



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**

**DISEÑO MECÁNICO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
MINI-CENTRAL DE VAPOR PARA INSTRUCCIÓN
UNIVERSITARIA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD
SEÑOR DE SIPÁN, PIMENTEL.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA:**

Autores:

Bach. Cabrera Arévalo Gian Jhorvys

Bach. Córdova Millones Gustavo Adolfo

Asesor:

Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume, Ph.D.

Línea de Investigación:

Ingeniería de Procesos Productivos.

Pimentel – Perú

2019

**DISEÑO MECÁNICO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MINI-CENTRAL DE
VAPOR PARA INSTRUCCIÓN UNIVERSITARIA EN LA ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE
SIPÁN, PIMENTEL.**

**Presentado a la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de
Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.**

APROBADO POR:

Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales

Presidente del Jurado de tesis

Mg. Juan Carlos Vives Garnique

Secretario del jurado de tesis

Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva

Vocal del jurado de tesis

PIMENTEL - 2019

DEDICATORIA

La presente tesis es dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

A mis padres porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo para ser mejor persona día a día, por su espíritu alentador y sus sabios consejos, por inculcarme buenos valores para poder lograr mis metas y objetivos en la vida.

A mi hermano por sus palabras de aliento para salir adelante y seguir con mis objetivos a pesar de las adversidades que pueden generarse dentro de la etapa universitaria.

Gustavo Córdova millones.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a dios por haberme dado fuerzas y mucha paciencia para lograr mi objetivo.

A mis padres porque me ofrecieron su apoyo infinito, pues ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mí, bases de responsabilidad y deseos de superación y haberme ofrecido el amor y la calidez de la familia a cual amo.

A mi hermanita quien me dio un motivo más para seguir adelante y en futuro apoyarla y enseñarle todo lo que en la vida aprendí.

Gian Jhorvys Cabrera Arévalo.

AGRADECIMIENTO

Tus esfuerzos son impresionantes y tu amor es para mí invaluable.

Junto con mi padre me has educado, me has proporcionado cada cosa que he necesitado, tus enseñanzas las aplico día a día; de verdad tengo mucho que agradecerte.

Tu ayuda fue fundamental para la culminación de mi tesis.

Te doy las gracias, Madre.

Gustavo Córdova millones.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por bendecirme, por haber logrado la meta de realizar este trabajo.

A mis padres porque fueron el motivo a seguir adelante con mi meta y a mi hermanita que es un motivo más para seguir adelante con todas mis metas y apoyarla en todo en un futuro.

Gian Jhorvys Cabrera Arévalo.

RESUMEN	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	15
1.3. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.4.1. TECNOLÓGICA.	15
1.4.2. ECONÓMICA.	15
1.4.3. AMBIENTAL.	15
1.4.4. INSTITUCIONAL.	16
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	16
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.	16
1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.	16
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	17
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS.	17
2.2. ESTADO DEL ARTE.	19
2.3. BASE TEÓRICA CIENTÍFICAS.	20
2.3.1. CENTRALES TÉRMICAS.	20
2.3.2. TIPOS DE CENTRALES TÉRMICAS.	20
2.3.2.1. CENTRAL NUCLEAR.	20
2.3.2.3. CENTRAL DE ENERGÍA RENOVABLE.	26
2.3.2.4. CICLO COMBINADO DE GASIFICACIÓN INTEGRADA.	28
2.3.2.5. GENERADOR MAGNETO-HIDRODINÁMICO (MHD).	28
2.3.2.6. CENTRAL DE ENERGÍA DE CELDAS DE COMBUSTIBLE	29
2.3.2.7. CENTRAL TÉRMICA.	30
2.3.3. CICLOS DE LAS PLANTAS DE VAPOR	30
2.3.3.1. GENERALIDADES	30
2.3.3.2. LEYES DE LA TERMODINÁMICA	31
2.3.3.3. CICLO RANKINE	33
2.3.4. GENERADORES DE VAPOR.	36
2.3.4.1. GENERALIDADES.	36
2.3.4.2. CALDERAS	37

2.3.4.3. CLASIFICACIÓN DE LAS CALDERAS.	38
2.3.5. TORRES DE ENFRIAMIENTO	39
2.4. DEFINICIÓN DE LOS TÉRMINOS BÁSICOS	40

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO **42**

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	42
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	42
3.2.1. POBLACIÓN	42
3.2.2. MUESTRA	42
3.3. VARIABLES	42
3.3.1. VARIABLES DE ENTRADA:	42
3.3.2. VARIABLES DE SALIDA	42
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.	42
3.5. ABORDAJE METODOLÓGICO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.5.1. ABORDAJE METODOLÓGICO	45
3.5.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	45
3.5.3. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.6. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.6.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS	48
3.6.2. EQUIPOS, MATERIALES E INSTRUMENTOS	58
3.6.3. RECURSOS HUMANOS	60
3.6.4. FORMULAS Y CÁLCULO	60
3.6.5. PLANOS	60
3.6.6. DISEÑO	61
3.6.7. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	61
3.6.8. MANTENIMIENTO	61
3.6.9. COSTOS	63
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	63
3.7.1. ENFOQUE CUALITATIVO	63
3.7.2. ENFOQUE CUANTITATIVO	64
3.8. PRINCIPIOS ÉTICOS	64
3.8.1. CRITERIO DE LA PUBLICACIÓN	64
3.8.2. ÉTICA DE LA APLICACIÓN	64
3.8.3. CÓDIGO ÉTICO DE PROFESIÓN	64
3.9. CRITERIOS DE RIGOR CIENTÍFICO	65

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS **65**

4.1. RESULTADOS EN TABLAS Y GRÁFICOS	66
---	-----------

CAPITULO V: INGENIERÍA DEL PROYECTO 81

5.1. ESTABLECER LA POTENCIA DE LA MINI PLANTA DE ACUERDO A LAS LIMITACIONES DE ESPACIO DE UN LABORATORIO Y TENIENDO EN CUENTA PARÁMETROS DE PROCESO SEGUROS ANTE CUALQUIER EVENTUALIDAD O FALLA DEL EQUIPO.	82
5.2. REALIZAR UN ANÁLISIS ECONÓMICO SIMPLE PARA LOS COSTOS DE FABRICACIÓN	82
5.3. SELECCIONAR LA MEJOR OPCIÓN MEDIANTE MATRICES DE EVALUACIÓN.	83
5.4. REALIZAR ANÁLISIS TÉRMICO PRELIMINAR DE LA OPCIÓN SELECCIONADA	101
5.4.1. CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA	101
5.4.2. CONSIDERACIONES Y SUPUESTOS	102
5.4.3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VAPOR ABIERTO IDEAL	104
5.5. SELECCIONAR Y ADQUIRIR EQUIPOS COMPONENTES DE LA MINI-PLANTA.	109
5.6. MODELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	126

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 130

6.1. CONCLUSIONES	130
6.2. RECOMENDACIONES	131
6.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	132
ANEXOS	135

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad demostrar la metodología de investigación que implica asociar parámetros y el diseño mecánica para la construcción de una Mini central de vapor que será empleada como módulos de pruebas en el Taller de Ciencias Térmicas, ubicada en la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán.

En el diseño del sistema intervinieron muchos factores como, las condiciones de uso, parámetros de diseño y recomendaciones establecidas en el código ASME sección I y IV. El diseño y construcción de una mini central de vapor, como elemento constitutivo, posee gran importancia debido al fluido que emplea para su proceso. El vapor actualmente es utilizado por gran parte de la industria dedicada a transformación de materias primas.

La mini central térmica suple el requerimiento de implementar este tipo de sistemas en laboratorios asociados a la ingeniería, además, su sistema puede ser automatizado con ayuda de sensores, controladores, medidores, que puedan brindar datos más exacto sobre temperaturas, presiones, caudales y otros indicadores que se necesiten.

La caldera, elemento principal del sistema térmico construido, posee 16 tubos lisos hechos del material A106, dos bridas construidas con el material A36 y para el casco, se empleó el material A106. El quemador trabaja con gas GLP y toda la construcción se llevó a cabo siguiendo la norma ASME, demostrando la gran importancia que poseen estos tipos de códigos para diseños y construcción en ingeniería.

PALABRAS CLAVE: Caldera Pirotubular, Generación de vapor, Diseño y Construcción, Quemador

ABSTRACT

This document aims to establish a set of parameters associated with the design and construction of a Central Mini steam that will be used in the physics laboratory of the School of Mechanical Engineering of the Lord University of Sipan, the central Mini-mentioned serve as a teaching tool and complementary to testbeds present in the laboratory.

In equipment design conditions, parameters, requirements and recommendations prescribed in the ASME code Section I and IV are considered. The steam is used in all types of industries processing raw materials, which is why the design and construction of a mini as a constituent element of a process where steam is used is very important for the consolidation of the acquired concepts in class and supplements the existing need to implement laboratories with equipment that allow us to develop with great precision any industrial process that requires, in the case of thermal steam plants using sensors, controllers and meters, we can visualize reliably the values of the variables involved in this cycle, such as temperature, pressure and flow rate, which are the indicators needed to know the status of the process, its efficiency, and propose improvements and solutions to problems that may arise.

The boiler built has sixteen smooth tubes in A106 material two flanges in A36 material, the hull is built in A106 material, the burner works with LPG, construction procedures developed by the ASME standard indicating that guidelines are followed for commercial construction design and manufacturing, showing the great importance of the benefit from the codes that are used in the actual development of the profession.

KEYWORDS: Fire-tube boiler, steam generation, Design and Construction, Burner, tube bundle, Fireplace.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial, es tan importante el desarrollo de tecnologías y conocimientos, para la producción de energía y/o enriquecer el conocimiento universitario, las cuales ofrezcan alternativas viables, conocimientos concretos y reales para una mejor formación universitaria con la implementación de laboratorios en el área de ciencias térmicas.

Una ventaja de implementar laboratorios es que los alumnos podrán realizar cálculos, analizar y visualizar de manera directa el ciclo termodinámico real, por lo cual se logrará interiorizar y mejorar la enseñanza de los alumnos de los cursos de ciencias térmicas con un conocimiento concreto.

La implementación de laboratorios enriquece, el conocimiento de estudiantes, también mejora la calidad estudiantil además de la calidad de la Universidad, la cual en la Universidad Señor de Sipán implementaremos el laboratorio del área de ciencias térmicas con una Mini central de Vapor, que nos permite ver de manera real, el trabajo de la caldera, donde el agua es convertido a vapor mediante el fuego, la cual por medio de tuberías se dirige a la turbina la cual acoplada a un generador, transforma la energía térmica a energía eléctrica, en este punto el vapor se enfría por el recorrido que la cual pasa a una torre de enfriamiento para que el agua alcance la temperatura ambiente.

En el primer capítulo trata del problema que da inicio a nuestro tema de tesis, relatando estos problemas que sucede en todas partes.

En el segundo capítulo trata del marco metodológico, donde se habla de alguna solución para la formulación del problema y el proyecto de investigación.

El marco metodológico abarca el tercer capítulo, y este se centra en la investigación dando a conocer la muestra y población, además de dar alguna respuesta al problema con la ayuda de la hipótesis y la forma de recolectar información.

En el cuarto capítulo trata el análisis y por consiguiente, la interpretación de los resultados. Se presenta la validación de la encuesta, además de la entrevista al ingeniero especialista y las fuentes de adquisición de datos.

En el quinto capítulo trata de la propuesta de investigación, donde se desarrolla todos los cálculos y materiales a utilizar para el diseño de la mini planta.

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Situación Problemática.

En el mundo moderno de hoy en día, todas las sociedades están involucradas en diversos grados con avances tecnológicos que están intentando hacer nuestras vidas más productivas y más confortables. Estas tecnologías incluyen sofisticados dispositivos electrónicos, de los cuales los más destacados y usados son los sistemas informáticos. Muchos de los sistemas en nuestro mundo moderno dependen de una fuente de energía confiable y relativamente barata, la electricidad. De hecho, la electricidad barata y confiable es fundamental para el crecimiento económico sostenido y la seguridad del mundo. (Woodruff, 2004).

En nuestro país, las diferentes tipos de energía es un recurso vital para el desarrollo del ser vivo. Una de estas formas, la energía eléctrica, posee un rol fundamental no solo en la industria, sino también en las vidas cotidianas de las personas que gracias a ella hace posible muchas de nuestras actividades, sector residencial, comercial y público el consumo de energía es del 45.1% del consumo total, esta juega un rol importante en la economía del país, de todo esto nace la necesidad de comprender mejor las formas de generar energía eléctrica, el comportamiento y control. (Díaz, 2012)

A pesar del crecimiento tecnológico, económico continuo y sostenido que ha experimentado nuestro país en las últimas dos décadas la implementación de equipos de laboratorio en las universidades públicas y privadas está en un nivel de implementación. La ley universitaria vigente 30220 promueve en forma activa el uso de laboratorios en forma generalizada a lo cual las universales se están adaptando en un periodo de aproximadamente 5 años. Esto es un muy buen punto de partida para que los estudiantes, futuros profesionales e investigadores, posean una buena base científico-tecnológica que los faculte a aportar en el tan ansiado desarrollo de nuestro país.

La Universidad Señor de Sipán tiene 20 años de vida institucional, se ha caracterizado por haber logrado avances importantes en humanística, ciencia-tecnología y en lo académico, que ha permitido formar profesionales competentes con sentido humanista y

científico, siendo sus egresados personas calificadas para desempeñarse eficientemente en nuestro país como en el extranjero. Desde sus inicios los ejes centrales se basan en el desarrollo de la investigación, buena interacción estudiante-docente y el trabajo de responsabilidad social. La escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica forma profesionales con capacidades en lo que abarca el diseño, metodología de planeamiento y control, ingeniería de procesos automatizados, asistencia en mantenimiento y supervisión de sistemas electromecánicos existentes en cualquier industria.

Actualmente la Universidad Señor de Sipán se ha embarcado en la adaptación a la ley universitaria de todos sus estamentos. La modernización y adquisición de equipos de laboratorio acorde con el avance actual es una prioridad. Sin embargo, este equipamiento debe venir acompañado del conocimiento adecuado del uso y aplicabilidad de los mismos. En ese sentido, el conocimiento de las técnicas de modelado físico-matemático, programación, simulación numérica, optimización, control y adquisición de datos es de importancia capital. El eludir estas técnicas convertiría al alumno y al docente en meros usuarios de los equipos de laboratorio limitando la efectividad y la razón de ser de los mismos. Debido a alto ahorro en equipo de laboratorio, la promoción de la investigación científica y la globalización el diseño e implementación de equipos de laboratorio con el uso de software y hardware libre está tomando mucho auge en todo el mundo a nivel de estudios de pregrado y postgrado (Abu-Mulaweh, 2007; Pearce, 2014).

Recientemente, se ha propuesto en el país (Olortegui Yume, 2016) que junto con la compra de equipo de laboratorio de marcas reconocidas se plantee el diseño, fabricación y uso de equipos de laboratorio elaborados por docentes calificados y sus estudiantes. Este planteamiento busca potenciar el aprendizaje de las materias, promover la investigación científica, desarrollar tempranamente experiencias de vida real ingenieril, cultivar una cultura de fabricación con independencia tecnológica y fomento de la inteligencia emocional en los estudiantes. En esa línea, se encuentra en proceso de implementación de una mini-central de vapor (Olortegui Yume, 2016).

En este trabajo se realizará el diseño mecánico e implementación de una mini-central de vapor para instrucción en el laboratorio de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la universidad Señor de Sipán usando las condiciones, parámetros, requisitos y recomendaciones, estipuladas por la norma ASME Sección I (Ruler for Contruction of

Power Boilers).

1.2. Formulación del Problema.

¿Cuáles serán las características técnicas y parámetros geométricos de una mini-central térmica de ciclo Rankine real con sobrecalentamiento para laboratorio que permita regular parámetros de operación y monitorear las respuestas de este sistema?

1.3. Delimitación de la Investigación.

La investigación se realizó en el taller del área de Ciencias Térmicas de la Universidad Señor de Sipán, donde fueron encuestados los estudiantes de la Escuela Académica Ingeniería Mecánica Eléctrica sobre la problemática de nuestra investigación y la necesidad de implementar con nuevos equipos dichos laboratorios de nuestra casa de estudios

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación.

1.4.1. Tecnológica.

Para el diseño mecánico y fabricación de esta mini-central de vapor pondrán en juego conocimientos técnicos asociados a las normas ASME BPVC lo que incrementara el rigor y la seriedad de este proyecto incrementando el aprendizaje de los autores, así como de los usuarios futuros del mismo.

1.4.2. Económica.

La implementación de una mini-central de vapor servirá como base para permitir modelar y analizar la eficiencia del ciclo Rankine real con sobrecalentamiento. Este estudio permitirá predecir en que partes del sistema se podrá ahorrar manteniendo condiciones estables de operación.

1.4.3. Ambiental.

La producción de gases de combustión y el calor cedido al ambiente será un ejemplo tangible de concientización a los estudiantes sobre el impacto ambiental que genera las centrales térmicas de vapor.

1.4.4. Institucional.

La elaboración de este trabajo responderá a una necesidad de la Universidad Señor de Sipán, con lo que permitirá relacionar estudio teórico con práctico, realizando ensayos y usando procedimientos adecuados. Además, nuestro trabajo contribuirá positivamente en la imagen que toda institución de la talla de Universidad Señor de Sipán desea proyectar.

1.5. Objetivos de la Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Diseñar e implementar la parte mecánica de una mini-central térmica de ciclo Rankine real con sobrecalentamiento para laboratorio bajo limitaciones de resistencia mecánica y térmica.

1.5.2. Objetivo Específico.

- Identificar las necesidades de la institución mediante entrevistas.
- Definir los requerimientos de la institución en términos ingenieriles
- Obtener normas y códigos de diseño pertinentes.
- Generar 6 conceptos de diseño con la capacidad de brindar solución a la problemática.
- Seleccionar la mejor opción de diseño mediante una matriz de evaluación.
- Establecer la potencia de la mini planta de acuerdo a las limitaciones de espacio de un laboratorio y teniendo en cuenta parámetros de proceso seguros ante cualquier eventualidad o falla del equipo.
- Realizar análisis térmico preliminar de la opción seleccionada.
- Seleccionar los equipos y componentes de la mini-planta.
- Realizar un plan de mantenimiento para la mini planta de vapor.
- Realizar el balance energético final para determinar parámetros de performance para la mini planta finalizada e implementada.
- Elaboración del análisis económico, para los costos de fabricación, el mantenimiento a la minicentral de vapor y los costos de operación cada vez que esta sea utilizada

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios.

La empresa Turbine Technologies, LTD. (2013) construyo una central eléctrica de vapor con turbina con fines educativos (RankineCycler™). El objetivo de este producto fue permitir a los estudiantes completar muchos experimentos relacionados con la eficiencia energética. Se diseñó y construyó siguiendo el código ASME (American Society of Mechanical Engineers) sección I (Norma para calderas) y normas de seguridad, se colocaron sensores en los lugares clave para medir temperaturas, presiones, caudal de combustible (entrada de energía) y salida de energía eléctrica y crearon una GUI para monitoreo y comparación de resultados teóricos – experimentales. Con este equipo se analizarán ciclos y relaciones energéticas, la primera y segunda ley de la termodinámica, volúmenes de control, entropía, eficiencia de la turbina, eficiencia en la caldera, proceso de combustión, principios básicos de sistemas de vapor, generación de energía eléctrica, técnicas experimentales y la adquisición de datos.

Dincer & Al-Muslim (Dincer I. & Al-Muslim H., 2001) en su estudio realizó un análisis termodinámico de una planta de vapor de ciclo Rankine con sobrecalentamiento. Su objetivo fue analizar energía y exergía utilizando una técnica de analítica en una hoja de cálculo. Las eficiencias energéticas y exergeticas se estudiaron para 120 casos con diferentes parámetros, tales como la temperatura en la caldera, la presión de la caldera y la producción de trabajo. Las energías y exergias calculadas se compararon con los datos reales, encontrándose bajo porcentaje de error. Se concluye que existe la posibilidad de mejorar la eficiencia de la planta y del análisis exergetico puede ayudar a tomar decisiones optimas de diseño de una manera lógica.

Wu et al (Wu X., Shen J., Lee K., 2015) habla de la configuración, diseño y especialmente la tecnología de control de una planta de energía de combustibles fósiles (Fossil-Fuel Power Plant - FFPP), tanto de las convencionales como de las tecnologías avanzadas. Se buscó material bibliográfico de las configuraciones, fundamentos y sistemas de control de los FFPP convencionales y los actuales. Se compararon diferentes estrategias de control y aplicación. Finalmente se concluye que los controladores PI/PID avanzados que usan técnica de sintonización automática o de programación mejoran el funcionamiento

de las FFPP; los controladores robustos son eficientes para tratar las variaciones, incertidumbres y perturbaciones del comportamiento del combustible y de la planta; los modelos de control predictivo lineal, no lineal o multi-modelo puede manejar el comportamiento inercial y las restricciones input-output de las plantas; las técnicas de inteligencia artificial para optimización y control solucionan los problemas no lineales de las plantas.

Iguarán & Martínez (Iguarán Duarte O. & Martínez Barrios D., 2008) en su trabajo diseño y construyó una caldera piro-tubular para el laboratorio de transferencia de calor de la Universidad Industrial de Santander. Sus procedimientos de construcción y del diseño se desarrollaron siguiendo la norma ASME sección 1. Se fabricó una mini caldera piro-tubular que cuenta con 10 tubos lisos y un casco en A106, cuatro bridas A36, un quemador de tiro forzado, control de llama mediante una tarjeta programada, trabajo con gas natural y que produce 12 lb/h de vapor a 20 lb/in² de presión. El rendimiento térmico de la mini caldera y sus parámetros geométricos satisface las necesidades requeridas por la universidad y los códigos de diseño establecidos.

Mira (Mira Osuna G., 2015) diseño una central térmica de ciclo convencional. El proposito de su trabajo es producir 16000 GWh de electricidad al año utilizando carbón como combustible y la ingeniería de detalle solo se limita al diseño de la caldera de vapor. La planta diseñada es de ciclo convencional de cinco grupos de 400 MW que emplea antracita y hulla como combustible y usa la tecnología de combustión de carbón pulverizado. El ciclo Rankine con sobrecalentamiento, recalentamiento y regeneración dio una eficiencia de 38%, la caldera da una eficiencia térmica de 82%, lo que estableció un rendimiento neto del proceso de 31%. Con esta central térmica se pudo compensar parte de la demanda para los próximos 25 años y obtener un beneficio anual de 461526730 euros. La inversión fue de €/ 982342002 y el beneficio anual fue de €/ 461526730 lo que dio una rentabilidad neta anual del 47% y un periodo de retorno de la inversión de 2.13 años.

Arzapalo (Arzapalo Barrera E., 2015) en su trabajo de investigación, llevo a cabo una implementación de un equipos de laboratorio para el análisis dinámico de equipos mecánicos, directamente asociado a estructuras metálicas. En este proyecto se diseñó y

fabrico un módulo educativo basado en una estructura metálica con múltiples configuraciones, para ser preciso se hicieron comparaciones de los resultados experimentales con los resultados analíticos y las simulaciones; su objetivo fue demostrar la influencia de parámetros como la rigidez, inercia y fuerza en el comportamiento dinámico y de esta manera mejorar su comprensión. El concepto de torre de transferencia fue elegido como el óptimo, las frecuencias naturales para el caso empotrado para el primer modo de vibración fueron de 2.49 ME, 3.04 MA y 3.027 FEM (ME: método experimental, MA: método analítico y FEM: método de elementos finitos), para el caso articulado 2.02 ME, 1.84 MA y 1.93 FEM, y para el caso de mayor rigidez 8.26 ME, 7.9 MA y 7.71 FEM. Gracias a los resultados se concluyó que el sistema se comporta como una estructura articulada.

Rodríguez (Rodríguez Vásquez J., 2006) desarrollo un sistema de control avanzado de la presión del vapor en una caldera piro-tubular. Uso un método basado en la identificación de sistemas mediante las etapas; Planificación experimental, estimación de parámetros, pretratamiento de los datos experimentales, selección de la estructura del modelo, estimación de modelos no-paramétricos, formulación de un criterio y validación del modelo hallado. El controlador GPC (Control Predictivo Generalizado) adaptativo se escogió por presentar mayor desempeño ante variaciones paramétricas, los datos arrojados por la validación presentan una elevada similitud, con un índice de comportamiento de 94.65% y el identificador recursivo para modelos fue de tipo ARMAX (Auto-Regresiva de Media Móvil Controlada). Se concluyó que el control de la presión del vapor es una herramienta muy potente que optimiza el funcionamiento y la fiabilidad de los equipos, además reduce el consumo de combustibles y de polución en el medio ambiente.

