se devuelve a MW0, incrementando así la rapidez del aumento de la temperatura. Durante la fase de disminución de la temperatura, se utiliza un bloque de división, donde nuevamente MW0 es la entrada IN1 y el mismo factor del bloque de datos real es la entrada IN2, lo que permite desacelerar el proceso al dividir el valor de la entrada analógica, simulando disminución de temperatura más rápida.

Figura 34. Bloques de aceleración del proceso

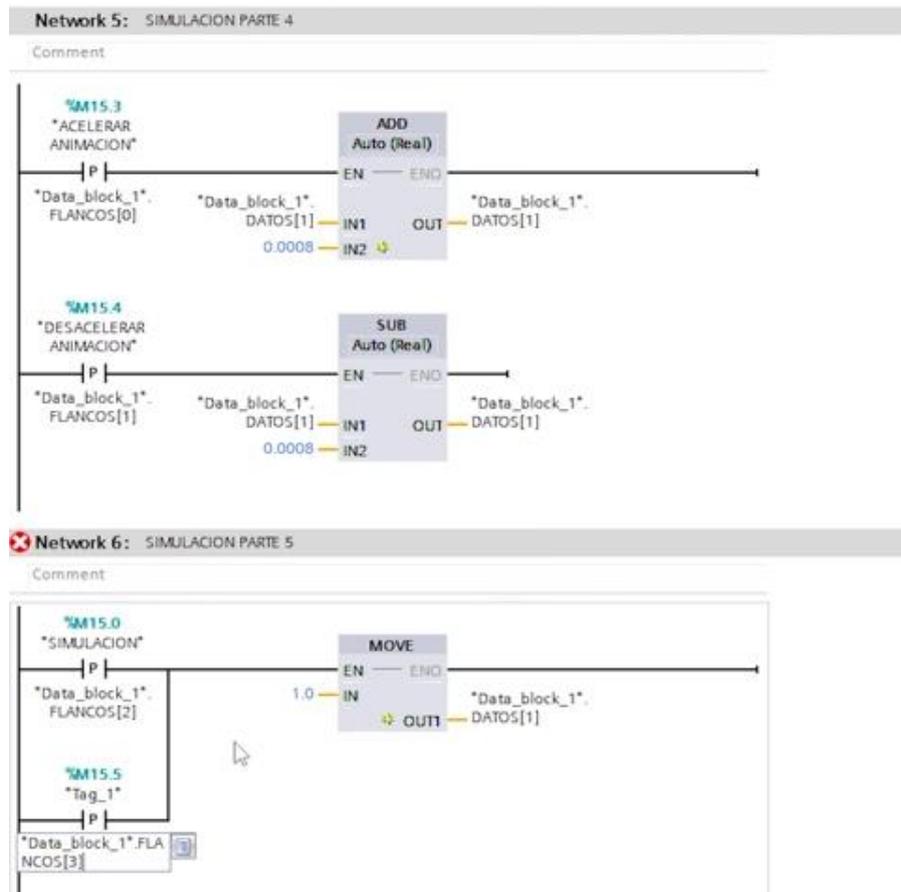


Fuente. Elaborado por el autor

Dentro de la aplicación real de estos bloques, son las aperturas de las válvulas que permiten el ingreso del vapor generado durante la combustión del bagazo. Estos vapores se canalizan hacia la estructura tipo domo a través de conductos conectados a la chimenea, aprovechando de manera eficiente la energía térmica.

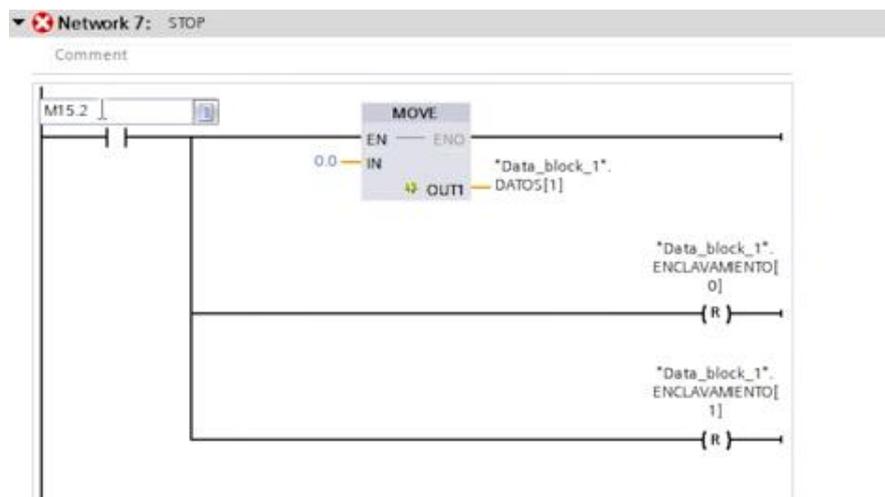
Bien, la parte de simulación 4 y 5 es donde se agregan los botones de acelerar y desacelerar la simulación utilizando flancos de subida, con esto se podrá aumentar la velocidad de la entrada analógica de incremento o disminuir la velocidad del incremento, y en la parte 5 hay un botón ‘move’ que nos ayuda a resetear las velocidades ingresadas

Figura 35. Botones de acelerar y desacelerar



Fuente. Elaborado por el autor

Figura 36. STOP de simulación



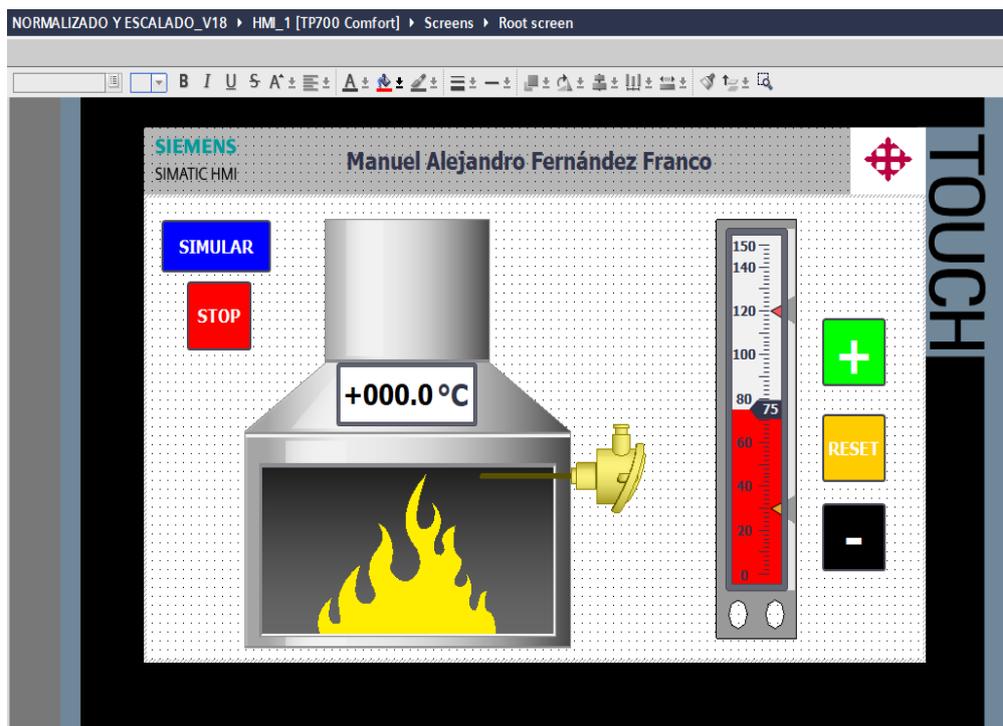
Fuente. Elaborado por el autor

Finalmente, se integra el Stop General que permite resetear todo el sistema, el cual se activa al presionar el botón M15.2, y su objetivo de operación principal es poner todos los números en 0 usando un tipo de bloque MOVE, que envía este valor 0 a MW0 y otras variables importantes del sistema. También este botón restea todos los enclavamientos activos, lo que anula el Start de simulación y cualquier otro bloqueo relacionado con límites de temperatura o lógicas de aceleración.

Este se activa con el botón M15.2, y su función principal es devolver todos los valores a cero mediante un bloque MOVE, que transfiere el valor 0 directamente a MW0 y cualquier otra variable relevante del sistema. Además, este botón resetea todos los enclavamientos activos, anulando tanto el Start de simulación como cualquier enclavamiento relacionado con los límites de temperatura o la lógica de aceleración.

Gracias al diseño completo, el sistema es capaz de iniciar, simular, hacer más rápido el proceso, desacelerar y parar todo el proceso de forma controlada y eficiente. Esto garantiza que la simulación industrial es robusta y confiables antes de su uso real.

