FACTIBILIDAD DE LA RECUPERACIÓN DEL LABORATORIO RANKINE WESTINGHOUSE

Presentado por:

Autor: Ivan Dario Posso Valencia

Director: Miguel Enrique Rosillo Peña M.Sc.

Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Mecánico

Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad del Valle

Noviembre de 2024

Declaración

Me permito informar que he realizado el presente documento de forma independiente, utilizando únicamente los recursos permitidos y especificados en los lineamientos entregados por la escuela de ingeniería mecánica. Todos los fragmentos, ya sean textuales o visuales, que se han tomado de fuentes externas, han sido debidamente reconocidos en este trabajo.

AUTOR: IVÁN DARIO POSSO VALENCIA

_____

DIRECTOR: MIGUEL E. ROSILLO

_____

JURADO:

_____

JURADO:

_____

Agradecimientos

Ofrezco un profundo y sincero agradecimiento a mi madre Sandra Liliana Valencia, a mi familia y a mi pareja Isabella Vasquez V. por el apoyo brindado durante estos años de preparación en la Universidad del Valle.

A mi director de tesis, Miguel Rosillo, por la oportunidad y colaboración que me brindó.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis compañeros y profesores por su valiosa ayuda en la resolución de las dudas que surgieron durante el desarrollo de esta tesis.

Un agradecimiento especial a la Escuela de Ingeniería Química y a su directora, Prof. Dr. Ing. Carmen Rosa Forero, así como al Prof. M.Sc. Ing. Juan Carlos Guerrero, por el préstamo de las instalaciones y la facilitación del acceso a la información relacionada con el proyecto.

Además un agradecimiento al distinguido y exclusivo grupo de la asociación de ingenieros del Valle del Cauca: E-BOLA STRIKE por su continuo apoyo y amistad durante todos estos años. By: LoveChef

Finalmente, a mis abuelos, José Raúl Valencia y Rubiela de Jesús Montoya, quiero dedicarles las siguientes palabras: "*Esta va por ustedes*". Lo lamento profundamente y siempre les estaré eternamente agradecido.

Resumen

Este proyecto fue realizado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, en la ciudad de Cali, Colombia, con el propósito de determinar un plan de acción para evaluar la factibilidad de recuperar un equipo de laboratorio fuera de servicio y garantizar el acceso a la información necesaria para su posible reincorporación al plan de estudios. Para ello, se realizaron distintos tipos de exámenes superficiales sobre los componentes que aún se conservaban en la estructura sin exponerlos a daños permanentes. Una vez recolectada toda la información, se generó un inventario de todas las piezas necesarias y se realizaron las cotizaciones de equipos, herramientas, repuestos, materiales, obra civil para su reubicación, un plan de mantenimiento, además del bosquejo de la estructura y el diseño de los diagramas eléctricos.

La finalidad de esta investigación no es la ejecución de la recuperación de la planta termoeléctrica, sino evaluar y producir un documento en el que los objetivos se centran en la entrega del presupuesto necesario para la obra, el análisis de la situación actual del equipo de laboratorio, el desarrollo de un plan de restauración y la provisión de los conocimientos fundamentales para continuar con el proyecto o, en su defecto, proceder con el desmonte de la estructura restante.

A partir de estos análisis, fue posible establecer con mayor precisión la viabilidad del proyecto. Considerando todos los argumentos presentados en esta investigación, incluidos los aspectos económicos, los prediseños, las alternativas de sistemas y los datos recopilados, se logró dimensionar la posibilidad de proponer un plan de restauración para el laboratorio de plantas térmicas y el equipo de generación de energía por vapor. No obstante, el estudio concluyó que el proyecto no es factible, principalmente debido a los altos costos estimados en el presupuesto requerido. A pesar de los recursos aún disponibles en el laboratorio y del uso del combustor como caldera, no fue posible garantizar completamente la restauración de la turbina y el generador eléctrico.

Palabras clave: Factibilidad, Laboratorio, Recuperación, Planta Termo-Eléctrica, Presupuesto.

Abstract

This project was carried out at the School of Mechanical Engineering of the Universidad del Valle, in the city of Cali, Colombia, with the purpose of determining an action plan to evaluate the feasibility of recovering a decommissioned laboratory equipment and guaranteeing access to the information necessary for its possible reincorporation into the curriculum. For this purpose, different types of superficial examinations were performed on the components that were still preserved in the structure without exposing them to permanent damage. Once all the information was collected, an inventory of all the necessary parts was generated and quotations were made for equipment, tools, spare parts, materials, civil works for its relocation, a maintenance plan, as well as a sketch of the structure and the design of the electrical diagrams.

The purpose of this research is not the execution of the recovery of the thermoelectric plant, but to evaluate and produce a document in which the objectives are focused on the delivery of the necessary budget for the work, the analysis of the current situation of the laboratory equipment, the development of a restoration plan, and the provision of the fundamental knowledge to continue with the project or, failing that, to proceed with the dismantling of the remaining structure.

From these analyses, it was possible to establish with greater precision the feasibility of the project. Considering all the arguments presented in this research, including the economic aspects, the pre-designs, the system alternatives and the data collected, it was possible to dimension the possibility of proposing a restoration plan for the thermal plant laboratory and the steam power generation equipment. However, the study concluded that the project is not feasible, mainly due to the high costs estimated in the required budget. Despite the resources still available in the laboratory and the use of the combustor as a boiler, it was not possible to fully guarantee the restoration of the turbine and electric generator.

keywords: Feasibility, Laboratory, Recovery, Thermo-Electric Plant, Budget.

Contenido

Declaración **2**

Agradecimientos **3**

Resumen **4**

Abstract **5**

Lista de Figuras **8**

Lista de Tablas **10**

Capítulo 1. Introducción **12**
1.1. Antecedentes . . . 12
1.2. Planteamiento del problema . . . 13
1.3. Justificación . . . 13
1.4. Árbol del problema . . . 13
1.5. Objetivos . . . 14
1.5.1. Objetivo General . . . 14
1.5.2. Objetivo Específico . . . 14

Capítulo 2. Metodología **15**

Capítulo 3. Marco Teórico **17**
3.1. Ciclo Rankine . . . 17
3.1.1. Ciclo Rankine ideal . . . 17
3.1.2. Análisis de energía del ciclo Rankine ideal . . . 18
3.2. Cálculo del calor total . . . 19
3.2.1. Intercambio de calor . . . 19
3.2.2. Calor sensible y calor latente . . . 19
3.2.3. Poder calorífico o entalpía de combustión . . . 21
3.3. Eficiencia en la conversión de energía . . . 21
3.4. Cálculo del flujo másico . . . 21
3.5. Pruebas de impulso Hi-Pot y Surge en el generador Eléctrico . . . 22
3.5.1. Prueba Hi-pot . . . 22
3.5.2. Prueba Surge . . . 23
3.6. Prueba de resistencia baja (Kevlin a 4 hilos) para el Generador Eléctrico . . . 23
3.6.1. Procedimiento . . . 23
3.6.2. Ejecución de la prueba en diferentes problemas . . . 24
3.7. Sandblasting aplicado a la carcasa de la turbina . . . 24
3.8. Prueba no destructiva de tintas penetrantes en la turbina . . . 24
3.8.1. Procedimiento para una prueba de tinte penetrante . . . 25

3.9. Balanceo dinámico . . . 26
3.9.1. Desbalance; Conceptos . . . 26
3.9.2. Procedimiento de balanceo utilizados . . . 26

Capítulo 4. Parámetros de funcionamiento de la planta térmica 27
4.1. Turbina . . . 27
4.2. Caldera . . . 27
4.3. Bomba de alimentación de la caldera . . . 27
4.4. Quemador . . . 28
4.5. Bomba de condensado . . . 28
4.6. Refrigeración . . . 28
4.7. Condensador . . . 29
4.8. Protocolo de preparación . . . 29
4.9. Operación de la Caldera . . . 29
4.9.1. Condiciones de seguridad . . . 29
4.9.2. Puesta en marcha . . . 30
4.9.3. Operación de la sección de potencia . . . 34
4.9.4. Regulación . . . 35

Capítulo 5. Estado mecánico de los componentes originales 37
5.1. Turbina . . . 37
5.2. Caldera Original del Laboratorio . . . 37
5.3. Estructura . . . 38
5.4. Generador . . . 38
5.5. Sistema eléctrico . . . 39
5.6. Bomba de alimentación de agua . . . 39
5.7. Tubería . . . 40
5.8. Condensador . . . 40
5.9. Tanque de condensado . . . 41
5.10. Recalentadores . . . 41

Capítulo 6. Prediseño de la planta térmica 42
6.1. Balance de Energía del Sistema . . . 42
6.1.1. Información disponible para el cálculo . . . 42
6.1.2. Parámetros Reales de la caldera disponible . . . 45
6.2. Sustitución de componentes faltantes o irreparables . . . 45
6.2.1. Propuesta de caldera opcional . . . 45
6.2.2. Nuevo Condensador seleccionado para el montaje . . . 46
6.2.3. Bomba de alimentación de condensado a remplazar . . . 47
6.2.4. Sistema de soporte del condensador . . . 48
6.2.5. Cantidad de la combustible necesario para evaporar el agua requerida . . . 51
6.2.6. Variación de combustible y costo por su operación . . . 52
6.2.7. Localización propuesta del nuevo quemador de gas . . . 53
6.2.8. Tablero eléctrico . . . 54
6.2.9. Quemador . . . 55
6.3. Diseño de la guarda de seguridad para la caldera . . . 56
6.4. Restauración de componentes disponibles del montaje original . . . 56
6.4.1. Turbina y generador . . . 56
6.4.2. Estructura . . . 57
6.5. Protocolo de seguridad y control . . . 57
6.5.1. indicador de nivel McDonnell-Miller . . . 57
6.5.2. Válvula de seguridad . . . 58
6.5.3. Control de presión . . . 58
6.5.4. Gobernador . . . 59
6.6. Sistema de recalentamiento (opcional) . . . 59
6.7. Reubicación de planta de potencia . . . 60

7. Presupuesto **61**
7.1. Presupuesto total para la restauración de la planta térmica Rankine WestingHouse 62

8. Conclusiones y Recomendaciones Para Futuros Proyectos **63**
8.1. Conclusiones 63

References **63**

Bibliografía **66**

A. Guía de laboratorio y Planos en Detalle. **66**
A.1. Apéndice 1: Guía de laboratorio propuesta. 66
A.2. Plano de la localización propuesta para el quemador 66
A.3. Diseño preliminar de la cubierta protectora para la sección acuotubular del combustor SENECA . . 67
A.4. Bosquejo del recinto donde se instalará el laboratorio de plantas térmicas y dimensiones de los equipos ilustrados por cubicación 67
A.5. Bosquejo del plano civil para el recinto donde se instalará el laboratorio de plantas térmicas 68
A.6. Planta proporcionada por el grupo de investigación de combustión 69

B. Cotizaciones **70**

Lista de Figuras

1.1. Diagrama del árbol del problema. . . . 14
1.2. Diagrama del árbol de la solución. . . . 14
2.3. Diagrama de actividades llevadas a cabo para completar los objetivos específicos comprendidos en este proyecto. . . . 15
2.4. Metodología presentada en el diagrama de bloques. . . . 16
3.5. Ciclo RanKine Ideal. [38] . . . 17
3.6. Proceso Ciclo R. Ideal. [38] . . . 17
3.7. Esquema del procedimiento Sandblasting[1] . . . 24
4.8. Breaker del $COMBUSTOR$ . . . 30
4.9. Electroválvula agua y de ventilador . . . 30
4.10. Llave de paso para el tanque de almacenamiento . . . 31
4.11. Accionadores de control acuotubular . . . 31
4.12. Electroválvula . . . 31
4.13. Bujía para control de nivel de agua; sistema acuotubular . . . 32
4.14. Ventilador de alimentación de aire de dos posiciones: blanco/cerrado. rotar 90gr . . . 32
4.15. Dampers del 1 al 5 . . . 33
4.16. Pantalla de lectura de datos (Temperatura, presión y flujo de aire) . . . 33
4.17. Ciclon para material particulado.[32] . . . 34
4.18. Esquema original del laboratorio (Frontal).[17] . . . 34
4.19. Esquema original del laboratorio (Lateral izq).[17] . . . 34
4.20. Esquema original del laboratorio (Posterior).[17] . . . 35
5.21. Estado externo de la turbina. . . . 37
5.22. Sistema de tuberías y acople de la turbina. . . . 37
5.23. Placa del turbo-generador. . . . 37
5.24. Deterioro externo de la caldera. . . . 38
5.25. Estado interno de la caldera. . . . 38
5.26. Almacenamiento de la estructura de la sección de potencia. . . . 38
5.27. Estado externo y placa técnica del generador. . . . 39
5.28. Estado Externo del tablero. . . . 39
5.29. Estado interno del tablero. . . . 39
5.30. Estado del medidor de voltaje y amperaje. . . . 39
5.31. Bomba de alimentación. . . . 40
5.32. Ubicación de la bomba de alimentación. . . . 40
5.33. Tubería de circulación No.1 . . . 40
5.34. Tubería de circulación No.2 . . . 40
5.35. Tubería de circulación No.3 . . . 40
5.36. Localización del condensador. . . . 41
5.37. Tanque de agua condensada. . . . 41
5.38. Estado actual de la tubería del recalentador. . . . 41
5.39. Estado actual del sistema de recalentamiento. . . . 41
5.40. Estado actual del control del termostato del recalentador. . . . 41

6.41. Ciclo RanKine [38] . . . 43
6.42. Diagrama T vs S [38] . . . 43
6.43. Vista frontal de la caldera.[5] . . . 46
6.44. Vista lateral de la caldera.[5] . . . 46
6.45. Esquema y medidas del condensador.[15] . . . 47
6.46. Modelo 3D del condensador.[15] . . . 47
6.47. Bomba de condensado.[15] . . . 47
6.48. Radiador de Automóvil.[20] . . . 49
6.49. Serpentín para AA de 3TR. [10] . . . 49
6.50. Condensador para AA de 3TR. [10] . . . 49
6.51. Enfriador Evaporativo desmantelado.[33] . . . 50
6.52. Panel de celulosa.[33] . . . 50
6.53. Torre de Enfriamiento casera.[37] . . . 50
6.54. Tabla de precios según GDO.[16] . . . 53
6.55. Localización del quemador en la caldera.[32] . . . 54
6.56. Vista en sección del montaje del quemador. Autor . . . 54
6.57. Acople del quemador a la boquilla. Autor . . . 54
6.58. Medidas del tablero eléctrico original. . . . 55
6.59. Prediseño del tablero eléctrico actualizado. . . . 55
6.60. Quemador de gas. . . . 55
6.61. Vista seccionada de la guarda de seguridad. . . . 56
6.62. Estructura de la sección de potencia . . . 57
6.63. Control de Nivel McDonnell-Miller[34] . . . 57
6.64. Válvula para control de flujo de diversos fluidos . . . 58
6.65. válvula de gas Honeywell VR8345M-4302. . . . 59
6.66. Gobernador del Turbo-generador. . . . 59
6.67. Gobernador disponible en el montaje. . . . 59
6.68. Localización de los supercalentadores. . . . 60
6.69. Localización propuesta para el montaje de la planta Rankine Westinghouse. . . . 60

A.1. Bosquejo de planos propuestos. . . . 66
A.2. Cubierta protectora. . . . 67
A.3. Ubicación propuesta plano civil. . . . 67
A.4. Ubicación propuesta plano civil. . . . 68
A.5. Combustor SENECA . . . 69

B.1. Cotización obra civil y materiales para la acometida de gas. . . . 70
B.2. Presupuesto instalación de la Guarda de seguridad. . . . 78

Lista de Tablas

3.1. Eficiencias de calentadores de agua. . . . 21
4.2. Parámetros de operación de la turbina . . . 27
4.3. Parámetros de operación de caldera . . . 27
4.4. Parámetros de operación de la bomba de alimentación . . . 28
4.5. Parámetros de operación del quemador . . . 28
4.6. Parámetros de operación de la bomba de condensado . . . 28
4.7. Parámetros de operación del sistema refrigeración . . . 29
4.8. Parámetros de operación del condensador . . . 29
6.9. Resultados del balance de energía . . . 44
6.10. Parámetros del Combustor. [32] . . . 45
6.11. Ficha técnica de la caldera cotizada.[5] . . . 46
6.12. Ficha técnica de la bomba de alimentación.[15] . . . 47
6.13. alternativas del sistemas de enfriamiento de agua. . . . 49
6.14. Valores y constantes utilizadas en el calculo de gas. [21][22] . . . 52
6.15. Datos técnicos del gas natural. . . . 52
6.16. Gas natural requerido. . . . 53
6.17. Gas propano requerido. . . . 53
6.18. Ficha técnica del Quemador. [6] . . . 55
6.19. Características del control de nivel. [34] . . . 58
6.20. Ficha de datos de la válvula de seguridad[35] . . . 58
6.21. Ficha técnica de la válvula Honeywell.[8] . . . 59
6.22. Parametros de operación del súper calentador. . . . 60
7.23. Listado de componentes necesarios para la restauración de la planta termoeléctrica. . . . 62
7.24. Presupuesto total requerido para la reactivación de la planta térmica. . . . 62

Capítulo 1. Introducción

Los equipos de laboratorio en universidades son fundamentales para que los estudiantes apliquen sus conocimientos teóricos en un entorno práctico. No obstante, estos equipos pueden presentar fallas, alterarse en sus parámetros de operación o volverse obsoletos, lo que limita el acceso de los estudiantes a prácticas esenciales y perjudica su aprendizaje. Para los ingenieros, es esencial actuar conforme a normativas profesionales, incluyendo la realización de estudios justificados antes de tomar decisiones o utilizar nueva maquinaria, lo que asegura operaciones seguras y eficientes.

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle, la Escuela de Ingeniería Mecánica se enfrenta a esta situación, ya que muchos equipos y proyectos han sido almacenados y, con el tiempo, se han degradado o vuelto obsoletos. Este estudio tiene como objetivo proporcionar herramientas que permitan a los ingenieros tomar decisiones sobre el futuro de estos equipos, especialmente una planta termoeléctrica archivada, con el fin de recuperar el laboratorio y reactivar las prácticas educativas relacionadas.

1.1. Antecedentes

En 1976 se realizó el montaje y desarrollo de un proyecto por Rojas P, Jairo, Reiss Heller, Theodor Richard y Luis Eduardo Quintero Méndez para la materia de ciencias térmicas en la Escuela de Ingeniera Mecánica de la Universidad del Valle, su objetivo principal fue instalar y poner en marcha una unidad experimental generadora a vapor, con capacidad máxima de 1Kw, en la tesis se detallaron las labores desarrolladas durante el montaje de la planta, las características físicas de los procesos que ocurren en los diferentes elementos que conformaban el sistema, la cuantificación de las principales variables, las recomendaciones para la correcta operación del equipo y el listado de los insumos necesarios para dotar la unidad al momento de su funcionamiento.[17] En 2006, la Escuela de Ingeniería Mecánica presentó una propuesta para realizar el Overhaul del laboratorio utilizado en la materia de plantas térmicas, solicitando una cotización preliminar para su recuperación y puesta en funcionamiento estable. Las actividades propuestas incluyeron: revisión y diagnóstico preliminar (definiendo las obras a realizar tanto por la Universidad del Valle como por el contratista), elaboración de un formato de solicitud de cotización y una lista de componentes, recopilación de propuestas (incluyendo la atención de visitas de campo a posibles interesados), selección de proveedores con análisis comparativo de ofertas, ejecución de trabajos (tanto los contratados como aquellos realizados por personal interno), así como las labores de interventoría y puesta en marcha. Finalmente, se consideró la creación de prácticas de laboratorio, estableciendo las rutinas del laboratorio y elaborando las guías correspondientes en formato electrónico. La solicitud concluyó con la entrega de un informe de factibilidad aprobatorio para la recuperación de la torre de enfriamiento, completando las tres primeras fases del proyecto. Sin embargo, la continuación del proyecto y las tareas restantes, así como la cotización total, quedaron archivadas hasta la fecha. [9]

1.2. Planteamiento del problema

El laboratorio móvil de generación de energía por vapor en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, diseñado para prácticas didácticas en el campo de la energía térmica, ha quedado inactivo tras ser desplazado al taller de mecánica para dar espacio a otro laboratorio. Este equipo permitía simular el funcionamiento de una planta termoeléctrica, pero debido a la falta de uso y dos reubicaciones, ha sufrido un deterioro significativo, incluyendo la pérdida de componentes críticos como el condensador y el motor de la bomba. La caldera, además, representa un riesgo de seguridad por la falta de mantenimiento.

La reactivación del laboratorio se ha visto obstaculizada por recursos limitados y dificultades para calcular con precisión los costos de reparación, mantenimiento y obra civil, dejando al equipo en desuso y ocupando espacio en el taller sin cumplir ninguna función académica. Ante esta situación, se propone un estudio para evaluar los componentes útiles, estimar los elementos faltantes y explorar alternativas de restauración, con el fin de reincorporar esta herramienta de alto valor educativo y económico al plan de estudios.

1.3. Justificación

Actualmente, en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad del Valle, se está llevando a cabo un diagnóstico e inventario de los equipos, máquinas y herramientas que requieren reparación, actualización o reemplazo. Entre los equipos que se han considerado para ser dados de baja sin una evaluación previa, se encuentra la planta térmica utilizada en las prácticas de laboratorio de sistemas térmicos. Esta práctica permitía a los estudiantes aprender de manera práctica y didáctica el método de generación de energía mediante vapor presurizado, lo que resultaba fundamental para comprender los principios de conversión de energía en sistemas termoeléctricos. Además, la conservación de la planta resulta importante para mantener un recurso de gran valor académico que fortalece el aprendizaje práctico de los estudiantes. Sin embargo, en su estado actual, la instalación se encuentra almacenada y en condiciones de abandono, con varias partes extraviadas o dañadas. El deterioro progresivo debido a la exposición y condiciones ambientales está resultando en la pérdida de un equipo esencial para las futuras cohortes de estudiantes. El objetivo es desarrollar un proyecto de factibilidad para determinar si es viable y pertinente la recuperación de esta planta térmica, evaluando el estado de sus componentes mecánicos y eléctricos, así como el posible rediseño de la estructura física, considerando los costos asociados a cada uno de estos aspectos. El estudio aplicará los métodos de ingeniería que se adquieren a lo largo de la carrera para abordar de manera integral la problemática presentada por este equipo de laboratorio. Con este proyecto se dejarán establecidas las bases necesarias para tomar una decisión fundamentada sobre su restauración, así como la posibilidad de proponer un nuevo proyecto de investigación para la Escuela.

1.4. Árbol del problema

Con el objetivo de identificar, organizar y comprender las relaciones entre las causas y efectos del problema central abordado en la investigación, a continuación se presenta el árbol del problema, en el cual se analizan las causas y los efectos que se derivan del proyecto estudiado. Véase Fig 1.1.

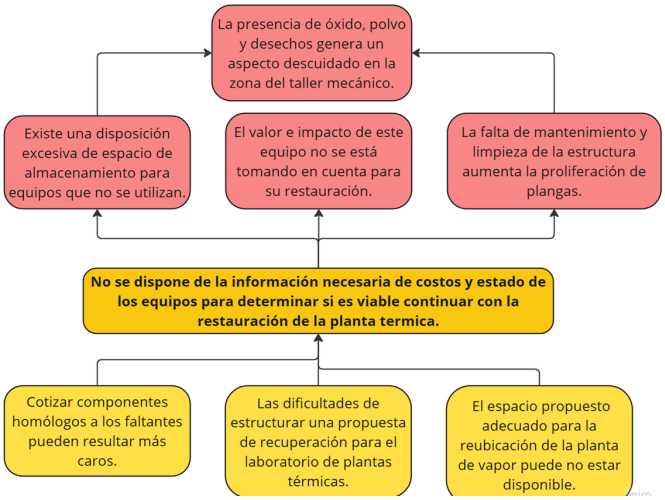


Figura 1.1: Diagrama del árbol del problema.

Acorde a los puntos descritos en el árbol del problema, se construyó el árbol de la solución, Fig 1.2 enfocado en plantear los ítems correspondientes para abordar las problemáticas mencionadas.

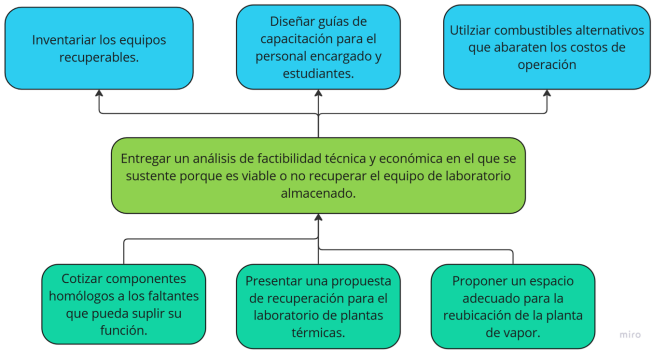


Figura 1.2: Diagrama del árbol de la solución.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar la factibilidad técnico-económica de la recuperación de la planta térmica Westinghouse.

1.5.2. Objetivo Específico

- Determinar parámetros de funcionamiento óptimo del instrumento didáctico.
- Evaluar el estado mecánico de los distintos componentes existentes.
- Determinar los elementos a reemplazar, restaurar o modificar.
- Realizar un prediseño de las instalaciones (Incluyendo obra mecánica, civil y de control)del laboratorio de plantas térmicas.
- Plantear el Presupuesto necesario para reactivar la planta eléctrica de Westinghouse.