2.2. Estado del Arte.

La energía eléctrica es una de las necesidades primarias a nivel mundial esto ha impactado en la forma de cómo se genera la energía. Gracias a esto el desarrollo tecnológico en el campo de centrales térmicas de vapor a estado incrementando estos avances se presentan a continuación:

En Yokohama Japón se creó una central térmica de vapor (Isogo, 2002) de alta eficiencia que usa presiones de vapor ultra-criticas (25 Mpa) con temperaturas de 600 °C y genera 600 MW. En Brigalow Australia existe una central de carbón de 750 MW (Kogan

Creek, 2007) utiliza tecnología de vapor supercrítico que produce menores emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de energía suministrada, condensadores de superficie refrigerados por aire, lo que reduce el consumo de agua; la planta consume un 90% menos agua en comparación con las centrales eléctricas convencionales mediante el uso de la tecnología de enfriamiento en seco (Siemens, 2009). Gracias a la madurez de las tecnologías de turbo máquinas, intercambiadores de calor y fuentes de calor compactos, el instituto tecnológico de Tokio (Tokyo Institute of Technology: TIT) construyó un banco de pruebas para estudios de corrosión de los materiales del ciclo S-CO₂, en abril del 2012, el diseño final y la instalación se ensayó en ciclo Brayton y fue realizado por la empresa Barber-Nichols Inc. Se hizo la demostración comercial de un ciclo de potencia cerrado de 8 MW en diciembre del 2014 en la Echogen Power Systems (Olumayegun, 2016).

2.3. Base Teórica Científica.

2.3.1. Centrales Térmicas.

Una planta de generación de energía es una industria asociada a la generación de electricidad. En el centro de casi todas las centrales se encuentra un generador, que es una máquina rotativa que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. La energía que aprovecha un generador es dada por un sistema térmico. Depende principalmente de los combustibles y de los tipos de tecnología. La mayoría de las centrales térmicas emplean el quemado de combustible fósiles para generar energía eléctrica, es decir, carbón, petróleo y gas natural, y algunos utilizan energía nuclear. Con el fin de disminuir gas de efecto invernadero, además de lo anterior hay un uso creciente de fuentes más limpias y renovables de energía como la hidroeléctrica solar, el viento y las olas (Sarkar, 2017).

2.3.2. Tipos de Centrales Térmicas.

2.3.2.1. Central Nuclear.

La generación de energía por un combustible nuclear tiene lugar ya sea por el proceso de fisión nuclear de los elementos fisionables pesados en un reactor nuclear, dando lugar a reacciones en cadena, o por el proceso de fusión nuclear, en el que núcleos atómicos simples se fusionan para formar núcleos complejos, Como en el caso de la fusión de isótopos de hidrógeno para formar helio. La energía nuclear liberada se convierte en calor que se elimina del reactor mediante un refrigerante, por ejemplo, sodio líquido. El sodio líquido caliente

pasa entonces a través de otro intercambiador de calor en el que circula agua como un agente refrigerante, que absorbe calor, dando como resultado la generación de vapor. Este generador de vapor no emite prácticamente dióxido de carbono, azufre o mercurio. Sin embargo, una preocupación importante de una planta de energía nuclear es que el área que rodea el reactor nuclear es potencialmente radiactiva. Los residuos nucleares adicionales, si no se eliminan con especial cuidado, pueden causar un efecto devastador sobre los seres vivos y los objetos inanimados, incluido el medio ambiente.

Los reactores nucleares son de varios tipos, es decir, el reactor de agua a presión (Pressurized-water reactor - PWR), el reactor de agua hirviendo (Boiling-water reactor - BWR), el reactor refrigerado por gas (Gas-cooled reactor - GCR), el reactor de agua pesada (Heavy-water reactor - HWR) y el reactor de rápido crecimiento (Fast-breeder reactor - FBR)

Reactor de agua a presión

Está compuesta de dos bucles en una serie, el circuito de refrigerante, denominado bucle primario, y el bucle de agua-vapor o de fluido de trabajo. El refrigerante recoge el calor del reactor y lo transfiere al fluido de trabajo en el generador de vapor. El vapor se utiliza entonces en un ciclo de Rankine para generar electricidad (Ver Figura N° 01).

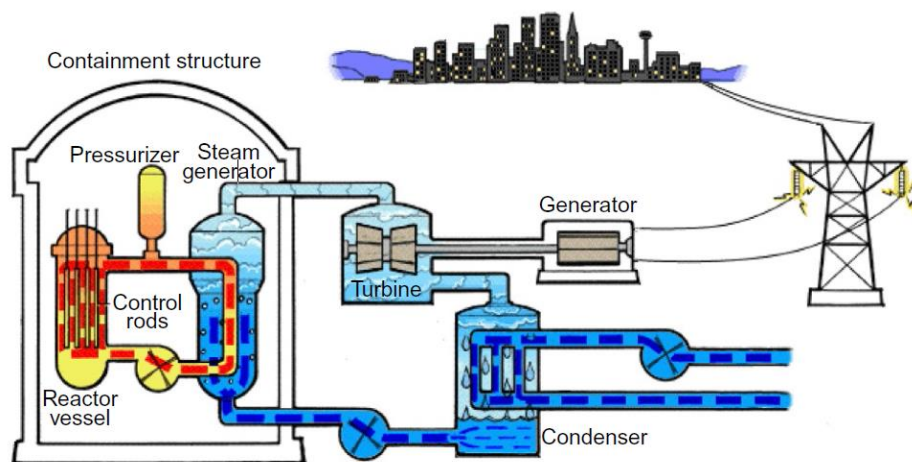


Figura N°. 1 Diagrama de flujo de un reactor de agua presurizada. Fuente: Sarkar, 2017.

Reactor de agua en ebullición

En este tipo de reactor el refrigerante está en contacto directo con el combustible y hierve en el mismo compartimiento en el que se encuentra el combustible. El líquido entra en el núcleo del reactor, fluye hacia arriba y, cuando alcanza en la parte superior del núcleo, se convierte en una mezcla muy húmeda de líquido y vapor. El vapor se separa entonces del

líquido en un separador de vapor y fluye a través de una turbina para generar energía (Ver Figura N° 02).

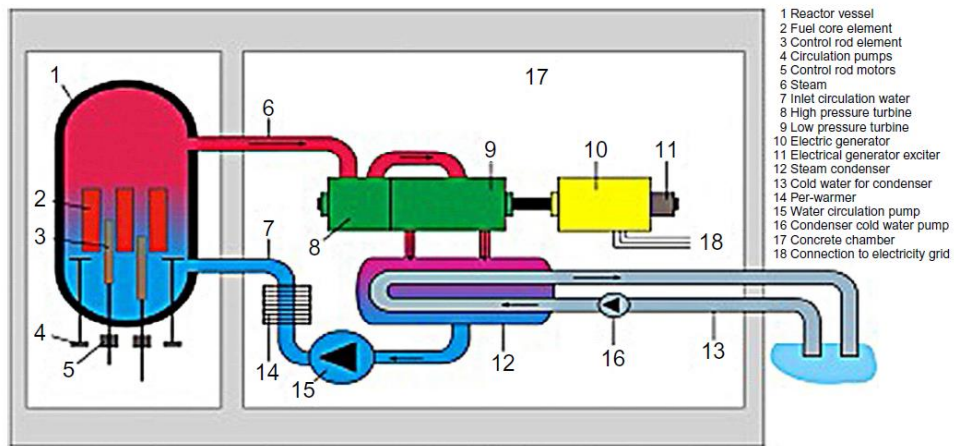
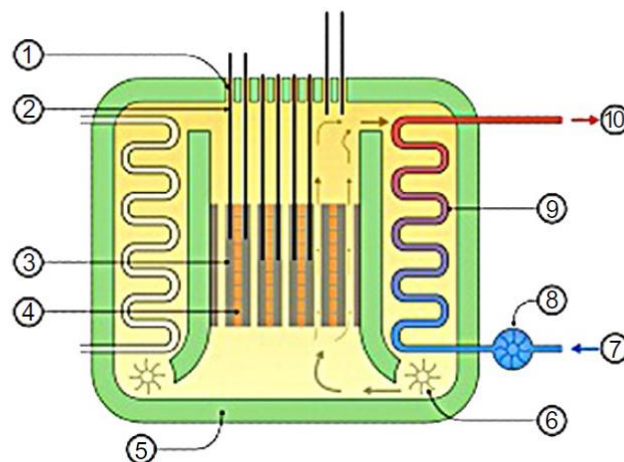


Figura N°. 2 Diagrama de flujo de un reactor de agua en ebullición. Fuente: Sarkar, 2017.

Reactor refrigerado por gas

Este reactor es enfriado por un gas. El gas absorbe el calor del reactor; Este refrigerante caliente puede usarse entonces directamente como fluido de trabajo de una turbina de combustión para generar electricidad o indirectamente para generar vapor. Hay dos tipos diferentes. Un tipo utiliza combustibles de uranio natural y enriquecido con CO₂ como refrigerante y grafito como moderador. Otro utiliza combustibles enriquecidos, helio como refrigerante y agua pesada como moderador (Ver Figura N° 03).

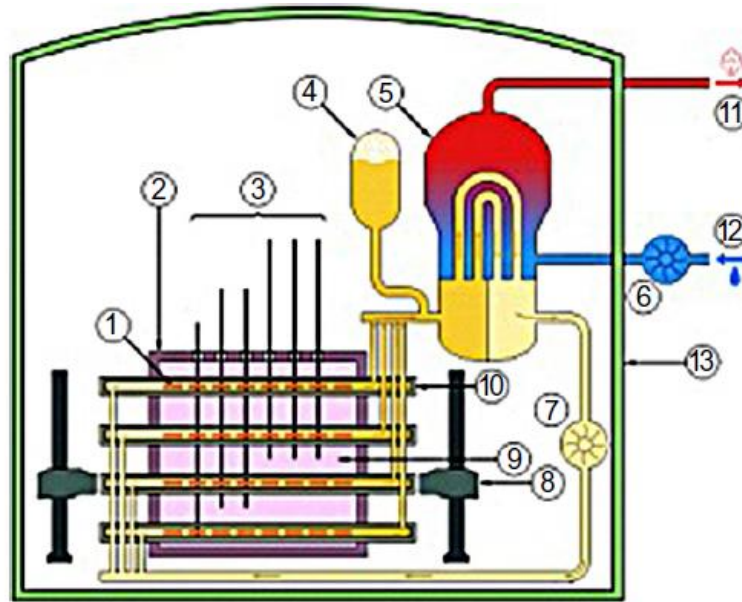


1. Charge tubes
2. Control rods
3. Graphite moderator
4. Fuel assemblies
5. Concrete pressure vessel and radiation shielding
6. Gas circulator
7. Water
8. Water circulator
9. Heat exchanger
10. Steam

Figura N°. 3 Vista seccional de un típico reactor enfriado por gas. Fuente: Sakar, 2017

Reactor de agua pesada

En este reactor, el agua pesada (D₂O) se usa como refrigerante-moderador con combustibles de uranio natural, en lugar de uranio enriquecido. Puesto que el agua pesada es presurizada, se puede calentar a temperaturas más altas sin hervir. El costo de producción de D₂O, sin embargo, es muy alto en comparación con el costo del agua normal (H₂O) (Ver Figura N° 04).



Key

1 Fuel bundle	8 Fueling machines
2 Calandria (reactor core)	9 Heavy water moderator
3 Adjuster rods	10 Pressure tube
4 Heavy water pressure reservoir	11 Steam going to steam turbine
5 Steam generator	12 Cold water returning from turbine
6 Light water pump	13 Containment building made of reinforced concrete
7 Heavy water pump	

Figura N°. 4 Vista seccional de un típico reactor de agua pesada. Fuente: Sarkar, 2017.

Reactor de rápido crecimiento

Se llama así debido a su diseño para producir combustible produciendo más combustible fisionable de lo que puede consumir. En este, los neutrones no son retardados a las energías térmicas por un moderador. El refrigerante y otros materiales del reactor moderan los neutrones. Los reactores se enfrían con sodio (Ver Figura N° 05).

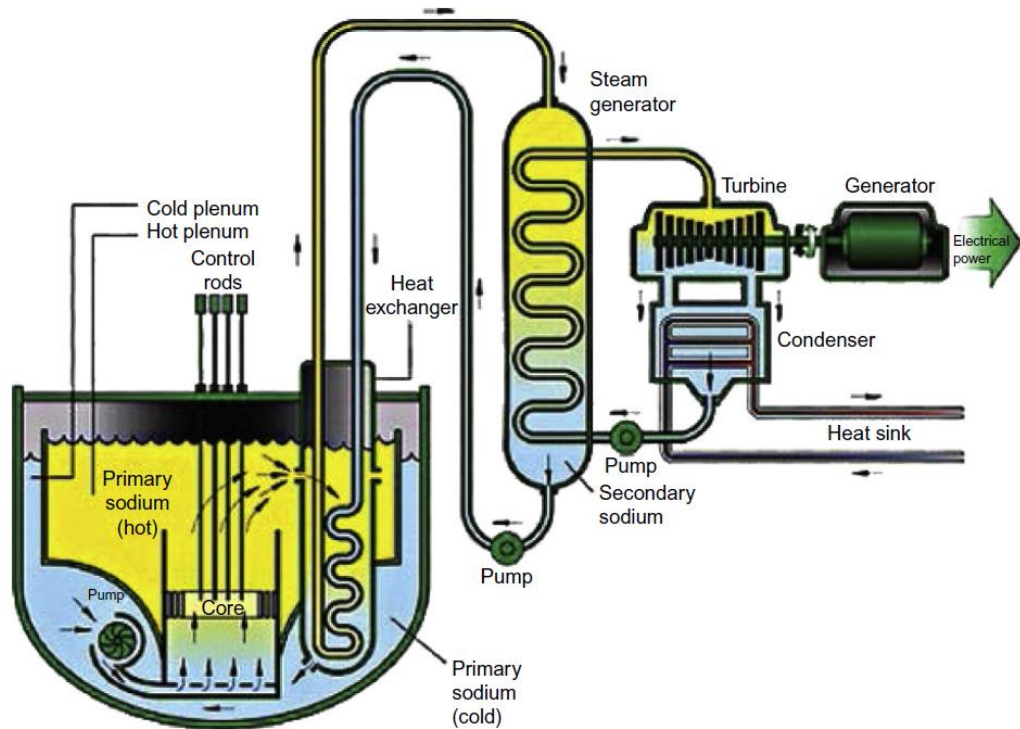


Figura N°. 5 Vista seccionada de un típico Reactor de rápido crecimiento. Fuente: Sarkar, 2017.

2.3.2.2. Central Hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas comprenden turbinas hidráulicas, que pueden ser de eje vertical o de eje horizontal. La preferencia por un eje horizontal se basa en el tipo de impulso mientras que un eje vertical, con los tipos de reacción. La turbina hidráulica convierte la energía potencial del agua suministrada en energía mecánica de un eje giratorio, que a su vez impulsa un generador para producir electricidad.

En la turbina impulsora (Rueda Pelton), la cabeza estática se transforma completamente en una cabeza de velocidad en la paleta guía. Este tipo es de velocidad relativamente baja, es adecuada para cabezas más altas. Las turbinas impulsoras reciben su suministro de agua directamente desde la tubería (Ver Figura N° 06).

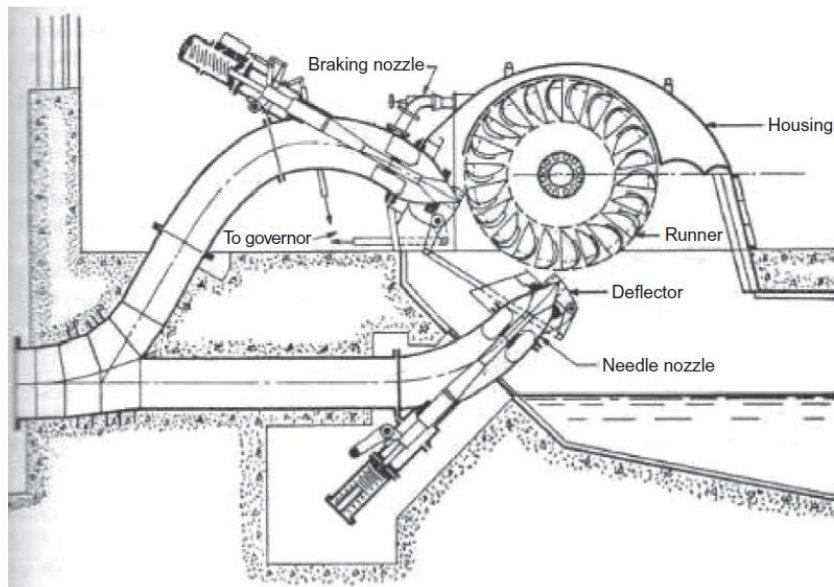


Figura N°. 6 Rueda Pelton. Fuente: Baumeister y Marks, 1958.

En la turbina de reacción, la cabeza estática se transforma parcialmente en una cabeza de velocidad en la paleta guía. El flujo radial es de velocidad relativamente media, adecuada para cabezales medianos. En Turbinas Francis, el agua a presión entra en la turbina con entrada radial y sale axialmente de la turbina. El agua de alta presión, al pasar a través de paletas guía, gira el eje para producir energía (Ver Figura N° 07).

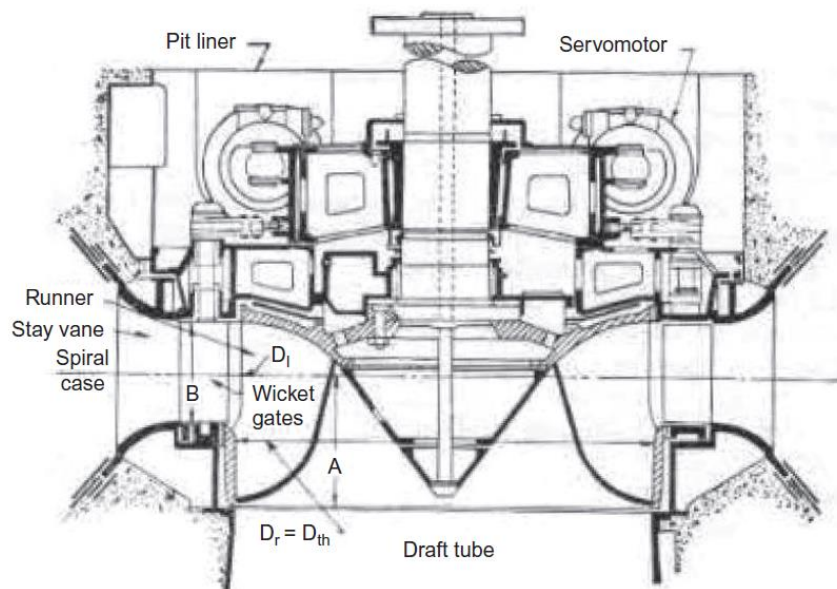


Figura N°. 7 Vista seccional de una Tubina Francis. Fuente: Baumeister y Marks, 1958.

El tipo de hélice es de velocidad relativamente alta, adecuada para cabezas bajas; Por lo tanto, es esencial pasar grandes caudales de agua a través de la turbina Kaplan para producir energía. El agua entrante entra en el paso en la dirección radial y es forzada a salir en la dirección axial que a su vez hace girar el eje para producir potencia (Ver Figura N° 08).

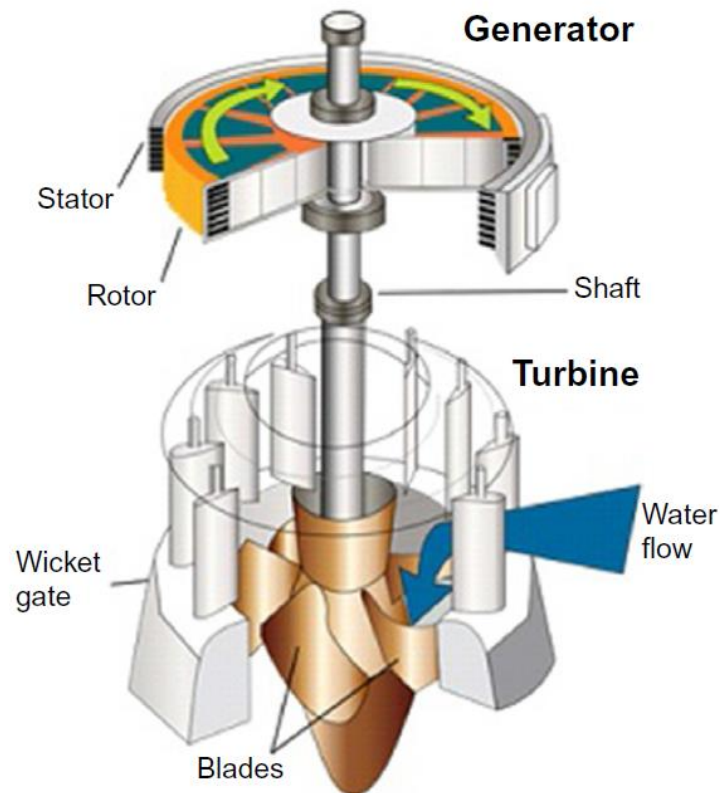


Figura N°. 8 Vista seccional de Turbina Kaplan. Fuente: Sakar, 2015.

2.3.2.3. Central de Energía Renovable.

Los recursos energéticos renovables extraen los flujos naturales de energía de la tierra, es decir, solar, eólica, geotérmica, oceánica y biomasa. Son libres para la toma. Están limpias, sin biomasa, casi libres de contaminación ambiental, ya veces incluso libres de ruido.

Energía Solar

La cantidad total de energía solar incidente sobre la tierra es inmensa, pero la energía es muy difusa, cíclica, y no funciona de noche sin dispositivo de almacenamiento de tipo batería. También sufre interferencia atmosférica de las nubes, partículas, gases, etc. La radiación solar puede convertirse en energía térmica o fotovoltaica para generar electricidad.

Para aprovechar todo el potencial de la energía solar, una vasta área de tierra se requiere para recoger suficiente energía para electrificar a una comunidad. Como resultado, las tecnologías solares son muy caras.

Energía Eólica

La energía eólica es libre de contaminación y su fuente de energía también es libre. Los vientos son más fuertes y más consistentes en sitios costa afuera y de alta altitud que aquellos en tierra. La energía eólica es adecuada en áreas con vientos generalmente constantes. El movimiento del aire se utiliza para ejecutar molinos de viento o turbinas de viento para producir electricidad.

Energía Geotérmica

La energía geotérmica es principalmente energía del núcleo de la tierra. El calor natural en la tierra se ha manifestado durante miles de años. Es recuperable como vapor o agua caliente. El vapor natural que salió de la tierra se utiliza en una estación de generación de energía geotérmica. La energía geotérmica es rentable, confiable, sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Energía Térmica Oceánica

Los mares y océanos absorben la radiación solar resultando en corrientes oceánicas y gradientes moderados de temperatura desde la superficie del agua hacia abajo. Puesto que la superficie del agua recibe la luz directa del sol, es más caliente, pero debajo de la superficie el océano es muy frío. Este gradiente de temperatura se utiliza en un motor térmico para generar energía. La diferencia de temperatura entre la superficie y abajo tiene que ser de al menos 21 K.

Energía Ola-motriz

Cuando el viento sopla sobre la superficie de los océanos, se generan grandes ondas con alta energía cinética. Esta energía se utiliza en las turbinas para generar energía.

Energía Mareo-motriz

Las mareas oceánicas, causadas por las fuerzas lunares y gravitatorias, resultan en la subida y bajada de las aguas con rangos que varían diariamente y estacionalmente. La

energía potencial de tales maremotos puede quedar atrapada para generar energía.

Biomasa

Es una materia orgánica producida por las plantas. Incluye residuos de madera y bagazo que se pueden utilizar para la combustión directa en un horno para hervir el agua; El vapor así producido se utiliza en un turbo generador convencional para producir electricidad. Los árboles como el álamo, el sicomoro y el eucalipto pueden ser astillados y pulverizados para quemarse en una central eléctrica. Los desechos animales y humanos pueden utilizarse para producir metano, que puede utilizarse directamente en turbinas de combustión para generar electricidad.

2.3.2.4. Ciclo combinado de gasificación integrada.

Aquí, el carbón se convierte en gas de síntesis. A continuación, elimina las impurezas del gas de carbón antes de que se quema. Esto se traduce en menores emisiones de dióxido de azufre, partículas y mercurio. También da como resultado una eficiencia mejorada en comparación con el carbón pulverizado convencional. La planta se denomina "integrada" porque su gas de síntesis se produce en una unidad de gasificación en la planta. El proceso de gasificación produce calor y éste es recuperado por el vapor en "calderas de calor residual". Las turbinas de vapor utilizan este vapor en un ciclo combinado.