Figura 37. Visualización de HMI



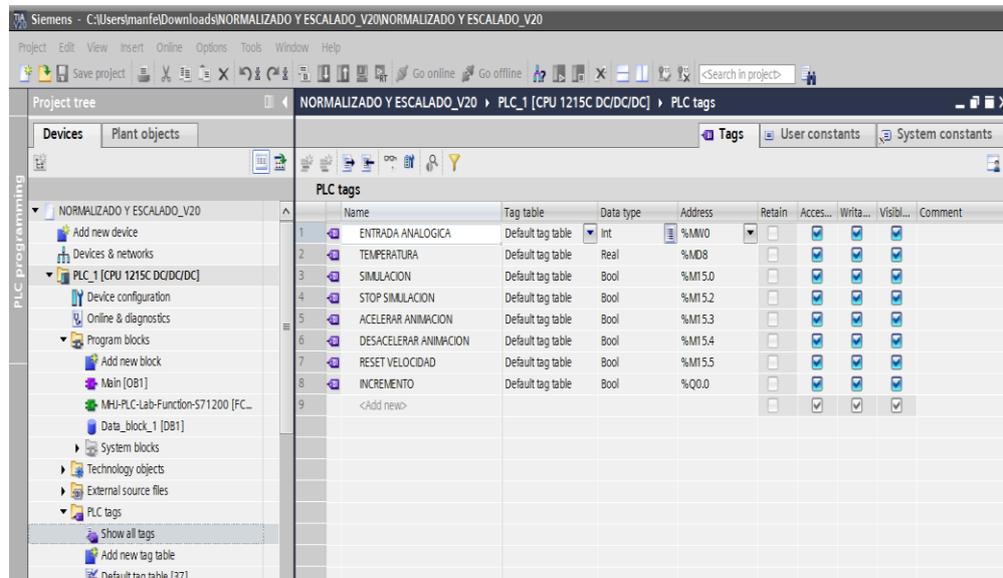
Fuente. Elaborado por el autor

En la pantalla se coloca una cabina de temperatura que representa la estructura tipo domo, la cual será calentada de forma simulada. Para visualizar el proceso de calentamiento, se utiliza una imagen de fuego que se activa cuando la temperatura comienza a incrementarse, vinculada directamente a la lógica de control mediante un contacto asociado al valor de temperatura en MW0.

Se suma un sensor de termocupla virtual que se enciende de forma automática luego de que la temperatura supere el límite, el cual está configurado por un comparador que puede detectar valores más altos a, por ejemplo 30 °C. Este sensor manda señales de retroalimentación hacia el PLC, encendiendo o desactivando elementos visuales como alarmas o marcas de temperatura muy alta.

En la sección del interfaz se añade una regla de temperatura con un rango de valores de 0 a 150 °C, que muestra en tiempo real la evolución proceso de calentado. La cifra de temperatura viene de la salida escalada del bloque MW0, la cual es previamente normalizada con ajuste de datos tipo real.

Figura 38. Variables de los bloques de programación



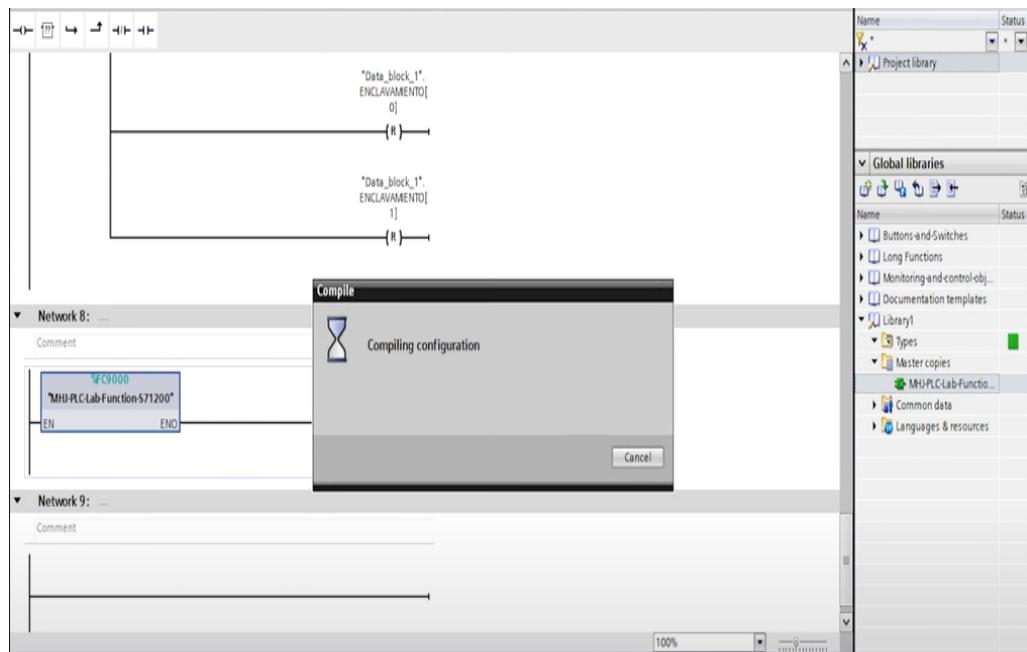
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	ENTRADA ANALOGICA	Default tag table	Int	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	TEMPERATURA	Default tag table	Real	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	SIMULACION	Default tag table	Bool	%M1.5.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	STOP SIMULACION	Default tag table	Bool	%M1.5.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	ACELERAR ANIMACION	Default tag table	Bool	%M1.5.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	DESACELERAR ANIMACION	Default tag table	Bool	%M1.5.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	RESET VELOCIDAD	Default tag table	Bool	%M1.5.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	INCREMENTO	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Fuente. Elaborado por el autor

Dentro de la carpeta de PLC tags, se encuentran las variables definidas que tienen intervención con la programación tipo Ladder que se realizó en la carpeta del PLC, en donde se indican las rutinas de programación que debe seguir el sistema de control de temperatura.

Antes de realizar el proceso de compilar, se añade un bloque de función (FB) por medio de la biblioteca compartida de Factory IO. Este bloque se encarga de controlar el cambio de temperatura: Velocidad del incremento y decremento que tendrá la temperatura, lo que evita que los cambios se ejecuten demasiado rápido para poder visualizar de manera natural la simulación. Este bloque de función (FB) funciona como filtro o retardo, modificación la frecuencia en que se actualizan los datos analógicos.

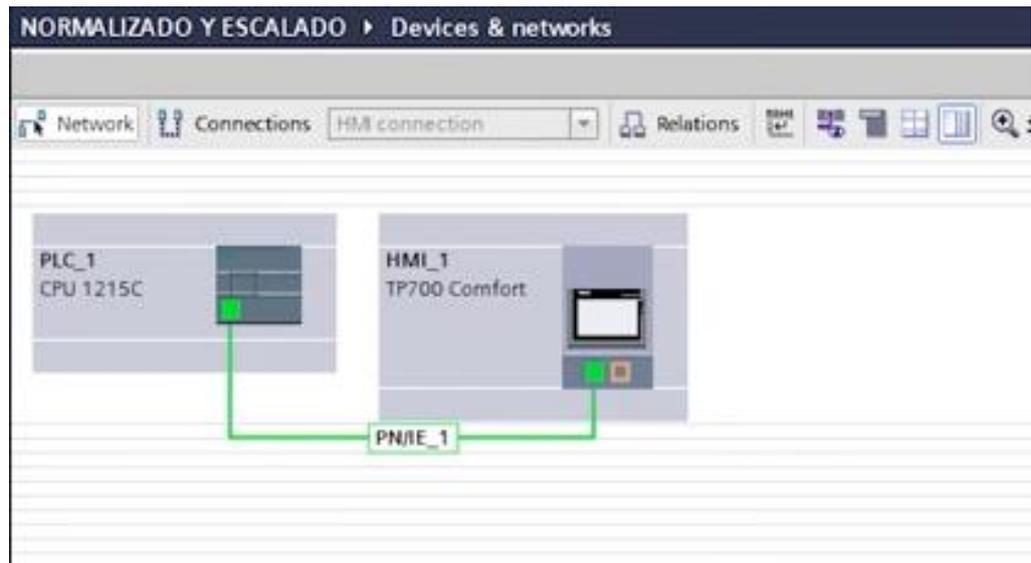
Figura 39. Bloque de función (FB)



Fuente. Elaborado por el autor

Una vez insertado el bloque de función, se procede a compilar todo el proyecto, verificando que no existan errores de configuración. Luego, se realiza el enlace entre el PLC virtual y la HMI, asegurando que todos los botones, sensores y visualizaciones estén correctamente mapeados.