Capítulo 2. Metodología

En el cronograma ilustrado en la figura 2.3 se detalló mes a mes el procedimiento a ejecutar para cumplir con cada una de las actividades y objetivos propuestos, donde los colores distintivos fueron asignados con el objetivo de facilitar la distinción del inicio y finalización de cada etapa. Mientras que en el diagrama de bloques se describe el plan de desarrollo de las actividades ejecutadas de manera secuencial para alcanzar tanto el objetivo general como los objetivos específicos del proyecto, detallando las acciones realizadas y los resultados obtenidos, como se ilustra en la figura. 2.4.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ETAPA	Objetivos	Atividades	Medios	Entregables
1	**Determinar parámetros de funcionamiento óptimo del instrumento didáctico.**	Estudiar y comprender la documentación y maquinaria existente, como medio para evaluar la viabilidad de la recuperación del laboratorio.	Revision bibliografica de proyectos realizados anteriormente.	⋆Documento con toda la información referente a la factibilidad de recuperar la maquinaria de la planta térmica necesaria para desarrollar el laboratorio de ciclo Rankine, dicha informa- ción corresponde a cambios estructurales, de locación, recuperación y adecuación de nuevos elementos. ⋆Parámetros de preparación, operación y mantenimiento de la plata en caso de la puesta en marcha.
			Analizar documentos de proyectos similares enfocados a la recuperacion de equipos de laboratorios.	
2		Comprender que variables de operación, espacio y mantenimiento apropiado son requeridos para la reproducción de la practica	Consultar catálogos de los componentes y obtener modelos mas recientes.	
			Se realizara la lectura de los manuales, planos, catálogos y guía del laboratorio para procesar toda la información referente al tema.	
3	**Evaluar el estado mecánico de los distintos componentes existentes.**	Testear los componentes aun disponibles por medio de técnicas medibles y cuantificables.	Ejecución de pruebas con herramientas de fácil acceso para comprobar el estado de los componentes.	
4	**Determinar los elementos a reemplazar, restaurar o modificar.**	Comparar los elementos evaluados con versiones de fabrica para establecer que opción es la mas adecuada.	Uso de los catálogos de proveedores para decidir que elemento es factible restaurar, comprar o modificar.	
5	**Realizar un prediseño de las instalaciones (Incluyendo obra mecánica, civil y de control)del laboratorio de plantas térmicas.**	Plantear una visión mas clara por medio de diagramas, dibujos esquemáticos, modelos mecánicos y planos circuitales.	Hacer uso de planos previamente seleccionados, realizando un diagrama eléctrico por medio de software, e ilustrar los componentes mecánicos en modelos aproximados.	⋆Planos civiles, planos de adecuaciones y guía de laboratorio con el fin de dar soporte a la propuesta de recuperación.
6	**Cantidad de obra y Presupuesto.**	Estructurar de manera concreta los costos que formaran parte del proyecto de prefactibilidad.	Realizar cotización de materiales, componentes, obra civil y mantenimiento.	⋆Costos y presupuesto necesario para llevar a cabo la recuperación de la planta térmica.
			Discusión del estudio de pre factibilidad y conclusiones finales.	
7	**Escritura del documento**			

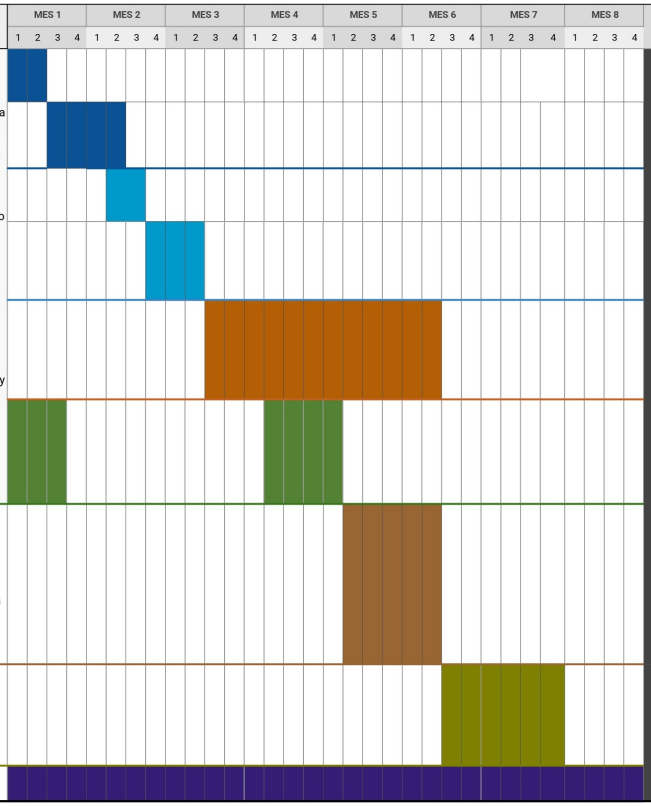


Figura 2.3: Diagrama de actividades llevadas a cabo para completar los objetivos específicos comprendidos en este proyecto.

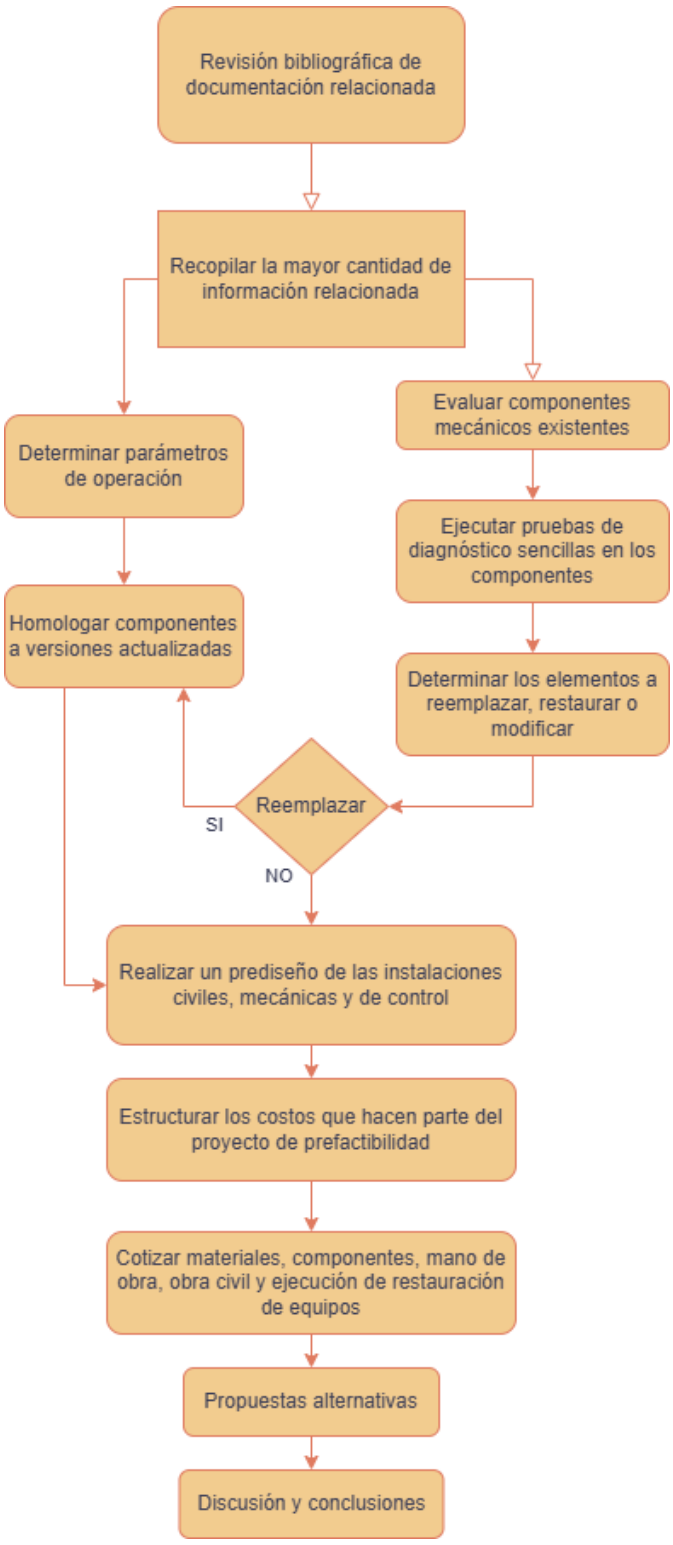


Figura 2.4: Metodología presentada en el diagrama de bloques.

Capítulo 3. Marco Teórico

Este capítulo presenta los fundamentos teóricos necesarios para evaluar la recuperación de la planta térmica Westinghouse. Se aborda el Ciclo Rankine, junto con el cálculo del calor total, eficiencia en la conversión de energía y flujo másico, elementos clave en el análisis termodinámico del sistema.

En el área eléctrica, se incluyen las pruebas de impulso Hi-Pot y Surge, así como la prueba de resistencia baja (Kelvin a 4 hilos), esenciales para verificar la integridad del generador. A nivel mecánico, se analizan los procesos de sandblasting en la carcasa de la turbina, pruebas no destructivas con tintas penetrantes y balanceo dinámico, necesarios para garantizar su correcto funcionamiento.

Este marco teórico proporciona las bases para comprender los procedimientos de evaluación y recuperación de la planta, facilitando el análisis técnico y la toma de decisiones del proyecto.

3.1. Ciclo Rankine

3.1.1. Ciclo Rankine ideal

En retrospectiva el ciclo Rankine ideal para centrales eléctricas no incluye ninguna irreversibilidad interna y esta conformado por los procesos ilustrados en las siguientes figuras 3.5 y 3.6:

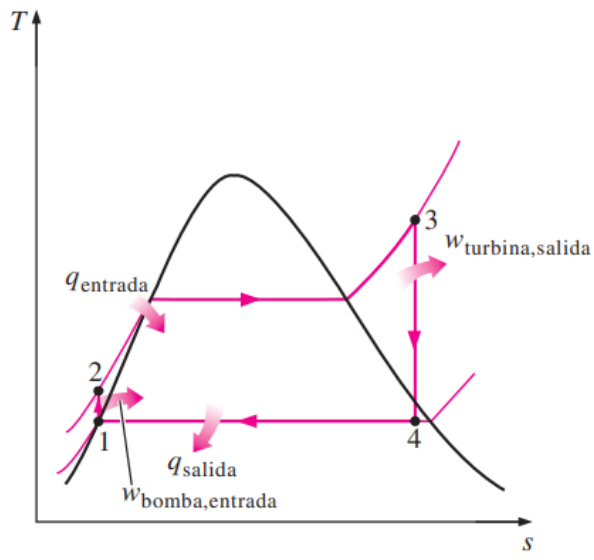


Figura 3.5: Ciclo RanKine Ideal. [38]

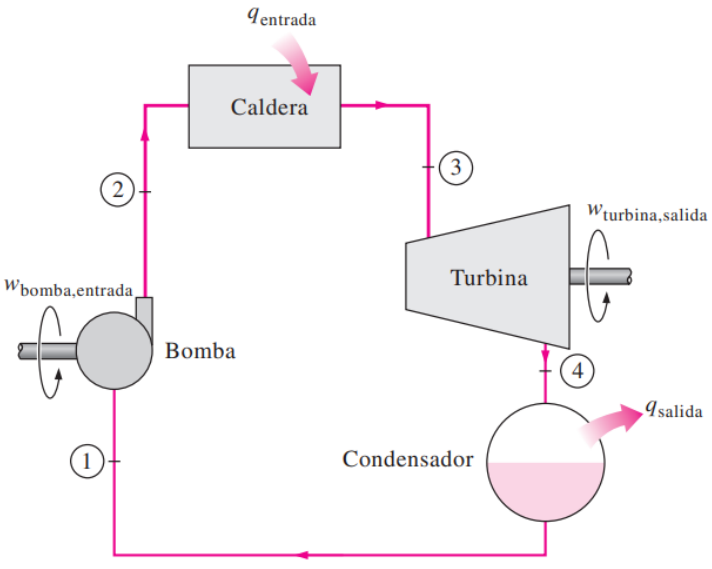


Figura 3.6: Proceso Ciclo R. Ideal. [38]

- $1-2$ Compresión isentrópica en una bomba.
- $2-3$ Adición de calor a presión constante en una caldera.
- $3-4$ Expansión isentrópica en una turbina.
- $4-1$ Rechazo de calor a presión constante en un condensador.

En el diagrama del ciclo en cuestión se ilustra como el agua entra a la bomba en el estado 1 como liquido saturado y se condensa isentrópicamente hasta la presión de operación de la caldera. La temperatura del agua aumenta un poco durante este proceso de compresión isentrópica debido a una ligera disminución en el volumen especifico del agua. La distancia vertical ilustrada en el diagrama T-S entre los estados 1 y 2 se exagera, en este caso, ideal para mayor claridad del lector. El agua entra a la caldera como líquido comprimido en el estado 2 y sale como vapor sobrecalentado en el estado 3. La caldera es básicamente un gran intercambiador de calor donde el calor que se origina en los gases de combustión, reactores nucleares u otras fuentes, se transfiere al agua esencialmente a presión constante. La caldera, con la sección (sobrecalentador) donde el vapor se sobrecalienta, recibe el nombre de generador de vapor. El vapor sobrecalentado en el estado 3 entra a la turbina donde se expande isentrópicamente y produce trabajo al hacer girar el eje conectado a un generador eléctrico. La presión y la temperatura del vapor disminuyen durante este proceso hasta los valores en el estado 4, donde el vapor entra al condensador. En este estado el vapor es por lo general una mezcla saturada de líquido y vapor con una alta calidad. El vapor se condensa a presión constante en el condensador, el cual es básicamente un gran intercambiador de calor que rechaza a éste hacia un medio de enfriamiento como un lago, un río o la atmósfera. El vapor sale del condensador como líquido saturado y entra a la bomba, completando el ciclo.

3.1.2. Análisis de energía del ciclo Rankine ideal

Los cuatro dispositivos principales del ciclo Rankine (bomba, caldera, turbina y condensador) operan en un régimen de flujo estable, lo que permite analizar los procesos asociados como tales. Dado que los cambios en la energía cinética y potencial del vapor son mínimos en comparación con el trabajo y la transferencia de calor, estos se consideran despreciables. Así, la ecuación de energía de flujo estable por unidad de masa de vapor se simplifica, centrando el análisis en los términos de calor y trabajo involucrados. Por lo tanto la ecuación 3.1 de energía de flujo estable por unidad de masa de vapor se expresa como:

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_e - h_i \quad [\tfrac{kJ}{kg}] \tag{3.1}$$

Donde q_{in} es la transferencia de calor por unidad de masa que entra al sistema, q_{in} es la transferencia de calor por unidad de masa que sale del sistema, w_{in} es el trabajo por unidad de masa que entra, w_{in} es la salida de trabajo, h_e y h_i representan el delta de entalpía especifica en el sistema. Tratándose de un análisis bajo la condición de un ciclo ideal la bomba y la turbina son isentrópicas, finalmente la caldera y el condensador no generan ningún trabajo, entonces la relación de conservación de la energía para cada dispositivo puede expresarse como: Ver Eq 3.2, Eq 3.3, Eq 3.5, Eq 3.6 y la Eq 3.7

$$Bomba(q=0): \quad w_{bomba,in} = h_2 - h_1 \tag{3.2}$$

O

$$w_{bomba,in} = v(P_2 - P_1) \tag{3.3}$$

$$h_1 = h_{f@P_1} \quad y \quad v \cong v_1 = v_{f@P_1} \tag{3.4}$$

$$Caldera(w=0): \quad q_{in} = h_3 - h_2 \tag{3.5}$$

$$Turbina(q=0): \quad w_{turbina,out} = h_3 - h_4 \tag{3.6}$$

$$Condensador(w=0): \quad q_{out} = h_4 - h_1 \tag{3.7}$$

Para calcular la eficiencia del ciclo Rankine tenemos la ecuación 3.8:

$$\eta_{ter} = \frac{w_{neto}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} \tag{3.8}$$

donde η_{ter} es la eficiencia térmica del ciclo Rankine y el trabajo puede ser determinado como: Ver Eq 3.9

$$w_{neto} = q_{in} - q_{out} = w_{bomba,out} - w_{turb,in} \qquad [3] \tag{3.9}$$

Como resultado de las irreversibilidades en diversos componentes. La fricción del fluido y las pérdidas de calor hacia los alrededores son las dos fuentes más comunes de irreversibilidades. La fricción del fluido ocasiona caídas de presión en la caldera, el condensador y las tuberías entre diversos componentes. Como resultado, el vapor sale de la caldera a una presión un poco menor. Además, la presión en la entrada de la turbina es un poco más baja que la de la salida de la caldera, debido a la caída de presión en los tubos conectores. La caída de presión en el condensador por lo general es muy pequeña. Para compensar todas estas caídas de presión, el agua debe bombearse a una presión más alta que la que tiene el ciclo ideal. Esto requiere una bomba más grande y una mayor entrada de trabajo a la bomba.
Otra fuente importante de irreversibilidad es la pérdida de calor del vapor hacia los alrededores cuando este fluido circula por varios componentes. Para mantener el mismo nivel de salida neta de trabajo, es necesario transferir más calor hacia el vapor en la caldera para compensar estas pérdidas de calor indeseables. Como consecuencia, la eficiencia del ciclo disminuye. Las irreversibilidades que suceden dentro de la bomba y la turbina son especialmente importantes. Una bomba requiere una entrada de trabajo mayor y una turbina produce una salida de trabajo más pequeña como consecuencia de las irreversibilidades. [3]

3.2. Cálculo del calor total

3.2.1. Intercambio de calor

Los ingenieros en la industria a menudo se encuentran en una posición en la que tienen que seleccionar los intercambiadores para realizar ciertas tareas de transferencia de calor. En general, el objetivo es calentar o enfriar cierto fluido con un gasto masa y una temperatura conocidos hasta una temperatura deseada. Por lo tanto, la razón de la transferencia de calor del intercambiador en proyecto es: Ver Eq 3.10

$$\dot{Q} = \dot{m} c_p (T_{ent} - T_{sal}) \tag{3.10}$$

3.2.2. Calor sensible y calor latente

Algunas aplicaciones de ingeniería comprenden la vaporización de un líquido y la difusión de este vapor hacia el gas circundante. Esos procesos requieren la transferencia del calor latente de vaporización, $h_f g$, hacia el líquido para vaporizarlo y, como consecuencia, en esos problemas interviene la transferencia simultánea de calor y de masa. Para generalizar, cualquier problema de transferencia de masa que comprende cambio de fase (evaporación, sublimación, condensación, fusión, etc.). Algunos ejemplos de problemas simultáneos de calor y de masa son el secado, el enfriamiento por evaporación, el enfriamiento por transpiración, el enfriamiento por hielo seco, la combustión de gotas de combustible, incluso, sucesos comunes como la lluvia, la nieve y el granizo. Por ejemplo, en los lugares más cálidos, la nieve se funde y la lluvia se evapora antes de llegar al suelo.

Si la razón de evaporación es alta y, por ende, la demanda de calor de vaporización es más alta que la cantidad de calor que puede ser suministrado desde las partes más bajas de la masa de agua y de los alrededores, el déficit se compensa a partir del calor sensible del agua en la superficie y, como consecuencia, la temperatura del agua en esta última disminuye más. El proceso continúa hasta que el calor latente de vaporización sea igual a la transferencia de calor hacia el agua en la superficie. Una vez que se alcanzan las condiciones estacionarias de operación y se estabiliza la temperatura de la interfase, el balance de energía en una capa delgada del líquido en la superficie puede expresarse como: Ver Eq 3.11

$$\dot{Q}_{sensible,transferido} = \dot{Q}_{latente,absorbido} \; o \; \dot{Q} = \dot{m}_v * h_{fg} \tag{3.11}$$

donde $\dot{m}_v$ es la razón de evaporación y h_fg es la entalpía de vaporización del agua a la temperatura de la superficie.

Por medio de un ejemplo de transpiración podemos explicar como se puede realizar el cálculo del calor total aplicado a la combustión donde el calor metabólico generado en el cuerpo se disipa hacia el medio a través de la piel y los pulmones, por convección y radiación, como *calorsensible* y por evaporación como *calorlatente*. El calor latente representa el calor de vaporización del agua a medida que se evapora en los pulmones y sobre la piel, absorbiendo calor del cuerpo, mientras que en el caso del proyecto el calor latente es el que se usa para calentar el agua en el primer lapso producto de la quema del combustible absorbiendo. El calentamiento del aire inhalado representa transferencia de calor sensible en los pulmones y es proporcional al aumento de su temperatura mientras que el calor sensible por medio de la combustión se calcula justo a partir del cambio de fase del agua a vapor. La razón total de la pérdida de calor del cuerpo se puede expresar como: Ver Eq 3.12 y 3.13

$$\dot{Q}_{Cuerpo,total} = \dot{Q}_{piel} + \dot{Q}_{pulmones} \tag{3.12}$$

$$\dot{Q}_{Cuerpo,total} = (\dot{Q}_{sensible} + \dot{Q}_{latente})_{piel} + (\dot{Q}_{sensible} + \dot{Q}_{latente})_{pulmones} \tag{3.13}$$

Durante la respiración el aire inhalado entra en las condiciones ambiente y el aire exhalado sale casi saturado a una temperatura cercana a la de las profundidades del cuerpo. Por lo tanto, el cuerpo pierde calor sensible por convección y latente por evaporación desde los pulmones, esto se puede expresar como: Ver Eq 3.14 Y 3.15

$$\dot{Q}_{Comv,pulmones} = \dot{m}_{aire,pulmones} * C_{p,aire} * (T_{exhalado} - T_{ambiente}) \tag{3.14}$$

$$\dot{Q}_{latente,pulmones} = \dot{m}_{vapor,pulmones} * h_{fg} \tag{3.15}$$

Tomando los conceptos de la teoría explicada podemos replantear las ecuaciones necesarias para el calculo del calor total en la combustión para la evaporación de agua de la siguiente manera: Ver Eq 3.16, 3.17 y finalmente la Eq 3.18

$$\dot{Q}_{Combustion,total} = (\dot{Q}_{sensible})_{liquido} + (\dot{Q}_{latente})_{vapor} \tag{3.16}$$

siendo

$$Q_{sensible,liquido} = m_{H20} * C_{p,H20} * (T_2 - T_1) \tag{3.17}$$

y

$$Q_{latente,vapor} = m_{H20} * \Delta h_{fg} \tag{3.18}$$

3.2.3. Poder calorífico o entalpía de combustión

Otro término empleado en conjunto con la combustión de combustibles es el poder calorífico del combustible, que se define como la cantidad de calor liberado cuando un combustible se quema por completo en un proceso de flujo estable y los productos vuelven al estado de los reactivos. En otras palabras, el poder calorífico de un combustible es igual al valor absoluto de la entalpía de combustión del combustible. Véase la ecuación 3.19.

$$Poder\ calorifico = |h_c| \qquad (KJ/kg\ combustible) \tag{3.19}$$

3.3. Eficiencia en la conversión de energía

Eficiencia es uno de los términos más usados en termodinámica, e indica qué también se realiza un proceso de conversión o transferencia de energía. El desempeño o eficiencia se expresa en términos de la salida deseada y la entrada requerida, como se muestra en la ecuación 3.20 a continuación:

$$Desempeño = \frac{Salida\ deseada}{Salida\ requerida} \tag{3.20}$$

Quizá se pregunte cómo se define la eficiencia para un calentador de agua a base de gas, y por qué es mucho menor que la de un calentador eléctrico. Por regla general, la eficiencia de equipo que quema combustible se basa en el poder calorífico del combustible, el cual es la cantidad de calor liberado cuando se quema por completo una cantidad unitaria de combustible y los productos de la combustión se enfrían a la temperatura ambiente. Entonces el rendimiento del equipo de combustión se puede caracterizar por la eficiencia de combustión, la cual se define como se presenta en la ecuación 3.21:

$$\eta_{combustion} = \frac{Q}{H*V} \tag{3.21}$$

Donde Q es Cantidad de calor liberado durante la combustión y HV (También llamado C.P) es Poder calorífico del combustible quemado. En la tabla 3.1 se ilustra las eficiencias de distintos tipos calentadores de agua, de alto rendimiento, eléctricos y de gas natural.

Tipo	Eficiencia
Gas, ordinario	55 %
Gas, alta eficiencia	62 %
Eléctrico, ordinario	90 %
Eléctrico, alta eficiencia	94 %

Tabla 3.1: Eficiencias de calentadores de agua.

Una eficiencia de combustión de 100 % indica que el combustible se quema completamente y los gases residuales salen de la cámara de combustión a temperatura ambiente; en consecuencia, la cantidad de calor liberada durante un proceso de combustión es igual al poder calorífico del combustible.[3]

3.4. Cálculo del flujo másico

Los volúmenes de control en general tienen que ver con el flujo de un fluido durante largos periodos, y es conveniente expresar en forma de tasa el flujo de energía en relación con una corriente de fluido. Esto se consigue al incorporar el flujo másico $\dot{m}$, que es la cantidad de masa que fluye por una sección transversal (Tubería) por unidad de tiempo; y se relaciona con el flujo volumétrico $\dot{V}$, definido como el volumen de un fluido que fluye por una sección transversal por unidad de tiempo, mediante la ecuación 3.22 de flujo másico:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \rho * A_c * V_{prom} \qquad (kg/s) \tag{3.22}$$

que es análogo a m = ρ * V, donde ρ es la densidad del fluido, A_c el área de sección transversal de flujo y V_{prom} es la velocidad de flujo promedio normal a A_c.