2.3.2.5. Generador Magneto-hidrodinámico (MHD).

Transforma la energía térmica o la energía cinética directamente en electricidad. Estos son diferentes de los generadores eléctricos tradicionales porque pueden funcionar a altas temperaturas sin partes móviles. El escape de un generador plasma MHD es una llama, todavía capaz de calentar las calderas de una central eléctrica de vapor. En el generador MHD, los conductores sólidos son reemplazados por un conductor gaseoso, un gas ionizado. Si se pasa un gas de este tipo a alta velocidad a través de un potente campo magnético, se genera una corriente que puede extraerse colocando electrodos en una posición adecuada en la corriente (Ver Figura N° 09).

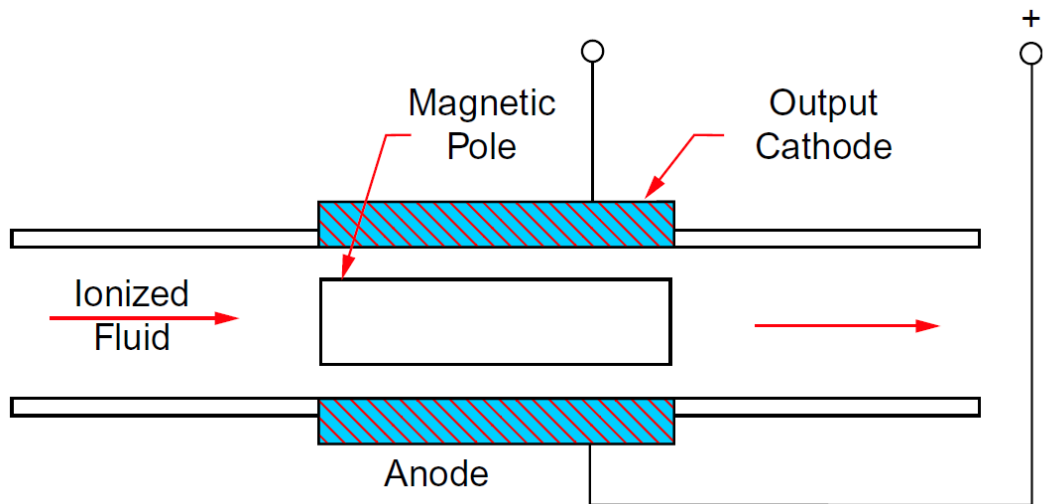


Figura N° 9 Generador MHD. Fuente: <https://newenergytreasure.files.wordpress.com/2014/01/ciht-mhd-1.jpg>.

2.3.2.6. Central de energía de celdas de combustible

Una celda de combustible genera energía eléctrica mediante la conversión continua de la energía química de un combustible que pasa a través de una reacción electroquímica para finalizar en electricidad. Las pilas de combustible usan típicamente el hidrógeno como el combustible y el oxígeno como el oxidante en la reacción electroquímica. La reacción produce electricidad, junto con el subproducto agua y calor. La pila de combustible en sí no tiene partes móviles, por lo que es una fuente de energía tranquila y confiable. Con su alta eficiencia de generación de energía (40-60%), facilidad en la instalación cerca de los consumidores, y la aplicabilidad para la cogeneración, las células de combustible se espera lograr una sustancial conservación de energía. Además, las células de combustible pueden utilizar gas natural, metanol o gas de carbón como combustible, sirviendo como una fuerza impulsora para fomentar el uso de fuentes alternativas de energía de petróleo. Estas plantas, sin embargo, sufren de limitación de la capacidad de generación (Ver Figura N° 10).

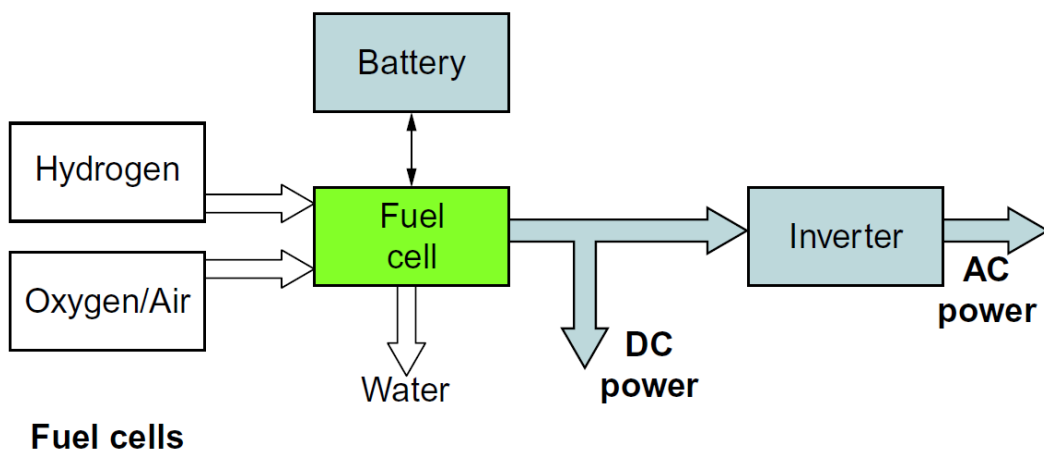


Figura N°. 10 Central de energía de celdas de combustibles. Fuente: http://www.mpoweruk.com/hydrogen_fuel.htm

2.3.2.7. Central Térmica.

Una central térmica utiliza el "calor de combustión" de los combustibles fósiles. Los combustibles fósiles son hidrocarburos, principalmente carbón y petróleo líquido o gas natural. Estos combustibles consisten en un gran número de compuestos complejos de cinco elementos principales: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), azufre (S) y nitrógeno (N). Todos los combustibles contienen también materia mineral (A) y humedad (M) hasta cierto punto. Sin embargo, hay sólo tres elementos combustibles de importancia en un combustible; Son carbono, hidrógeno y azufre, de los cuales el carbono es el elemento combustible principal. Los combustibles fósiles generan cantidades sustanciales de calor por unidad de masa o volumen al reaccionar con un oxidante en un proceso de combustión. (Sarkar, 2017)

2.3.3. Ciclos de las plantas de vapor

2.3.3.1. Generalidades

La termodinámica presenta ciclos térmicos que son el fundamento para la funcionalidad de los motores térmicos, que generar el mayor porcentaje de la electricidad en el mundo y además, son la base de los automóviles que funcionan por combustión. Los ciclos de potencia más comunes utilizados para los motores de combustión interna son el ciclo Otto y el ciclo Diesel. El ciclo utilizado para las turbinas de gas se llama el ciclo de Brayton, y el ciclo que apoya el estudio de las turbinas de vapor se llama ciclo de Rankine.

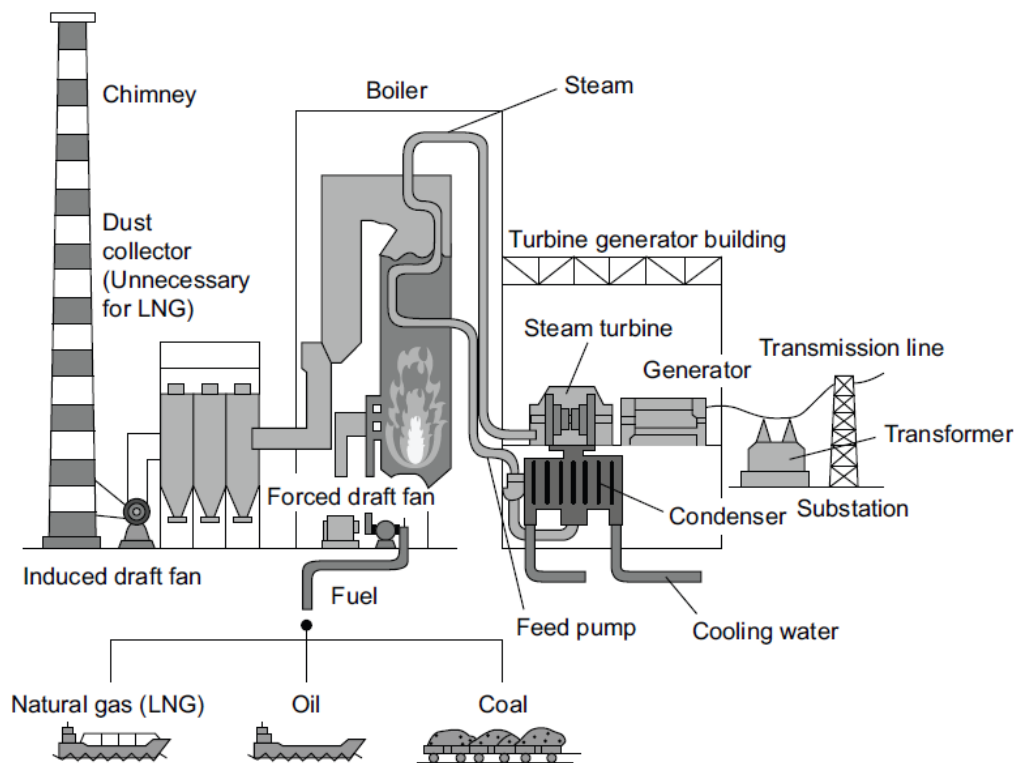


Figura N°. 11 Diagrama Conceptual de una Planta Térmica de Poder. Fuente: Tanuma, 2017.

2.3.3.2. Leyes de la Termodinámica

Antes de discutir los ciclos termodinámicos, es esencial cubrir las leyes fundamentales de la termodinámica en las que se basa la ciencia de la termodinámica. Al estudiar las leyes de la termodinámica también debe tenerse en cuenta que la ciencia de la termodinámica trata sólo de las relaciones entre el calor y el trabajo.

Primera Ley de la Termodinámica

En un proceso cíclico, dado que los estados inicial y final son idénticos, la cantidad neta de calor suministrada al sistema es proporcional a la cantidad neta de trabajo realizada por el sistema. Cuando el calor y el trabajo son mutuamente convertibles, tenemos la primera ley de la termodinámica. Matemáticamente hablando:

$$\sum dQ \propto \sum dW \dots (1)$$

Donde:

Q : Calor suministrado al sistema

W : Trabajo realizado por el sistema

Segunda Ley de la Termodinámica

La segunda ley expresa que un cierto calor debe ser siempre rechazado durante el transcurso de un ciclo. Basta con decir que el trabajo puede ser completamente y continuamente convertido al calor, pero el calor no puede ser completamente y continuamente convertido al trabajo, lo que significa que dentro de un ciclo de calor no está totalmente disponible para hacer el trabajo sobre una base continua. Esta energía no disponible, llamada anergia, tiene que ser rechazada como calor de bajo grado una vez que se ha hecho el trabajo. La energía disponible, también conocida como exergía, por otra parte, es la producción de trabajo que se obtiene de una cierta entrada de calor en un motor térmico cíclico. Considere un sistema que recibe calor Q_H de una fuente de calor de alta temperatura (T_H), rechaza Q_C a un disipador de calor a baja temperatura (T_C) y genera trabajo W mientras opera en un ciclo (Figura 12).

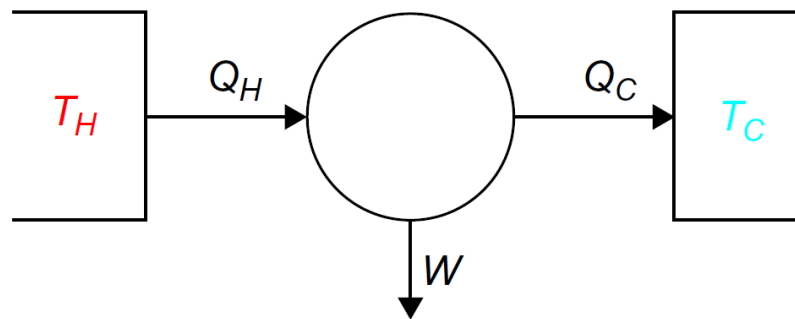


Figura N°. 12 Ciclo simple. Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Thermodynamic_system.

Por lo tanto, puede escribirse que:

$$Q_H = Q_C + W \dots (2)$$

O,

$$W = Q_H - Q_C$$

O,

$$AE = Q_H - UE \dots (3)$$

Donde:

AE : Energía disponible (Exergía)

UE : Energía no disponible (Anergía)

2.3.3.3. Ciclo Rankine

En una planta de energía de vapor, el suministro y rechazo de calor se realiza más fácilmente a presión constante que a temperatura constante. Fue William John Macquorn Rankine, después de quien se nombra el ciclo de Rankine, quien primero calculó el máximo trabajo posible que podría ser desarrollado por un motor usando vapor saturado seco entre los límites de presión de la caldera y el condensador. El ciclo de vapor más simple que utiliza vapor saturado seco como fluido de trabajo tiene los siguientes componentes básicos:

- a. Generador de Vapor/Caldera
- b. Turbina de Vapor
- c. Condensador
- d. Bomba de alimentación

El ciclo Rankine es un ciclo ideal termodinámico que incluye los siguientes procesos:

- i. Generación de vapor en la caldera a presión constante
- ii. Expansión isentrópica en la turbina de vapor
- iii. Condensación a presión constante
- iv. Presurización del condensado a la presión de la caldera por compresión isentrópica

La Figura N°. 13 muestra el ciclo de Rankine en los diagramas P-V y T-S. Este ciclo supone que todos los procesos son reversibles, es decir, que todos los procesos tienen lugar sin ninguna fricción y que las transferencias de calor tienen lugar a través de caídas de temperatura infinitesimales.

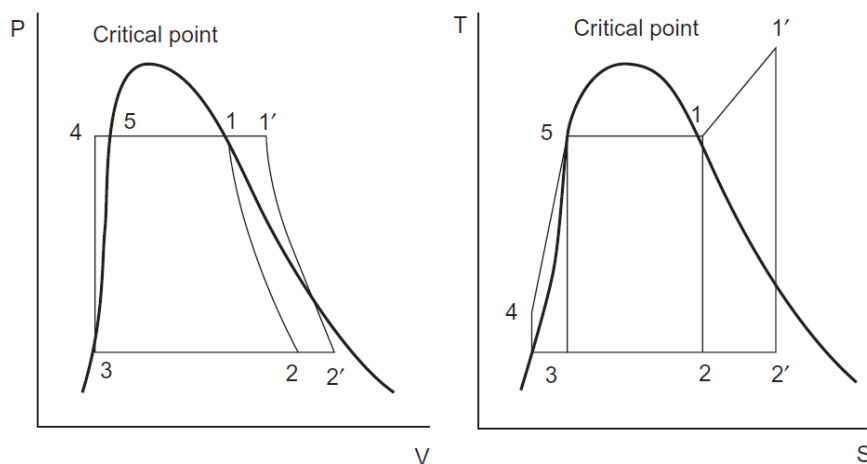


Figura N°. 13 Ciclo Rankine. Fuente: Sarkar, 2015.

Por lo tanto, mirando a la Figura N° 13 las siguientes ecuaciones se pueden derivar:

Calor añadido en el generador de vapor

$$Q_1 = (h_1 - h_4) \dots (4)$$

Calor rechazado en el condensador

$$Q_2 = (h_2 - h_3) \dots (5)$$

Salida de trabajo en la turbina

$$W_T = (h_1 - h_2) \dots (6)$$

Entrada de trabajo de la bomba de alimentación

$$W_P = (h_4 - h_3) \dots (7)$$

Así, la producción neta de trabajo

$$W_o = W_T - W_P \dots (8)$$

Por lo tanto, la eficiencia del ciclo Rankine es

$$\eta_r = 1 - \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \dots (9)$$

Ciclo Rankine Real

En un ciclo ideal de Rankine (Figura N°. 13), tanto la compresión en la bomba de alimentación de la caldera (proceso 3-4) como la expansión en la turbina (proceso 1-2) tienen lugar de forma isentrópica (reversible y adiabática). Por lo tanto, la eficiencia del ciclo de Rankine ideal puede considerarse como la máxima eficiencia posible en la práctica con una máquina de condensación recta. Sin embargo, en un ciclo Rankine real (Figura N°. 14) la eficiencia que se podría lograr es menor que la eficiencia del ciclo ideal de Rankine, ya que ninguno de los procesos de compresión y expansión son isentrópicos. Esto se debe a que estos procesos al final no son reversibles, causando que la entropía aumente durante la compresión en la bomba de alimentación de la caldera (el proceso isentrópico 3-4s aumenta al proceso 3-4) así como durante la expansión en la turbina (el proceso isentrópico 1-2s aumenta al proceso 1-2), lo que da como resultado además un aumento de la potencia requerida por la bomba de alimentación de la caldera y una disminución de la potencia generada por la turbina. La irreversibilidad en un ciclo Rankine real es el resultado de la irreversibilidad en las siguientes áreas:

- i. Fricción en rodamientos, etc.
- ii. Caída de presión en tuberías de vapor y agua, intercambiadores de calor,

curvas y válvulas, etc.

- iii. Fricción en la paleta de la turbina y en la bomba, dando como resultado un aumento de la entropía en ambos
- iv. Pérdida de viento en la turbina

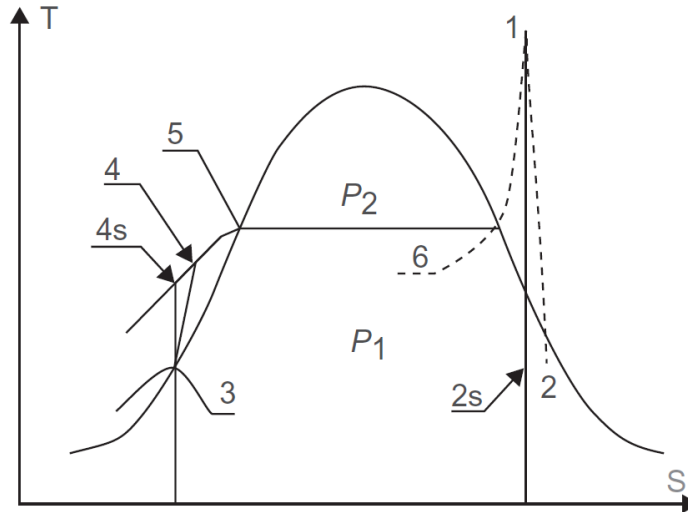


Figura N°. 14 Ciclo Rankine Real. Fuente: Sarkar, 2015.

Ciclo Rankine con recalentamiento

Para evitar la erosión de la cuchilla y el funcionamiento ineficiente de la turbina, a veces se extrae el vapor húmedo de la turbina desde una etapa intermedia y luego se pasa a través del recalentador, donde el vapor vuelve a sobrecalentarse y se devuelve a la siguiente etapa de la turbina para una mayor expansión (Figura N°. 15). El propósito fundamental del recalentamiento no es mejorar la eficiencia del ciclo, sino reducir el contenido de humedad del vapor en el escape de la turbina. Sin embargo, con el recalentamiento la eficiencia térmica del ciclo aumenta significativamente en comparación con el ciclo de no recalentamiento

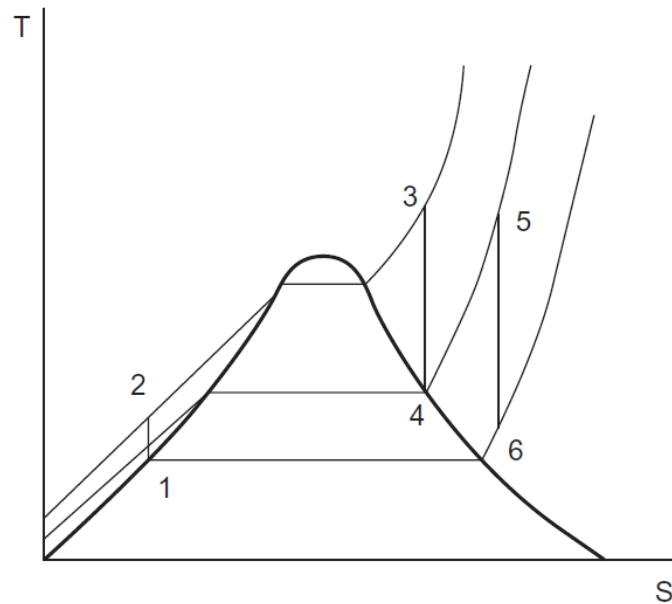


Figura N°. 15 Ciclo Rankine con recalentamiento. Fuente: Sarkar, 2015

De la figura N°. 15, despreciando la entrada de trabajo a la bomba de alimentación de la caldera, el trabajo realizado en el ciclo de recalentamiento es:

$$W_O = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) \dots (10)$$

El calor agregado en el generador de vapor es:

$$W_P = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) \dots (11)$$

Por lo tanto, la eficiencia del ciclo Rankine es:

$$\eta_{rh} = \frac{(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)}{(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)} \dots (12)$$

2.3.4. Generadores de Vapor.

2.3.4.1. Generalidades.

La energía química disponible en el combustible fósil (es decir, carbón, fuelóleo, gas) se convierte en energía calorífica por combustión en un generador de vapor. El calor así liberado se absorbe alimentando continuamente agua en una combinación de superficies de transferencia de calor, dando como resultado una generación continua de vapor. El agua introducida en un generador de vapor se denomina agua de alimentación. El vapor y el agua de alimentación se llaman fluido de trabajo. El nombre "generador de vapor" también se llama "caldera", pero los generadores de vapor modernos en la clase supercrítica no implican el fenómeno de "hervir".

2.3.4.2. Calderas

Una caldera (o generador de vapor, como es comúnmente llamado) es un recipiente cerrado en el que el agua, bajo presión, se transforma en vapor por la aplicación de calor. Los recipientes abiertos y los generadores de vapor a presión atmosférica no se consideran calderas. En el horno, la energía química en el combustible se convierte en calor, y es la función de la caldera para transferir este calor al agua de la manera más eficiente. Así, la función primaria de una caldera es generar vapor a presiones mayores a la que presenta la atmósfera, por la absorción de calor que se genera en la combustión del combustible. Con calderas de calor residual, los gases calentados sirven como fuente de calor, por ejemplo, gases de una turbina de gas (Woodruff,2004).

La ebullición ocurre cuando se añade calor al líquido a una velocidad tal que su temperatura sea al menos igual a su temperatura de saturación correspondiente a la presión total sobre la superficie libre del líquido. Si el recipiente está abierto a la atmósfera, el vapor desplaza el aire de su superficie del líquido enteramente, mientras que con la evaporación el vapor se quita por la difusión. El calor, que cambia el agua en vapor, se llama calor de evaporación o calor de vaporización (Sakar,2015)

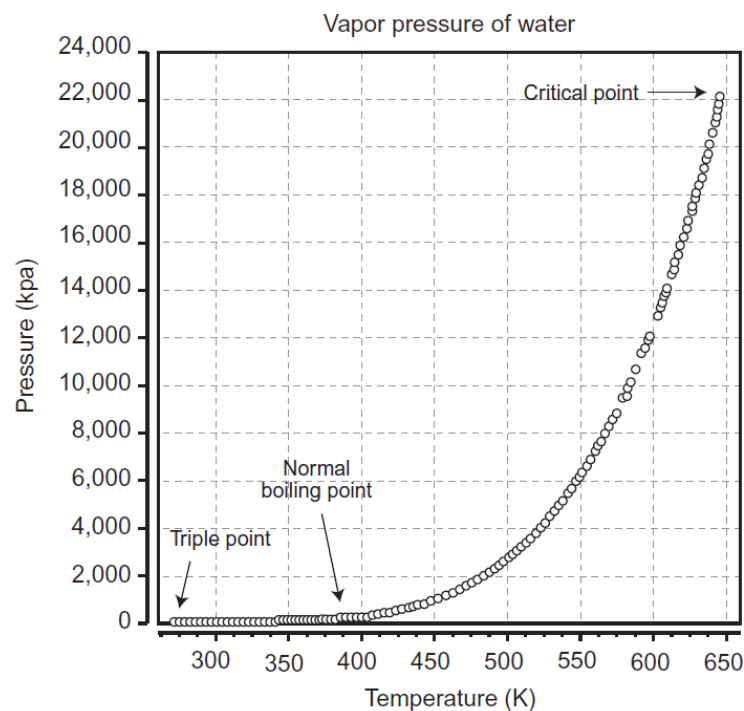


Figura N°. 16 Presión saturada del agua/vapor versus Temperatura. Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/Vapor_Pressure_of_Water.png/800px-Vapor_Pressure_of_Water.png.

La transferencia de calor que tiene lugar desde la pared al líquido durante la ebullición viene dada por la ecuación convectiva de transferencia de calor:

$$Q = hA\Delta T \dots (13)$$

Donde:

Q: Flujo de calor, W

h: Coeficiente de transferencia de calor, W/m²K

A: Área a la cual se produce el flujo de calor, m²

ΔT: Diferencia de temperatura

2.3.4.3. Clasificación de las calderas.

La función de un generador de vapor es proporcionar una liberación controlada de calor en el combustible y transferir este calor de manera segura, confiable y eficiente al agua de alimentación y al vapor. En una caldera no se hace ningún trabajo sobre o por el fluido a medida que pasa a través del sistema.