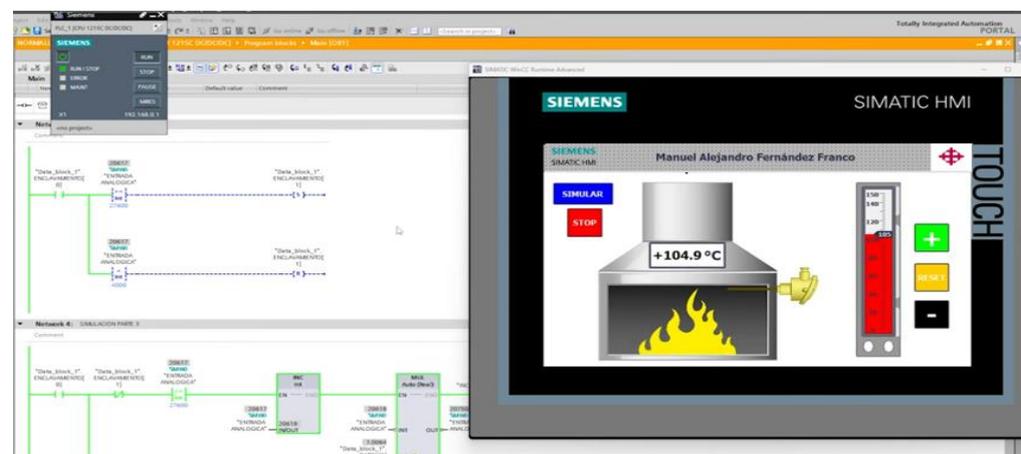
Figura 40. Enlace del PLC y HMI



Fuente. Elaborado por el autor

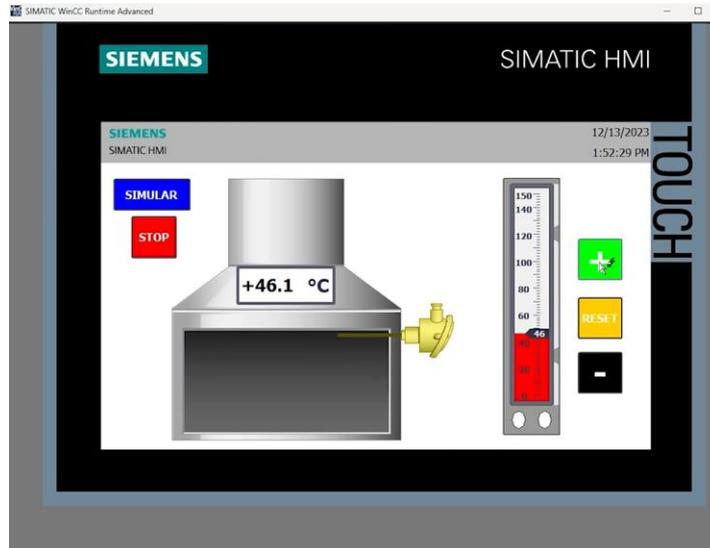
Finalmente, se carga el proyecto al PLC virtual, activando la simulación. Mientras se ejecuta la programación, se aprecia que el botón de Start comienza con el proceso de calentamiento, el vapor que ingresa activa el sensor de termocupla y aumenta la temperatura, los botones de Aumentar/ Disminuir son los que permites el control de velocidades. Al presionar el botón Stop, el proceso culmina, y con la ayuda del botón Reset, se vuelven a establecer todas las variables, lo que devuelve al sistema en su estado inicial.

Figura 41. Simulación del control de temperatura



Fuente. Elaborado por el autor

Figura 42. Disminución de temperatura



Fuente. Elaborado por el autor

CAPITULO IV

SISTEMA DE ENERGÍA RENOVABLE

1. Diseño de fuente de energía renovable

Dentro del presente proyecto de investigación, y previo al análisis de las fuentes de energía que se encuentra en el apartado del marco teórico, se ha tomado la decisión de utilizar la energía solar como fuente principal de energía renovable. Esta energía será aprovechada a través de la instalación de paneles solares, una tecnología que ha demostrado ser eficiente, sostenible y cada vez más accesible en el ámbito industrial.

Una de las primeras tareas para llevar a cabo la implementación de este sistema fotovoltaico es realizar un análisis detallado del consumo energético del sistema que se desea abastecer. Esto consiste en elaborar una lista de consumo energético, la cual debe contemplar todos los dispositivos, equipos y sistemas que se utilizarán en el proyecto. De esta manera, se podrá obtener una estimación precisa de los vatios (W) que se consumen a lo largo del día, permitiendo conocer la demanda energética total del proyecto.

1.1 Elementos de consumo

Esta lista debe incluir no solo los equipos principales, como las bombas, motores, luces y sistemas de control, sino también considerar cualquier otro dispositivo auxiliar que pueda estar en funcionamiento, como sistemas de ventilación, o dispositivos de comunicación. Además, es importante tener en cuenta las horas de operación de cada equipo, ya que algunos dispositivos pueden funcionar durante todo el día, mientras que otros solo se activarán en momentos específicos.

✓ **Bomba de agua '2CP40/180'**

Tipo: Bomba centrífuga

Potencia: 5.5 HP (Horse Power) — 4.1 kW

Voltaje: 320-440V (Trifásico)

Caudal: 450 l / min (27 m³ / h)

Características: La bomba 2CP40/180 es ideal para aplicaciones de alta presión y caudal, y se utiliza en sistemas de calderas, distribución de agua en plantas industriales, y sistemas de refrigeración. La bomba es duradera y tiene una excelente eficiencia energética.

Número de etapas: 2, estas bombas están diseñadas para proporcionar un rango de presión relativamente alto

Aplicaciones: Llenado de calderas, sistemas de presión constante, calefacción centralizada, y sistemas industriales de agua.

Consumo: 4 Kw

Figura 43. Bomba de agua centrífuga 2CP40/180C



Fuente. Electrobombas centrífugas con doble rodete (Pedrollo, 2024)

✓ PC y monitor de comunicación

Es importante que se tenga disponible un pc para verificar los procesos industriales que se pueden revisar mediante el sistema SCADA, lo que permitirá revisar las variables en tiempo real, estar pendiente a alarmas o fallos que puedan ser activados y ejecutar un rápido diagnóstico.

Consumo: 200 W

✓ **Electroválvula para vapor**

La electroválvula permitirá tener un control sobre la temperatura de la estructura tipo domo.

Consumo: 605 W

✓ **Electroválvula para agua**

La electroválvula permitirá tener un control sobre el llenado de agua de la estructura tipo domo.

Consumo: 9,6 W

✓ **Relé electromagnético**

Permite la ejecución de las electroválvulas mediante la comunicación del sistema SCADA

Consumo: 18W

✓ **PLC S7 1200**

Este es el dispositivo encargado de ejecutar las rutinas de comandos programadas para el control del sistema industrial.

Consumo: 12W

El consumo de cada componente se calcula por hora siguiendo las especificaciones proporcionadas por los fabricantes

V= Voltaje

I= Corriente

W= Watts

T= Tiempo

E= Energía consumida

$$P = V * I$$

$$E = P * T$$

Electroválvula para vapor

$$P = 110V * 5.5 \text{ Amp}$$

$$P = 605 \text{ w} = 0.61Kw$$

$$E = 0,61Kw * 1h$$

$$E = 0,61Kwh$$

Electroválvula para agua

$$P = 12V * 0,8 \text{ Amp}$$

$$P = 9,6 \text{ w}$$

$$E = 9,6w * 1h$$

$$E = 9,6 \text{ Wh}$$

Relé electromagnético

$$P = 12V * 1,5 \text{ Amp}$$

$$P = 18 \text{ w}$$

$$E = 18 \text{ w} * 1h$$

$$E = 18 \text{ Wh}$$

PC y monitor de comunicación

$$P = 120V * 1,66 \text{ Amp}$$

$$P = 200 \text{ w} = 0,2 \text{ Kw}$$

$$E = 0,2 \text{ Kw} * 1h$$

$$E = 0,30 \text{ Kwh}$$

PLC

$$P = 24V * 0,5 \text{ Amp}$$

$$P = 12 \text{ w}$$

$$E = 12 \text{ Wh}$$

En la siguiente tabla se recogen los datos del consumo de todos los elementos que se han considerado para el uso diario, considerando el uso de los elementos puedan interactuar de manera simultánea.