En casos no ideales la velocidad nunca es uniforme en una sección transversal de tubería, debido a que el fluido se adhiere a la superficie y, por lo tanto, tiene velocidad cero en la pared (condición de no deslizamiento). Además, la velocidad varía en las paredes desde cero hasta algún valor máximo cercano o sobre la línea central de la tubería. Se define la velocidad promedio V_{prom} como el valor promedio de V_n en toda la sección transversal como se observa en la ecuación 3.23:

$$V_{prom} = \frac{1}{A_c} * \int_{A_c} V_n dA_c \tag{3.23}$$

Donde A_c es el área de la sección transversal normal a la dirección del flujo. sin embargo si la velocidad fuese V_{prom} en toda la sección transversal, el flujo másico sería idéntico al obtenido integrando el perfil de velocidad real. Por lo tanto en flujo compresible e incompresible ρ es uniforme en A_c, como se muestra en la ecuación 3.24:

$$\dot{m} = \rho * A_c * V_{prom} \tag{3.24}$$

En la mayor parte de los libros de mecánica de fluidos se usa Q en lugar de $\dot{\mathrm{V}}$ para el flujo volumétrico. Para este caso empleamos $\dot{\mathrm{V}}$ para evitar dicha confusión con la transferencia de calor. Los flujos másico y volumétrico se relacionan mediante la ecuación 3.25:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v} \tag{3.25}$$

donde v es el volumen específico. Esta relación es análoga a m = $\rho * V = V/v$, que es la relación entre la masa y el volumen de un fluido contenido en un recipiente. [3]

3.5. Pruebas de impulso Hi-Pot y Surge en el generador Eléctrico

3.5.1. Prueba Hi-pot

Tanto la prueba Hipot de CA como la de CC se utilizan universalmente para el devanado del estátor del generador refrigerado por agua. Además de la prueba Hipot de CC, la prueba de rampa o paso de CC, la prueba IR/Resistencia de aislamiento y la prueba PI/Índice de polarización son medios de diagnóstico eficaces para minimizar el riesgo de devanados deteriorados que pueden fallar en una prueba Hipot.

Se cree principalmente que la prueba AC Hipot es mejor para detectar defectos en el devanado que la prueba DC Hipot. Sin embargo, en comparación con AC Hipot, DC Hipot también tiene sus ventajas relativas.[31]

3.5.1.1. Ventajas de la prueba Hipot para Corriente continua (DC O CC)

- DC Hipot detecta mejor los defectos de los devanados finales. En los generadores refrigerados por agua, las juntas de agua y electricidad de los devanados finales del estátor son lugares de averías frecuentes;
- La prueba de CC también es sensible al aislamiento humidificado de los devanados finales del estátor, así como a la suciedad;
- Los equipos de prueba de CC son más pequeños y más baratos que los equipos de Hipot de CA para grandes máquinas rotativas;

- En cualquier caso, realizar una prueba Hipot de CC es mejor que no realizar ninguna prueba;
- La prueba de rampa o paso de CC es un medio de diagnóstico eficaz y único para minimizar el riesgo del devanado marginal, puede fallar una prueba de Hipot.[31]

Las pruebas de aislamiento de las máquinas pueden realizarse en fábrica, sobre el terreno durante la instalación, como condición de aceptación, para verificar la eficacia de las reparaciones o el mantenimiento, tras una perturbación del sistema o una interrupción prolongada, y/o de forma rutinaria durante la vida útil de la máquina.

Generalmente se realizan pruebas de aceptación de alto voltaje directo para brindar cierta seguridad de que el aislamiento del devanado tiene un nivel mínimo de resistencia eléctrica. Debido a que la resistencia eléctrica inherente del aislamiento acústico está muy por encima del valor habitual de la prueba de prueba, una falla durante una prueba de aceptación a un voltaje apropiado indica que el aislamiento no es apto para el servicio.[4]

3.5.2. Prueba Surge

3.5.2.1. ¿Para qué sirve la prueba de sobretensión?

La prueba de sobretensión (Surge) se utiliza para detectar cortocircuitos o puntos débiles de aislamiento en bobinas, devanados, motores eléctricos, generadores, alternadores y transformadores. Estas fallas generalmente son de espira a espira, de bobina a bobina o de fase a fase. También pueden ser cortocircuitos a tierra, pero las pruebas IR e Hipot los identificarán claramente. Otros problemas que se pueden encontrar son conexiones erróneas, recuentos de vueltas erróneos y algunos otros problemas en las armaduras de los motores de CC. Un aislamiento débil entre espiras es el origen de la mayoría de los fallos de los bobinados. Puesto que es la única prueba que puede detectar un aislamiento débil a tensiones elevadas, la prueba de sobretensión es importante para los programas de fiabilidad y mantenimiento de motores, para diagnosticar problemas y para el control de calidad. Las pruebas de sobretensión se realizan en bobinas individuales, estátores, rotores bobinados y en motores y generadores totalmente montados sin necesidad de girar el rotor.

3.5.2.2. Cómo funcionan las pruebas Surge

Se hace pasar un conjunto de impulsos rápidos ascendentes por la bobina o el motor (Device Under Test O DUT). La tensión de los impulsos depende de la tensión que establezca el operador de la prueba o de la norma que se utilice. La tensión de prueba puede variar desde la tensión de funcionamiento RMS del DUT hasta aproximadamente 3,5 veces la tensión de funcionamiento del DUT. Los impulsos producen una onda decreciente en el circuito que incluye el comprobador y el DUT. La onda se compara con la onda de otra bobina o con las ondas de las otras fases del motor. Todas ellas se visualizan en la pantalla de un osciloscopio.[11]

3.6. Prueba de resistencia baja (Kevlin a 4 hilos) para el Generador Eléctrico

El análisis de impedancia Kelvin de 4 hilos, también conocido como método de 4 puntas o medición de 4 hilos, es una técnica estándar en la industria, específicamente en el campo de la medición de resistencias y impedancias.

3.6.1. Procedimiento

El propósito principal de la técnica es minimizar los errores de medición causados por la resistencia de los cables de prueba. En un sistema de medición de dos hilos, la resistencia del cable de prueba se suma a la resistencia del dispositivo que se está midiendo (Para el caso actual un generador eléctrico), resultando en una medición de resistencia más alta que la real.

Por otro lado, en un sistema de medición de 4 hilos, se utilizan dos hilos para suministrar corriente al dispositivo bajo prueba y otros dos hilos para medir el voltaje a través del dispositivo. Debido a que el voltímetro posee una alta impedancia de entrada, la corriente que fluye a través de los hilos de voltaje es insignificante y, por lo tanto,

la caída de voltaje a través de ellos es aproximadamente cero. Lo que significa que la resistencia de los cables de prueba no afecta la medición.[14]

3.6.2. Ejecución de la prueba en diferentes problemas

Suponiendo que un dispositivo se haya instalado correctamente, el funcionamiento, la fatiga, la vibración y la corrosión hacen que el valor de resistencia de un dispositivo eléctrico se degrade. Estas influencias aumentan con el tiempo hasta llegar a un punto en el que el dispositivo ya no funciona correctamente. El factor de degradación crítico será determinado por la aplicación. Los ataques ambientales y químicos son implacables, por lo que incluso el aire oxida los materiales orgánicos, mientras que la humedad, el aceite y la sal deterioran las conexiones aún más a un ritmo acelerado. La corrosión química puede atacar la sección transversal de un componente, reduciendo así el área de la superficie al tiempo que aumenta la resistencia del componente. Las tensiones eléctricas, en particular las provocadas por impulsos sostenidos, pueden provocar el desprendimiento de la soldadura. Las vibraciones mecánicas durante la operación tienen gran influencia en la degradación de las conexiones, provocando el aumento en la resistencia. Estas condiciones dan como resultado un calentamiento excesivo en el punto donde el componente conduce la corriente nominal. Si no se atienden, los diversos tipos de problemas que surgen constantemente, causarán fallas en los componentes que conforman el sistema eléctrico y en última instancia, el sobrecalentamiento provocará fallas debido a quemaduras que pueden abrir o fundir el circuito activo.[13]

3.7. Sandblasting aplicado a la carcasa de la turbina

El Sandblasting es un tratamiento aplicado a nivel industrial en partes para limpiar una amplia variedad superficies entre las cuales algunas pueden tener secciones de difícil acceso tal cual se ilustra en la Fig 3.7, mejora la fuerza de adherencia y el rendimiento de la unión, y genera residuos de arena de sílice, este método es utilizado para eliminar la suciedad, la corrosión, la pintura y otros revestimientos. Todas las máquinas de Sandblasting tienen una cámara donde se combinan arena y aire. Para dirigir las partículas hacia la superficie o la pieza de trabajo, la mezcla se pulveriza a través de una boquilla sostenida en la mano del trabajador. Las boquillas se pueden encontrar en una amplia gama de diámetros y están hechas de varios materiales diferentes. El carburo de boro se utiliza con frecuencia para las boquillas debido a su alta resistencia al desgaste abrasivo. [19]

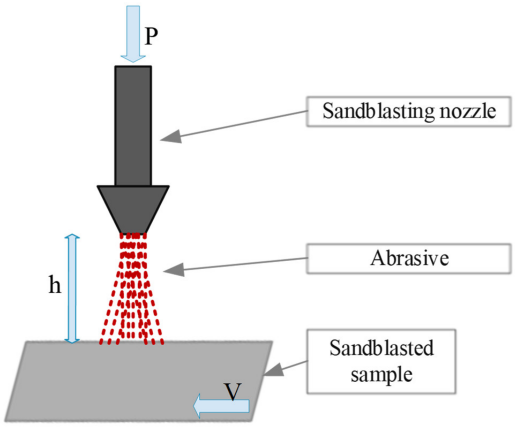


Figura 3.7: Esquema del procedimiento Sandblasting[1]

3.8. Prueba no destructiva de tintas penetrantes en la turbina

Inspección "*Dye*" o líquidos penetrantes son uno de los métodos de inspección más utilizados. Pertenece a la categoría de métodos de inspección no destructivos, porque los inspectores pueden utilizarlo sin alterar ni dañar permanentemente el objeto que inspeccionan. Los inspectores utilizan líquidos penetrantes para buscar grietas en la superficie de bienes y materiales. Tras hacer fluir el colorante penetrante sobre la superficie que desean inspeccionar,

los inspectores extraen el líquido con un revelador similar a una tiza y revelan así cualquier defecto del material que pueda haber en la superficie. El procedimiento se basa en el principio de la acción capilar, que describe cómo penetran los líquidos en las grietas o irregularidades de la superficie de un material.

El ensayo con líquidos penetrantes se utiliza habitualmente para inspeccionar las superficies de materiales no porosos como cerámica, plásticos y metales, en los que los inspectores examinan:

- Soldaduras
- Piezas de fundición
- Piezas forjadas
- Placas
- Barras
- Tubos

Los materiales listados anteriormente, son usados por los inspectores para aplicar colorantes penetrantes en busca de defectos como:

- Fugas
- Defectos articulares
- Fracturas
- Porosidad en la superficie de los materiales
- Grietas (Grietas por fatiga, grietas finas o grietas por esmerilado y temple)
- Fusión incompleta

3.8.1. Procedimiento para una prueba de tinte penetrante

3.8.1.1. Limpiar la superficie

En primer lugar, los inspectores limpian la superficie que van a probar para que quede abierta y cualquier defecto que contenga quede al descubierto, en lugar de permanecer oculto bajo la suciedad u otros elementos extraños.

Los procesos de limpieza que suelen seguir los inspectores pueden incluir métodos menos invasivos, como el desengrasado al vapor, el uso de disolventes o simplemente pasar un trapo húmedo, o métodos más invasivos, como el esmerilado o el cepillado con alambre.

3.8.1.2. Aplicar la tintas penetrantes

El líquido penetrante que utilizan los inspectores se fabrica exclusivamente para este fin, y normalmente se rocía o se frota sobre la superficie con un pincel. Tras aplicar el penetrante, los inspectores esperan entre cinco y veinte minutos para que se seque. (El tiempo adecuado debe indicarse en la etiqueta del penetrante específico que se utilice).

3.8.1.3. Remover el exceso de tinta penetrante y aplicar el removedor de tinta

Elimine el exceso de penetrante con un trapo seco.

Después de limpiar el exceso de penetrante, aplique un removedor a la superficie y séquela frotando con un trapo limpio y seco.

3.8.1.4. Aplicar el Revelador

Tras limpiar y eliminar el penetrante, aplique un revelador blanco a la superficie. El revelador extraerá el penetrante de los defectos o grietas de la superficie del material y los hará visibles.

3.8.1.5. Inspección

En este punto, las grietas y otros tipos de defectos serán visibles a simple vista o utilizando luz blanca o ultravioleta, dependiendo del tipo de penetrante que se haya utilizado.

Ahora que los defectos se han hecho visibles, los inspectores pueden realizar una inspección visual para identificar cualquier defecto que esté presente.

La diferencia entre el penetrante de tinte visible y el penetrante de tinte fluorescente:

- En el caso de los líquidos penetrantes visibles, los defectos son visibles en condiciones de iluminación normales.
- En el caso de los penetrantes fluorescentes, las luces ultravioletas con poca luz ambiental permitirán que los defectos sean visibles.

3.8.1.6. Limpieza final de la superficie

Tras la inspección, los inspectores suelen limpiar la superficie inspeccionada para devolverla a su estado original.[7]

3.9. Balanceo dinámico

3.9.1. Desbalance; Conceptos

En las máquinas rotativas, la vibración es un problema común, y una de las causas principales es el des-balance. Este des-balance se produce cuando la distribución de masa en el rotor no es uniforme alrededor del eje de rotación, lo que genera una fuerza que induce vibraciones.

Una vez que el rotor este en funcionamiento La falta de simetría de la distribución de la masa de un rotor hace que su eje de rotación no coincida con ningún eje principal de inercia en el centroide. Traduciéndose como un desequilibrio en las fuerzas de inercia y el fenómeno de la vibración.

La vibración producida por el des-balance afecta y se puede apreciar en los apoyos del rotor, principalmente en dirección radial y a la misma frecuencia de giro. [2]

3.9.2. Procedimiento de balanceo utilizados

Hay una amplia variedad de métodos para corregir el desbalance. Entre los métodos tenemos el cinético (medición de vibración producida por las fuerzas de inercia que presenta el rotor desbalanceado), donde se analiza el efecto de la vibración de las masas de prueba colocadas detalladamente en en el rotor, con la finalidad de eliminar el desbalance. El procedimiento es fundamentalmente medir la vibración producida por el desbalance, tanto en su magnitud como la fase que está presenta con respecto a una referencia arbitraria, pero constante que se coloca en el rotor. La vibración se analizara en un solo punto, en el caso del balanceo en un plano de corrección, y en dos puntos en el caso del balanceo de dos planos.

Según el plano de corrección al que corresponda (Uno o dos), se instalan masas de prueba y se toman de nuevo las medidas de magnitud de fase de la vibración. Con los datos obtenidos se puede determinar el efecto de las masas en la vibración del rotor desbalanceado, y mediante un análisis lineal se puede también determinar la magnitud y la posición de los contrapesos que balancearan el rotor.[2]

Capítulo 4. Parámetros de funcionamiento de la planta térmica

A continuación se presentan los parámetros técnicos de funcionamiento para la planta termoeléctrica:

4.1. Turbina

El sistema es accionado por una turbina de vapor de impulso, de 2 etapas de velocidad tipo Curtis y sus características son presentadas en la tabla 4.2:

Turbina	
Flujo másico	157 kg/h
Presión	75 Psig o 0,62 MPa
Temperatura de ingreso	160°C

Tabla 4.2: Parámetros de operación de la turbina

4.2. Caldera

El equipo utilizado para cumplir la función de caldera es el combustión ubicado en el laboratorio de potencia, el cual ha sido inspeccionado y probado para suministrar las siguientes variables principales presentadas en la tabla 4.3, en la sección de prediseño se ampliara la información correspondiente a la caldera.

Caldera	
Presión del vapor	75 Psig o 0,62 Mpa
Temp del vapor	160°C
Flujo masico	157 kg/h

Tabla 4.3: Parámetros de operación de caldera

4.3. Bomba de alimentación de la caldera

Se utilizó una bomba centrifuga con un diámetro de succión y descarga de $1\frac{1}{2}$ pulgadas con las siguientes características presentadas en la tabla 4.4:

Bomba alimentacíon	
Caudal	27,25 m^3/h
Cabeza	30,48 mts
RPM	60
H.P	1/3
Potencia requerida	28/14 A; 120/240V AC

Tabla 4.4: Parámetros de operación de la bomba de alimentación

4.4. Quemador

El quemador es de gas para uso industrial marca Beckett; para uso en hornos industriales, hornos para pizza, para secado de ladrillo, calderas y deshidratadores, con las siguientes características ilustradas en la tabla 4.5:

Quemador EXH80	
Combustible	Gas Natural, Gas propano
Potencia de calor	5,86 a 23,45 Kw/h
Voltaje	120 V
Voltaje de operación de la Válvula de gas	24 V AC
Frecuencia	60 Hz

Tabla 4.5: Parámetros de operación del quemador

4.5. Bomba de condensado

Se utiliza una bomba para recircular el agua recuperada por condensación desde una reserva auxiliar conectado al tanque de alimentación de la caldera, las características principales son ilustradas en la tabla 4.6:

Bomba de condensado	
Potencia	2 HP
Caudal	23,445 m^3/h
Cabeza Max	30,48 mt de H_2O
Presión Max	0,52 Mpa
Potencia eléctrica	2 A, 240 V
Frecuencia	60 Hz

Tabla 4.6: Parámetros de operación de la bomba de condensado

4.6. Refrigeración

Se propuso un sistema de soporte para el condensador que ayudara a condensar el fluido entrante a la carcasa. Se requería una capacidad de enfriamiento de 3 T.R. (Toneladas de refrigeración, calculo realizado en la sección 6.2.4), que permitiera la circulación de agua a una temperatura menor por el sistema de tubos del condensador optimizando la reaparición de liquido condensado. Las características presentadas a continuación en la tabla 4.7 son descritas en la sección de prediseño donde se propondrán alternativas que puedan cumplir con estos requerimientos:

Sistema de Enfriamiento de Agua	
Caudal de agua a enfriar	0.7 m^3/h o 3 gpm
ΔTemperatura de operación	15$°C$
Capacidad de enfriamiento	11 kW/h o 3,1 Tr

Tabla 4.7: Parámetros de operación del sistema refrigeración

4.7. Condensador

El condensador seleccionado para sustituir el anterior es un intercambiador de calor de dos pasos, compuesto por tubos cilíndricos montados dentro de una carcasa cilíndrica, a través de la cual circula el refrigerante, con los ejes de los tubos dispuestos de forma paralela al eje de la carcasa. Un fluido (el líquido de enfriamiento, en este caso agua) circula por el interior de los tubos, mientras que el otro fluido (vapor) lo hace por el espacio entre la carcasa y los tubos. Las características del condensador se presentan en la tabla 4.8:

Condensador	
Heat/Cooling	
Capacidad	395,65 kW
Fases	2
Area superficie	1,62 m^2
Temp Max - Min	191°C a -7°C
Presión	1,04 Mpa
Caudal	39,75 m^3/h

Tabla 4.8: Parámetros de operación del condensador

4.8. Protocolo de preparación

1. Definir el tiempo de operación durante la practica, con el fin de tener presente el consumo de combustible y agua.
2. Revisar el nivel de agua en el tanque de abastecimiento de agua.
3. Purgar la línea de vapor.
4. Abrir la linea de paso de combustible (GAS), de agua hacia la bomba de alimentación, revisar y cerrar las válvulas de purga y salida de vapor de la caldera.

4.9. Operación de la Caldera

En la siguiente sección se presenta un paso a paso de la operación de la caldera y sus componentes más importantes. Además, se incluye un esquema (Anexo A.5) de la planta que ilustra los puntos de intervención del combustor por parte de los operarios, excluyendo el tablero eléctrico, el cual fue ubicado en la pared junto al equipo principal.

4.9.1. Condiciones de seguridad

1. Siempre utilice los accesorios de protección personal al trabajar en el laboratorio (bata, guantes, gafas de protección).

2. Asegúrese de que las líneas de gas del combustor que serán utilizadas estén abiertas y con una presión de 2 bares (Preguntar al personal técnico del LCC sobre la ubicación de la estación de gases).

3. Identifique la posición de los extintores y salidas de emergencia del laboratorio. Verifique las fechas de caducidad de los extintores y mantenga despejadas las salidas de emergencia.
4. No utilice los equipos si nota fallas en el sistema eléctrico del laboratorio.

4.9.2. Puesta en marcha

Primero se debe revisar el tablero eléctrico que permite la entrega de corriente para la operación del equipo y energiza el sistema, después se acciona el breaker lateral del cuadro eléctrico "*COMBUSTOR*" mostrado en la Fig 4.8



Figura 4.8: Breaker del *COMBUSTOR*

Posteriormente se debe accionar el Breaker de la electroválvula del agua y del ventilador en el tablero principal presentado en la Fig 4.9.

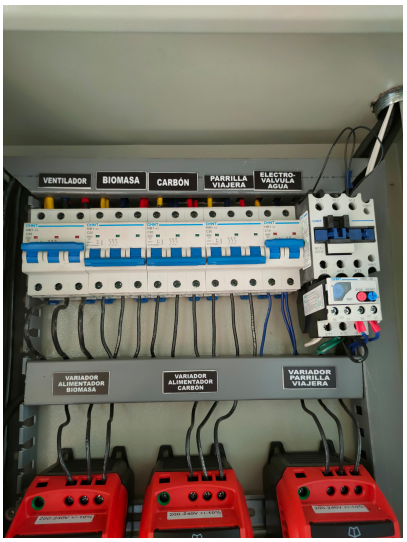


Figura 4.9: Electroválvula agua y de ventilador

paralelamente se pueden accionar la alimentación y encendido del quemador de gas, luego se debe verificar que las llaves de purga estén cerradas.

Una vez empieza a funcionar el quemador se debe abrir la llave de paso de agua para llenar el tanque y el sistema acuotubular (**Prestar especial atención al control de nivel del tanque agua**). La llave de paso se encuentra ubicada en la pared sur del edificio E344A como se ilustra en la Fig 4.10.



Figura 4.10: Llave de paso para el tanque de almacenamiento

Se debe accionar el botón ON/OFF del nivel del agua del tablero de control, energizando el equipo. El botón de la izquierda verde (Llenado del sistema acuotubular) y el botón de la derecha rojo (falta de llenado de tanque) deben ser accionados. Ver Fig 4.11



Figura 4.11: Accionadores de control acuotubular

Permitiendo el accionamiento de la electroválvula (Punto A en el anexo A.5) para el ingreso del agua al intercambiador acuotubular, alimentado por el tanque de reserva de agua. Ver Fig 4.12



Figura 4.12: Electroválvula

El control de nivel de agua (Punto B en el anexo A.5) se acciona mediante tres bujías y controla 3 niveles de agua (Nivel alto, Nivel bajo, y encendido de la electroválvula), la electroválvula permite el llenado del sistema acuotubular hasta las 3/4 partes; momento exacto en el que el sistema eléctrico enciende de manera automática el ventilador, y se debe apagar la señal de nivel de agua. Se debe apagar el botón verde izquierdo que controla la señal de ingreso de agua y apagar el botón rojo de agua de nivel bajo. Ver Fig 4.13



Figura 4.13: Bujía para control de nivel de agua; sistema acuotubular

El ventilador (Punto C en el anexo A.5) se enciende cuando el nivel del agua alcanza el nivel superior de límite visible en el medidor (Aprox 15 cm medido desde la junta de soldadura hacia abajo). Alcanzado el nivel se enciende el ventilador de forma automática, luego se debe abrir el damper del aire principal. Ver Fig 4.14



Figura 4.14: Ventilador de alimentación de aire de dos posiciones: blanco/cerrado. rotar 90gr

Después se deben abrir los dampers seccionados (Punto D en el anexo A.5) para le entrada 1 y 2 al 100 %, luego se deben mantener el resto de dampers cerrados (3, 4 y 5);también se debe cerrar el damper del aire secundario, para dirigir la combustión del quemador y luego ir abriendo los dampers $3, 4y5$. Finalmente se debe tener en cuenta la apertura del damper del aire secundario de acuerdo a las variables del proceso a las que se desean llevar. Ver Fig 4.15

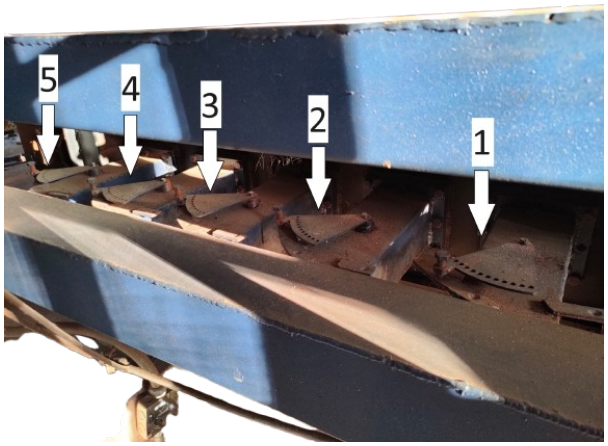


Figura 4.15: Dampers del 1 al 5

En este punto el combustión se encuentra listo para iniciar la operación con el quemador funcionando y el agua cargada. Durante la combustión en el hogar se generará un perfil térmico, la energía generada en forma de calor que se transfiere por convección al sistema de tuberías. Este sistema de tuberías calienta el agua en su interior, generando vapor que se libera a la atmósfera.