Caldera Piro-tubular

En este tipo de caldera pasan gases calientes a través de los tubos y el agua está contenida en la carcasa. Como su nombre sugiere, su construcción general es como un tanque de agua perforado por tubos que transportan gases de combustión calientes del fuego. El tanque es generalmente de forma cilíndrica para realizar la máxima resistencia a partir de la geometría estructural simple. El depósito puede instalarse horizontal o verticalmente.

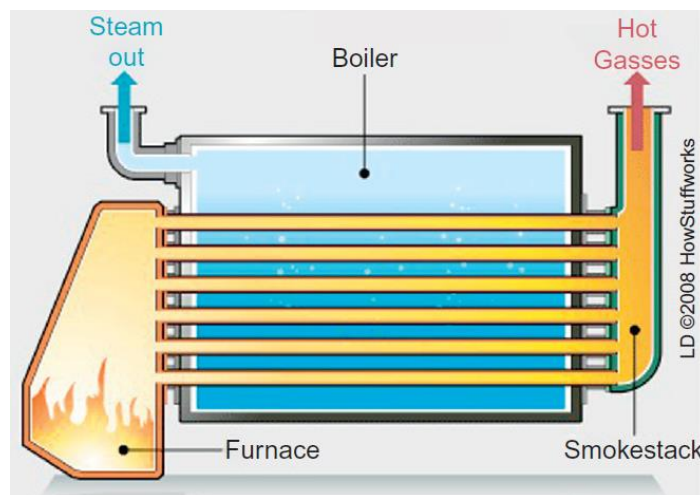


Figura N°. 17 Caldera Piro-Tubular. Fuente: <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam2.htm>

Caldera Aqua-tubular

Para generar alta tasa de evaporación acompañada de una alta presión de vapor, la caldera del tubo de fuego se vuelve exorbitantemente pesada; Por lo tanto, el tamaño y el peso se vuelven extremadamente difíciles de manejar. Con respecto al tamaño de la envoltura, estas deficiencias se evitan pasando gases de combustión fuera de los tubos, en lugar de dentro, y el agua circula a través de los tubos para la evaporación. Los deflectores se instalan a través de los tubos para permitir el flujo cruzado de los gases de combustión para asegurar la exposición máxima de los tubos. Sobre la base de la configuración de los tubos dentro del horno, esta caldera se clasifica además como "caldera de tubo recto" y "caldera de tubo curvado".

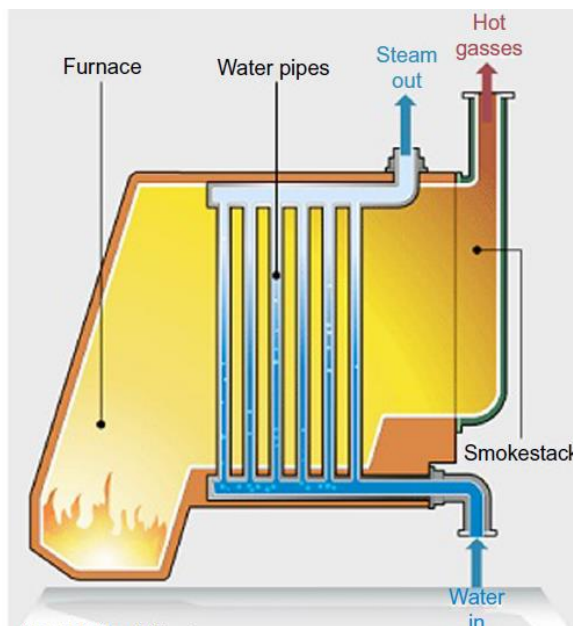


Figura N°. 18 Caldera Aqua-Tubular. Fuente: <http://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/steam2.htm>

2.3.5. Torres de enfriamiento

D.2 Parámetros de diseño para la Torre de enfriamiento

Para el desarrollo de la presente investigación se empleará un condensador de superficie, la cual posee las siguientes características:

Diámetro exterior de los tubos es de 22 mm con un espesor de 1.25 mm, diámetro interno de 19.5 mm, hecho de cobre.

La velocidad tomada está en el intervalo de 1 a 2.5 m/s, se selecciona una velocidad promedio de 2.1 m/s (recomendación del investigador Gaffert).

La temperatura del agua de enfriamiento a la entrada es de 25°C y un $\Delta T=5^\circ\text{C}$.

El factor para la diferencia entre los tubos limpios y sucios con aguas en condiciones normales varía entre 0.8 a 0.9. Se seleccionará el valor intermedio de 0.85

D.3 Parámetros de diseño para las Tuberías

Mayormente en las plantas de vapor se emplean tuberías que representan una parte esencial para el sistema y se seleccionan tomando en cuenta distintos factores como; caudal, temperatura, presión, etc.

DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS

Los diámetros de tubería se obtienen por la ecuación de continuidad:

$$Q = \dot{m}v = VA = V \frac{\pi}{4} d^2$$

Ecuación 1 Diámetro de la tubería

Donde:

\dot{m} = Flujo másico

v = Volumen específico

V = Velocidad del fluido

d = Diámetro de la tubería

Despejando el diámetro:

$$d = \sqrt{\frac{4\dot{m}v}{\pi V}}$$

2.4. Definición de los Términos Básicos

Caldera: Dispositivo o máquina capaz de generar vapor.

Turbina: Es un elemento mecánico que transforma la energía mecánica de rotación en una corriente de agua, vapor de agua o gas.

Generador Eléctrico: Es un dispositivo que tiene la capacidad de mantener una potencia eléctrica entre sus dos terminales conocidos como polos. Emplea la energía mecánica para producir energía eléctrica.

Vapor de agua: Es una material en forma de gas que se adquiere por evaporación o ebullición del agua líquida por sublimación de hielo.

Bomba: Dispositivo capaz de elevar la presión de un fluido.

Torre de Enfriamiento: Son estructuras para condensar agua y otros fluidos a temperaturas muy elevadas.

Temperatura: Es una propiedad asociada a la energía interna que posee un cuerpo o sistema térmico.

Quemador: Es un elemento capaz de quemar combustible gaseoso, líquido o en todo caso, ambos, con la finalidad de generar calor a través de una llama.

Ciclo Rankine: Es uno de los ciclos termodinámicos con más presencia industrial. Su función se centra en la conversión de energía calorífica en trabajo, formando un ciclo de potencia.

Medidor de Nivel de Agua: Es un dispositivo capaz de permitir la visualización del nivel de líquido de cualquier depósito.

Llave de Control de Flujo: Es un equipo empleado para cortar o permitir el paso de un fluido a través de un conducto o tubería.

Manómetro de Temperatura: Es utilizado para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación es de tipo tecnológica, cuasi experimental y se desarrolla dentro del área de diseño de máquinas térmicas. Para lograr con éxito esta investigación se hará uso de métodos analíticos, sintéticos, deductivos e inductivos durante el proceso de recolección, definición, sintetización, cálculo, diseño mecánico e implementación para una mini-central de vapor para instrucción universitaria.

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población

No aplicable

3.2.2. Muestra

No aplicable

3.3. Variables

3.3.1. Variables de Entrada:

Flujo másico de vapor (kg/s)

Número de tuberías en la caldera (adimensional)

Flujo Másico del agua de enfriamiento (kg/s)

3.3.2. Variables de Salida

Potencia eléctrica generada (kW)

Eficiencia Térmica (adimensional)

Eficiencia adiabática de la turbina (adimensional)

3.4. Operacionalización de Variables.

Tabla 1*Operacionalización de variables independientes*

DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
FLUIDO DE TRABAJO (AGUA)	Flujo másico	Temperatura a la entrada de la turbina.	°C	Observación	Guía de Observación	Termocuplas
		Presión a la entrada de la turbina.	Pa	Observación	Guía de Observación	Manómetro
		Velocidad a la entrada de la turbina.	m/s	Observación	Guía de Observación	Flujómetro
		Sección recta de la tubería a la entrada de la turbina.	m ²	Observación	Guía de Observación	Vernier
CALDERA	Número de tuberías	Numero de tuberías del arreglo dentro de la caldera.	Adimensiona l	Entrevista y Recopilación de información	Cuestionario y Guía de Observación	Conteo directo
FLUIDO DE ENFRIAMIENTO (AGUA DE ENFRIAMIENTO)	Flujo másico	Temperatura a la entrada de la turbina.	°C	Observación	Guía de Observación	Termocuplas
		Presión a la entrada de la turbina.	Pa	Observación	Guía de Observación	Manómetro
		Velocidad a la entrada de la turbina.	m/s	Observación	Guía de Observación	Flujómetro
		Sección recta de la tubería a la entrada de la turbina.	m ²	Observación	Guía de Observación	Vernier

Fuente: Propia

Tabla 2*Operacionalización de variables dependientes*

DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN
PLANTA DE VAPOR	Potencia neta	Potencia generada en la turbina	Kw	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Vatímetro
		Potencia absorbida en la bomba	Kw	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Vatímetro
	Eficiencia Térmica	Potencia generada en la turbina	Kw	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Vatímetro
		Potencia absorbida en la bomba	Kw	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Vatímetro
		Energía por unidad de tiempo entregada por el combustible	Kw	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Vatímetro
TURBINA	Eficiencia adiabática de la turbina	Entalpía a la entrada de la turbina	kJ/kg	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Indirecta (De la temperatura y la presión)
		Entalpía a la salida de la turbina.	kJ/kg	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Indirecta (De la temperatura y la presión)
		Entalpía ideal a la salida de la turbina	kJ/kg	Observación, Encuesta y/o Entrevista	Guía de Observación	Indirecta (Tablas termodinámicas)

Fuente: Propia

3.5. Abordaje Metodológico, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.5.1. Abordaje Metodológico

Analítico

Este punto nos permitió analizar el diseño mecánico y la fabricación de nuestro proyecto, en la cual se mostrará el ciclo termodinámico que se generará dentro del sistema, y los elementos que componen nuestra mini-central de vapor, con el fin de estudiar los materiales y diseñarlos correctamente para garantizar su correcto funcionamiento y lograr un uso adecuado de este equipo, obteniendo un proyecto a bajo costo y de durabilidad.

Inductivo

Con este método se obtuvo conclusiones y se creó juicios críticos para el diseño mecánico y la fabricación óptima de la mini-central de vapor.

Deductivo

Este método permitió la formación de la hipótesis, la investigación científica.

3.5.2. Técnicas de Recolección de Datos

Observación

Obtuvimos una muestra de cierta cantidad de alumnos refiriendo a los cursos de ciencias térmicas, para el análisis de la ausencia de laboratorios, si es este el motivo por el cual se presenta alumnos desaprobados y a la vez tener una idea más amplia y real de los procesos térmicos y de la mini-central de vapor.

Encuesta

Con un cuestionario realizado a los alumnos de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica se recolectó información acerca de la opinión de los estudiantes acerca de la carencia de equipos de laboratorio, al igual de la falta de conocimiento específicos de los cursos de ciencias térmicas y las causas por la cual hay estudiantes desaprobados en dichos cursos, estas entrevistas son de vital importancia para realizar el análisis y determinar si este es el motivo por el cual se presentan alumnos desaprobados.

Entrevista

Entrevistamos a un ingeniero de planta, especialista en calderas.

3.5.3. *Instrumentos de Recolección de Datos*

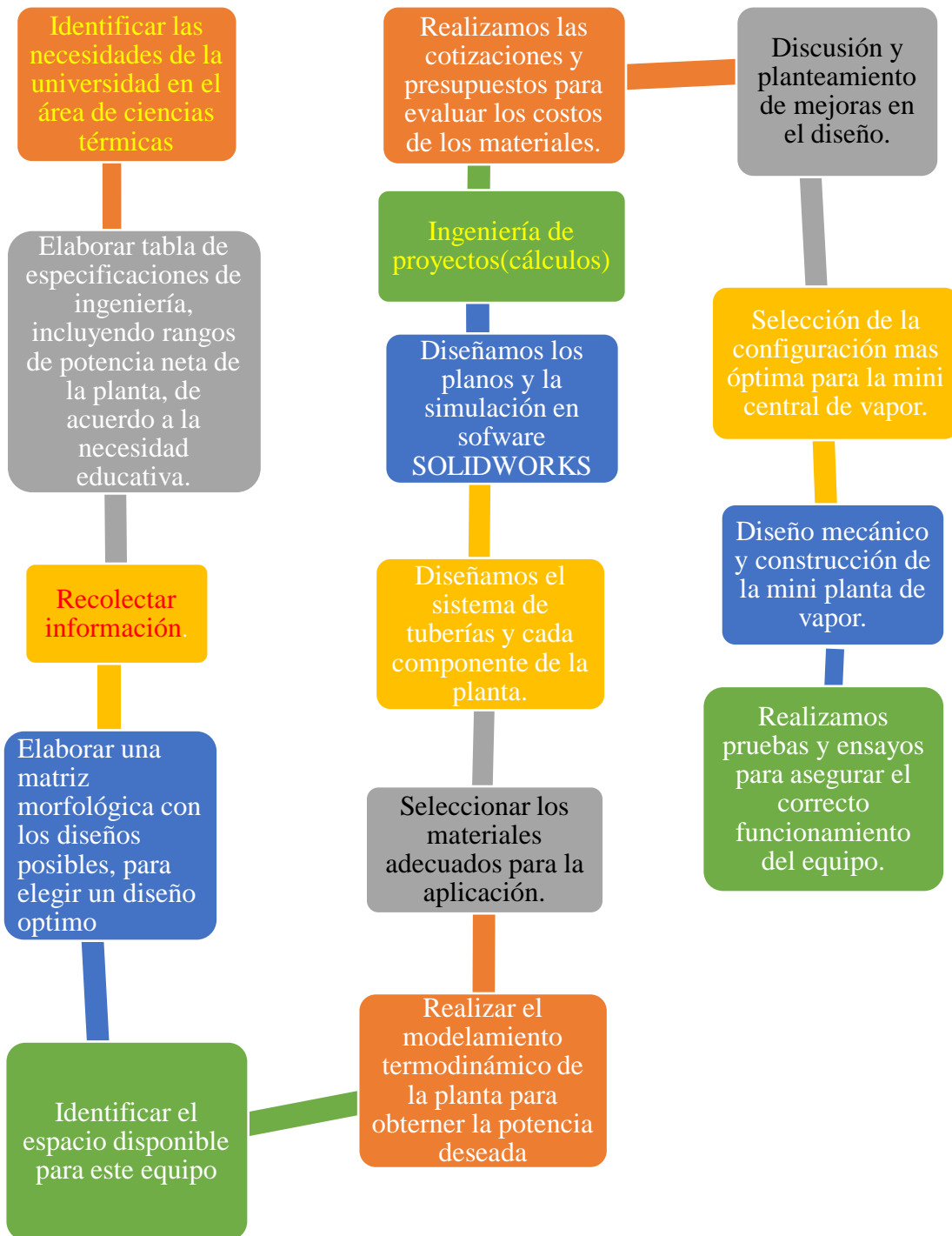
Recolección de datos

Se tuvo en cuenta la información de manuales, libros, revistas, videos y tesis.

3.6. Procedimiento para la Recolección de Datos

Tabla 3

Diagrama de flujo de procesos



Fuente: Propia

3.6.1. Descripción de Procesos

1) Identificación de las necesidades de la universidad en el área de ciencias térmicas

Fuente de Consulta:

Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Datos a Conseguir:

Necesidades de los laboratorios del área de ciencias térmicas.

Falta de equipos de laboratorio.

Materiales y Herramientas:

Hojas papel bond

Lapiceros

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Entrevista a: Ing. Marcelo Rojas Coronel.

Observación →

Falta de equipos de laboratorio de ciencias térmicas.

2) Elaboración tabla de especificaciones de ingeniería, incluyendo rangos de potencia neta de la planta, de acuerdo a la necesidad educativa.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume docente de la universidad Señor de Sipán.

Director de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la universidad Señor de Sipán.

Libro de termodinámica Yunus Cengel

Datos a Conseguir:

Potencia neta

Potencia de la bomba

Potencia de la turbina

Materiales y Herramientas:

Hojas papel bond

Lapiceros

Fórmulas

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Entrevista a: Ing. Marcelo Rojas Coronel.

Observación →

Tablas que nos servirá como punto principal para implementar el laboratorio

3) Recolección de información

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume docente de la universidad Señor de Sipán.

Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Libro de termodinámica Yunus Cengel

Datos a Conseguir:

Diseños de las piezas de la minicentral de vapor

Materiales que debemos utilizar para la fabricación

Lo que queremos obtener de la minicentral de vapor

Cálculos

Formulas

Materiales y Herramientas:

Internet

Libros

Tesis

Folletos

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Entrevista a: Ing. Marcelo Rojas Coronel.

Observación →

También debemos consultar con personas que se dedican a la fabricación de estas

piezas.

4) Elaboración de una matriz morfológica con los diseños posibles, para elegir un diseño óptimo

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Datos a Conseguir:

Diferentes diseños.

Cálculos.

Materiales y Herramientas:

Papel bond

Cuaderno de diseños

Cuaderno de cálculos

Lapiceros

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Entrevista a: Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Observación →

Debemos realizar una gran cantidad de diseños para elegir el diseño adecuado.

5) Identificación del espacio disponible para este equipo.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Director de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la universidad Señor de Sipán.

Datos a Conseguir:

Altura

Ancho

Materiales y Herramientas:

Cuaderno de diseños

Cuaderno de cálculos

Wincha

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Entrevista a: Docentes del área de los cursos de ciencias térmicas de la universidad Señor de Sipán.

Entrevista a: Ing. Marcelo Rojas Coronel.

Observación →

Debemos tener en cuenta la seguridad de los alumnos o los operadores de la minicentral de vapor

6) Realización del modelamiento termodinámico de la planta para obtener la potencia deseada.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Libro de Termodinámica (YUNUS CENGEL) – Ciclos termodinámicos.

Datos a Conseguir:

Potencia generada en la turbina

Potencia absorbida en la bomba

Materiales y Herramientas:

Vatímetro

Cuaderno de cálculos

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume.

Observación →

Debemos tener en cuenta que habrá pérdidas al hallar la potencia deseada.

7) Selección de los materiales adecuados para la aplicación.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Libro de Ingeniería de materiales.

Folletos de materiales sobre centrales térmicas.

Datos a Conseguir:

Presión

Temperatura

Materiales y Herramientas:

Folletos.

Datos que nos brinda el fabricante

Hoja de cálculos

Termocupla

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Entrevista a: Fabricantes que trabajan con estos materiales

Observación →

Tenemos que tener en cuenta el más mínimo detalle para elegir el material con el que se va a diseñar la minicentral de vapor

8) Diseño del sistema de tuberías y cada componente de la planta.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Libro de Ingeniería de materiales.

Folletos de calderas sobre centrales térmicas.

Datos a Conseguir:

Diámetro

Longitud

Presión

Temperatura

Materiales y Herramientas:

Folletos.

Datos que nos brinda el fabricante

Hoja de cálculos

Termocupla.

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Entrevista a: Fabricantes que trabajan con estos materiales

Observación →

Tenemos que tener en cuenta el número de tuberías, para analizar el diseño adecuado

9) Diseño de los planos y la simulación en software SOLIDWORKS.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Docente que dicta este programa

Datos a Conseguir:

Área de las tuberías

Numero de tuberías

Dimensiones de los componentes de la minicentral

Material de los componentes de la minicentral

Numero de alabes de la turbina

Simulación

Materiales y Herramientas:

Programa SOLIDWORKS.

Laptop.

Folletos.

Datos que nos brinda el fabricante.

Técnica de Recolección de Información

Entrevista

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Entrevista a: Docente que dicta este programa

Observación →

Saber el uso del programa de SOLIDWORKS.

10) Ingeniería de proyectos (cálculos).

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Libro de Termodinámica (YUNUS CENGEL) – Ciclos termodinámicos.

Libro de Ingeniería de materiales.

Folleto de materiales sobre centrales térmicas

Datos a Conseguir:

Diámetro de la tubería

Sección de la tubería

Potencia Neta

Potencia de la Bomba

Potencia de la Turbina

Flujo Másico del combustible

Flujo Másico de enfriamiento del agua

Eficiencia Térmica

Temperatura

Presión

Transferencia de Calor

Materiales y Herramientas:

Termocupla

Manómetro

Flujómetro

Vernier

Vatímetro

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Observación →

Los cálculos deben ser exactos para que el diseño de la minicentral de vapor no tenga algún inconveniente

11) Realización de cotizaciones y presupuestos para evaluar los costos de los materiales.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Diferentes empresas que venden los materiales.

Datos a Conseguir:

Costo de cada material.

Materiales y Herramientas:

Lapicero

Hoja bond

Apuntes de los precios

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Entrevista a: Empresas que ofrecen este producto

Observación →

Tenemos que tener el mayor número de cotizaciones, para analizar y escoger un buen material y a un bajo costo.

12) Discusión y planteamiento de mejoras en el diseño.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Datos a Conseguir:

Diseños

Numero de tuberías

Capacidad de flujo másico

Dimensiones de caldera

Dimensiones de la turbina

Dimensiones del generador

Sección de las tuberías

Materiales y Herramientas:

Solidworks

Hoja de cálculos

Lapicero

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Observación →

El diseño debe tener mejoras para el buen funcionamiento y selección del diseño de la minicentral de vapor

13) Selección de la configuración más óptima para la mini central de vapor.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Datos a Conseguir:

Selección del Software

Materiales y Herramientas:

Laptop

Software Labview

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Observación →

La configuración debe ser utilizada con el software adecuado, es por eso la selección de la configuración.

14) Diseño mecánico y construcción de la mini planta de vapor.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olortegui Yume asesor especialista.

Datos a Conseguir:

Construcción de la minicentral

Materiales y Herramientas:

Acero inox

Soldadura

CNC

Pie de rey

Hoja de cálculos

Planos de los equipos

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Observación →

Para la construcción de la minicentral, ya deberíamos haber realizado los anteriores puntos como tener un adecuado diseño.

15) Realización de pruebas y ensayos para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

Fuente de Consulta:

Doctor Jorge Antonio Olórtegui Yume asesor especialista.

Datos a Conseguir:

Energía eléctrica

Potencia de la minicentral

Temperatura

Presión

Eficiencia térmica

Materiales y Herramientas:

Software Labview

Laptop

Termocupla

Manómetro

Vatímetro

Técnica de Recolección de Información

Entrevista:

Entrevista a: Dr. Jorge Antonio Olórtegui Yume

Observación →

Debemos realizar varias pruebas y ensayos, para estar seguros que el equipo funciona correctamente.

3.6.2. *Equipos, Materiales e Instrumentos*

Tabla 4

Equipos, materiales e instrumentos que vamos a utilizar

ITEM	DESCRIPCIÓN
Equipos	Computadora
	Calculadora
	Cámara fotográfica
	Torno
	Máquina soldadora
	Fresadora
	Taladro de columna
	Taladro de mano
	Equipo de oxicorte
	Cepillo
	Plancha de acero inox.
Tuberías de acero inox.	
Tubo estructural cuadrado.	

Materiales
 Cañerías de acero inox.
 Manómetros
 Quemador de gas GLP
 Balón de gas GLP
 Válvulas de control de flujo
 Plancha de acero inox.300 x 350x1.5 mm
 Generador eléctrico
 Turbina de vapor
 Carcasa de turbina
 Válvula de alivio
 Cables
 Conectores
 Medidores de flujo
 Mirilla
 Pernos y Tornillos
 Planos
 Hoja de nota
 Lapicero
 Fuentes bibliográficas
 Manuales

	Llaves	AutoCAD
	Amoladora	
	Escuadra	Solidworks
Herramientas	Nivel	Excel
	wincha	
	Pintura	
		AutoCAD

	Solidworks
Software	Excel
	Project

Fuente: Propia

3.6.3. *Recursos Humanos*

Tabla 5

Recurso Humanos

PERSONAL	NÚMERO
Asesor Especialista	1
Asesor Metodológico	1
Ingeniero Mecánico – Eléctrico	1
Técnicos electromecánicos	1
Tesistas	2

Fuente: Propia

3.6.4. *Formulas y Cálculo*

Las fórmulas que utilizadas para el diseño de la mini central de vapor se encuentran especificadas en el marco teórico, donde detallamos como calcular la capacidad del equipo, el dimensionamiento de los componentes y las fórmulas para el análisis de este.

3.6.5. *Planos*

Los planos se desarrollaron utilizando el software Auto CAD y SOLIDWORK los cuales se detallan a continuación:

- Plano de ubicación.
- Plano de diseño de los componentes de la mini central de vapor.
- Esquema del modelamiento de la mini central de vapor.

3.6.6. *Diseño*

Se realizó la simulación del diseño de las componentes de la mini central de vapor utilizando software de ingeniería, como el Solidworks, el cual permite analizar los componentes mediante el método de análisis finito.