Figura 44. Datos de consumo energético diario

Elemento	Potencia (W)	Horas/días	Simultaneidad	Energía / día (Wh/día)
<i>Bomba centrífuga de agua</i>	4.000 W	14	100%	56.000 W
<i>PC y monitor de comunicación</i>	200 W	14	100%	2.800 W
<i>Electroválvula para vapor</i>	605 W	14	100%	8.470 W
<i>Electroválvula para agua</i>	9,6 W	14	100%	134,4 W
<i>Relé electromagnético</i>	18 W	14	100%	252 W
<i>PLC S7 1200</i>	12W	14	100%	168 W
Total				67.824,4 Wh/día

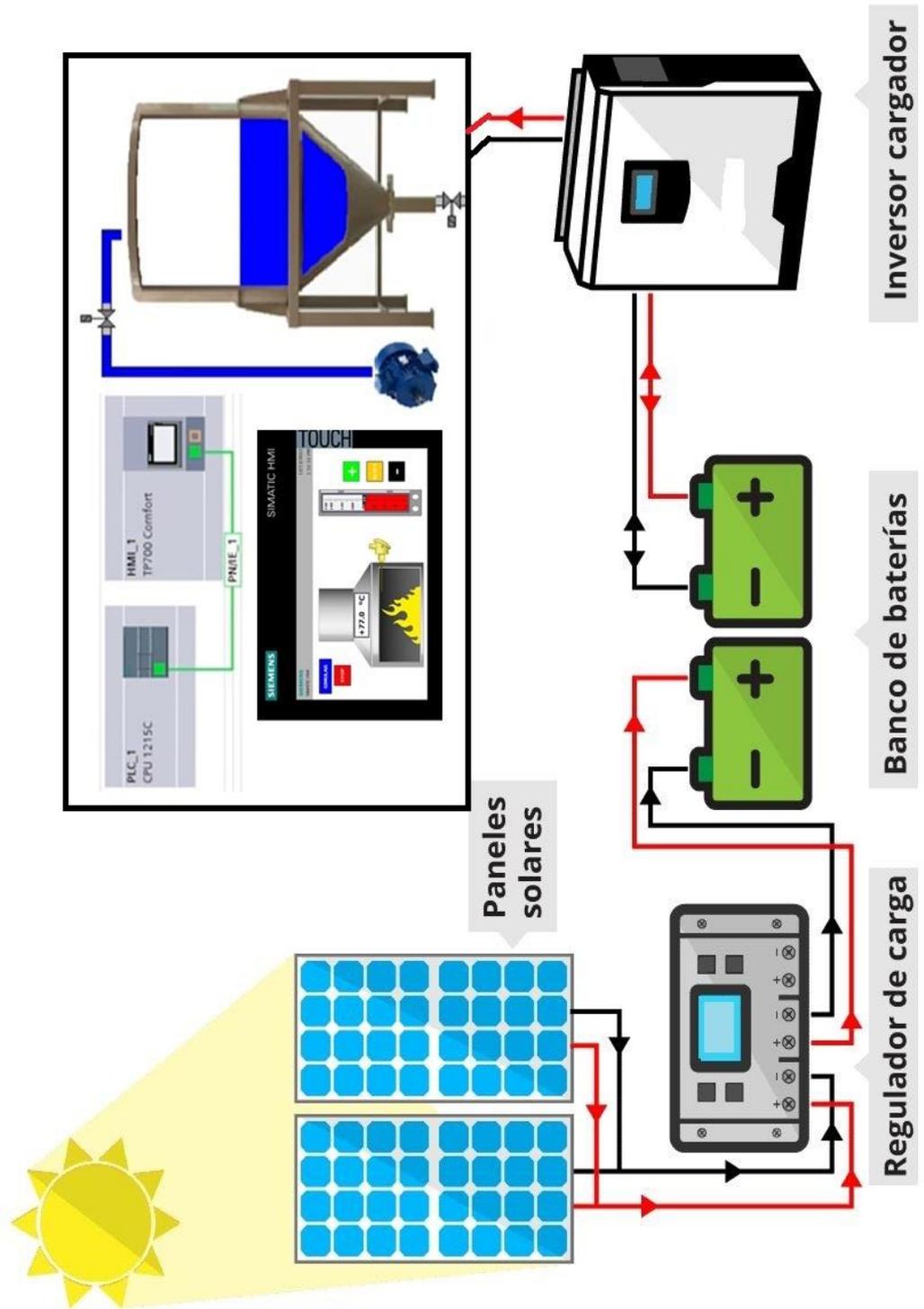
Fuente. Elaborado por el autor

Como se puede observar, la energía consumida es de 68kWh diarios.

2. Esquema básico de una instalación fotovoltaica

La instalación de energía solar puede ser dividida en cuatro partes principales que se responsabilizan de las labores fundamentales, que son: la captación de energía, la regulación, la acumulación de energía y la inversión de polaridad. Los componentes deben estar en comunicación con los demás y poseer las protecciones apropiadas de modo que funcione con éxito la totalidad de la instalación. Los componentes deben estar en comunicación con los demás y poseer las protecciones apropiadas de modo que funcione con éxito la totalidad de la instalación. Conforme al cuadro, estos componentes son: los módulos fotovoltaicos, el controlador o supervisor de energía, las baterías y el inversor solar.

Figura 45. Componente de instalación fotovoltaica



Fuente. Elaborado por el autor

2.1 Rendimiento global de la instalación

Antes de comenzar con la cuenta de los componentes de la instalación, es importante entender que la producción de energía está influenciada por la capacidad de todos los elementos que la conforman. Por esta razón, el cálculo de los dimensionamientos debe tomar en consideración las pérdidas de energía que de todas maneras se van a producir. Si el sistema se planifica para atender únicamente la demanda de energía esperada, sin tomar en cuenta las pérdidas de energía, la cantidad de energía viable será menor a la esperada, esto impedirá que se satisfaga totalmente la demanda de energía.

Hay dos maneras de solucionar este inconveniente. El primero, que es ampliamente utilizado por muchos constructores, tiene un factor de seguridad del veinte por ciento. Esto implica aumentar en un veinte por ciento la potencia que se estima, de manera que el sistema se conecte para atender esta necesidad extra, y así compensando las pérdidas. El segundo método se basa en calcular la utilidad de la instalación, o bien aproximarlos mediante fórmulas si se conocen los rendimientos de cada uno de los componentes. (Arancibia & Estrada A, 2010)

En este caso, se realizará un análisis sencillo de los rendimientos de los distintos elementos eléctricos y se explicará cómo calcular, a partir de estos, el rendimiento global del sistema. No obstante, en la práctica, por su simplicidad y eficacia, suele preferirse la aplicación directa del factor de seguridad.

Para hacer el cálculo del rendimiento general se utilizará la siguiente expresión:

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v) * (1 - k_a * N/P_d)$$

En donde:

k_b = Indica el valor de pérdidas en baterías

k_i = Indica el valor de pérdidas para inversores

k_r = Indica el valor de pérdidas en reguladores

k_v = otras tipos pérdidas relacionadas

k_a = factor de pérdidas por autodescarga de batería

N = día de autonomía de baterías

$P_d =$ Profundidad máxima de descargas de batería

Figura 46. Valores de coeficientes

Kb	Pérdidas en el proceso de acumulación
0,05	Acumuladores nuevos, sin descargas intensas
0,1	Acumuladores viejos, descargas intensas
Kr	Pérdidas en el controlador de carga
0,1	Controlador de carga eficiente
0,15	Controlador de carga antiguo, poco eficiente
Ka	Autodescarga de la batería
0,002	Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento
0,005	Baterías estacionarias de energía solar
0,012	Baterías de alta autodescarga
Ki	Pérdidas por el rendimiento del inversor
0	No hay inversor en la instalación
0,05	Rendimiento inversor 95%
0,1	Rendimiento inversor 90%
0,15	Rendimiento inversor 85%
0,2	Rendimiento inversor < 85%

Fuente. Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica. (Ladrón de Guevara, 2018)

Figura 47. Valores de coeficientes según su uso

Kv	Otras pérdidas no consideradas
0,1	Si no se han tenido en cuenta pérdidas en cableado y equipos
0,05	Si ya se ha realizado un estudio detallado de pérdidas
Pd	Profundidad de descarga máxima admisible
0,9	Batería descargada hasta el 90%
0,8	Batería descargada hasta el 80%
0,7	Batería descargada hasta el 70%
0,6	Batería descargada hasta el 60%
0,5	Batería descargada hasta el 50%
0,4	Batería descargada hasta el 40%
0,3	Batería descargada hasta el 30%
N	Número de días de autonomía

Fuente. Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica. (Ladrón de Guevara, 2018)

Teniendo en cuenta que para la instalación se utilizarán nuevos modelos de baterías, con una autonomía de 7 días a la semana, y una descarga máxima de la batería del 50%, un regulador moderno que es eficiente y un inversor de excelente rendimiento, por lo que la ecuación es

$$R = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,1 - 0,05) * \left(1 - 0,05 * \frac{7}{0,5}\right) = 0,723$$

Lo que nos indica este rendimiento es que la energía necesaria que se debería producir es:

$$\text{Energía diaria necesaria} = \frac{67824,4}{0,723} = 93809,68 \text{ Wh}$$

Implementado el factor de seguridad del 20% recomendado, tenemos:

$$\text{Energía diaria necesaria} = 67824,4 * 1,2 = 81389,28 \text{ Wh}$$

El panel solar que se utilizará será el siguiente:

Figura 48. Panel Solar Victron 250W poly



Fuente. Paneles blue solar. (victron energy, 2024)

Potencia nominal (P_{MPP})= 250 W

Tensión máxima (V_{MPP})= 30V

Intensidad máxima (I_{MPP})=8,33 A

Lo que nos demuestra que la energía que genera el panel es:

$$Energía = P_{MPP} * HSP = 250 * 4,33 = 1082,5 Wh$$

Entonces el número de paneles que se necesitarán para satisfacer el promedio de energía diaria requerida será:

$$\frac{Energía\ diaria}{Energía\ del\ panel} = \frac{81389,28}{1082,5} = 75,19$$