En cuanto a los gases de la combustión, serán dirigidos a un ciclón para retener las partículas gruesas de ceniza en la parte inferior, mientras que el resto de la corriente se emite a través de una chimenea a una altura de aproximadamente 5 metros.

4.9.2.1. Control de flujo de aire y control de temperatura en el hogar



Figura 4.16: Pantalla de lectura de datos (Temperatura, presión y flujo de aire)

La pantalla de lectura (ubicada en la pared dentro del edificio, junto a los demás comandos) indica los datos de temperatura, presión y flujo de aire de acuerdo con los termopares, sensores de presión instalados en el sistema y el grado de apertura del damper principal del aire primario. Consta de una memoria donde se almacenan los datos para ser compartidos en un ordenador o sistemas especializados para su manejo. Ver Fig 4.16

4.9.2.2. Chimenea(Control de emisiones)



Figura 4.17: Ciclon para material particulado.[32]

Se cuenta con un ciclón (Punto E en el anexo A.5) que cumple la función de sistema de recolección de materia particulada, posee una tapa donde se almacena el material particulado pos-combustión y un recipiente de almacenamiento. A lo largo de la chimenea se encuentran 3 tomas o puertos para la medición y control de emisiones. Ver Fig 4.17

4.9.3. Operación de la sección de potencia

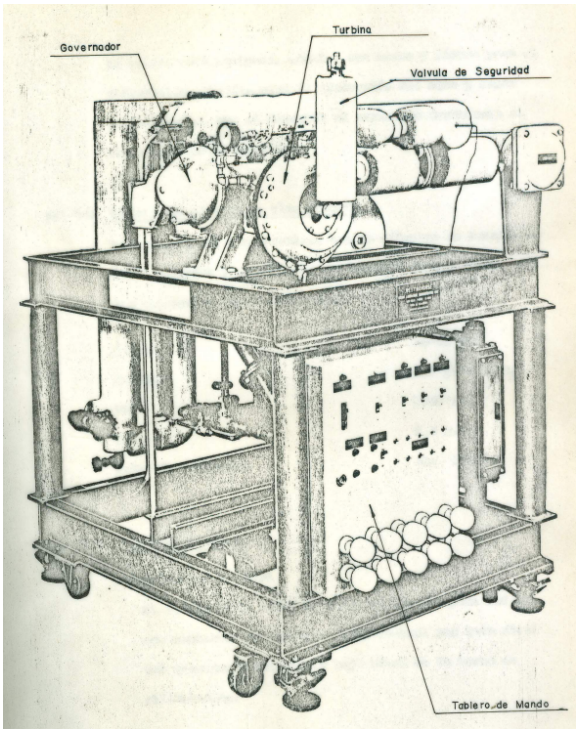


Figura 4.18: Esquema original del laboratorio (Frontal).[17]

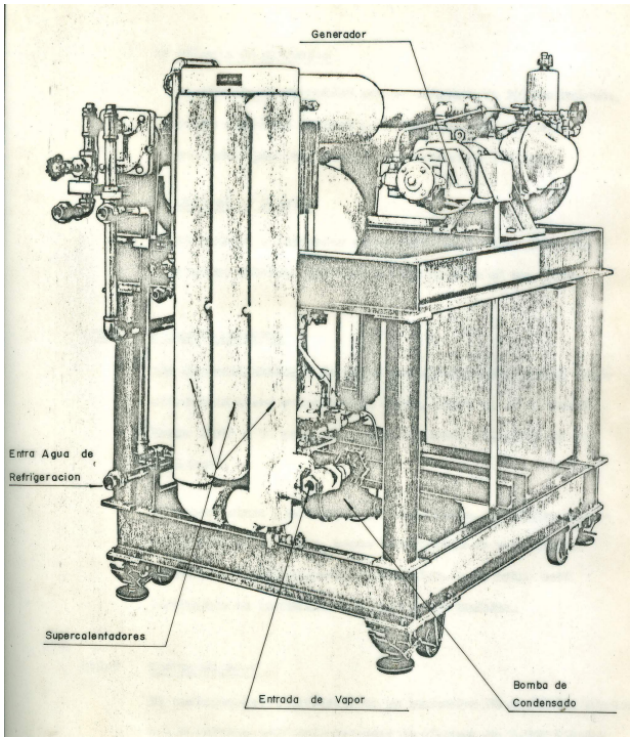


Figura 4.19: Esquema original del laboratorio (Lateral izq).[17]

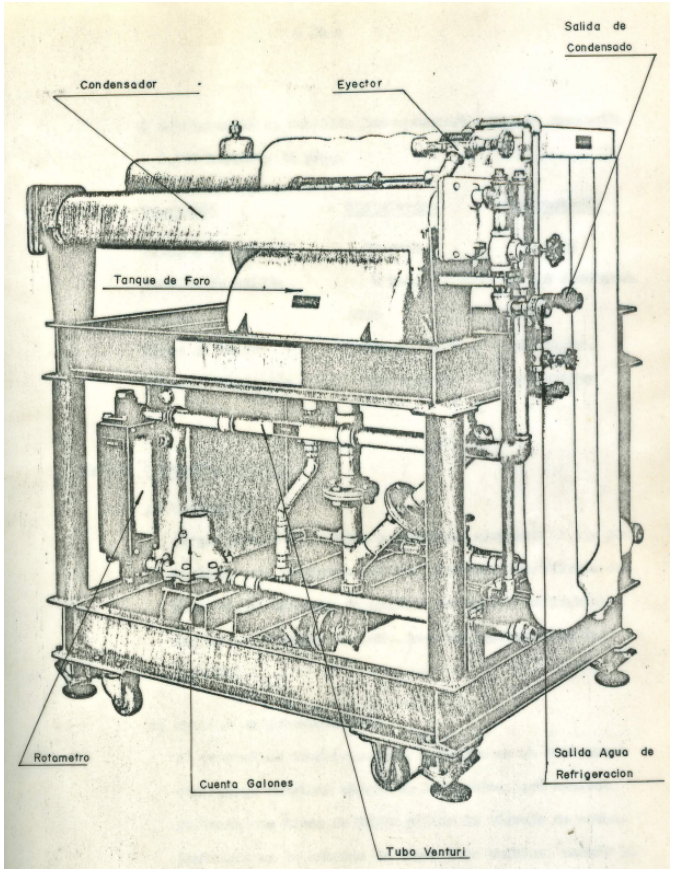


Figura 4.20: Esquema original del laboratorio (Posterior).[17]

De acuerdo al esquema ilustrado en 4.18, 4.19, 4.20, se debían seguir con los pasos listados a continuación para poder operar correctamente la planta de vapor.

- Se debe primero accionar el interruptor maestro en el tablero de control de distribución del edificio, la cuchilla del circuito eléctrico de la planta.
- Determinar la posición del selector en manual o automático y accionar el interruptor de llave. Si la posición del selector es la de automático.
- La bomba funcionara cuando el nivel de agua sea bajo y el generador se accionara cuando este sea apropiado.
- Abrir las válvulas de paso de los supercalentadores y de la boquillas de la turbina.
- Una vez alcanzada la presión de operación, se debe energizar el interruptor de la unidad Westinghouse, el interruptor maestro y los individuales de las bombillas.
- Posteriormente se deben abrir las llaves de paso del agua de refrigeración colocadas antes y después del condensador y abrir la salida de vapor en la caldera.

4.9.4. Regulación

1. Determinar la presión de la turbina accionando el regulador de presión, que bajo ninguna circunstancia debe sobrepasar los 75 psig o 0,62 Mpa.
2. Controlar el caudal de vapor mediante las válvulas sobre la linea y las boquillas, regular el agua de refrigeración y accionar la bomba auxiliar, que lleva el condensado del tanque de aforo al de alimentación.
3. Regular la velocidad de la turbina, por medio del gobernador acoplado a su eje.

4. Mediante el "doble pasoïnstalado en la bomba, se debe controlar el caudal del agua de alimentación, para alcanzar un funcionamiento aproximadamente estacionario.
5. Tras alcanzar la presión máxima prefijada de la caldera, el quemador se desconecta, si el selector esta en posición automática; el quemador se energiza cuando la presión sea la de reencendido que ha sido establecida, sin embargo, en una operación manual, se debe accionar el arrancador del quemador para lograr el reencendido.
6. Si el nivel del agua desciende considerablemente durante la operación manual, el quemador se desconecta y se debe accionar el arrancador de la bomba. Cuando se haya recuperado el nivel, se debe accionar el arrancador del quemador.
7. Cuando se desee una presión inferior a la atmosférica en el condensador, se coloca en funcionamiento el eyector, abriendo la válvula de paso de la linea de vapor derivada y la válvula propia del eyector.
8. Chequear el nivel de aceite de la turbina y renovarlo periódicamente.
9. (Referente a la torre de enfriamiento)

Capítulo 5. Estado mecánico de los componentes originales

5.1. Turbina

En la turbina se observaron signos superficiales de óxido, acumulación de aceite lubricante y suciedad, probablemente debido al prolongado almacenamiento. No obstante, tras un análisis preliminar que incluyó la rotación del rotor, se pudo confirmar que, en primera instancia, no existía atascamiento entre el generador y la turbina. El análisis consistió en girar el rotor con una llave de agua, aplicando la menor cantidad de torque posible, lo que proporcionó una señal superficial de que el rodamiento aún funcionaba. Adicionalmente, se solicitó consultoría profesional para evaluar el estado de la turbina y el generador, seguida de una cotización para su restauración (Cotización disponible en B) Véanse Fig 5.21, 5.22 y 5.23

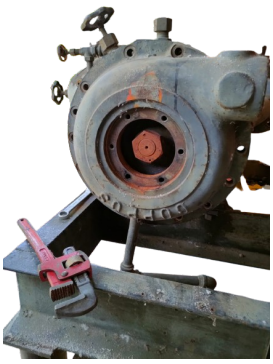


Figura 5.21: Estado externo de la turbina.

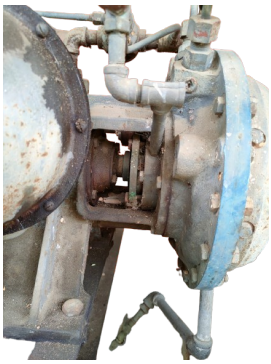


Figura 5.22: Sistema de tuberías y acople de la turbina.



Figura 5.23: Placa del turbo-generador.

5.2. Caldera Original del Laboratorio

A continuación, se puede observar en las Fig 5.24 y 5.25 el deterioro de la caldera, que, a pesar de haber sido almacenada en un lugar seco y protegido de la exposición directa al sol, presenta signos de corrosión incipiente en los puntos "*b*" y "*c*", la bisagra de la puerta oxidada e inmóvil como se señala en el punto "*e*" y daños por corrosión en las tuberías señaladas en el punto "*a*" y finalmente la tubería interior interior obstruida y corroída por el oxido ilustrado en el punto "*d*". Dado lo sensible que es este sistema y el riesgo inherente a la operación de una caldera, se han preparado diversas opciones para su intervención y mantenimiento.

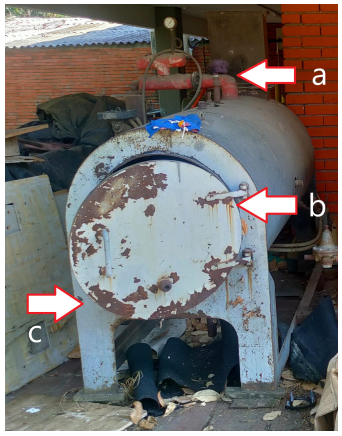


Figura 5.24: Deterioro externo de la caldera.

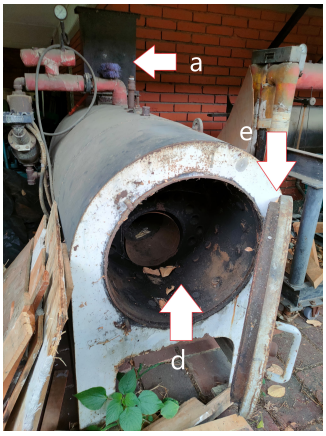


Figura 5.25: Estado interno de la caldera.

5.3. Estructura

Se realizó una inspección visual detallada y un examen mecánico de impacto con un martillo en los puntos donde se observaba corrosión para ver si la penetración del oxido era profunda. A partir de esta evaluación, se determinó que la estructura de forma cúbica, tal como se muestra en la figura, aún conserva parte de su pintura anticorrosiva y mantiene intactos todos los puntos de sujeción para los componentes del sistema Westinghouse. No se identificaron grietas, deformaciones ni signos de corrosión penetrante que pudieran comprometer su resistencia o integridad estructural. Ver Fig 5.26

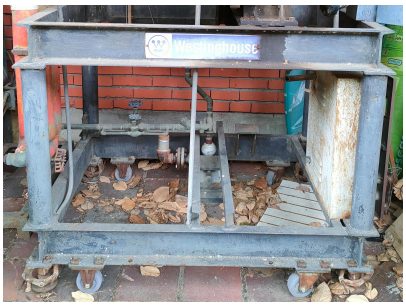
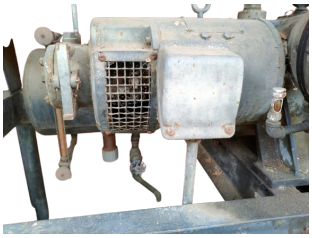


Figura 5.26: Almacenamiento de la estructura de la sección de potencia.

5.4. Generador

Como se mencionó anteriormente, el generador no presenta signos de atascamiento, y su cableado de conexiones se encuentra en muy buen estado. No obstante, es difícil evaluar el estado interno del equipo sin un análisis más detallado como por ejemplo una prueba Hi-Pot el cual aplica un voltaje alto verificar si hay fugas de corriente, sin llevar el material hasta su punto de falla, por otro lado se observo una acumulación significativa de suciedad en su exterior apreciada en la siguiente Fig 5.27.



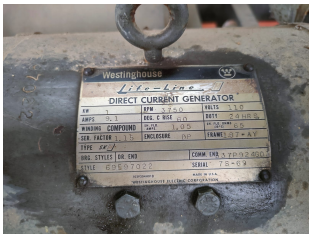


Figura 5.27: Estado externo y placa técnica del generador.

5.5. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico es uno de los que más ha sufrido los efectos del almacenamiento y el deterioro. Ninguno de los bombillos piloto, que indicaban el correcto funcionamiento de la planta y su generación de electricidad, se ha conservado. Tanto los componentes externos como los internos presentan desgaste y están cubiertos de suciedad, en el caso del medidor de voltaje esta sujeto a la estructura solo por los cables y esta posicionado solo para ilustrar encima de la estructura como se señala en el punto "f". Ver Fig 5.28, 5.29 y 5.30

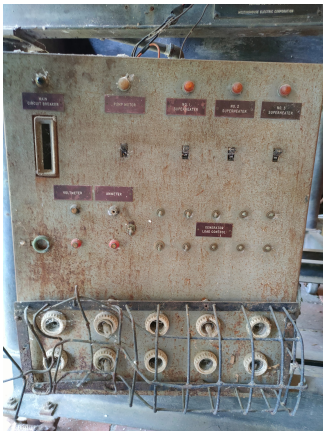


Figura 5.28: Estado Externo del tablero.



Figura 5.29: Estado interno del tablero.

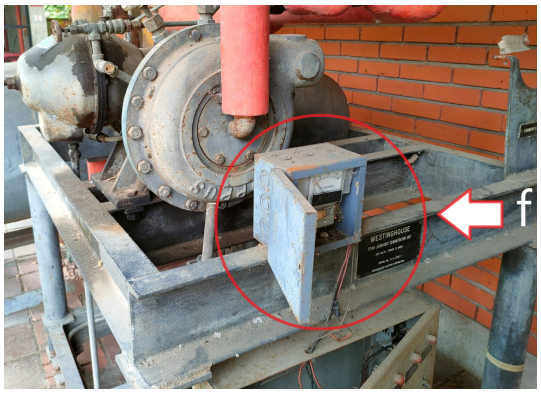


Figura 5.30: Estado del medidor de voltaje y amperaje.

5.6. Bomba de alimentación de agua

Aunque la bomba permanece montada en la ubicación ilustrada por el punto "g", no está acoplada al motor, ya que este fue retirado. Como se puede observar en la figura, se intentó mover el eje del rotor sin éxito, lo que sugiere posibles problemas internos en esta parte fundamental del sistema. Ver Fig 5.31

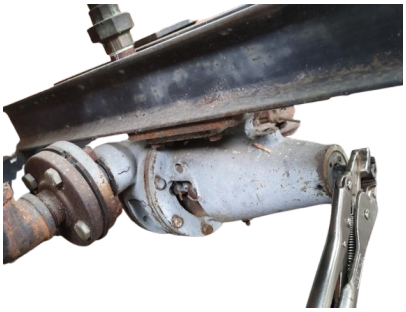


Figura 5.31: Bomba de alimentación.

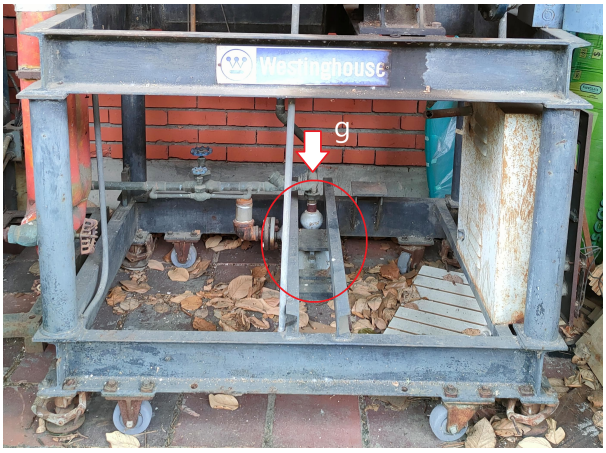


Figura 5.32: Ubicación de la bomba de alimentación.

5.7. Tubería

Los elementos que conforman toda la acometida de tubería de alta presión y que en algunos tramos poseen aislantes térmicos, presentan un deterioro pronunciado y signos de corrosión por el oxido que ha penetrado en el material además de polvo y suciedad ilustrados en las Fig 5.33, Fig 5.34 y Fig 5.35.



Figura 5.33: Tubería de circulación No.1



Figura 5.34: Tubería de circulación No.2



Figura 5.35: Tubería de circulación No.3

5.8. Condensador

Como se ilustra en la imagen 5.36, solo permanece el soporte del antiguo condensador de la planta de vapor, el cual fue retirado y no se ha encontrado en ninguna de las áreas de almacenamiento.



Figura 5.36: Localización del condensador.

5.9. Tanque de condensado

El tanque de condensado aun cuenta con su respectivo medidor de nivel, sin embargo todas sus tuberías se encuentran oxidadas y se desconoce el estado de interno del elemento como se muestra el siguiente Fig 5.37.



Figura 5.37: Tanque de agua condensada.

5.10. Recalentadores

El estado actual del equipo de recalentamiento de vapor, se puede observar en la Fig 5.40 que ilustra el control del termostato del recalentador con un alto grado de oxido en su superficie, ubicado al costado del tablero de control eléctrico y en la Fig 5.39 que muestra todo el sistema completo de recalentamiento, mientras que en la Fig 5.38 se puede observar el avanzado deterioro causado por la corrosión y el óxido en las secciones de la tubería ademas de estar obstruidas.



Figura 5.38: Estado actual de la tubería del recalentador.

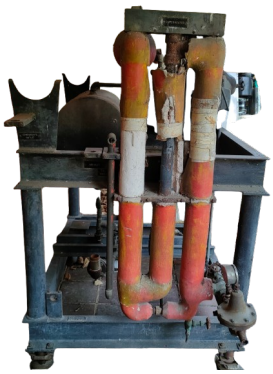


Figura 5.39: Estado actual del sistema de recalentamiento.



Figura 5.40: Estado actual del control del termostato del recalentador.

Capítulo 6. Prediseño de la planta térmica

Con base en la información recopilada sobre el estado actual de los componentes, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes, lo que permitió formular diversas alternativas para la recuperación y puesta en marcha de la planta térmica, como se muestra a continuación:

6.1. Balance de Energía del Sistema

Para los fines prácticos del estudio de prefactibilidad, consideraremos que el montaje de la planta eléctrica de vapor opera bajo la suposición del ciclo Rankine ideal. Los valores obtenidos de este análisis permitieron estimar las magnitudes de energía y trabajo que la planta requerirá para su operación.

6.1.1. Información disponible para el cálculo

Primero, establecieron los parámetros de entrada con los cuales pudieron calcular el calor de salida del condensador, Q_{out}, el calor de entrada, Q_{in}, el trabajo de la turbina, $W_{turb,out}$, y, si era necesario, el trabajo de la bomba de condensado, $W_{cond,in}$, así como cualquier otro valor requerido por el diseñador. El vapor ingresaba a la turbina a una presión de 0,62 Mpa y a una temperatura de $160C$, y se condensaba a una presión de 0,009 Mpa, que es prácticamente la atmosférica. Dado que se estableció que el ciclo a desarrollar era ideal, tanto la turbina como la bomba eran isentrópicos, sin caídas de presión en la caldera ni en el condensador. Además, el vapor salía de este último para ingresar a la bomba como líquido saturado a la presión del condensador, como se muestra a continuación: Véase Fig 6.41 y Fig 6.42

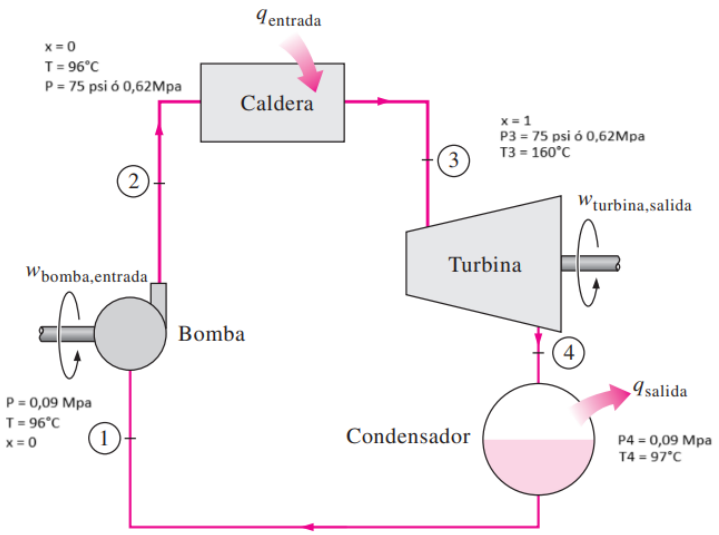


Figura 6.41: Ciclo RanKine [38]

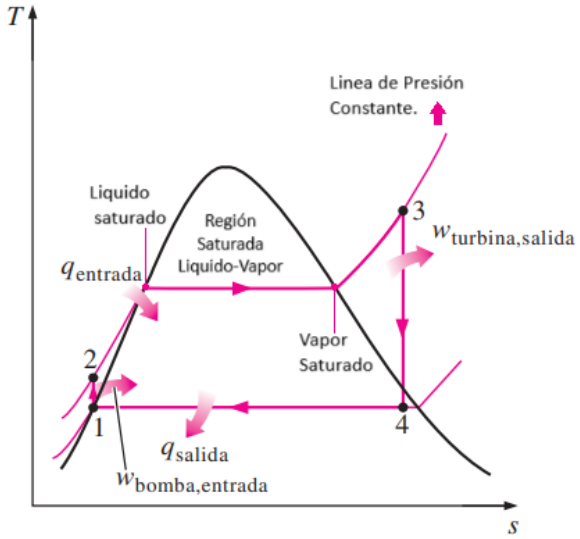


Figura 6.42: Diagrama T vs S [38]

Se inicio por la sección con la que se contaba mayor cantidad de información, y se calculo la entalpía en el ESTADO 3: Ver Eq 6.26

$$\left.\begin{array}{c} P_3 = 0,62Mpa \\ x = 1 \\ T_3 = 160,1^oC \end{array}\right\} \begin{array}{c} h_3 = 676,1\frac{kj}{kg} \\ v_3 = 0,306\frac{m^3}{kg} \\ s_4 = s_3 = 1944\frac{m^3}{kg*K} \end{array} \tag{6.26}$$

Continuamos calculando los valores del ESTADO 4: Ver Eq 6.27

$$\left.\begin{array}{c} P_4 = 0,09Mpa \\ x = 0 \\ s_4 = 1944\frac{m^3}{kg*K} \end{array}\right\} \begin{array}{c} h_4 = 654,8\frac{kj}{kg} \\ T_4 = 97^oC \\ Mezcla: Liquido - vapor \end{array} \tag{6.27}$$

Luego se procede a calcular los estados restantes, como se ilustra a continuación: Ver Eq 6.28 y Eq 6.29

ESTADO 1:

$$\left.\begin{array}{c} P_1 = 0,09Mpa \\ x = 0 \\ T_1 = 96^oC \end{array}\right\} \begin{array}{c} h_1 = 402,2\frac{kj}{kg} \\ Liquido - Saturado \end{array} \tag{6.28}$$

ESTADO 2:

$$\left.\begin{array}{c} P_2 = 0,62Mpa \\ x = 0 \\ T_2 = 96^oC \end{array}\right\} h_2 = 402,6\frac{kj}{kg} \tag{6.29}$$

Una vez determinados todos los datos de cada una de las etapas del ciclo ideal, se plantearon las ecuaciones para el cálculo de calor y trabajo que se presentan en el sistema:

$$\begin{array}{rl} q_{in} & = h_3 - h_2 = (676,1 - 402,6)\frac{kj}{kg} = 274\frac{kj}{kg} \\ q_{out} & = h_4 - h_1 = (654,8 - 402,2)\frac{kj}{kg} = 253\frac{kj}{kg} \\ w_{turb,out} & = h_3 - h_4 = (676 - 655)\frac{kj}{kg} = 21\frac{kj}{kg} \\ w_{pump,in} & = h_2 - h_1 = (402,6 - 402,2)\frac{kj}{kg} = 0,4\frac{kj}{kg} \end{array} \tag{6.30}$$

Con todos los datos necesarios se calculó la eficiencia térmica del ciclo Rankine a partir de la siguiente ecuación: Ver Eq 6.31

$$\eta_{ter} = \frac{w_{neto}}{q_{in}} = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$$
$$\eta_{ter} = \frac{21\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{274\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0{,}076 \times 100\,\% \tag{6.31}$$
$$\eta_{ter} = 7{,}6\,\%$$

en donde el w_{neto} está representado por la ecuación 6.32:

$$w_{neto} = q_{in} - q_{out} = w_{pump,out} - w_{pump,in}$$
$$w_{neto} = 21\frac{kj}{kg} \tag{6.32}$$

Los valores de presión P, calidad X, temperatura T, entalpía ΔH, entropía S, entre otros valores calculados, se obtuvieron por medio del software $CAT3$ [12] y de la tabla A-4, donde se muestran las propiedades del agua saturada procedentes del libro de termodinámica. [3].