3.6.7. *Pruebas de Funcionamiento*

Una vez realizado el diseño de la mini central de vapor, y la estructura de soporte, se llevará a cabo las pruebas de funcionamiento y la puesta a punto final de la máquina.

3.6.8. *Mantenimiento*

El mantenimiento a realizar se detalla en un plan/cronograma que sirve para determinar el estado en que se encuentra cada pieza, equipo y sistema de la mini central térmica, además, de llevar un seguimiento del funcionamiento de cada uno de los componentes, y como el pasar del tiempo afecta el mecanismo de estos. En casos extremos se puede emplear un mantenimiento correctivo para solucionar cualquier falla que se presente.

Tabla 6*Plan de Mantenimiento.*

<u>Actividades</u>	<u>Frecuencia</u>				<u>Observaciones</u>
	<u>Diario</u>	<u>semanal</u>	<u>Mensual</u>	<u>semestral</u>	
Chequear el quemador	×				
Revisar la boquilla		×			
Limpiar el quemador		×			
Limpiar los electrodos		×			
Revisar aisladores de ignición		×			
Revisar cables de ignición		×			
Limpieza de hollín en espejos de la caldera			×	×	
Conexión y línea de alimentación	×				
Revisión de tuercas y pernos			×	×	
Fugas de agua, vapor		×			
Verificar posición de las válvulas	×	×	×	×	
Verificar señal de los instrumentos	×	×	×	×	
Verificar ducto de salida de gases				×	
Faja de transmisión			×	×	
Fugas en turbina, empaques.			×	×	



3.6.9. Costos

Para este proyecto se asume una inversión de S/ 10,139.00 soles, la cual será financiada por la Universidad Señor de Sipán, debido a que este proyecto servirá como material didáctico para los estudiantes de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la universidad antes mencionada.

Manual de Usuario

Se elaboró un manual para el operador de la mini central de vapor. Este manual incluirá:

Pasos para la puesta en marcha y parada de la mini central de vapor.

Descripción de cada una de las partes de la mini central de vapor e instrumentación.

Esquemas gráficos de la mini central de vapor.

Instrucciones de mantenimiento.

Restricciones de operación.

Normatividad

Se utilizó como guía para el diseño de la mini central, El código ASME; es una literatura de especificaciones técnicas, normas, recomendaciones de diseño y selecciones con tiene base en la experiencia ingenieril. Dicho código se creó en el año 1907 en el país de Estados Unidos, en su mayoría, los profesionales que forman y desarrollaron este código son ingenieros expertos en muchas ramas de la física y la matemática.

3.7. Análisis Estadístico e Interpretación de los Datos

3.7.1. Enfoque cualitativo

Se realizó entrevistas a ingenieros residentes especializados en planta de vapor y calderos, para obtener información sobre los tipos de materiales más adecuados para usar en nuestro diseño.

3.7.2. *Enfoque Cuantitativo*

Se realizaron pruebas con la finalidad de escoger la configuración más óptima para nuestro diseño, además se utilizó el software Ms Project, el cual ayudó en la organización de recursos y tiempos.

3.8. Principios Éticos

3.8.1. *Criterio de la publicación*

Con la implementación de este equipo de laboratorio y publicando el proyecto de tesis en una revista científica, se logró dar a conocer a los estudiantes los beneficios que obtendremos al implementar el laboratorio de física, realizando pruebas y ensayos sobre el ciclo Rankine, lo cual sería de vital importancia para mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

3.8.2. *Ética de la aplicación*

Para este diseño de un equipo de laboratorio se consideró los datos y recomendaciones obtenidas en la entrevista realizada al ingeniero especialista para así no poder incurrir en errores de diseño, y poder dar una adecuada solución al problema.

3.8.3. *Código ético de profesión*

Los criterios éticos que hemos tomado en cuenta son la dedicación y la responsabilidad, teniendo en cuenta y respetando el código ético de nuestra profesión como ingenieros como lo indica en el CIP, la cual a continuación se cita:

A. Código de ética del CIP (Colegio de Ingenieros del Perú) Aprobado en la III Sesión Ordinaria del Congreso Nacional de Consejos Departamentales del Periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23 y 24 de abril de 1999.

Título I, de la Relación con la Sociedad

Art.4.- Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del

país dependen de los juicios, decisiones incorporadas por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud

3.9. Criterios de Rigor Científico

Validez

La validez de este proyecto de investigación conto con la aprobación de tres jurados con amplia experiencia y capacidad, que facilitará el estudio y diseño de una mini central de vapor, para instrucción universitaria.

Fiabilidad

El diseño de un equipo de laboratorio para ciencias térmicas conto con el respaldo de gran experiencia laboral y pedagógica del ingeniero especialista ya que se encuentra aportando sus conocimientos en este tema de investigación

CAPITULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados en Tablas y Gráficos

Para determinar la importancia de implementar el laboratorio de física con nuevos equipos, se realizó una encuesta dirigida a los alumnos de la Universidad Señor de Sipán, quienes están cursando materias del área de ciencias térmicas. De igual forma se realizó una entrevista a un ingeniero experimentado responsable del proceso de generación de vapor para el hospital Almanzor Aguinaga Castro, con la finalidad de obtener datos reales sobre las irreversibilidades y cambios en el ciclo termodinámico de las calderas de vapor y al mismo tiempo conocer la opinión de un experto sobre los parámetros que debemos tener en cuenta para realizar el diseño de la mini central de vapor.

El ingeniero residente del área de generación de vapor, creyó conveniente e importante invertir en este tipo de proyectos para beneficio de los estudiantes.

Con la aprobación de la importancia de la implementación de este tipo de equipos de laboratorio, se cree conveniente la automatización para este tipo de procesos, a fin de reducir riesgos y crear mejoras en el sistema de enseñanza en nuestra casa de estudios.

Encuesta

Ha desaprobado usted algún curso de ciencias térmicas.

Tabla 7

Ha desaprobado usted algún curso de ciencias térmicas.

	Frecuenci	Porcentaj	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido 1 vez	2	13,3	13,3	13,3
2 veces	4	26,7	26,7	40,0
3 veces	2	13,3	13,3	53,3
4 veces	5	33,3	33,3	86,7
En la primera vez lo aprobó	2	13,3	13,3	100,0
Total	15	100,0	100,0	

Fuente: Propia

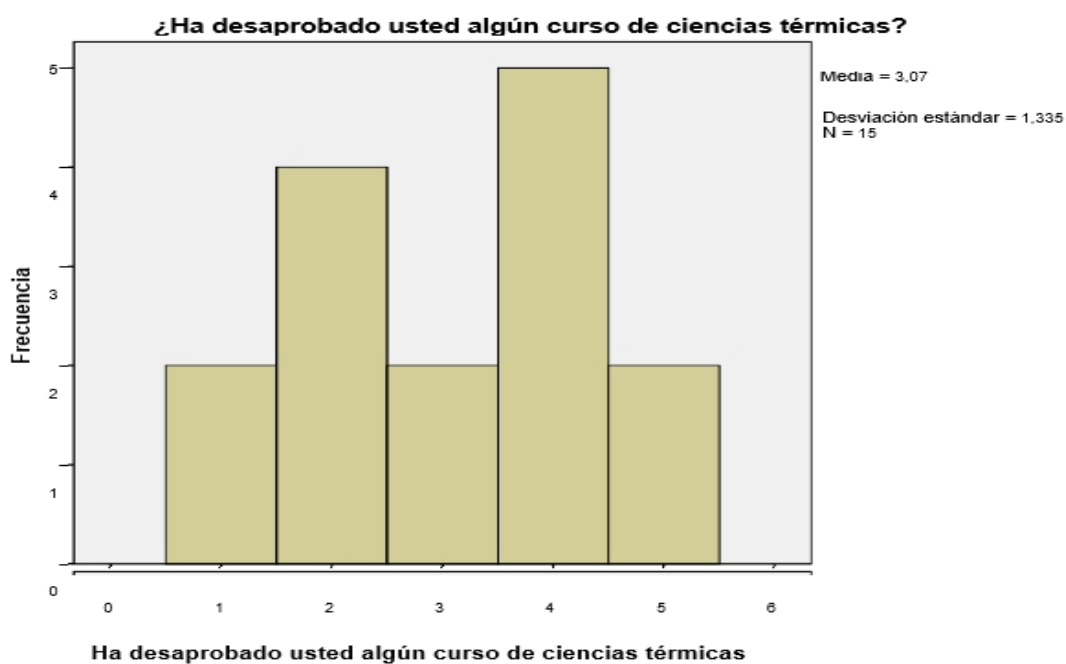


Ilustración 1 Desaprobados del curso de Ciencias Térmicas

Fuente: Propia

Interpretación:

Del total de encuestados encontramos que el 86.7 % de alumnos desaprobó algún

curso de ciencias térmica, existen casos en los cuales los estudiantes desaprobaron hasta cuatro veces la misma materia.

¿Crees que el alumno no tiene una buena base para el siguiente curso a llevar de ciencias Térmicas?

Tabla 8

Interpretación de resultados del curso de ciencias térmicas.

Fuente: Propia

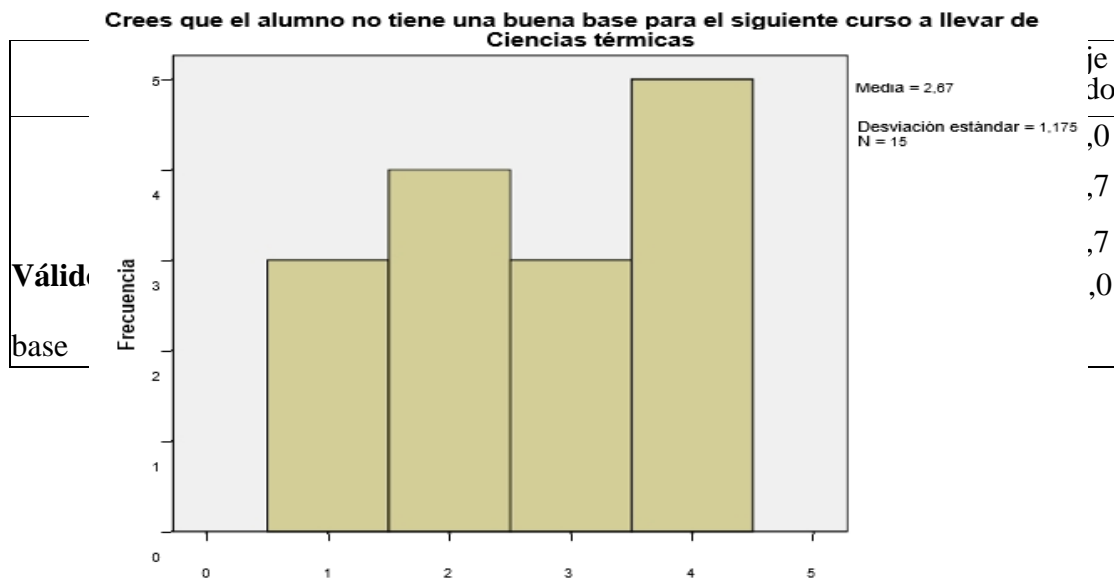


Ilustración 2 Base para los cursos siguientes de ciencias térmicas

Fuente: Propia

Interpretación

Se puede observar que el 33.3 % de los entrevistados asegura que el estudiante no tiene

una buena base para llevar el siguiente curso de ciencias térmicas.

¿Cree usted que al docente le falta más exigencia en su curso?

Tabla 9

Exigencia del docente

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
si	4	26,7	26,7	26,7
no	4	26,7	26,7	53,3
Válido conforme	6	40,0	40,0	93,3
no sabe	1	6,7	6,7	100,0
Total	15	100,0	100,0	

Fuente:
Propia

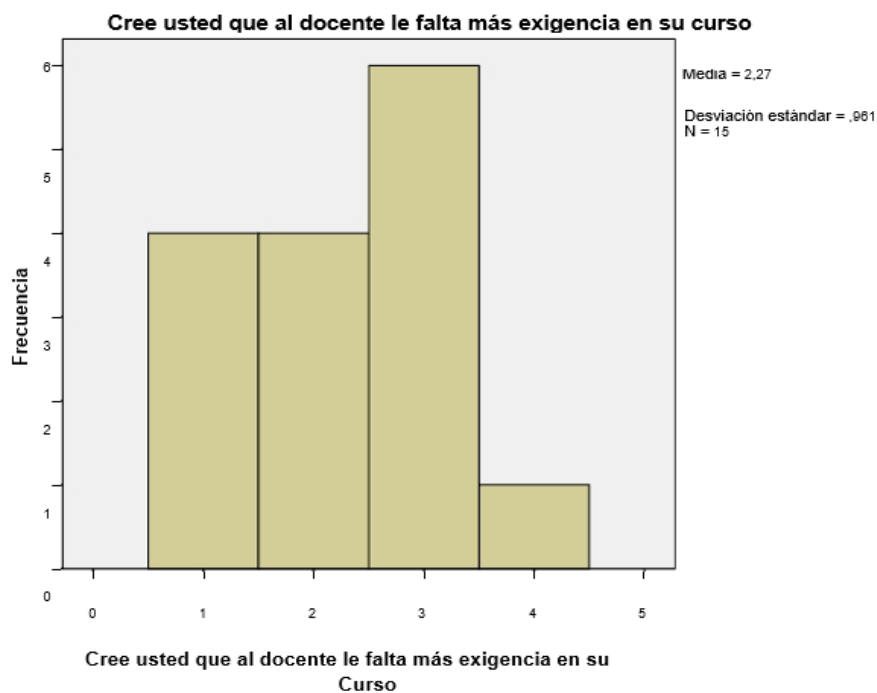


Ilustración 3 Exigencia del docente

Fuente: Propia

Interpretación

Del total de entrevistados un 40% está conforme con la exigencia del docente en el curso.

¿Qué curso de ciencias térmicas demanda de más exigencia para el estudio?

Tabla 10

Curso que demanda de más exigencia

Fuente: Propia

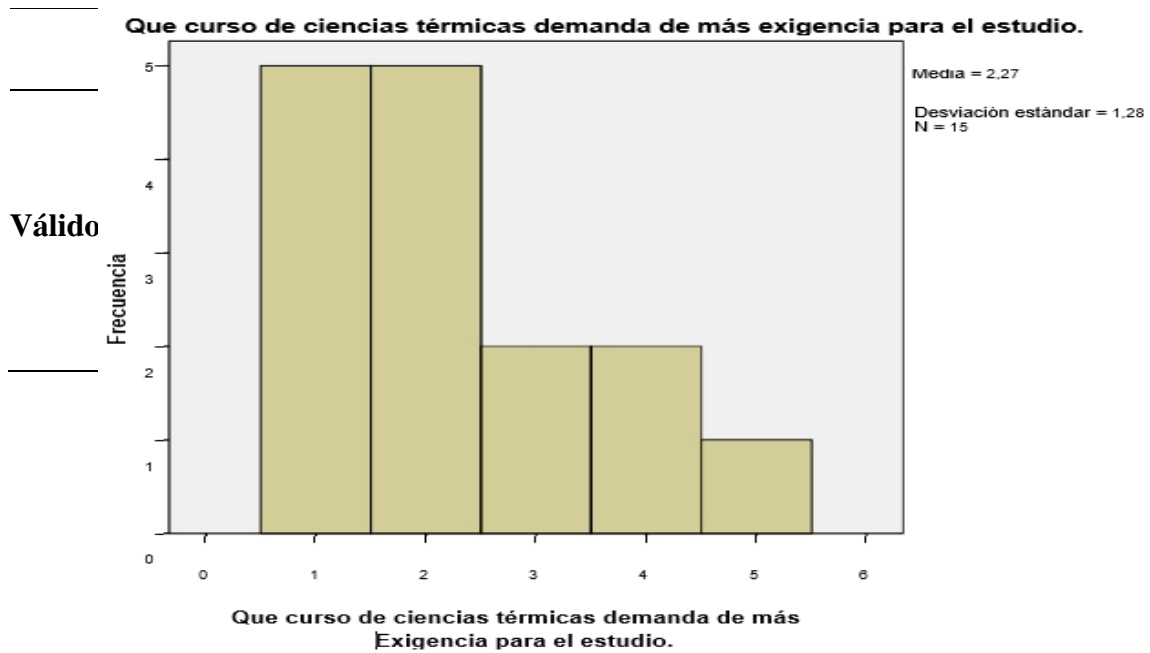


Ilustración 4 Curso que demanda de más exigencia

Fuente: Propia

Interpretación

Según el 33.3% del total de los encuestados asegura que Máquinas Térmicas y Transferencia de Calor son los cursos que más exigencia demanda para el estudio.

¿La escuela de ingeniería mecánica eléctrica cuenta con los equipos de laboratorio adecuados para el desarrollo de la carrera?

Tabla 11

Cuenta con los equipos adecuados para el desarrollo de la carrera

Fuente: Propia

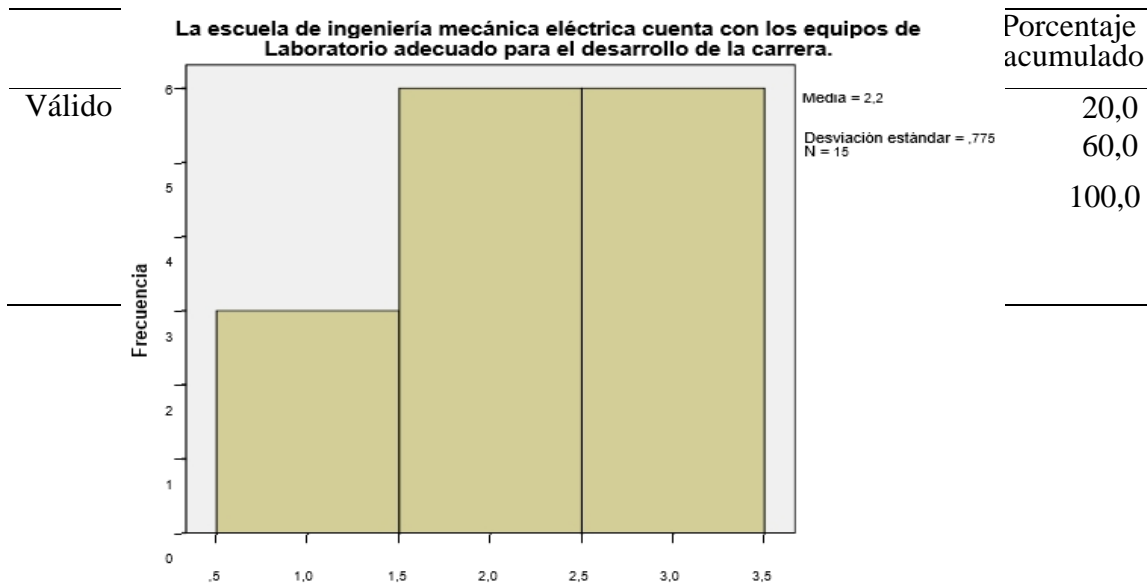


Ilustración 5 Cuenta con los equipos adecuados

Fuente: Propia

Interpretación

El 80% está de acuerdo en la falta de implementación de equipos en el laboratorio de física de la facultad de Ingeniería Mecánica- Eléctrica.

¿La falta de equipos de laboratorio es la causa de desaprobación de los cursos de ciencias térmicas?

Tabla 12

Falta de equipos de laboratorio

Fuente: Propia

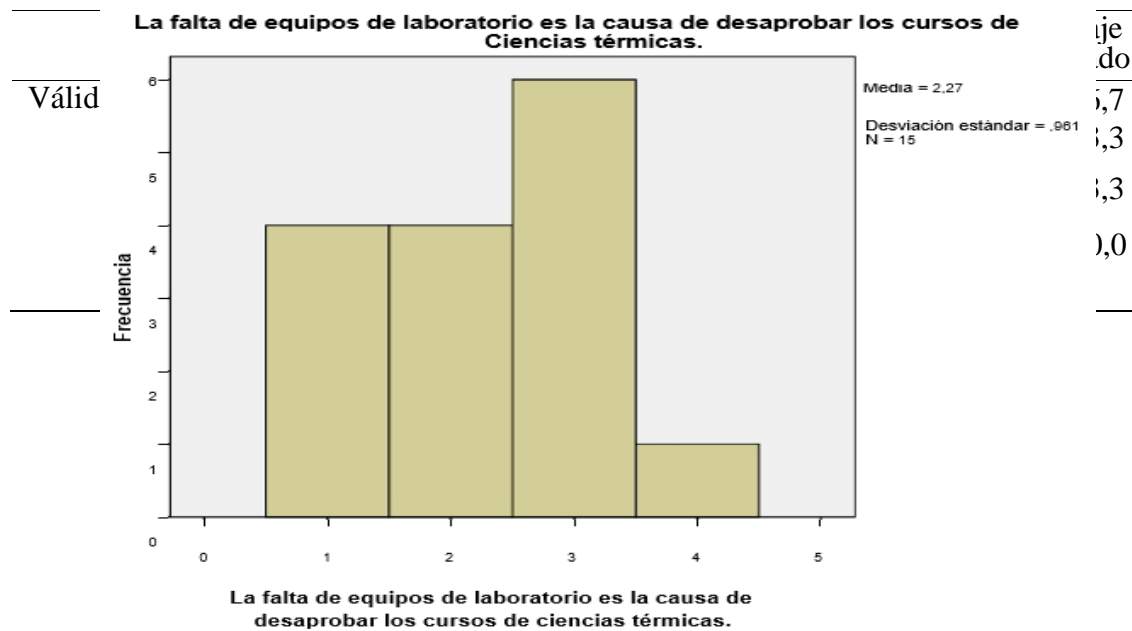


Ilustración 6 La falta de equipos de laboratorio

Fuente: Propia

Interpretación

En el siguiente cuadro se puede observar que el 40% de los encuestados asegura que la causa del número de desaprobados depende directamente de la exigencia que el alumno aplique al curso.

¿Crees que con la implementación del laboratorio de física disminuirá el índice de desaprobados?

Tabla 13

Disminuirá el índice de desaprobados

Fuente: Propia

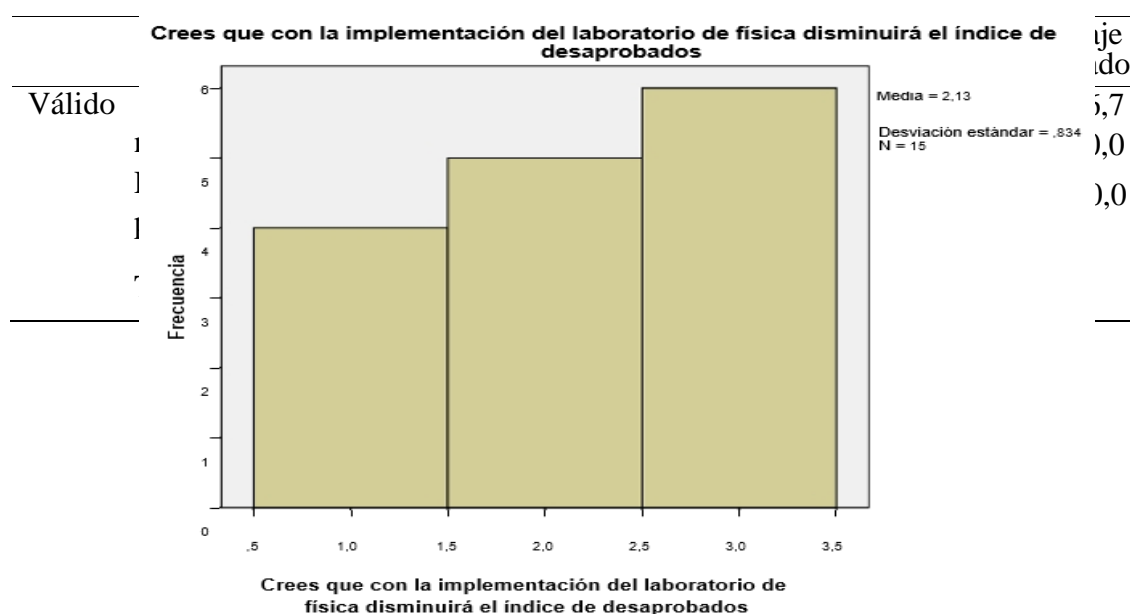


Ilustración 7 Disminuirá el índice de desaprobados

Fuente: Propia

Interpretación

Del total de encuestados, el 40% opina que debería hacerse pruebas para determinar si con la implementación de equipos de laboratorio disminuiría el índice de alumnos desaprobados.

¿Tiene alguna idea si es que en el Perú se haya elaborado una mini central de vapor?