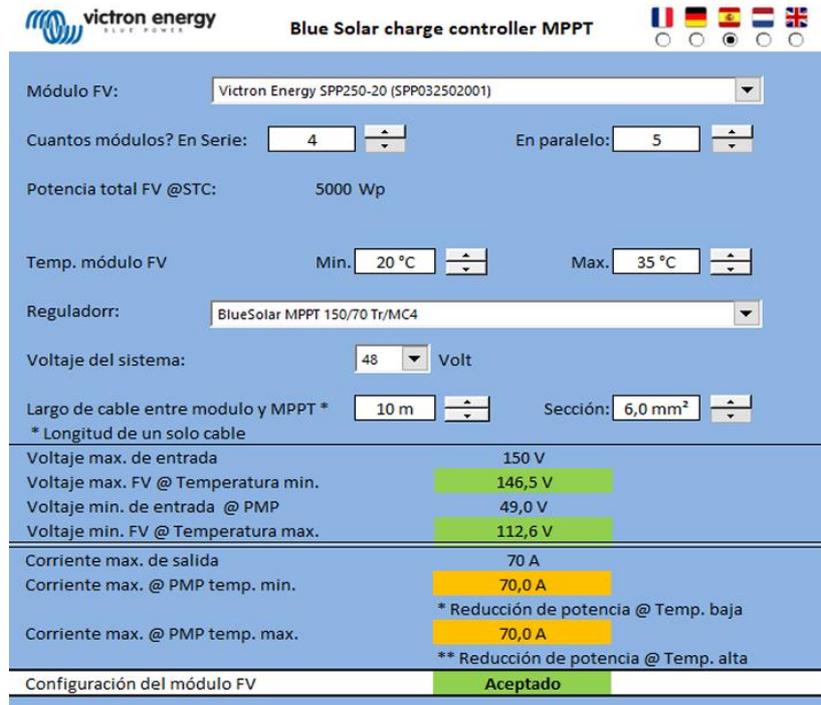
Dado que el número de paneles debe ser entero, se debe seleccionar el siguiente número superior para asegurar el abastecimiento de energía.

2.2 Regulador de voltaje

Al igual que se ha mencionado anteriormente, se escogió un controlador MPPT de la marca Victron Energy. Para elegir el prototipo óptimo, se usará un instrumento que el mismo productor pone a disponibilidad en su website. Esta tecnología posibilita, luego de elegir un grupo de paneles de Victron, examinar diferentes modelos de controladores y tantear diversas formas de configurar los grupos de paneles solares.

En la realidad, no siempre es viable conseguir una configuración particular que concuerda precisamente con la cantidad de paredes requeridas. En esta ocasión, la operación calculó una necesidad de 75,117 paneles, por lo cual se optó por redondear al número entero superior, es decir, 76 paneles. Sin embargo, luego de examinar diversas formas y combinaciones factibles, se determinó que la alternativa más eficaz es poseer un número total 80 paneles. Estos se distribuirán en cuatro grupos de veinte paneles cada uno, bajo la dirección de cuatro controladores MPPT que son iguales, esto genera una optimización del desempeño y el manejo de la energía obtenida.

Figura 49. Controlador MPPT



victron energy Blue Solar charge controller MPPT

Módulo FV: Victron Energy SPP250-20 (SPP032502001)

Cuantos módulos? En Serie: 4 En paralelo: 5

Potencia total FV @STC: 5000 Wp

Temp. módulo FV Min. 20 °C Max. 35 °C

Regulador: BlueSolar MPPT 150/70 Tr/MC4

Voltaje del sistema: 48 Volt

Largo de cable entre modulo y MPPT * 10 m Sección: 6,0 mm²

* Longitud de un solo cable

Voltaje max. de entrada	150 V
Voltaje max. FV @ Temperatura min.	146,5 V
Voltaje min. de entrada @ PMP	49,0 V
Voltaje min. FV @ Temperatura max.	112,6 V
Corriente max. de salida	70 A
Corriente max. @ PMP temp. min.	70,0 A
Corriente max. @ PMP temp. max.	70,0 A
	* Reducción de potencia @ Temp. baja
	** Reducción de potencia @ Temp. alta

Configuración del módulo FV **Aceptado**

Fuente. Elaborado por el autor en la página web de Victron energy

Como se logra apreciar en la figura, cada grupo de 20 módulos estará instalado en un circuito de 5 strings que estarán paralelo 5 strings y 4 módulos que estarán en serie cada uno.

Se calcula la potencia máxima de la siguiente manera:

$$\text{Tensión máxima: } V = V_{MPP} * 4 = 30 * 4 = 120$$

$$\text{Intensidad máxima: } I = I_{MPP} * 5 = 8,33 * 5 = 41,65 \text{ A}$$

Con estos datos se puede calcular la potencia

$$P = V * I = 120 * 41,65 = 5000 \text{ W}$$

En esta configuración se ha utilizado el siguiente regulador:

Figura 50. Regulador solar



Fuente. SmartSolar MPPT de 150/70 hasta 250/100 VE. Can. (victron energy, 2024)

En resumen, se tiene un total de 80 paneles y 4 reguladores, por lo que se hacen los siguientes análisis

$$P_{total} = 80 * 250 = 20 \text{ kWp}$$

$$Superficie = \#paneles * alto * ancho = 80 * 1,64 * 0,99 = 130m^2$$

2.3 Baterías

Las baterías se forman por asociación de vasos de 2V, se unen en serie para formar voltajes de 12, 24 y 48, y estas baterías en serie se asocian en paralelo para alcanzar la capacidad de almacenamiento estimada. El valor de descarga para las baterías será de un 60% con el fin de preservar su vida útil.

Se hace un cálculo para el uso de batería por 7 días (en caso de que se requiera)

$$Capacidad = \frac{Consumo \text{ d} * \text{días de autonomía}}{Pd * V_{instaladas}} = \frac{6000 * 7}{0,6 * 48} = 1458,33 \text{ A}$$

Por lo que se utilizará los vasos de 2V de Victron OPzS Solar 1520, que cuenta con una capacidad nominal de 1520 A

Figura 51. Batería de 2V victron



Fuente. OPzS-victron energy. (victron energy, 2024)

Para conseguir la tensión del sistema de 24V que se utilizará para la electroválvula que controla la temperatura, es necesario formar 2 fuentes de 12V, por lo que hay que juntar 2 paquetes de 6 vasos de batería. Tener baterías instaladas agiliza el proceso de ampliación de consumo en caso de que no exista una alta radiación solar por tiempos prolongados. También para tener 48 V

Figura 52. Batería solar de 24v



Fuente. Batería solar 24V OPZS 1520Ah. (Solarbex, 2024)

2.4 Inversor solar

Se sabe que el tipo de red que debe salir del inversor debe ser trifásica, ya que la bomba centrífuga necesita esta fuente de alimentación para su funcionamiento, a su vez se necesita alimentar los equipos de comunicación (Pc y monitor), por lo que la mejor opción es conseguir tres inversores monofásicos y asociarlos en paralelo para conseguir la red trifásica, y realizar una conexión separada para la red de alimentación de los equipos de comunicación

Victron Phoenix Inverter 48/5000

Se necesitarán 3 inversores conectados en paralelo para la red de alimentación trifásica.

Cada uno de ellos concibe un rango de tensión de 40-60 V

Cada uno cuenta con una potencia pico de 10000 W, para así poder hacer frente a los picos de potencia de los equipos conectados simultáneamente.

Figura 53. Inversor monofásico



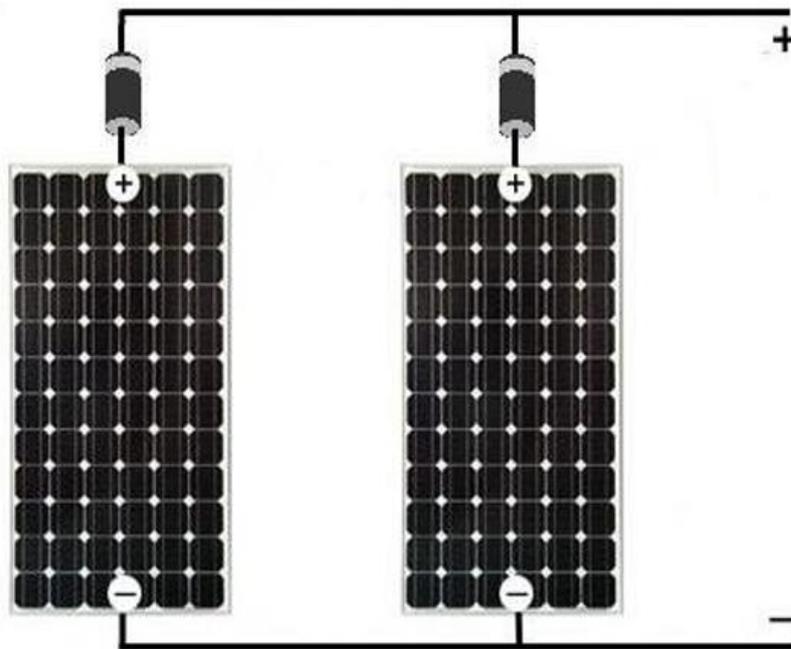
Fuente. Inversor Victron Phoenix (AutoSolar, 2024)

2.5 Conexión entre paneles

La conexión entre los paneles solares puede realizarse en serie, en paralelo o mediante una combinación de ambas configuraciones, dependiendo de los requisitos específicos del sistema fotovoltaico. Estas conexiones se efectúan utilizando los cables que vienen integrados en los propios paneles.