6.1.1.1. Aumento de la eficiencia térmica

A pesar de que la eficiencia obtenida se encuentra considerablemente por debajo de los estándares industriales, el ciclo de vapor opera dentro de los parámetros mínimos establecidos por los autores originales, responsables del diseño y operación de la planta. Según la literatura consultada, es posible implementar algunas recomendaciones que podrían mejorar la eficiencia del ciclo Rankine. El principio fundamental detrás de todas las modificaciones destinadas a incrementar la eficiencia térmica de un ciclo de potencia es mantener la temperatura promedio del fluido lo más alta posible durante la fase de adición de calor y lo más baja posible durante la fase de rechazo de calor.

- Reducir de la presión del condensador.
- Sobrecalentar el vapor a altas temperaturas.
- Incrementar la presión de la caldera.

La reducción de la presión de operación del condensador disminuye automáticamente la temperatura del vapor, lo que reduce la temperatura a la cual se rechaza el calor. El sobrecalentamiento del vapor a temperaturas elevadas aumenta tanto el trabajo neto como la entrada de calor al sistema. Sin embargo, el efecto neto es un incremento en la eficiencia térmica, ya que se eleva la temperatura promedio a la que se añade el calor. Además, el sobrecalentamiento del vapor a temperaturas más altas tiene un efecto beneficioso adicional: reduce el contenido de humedad del vapor a la salida de la turbina, lo que mejora el rendimiento del sistema. Otra estrategia para aumentar la temperatura promedio durante la adición de calor es incrementar la presión de operación de la caldera, lo que eleva automáticamente la temperatura de ebullición. Esto, a su vez, incrementa la temperatura promedio a la que se transfiere el calor al vapor, mejorando así la eficiencia térmica del ciclo Rankine.[3]

A continuación se organizaron los valores de calor y trabajo obtenidos en el balance de energía en la tabla 6.9 donde se evaluaron con los diferentes flujos másicos de operación planteados en el diseño original, permitiendo plantear unos rangos de trabajo disponibles con el sistema.

	Trabajo y Calor					
Flujo Masico m [kg/h]	Q_in [kJ/h]	Q_out [kJ/h]	W_out [kJ/h]	Q_in [kW]	Q_out [kW]	W_out [kW]
80	21920	20208	1704	6,1	5,6	0,5
90	26852	24755	2087,4	7,5	6,9	0,6
157	43018	39658,2	3344,1	12	11	0,9

Tabla 6.9: Resultados del balance de energía

6.1.2. Parámetros Reales de la caldera disponible

De acuerdo a la información presentada en el cuadro anterior, para el flujo másico de 157 kJ/kg se obtuvo un trabajo de salida cercano a lo especificado en la placa de operación de la turbina de 1 kW, ahora bien, sitiando en el calor de entrada obtenido en el cálculo ideal se observó un valor de 12 kW. A continuación se muestra la tabla 6.10 de características del combustor que se desea implementar como nueva caldera para el ciclo de vapor:

Características	Descripción
Potencia Nominal	15 a 55 Kw
Temperatura de operación	800 a 1600 °C
Flujo de alimentación de combustible	5 A 30 kg/h
Flujo de alimentación de aire	0 a 250 kg/h
Presión de operación	Presión ATM
Metodo de calentamiento	Uso de un quemador al inicio de la operación
Mediciones de linea	Mediciones de temperaturas en diferentes puntos del equipo y analisis de gases.

Tabla 6.10: Parámetros del Combustor. [32]

Tomando de referencia la información de la potencia nominal ilustrada en la tabla de características del combustor, se confirmó que cumplía con la capacidad necesaria de generación para ser adaptada y utilizada como caldera en el sistema termoeléctrico. El calor a generar por la caldera, calculado bajo los parámetros de diseño en el balance de energía, fue de 12 kW y el combustor puede generar entre 15 a 55 kW, por lo tanto, es un activo clave para la factibilidad del proyecto.

6.2. Sustitución de componentes faltantes o irreparables

6.2.1. Propuesta de caldera opcional

Como una propuesta opcional se cotizó y seleccionó una caldera industrial de 15 BHP - 150 PSI con quemador para GAS NATURAL y accesorios incluidos, con la empresa *Colmaquinas*. Los beneficios que aportaría esta propuesta son los datos puntales de la documentación que sería entregada con la adquisición del equipo, permitiendo realizar cálculos precisos y mejorar las condiciones de operación del ciclo de vapor, a continuación se ilustra el esquema en la Fig 6.43 y la Fig 6.44, la ficha técnica de la caldera propuesta ilustrada en la tabla 6.11 donde " $*HHV$" hace referencia al poder calorífico superior y " $*LHV$" al poder calorífico inferior:

CARACTERISTICAS GENERALES		
Capacidad de caldera	15 BHP	
Presion de diseño	150 PSI	
Capacidad térmica de la caldera (kW/h)	147,158	
Liberación térmica (kW/m2)	331.95	
Produción de vapor (kg/h)	234.96	
Peso neto de la caldera (Lb)	1,614	
Dimension (Diámetro - alto) (in)	34.5-80.125	
Purgas	**Manuales**	
Aislamiento	**Inoxidable**	
Altura de operación (msnm)	1200	
Combustible	GN	
	***HHV %**	****LHV %**
Eficiencia GN (Presión Requerida)	73.12	81.16
Consumo (gph - m3/h)	17.77	4.55
Combustión	**ON/OFF**	**ON/OFF**
Bajo NOx	**NO**	
Voltaje (V)	**Motores**	**Controles**
	220	110
Alimentación de agua	**1 Bomba**	**ON/OFF**

Tabla 6.11: Ficha técnica de la caldera cotizada.[5]

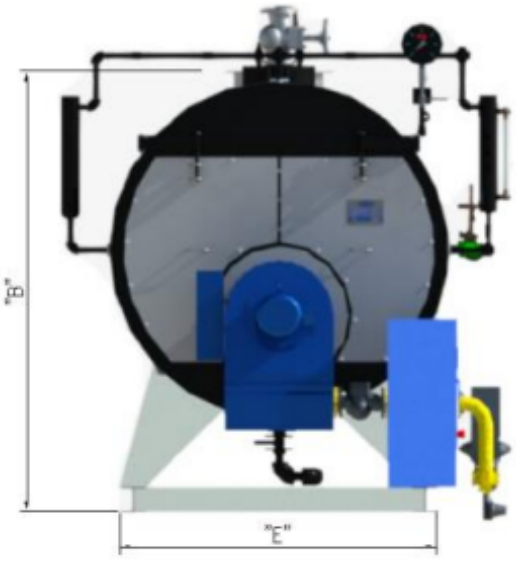


Figura 6.43: Vista frontal de la caldera.[5]

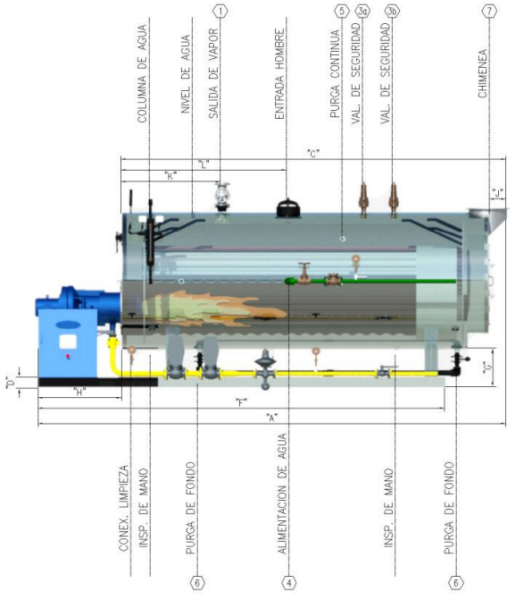


Figura 6.44: Vista lateral de la caldera.[5]

6.2.2. Nuevo Condensador seleccionado para el montaje

Debido a la ausencia del condensador en el montaje actual, se realizó una cotización de la parte faltante acorde a los requerimientos de la pieza estipulados en la sección de parámetros de funcionamiento de la planta térmica con un condensador de características similares y fabricado actualmente. Ver Fig 6.45 y Fig 6.46

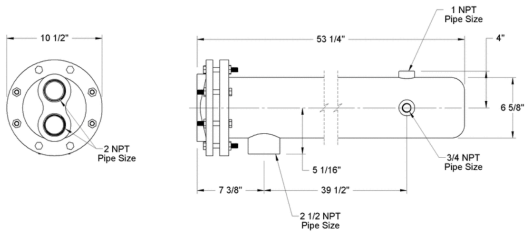


Figura 6.45: Esquema y medidas del condensador.[15]

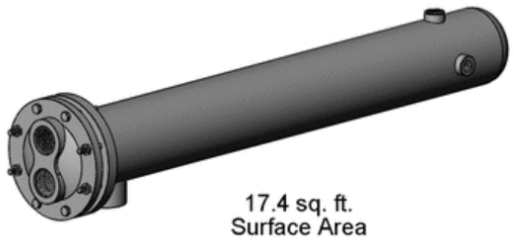


Figura 6.46: Modelo 3D del condensador.[15]

6.2.3. Bomba de alimentación de condensado a remplazar

Durante la inspección del sistema de alimentación, se determinó que se había retirado el motor que trabajaban en conjunto con el impulsor y surtían agua que provenía del condensador, por otro lado el impulsor no pasó la prueba de funcionamiento y debido al atascamiento se tomo la decisión de proponer un reemplazo cotizado, a continuación se ilustra la bomba y el cuadro de especificaciones: Véase la Fig 6.47 y la Tabla 6.12

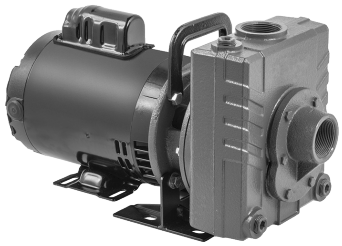


Figura 6.47: Bomba de condensado.[15]

CARACTERISTICAS GENERALES BOMBA	
Tipo de bomba	Centrifuga
Estilo de bomba	De circulación
Fuente de alimentación	Electica
Para utilizar con	Etilenglicol, metanol, agua
Caudal max	120 gpm
Caudal, gpm @ 50 Pies de Cabeza @ 60 Pies de Cabeza @ 70 Pies de Cabeza	 82 70 58
Pies de altura máxima	100
Presion máxima	75 psi
Diámetro máximo de sólidos	3/8”
Viscosidad máxima	1 CP
Altura máxima de autocebado	20 ft
Rango de temperatura	40° to 180° F
Tipo de conexión eléctrica	Cableado
Tipo de conexión por cable	Terminales de pala
Tipo de caja del motor	Abierto Antigoteo
Funcionamiento en seco	NO
Tipo de cebado	Rellenado inicial
HP	2
Ciclo de trabajo	Continuo
Fase	Una
Frecuencia	60 Hz
Tensión/V AC	120/240V AC
Corriente	28/14 A

Tabla 6.12: Ficha técnica de la bomba de alimentación.[15]

6.2.4. Sistema de soporte del condensador

De acuerdo a los cálculos realizados en el balance de energía se proponen parámetros de operación para el sistema de soporte que podría aportar a la recuperación del agua en forma de vapor saturado a la salida de la turbina. A continuación se realizo el calculo que nos permita determinar el caudal de agua de refrigeración, puesto que si se sobre estima la capacidad de enfriamiento del condensador y su soporte, puede sobre enfriar el líquido que se enviará a la bomba de alimentación, y así, afectar le proceso del ciclo de vapor.

6.2.4.1. Cálculo del caudal de enfriamiento

Se Parte de la ecuación de balance de energía (Primera ley), ver Eq 6.33 donde se utiliza el calor calculado que será disipado por el condensador, el agua del sistema de enfriamiento de agua entrará por los tubos y enfriará el vapor que saldrá de la turbina, entrará a la carcasa del condensador, este intercambio de calor a temperaturas diferentes permitirá acelerar el proceso de recuperación de agua por condensación luego reemplazando los valores en la ecuación 6.34 obtenemos el siguiente desarrollo.

$$\dot{Q}_{cond,out} = \dot{m} * C_{p,H_2O} * (T_{out} - T_{in}) \tag{6.33}$$

$$11Kw = \dot{m} * 4,18 \frac{Kj}{kg *^o \mathrm{C}} * (50 - 35)[^o\mathrm{C}] \tag{6.34}$$

$$\dot{m} = 0,175 \frac{kg}{s} = 630 \frac{kg}{h} = 0,63 \frac{m^3}{h} \tag{6.35}$$

Donde $\dot{Q}_{cond,out}$ es la velocidad de transferencia de calor que sale del fluido condensado, $\dot{m}$ es el flujo másico del fluido que se desea encontrar, C_{p,H_2O} es el calor especifico del agua a presión constante, T_{out} y T_{in} son las temperaturas mínimas supuestas para realizar el calculo de una torre de enfriamiento que pudiera buscarse en el catalogo de la empresa GLACIAR (Expertos en torres de enfriamiento). Como se observó en el resultado de la ecuación al despejar el flujo másico de la ecuación 6.35 y realizar su respectivo cambio de unidades, el valor del caudal de agua a enfriar es demasiado pequeño, imposibilitando la implementación de una torre de enfriamiento descartando un sistema de este tipo para estos requerimientos.

6.2.4.2. Propuesta para el sistema de enfriamiento de agua del condensador

A pesar de haber desechado la posibilidad de implementar una torre de enfriamiento, se han propuesto dos alternativas que pueden cumplir con la necesidad de complementar la tarea del condensador sin tener repercusiones negativas en el ciclo de vapor. Para corroborar la información de los parámetros de funcionamiento mencionados en el capitulo 4, transformaremos el resultado del cálculo de caudal del punto anterior a toneladas de refrigeración, siendo estas las unidades utilizadas comúnmente a nivel comercial.

$$11Kw = 37555,4 \frac{BTU}{h} = 3,1Tr \tag{6.36}$$

6.2.4.3. Listado de propuestas

En la tabla 6.13 se muestran las alternativas propuestas para optimizar el proceso del condensador para recuperar el líquido del vapor que sale de la turbina, los dispositivos listados en la tabla fueron escogidos puesto que proporcionan una disipación del calor leve y no se corre el riesgo de sub-enfriar el liquido condensado que se enviara a la bomba de alimentación. El efecto que tendría agua a una temperatura muy baja es que la caldera tomaría mas tiempo de quema de combustible para elevar la temperatura del agua hasta su punto de cambio de fase, por lo tanto lo ideal es bajar la temperatura hasta el punto de condensación del agua, facilitar su transporte hasta la caldera y su cambio de nuevo a la fase de vapor.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO DE AGUA	
TIPO	DESCRIPCIÓN
Radiador de Automóvil	Fabricación en aluminio, económico, con temperaturas de operación entre los -50°C y +110°C
Condensador de Tubo	Sistema sencillo de condensación con forma de serpentín, esmalte anticorrosivo y capacidad para 3Tr.
Enfriador Evaporativo	Sistema adaptado de ventilación con agua, aprovechando su mecanismo de enfriamiento con paneles de celulosa y salida de aire frió.
Torre de Enfriamiento a la Medida	Torre de enfriamiento de formato compacto que pueda operar entre temperaturas de (35°C ∼+50°C) y capacidad de 3Tr.

Tabla 6.13: alternativas del sistemas de enfriamiento de agua.



Figura 6.48: Radiador de Automóvil.[20]

La propuesta de un radiador de vehículo, ver Fig 6.48 como sistema de enfriamiento para ayudar a condensar agua es factible debido a su capacidad para disipar calor de manera eficiente. Los radiadores están diseñados para enfriar el agua del motor mediante la transferencia de calor al aire que pasa a través de sus aletas, lo que disminuye la temperatura del agua. Este mismo principio puede aplicarse para condensar vapor de agua, ya que al reducir la temperatura del vapor a través del radiador, se puede facilitar su cambio de fase a líquido. Además, son sistemas compactos, fáciles de implementar y económicos.



Figura 6.49: Serpentín para AA de 3TR. [10]

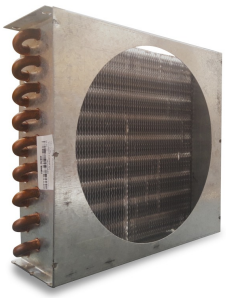


Figura 6.50: Condensador para AA de 3TR. [10]

Se presentó la propuesta de un serpentín, ver Fig 6.49 y un condensador tipo serpentín, ver Fig 6.50 el cual tiene

un diseño mas complejo para sistemas de aire acondicionado como método auxiliar de enfriamiento de agua con el fin de ayudar a condensar vapor, su eficacia reside en que los serpentines están diseñados para transferir calor de un fluido caliente (como el vapor) al aire frío. Al pasar vapor de agua a través del serpentín, el calor se transfiere al aire circundante, lo que reduce la temperatura del vapor hasta que se condensa en agua líquida. Además, estos sistemas al igual que el radiador son compactos y eficientes, sin mencionar que pueden integrarse fácilmente como sistemas de enfriamiento secundarios.



Figura 6.51: Enfriador Evaporativo desmantelado.[33]



Figura 6.52: Panel de celulosa.[33]

La propuesta del enfriador evaporativo consiste en utilizar un equipo de ventilación especial que remoja, a través de una bomba, un panel de celulosa (similar al cartón) como se muestra en la Fig 6.51 y la Fig 6.52. El sistema hace circular aire a través del panel humedecido, lo que provoca la evaporación del agua en el aire. Este proceso de evaporación extrae calor del aire, enfriándolo de manera natural y eficiente. El aire enfriado luego es distribuido al ambiente, reduciendo la temperatura sin necesidad de utilizar refrigerantes ni compresores. Ahora bien, si se hace circular aire si no agua caliente a través de un tubo en forma de serpentín que transporte agua caliente, perfectamente se podría acelerar el proceso de condensación del vapor, cumpliendo con la función del diseño.



Figura 6.53: Torre de Enfriamiento casera.[37]

La propuesta final consiste en la torre de enfriamiento ilustrada por un modelo básico en la Fig 6.53, rudimentario y construido de manera casera, el objetivo de esto es que se aprovechen elementos reciclados y de bajo costo para fabricar un sistema de enfriamiento eficiente que pueda cumplir la función de bajar la temperatura del líquido que circula a través del sistema e interactúa con el condensador de carcasa tubos, otro motivo por el cual se propone fabricar una torre de enfriamiento casera es que se pueda manejar un caudal de enfriamiento pequeño para cumplir con los requerimientos calculados y necesarios para condensar el vapor que sale de la turbina e ingresa a la sección

de condensado.

6.2.5. Cantidad de la combustible necesario para evaporar el agua requerida

Debido a los altos costos de los combustibles líquidos, se realizó una modificación del sistema de combustión y permitió adaptar la operación a combustibles con mejores prestaciones como por ejemplo gas natural y gas propano, en la siguiente sección se explicará como se realizó el cálculo para la cantidad de gas combustibles requeridos para pasar de agua a vapor de acuerdo a la ecuación 6.37.

$$H_2O \xrightarrow{Q_S} H_2O_{(Liquido)} \xrightarrow{Q_L} H_2O_{(Vapor)} \tag{6.37}$$

Los datos que tomaremos son lo siguientes: cantidad de agua a evaporar (H_2O)=157 kg; T_1=25°C, T_2=100°C y el ΔH_{Evap} es la entalpía de vaporización del agua obtenida de la fuente científica [36]. Ahora bien calor total requerido para evaporar un kilogramo de agua se expresa según lo indicado en la ecuación 6.38 la cual se puede reescribir como se ilustra en la ecuación 6.39:

$$q_T = q_S + q_L \tag{6.38}$$

$$q_L = \Delta H_{Evap} = 2260\frac{kJ}{kg} \tag{6.39}$$

Definimos el delta de temperatura como: Véase Eq 6.40

$$\Delta T = 100^o\text{C} - 25^o\text{C} = 75^o\text{C} \tag{6.40}$$

Siendo este el calor requerido para elevar la temperatura del agua 75°C se puede describir como: Véase Eq 6.41:

$$q_S = \Delta H_{Sensible} = \Delta T * Cp_{H_2O} = 313,8\frac{kJ}{kg} \tag{6.41}$$

Donde el Cp del agua es igual a: Véase Eq 6.42 y Eq 6.43

$$Cp_{H_2O} = 75,38\frac{J}{mol * K} = 4184\frac{J}{kg * K} = 4184\frac{J}{kg *^o \text{C}} \tag{6.42}$$

$$q_{total} = \Delta H_{total} = \Delta H_{Evap} + \Delta H_{Sensible} = 2573,8\frac{kJ}{Kg} \tag{6.43}$$

Ahora se selecciona 1 hora como tiempo de observación, significa que se necesitó calentar y evaporar 157 kg (donde este valor es el flujo másico seleccionado para 1 hora de operación) de agua y se procede a determinar la cantidad de combustible necesario para su evaporación por medio del análisis dimensional como se desarrolla en la siguiente ecuación 6.44:

$$W_{Propano} = 157Kg_{H_2O} * 2573,8\frac{kJ}{Kg_{H_2O}} * \frac{1Kg_{Propano}}{50327,0kJ} = 8,03Kg_{Propano} \tag{6.44}$$

Donde $157kg_{H_2O}$ es la cantidad de agua a evaporar, el valor de 2573,8 $\frac{kJ}{Kg_{H_2O}}$ es la energía requerida para evaporar la cantidad de agua mencionada y la fracción 50327,0 kJ representa la entalpía de combustión del gas propano, luego se evaluo el siguiente caso donde se tomó el metano como referencia, puesto que en diferentes fuentes la composición del gas natural esta conformada en su mayoría por este gas, por lo tanto el análisis se realizó con el valor de la entalpía de combustión del gas metano, como se ilustra a continuación en la ecuación 6.45:

$$W_{Metano} = 157Kg_{H_2O} * 2573,8\frac{kJ}{Kg_{H_2O}} * \frac{1Kg_{Metano}}{55521,4kJ} = 7,3Kg_{Metano} \tag{6.45}$$

En la tabla 6.14 se resumen los valores y constantes utilizadas en las ecuaciones del calculo de cantidad de combustible.

Evaporación de agua y Consumo de Gas natural (Metano)/Propano		
$\Delta H_{propano}$	Entalpia de combustion del propano	50327,0 kJ/kg
ΔH_{metano}	Entalpia de combustion del metano	55521,4 kJ/kg
Cp_{agua}	Calor especifico del agua a presion Cte.	4184 J/Kg*°C
ΔH_{vap}	Entalpia de vaporizacion del agua	2260 kJ/Kg
ΔT	Cambio de temperatura	75°C
$q_{sensible}$	Calor requerido para elevar la temperatura en 75°C	313,8 kJ/Kg
q_{total}	Calor total requerido para evaporar un kg de agua	2573,8 kJ/kg
$\dot{m}_{h_2o}$	Flujo (masico) de agua	157 Kg/h

Tabla 6.14: Valores y constantes utilizadas en el calculo de gas. [21][22]

COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL DOMICILIARIO					
Componente	**Formula**	**% Molar**	**Peso Molecular**	**Masa**	**%p/p**
Metano	CH_4	97.933	16.042	1571.104	96.017
Nitrógeno	N_2	1.474	28.013 [23]	41.317	2.525
Dióxido de Carbono	CO_2	0.221	44.009 [24]	9.765	0.596
Etano	C_2H_6	0.258	30.069 [25]	7.772	0.475
Propano	C_3H_8	0.053	44.095 [21]	2.367	0.144
n-Butano	C_4H_{10}	0.008	58.122 [26]	0.488	0.029
i-Butano	C_4H_{10}	0.021	58.122 [27]	1.267	0.077
i-Pentano	C_5H_{12}	0.007	72.15 [28]	0.548	0.033
n-Pentano	C_5H_{12}	0.001	72.15 [29]	0.129	0.007
n-Hexano	C_6H_{14}	0.017	86.18 [30]	1.508	0.092
Total		100		1636.269	100

Tabla 6.15: Datos técnicos del gas natural.