Tabla 14

En el Perú hay alguna mi central de vapor

	Frecuenci	Porcentaj	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido si	3	20,0	20,0	20,0
no	7	46,7	46,7	66,7
no sabe	5	33,3	33,3	100,0
Total	15	100,0	100,0	

Fuente: Propia

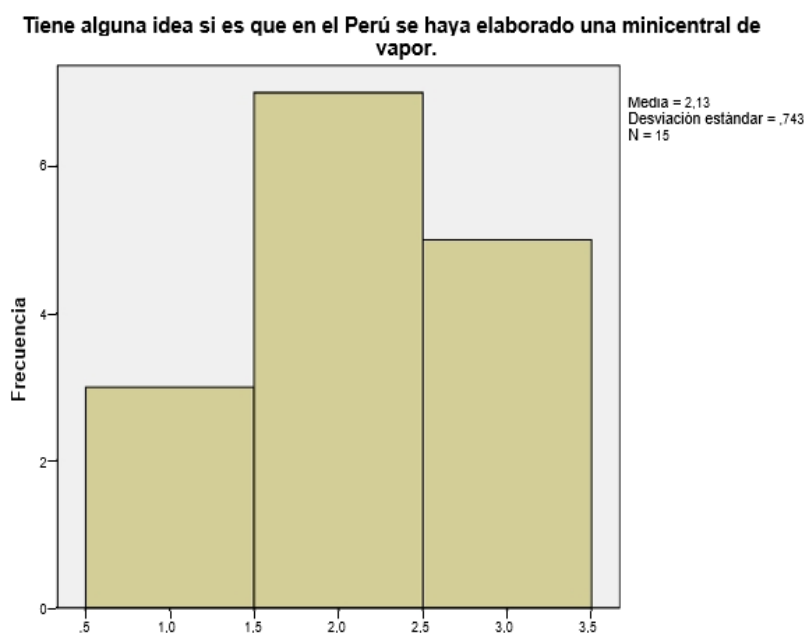


Ilustración 8 En el Perú hay alguna mi central de vapor

Fuente: Propia

Interpretación

Según el 46.7% de los encuestados aseguran que no tienen conocimiento sobre algún caso de implementación de una mini central de vapor en el Perú

¿Sabe cuál es el funcionamiento de una mini central de vapor?

Tabla 15

Sabe cuál es el funcionamiento de una minicentral

		Frecuenci	Porcentaj	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	si	7	46,7	46,7	46,7
	no	3	20,0	20,0	66,7
	poco	5	33,3	33,3	100,0
	Total	15	100,0	100,0	

Fuente: Propia

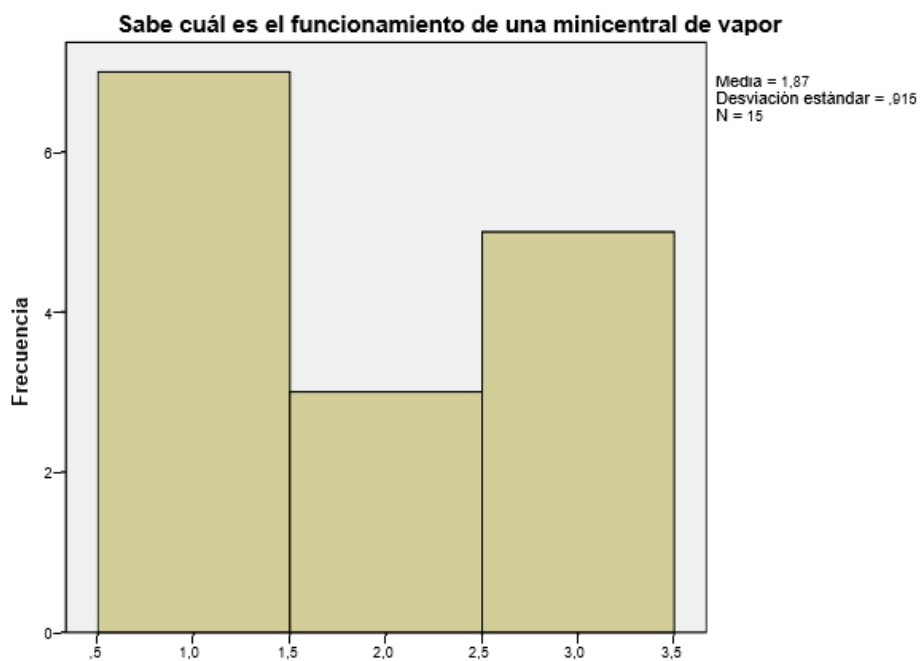


Ilustración 9 Sabe cuál es el funcionamiento de una minicentral

Fuente: Propia

Interpretación

Del total de encuestados solo el 46.7% sí tiene conocimiento del funcionamiento de una minicentral de vapor.

¿Conoce usted cuál es el propósito de hacer una mini central de vapor?

Tabla 16

Propósito de hacer la minicentral de vapor

		Frecuenci	Porcentaj	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	si	4	26,7	26,7	26,7
	no	5	33,3	33,3	60,0
	poco	4	26,7	26,7	86,7
	no sabe	2	13,3	13,3	100,0
	Total	15	100,0	100,0	

Fuente: Propia

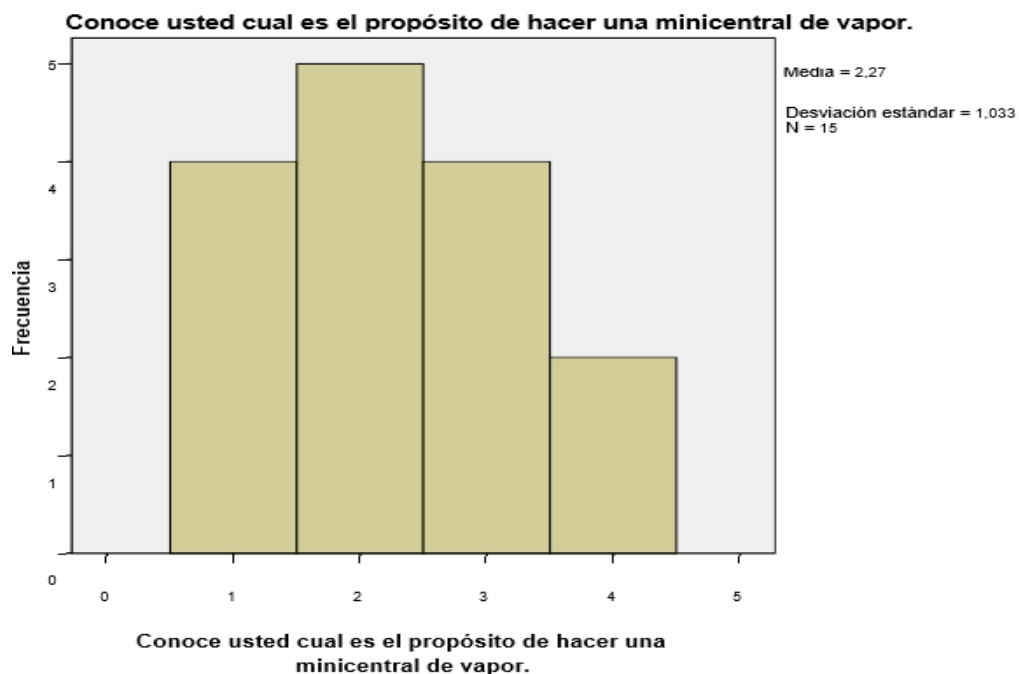


Ilustración 10 Proposito de hacer la minicentral de vapor

Fuente: Propia

Interpretación

Según el cuadro solo el 26.7% tiene conocimiento del propósito de la construcción de una minicentral de vapor.

ENTREVISTA

A. Nombre del entrevistado: Rocky Páucar Velásquez

B. ¿Cuál es su ocupación?

Ingeniero Mecánico-Electricista, responsable del área de generación de vapor del hospital Almanzor Aguinaga Castro.

C. Tiempo de servicio:

4 años trabajando en dicho hospital con el cargo de ingeniero residente.

D. Edad:

53 años

E. Sexo :

Masculino

Femenino:

F. Fecha de entrevista: 26 /03 /2016

Duración: 30 min

1. ¿Cuáles son las ventajas de la utilización del sistema de generación de energía eléctrica a partir del vapor de agua?

Son las centrales de energía más baratas de construir, teniendo en cuenta el precio del megavatio instalado, debido a la simplicidad de su construcción y su energía generada.

2. ¿Qué modelos o tipos son recomendables?

Para el caso de una mini central de vapor recomendaría utilizar una caldera pirotubular con tubos de combustión, debido a que son las más utilizadas en la industria para generación de vapor en baja presión de trabajo y temperatura no muy elevados.

3. ¿Qué tipos de instalación recomienda utilizar?

Dependiendo del propósito, de la cantidad de vapor o energía requerida se podría dimensionar una central de vapor, teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ASME y siempre priorizando la seguridad para los trabajadores.

4. ¿Qué marca de equipos son recomendables?

Trabajar con calderos y asegurar su correcto funcionamiento requiere de mucha responsabilidad al momento de seleccionar repuestos y materiales para realizar un mantenimiento correctivo, según mi experiencia las marcas de accesorios más confiables son las marcas alemanas, los equipos y accesorios de marcas nacionales no me han dado buenos resultados, por tal motivo recomiendo marcas europeas.

5. ¿Cuál es el valor porcentual de la eficiencia real que puede lograr una caldera pirotubular?

En estos equipos se puede alcanzar una eficiencia del 60 %, considerando perdidas por combustión, analizamos integralmente el equipo, tenemos perdidas en aislamiento, antigüedad de los equipos, etc.

6. ¿Qué tipo de material es el más recomendable para diseñar una turbina de vapor?

Para diseñar y construir una turbina de vapor como la que necesitaran ustedes, deberían utilizar materiales especiales, teniendo en cuenta la corrosión la alta temperatura del vapor, el material que más podría aproximarse a su necesidad seria el acero inoxidable pero su inconveniente seria el peso, en la actualidad se utilizan aleaciones con otros metales para disminuir peso en las turbinas pero mejoras las características físicas del material.

7. ¿Cuáles son las normas utilizadas en proyectos de diseño de calderas y turbinas de vapor?

La norma más utilizada en todo tipo de construcciones y diseños mecánicos es la norma americana ASME.

8. ¿Qué opinión le merece la iniciativa de diseñar y fabricar la parte mecánica de una mini-planta de vapor, para fines de instrucción de los futuros ingenieros mecánicos-eléctricos en la Universidad Señor de Sipán?

Es una iniciativa que se debe apoyar, me parece excelente este tipo de proyectos, lamentablemente lo que vemos en la universidad sobre procesos térmicos es teoría, me pasó a mi como estudiante, no tenemos oportunidad de ver en realidad cómo se

comporta una central térmica, tenemos la capacidad para realizar cálculos pero cuando estamos frente a una máquina y el proceso es real nos damos cuenta que no siempre se cumple todo lo aprendido en clase. Este tipo de equipos de laboratorio ayudaría al estudiante a profundizar mejor la percepción del funcionamiento y las partes más importantes de una central térmica de vapor.

9. ¿Qué recomendaciones brindaría para el diseño y fabricación de esta mini-central?

Lo primero es la seguridad de los estudiantes, deben tener en cuenta que este equipo será manipulado por personas que no tienen bien definido la importancia y seriedad que se necesita para trabajar con este equipo. Y como segunda recomendación, deberían seguir paso a paso las normas especificadas en el código ASME para diseño de máquinas.

4.2. Discusión de resultados

Según la investigación realizada y la determinación de cálculos expuestos en la investigación podríamos decir que:

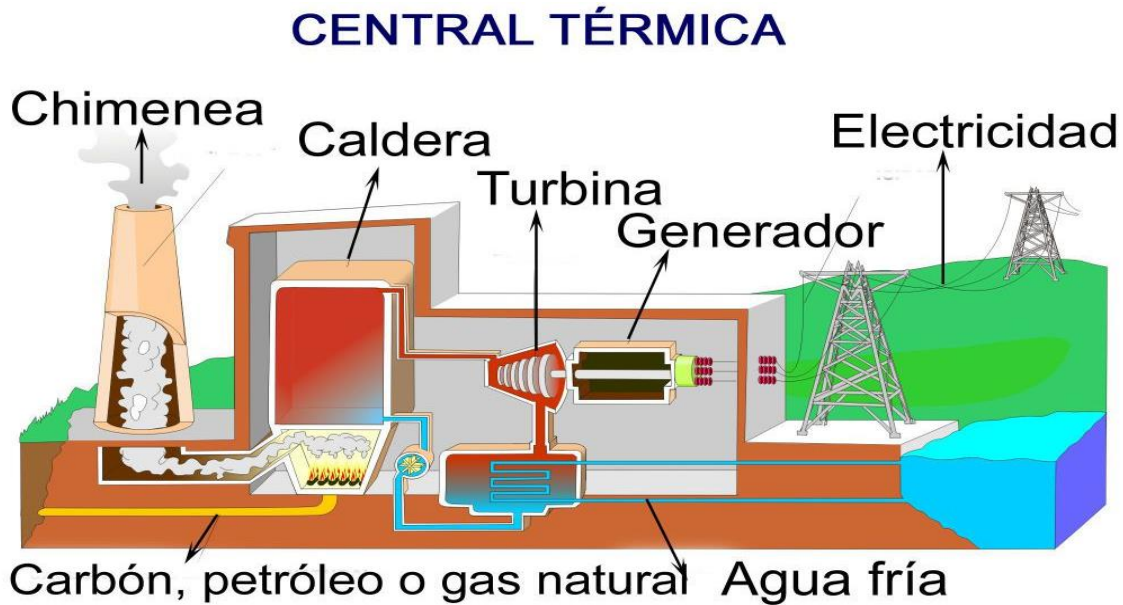
Viable técnica, A través de la investigación se conoció el proceso de diseño e implementación de la minicentral de vapor, lo cual es posible su realización, haciendo uso de todas las maquinas descritas en la presente tesis.

Viable Económica, Mediante la determinación de costos de ventas de componentes y accesorios, gastos de envío, transportes y otros servicios. Se observa que las cifras obtenidas como resultado son aceptables.

Viable financiera, El costo total de fabricación de la maquina será financiada por la universidad Señor de Sipán.

CAPITULO V: INGENIERÍA DEL PROYECTO

Principales componentes de la mini central de vapor



Caldera:

La mini caldera que primero fue diseñada para luego ser construida es de tipo pirotubular horizontal. El mecanismo de estos modelos de caldera es la transición de gases de combustión en el interior de los tubos, que al estar rodeados por agua, genera evaporación.

Normalmente el combustible que es quemado hace su recorrido por uno o más pasos, la entrada del agua está a una distancia de $2/3$ de la altura de los tubos y la salida del vapor se genera por la parte superior del tambor.

La desventaja que posee este tipo de calderas son las altas presiones que se generan. Estas presiones requieren de paredes con gran espesor, lo que genera una alza en la inversión.

Turbina

Para el diseño de la turbina de vapor de la mini central consideramos utilizar una turbina de impulso de una etapa o también llamada turbina de Laval, debido al inventor. La turbina se compone de un solo rotor al que están unidas cuchillas de impulso. El vapor se alimenta a través de una o varias boquillas divergentes-convergentes- que no se extienden completamente alrededor de la circunferencia del rotor.

Generador

Considerando que la mini central de vapor será utilizada para ensayos y pruebas de laboratorio, se considera utilizar un generador de energía eléctrica DC, con una potencia de 100 W, 12V, 1 A. La energía suministrada del generador se aprovechará para mover una bomba de agua que sería posteriormente utilizada para abastecer de agua a la caldera.

5.1. Establecer la potencia de la mini planta de acuerdo a las limitaciones de espacio de un laboratorio y teniendo en cuenta parámetros de proceso seguros ante cualquier eventualidad o falla del equipo.

La finalidad del proyecto se centra en la implementación y desarrollo de la mini central cumpliendo los parámetros de diseño como, flujo másico, temperatura de los gases de combustión, eficiencia de trabajo de la caldera, temperatura de salida de los gases de combustión, presión y capacidad de trabajo de la caldera en su modelo pirotubular de 2 BHP a 1 MPa de presión de vapor. La eficiencia de la turbina, la presión y temperatura del vapor en la entrada de la tobera. Para esta mini central de vapor utilizaremos un quemador atmosférico de GLP.

Tomamos como referencia datos de equipos de laboratorio similares a nivel mundial.

Estimación de potencia neta de planta térmica.

$$W_{neto} = 40W$$

(Recordar que es una mini central para propósitos de enseñanza)

Estimación de eficiencia usando datos de plantas pequeñas de generación de vapor reales.

$$\eta = 20\%$$

(Recordar que es una mini central y que por escalamiento la eficiencia tiende a bajar)

5.2. Realizar un análisis económico simple para los costos de fabricación

Tabla 6*Materiales para la fabricación de la minicentral de vapor.*

MATERIALES			
DETALLE	CANTIDAD	VALOR S/	TOTAL S/
Construcción de caldera	1	s/. 900.00	S/. 900.00
Válvula de alivio	1	s/. 30.00	S/. 30.00
Mirilla de caldera	1	S/. 250.00	S/. 250.00
Selección de Manómetros	2	s/. 300.00	S/. 300.00
válvula de paso de vapor	4	s/. 120.00	S/. 120.00
Construcción de turbina	1	s/. 600.00	S/. 600.00
Construcción de base de turbina	1	S/. 400.00	S/. 400.00
Selección de generador eléctrico	1	s/. 300.00	S/. 300.00
Construcción de torre de enfriamiento	1	s/. 250.00	S/. 250.00
Cañerías y uniones	x	s/. 200.00	S/. 200.00
Cables	x	s/. 30.00	S/. 30.00
mesa	1	s/. 800.00	S/. 800.00
Controles eléctricos	5	s/. 200.00	S/. 200.00
Tornillos	25	s/. 50.00	S/. 50.00
Balón de gas GLP	1	S/. 200.00	S/. 200.00
Medidor de flujo	2	s/. 100.00	S/. 100.00
		SUB TOTAL	S/. 6,972.00

Fuente: Propia**5.3. Seleccionar la mejor opción mediante matrices de evaluación.**

La mini central de vapor cuenta con diversos componentes los cuales cumplen con un rol determinado dentro el sistema. A continuación se detalla una matriz morfológica que describe cada parte que constituye la máquina, además, se mencionan las ventajas y desventajas de cada opción de diseño planteado y cuál sería el diseño más óptimo.

Tabla 17

Materiales de la caldera

Aspecto :	Material de la caldera			
Alternativas	Acero inoxidable AISI 304	Acero ASTM A106	Acero ASTM A516	Acero ASTM A20
Ventajas	Alta resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas.	Servicio de altas temperaturas, manufacturabilidad.	Especificaciones para uso en recipientes sometidos a presión.	Especificaciones para uso en recipientes sometidos a presión, bajo costo.
desventajas	Costo elevado, manufacturabilidad.	resistencia	Uso en temperaturas moderadas	resistencia

Fuente: Propia



Ilustración 12 Tubo de acero inoxidable AISI 304

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 13 Tubo de acero ASTM A20

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 78

Quemador de combustible

Aspecto :		Quemador de combustible		
Alternativas	Quemador GLP con aire forzado	Quemador DIESEL	Quemadores duales	Quemador GLP atmosféricos
Ventajas	Combustible limpio No genera contaminación ni abrasión en los equipos.	Fácil instalación. Calibración milimétrica del pulverizador.	Se puede decidir qué tipo de combustible utilizar (fuel-oíl, o gas natural), de manera que agiliza la producción.	Combustible limpio. Bajo costo de instalación y mantenimiento.
desventajas	Costo de instalación. Consumo de energía eléctrica.	Gases contaminantes (CO. SO2) Partículas. Ruido.	Excesivo costo de implementación y mantenimiento.	Calibración manual de la llama.

Fuente: Propia



Ilustración 14 Quemador GLP

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 15 Quemador dual

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 16 Quemador DIESEL

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 17 Quemador GLP atmosféricos.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 89*Material de la Turbina*

Aspecto :		Material de la turbina		
Alternativas	Acero inoxidable AISI 304	Acero ASTM A106	bronce	Hierro fundido
Ventajas	Alta resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas.	Servicio de altas temperaturas, manufacturabilidad.	Resistente a la corrosión, manufacturabilidad.	Bajo costo, manufacturabilidad.
desventajas	Costo elevado, manufacturabilidad.	resistencia	Menor punto de fusión, baja durabilidad.	Baja resistencia a la tracción y ductibilidad.

Fuente: Propia

El acero inoxidable es un tipo de acero que se destaca por la gran resistencia que tiene hacia la corrosión, beneficio logrado debido al 10% de cromo que posee en su química.

Para el diseño de la turbina y su carcasa no se tienen opciones, ya que en la actualidad no existen materiales con la suficiente resistencia temperaturas y presiones altas, al contacto directo con el vapor de agua.

Tabla 20*Material de la Carcasa de la Turbina*

Aspecto :		Material de carcasa de turbina		
Alternativas	Acero inoxidable AISI 304	Aluminio	bronce	Hierro fundido
Ventajas	Alta resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas.	Bajo costo, manufacturabilidad.	Resistente a la corrosión, manufacturabilidad.	Bajo costo, manufacturabilidad.

desventajas	Costo elevado, manufacturabilidad	Baja resistencia al desgaste	Menor punto de fusión, baja durabilidad.	Baja resistencia a la tracción y ductibilidad.
--------------------	-----------------------------------	------------------------------	--	--

Fuente: Propia

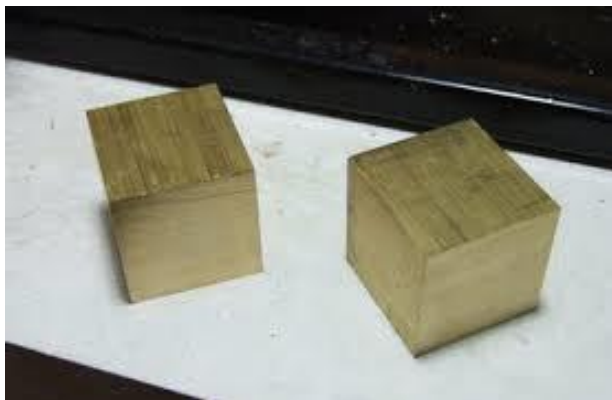


Ilustración 18 Bloque de bronce.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 19 Bloque de acero inoxidable.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 20 Bloque de aluminio.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 21 Bloque de hierro fundido.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 21

Selección de Manómetros de Presión

Aspecto :		Selección de manómetros de presión		
Alternativas	Manómetros bourdon secos	Manómetros bourdon con glicerina	Manómetros digitales	
Ventajas	Bajo costo, fácil de adquirir.	Resistente a agentes corrosivos, cambios bruscos de presión.	Alta precisión y fiabilidad	
desventajas	Baja durabilidad, rápida corrosión.	Costo.	Costo	

Fuente: Propia



Ilustración 22 Manómetros bourdon secos.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 23 Manómetros bourdon con glicerina.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 24 Manómetro digital.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 22

Selección del material de la Torre de Enfriamiento

Aspecto :		Selección de material de torre de enfriamiento		
Alternativas	Acero inoxidable AISI 304	Aluminio	Acero galvanizado	
Ventajas	Alta resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas.	Bajo costo, manufacturabilidad, rápida disipación de calor.	Manufacturabilidad, resistente a la corrosión solo en bajas temperaturas	
desventajas	Costo elevado, manufacturabilidad	Baja resistencia al desgaste	Tiende a corroerse si el fluido sobrepasa los 60 °C	

Fuente: Propia



Ilustración 25 Lámina de acero inoxidable.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 26 Lámina de aluminio.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 27 Lámina de acero galvanizado.

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 23

Selección de llaves de control de flujo

Aspecto :	Selección de llaves de control de flujo		
Alternativas	Llave de control (acero inoxidable)	Llave de control (bronce)	Llave de control (PVC)
	Durabilidad.		
Ventajas	Resistencia a altas temperaturas.	Bajo costo, mantenimiento continuo.	Bajo costo

desventajas	Costo	Rápida corrosión.	Poca aceptación para trabajos a alta temperatura y presión.
--------------------	-------	-------------------	---

Fuente: Propia



Ilustración 28 Llave de control de flujo (Acero inox)

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 29 Llave de control de flujo (bronce).

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 30 Llave de control de flujo (plástico PVC.).

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Tabla 24

Selección de válvula de control de nivel de agua.

Aspecto :	Selección de válvula de control de nivel de agua		
Alternativas	Llave de control de nivel de agua (acero inox)	Llave de control de nivel de agua (bronce)	Llave de control de nivel de agua (PVC)
Ventajas	Durabilidad, muy resistente a alta presión.	Bajo costo, fácil instalación, seguridad, peso.	Bajo costo
desventajas	Costo, difícil de adquirir en el mercado.	Mantenimiento continuo	Poca aceptación para trabajos a alta temperatura y presión.

Fuente: Propia



Ilustración 31 Llave de control de nivel de agua (acero inox).

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 32 Llave de control de nivel de agua (bronce).

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V



Ilustración 33 Llave de control de nivel de agua (PVC).