En una conexión en paralelo, se conectan entre sí todos los polos positivos de los paneles en la parte superior, y de manera similar, todos los polos negativos se conectan entre sí en la parte inferior. Esta configuración permite mantener el mismo voltaje de un solo panel, pero la corriente total del sistema se suma, aumentando la capacidad de suministro de corriente. (Ladrón de Guevara, 2018)

Figura 54. Conexión en paralelo de un panel solar

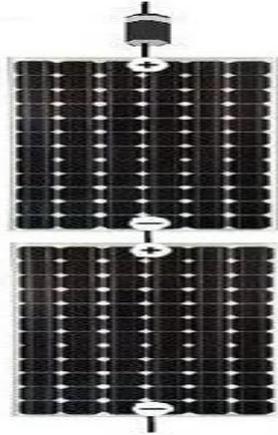


Fuente. Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica. (Ladrón de Guevara, 2018)

Por otro lado, en la conexión en serie, el polo positivo de un panel se conecta directamente al polo negativo del panel siguiente, y este patrón se repite sucesivamente

para todos los paneles del string. Esta disposición incrementa el voltaje total del sistema, mientras que la corriente se mantiene constante, igual a la de un solo panel.

Figura 55. Conexión en serie de un panel solar

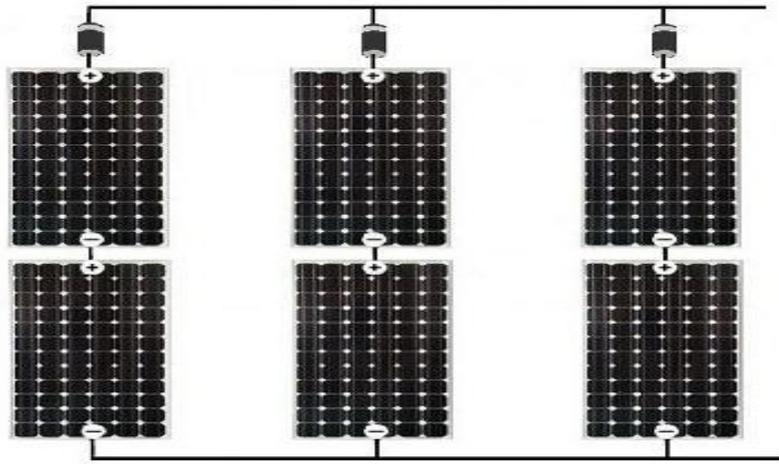


Fuente. Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica. (Ladrón de Guevara, 2018)

Para la configuración seleccionada en esta instalación fotovoltaica, será necesario combinar ambas conexiones, es decir, se implementará una asociación en serie-paralelo. En este esquema, se agrupan varios paneles conectados en serie para formar lo que se denomina un string, y luego, estos strings se interconectan en paralelo.

En la figura posterior se presenta un ejemplo ilustrativo que muestra cómo se realiza esta combinación: se han dispuesto 3 strings, cada uno compuesto por 2 paneles conectados en serie, y posteriormente, estos tres strings se asocian entre sí en paralelo.

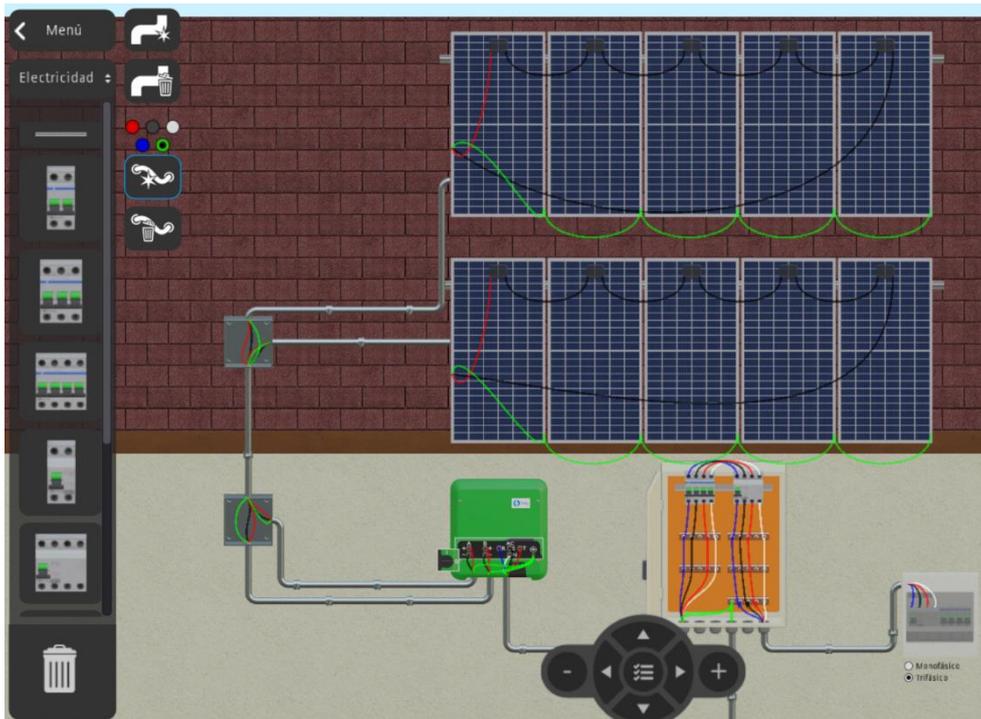
Figura 56. Mezcla de conexión entre paneles solares



Fuente. Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica. (Ladrón de Guevara, 2018)

En la figura 57, se puede observar el cableado de los elementos en un programa de simulación Yoysimulators, el cual permite tener una experiencia virtual sobre cómo sería la instalación de los paneles solares.

Figura 57. Arquitectura de instalación de fuente fotovoltaica de red trifásica



Fuente. Elaborado por el autor

En la figura se puede observar una combinación de ambas conexiones, paralelo y en serie de los paneles fotovoltaicos, en el tablero de energía se encuentran las debidas protecciones para las protecciones de corriente.

CAPITULO V

INVERSIÓN ECONÓMICA

1. Análisis de costes

Para realizar el análisis de costes, se debe tomar en cuenta los equipos que se van a necesitar para realizar el sistema auxilia de control y llenado de agua para estructuras tipo domo mediante fuentes de energía renovable. Para ello, se muestra la siguiente tabla de costos, considerando el comprar productos nuevos y de buena calidad que garanticen la eficiencia de producción y seguridad operativa al personal.

Tabla 8. Análisis de costos

<i>Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>	<i>Total</i>
<i>Bomba centrífuga de agua</i>	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
<i>PC y monitor de comunicación</i>	2	\$ 2.500,00	\$ 5.000,00
<i>Electroválvula para vapor</i>	1	\$ 100,00	\$ 100,00
<i>Electroválvula para agua</i>	2	\$ 45,00	\$ 90,00
<i>Relé electromagnético</i>	1	\$ 40,00	\$ 40,00
<i>PLC S7 1200</i>	1	\$ 800,00	\$ 800,00
<i>Termocupla tipo K</i>	1	\$ 60,00	\$ 60,00
<i>Sensores de nivel alto y bajo</i>	2	\$ 30,00	\$ 60,00
<i>Tablero eléctrico</i>	2	\$ 300,00	\$ 600,00
<i>Tablero de control</i>	1	\$ 300,00	\$ 300,00
<i>Panel Solar Victron 250W poly</i>	80	\$ 350,00	\$ 28.000,00
<i>Regulador Victron MPPT150/70 MC4</i>	4	\$ 600,00	\$ 2.400,00
<i>Batería Victron OPzS 1520 A - 2V</i>	24	\$ 400,00	\$ 9.600,00
<i>Inversor Victron Phoenix 48/500</i>	3	\$ 2.000,00	\$ 6.000,00
<i>Pica de puesta a tierra</i>	1	\$ 50,00	\$ 50,00
<i>Cables</i>	por definir	-	-
Total			\$ 55.100,00

Fuente. Elaborado por el autor

Tabla 9. Costos del sistema auxiliar del control térmico y llenado de agua

<i>Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>		<i>Total</i>
<i>Bomba centrífuga de agua</i>	1	\$	2.000,00	\$ 2.000,00
<i>PC y monitor de comunicación</i>	2	\$	2.500,00	\$ 5.000,00
<i>Electroválvula para vapor</i>	1	\$	100,00	\$ 100,00
<i>Electroválvula para agua</i>	2	\$	45,00	\$ 90,00
<i>Relé electromagnético</i>	1	\$	40,00	\$ 40,00
<i>PLC S7 1200</i>	1	\$	800,00	\$ 800,00
<i>Termocupla tipo K</i>	1	\$	60,00	\$ 60,00
<i>Sensores de nivel alto y bajo</i>	2	\$	30,00	\$ 60,00
<i>Tablero eléctrico</i>	2	\$	300,00	\$ 600,00
<i>Tablero de control</i>	1	\$	300,00	\$ 300,00
			Total	\$ 9.050,00