A continuación se multiplicó el valor en kg por el factor de conversión para transformar los resultados de kg a libras, como se aprecia en la ecuación 6.46 y 6.47:

$$Librasdegaspropano = 8,03kg_{propano} * 2{,}21 = 18lb \tag{6.46}$$

De gas propano y

$$Librasdegasmetano = 7,30kg_{metano} * 2{,}21 = 16lb \tag{6.47}$$

De gas metano, tomado como gas natural.

Sin embargo se realizo un desarrollo adicional para el gas natural con el fin de sustentar la implementación del gas metano como natural en los cálculos realizados para la cantidad de combustible. Dado que la composición del gas natural no es exclusivamente metano y a nivel comercial es suministrado en m3/h, se requirió calcular el porcentaje peso a peso (%P/P) del metano el cual fue 96.0175 %, estos datos se muestran en la Tabla 1. Adicionalmente, se halló que la densidad reportada para dicha composición es 0.689883 kg/m3. Véase en la tabla 6.15 [18]

Caso del gas natural, donde C_{gas} es el consumo en m^3_{gas} ilustrado por la ecuación 6.48:

$$C_{gas} = \frac{157kg_{agua}}{h} * 2573{,}8\frac{kJ}{kg_{agua}} * \frac{1kg_{metano}}{55521{,}4kJ} * \frac{1m^3_{gas}}{0{,}689883kg_{gas}} = \frac{10{,}987m^3_{gas}}{h} \tag{6.48}$$

6.2.6. Variación de combustible y costo por su operación

De acuerdo a los cálculos anteriores se prepararon la tabla 6.16 y la tabla 6.17 donde se pudo apreciar la cantidad de combustible necesario para la operación y el costo de cada uno. En el caso del gas metano (tomado como gas natural), la cantidad asignada en la tabla representa cuanto gas natural se consumirá por hora y la cantidad y el costo ilustrado en la tabla correspondientes al gas propano es el disponible comercialmente por cilindro, a pesar de haber calculado un consumo por hora de 18 Lb/h.

Gas	Cantidad	Costo [COP]
Gas Natural	11 m^3/h	6000

Tabla 6.16: Gas natural requerido.

Gas	Cantidad	Costo [COP]
Gas Propano	100 lb	298,900

Tabla 6.17: Gas propano requerido.

Se seleccionó el cilindro de mayor tamaño disponible del proveedor, ya que permitiría realizar tres prácticas considerando un tiempo de uso de dos horas. Sin embargo, es necesario contemplar el tiempo de preparación y ajuste hasta alcanzar un estado de funcionamiento estable, lo que reduciría el número de prácticas a dos con un cilindro de 100 libras. Es importante mencionar que para la adquisición del gas propano se requiere un cilindro de almacenamiento, cuyo costo es de $457,800 COP$, optimizando la logística para futuras prácticas de laboratorio.
El valor presentado en la Fig 6.54 fue tomado de los valores comerciales disponibles en la pagina de la empresa gases de occidente (GDO) para el año 2024 como se ilustra en el siguiente formato:

8. Los cargos de distribución y las tarifas a usuarios regulados según la Resolución CREG 137 de 2013 son:

Usuarios Regulados	Rangos	Rangos de Consumo		CUv m,i,j	D m,i,j
		Inicial	Final	$/m3	$/m3
Residencial	Rango 1	0	En Adelante	2,964.54	856.69
Comercial	Rango 1	0	5,000	2,756.86	649.00
	Rango 2	5,001	En Adelante	2,746.86	639.00
Industrial Manufactura	Rango 1	0	5,000	2,603.86	496.00
	Rango 2	5,001	15,000	2,594.86	487.00
	Rango 3	15,001	30,000	2,522.86	415.00
	Rango 4	30,001	40,000	2,508.86	401.00
	Rango 5	40,001	50,000	2,494.86	387.00
	Rango 6	50,001	75,000	2,485.86	378.00
Industrial Otros	Rango 1	0	5,000	2,641.86	534.00
	Rango 2	5,001	15,000	2,633.86	526.00
	Rango 3	15,001	30,000	2,604.86	497.00
	Rango 4	30,001	40,000	2,559.86	452.00
	Rango 5	40,001	50,000	2,547.86	440.00
	Rango 6	50,001	75,000	2,536.86	429.00

Figura 6.54: Tabla de precios según GDO.[16]

Donde la designación los Rangos de consumo se miden en m^3 y $CUv_{m,i,j}$ corresponde a los usuarios residenciales y la designación $D_{m,i,j}$ corresponde a los usuarios no residenciales. De acuerdo a la tabla tomada de la página de GDO, la cantidad gas natural de 11 m^3/h nos posicionaría en el rango 2 de usuarios del área industrial y entre los rangos de consumo de 5 a 15 m^3 por lo tanto el costo por trabajar 1 hora sería de aproximadamente $6000.

6.2.7. Localización propuesta del nuevo quemador de gas

Debido al cambio de tipo de combustible en la nueva caldera se propuso un quemador de combustible para gas natural y gas propano, el cual se encargará de proporcionar el calor necesario para la evaporación del agua requerida en la operación de la planta termo-eléctrica. A continuación se presentará una ilustración aproximada del quemador y la instalación en la nueva caldera. Véase Fig 6.55, Fig 6.56, Fig 6.57 y en el anexo A.1 se detalló mejor su posición presentada en diferentes vistas.

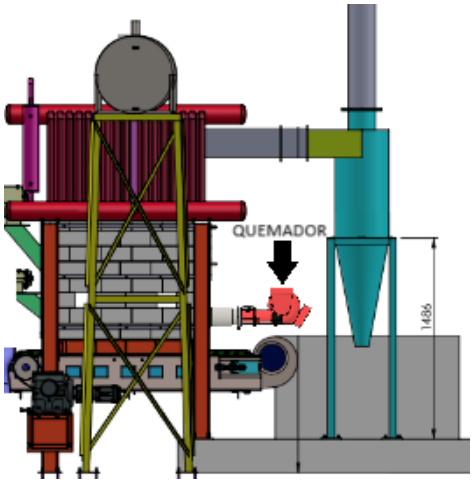


Figura 6.55: Localización del quemador en la caldera.[32]

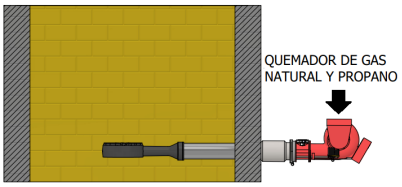


Figura 6.56: Vista en sección del montaje del quemador. Autor

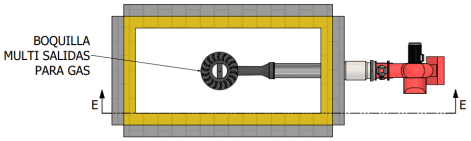


Figura 6.57: Acople del quemador a la boquilla. Autor

La localización del quemador fue propuesta específicamente en ese punto debido a la existencia previa de otros equipos como tolvas de ingreso a otros tipos de combustibles solidos, con el fin de no obstaculizar estos sistemas y aprovechar el espacio, se creo el montaje presentado. Cabe aclarar que de ser necesario se puede reducir la longitud el acople entre el quemador y la boquilla múltiple de llama para agregar mas boquillas y distribuir uniformemente la salida de fuego en el hogar.La representación anterior es una propuesta inicial y debe ser tenido en cuenta con el objetivo de dejar vía libre a futuros cambios en la propuesta y mejoras.

6.2.8. Tablero eléctrico

Tras el análisis realizado del tablero de control, se tomaron las medidas del tablero original presentadas en la Fig 6.58 y se preparó el listado de componentes que conformaban el tablero eléctrico, finalmente se cotizó el montaje del tablero y la instalación los componentes actuales equivalentes a los requeridos en el sistema eléctrico original, además de reajustar el tamaño del nuevo tablero para optimizar el espacio como se puede apreciar en la Fig 6.59, quedando a decisión del encargado del proyecto las dimensiones que convengan más para los elementos electrónicos, para la segunda alternativa donde se modifica el tamaño también se realizó la respectiva cotización presentada en los anexos.



Figura 6.58: Medidas del tablero eléctrico original.

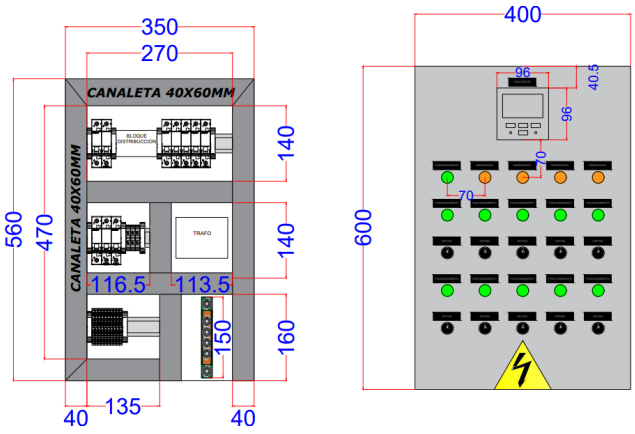


Figura 6.59: Prediseño del tablero eléctrico actualizado.

6.2.9. Quemador

Se propuso un quemador ilustrado en la Fig 6.60 con capacidad de trabajar con gas propano y gas natural, conveniente para el sistema propuesto en la etapa de rediseño, es un sistema fabricado para para cámaras de combustión pequeñas de la marca *ExhibirEquipos* y cuenta con las siguientes características ilustradas en la tabla 6.18:

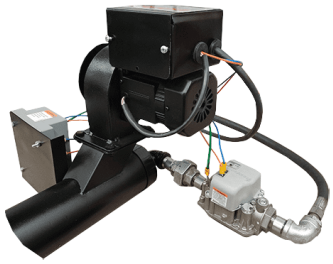


Figura 6.60: Quemador de gas.

kW	5.86-23.44 kW
Controles de ignición	HoneyWell
Diámetro (s) del tubo de aire	3”
Eléctrico (Voltaje)	120V
Eléctrico (Hertz)	60Hz
Conexión de entrada de gas	1/2” NPT o 3/4” NPT
Presión de gas requerida	GAS natural - 1/2 Libra PSI - 11.0” WC
Válvula de gas	24 V
Entrada máx de kW	23.44 kW
Entrada de kW mín	5.86 kW
Opción de modulación disponible	SI
Disponibilidad On/Off	SI
Altura total	11.42”
Ancho promedio	12.18”
Longitud total	6.39”

Tabla 6.18: Ficha técnica del Quemador. [6]

6.3. Diseño de la guarda de seguridad para la caldera

Durante la adaptación del combustor instalado en el laboratorio de potencia en el edificio 344A para suplir la función de caldera, que proporcionará el vapor necesario a la turbina se tomó en cuenta una medida de protección extra en la sección por donde fluye el vapor, la estructura consta de un armazón protector de 3 capas; dos de aluminio y una de un aislante térmico que protegería a los usuarios de cualquier fuga de vapor. La guarda protectora esta ilustrada a continuación en la Fig 6.61 y se detalló mejor en el anexo A.2:

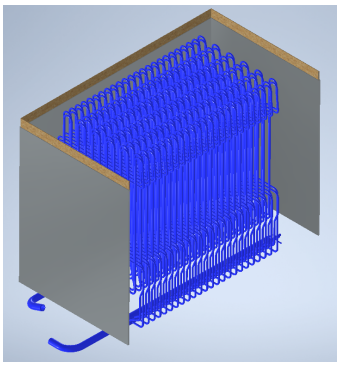


Figura 6.61: Vista seccionada de la guarda de seguridad.

6.4. Restauración de componentes disponibles del montaje original

En esta sección se abordo el proceso de recuperación y re-acondicionamiento de los componentes aún disponibles del montaje original. Se detallaron las inspecciones propuestas por los técnicos consultados para evaluar el estado estructural y funcional de cada elemento que componen el generador, turbina y estructura, identificando aquellos que pueden ser reutilizados sin comprometer la seguridad y eficiencia del sistema.

6.4.1. Turbina y generador

Se realizó una inspección propia del generador y la turbina de vapor donde se evaluaron los siguientes aspectos; la facilidad del movimiento del eje que conectaba a ambos elementos, el avance del óxido en ambos elementos, el estado del cableado del generador, fugas de aceite en el medidor de lubricación y finalmente una inspección muy superficial de los alabes de la turbina. A pesar de los procedimientos mencionados, estos no otorgaron información suficiente para asegurar la puesta en marcha de la planta sin poner en riesgo los operadores y el sistema en cuestión, por lo tanto se realizo una visita y consultoría con una empresa especializada en el mantenimiento y restauración de turbinas de vapor y generadores eléctricos, los especialistas entregaron un listado de estudios a realizar en los equipos y la cotización que permitiría llevar a iniciar con el proyecto de reparación y entrega en estado óptimo de estos equipos. A continuación se presentan los procedimientos de mantenimiento propuestos por los especialistas:

6.4.1.1. Generador

- Se realizan pruebas de aislamiento.
- Pruebas de impulso hipot y surge.
- Pruebas de inductancia,
- Pruebas de resistencia baja (Kelvin a 4 hilos).
- Balanceo dinámico del rotor en banco.

6.4.1.2. Turbina

- Se realiza limpieza (Sandblasting).
- Pruebas no destructivas (Tintas penetrantes).
- Balanceo dinámico en banco.
- Desmontaje y montaje.

6.4.2. Estructura

Aunque la inspección realizada en toda la superficie de la estructura martillando secciones que parecían afectadas por el oxido, el resultado fue positivo debido al buen estado en que se encontró el armazón, se deben realizar labores de limpieza, remoción de pintura antigua, remoción de oxido en las partes afectadas, la reparación del sistema de ruedas que permitían el desplazamiento de la estructura, la replicación de las pinturas protectoras contra el oxido y finalmente la preparación de la estructura para el acople e instalación de todos los componentes que deben ir asegurados en sus espacios asignados. Ver Fig 6.62



Figura 6.62: Estructura de la sección de potencia

6.5. Protocolo de seguridad y control

En la siguiente sección se abordaron los mecanismos de seguridad con los que contaba el laboratorio, se presentaron homólogos de nueva generación que garantizan mecanizamos de protección para los operadores.

6.5.1. indicador de nivel McDonnell-Miller

El sistema contaba con un control de nivel McDonnell que cumplía la tarea de hacer control sobre el quemador cuando censaba bajo nivel y también para alto y bajo nivel de la bomba de alimentación como se puede apreciar en la siguiente Fig 6.63 junto a la respectiva tabla 6.19 de características.



Figura 6.63: Control de Nivel McDonnell-Miller[34]

CARACTERISTICAS CONTROL DE NIVEL	
Control de nivel de agua para caldera tipo pierna, para bajo nivel de agua, con tomas para llaves de purga.	
Presion máxima	150 psi (10,5 kg/cm)
Especificación de circuito de bomba para 120V AC	
Corriente max	7.4 Amp
Rotor bloqueado	44.4 Amp
Peso	18 kg
Especificación de circuito de bomba para 240V AC	
Corriente max	3.7 Amp
Rotor bloqueado	22,2 Amp
Capacidad de prueba	345 VA a 120 o 240VCA

Tabla 6.19: Características del control de nivel. [34]

6.5.2. Válvula de seguridad

Una válvula de bola permitía a los operarios controlar el flujo de vapor, por lo que se cotizo una versión actualizada y se selecciono una válvula Apollo 7650314A la cual se utiliza para abrir, cerrar u obstruir parcialmente el paso dentro de la tubería. Es ideal para aplicaciones industriales, incluidos sistemas de plomería, plantas de tratamiento de agua, tuberías de vapor y sistemas HVAC. Ver fig 6.64 y Tabla 6.20



Figura 6.64: Válvula para control de flujo de diversos fluidos

CARACTERÍSTICAS VÁLVULA DE SEGURIDAD	
Material	Acero Inoxidable 316
Tipo de conector	NPTxNPT(hembra)
Estructura de válvula	2 piezas
Tamaño	3/4”
Presión max	2000 psi
Temperatura máxima	-45°C a 260°C

Tabla 6.20: Ficha de datos de la válvula de seguridad[35]

6.5.3. Control de presión

Además poseía un control de presión de tipo caratula el cual cumplía la función de hacer control sobre una medida baja o alta de presión en el quemador, sin embargo el sistema cotizado actualmente incluye controles de ignición y un mecanismo de seguridad Honeywell, por lo que solo se ilustro para tener en cuenta sistema de control en cuestión y sus características presentados en la fig 6.65 y la tabla 6.21:



Figura 6.65: válvula de gas Honeywell VR8345M-4302.

CARACTERISTICAS CONTROL DE PRESIÓN	
Material	Acero
Marca	Honeywell
Dimensiones del artículo LxWxH	5,75x3,25,x4,75 in
Número de puertos	2
Tamaño de conexion de salida	4,75 in
Tipo de válvula	Válvula de gas
Número de ID de comercio global	00085267780117
Fabricante	Honeywell
UPC	085267780117

Tabla 6.21: Ficha técnica de la válvula Honeywell.[8]

6.5.4. Gobernador

El gobernador instalado en el turbo-generador es del tipo centrifugo, acoplado al eje por medio de una reducción sin fin. Con la ayuda de una válvula de paso, en el conducto de entrada de de vapor de la turbina, el sistema regula la la velocidad de esta, con un porcentaje aproximado de entre el 6 y 8 % ilustrado en las fig 6.66 y 6.67[17]

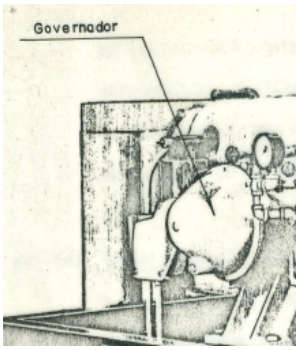


Figura 6.66: Gobernador del Turbo-generador.

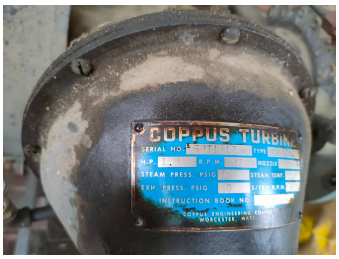


Figura 6.67: Gobernador disponible en el montaje.

6.6. Sistema de recalentamiento (opcional)

En el diseño original, el sistema contaba con una etapa de recalentamiento. No obstante, para este estudio, dicha etapa se considerará opcional, ya que su operación requiere el suministro de energía externa al sistema, lo cual incrementa los costos de operación. Actualmente, el sistema de recalentamiento ha sufrido un deterioro debido a la

exposición prolongada a condiciones ambientales adversas, como la radiación solar y el inadecuado almacenamiento. A pesar de ello, esta etapa no es crítica para la reactivación y operación de la planta termoeléctrica. A continuación, se detallan las características técnicas del sistema de recalentamiento en la tabla 6.22.

SÚPER CALENTADOR	
Alimentación	Eléctrica
Temp Max de operación	180°C
Presión Max de operación	75 PSIG
Potencia Max requerida	3915 w
Capacidad de secado	2 % de Humedad

Tabla 6.22: Parametros de operación del súper calentador.

Supercalentadores en su propuesta original. Ver Fig 6.68

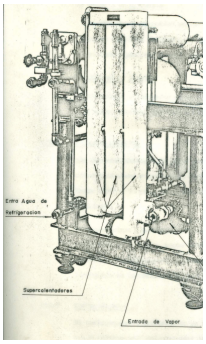


Figura 6.68: Localización de los supercalentadores.

6.7. Reubicación de planta de potencia

La reubicación de la planta térmica se propone en función de la incorporación de nuevos componentes al sistema, la recuperación y actualización de la instrumentación existente, y el acoplamiento de un combustor que será adaptado como caldera, utilizando así un equipo ya existente. La nueva ubicación ha sido seleccionada estratégicamente para ofrecer protección ante condiciones climáticas adversas y garantizar un entorno seguro, minimizando los riesgos asociados con la pérdida o el deterioro de los componentes recién adquiridos, los cuales presentan una mayor sensibilidad debido a su naturaleza técnica. A continuacion se ilustra el edificio donde se propone realizar el montaje de los equipos, ver figura 6.69 y en los anexos A.3 y A.4 se presentara un esquema preliminar que detalla la distribución estimada de los equipos instalados del combustor SENECA y el espacio con el que se cuenta para instalar el laboratorio Rankine WestingHouse.



Figura 6.69: Localización propuesta para el montaje de la planta Rankine Westinghouse.

7. Presupuesto

A continuación, se detalla el listado de componentes requeridos para la restauración de la planta termoeléctrica. Información adicional de componente, mano de obra y costos adicionales, se encuentra disponibles en las referencias y anexos. Ver Tabla 7.23

PRESUPUESTO PARA RESTAURAR LA SECCIÓN DE POTENCIA				
ITEM #	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VALOR (COP)	OBSERVACIONES
1	Medidor de caudal de gas	Mitchel Instruments, Model 1A257120i, Option RW3 (digital display flow/acumulado) 420 mA Output	$19.800.268	
2	Analizador de combustión	Bacharach Grainger Item # 3JYR7, O2, CO, NO, NO2, SO2, HC, Draft, T	$4.216.670	Kit de medición portatil.
3	Medidor de caudal de vapor	TLV ref: EF73, Size 25, Type Vortex,	$1.778.104	
4	Ejector o Bomba de chorro accionada por vapor	McMaster Carr ref: 4977K35	$2.431.626	
5	Condensador de Tubo y Coraza	McMaster Carr ref: 3586K44	$15.137.090	Opción #1 para el condensador, el precio del articulo ha sido incluido en el valor total del presupuesto.
6	Tanque Condensados	Tanque Barmesa | Hidroacumulador | Vertical | Metálico | 200 litros | Tanque 200 | 32010305	$2.495.000	
7	Bomba Principal Caldera	McMaster Carr ref: 43195K51, 2 GPM, 350 ft w, 1/3 HP	$4.192.680	
8	Caudalímetro de líquidos	qty 4 de 1/2"(0-18 GPM), + qty 1 de 3/4"(0-30 GPM) MITCHEL flow monitor+totalizer ref: 1L35500	$22.997.298	
9	Válvula reductora presión	90 kg/h steam, de 75 a 20 psi, TLV - cos-16- tamaño 15	$1.072.667	
10	Atemperador	FISHER DVI para tubería 1"	$6.667.500	
11	HTX aire-vapor o Condensador aire-vapor	WTC/WSC- 86, 86000 bTU/h, 89 lb/h, 358 ft2,1340 cfm, 1/8 HP, DT = 32 °C, 0.52 x 0.55 x 0.42 m.// Cod MacMaster: 3222K57	$9.762.335	Opción #2 para el condensador, no ha incluida en el valor total del presupuesto.
12	Controladores de flujo vapor	Controladores para carga de radiador	$466.725	
13	Trampas de vapor 1	qty 1, tipo trampa mecánica de flotador libre TLV, ref: JH7RH-P	$358.699	
14	Trampas de vapor 2	qty 1, tipo trampa termodinámica tipo disco TLV, ref: T46S	$563.970	
15	Trampas de vapor 3	qty 1, tipo trampa termostática TLV, ref: LV21	$807.130	
16	Trampas de vapor 4	qty 1, tipo trampa para vapor limpio TLV, ref: LV6-CE, tamaño 1/2"	$904.035	
17	Enfriador del agua del condensador	CONDENSADOR TUBO TUBO 3T Modelo: 3TRA/ SS-027G-C/0250GT-U	$1.264.706	
18	Bomba para agua de enfriamiento	McMaster Carr, cat: 99435K27, 24 GPM, 90 ft w, 2 HP.	$3.211.154	
19	Tubería vapor	1 pulgada, 60 metros// TUBO LI P 01" SCH40 SC A106/A53/API5L - 6.000 MTS, tubería modelo de gran diámetro, resistente a alta presión	$161.007	
20	Tubo asilante	Tubo de aislamiento térmico PPR de 1,8 M, tubo de goma de espuma de esponja para aire acondicionado, tubos exteriores impermeables	$21.000	
21	Tubería para agua de enfriamiento	Tubo Polipropilenoileno Agua Fría y Caliente + 1 pulg de diametro por 4 m de largo x 3 unidades	$590.700	
22	Acometida Eléctrica	150 m de cable, cable calibre 10	$1.125.000	
23	Breaker Totalizador	Breaker Industrial O Totalizador Trifásico De 32 A 125amp	$196.000	
24	Contactor	x4 contactores monofasicos de 25 amp Ref: Contactor 2510 25 Amp Bobina 110v O 220v	$196.000	
25	Tuberia Conduit	50m, Tubo Conduit 3/4 x 3m Propack 10und	$127.800	
26	Quemador a gas	Quemador a gas modelo: EXH80, Potencia Máxima: 80.000 BTU/hora, Combustible: Gas natural o propano	$2.449.000	
27	Aislante Termico	Isopac3 - Papel Fibra Ceramica Isothermal - Aislante 1100 C	$618.800	
28	Válvula Apollo	Material: Acero Inoxidable 316. Tipo de conector: NPT x NPT (hembra). Estructura de la válvula: 2 piezas. Tamaño: 3/4". Presión máxima: 2000 psi. Temperatura máxima: -45°C a 260°C.	$1.980.000	
29	Control de Nivel Mcdonnell	Presión máxima: 150psi Especificación de circuito de bomba para 120 VCA Máxima presión : 10,5 kg/cm (150 psi) Capacidad de prueba : 345 VA a 120 o 240 VCA Plena carga : 3,7 A	$15.290.000	

ACOMETIDA DE GAS				
30	Racor	Macho	$11.000	Materiales requeridos para la acometida de gas desde el suministro hasta la caldera y combustible. El costo de la mano de obra ha sido incluido en las cotizaciones anexas.
		Hembra	$14.000	
31	Racor de acople	Para paso de 1/2" a 3/4"	$15.000	
32	Manguera para acometida de gas	Amarilla 3/4" valor por Mt	$6.000	
		Amarilla 1/2" valor por Mt	$4.500	
33	Valvula de paso P-All-P	Medida de 3/4"	$33.000	
		Medida de 1/2"	$33.000	
34	Gas Natural	Cilindro de gas y 100 libras de contenido de gas propano	$756.700	
35	Gas Propano	Prestación del servicio de gas natural por 2 horas	$12.000	

TABLERO ELECTRICA				
36	Caja	Cajon doble fondo o cofre paranstalaciones eléctricas x1UN	$356.584	Materiales requeridos para la construcción del nuevo tablero eléctrico. Los costos de armado e instalación pueden apreciarse en las cotizaciones anexas.
37	Canaleta Ranurada	Canaleta Ranurada de 4 cm de ancho x2UN	$34.355	
38	Breaker 50A	Breaker de 50 Amp/3 fases a 220V o Totalizador de 50 Amp a 220V x1UN	$213.883	
39	Breaker 20A	Breaker para riel DIN de 20 Amp x4UN	$20.000	
40	Bornera	Bornera con fusible x2UN	$13.500	
41	Fusible	Fusible de 30 Amp x1UN	$6.300	
42	Riel	Riel para tablero electrico o riel Din de 2MTS x1UN	$10.259	
43	Cable	Cable de potencia 12 AWG de 50MTS x1UN	$2.651	
44	Pines para cable	Pines para Cable 12 AWG x10UN	$250	
45	Luces	Luces piloto color Verde x8UN	$52.896	
		Luces piloto color Rojo x8UN	$77.118	
46	Selector	Selectores de dos posiciones con piloto x11UN	$73.875	
47	Medidor (V-A)	Voltímetro y Amperímetro de medición directa, si solo hay de medición indirecta, incluir transformador	$32.000	

Tabla 7.23: Listado de componentes necesarios para la restauración de la planta termoeléctrica.