Fuente: Fabricaciones Industriales Puebla S.A de C.V

Geometría de la estructura principal de la máquina

La geometría que tendrá la máquina depende del diseño seleccionado. La opción más óptima definirá la estructura final y para corroborar el bueno diseño elegido, se aplicará un análisis de ingeniería aplicada a cada parte y sistema.

Tabla 25

Matriz de necesidades y Medidas.

Medidas	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No	Si / No
Necesidades	Hoja técnica	operación máxima de dos personas	Desechos tóxicos	100% seguro de operar	Diseño ergonómico	Fácil de movilizar	Respuestas	Fácil instalaciones, mecánicas, eléctricas y electrónicas	Alarmas visuales y auditivas
Fácil operación	SI								
Maquinistas		SI							
Existen problemas de contaminación			NO						
Totalmente seguro				SI					
Existen dificultades en la operación					NO				
Dificultad en movilizar la máquina.						NO			
Los repuestos se encuentran fácilmente.							SI		
Mantenimiento fácil								SI	
Alarma fácil de detectar									SI

Fuente: Propia

Matriz de evaluación

Para tener un orden de las opciones de diseño planteadas se realiza una matriz de evaluación, en la cual se detallará todas las opciones representadas en las matrices morfológicas. Esta matriz de evaluación ayudará a generar una comparación de todos los diseños presentados y según criterios ponderados se asignará un valor a cada opción obteniendo un resultado con un puntaje final que permitirá ver la opción con más condiciones óptimas.

Los criterios que participan en esta matriz son; seguridad, mantenimiento, modificaciones, fabricación, costos, nivel sonoro, longitud de tamaño y kilogramos de peso, resistencia, durabilidad y facilidad comercial de los componentes que forman la máquina.

Para esta matriz de evaluación el intervalo de calificación está entre 0.5 y 10.

Tabla 26

Criterios a evaluar

Criterio	Variable	Valor
Manufacturabilidad	Maf	1
Seguridad	S	2
Mantenimiento	Man	1
Costos	C	2
Tamaño	T	0.5
Peso	P	0.5
Resistencia	Res	1
Funcionabilidad	F	1.5
Piezas estándar	PE	0.5
TOTAL		10

Fuente: Propia

Matriz morfológica desarrollada

Tabla 27

Matriz Morfológica

Aspecto	Alternativa	Criterios de evaluación de alternativas									total
		Maf	S	Man	C	T	P	Res	F	PE	
		(1)	(2)	(1)	(2)	(0.5)	(0.5)	(1)	(1.5)	(0.5)	10
Material de la caldera	Acero inox AISI 304	0.75	2	1	1	NA	0.5	1	1.5	0.5	8.25
	Acero ASTM A106	1	1.5	1	2	NA	0.5	0.8	1.3	0.5	8.60
	Acero ASTM A516	1	1.5	1	2	NA	0.5	0.6	1	0.5	8.10
	Acero ASTM A20	1	1.5	1	2	NA	0.5	0.5	1	0.5	8
Quemador de combustible	Quemador GLP con aire forzado	NA	2	0.5	1	0.3	0.3	1	1.5	0.5	7.1
	Quemador DIESEL	NA	2	0.3	1	0.3	0.3	1	1.5	0.5	6.9
	Quemadores duales	NA	2	0.2	0.8	0.3	0.3	1	1.5	0.5	6.6
	Quemador GLP atmosféricos.	NA	2	1	2	0.5	0.5	1	1.5	0.5	9.0
Material de la turbina	Acero inoxidable AISI 304	0.75	2	1	1	NA	0.5	1	1.5	0.5	8.25
	Acero ASTM A106	1	1.5	0.3	2	NA	0.5	0.3	1	0.5	7.10
	Bronce	1	1.5	0.5	1.5	NA	0.5	0.6	1.2	0.5	7.30

	Hierro fundido.	1	1.5	0.5	2	NA	0.5	0.5	1	0.5	7.50
Material de carcasa de turbina	Acero inox AISI 304	0.75	2	1	1	NA	0.3	1	1.5	0.5	8.05
	Aluminio	1	0.5	0.2	2	NA	0.5	0.3	1	0.5	6.00
	Bronce	1	1.5	0.5	1.5	NA	0.3	0.6	1.2	0.5	7.10
	Hierro fundido	1	1.5	0.5	2	NA	0.3	0.5	1	0.5	7.30
Selección de manómetros de presión	Manómetros bourdon secos	NA	1	1	2	0.5	0.5	0.6	1.2	0.5	7.30
	Manómetros bourdon con glicerina.	NA	1.5	1	1.75	0.5	0.5	1	1.5	0.5	8.25
	Manómetros digitales	NA	2	1	1	0.5	0.5	1	1.5	0.5	8.00
Selección de material de torre de enfriamiento	Acero inoxidable AISI 304	0.75	2	1	1.5	NA	0.5	1	1.5	0.5	8.75
	Aluminio	1	1	0.7	2	NA	0.5	0.3	1	0.5	7.00
	Acero galvanizado	1	1.75	0.8	1.75	NA	0.5	0.4	1.5	0.5	8.20
Selección de llaves de control de flujo	Llave de control (acero inoxidable)	NA	2	1	1	0.5	0.5	1	1.5	0.5	8.00
	Llave de control (bronce)	NA	1.8	1	1.85	0.5	0.5	0.8	1.3	0.5	7.75
	Llave de control (plástico PVC)	NA	1	0.5	2	0.5	0.5	0.2	1	0.5	6.20
	Llave de control de nivel de agua (acero)	NA	2	1	0.5	0.5	0.5	1	1.5	0.5	7.50

inox)											
Selección de válvula de control de nivel de agua	Llave de control de nivel de agua (bronce)	NA	2	1	1.85	0.5	0.5	0.8	1.3	0.5	8.45
	Llave de control de nivel de agua (PVC)	NA	1	0.5	2	0.5	0.5	0.2	1	0.5	6.20

Fuente: Propia

Analizando las opciones de mayor valor en los cuadros, tenemos una idea más clara de cómo será el diseño final de la mini central y sus principales componentes.

Metodología de diseño

Determinación de necesidades del equipo de instrucción

Definición de características de Ingeniería

Análisis termodinámico de la mini-planta

Diseño de la Turbina

Diseño del Caldero

Diseño de la Torre de Condensación

Selección de Equipos

Elaboración de Planos de Fabricación

Fabricación de Equipos

Puesta a punto del equipo

Análisis económico

Determinación de necesidades del equipo de instrucción

Las características de la mini-central deben satisfacer las necesidades de un equipo de instrucción de laboratorio universitario de pre-grado. Usaremos los siguientes lineamientos:

La potencia desarrollada por el generador conectado a la turbina debe como mínimo ser capaz de hacer funcionar un equipo pequeño de un electrodoméstico, por ejemplo, la bomba de agua de una lavadora.

El espacio ocupado por todo el sistema debe encajar en un cubo de 1.48 mts de largo, 1.22 mts de ancho y 0.77 m de alto.

Los equipos deben ser seguros de operar por mano de obra no calificada (estudiantes).

Definición de características de ingeniería

Temperatura de trabajo (caldera): 200 °C.

Presión de trabajo (caldera): 1 Mpa

Potencia neta de la miniplanta: 40 W

5.4. Realizar análisis térmico preliminar de la opción seleccionada

5.4.1. Configuración de la planta

Con la intención de mantener un control sobre el caudal de restitución de la planta y abaratar costos la mini-central de vapor se basará en una variante del ciclo Rankine abierto o ciclo de vapor. Este ciclo no contempla el uso de bomba de recirculación ni el condensador de tubos tradicional sino una torre de condensación después de la turbina.

Esquema térmico de la miniplanta de vapor

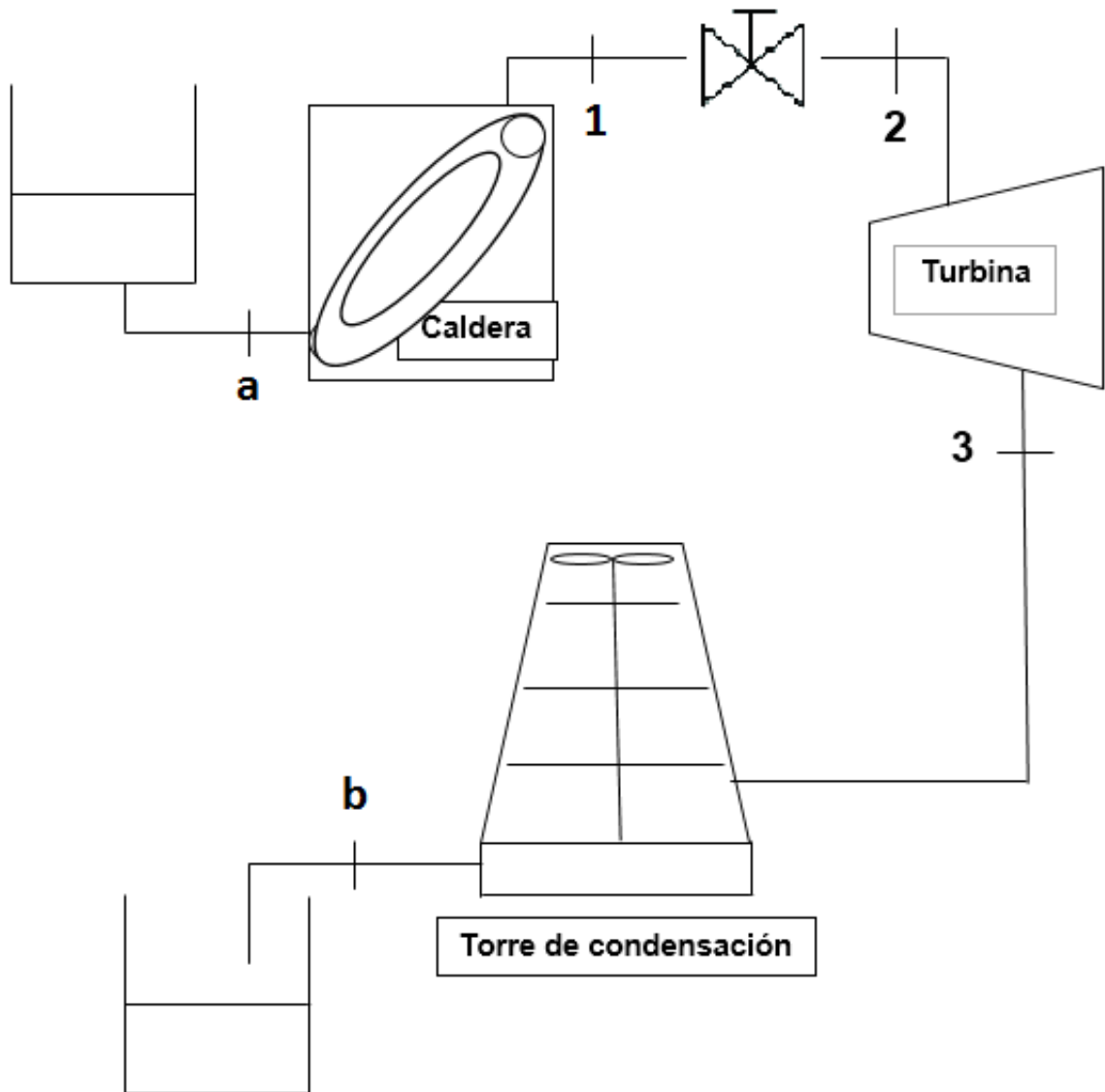


Ilustración 34 Esquema del ciclo Rankine abierto.

Fuente: Propia.

5.4.2. Consideraciones y supuestos

Empezaremos por estimar las presiones entre las que trabajaría la planta. Para esto se sabe que la descarga de la turbina iría a un condensador abierto a la atmósfera. Según

datos de SENAMHI a temperatura y presión promedio de la ciudad de Pimentel son 22.1°C y 0.1013 MPa.

En lo que respecta a la presión de operación de la caldera se tomará como referencia equipos que trabajen con el mismo principio y cuyas dimensiones se asemejen al caso de una minicentral que debe encajar en un espacio de 1.48 m x 1.22 m x 0.77 m. Tal es el caso de los autoclaves de laboratorio cuyas presiones y temperaturas están aproximadamente a 121 °C y 0.21 MPa de presión en el rango alto y algunos equipos similares cuyos valores están cercanos a 134 °C y 0.31 MPa (MÉNDEZ GÓMEZ, 2014). Con la intención de mantener un diseño conservador por seguridad de operación asumiremos 200 °C y 1 MPa como temperatura y presión máxima a la salida de la caldera y entrada de la turbina como primera aproximación. Dado que debemos controlar la entrada del vapor a la turbina usaremos una válvula de admisión la cual en promedio reducirá la presión en un 40%. Debido a esto la presión de ingreso a la turbina será de 0.6 MPa

Asimismo, el uso de una turbina de impulso de una sola etapa, implica estimar la caída de presión en la turbina de aproximadamente a la tercera parte ver *ilustración 53* Con esto se obtiene que la presión a la salida de la turbina es de 0.2 MPa

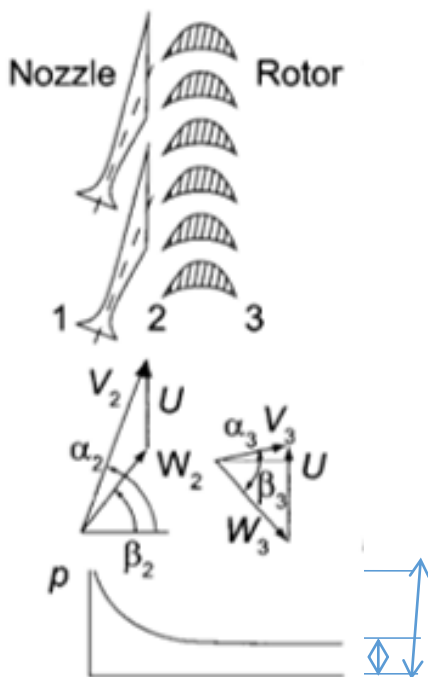


Ilustración 35 Caída de presión una

Valores tomados para el diseño de la Minicentral de Vapor		
Ítem	Temperatura	Presión
Espacio de laboratorio	1.48 m x 1.22 m x 0.77 m	
Clima en Pimentel	22°C	0.101325 MPa
Salida de Caldera y entrada a la Turbina	200 °C	1 MPa
Ingreso a la Turbina		0.6 MPa
Salida a la turbina		0.2 MPa

Ilustración 36 valores tomados para el diseño.

Se esquematizó la planta y representando el ciclo en el grafico T-s para el agua se tiene lo que se observa en la *ilustración 54*.

5.4.3. Análisis del ciclo de vapor abierto ideal

Como primera aproximación se consideran los equipos idealizados, esto es, la turbina se considera isentropica. Iniciando por el estado 1.

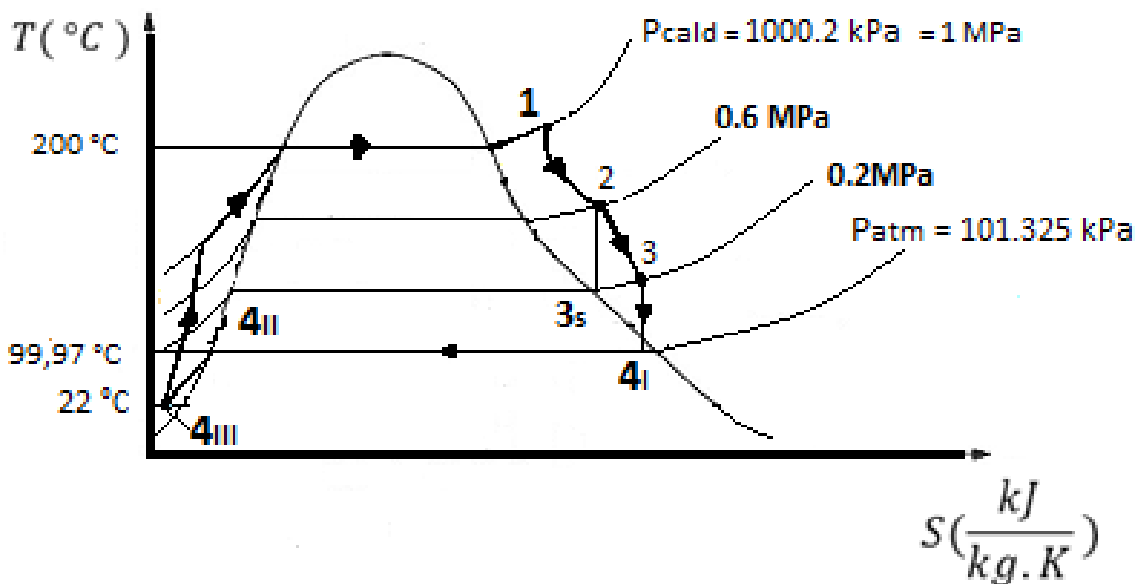


Ilustración 36 Ciclo de vapor.

Fuente: Propia.

Estado 1: Salida de Caldero – Entrada a la válvula

En el estado 1 se conocen $P_1 = 1 \text{ MPa}$ y $T_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ya que para la presión mencionada la temperatura de saturación es de $[T_{sat}]_{P=1 \text{ MPa}} = 179.88 \text{ }^\circ\text{C}$ por lo tanto el estado 1 se encuentra en la zona de sobrecalentado por tanto de tablas:

$$v_1 = 0.20602 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 = 2828.3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 6,6956 \text{ kJ/kg.K}$$

Estado 2: Salida de la válvula – Entrada a la turbina

Para el cálculo del estado 2 se asume como primera aproximación una válvula en donde se conserve la entalpía $h_2 = h_1 = 2828.3 \text{ kJ/kg}$. Además de esto consideramos una caída de presión del 40% típica de estas válvulas con lo que tenemos $p_2 = 0.60p_1 = 0.6(1 \text{ MPa}) = 0.6 \text{ MPa}$. De Tablas:

Tabla 28

Datos a una presión de 0.6 MPa

$p_2 = 0.6 \text{ MPa}$				
T(°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/(kg ·K))
158.83	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593
169.2748	0.3249	2585.2	2828.3	6.8123
200	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683

Fuente: Tablas termodinámicas Cengel.

Estado 3: Salida de la turbina

Se asume primero una turbina isentropica y con salida en estado de vapor saturado.

$$s_{3s} = s_2 = 6.8123 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$X_{3s} = 1.0$$

De tablas:

Tabla 29

Interpolación del estado 3.

$X_{3s} = 1.0$					
P (MPa)	T(°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/(kg ·K))
0.5	151.83	0.37483	640.09	2748.1	6.8207
0.5131	152.7799	0.3664	644.1932	2749.2	6.8123
0.55	155.46	0.34261	655.77	2752.4	6.7886

Fuente: Tablas termodinámicas Cengel.

Dado que la turbina no es isentropica se requiere la estimación de sus eficiencias para un diseño realista. Estos valores de eficiencia se encuentran en el rango de 80-90%. Debido a la miniaturización de la planta se espera que las eficiencias disminuyan por lo cual se toma el valor más bajo de este rango, i.e. $\eta_{turb} = 80\%$. Con esta información se estima la eficiencia y potencia de la planta siguiendo el procedimiento estándar termodinámico.

$$\eta_{Turbina} = 0.80$$

$$h_3 = h_2 - \eta_{Turbina}(h_2 - h_{3s})$$

$$h_3 = 2828.3 - 0.80(2828.3 - 2749.2)$$

$$h_3 = 2765.0 \text{ kJ/kg}$$

Considerando además una caída de presión a 1/3 del valor de entrada como se indicó. Por tanto:

$$p_3 = (1/3)p_2 = (1/3)(0.6\text{MPa}) = 0.2 \text{ MPa}$$

Tabla 30

Datos a una presión de 0.6 MPa.

$p_3 = 0.2 \text{ MPa}$				
T(°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/(kg .K)
120.21	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270
148.1974	0.9554	2574.2	2765.0	7.2717
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810

Fuente: Tablas termodinámicas Cengel.

Estado 4: Entrada torre de condensación - Salida torre de condensación

Modelando este proceso mediante tres etapas:

I Etapa: Expansión en zona de vapor sobrecalentado con baja de presión hasta presión atmosférica (0.1013 MPa) modelada isentropicamente

Se puede determinar que:

$$P_{4I} = 101,325 \text{ kPa}, \text{ . Al observar la tabla vemos que}$$

$$[s_f]_{P=101.325\text{kPa}} = 1.3069 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

$$[s_g]_{P=101.325\text{kPa}} = 7.3545 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

Por tanto:

$$1.3069 \frac{kJ}{kg.K} < S_2 = 7271.7 \frac{kJ}{kg.K} < 7.3545 \frac{kJ}{kg.K}$$

Por lo que el punto 2 se halla en la zona de mezcla. La temperatura es entonces $T_{4I} = 99.97^\circ C$. Calculamos entonces la calidad:

$$X_{4I} = \frac{S_{4I} - S_{4If}}{S_{fg4I}} = \frac{7.2717 - 1.3028}{6.0476} = 0.9870$$

Por tanto, de tablas:

$$h_{4I} = h_{4If} + X_{4I}(h_{fg4I}) = 419.06 + 0.9870 * 2256.5$$

$$h_{4I} = 2646.2 \text{ kJ/kg}$$

$$v_{4I} = v_{4If} + X_{4I}(v_{fg4I}) = 0.001043 + 0.9870 * (1.6734 - 0.001043)$$

$$v_{4I} = 1.6517 \text{ m}^3/\text{kg}$$

II Etapa: Cambio de fase a presión (0.1013 MPa) y temperatura (99.97 °C) constante en zona de mezcla

$$P_{4II} = 101,325 \text{ KPa}, T_{4II} = 99,97^\circ C$$

$$v_f = v_{4II} = 0,001043 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_f = h_{4II} = 419,06 \text{ kJ/kg}$$

$$S_f = S_{4II} = 1,3069 \text{ kJ/kg.K}$$

III Etapa: Baja de temperatura a presión constante en zona de líquido comprimido

En el estado 4III se encuentra en el área de líquido saturado, de la cual se conoce que está a una presión $P_{4III} = 101,325 \text{ kPa}$, donde va a trabajar a una temperatura ambiente del área de Chiclayo, donde se desarrollara el laboratorio, la cual es $T_{4III} = 22^\circ C$, asumiendo que a esta temperatura los valores son casi iguales a los de la tabla.

$$v_{4III} \approx v_f|_{T=22^\circ C} = 0,0010022 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$S_{4III} \approx S_f|_{T=22^\circ C} = 0,3251 \text{ kJ/kg.K}$$

$$h_{4III} \approx h_f|_{T=22^\circ C} = 92,88 \text{ kJ/kg}$$

Cálculo de la Eficiencia (η)

Para el cálculo de la eficiencia del ciclo de vapor, tenemos el trabajo neto del ciclo la cual es el trabajo que realiza la turbina sobre entre el calor de entrada de la caldera las cuales están divididas por el flujo másico (vapor), pasa por las tuberías.

$$\eta = \frac{\dot{W}_{neto}/\dot{m}}{\dot{Q}_{ent}/\dot{m}}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}_{turbina}/\dot{m}}{\dot{Q}_{caldera}/\dot{m}}$$

$$\eta = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_1 - h_{4III})}$$

$$\eta = \frac{(2828,3 - 2765.0)}{(2828.3 - 92,88)}$$

$$\eta = 0.0231$$

$$\eta = 2.31\%$$

Determinación del flujo másico y volumétrico

Para esto se necesita la potencia a desarrollar por la turbina. Según requerimientos la potencia en el eje de la turbina es de 47.0588 W, por tanto:

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{turbina}}{\eta * (h_1 - h_{4III})} = \frac{0.0470588 \text{ kW}}{0.0231(2828.3 - 92,88) \text{ kJ/kg}} = 0.000744 \text{ kg/s}$$

El flujo volumétrico calculado a la entrada de la turbina es:

$$Q = \dot{m}v = (0.000744 \text{ kg/s})(0.3249 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0.00024173 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad de flujo másico de vapor

Debido al espacio reducido en el que se utilizará la mini-central el ingreso a la turbina

se realizara mediante una tubería de 8 mm de diámetro. Esto nos lleva a estimar la velocidad de entrada a la turbina como

$$V_2 = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4(0.00024173 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(0.008\text{m})^2} = 4.8091\text{m/s}$$

5.5. Seleccionar y adquirir equipos componentes de la mini-planta.

El diseño mecánico de la caldera se lo realizó de acuerdo Al código ASME sección I (reglas para la construcción de calderos de potencia).

Los materiales para cada componente que constituye la mini central se los ha seleccionado siguiendo las reglas del código ASME sección I PG-5 a la PG-14 que muestra los materiales correctos a utilizar para la construcción de calderas y elementos sometidos a presión.

Propiedades de material para caldera:

Se considera aceros con buena resistencia a las altas temperaturas.