Fuente. Elaborado por el autor

Tabla 10. Costos de instalación fotovoltaica

<i>Componente</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio Unitario</i>		<i>Total</i>
<i>Panel Solar Victron 250W poly</i>	80	\$	350,00	\$ 28.000,00
<i>Regulador Victron MPPT150/70 MC4</i>	4	\$	600,00	\$ 2.400,00
<i>Batería Victron OPzS 1520 A - 2V</i>	24	\$	400,00	\$ 9.600,00
<i>Inversor Victron Phoenix 48/500</i>	3	\$	2.000,00	\$ 6.000,00
<i>Pica de puesta a tierra</i>	1	\$	50,00	\$ 50,00
<i>Cables</i>	por definir		-	-
			Total	\$ 46.050,00

Fuente. Elaborado por el autor

2. R.O.I

Para calcular el ROI (Return of Inversion) se debe calcular el costo que genera el control de temperatura y llenado de agua en estructuras tipo domo.

Consumo energético mensual: 500\$

*Costo de consumo al año: \$500 * 12 = \$6.000*

*Costo de consumo en 10 años = \$6.000 * 10 = \$60.000*

R.O.I = \$60.000 – \$55.000 = \$5.000

Según con los cálculos realizados, se estima que después de 10 años se obtenga un retorno de inversión, pero a continuación se va a realizar los cálculos del retorno sobre la mitigación de riesgos; esto quiere decir que se analiza la inversión económica considerando las pérdidas económicas que pueden ser generadas.

Considerando que la producción anual de azúcar de la fábrica azucarera es aproximadamente 165.000 toneladas de azúcar por año, se va a determinar la cantidad de azúcar que dejaría de producir por eventos inesperados.

Se va a considerar que el ingenio azucarero opera de manera continua durante el periodo de zafra (tiempo de cosecha y producción de azúcar). Lo que estima que producirá azúcar por aproximadamente 180 días.

Producción diaria

$$\frac{165.000 \text{ toneladas}}{180 \text{ días}} \approx 916,67 \text{ toneladas/días}$$

Producción por hora

$$\frac{916,67 \text{ toneladas}}{24 \text{ horas}} \approx 38,19 \text{ toneladas/horas}$$

Ahora, para estimar la pérdida económica se calcula el precio por tonelada de azúcar, tomando en cuenta que el valor por cada tonelada de azúcar es de \$390,65:

$$(38,19 \text{ toneladas/horas})(\$390,65 \text{ por tonelada}) \approx \$14.918,89 \text{ por hora}$$

Con este valor se puede indicar que por cada hora de inactividad el ingenio azucarero tiene una pérdida económica de \$14.918,89 dólares americanos, este resultado nos indica que por lucro cesante el proyecto es viable.

CAPITULO VI

RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

A lo largo de la ejecución del presente trabajo de titulación, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La búsqueda y desarrollo en la inversión de tecnologías amigables con el planeta, es un factor imprescindible en cualquier país porque da como resultado la reducción de gases de efecto invernadero.
- Es importante la comunicación total y continua de los sistemas inteligentes que ayudan a controlar los procesos industriales.
- La instalación de la fuente de energía solar fotovoltaica va a permitir el uso diario de 14 horas, y las baterías serán las aliadas de reponer más energía de ser solicitada, también son importantes para los días nublados que no haya suficiente radiación solar.
- El uso de los softwares, CADeSimu y TIA PORTAL para el análisis del sistema de control permitió modelar y simular las variables que se deseaban controlar.

Dentro de las recomendaciones, se ha llegado al siguiente análisis:

- ✓ Se puede hacer una mejora en los cálculos expuestos para el cálculo de consumo diario, ya que se han omitido detalles que puedan obligar el cambio de modificaciones. Un experto con suficiente experiencia en el área puede conocer los detalles y ofrecer una mejor solución.
- ✓ Recomiendo el análisis de otras marcas para realizar una comparación y escoger la mejor opción.
- ✓ Realizar un sistema de control en un software que englobe todas las variables como: fuente de energía que se recolecta de los paneles solares, el control de llenado y vaciado de la estructura tipo domo y su control de temperatura.
- ✓ El análisis de costos para la inversión económica puede ser más extenso y minucioso, pero el prestado en este trabajo de investigación es de ayuda para conocer valores estimados.

Comparación de resultados

En la siguiente tabla se realiza una comparación de los resultados aspirados con los resultados que se obtuvieron en el transcurso de la implementación del sistema auxiliar para el control térmico y llenado de agua en estructuras tipo domo.

Tabla 11. Comparación de resultados

Planteamiento	Resultados
Realizar una investigación de las condiciones ambientales y consumo energético del país	Luego de la investigación realizada, se dio a conocer los datos de consumo a que genera los procesos industriales en Ecuador.
Analizar las distintas formas de generar energía	Luego del análisis de las distintas formas de energías como son: carbón, gas natural, nuclear, biomasa, geotérmica, eólica, solar térmica, hidráulica y fotovoltaica. Se escogió el uso de energía solar por medio de tecnología fotovoltaica.
Diseñar la arquitectura del sistema de control auxiliar junto a los requisitos de hardware y software	Se diseñó el sistema de control auxiliar para el control térmico y llenado de agua en estructura tipo domo haciendo uso de herramientas tecnológicas que permiten la simulación de procesos industrial, se utilizó los softwares de CADeSimu, TIA PORTAL.
Realizar modelos de simulación para estimar el consumo eléctrico y los costos operativos	Gracias a la implementación del proceso de simulación, se pudo observar las componentes esenciales para hacer un detalle de los elementos de consumo diario junto con los precios que son estimados para el control térmico y llenado en estructuras tipo domo, y el costo de instalación fotovoltaica
Documentar de manera detallada el proceso de diseño, implementación y evaluación del sistema de control auxiliar	A lo largo del proyecto, se logró hacer la documentación exhaustiva del diseño del sistema de control auxiliar y llenado de agua en domos junto con el respaldo de energía renovable (solar fotovoltaica).

Fuente. Elaborado por el autor

Referencias

- Arancibia, C., & Estrada A, C. (2010). *Energías renovables: una alternativa para el desarrollo sostenible*. México.
- Área tecnología. (2012). *Inversor fotovoltaico*. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html>.
- Arancibia Carballo, G. (2016). *La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica*. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria.
- ARIAE. (2014). *Atlas Bioenergético de la República del Ecuador*. Ministerio de Electricidad y Energía renovable.
- Arrieta, A. A. (2014). *Panorama y futuro energético*. Obtenido de Ingeniería & Sociedad: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingeso/article/view/18986>
- AutoSolar. (2024). *Inversor Victron Phoenix 48V 5000VA*. Obtenido de <https://autosolar.es/inversores-48v/inversor-victron-phoenix-48v-5000va>
- Bain, R. L. (2011). *Thermochemical Processing of Biomass: Conversion into Fuels, Chemicals and Power*. Gasification.
- BBVA. (2024). *¿Qué es la energía nuclear y cómo se genera? Ventajas e inconvenientes*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-nuclear-y-como-se-genera-sus-pros-y-contras/>
- BioEconomía. (2 de Julio de 2024). *Ecuador se apoya en la biomasa para diversificar su matriz energética y mitigar el cambio climático*. Obtenido de <https://www.bioeconomia.info/2024/07/02/ecuador-se-apoya-en-la-biomasa-para-diversificar-su-matriz-energetica-y-mitigar-el-cambio-climatico/>
- BMA. (2022). *Centrifugas BMA: Permanencia en el proceso*. Obtenido de <https://www.bma-worldwide.com/es/equipos/centrifugacion.html>
- Canaza-Choque, F. A. (2019). *De la educación ambiental al desarrollo sostenible: desafíos y tensiones en los tiempos del cambio*. Revista de Ciencias Sociales.
- Cárcel Carrasco, F. J., & Martínez Márquez, D. (2015). *La energía geotérmica de baja entalpía*. 3C Tecnología.