7.1. Presupuesto total para la restauración de la planta térmica Rankine WestingHouse

Tras la recopilación de los valores correspondientes a los diferentes rubros involucrados, se presenta una estimación detallada del costo total proyectado para la reubicación, restauración y puesta en operación de la planta eléctrica, destinada al curso de plantas térmicas Rankine Westinghouse. La evaluación incluye tanto los costos directos asociados con la restauración de los equipos ilustrados en la cotización en el apéndice B, los materiales y repuestos ilustrados en la tabla 7.23, los costos indirectos, tales como requerimientos logísticos de obra eléctrica ilustrados en el apéndice B, obra civil para la instalación de la acometida de gas natural ilustrados en el apéndice B.1, entre otros desarrollados en las cotizaciones consolidadas en la siguiente tabla 7.24.

PLANTA TÉRMICA UNIVERSIDAD DEL VALLE	
PRESUPUESTO TOTAL REQUERIDO PARA LA PUESTA EN MARCHA ANTES DE IVA:	$ 137.529.694

Tabla 7.24: Presupuesto total requerido para la reactivación de la planta térmica.

8. Conclusiones y Recomendaciones Para Futuros Proyectos

8.1. Conclusiones

El estudio muestra que hay una posibilidad de restaurar el laboratorio de plantas térmicas debido a la disponibilidad de recursos clave, como la estructura existente y el combustor SENECA, que servirá como generador de vapor. Sin embargo, el costo de restauración es un poco menor que la adquisición de un nuevo laboratorio, lo que hace que el proyecto económicamente no sea viable.

El análisis de eficiencia térmica revela que la planta opera con un ciclo de vapor relativamente ineficiente. No obstante, la implementación de mejoras, como un sistema de recalentamiento y la instalación de componentes actualizados que reemplacen los elementos faltantes, podría incrementar su rendimiento. Además, la documentación preparada para la operación del laboratorio proporcionará una fuente de información concreta para que futuros investigadores realicen mejoras o adaptaciones de manera más eficiente.

La estructura bien conservada ofrece beneficios estratégicos, reduciendo la complejidad de la instalación y los costos asociados con nuevas conexiones y materiales. Esto minimiza el tiempo de planificación del proceso de restauración; sin embargo, la incertidumbre de la operatividad del generador no desaparecerá hasta haber realizado por completo el proceso de restauración recomendado por el profesional consultado.

Se logró el prediseño de las instalaciones del laboratorio de plantas térmicas mediante la elaboración de bosquejos aproximados que ilustran las secciones civil, eléctrica y mecánica de las nuevas partes del sistema. Estos esquemas proporcionan una referencia visual y técnica en caso de ser implementado el proyecto, facilitando la planificación de la obra y la integración de los diferentes componentes en la restauración de la planta.

El presupuesto elaborado servirá como base para futuros trabajos en el laboratorio. Sin embargo, la cotización de materiales, mano de obra y equipos puede optimizarse a través del personal comercial de la escuela, lo que permitiría reducir el costo final del proyecto. Esto se debe a la posibilidad de acceder a proveedores y servicios vinculados a la universidad, lo que podría traducirse en descuentos y facilidades de pago.

Bibliografía

[1] Elżbieta Doluk Anna Rudawska Izabela Miturska-Barańska. "The Influence of Sandblasting Process Parameters of Aerospace Aluminium Alloy Sheets on Adhesive Joints Strength". En: *Department of Production Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology* (2021). URL: https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6626.

[2] Domingo Riggioni C. *ingenieria/Revista de la universidad de costa rica*. Universidad de Costa Rica, 1994.

[3] Yunus A. Cengel y Michael A. Boles. *TERMODINÁMICA Quinta edición*. 5.ª ed. McGRAW-HILL, 2006.

[4] Electric Machinery Committee. "IEEE Recommended Practice for Insulation Testing of AC Electric Machinery (2300 V and Above) With High Direct Voltage". En: *IEEE Power Engineering Society* (2002).

[5] Colmaquinas Soluciones de Vapor y Energía. *Calderas Pirotubulares Horizontal*. 2019. URL: https://colmaquinas.com/calderas-pirotubulares-horizontal/.

[6] Exhibir Equipos. *Quemador a gas Exhibir Equipos 80.000 BTU*. 2021. URL: https://exhibirequipos.com/producto/quemador-a-gas-exhibir-equipos-80-000-btu/.

[7] FLYABILITY. *What Is Dye Penetrant Testing?* Mayo de 2024. URL: https://www.flyability.com/blog/dye-penetrant#What_Is_Dye_Penetrant_Testing?.

[8] North America HVAC. *Honeywell VR8345M-4302 Universal 24 Vac con apertura estándar, válvula de gas de encendido intermitente/directo*. 2024. URL: https://www.viaindustrial.com/valvula-de-bola-apollo-7650401a-7650401a-apollo/pp/P186031/.

[9] Escuela de Ingenieria Mecánica. *Cotización "Overhaul de la Planta Térmica Piloto Univalle"*. Universidad del Valle, 2006.

[10] IPRPARTESYREPUESTOS. *Condensadores*. 2020. URL: https://iprpartesyrepuestos.com/categoria-producto/01refrigeracion/condensadores-y-rejillas-protectoras/.

[11] Kristoffer Torvik Jacob Beck. "SURGE TEST VALUES AND DIAGNOSTICS FOR ITIG II". En: *Electrom Instruments* (2016).

[12] inc Jhon Wiley & Sons. *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*. 1996.

[13] Peter E. Langan Jeffrey R. Jowett S. Graeme Thomson David O. Jones. "GUIA PARA PRUEBA DE BAJA RESISTENCIA". En: *Megger Pty Limited* (2004).

[14] electricity magnetism.org. *Analizador de impedancia Kelvin de 4 hilos*. 2024. URL: https://www.electricity-magnetism.org/es/analizador-de-impedancia-kelvin-de-4-hilos/.

[15] mcmaster. *Heat Exchanger*. 2024. URL: https://www.mcmaster.com/3586K44/.

[16] GASES DE OCCIDENTE. *Información tarifaria 2024*. 2024. URL: https://www.gdo.com.co/Paginas/informacion-tarifaria%E2%80%8B.aspx.

[17] Jairo Rojas P., Theodor Reis y Luis Eduardo Quintero. *PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA MECÁNICA*. 1.ª ed. Universidad del Valle, 1997.

[18] PROMIGAS. *COMPOSICIÓN DEL GAS VIGENTE*. 2024. URL: https://www.promigas.com/BEO/Paginas/ComposicionGasVigente.aspx.

[19] Taufiq Rochman Qomariah. "On the Review of Utilization of Sandblasting Waste in Concrete: Cracks Propagation and Sem Results". En: *Civil Engineering and Architecture* (2022).

[20] TODO SOBRE EL RADIADOR. *EfriadoresEvaporativos*. 2017. URL: https://fernandoagon.com/e-marketing/grt/agon/images/MA2018FA05326/Todo-sobre-Radiador.pdf.

[21] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C74986&Mask=1.

[22] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C74828&Mask=1#Thermo-Gas.

[23] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=7727-37-9.

[24] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=124-38-9.
[25] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C74840.
[26] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=106-97-8.
[27] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=75-28-5.
[28] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6556.
[29] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8003.
[30] NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS y THECNOLOGY U.S. DEPARTMENT OF COMERCE. *Libro del Web de Química del NIST, SRD 69*. 2023. URL: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8058.
[31] APT Power Technology. *Stator WindingDCHipotand DiagnosisTesting*. 2011. URL: https://apt-image.oss-cn-hongkong.aliyuncs.com/Stator%20Winding%20DC%20Hipot%20and%20Diagnosis%20Testing.pdf.
[32] EIDENAR-Universidad del Valle. *Manual de operación sistema de combustion continua RAC*. Universidad del valle, 2023.
[33] Johan Vasquez. *EfriadoresEvaporativos*. 2024. URL: https://epcmdecolombia.com/.
[34] Viaindustrial. *control de nivel mcdonnell 157S mcdonnell-y-miller*. 2024. URL: https://www.viaindustrial.com/control-de-nivel-mcdonnell-157s-mcdonnell-y-miller/pp/P195411/?gad_source=1.
[35] Viaindustrial. *válvula de bola apollo 7650401a 7650401A apollo*. 2024. URL: https://www.viaindustrial.com/valvula-de-bola-apollo-7650401a-7650401a-apollo/pp/P186031/.
[36] UMESH K. HARITASHYA VIJAY P. SINGH PRATAP SINGH. *ENCYCLOPEDIA OF SNOW, ICE AND GLACIERS*. Springer, 2011. URL: Datt,P.LatentHeatofVaporization/Condensation.InEncyclopediaofSnow,IceandGlaciers;Singh,V.P.,Singh,P.,Haritashya,U.K.,Eds.;SpringerNetherlands:Dordrecht,2011;pp703âĂŞ703.https://doi.org/10.1007/978-90-481-2642-2_327.
[37] YAIRPIÑA. *Torre de enfriamiento*. 2022. URL: https://www.youtube.com/watch?v=C--9DvnLVAQ.
[38] YUNUS A. ÇENGEL y AFSHIN J. GHAJAR. *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA Cuarta edición*. 4.ª ed. McGRAW-HILL, 2011.

Apéndice A

Guía de laboratorio y Planos en Detalle.

A.1. Apéndice 1: Guía de laboratorio propuesta.

Después de completar el estudio de factibilidad, se elaboró una guía de laboratorio destinada a proporcionar la información necesaria para que los responsables puedan incorporar y reactivar la práctica en el plan de estudios. La guía incluye el método de operación de la caldera y la turbina, las medidas de seguridad, y las variables que deben medirse y monitorizarse. Para acceder a este documento, consulte el siguiente enlace:

https://drive.google.com/drive/folders/1a-bHU1pZfiTQnJFTCHnQQn2MW85dBBO7?usp=sharing

A.2. Plano de la localización propuesta para el quemador

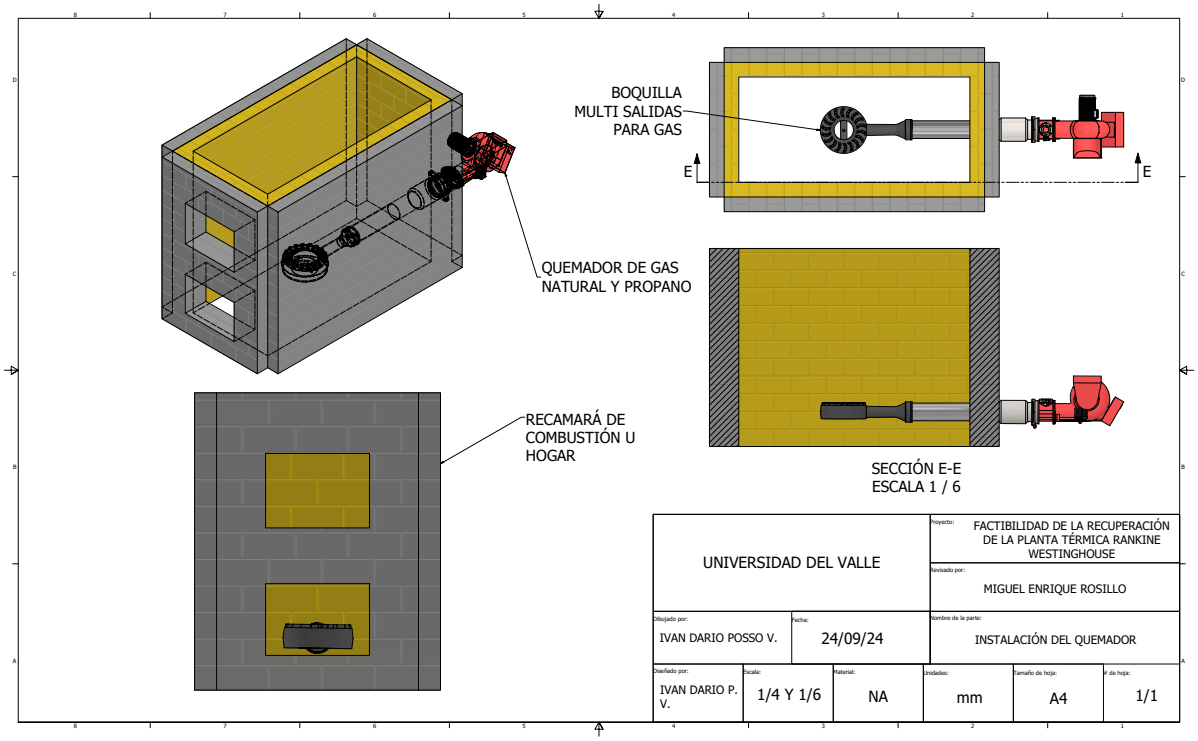


Figura A.1: Bosquejo de planos propuestos.

A.3. Diseño preliminar de la cubierta protectora para la sección acuotubular del combustor SENECA

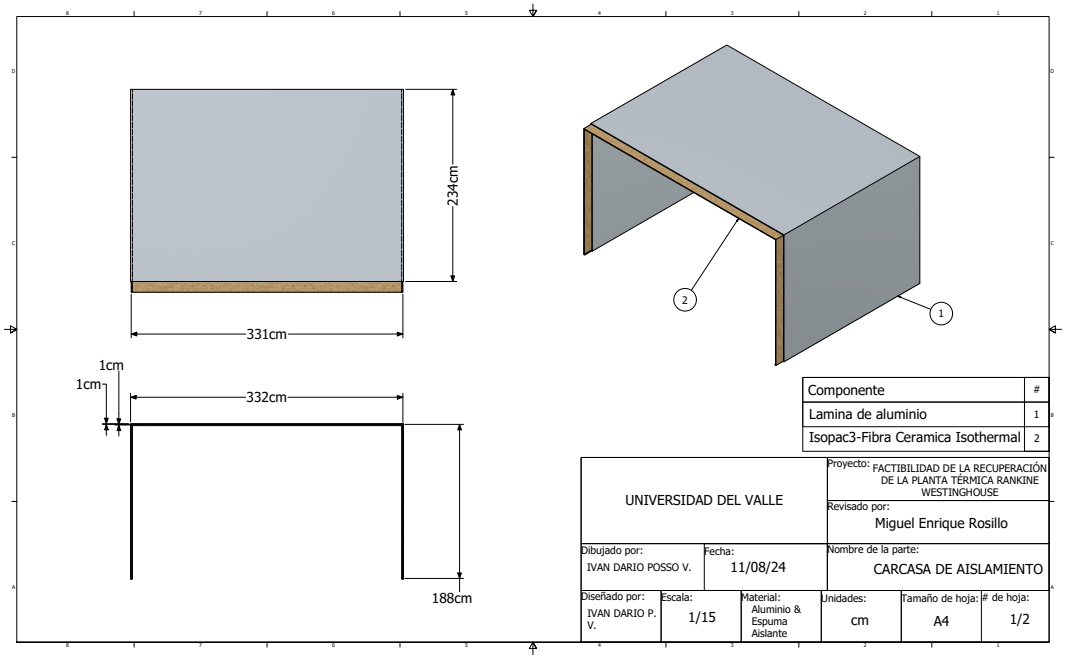


Figura A.2: Cubierta protectora.

A.4. Bosquejo del recinto donde se instalará el laboratorio de plantas térmicas y dimensiones de los equipos ilustrados por cubicación

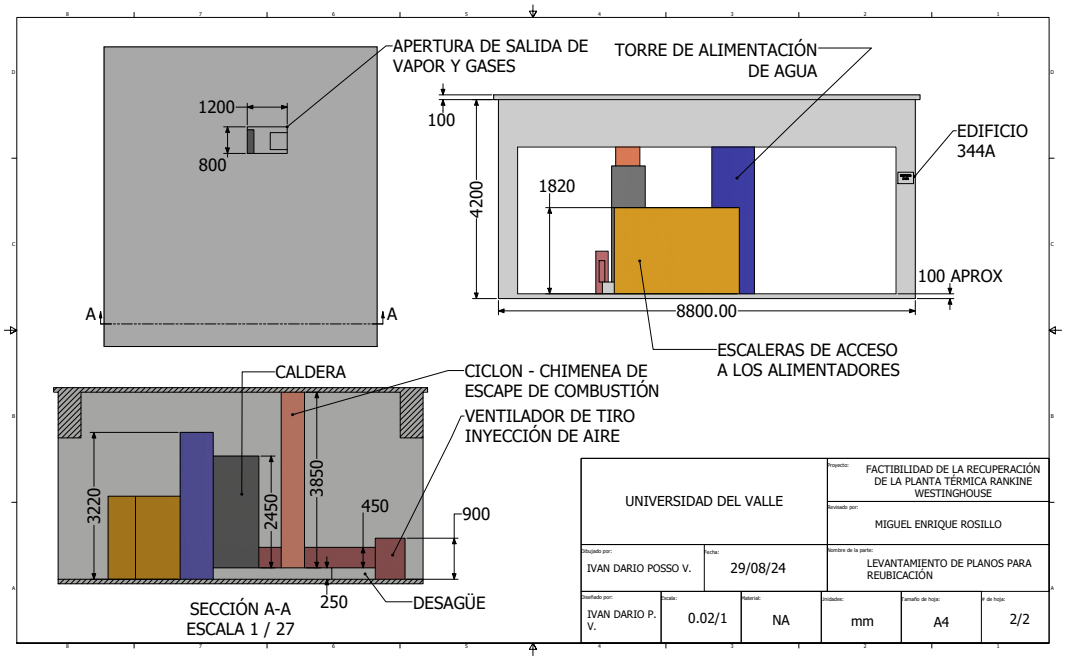
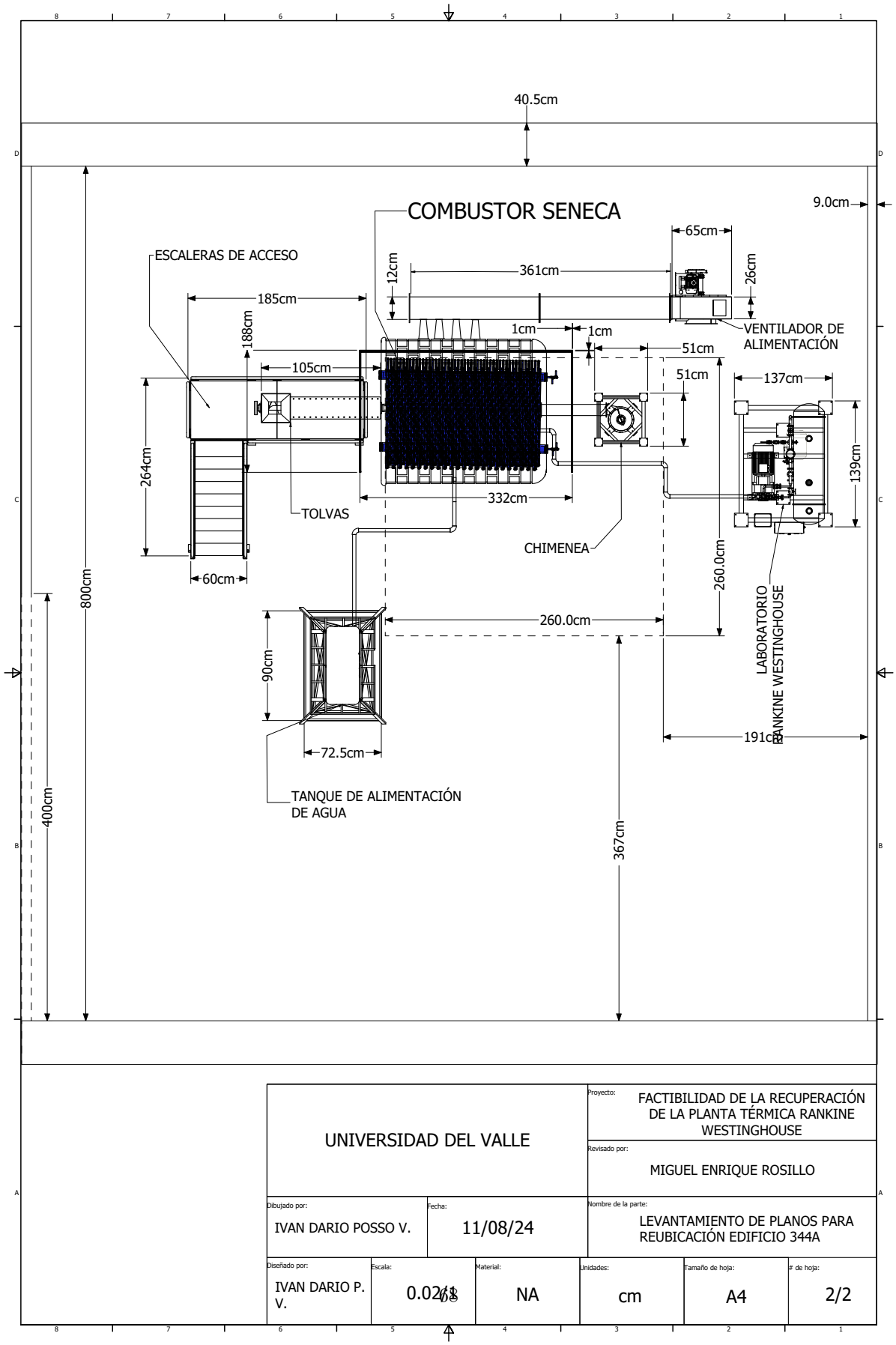


Figura A.3: Ubicación propuesta plano civil.