- CENACE. (2024). *Matriz Factor Emisión_CO2_SNI_2023*. Ecuador: Operador Nacional de Electricidad - CENACE.
- CEPAL. (2020). *La transición energética como motor del desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe*. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe: <https://www.cepal.org/es>
- CONELEC. (2015). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- CSN. (s.f.). *La energía nuclear*. Obtenido de Consejo de Seguridad Nacional: <https://www.csn.es/la-energia-nuclear>
- Direct Inudstry. (2025). *Molino de cilindros Sugar | Bioenergy - horizontal / para caña de azúcar / de gran potencia*. Obtenido de <https://www.directindustry.es/prod/fives-sugar-bioenergy/product-62061-399493.html>
- Empresa Cambio Energético. (Agosto de 2018). *Ahorro energético en el sector industrial*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/ahorro-energetico-sector-industrial/>
- Endesa S.A. (2 de Agosto de 2021). *Conoce la energía eólica: sus ventajas, qué es y cómo funciona*. Obtenido de Endesa: <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-eolica>
- Expansión. (2023). *Energía y medio ambiente - Emisiones de CO2*. Obtenido de Expansión: <https://surl.li/lyysnx>
- Farmonaut. (19 de Diciembre de 2024). *Potencial Energético de la Biomasa en Ecuador: Transformando Residuos Agrícolas en Energía Limpia*. Obtenido de <https://farmonaut.com/south-america/potencial-energetico-de-la-biomasa-en-ecuador-transformando-residuos-agricolas-en-energia-limpia/>
- García López, I. (2009). *Sistema Generador conectado a Red de 100 Kw Mediante Energía*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Gregorio, M. d. (2019). *Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis*. Secretaría de Estado de Presupuestos y Gastos.

- Guardiola, R. (2008). *Diseño y Cálculo de una Instalación fotovoltaica de 1,1 MW*. Universidad Rovira I Virgili, Departamento de Ingeniería Electrónica y Eléctrica.
- Gutiérrez, G. (s.f.). *Aplicación del cálculo integral en energías renovables: guía práctica*. Obtenido de Ecología digital: <https://ecologiadigital.bio/como-se-aplican-el-calculo-integral-en-las-energias-renovables/>
- Heres, D. (Diciembre de 2015). *El cambio climático y la energía en América Latina*. Obtenido de CEPAL: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/39751-cambio-climatico-la-energia-america-latina>
- INER. (2014). *Eficiencia energética en industrias*. Obtenido de INER: https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/2014/12/EDIFICACIONES_DOSSIER.pdf
- Ingfcól Ltda. (2015). *Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia*. Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- IPCC. (2021). *Cambio climático 2021: Bases científicas del del cambio global*. Obtenido de Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático: <https://www.ipcc.ch/es>
- Isaías, P. R. (2016). *Reconversión de una planta termoeléctrica convencional en una central de ciclo combinado*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Karla, H. P. (2021). *Una visión crítica del turismo comunitario desde la Ecología Política. Turismo comunitario como alternativa de desarrollo sustentable. Caso comunidad de Yunguilla, Ecuador*. México: El Periplo Sustentable: revista de turismo, desarrollo y competitividad.
- Ladrón de Guevara, J. A. (2018). *Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada*. Madrid: Industriales UPM.
- LANDPACK. (2020). *Envasadora de azúcar con 4 pesadoras lineales y bomba de vacío*. Obtenido de <https://www.landpackes.com/sugar-salt-packing-machine/automatic-vffs-sugar-packaging-machine-with-4-linear-weigher-and-vacuum-pump.html>

- Llanes Cedeño, E. A. (2020). *La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables*. Universidad Internacional SEK.
- Merino, L. (2012). *Las energías renovables*. Iberdrola.
- Mulet Hing, M., & Fernández Salazar, R. E. (15 de Noviembre de 2015). *Automatización del tacho cristizador de azúcar crudo del central Julio Antonio Mella*. Obtenido de Tecnología Química: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445546335008/html/>
- Muñoz, C. (2021). *Dimensionado y análisis de viabilidad de una instalación fotovoltaica*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Orellana, G. &. (2015). *Estimacion de la Radiacion Solar Cantón Cuenca Mediante la Aplicacion del Modelo Bristow y CampBell*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pedrollo. (2024). *Electrobombas centrifugas con doble rodete* . Obtenido de <https://pedrollo.com.ec/wp-content/uploads/2021/05/FTP-2CP.pdf>
- Pérez, A. &. (2021). *La educación ambiental como herramienta para el cambio social*. Educación y Medio Ambiente.
- PRIMAGAS. (2023). *Generación de energía eléctrica con gas*. Obtenido de PRIMAGAS: <https://www.primagas.es/blog/generacion-energia-electrica-con-gas>
- PRIMICIAS. (14 de Octubre de 2024). *Paneles Solares: ¿Qué son y cómo la energía fotovoltaica sería una 'solución' en los cortes de luz?* Obtenido de PRIMICIAS: <https://www.primicias.ec/ciencia-tecnologia/paneles-solares-energia-fotovoltaica-cortes-luz-ecuador-81078/>
- RENOVETEC. (2018). *Turbinas ge gas, manual de campo, principales elementos de una turbina de gas*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=0KVL3VeHhHU>
- Santoyo, E., & Barragán, R. (2010). *Energía geotérmica*. Ciencia.

- SAVREE. (2025). *Gas Turbines Explained (Combustion Turbine)*. Obtenido de SAVREE: <https://www.savree.com/en/encyclopedia/gas-turbine-combustion-turbine>
- Serway, R. A. (2008). Física para ciencias e ingeniería con física moderna. En R. A. Serway. Cengage learning.
- Solarbex. (2024). *Bateria solar 24V OPZS 1520Ah*. Obtenido de <https://solarbex.com/comprar/bateria-solar-24v-opzs-1520ah/>
- Sophia, S. G. (25 de Mayo de 2023). ¿Cómo funciona el carbón como fuente de energía? Conozca más sobre este proceso. *EL TIEMPO*.
- SULZER. (2023). *Generación de energía por combustión de carbón*. Obtenido de SULZER: <https://surl.li/hrgpqj>
- Tierra & mar. (2022). *Ingenio azucarero icló la zafra #139*. Obtenido de <https://n9.cl/06yog>
- UNELLEZ. (2024). *EXTRACCIÓN Y REFINACIÓN DE AZÚCAR*. Obtenido de <https://extraccionyrefinaciondeazucartorin.blogspot.com/2018/>
- Valencia, S. R. (16 de Abril de 2017). *Extracción de jugo de caña de azúcar con un Difusor único en México*. Obtenido de <https://www.salvadoromerovalencia.com/noticias/2017/4/26/extraccin-de-jugo-de-cao-de-azcar-con-un-difusor-nico-en-mxico>
- victron energy. (2024). *Paneles BlueSolar*. Obtenido de <https://www.victronenergy.com.es/solar-pv-panels/bluesolar-panels>
- victron energy. (2024). *SmartSolar MPPT de 150/70 hasta 250/100 VE.Can*. Obtenido de <https://www.victronenergy.com.es/solar-charge-controllers/smartsolar-mppt-ve.can#pd-nav-image>
- WEG. (2010). *Más grande y más antiguo ingenio de azúcar de Ecuador se modernizó con tecnología WEG*. Obtenido de <https://www.weg.net/institutional/ES/en/news/products-and-solutions/mas-grande-y-mas-antiguo-ingenio-de-azucar-de-ecuador-se-modernizo-con-tecnologia-weg>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Fernández Franco, Manuel Alejandro**, con C.C: #0957392384 autor/a del trabajo de titulación: **“Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables”** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 20 días del mes de febrero del año 2025

f.

Nombre: **Fernández Franco Manuel Alejandro**

C.C: **0957392384**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Simulación y análisis para la optimización de sistemas auxiliares para el control térmico y llenado de agua en domos mediante la integración de energías renovables		
AUTOR(ES)	Fernández Franco Manuel Alejandro		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Peñañiel Olivo, Kety Jenny		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de educación técnica para el desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Electrónica y Automatización		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en electrónica y automatización		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de febrero del 2025	No. DE PÁGINAS:	89
ÁREAS TEMÁTICAS:	Diseño de diagrama eléctrico, Programación, Instalación fotovoltaica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Energía renovable, sistema de control, electricidad, paneles solares, fuentes de energía, ambiente.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
Este proyecto de titulación tiene como objetivo el diseño de un sistema de control auxiliar para abastecer el llenado de agua en domos, tener un correcto control térmico para el uso de agua hervida en el proceso de caña de azúcar, garantizando la protección integral de operadores y mayor competitividad en el mercado, gracias a la calidad del producto final. Las fuentes de energía representan un papel fundamental en el desarrollo económico y social, debido a que los equipos tecnológicos se alimentan de electricidad para su funcionamiento. Para esto se incentiva el uso de energías renovables para evitar errores no deseados como racionamientos de energía, corto circuitos en los tableros eléctricos; los cuales representan cuantiosas pérdidas económicas. Se realizó una investigación exhaustiva sobre las distintas formas de generar energía, por lo que se tomó la decisión del uso de energía renovable por medio de una instalación de paneles solares fotovoltaicos aprovechando el recurso natural inagotable que es el sol, que además disminuye el efecto de gases contaminantes en el medio ambiente.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 997153046	E-mail: Manuel.fernandez@cu.ucsg.edu.ec Manfernandez2003@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Ubilla González Ricardo Xavier Msc. Teléfono: +593-99 952 8515 E-mail: ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			