A.5. Bosquejo del plano civil para el recinto donde se instalará el laboratorio de plantas térmicas



UNIVERSIDAD DEL VALLE				Proyecto: FACTIBILIDAD DE LA RECUPERACIÓN DE LA PLANTA TÉRMICA RANKINE WESTINGHOUSE		
				Revisado por: MIGUEL ENRIQUE ROSILLO		
Dibujado por: IVAN DARIO POSSO V.	Fecha: 11/08/24			Nombre de la parte: LEVANTAMIENTO DE PLANOS PARA REUBICACIÓN EDIFICIO 344A		
Diseñado por: IVAN DARIO P. V.	Escala: 0.02	Material: NA	Unidades: cm	Tamaño de hoja: A4	# de hoja: 2/2	

A.6. Planta proporcionada por el grupo de investigación de combustión

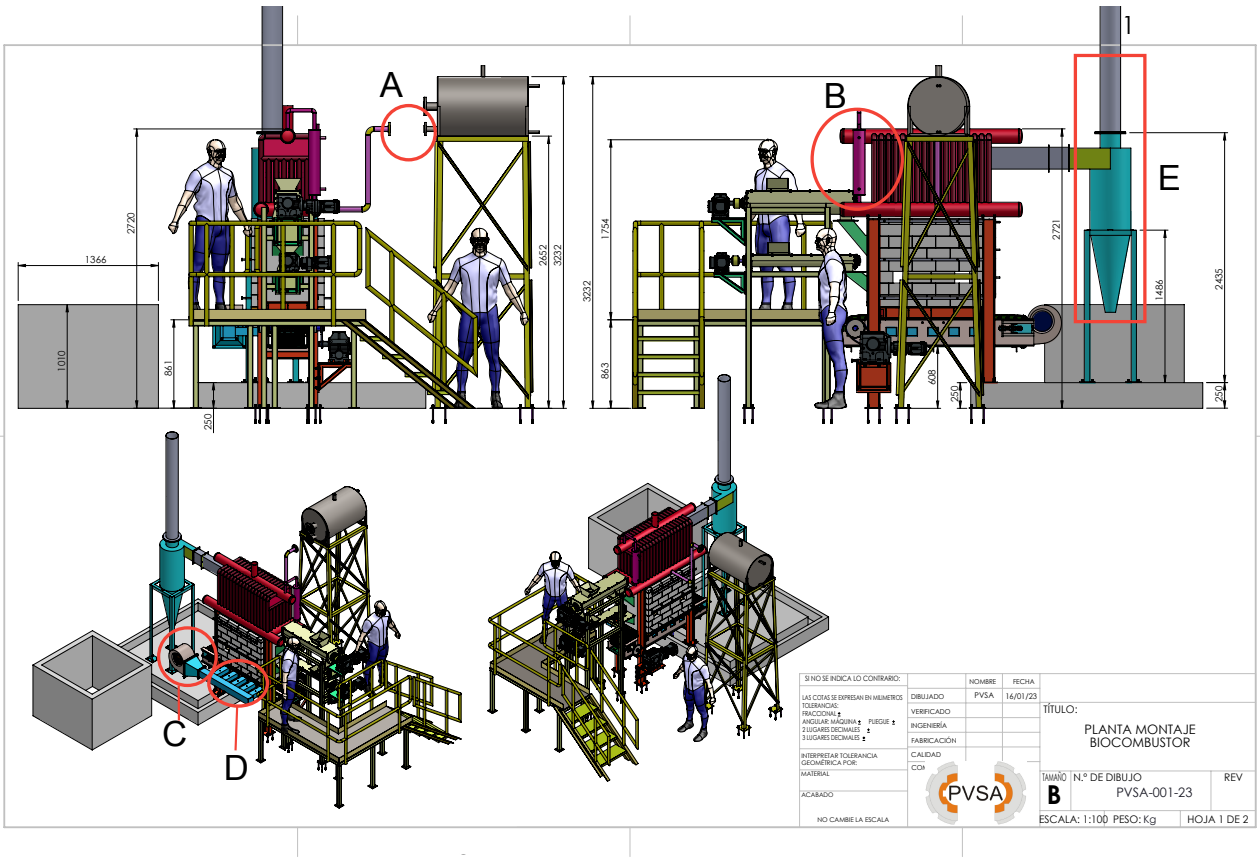


Figura A.5: Combustor SENECA

Apéndice B

Cotizaciones

Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario [COP]	Valor parcial [COP]
	Materiales			
m³	Arena con granulometría de 0 a 5 mm de diámetro, limpia.	6,0	$ 35.858,00	$ 215.148,00
m	Acometida de manguera amarilla para gas, de 3/4", con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	75,0	$ 6.000,00	$ 450.000,00
m³	Cemento simple f'c=210 kg/cm² (21 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 19 mm, manejabilidad plástica, fabricado en planta, según NSR-10 y ACI 318.	5,7	$ 311.809,00	$ 1.788.536,42
Ud	Caja de inspección registrable de polipropileno, con fondo precortado, 30x30x30 cm, para instalaciones receptoras de gas.	1,0	$ 139.845,00	$ 139.845,00
Ud	Tapa de PVC, para cajas de inspección de gas de 30x30 cm, con cierre hermético al paso de los olores mefíticos.	1,0	$ 82.448,20	$ 82.448,20
Ud	Válvula de esfera P-ALL-P para conexion de gas de 3/4".	1,0	$ 33.000,00	$ 33.000,00
Ud	Racor Hembra para conexiones de gas	1,0	$ 14.000,00	$ 14.000,00
Ud	Racor Macho para conexiones de gas	1,0	$ 11.000,00	$ 11.000,00
Ud	Prueba de estanqueidad para instalación de gas.	1,0	$ 279.098,00	$ 279.098,00
		Subtotal materiales:		**$ 2.797.927,62**
	Equipo			
h	Martillo neumático.	48	$ 11.532,50	$ 553.560,00
		Subtotal equipo:		**$ 553.560,00**
	Mano de obra			
h	Oficial 1ª obra blanca.	96	$ 25.476,90	$ 2.445.782,40
h	Peón de obra blanca.	96	$ 18.348,80	$ 1.761.484,80
h	Oficial 1ª instalador de gas.	72	$ 26.179,20	$ 1.884.902,40
h	Ayudante instalador de gas.	72	$ 19.008,40	$ 1.368.604,80
		Subtotal mano de obra:		**$ 7.460.774,40**
	Herramienta menor			
%	Herramienta menor	4,0	$ 8.293.432,40	$ 331.737,30
		Costos directos (1+2+3+4):		$ 8.625.169,70

Figura B.1: Cotización obra civil y materiales para la acometida de gas.

BALANCEOS INDUSTRIALES SAS
"Brindamos Calidad en Servicios"

NIT: 900.729.966-4

Balanceo Dinámico en Banco y en Situ, Alineación Laser, Análisis de vibración Diseño y Fabricación de Ventiladores Industriales, Bandas Transportadoras, Estructuras Metálicas, Mantenimiento y Asesoría Técnica, Pruebas de Tintas, Ultrasonidos, Espesores.

Cali, mayo 8 de 2.024

Señores
UNIVALLE
ATT. ESCUEKA DE INGENIERIA MECANICA

Referencia – BALANCEO DINAMICO. BI-2757

Cordial saludo
De acuerdo a la solicitud me permito cotizar el servicio de MANTENIMIENTO ELECTROMECANICO A GNERADOR DE 1 KW Y TURBINA A VAPOR.

ALCANCE DEL TRABAJO:

- AL GENERADOR, Se realizan pruebas de aislamiento, pruebas de impulso hipot y surge, pruebas de inductancia, pruebas de resistencia baja (kelvin a 4 hilos). Balanceo dianmico del rotor en banco. Según Norma ISO 1940, GC:1.
- Turbina, se realiza limpieza (sandblasting) y pruebas no destructivas (tintas), balanceo dinamico en banco según norma ISO 1940, GC:1.
- Desmontaje y montaje.

NOTA:
EL VALOR DE LA PROPUESTA SE PRESENTA BAJOS ESTOS ITEM DESCRITOS ANTERIORMENTE. SI EN ALGUNA DE LAS PRUEBAS A REALIZAR O REVISION DE LA TURBINA, SE CONCLUYE QUE DEBEN REALIZARSE REPARACIONES SE COTIZARA PREVIAMENTE.

VALOR DE LA PROPUESTA $9.850.000

(NUEVE MILLONES OCHCOCIENTOS CICNCUENTA MIL PESOS M/CTE) MAS IVA

Esperamos poderles servir con la mejor calidad y entera satisfacción.

Tiempo de entrega: 10 DIAS
Forma de pago: CONTADO

Cordialmente



_____
Ing. URBANO PEREZ BERMEO
Gerente.
Página: www.balanceosindustriales.com

Algunos de nuestros clientes a los cuales le hemos prestados SERVICIOS ESPECIALIZADOS DE BALANCEOS DIANMICO EN BANCO Y EN SITIO DE TRUBINAS A VAPOR, HIDRUALIXAS Y A GAS, son referencias importante de la calidad de nuestro trabajo.

- **ARGOS S.A DEL VALLE DEL CAUCA, ARGOS BARRANQUILLA, SMURFIT CARTON DE COLOMBIA, PROPAL PLANTA 1 Y 2, AMBIOCOM, INGENIO DE OCCIDENTE, INGENIO PROVIDENCIA, INGENIO MAYAGUEZ, INGENIO RISARALDA, INGENIO MARIALUISA, INGENIO CARMELITA, INGENIO SANCARLOS, INGENIO CASTILLA, INGENIO DEL CAUCA, INGENIO PICHICHI, INGENIO MANUELITA, INGENIO RIOPAILA, TELKA DE COLOMBIA, COLTEGER, THERMO VALLE, LADRILLERA MELENDEZ, PAYAN & CIA LTDA, BM INDUSTRIAS, CARTONES AMERICA, GRUPO TECNOQUIMICAS, GENFAR, FAREVA, ETC.**

5 Oferta Comercial

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT (COP)	VALOR TOTAL (COP)
1	Caldera de 15 BHP - 150 PSI con quemador para GAS NATURAL	1	$ 87,108,000	**$ 87,108,000**

ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT (COP)	VALOR TOTAL (COP)
2	Sistema de alimentación de agua y retorno de condensados	1	$ 12,072,000	$ 12,072,000
3	Suavizador Automático de Agua de14 pulgadas de diámetro x 65 pulgadas de longitud	1	$ 9,218,000	$ 9,218,000
4	Chimenea de 9.375 pulgadas de diámetro x 15 metros de longitud	1	$ 8,035,000	$ 8,035,000
			VALOR TOTAL (SIN IVA)	**$ 29,325,000**

A estos valores se le debe agregar el IVA vigente al momento de facturar, sobre el valor total.

Nota: No incluye descargue, izaje y posicionamiento de los equipos.

6 Plazo de entrega:

El plazo de entrega es de 90 días, a partir de la fecha de recibo de la confirmación del pedido y pago del anticipo para ser entregada en sus instalaciones

7 Forma de pago:

- Cincuenta por ciento (50%) del total de la orden de compra en calidad de anticipo.
- Cincuenta por ciento (50%) al aviso de despacho de los equipos

8 Validez de la oferta:

La presente oferta tiene validez por treinta (20) días calendario a partir de la fecha.

9 Condiciones técnicas:

- De ser necesaria cualquier modificación a nivel eléctrico, instrumentación que no estén en el alcance de esta oferta serán motivo de una oferta adicional.

10 Garantías:

- Sobre materiales o mano de obra de la caldera, incluyendo los controles (por defectos de fabricación): 12 meses a partir de fecha del despacho de los equipos de la planta.
- Sobre materiales o mano de obra del cuerpo de presión: 24 meses a partir del despacho de los equipos de la planta.

DE COLOMBIA
VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN INDUSTRIAL
EPCM DE COLOMBIA SAS
NIT 901.050.778-3
CALLE 25 # 122-00 LOTE 02 Autopista Cali-Jamundi
Tel: (602) 5214184
Cali - Colombia

COTIZACIÓN - EPCM-COT-2024

No. C-1-2145

Para :	Universidad del Valle
Nit :	890.399.010-6
Fecha :	2024-09-26

Elaborado por Siigo S.A.S Nit: 830.048.145-8

Cordial Saludo Sr(s):

Atendiendo su solicitud, nos permitimos enviar la siguiente cotización:

Ítem	Código	Nombre producto	Referencia	Descripción	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Bruto
1	RP04	KIT PANEL evaporativo	KTEVP	KIT PANEL evaporativo, caja unidadesx4 para enfriador EVAP Climabrisa I30	1.00	2,400,000.00	2,400,000.00

Total Bruto	2,400,000.00
Subtotal	2,400,000.00
Iva 19%	456,000.00
Total a Pagar	2,856,000.00

IMPORTANTE: CONDICIONES COMERCIALES, PEDIDOS Y DESPACHOS

1. GARANTÍA:1 año en equipos por defectos de fabrica. 3 meses en partes eléctricas. Sujeta a condiciones de la Política de Garantía(EPCM-PG-01 Política de Garantía) la cual podrá ser consultada en el siguiente link https://epcmdecolombia.com/politicadegarantia/

2. FORMA DE PAGO:100% contado anticipado. Favor enviar copia de la transacción al correo ventas@epcmdecolombia.com. Si realiza consignación fuera de la ciudad de Cali y realiza pago directamente en el banco o cajero, adicionar $25.000 pesos + el valor neto de la compra. Es una comisión nacional que cobra el banco, ya que nuestra cuenta se encuentra inscrita en Cali. Si realiza transferencia o hace el pago desde un PAC o corresponsal bancario no debe pagar comisión, aconsejamos esta opción de pago para quienes se encuentran fuera de Cali. Si después de efectuar su pago no desea continuar con la compra, haremos la devolución del dinero aplicando el valor total del pago realizado por concepto de impuestos y gastos bancarios y administrativos.

3. DISPONIBILIDAD: Equipos disponibles a la fecha de la presente cotización. Antes de realizar un pago verifique la disponibilidad nuevamente.

4.FLETE: NO INCLUYE FLETES. Por cuenta del cliente (opción de contra entrega)

5.ENTREGA/DESPACHOS: Toda entrega se realiza entre 2-3 dias tan pronto se ha confirmado el pago. Cuando se realiza el pago con cheque y/o transferencia bancaria, es necesario esperar que estos hagan canje y se refleje el dinero en la cuenta. Por favor enviar soporte de pago al correo info@epcmdecolombia.com. La entrega de los equipos se realiza en Nuestra Bodega, por lo cual es necesario que el cliente informe acerca de la recogida de los equipos ya sea con la transportadora de su preferencia ó transportador particular. EPCM DE COLOMBIA no se hace responsable por los equipos después de ser entregados a la transportadora o transportador particular, ya sea contratado por el CLIENTE o EPCM DE COLOMBIA. Cualquier avería ocasionada en el viaje debe ser directamente reclamada a la empresa transportadora o transportador particular.

Señores:
Clientes varios

IPR Partes y Repuestos
Refrigeration, Air Conditioning and Appliance Parts
by InverPrimos

INVERPRIMOS S.A.S.
NIT 800.222.648-7
CALLE 14SUR 51C-05 - MEDELLIN
LINEA NACIONAL 3014021882

COTIZACIÓN

A / 230578

Fecha: 26/09/2024
Vigencia: 11/10/2024
Forma de Pago: CONSIGNACION

ITEM	DESCRIPCION	MODELO	CANT.	COSTO UNITARIO	- DTO%	COSTO TOTAL
1.	CONDENSADOR 3 HP - IPR: ASPA 18" - THERMOTAR: ASPA 20"	IPR3HP / CT-00390	1	$785.714,29		$785.714,00
4.	CONDENSADOR TUBO TUBO 3T	3TRA/ SS-027G-C/ 0250GT-U	1	$1.264.705,88		$1.264.706,00

Observaciones:

SUB TOTAL:	$2.050.420
IVA:	$389.580
TOTAL:	$2.440.000

Atte,

JHON JAIRO ZAPATA
INVERPRIMOS S.A.S. NIT: 800222648

26/09/2024 12:05:58

www.iprpartesyrepuestos.com

Venta sujeta a disponibilidad de inventario - Los precios pueden cambiar sin previo aviso.

LA MAS COMPLETA GAMA EN EQUIPOS Y REPUESTOS PARA REFRIGERACIÓN, AIRE ACONDICIONADO Y LÍNEA BLANCA

Somos su aliado de Confianza!

Los elementos que deban ser enviados por transportadora desde cualquiera de nuestras sedes con fletes y seguros a cargo del cliente, deben de ser bajo instrucciones explicitas para el despacho, la mercancía será asegurada por el valor comercial salvo instrucciones diferentes. Debido a que los equipos son vendidos y entregados en oficinas INVERPRIMOS, y el cliente es responsable por el costo del envío de su mercancía, INVERPRIMOS se exime de responsabilidad por demoras o averias en el reparto y entrega de la misma en destino, así mismo cualquier trámite de reclamación al que hubiere lugar frente a la compañía de transporte.

ELECTRICOS DELVALLES.A.S
La solución integral a tus proyectos
NIT : 890.304.345-0

PPAL CALI CRA 4 # 16 - 09 PBX: 602-4858288 SAN NICOLAS
CALI SUR CRA 60 # 10 – 10 EXT: 501 - 502 - 503
AGENCIA BQUILLA CALLE 76 # 73 - 51 PBX: 605-3852099
AGENCIA BOGOTA CRA 55 # 75 - 21 PBX: 601-7457312 12 DE OCTUBRE
AGENCIA PEREIRA CRA 7 # 40 - 24 PBX: 606-3401766

Cotizacion N° SO-649741

www.electricosdelvalle.com
electrovalle@electrovalle.com

SOMOS RESPONSABLES DE IVA, AUTORETENEDORES RESOL. 0197 DE 26 DIC 1995, AUTORRETENEDORES DE ICA CALI RESOL. 1504 DEL 28 DIC 2006.

SEÑOR(ES):
EPCM DE COLOMBIA SAS
Nit : 901050778-3
Direccion : CR 87 5 66 P 1 **Ciudad :** Cali **Telefono :** 3 4 3 3 9 2 3

Fecha y Hora : 05/10/2024 09:02:23
Condiciones de Pago :8 días
Vendedor : EMANUEL CASTANO
O.C. :

Item	Codigo	Descripcion	Cant	V/Unit.	Dto(%)	Vr.Total
1	1502-140223	[1502-140223] COFRE 70X50X25 CM IP 44 - REBRA	1	356,584.00	22.0000	$ 278,136
2	1304-DXN10062	[1304-DXN10062] CANALETA 40X40 MM RANURADA C/T 2MTS GRIS 20 DEXSON	2	34,355.00	20.0000	$ 54,968
3	1601-EZC100B3050	[1601-EZC100B3050] BREAKER 50 AMP 240V 10KA EASYPA B3050 SCHNEIDER PARTNER	1	213,883.00	22.0000	$ 166,829
4	2203-40496	[2203-40496] RIEL OMEGA 1 MTS IMPORTADO ONKA4222 S/M	1	10,259.00	20.0000	$ 8,207
5	1002-200354-001B	[1002-200354-001B] CABLE CU 12 NEGRO THHN/THWN AISLA NYLON (CENTELSA, BOBINA)	50	2,651.00	23.0000	$ 102,064
6	2101-XB4BD21	[2101-XB4BD21] SELECTOR 2 POSICIONES FIJAS 22MM XB4BD21 SCHNEIDER INDUSTRY	11	73,875.00	22.0000	$ 633,848
7	2102-XB4BV63	[2102-XB4BV63] PILOTO SEÑAL VERDE 22MM SCHNEIDER INDUSTRY	8	52,896.00	20.0000	$ 338,534
8	2102-XB4BVG4	[2102-XB4BVG4] PILOTO SEÑAL ROJO C/LED 120VAC SCHNEIDER INDUSTRY	8	77,118.00	20.0000	$ 493,555

Subtotal	$ 2,076,141
Impuestos	$ 394,467
Total	**$ 2,470,608**

Observaciones
:

Elaborado por :EMANUEL CASTANO GIRALDO

COTIZACION SUJETA A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO
DISPONIBILIDAD SUJETA A EXISTENCIAS EN EL MOMENTO DE LA COMPRA

Elaborado por Siigo S.A.S Nit: 830.048.145-8

COTIZACIÓN - EPCM-COT-2024

No. C-1-2169

EPCM DE COLOMBIA SAS
NIT 901.050.778-3
CALLE 25 # 122-00 LOTE 02 Autopista Cali-Jamundi
Tel: (602) 5214184
Cali - Colombia

Para :	Universidad del Valle
Nit :	890.399.010-6
Fecha :	2024-10-07

Cordial Saludo Sr(s):

Atendiendo su solicitud, nos permitimos enviar la siguiente cotización:

Ítem	Código	Nombre producto	Referencia	Descripción	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Bruto
1	IE-07	Accesorios Instalación Equipos	A.INTEQP	Armado de Cuadro Eléctrico.	1.00	300,000.00	300,000.00
2	IE-04	Instalación Eléctrica	IE & TE	Instalación, comprobación y puesta en marcha de Cuadro Eléctrico.	1.00	400,000.00	400,000.00

Total Bruto	700,000.00
Subtotal	700,000.00
Iva 19%	133,000.00
Total a Pagar	833,000.00

IMPORTANTE: CONDICIONES COMERCIALES, PEDIDOS Y DESPACHOS

1. GARANTÍA:1 año en equipos por defectos de fabrica. 3 meses en partes eléctricas. Sujeta a condiciones de la Política de Garantía(EPCM-PG-01 Política de Garantía) la cual podrá ser consultada en el siguiente link https://epcmdecolombia.com/politicadegarantia/

2. FORMA DE PAGO:100% contado anticipado. Favor enviar copia de la transacción al correo ventas@epcmdecolombia.com. Si realiza consignación fuera de la ciudad de Cali y realiza pago directamente en el banco o cajero, adicionar $25.000 pesos + el valor neto de la compra. Es una comisión nacional que cobra el banco, ya que nuestra cuenta se encuentra inscrita en Cali. Si realiza transferencia o hace el pago desde un PAC o corresponsal bancario no debe pagar comisión, aconsejamos esta opción de pago para quienes se encuentran fuera de Cali. Si después de efectuar su pago no desea continuar con la compra, haremos la devolución del dinero aplicando el valor total del pago realizado por concepto de impuestos y gastos bancarios y administrativos.

3. DISPONIBILIDAD: Equipos disponibles a la fecha de la presente cotización. Antes de realizar un pago verifique la disponibilidad nuevamente.

4.FLETE: NO INCLUYE FLETES. Por cuenta del cliente (opción de contra entrega)

5.ENTREGA/DESPACHOS: Toda entrega se realiza entre 2-3 dias tan pronto se ha confirmado el pago. Cuando se realiza el pago con cheque y/o transferencia bancaria, es necesario esperar que estos hagan canje y se refleje el dinero en la cuenta. Por favor enviar soporte de pago al correo info@epcmdecolombia.com. La entrega de los equipos se realiza en Nuestra Bodega, por lo cual es necesario que el cliente informe acerca de la recogida de los equipos ya sea con la transportadora de su preferencia ó transportador particular. EPCM DE COLOMBIA no se hace responsable por los equipos después de ser entregados a la transportadora o transportador particular, ya sea contratado por el CLIENTE o EPCM DE COLOMBIA. Cualquier avería ocasionada en el viaje debe ser directamente reclamada a la empresa transportadora o transportador particular.

Index / Mis Cotizaciones / Cot 1157321

Cotización

No. 1157321

Imprimir Cotización

Fecha: 10/10/2024
Empresa:
Aten: Ivan Valencia
Celular: +57 3007136800 Colombia
E-mail: 3007136800@nocorreo.com
Vendedor: Maria Valencia

Imagen	Codigo / Ref	Descripción	Cant.	Precio / Unitario	Precio / Total	IVA	Borrar
 Item 1 Imagenes sujetas a cambios sin previo aviso	P195411 157S	Control de nivel Mcdonnell, mcdonnell-y-miller, Entrega: 15 a 20 DIAS Catalogo	1	15.290.000	15.290.000	19 %	

Agregar otros productos
Agregar mas

SubTotal: $	15.290.000
Flete: $	26.000
SubTotal + Flete: $	15.316.000
IVA: $	2.910.040
Total: $	18.226.040

Precios en PESOS COLOMBIANOS

Unidad	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor parcial
	Materiales			
m²	Panel Isopac3 - Papel Fibra Ceramica Isothermal - Aislante 1100 °C, espesor 3 mm de reacción al fuego y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1.	1,0	618.800	618.800,00
	Subtotal materiales:			**618.800,00**
	Mano de obra			
h	Oficial 1ª colocador de aislantes.	0,1	26.179	2.617,92
h	Ayudante colocador de aislantes.	0,1	19.045	1.904,47
	Subtotal mano de obra:			**4.522,39**
	Herramienta menor			
%	Herramienta menor	40,000	623.322,39	249328,96
	Costos directos (1+2+3):			872.651,35

IHA010	m	TUBO LI P 01" SCH40 SC A106/A53/API5L - 6.000 MTS			
Tubos tri-standard manufacturados en acero grado B han sido desarrollados sin soldadura para cumplir simultáneamente con las normas ASTM-A-106, A-53 y la norma API 5L, manteniendo los niveles de calidad y seguridad que las especificaciones técnicas de cada unas de la normas exijan (composición química, propiedades mecánicas y tolerancia dimensional). Permiten soldadura longitudinal, serie M, de 1" DN 25 mm de diámetro y 3,2 mm de espesor. Instalación en superficie. Incluso material auxiliar para montaje y sujeción a la obra, accesorios y piezas especiales.					
Código	**Unidad**	**Descripción**	Cantidad	**Valor unitario**	**Valor parcial**
1		Materiales			
mt08tan330d	Ud	Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de acero, de 1".	60,000	1416,37	84982,20
	m	Tubo de aislamiento térmico PPR de 1,8 M, tubo de goma de espuma de esponja para aire acondicionado, tubos exteriores impermeables	60,000	13423,00	805380,00
mt08tan010dg	m	Tubo de acero negro, con soldadura longitudinal por resistencia eléctrica, serie M, de 1" DN 25 mm de diámetro y 3,2 mm de espesor, con el precio incrementado el 30% en concepto de accesorios y piezas especiales.	60,000	161007,00	9660420,00
			Subtotal materiales:		**10465800,00**
2		Mano de obra			
mo008	mes	Oficial 1ª plomero.	0,728	2408486,40	1753378,10
mo107	mes	Ayudante plomero.	0,728	1753336,00	1276428,61
			Subtotal mano de obra:		**3029806,71**
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2,000	13495606,71	269912,13
			Costos directos (1+2+3):		13.765.518,84

Unidad	**Descripción**	**Cantidad**	**Valor unitario**	**Valor parcial**
	Materiales			
m²	Panel Isopac3 - Papel Fibra Ceramica Isothermal - Aislante 1100 °C, espesor 3 mm de reacción al fuego y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1.	1,0	618.800	618.800,00
		Subtotal materiales:		**618.800,00**
	Mano de obra			
h	Oficial 1ª colocador de aislantes.	0,1	26.179	2.617,92
h	Ayudante colocador de aislantes.	0,1	19.045	1.904,47
		Subtotal mano de obra:		**4.522,39**
	Herramienta menor			
%	Herramienta menor	40,000	623.322,39	249328,96
		Costos directos (1+2+3):		872.651,35

Figura B.2: Presupuesto instalación de la Guarda de seguridad.