	Grado A	Grado B	Grado C
Carbono, max	0.25	0.30	0.35
Manganeso	0.27-0.93	0.29-1.06	0.29-1.06
Fósforo, max	0.035	0.035	0.035
Azufre, max	0.035	0.035	0.035
Silicio, min	0.10	0.10	0.10
Cromo, max	0.40	0.40	0.40
Cobre, max	0.40	0.40	0.40
Molibdeno, max	0.15	0.15	0.15
Níquel, max	0.40	0.40	0.40
Vanadio, max	0.08	0.08	0.08

Ilustración 37 Propiedades químicas del acero A106.

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-106B>.

	Grado A	Grado B	Grado C
Resistencia a la tracción, min:	48,000 psi [330 MPa]	60,000 psi [415 MPa]	70,000 psi [485 MPa]
Fluencia, min:	30,000psi [205 MPa]	35,000psi [240 MPa]	40,000psi [275 MPa]

Ilustración 38 Propiedades mecánicas del acero A106.

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-106B>.

	C					Mn		P max	S max	Si max
	t < 12.5mm	12.5mm < t ≤ 50mm	50mm < t ≤ 100mm	100mm < t ≤ 200mm	t > 200mm	t < 12.5mm	t > 12.5mm			
A516 Grado 55	0.18	0.2	0.22	0.24	0.26	0.6-0.9	0.55-0.98	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 60	0.21	0.23	0.25	0.27	0.27	0.6-0.9	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 65	0.24	0.26	0.28	0.29	0.29	0.85-1.2	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4
A516 Grado 70	0.27	0.28	0.3	0.31	0.31	0.85-1.2	0.85-1.2	0.035	0.035	0.15-0.4

Ilustración 39 Propiedades químicas del acero A516.

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-516>

	Resistencia a la tracción (ksi)	Resistencia a la tracción (MPa)	Fluencia (ksi)	Fluencia (MPa)	Elongación en 200mm (%)	Elongación en 50mm (%)
A516 Grado 55	55-75	380-515	30	205	23	27
A516 Grado 60	60-80	415-550	32	220	21	25
A516 Grado 65	65-85	450-585	35	240	19	23
A516 Grado 70	70-90	485-620	38	260	17	21V

Ilustración 40 Propiedades mecánicas del acero A516.

Fuente: <http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel/astm-asme/astm-a-516>

Condiciones de diseño mecánico.

Se tomaron consideraciones de diseño para evitar un diseño de mala calidad que genere algún tipo de riesgo que pueda presentarse eventualmente.

Para la simplicidad del diseño mecánico se ha seleccionado una temperatura general que se muestra como recomendación en el código ASME sección 1 PFT-50.1, la cual es 700 °F.

La presión tomada es de 350 psi, presión mayor a la que posee la caldera en plena operación (150 psi).

Diseño de las partes sometidas a presión. Las partes sometidas a presión son:

Presión Interna.

El Casco

Espejos

Tapa Plana

Presión Externa

La Cámara de combustión

Tubos de fuego

Cálculo del espesor de los tubos de la caldera

Radio, espesor y longitud de la tubería seleccionada para los tubos.

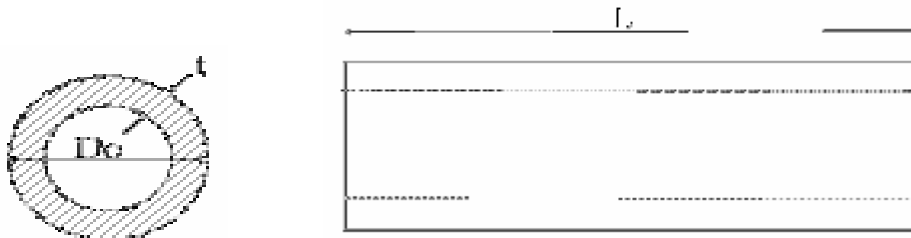


Ilustración 41 Cálculo del espesor de los tubos de la caldera.

Fuente: Propia.

Para los tubos de fuego se considera; el material para los tubos es acero negro, sin costura y templado, para servicio a altas temperaturas, según norma ASTM A106, es recomendable utilizar un solo diámetro.

Tabla 31

Espesor y diámetros de tuberías



ESPESOR (pulg)	DIAMETRO NOMINAL (pulg)					
	1/2	3/4	1	1 1/2	1 3/4	2
	Máxima presión externa admisible (PSI)					
0.095	420	280	240	210	190	170
0.105	560	380	320	280	250	230
0.120	770	520	440	390	350	310
0.135	980	660	570	490	430	400
0.150		800	680	600	530	480

Fuente: Código ASME, sección VIII. División IUG-27 y sección IPG-27.2.2

Las impurezas generan obstrucción en los diámetros pequeños, mientras que en los diámetros grandes los gases pierden turbulencia y con esto, capacidad de transferencia de calor. El diámetro seleccionado va de acuerdo a la presión a soportar, para una presión de 280 psi se tomó un diámetro de 3/4" con un espesor de 0.095 pulg. El metal seleccionado es resistencia a altas temperaturas, posee un punto de fusión que oscila entre los 1400 y 1560 °C. Por último, tomando en cuenta la corrosión, se toma la decisión de usar un espesor de tubo de 3 mm.

Estimación del número de tubos de Caldera.

Para la estimación de la cantidad de tubos que utilizará la caldera, hemos tomado como referencia otras tesis, por lo tanto como esta es un minicentral a escala diseñada para laboratorio, entonces el dimensionamiento de la caldera debe ser a escala es por lo tanto no depende de tanta área, entonces hemos estimado una cantidad de 16 tubos con un diámetro de 1.90 cm, mientras que el diámetro del tubo principal donde se producirá la llama es de 5.08 cm.

Superficie Disponible para la distribución de tubos en la mini caldera, por análisis y criterio no se puede colocar más tubos ya que reduciría la cantidad de almacenamiento de

agua destilada.

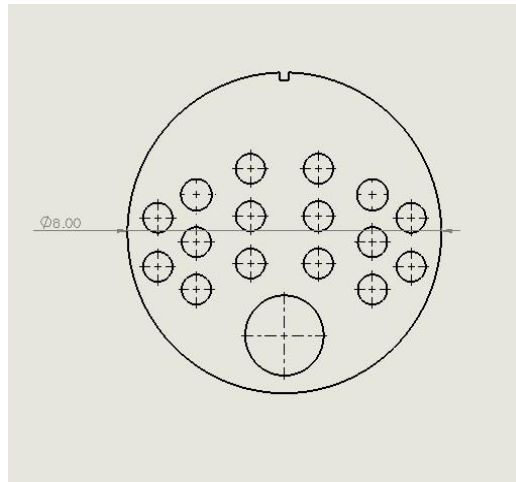


Ilustración 42 Vista frontal de la caldera.

Fuente: Propia.

Para la configuración de la disposición del casco y tubos se parte del diámetro de casco disponible y el diámetro de los tubos que se consiguen en el mercado

Diámetro de Casco: 20.32 cm

Diámetro de Tubos: 1.90 cm

Nº estimado de tubos: 16 tubos

Diámetro exterior del tubo principal de la llama: 5.08 cm

Qua: Calor por unidad de área, el valor típico para mini caldera es 38021.65 [kJ/h*m²]

De la ecuación:

$$A = \frac{Q_{util}}{Q_{ua}} = \frac{10839.97 \text{ [kJ/h]}}{38021.65 \text{ [kJ/h * m}^2\text{]}} = \mathbf{0.2851 \text{ m}^2}$$

Se Calcula la longitud necesaria de los tubos:

$$L_{total} = \frac{A}{\pi \cdot D_{tubos} \cdot N} = \mathbf{0.2985 \text{ m}}$$

La mini caldera es de tubos horizontales y debe mantenerse con un nivel mínimo de agua de 2/3 de su área.

Diseño del casco.

Para el diseño del casco se ha utilizado las ecuaciones del código ASME sección I PG-27.2.2.

$$e = \frac{p R}{(S E) - (0,6 p)}$$

Ecuación 2 Espesor mínimo del casco

Donde:

e : Espesor mínimo requerido mm

R: radio exterior del cilindro pulg.

E: Eficiencia junta

S: Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño psi 700° F

P: Máxima presión de trabajo admisible psi

Tabla 32

Esfuerzo máximo admisible de los aceros ASTM (Ksi)

MATERIAL				Maximum Allowable Stress Values in Thousands of Pounds Per Square Inch For Metal Temperature Not Exceeding Deg. F										
ESPECIFICATION	GRADO	CLASS OR TYPE	WELD JOINT EFFICIENCY	-20 to 100	200	300	400	500	600	650	-20 to 650	700	750	800
CARBON STEEL														
<i>Seamless Pipe and Tubes</i>														
1	A53	A	S	-	-	-	-	-	-	-	12.0	11.6	10.7	9.0
2	A53	B	S	-	-	-	-	-	-	-	15.0	14.3	12.9	10.8
3	A106	A	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	11.6	10.7	9.0
4	A106	B	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	14.3	12.9	10.8
5	A106	C	-	-	-	-	-	-	-	-	17.5	16.6	14.7	12.0
6	A120	-	-	10.8	10.6	10.2	9.8	-	-	-	-	-	-	-
7	A179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.7	11.5	10.7	9.0
8	A192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.7	11.5	10.7	9.0
9	A210	A1	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	14.3	12.9	10.8
10	A210	C	-	-	-	-	-	-	-	-	17.5	16.6	14.7	12.0
11	A333	1	-	-	-	-	-	-	-	-	13.7	-	-	-
12	A333	6	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	-	-	-
13	API-5L	A	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	11.6	10.7	9.0
14	API-5L	B	-	-	-	-	-	-	-	-	15.0	14.3	12.9	10.8

Fuente: Norma ASTM - American Society for Testing and Materials

$$t = \frac{350 \text{ psi} \times 4''}{(18100 \text{ psi} \times 1) - 0.6 \times 350} = 0.103''$$

Para acero al carbono A106 y con diámetro de 8" según la norma, el espesor mínimo debe ser 1/4".

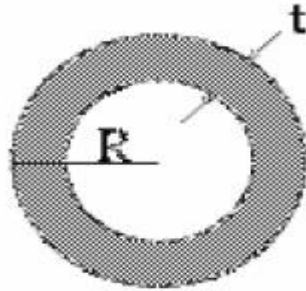


Ilustración 43 Radio y espesor de la tubería seleccionada para el casco.

Fuente: Propia.

Dimensionamiento de los Espejos

El mínimo espesor requerido de espejos plano sin tensores, está dado según el código ASME sección I, referencia PG-31.3.2.

$$d = \phi \sqrt{\frac{C \cdot P}{S}}$$

Ecuación 3 Espesor requerido por presión

Donde:

d = espesor requerido por presión.

ϕ = 1.7 pulg. (Longitud menor de diámetro entre soldas).

P = 280 PSI (Presión máxima de trabajo).

S = 14100 Lb/pulg². (Máximo esfuerzo del material)

C = 0.20 (Coeficiente de acuerdo al arreglo del espejo)

d = 0.107 pulg. = 2.7mm

Diseño de la Turbina

El modelo de turbina a utilizar será una turbina de acción y de impulso, de una sola etapa, debido a su utilidad para este tipo de turbina a bajas potencias (Mataix, 1995). Es muy parecido a la turbina de De Laval con admisión parcial de flujo y álabes simétricos. Debido al espacio limitado tomaremos un diámetro medio de 120 mm y un ancho de 20 mm. Este tipo de rotor es conocido de manera comercial como la rueda Curtis.

Debido al bajo volumen específico del vapor al ingreso de la turbina es necesario la admisión parcial del flujo, por lo que la altura y el número de los álabes en el rotor se ve reducida, de acuerdo a las especificaciones de las fuentes encontradas se llegó a la conclusión de diseñar la mini turbina de vapor con 35 álabes en todo el perímetro del rotor. Midiendo aproximadamente 20 mm de altura.

La configuración del rotor, de admisión parcial y régimen de giro alto, como el que se establece, es reducido a una sola etapa de acción o una sola etapa de velocidad. La finalidad de esta opción de configuración se centra en la facilidad de la regulación por la admisión parcial (mecanismo más económico).

Sin embargo, el mayor inconveniente que presenta este esquema en la rueda de álabes son las cargas dinámicas y los efectos termomecánicos que puedan tener los distintos componentes que conforman la microturbina.

Datos adicionales sobre la geometría serán asumidos siguiendo recomendaciones de diseño según el tipo de turbina ver tabla 35, así los valores asumidos para nuestra turbina:

$$\alpha_e = 20^\circ$$

$$\alpha_s = 20^\circ$$

$$\rho_{opt} = \frac{\cos(\alpha_e)}{2} = \frac{\cos(20^\circ)}{2} = 0.4698$$

$$n_n = 0.94$$

$$n_b = \frac{2C_b C_w}{C_{ae}^2}$$

$$K_m = 0.9$$

$$n_{gs} = n_b * n_n$$

$$\Delta h'_{gs} = C_b C_w$$

$$\beta_s = \beta_e = \alpha_e = 20^\circ$$

En donde:

C_b = Velocidad álabes.

C_w = Velocidad de volteo.

C_{ae} = Velocidad absoluta de entrada.

C_{re} = Velocidad relativa de entrada.

C_{as} = Velocidad absoluta de salida.

C_{rs} = Velocidad relativa de salida.

C_{fe} = Velocidad de cruce axial de entrada.

C_{fs} = Velocidad de cruce axial de salida.

C_{we} = Velocidad de volteo de entrada.

C_{fs} = Velocidad de cruce axial de salida.

β_e = Ángulo móvil de entrada.

β_s = Ángulo móvil de salida.

α_e = Ángulo fijo de entrada.

α_s = Ángulo fijo de salida.

P_{opt} = Relación de velocidades óptimo.

K_m = Coeficiente fricción alabes móviles.

K_F = Coeficiente fricción alabes fijos.

$\Delta h'_{gs}$ = Diferencia de entalpia real en la etapa.

Δh_{gs} = Diferencia de entalpia teórica en la etapa.

η_n = Eficiencia tobera

η_b = Eficiencia álabes

Tabla 33

Valores de construcción geométrica para diferentes tipos de turbina

Etapa	α_e (°)	ρ_{opt}	n_n	n_b	K_m	K_f	ϕ	n_{gs}	$\Delta h'_{gs}$	GA	β_s
Laval	15-20	$\frac{\cos(\alpha_e)}{2}$	0,92-0,94	$\frac{2 C_b C_w}{C_{ae}^2}$	0,85-0,9	N. a	N. a	$n_b * n_n$	$C_b * C_w$	Parcial	$\approx \beta_e$
Curtis	15-20	$\frac{\cos(\alpha_e)}{4}$	0,92-0,95	$\frac{2 C_b \sum C_w}{C_{ae1}^2}$	0,85-0,9	0,85-0,9	N. a	$n_{b1-2} * n_n$	$C_b * \sum C_w$	Parcial	$\approx \beta_e$
Rateau	18-23	0,56-0,6	0,93-0,95	$\frac{2 C_b C_w}{C_{ae}^2}$	0,85-0,9	N. a	N. a	$n_b * n_n$	$C_b * C_w$	Total	$\approx \beta_e - (2 a 5^\circ)$
Reacción	20-25	$\frac{\cos(\alpha_e)}{\sqrt{2}}$	0,94-0,96	$\frac{2 C_b C_w}{C_{ae}^2 + C_{rs}^2 - C_{re}^2}$	N. a	N. a	0,9-0,95	$n_b * n_n$	$\frac{C_{ae}^2 - \phi C_{as}^2}{2}$	Total	$\approx \alpha_e$

Fuente: Restrepo Ardila, 2005.

Tabla 34

Valores asumidos para distintas etapas.

Etapa	Valor asumido	Bibliografía
Laval, Curtis, Rateau	$K_m = 0,9$	(5)
Laval y Curtis	$\beta_e = \beta_s$	(7) (11)
Rateau	$\beta_s = \beta_e - 5$	(7)
Alabes fijos	$K_f = 0,9$	(5) (11)
Curtis	$\alpha_{e1} = 15^\circ = \alpha_{e2}$	(5)
Rateau	$\alpha_e = 18^\circ$	(5) (7)
Laval	$\alpha_e = 15^\circ$	(5)
Reacción	Simétricas $C_{RS} = C_{AE}; C_{AS} = C_{RE}; \beta_s = \alpha_e; \beta_e = \alpha_s$	
Eficiencia toberas	$n_n = 0,94$	
Velocidad Entrada Tobera (C_1)	$C_1 = 170,145 \text{ m/s}$	(12)
Velocidad Salida Tobera (C_2)	$C_2 = 1429,21 \text{ m/s}$	

Fuente: Restrepo Ardila, 2005.

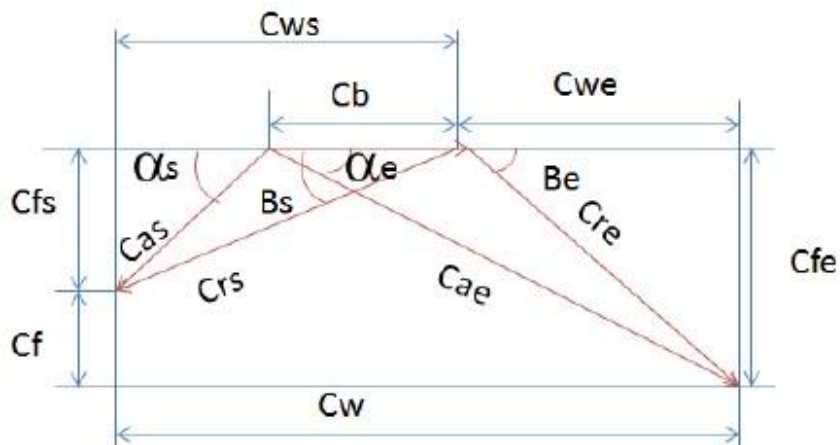


Ilustración 44 Triángulo de velocidades.

Fuente: Libro de turbomáquina de Claudio Mataix 3era edición.

η_{gs} = Eficiencia de la etapa


Se selecciona el ángulo menor de entrada α_e el cual sería similar al ángulo de salida β_s para de esta manera aumentar el C_w . Con lo cual se aumenta la diferencia de entalpías $\Delta h'_{gs}$ lo cual es equivalente a un mayor trabajo, disminuyendo flujo para un mayor trabajo en la turbina, y un menor trabajo en la bomba. Con los datos anteriores podemos obtener C_b , dada la ecuación

$$C_b = w * \left(\frac{dm}{2}\right)$$

Ecuación 4 Velocidad de alabes.

Donde:

dm = diámetro medio de los alabes

Tabla 35*Valores en las distintas etapas de una turbina.*


Etapa	Diam Med (mm)	Diam med (m)	Tipo	No. alabes	Cb (m/s)
1	980	0,98	Curtis	122	123,150432
2	935	0,935	Rateau	118	117,4955652
3	945	0,945	Rateau	118	118,7522023
4	954	0,954	Rateau	119	119,8831757
5	980	0,98	Laval	122	123,150432
6	935	0,935	Rateau	118	117,4955652
7	945	0,945	Rateau	118	118,7522023
8	954	0,954	Rateau	119	119,8831757
9	966	0,966	Rateau	119	121,3911401
10	978	0,978	Rateau	120	122,8991046
11	990	0,99	Rateau	121	124,4070691
12	1000	1	Rateau	122	125,6637061
13	1015	1,015	Rateau	122	127,5486617
14	1030	1,03	Rateau	121	129,4336173
15	1048	1,048	Reacción	120	131,695564
16	1063	1,063	Reacción	119	133,5805196
17	1078	1,078	Reacción	117	135,4654752
18	1098	1,098	Reacción	114	137,9787493
19	1134	1,134	Reacción	111	142,5026428
20	1168	1,168	Reacción	108	146,7752088
21	1200	1,2	Reacción	105	150,7964474
22	1250	1,25	Reacción	101	157,0796327

Fuente: López, Ingeniero German. Proyecto final plantas térmicas. 2014.

Para el número de alabes de la turbina nos guiamos de este cuadro, la flecha toma como valor 122 alabes con un diámetro de 980 mm pero esta turbina no está destinada para laboratorio, entonces como nosotros estamos diseñando una minicentral de vapor a escala para laboratorio, entonces para el diseño de nuestra turbina y teniendo en cuenta los parámetros para el análisis térmico, tomamos un diámetro de 14 cm la cual para obtener el número de alabes tenemos que tener en cuenta que esta pieza será trabajada en un Fresadora CNC, con la ayuda del especialista decidimos trabajarlo con una freza de 5 mm la cual obtenemos una cantidad 31 alabes.

SISTEMAS DE MEDICIÓN Y CONTROLES BÁSICOS

Los sistemas de medición y controles básicos utilizados en el diseño de la mini central se muestran en la figura siguiente.

Figura 30. Diagrama de los sistemas de medición y controles básicos requeridos en el diseño de la mini central de vapor.

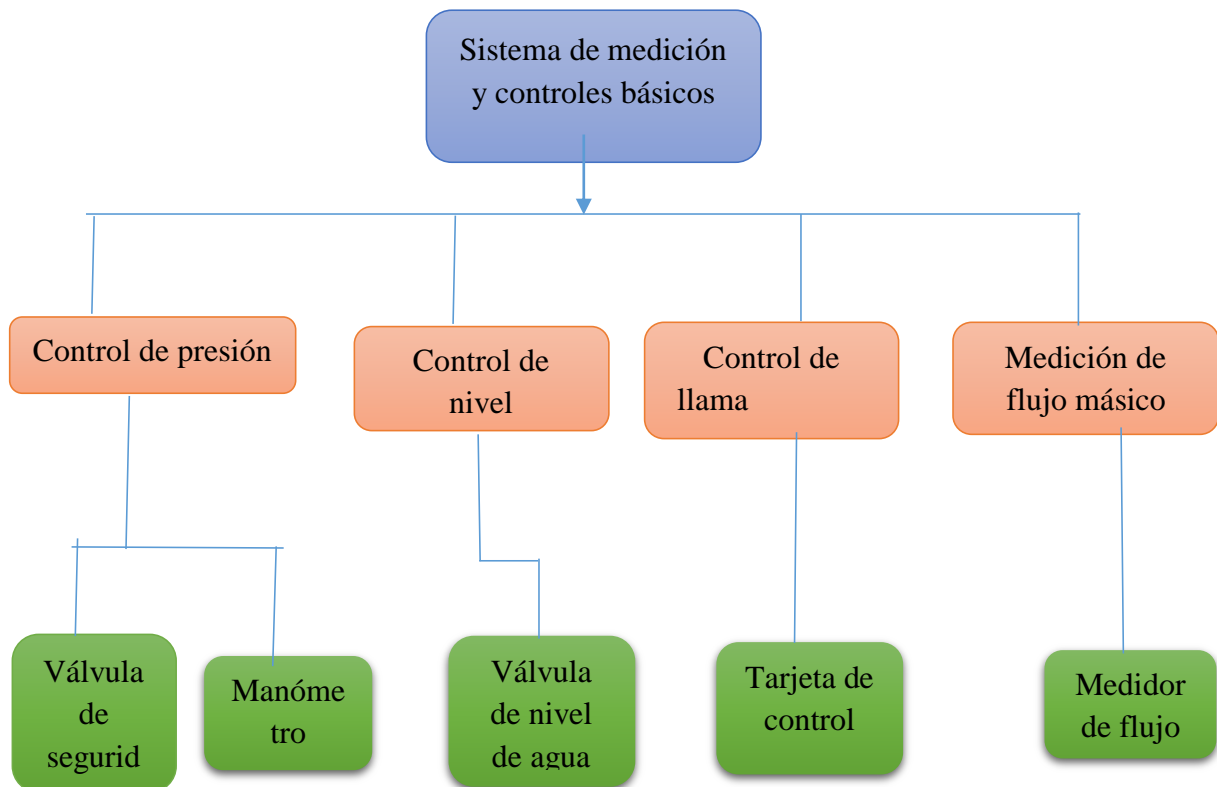


Ilustración 45 Sistema de medición y controles básicos

Fuente: Propia.

Control de Presión.

Los elementos utilizados en el control y medición requeridos en la mini caldera en cuanto a presión son:

Válvula de seguridad: Válvula calibrada a 120 psig, cuyo funcionamiento es proteger la mini caldera de sobre presiones (mayores a 120 psig, si la presión de operación está por encima de la presión de calibración, la válvula se apertura y deja transitar por ella el vapor hacia el exterior, hasta que la presión de la caldera sea menor a la presión de operación.

Manómetro: es un dispositivo que se emplea para supervisar presiones de trabajo, en este caso en un intervalo de 0 a 120 psig.

Control de nivel

VISOR DE NIVEL DE BRONCE ½”, tubo de vidrio de 20 cm de longitud: Es el componente que permite visualizar el nivel del agua en el interior de la mini caldera, esto generará un control sobre el máximo y mínimo nivel que pueda presentarse durante el ciclo termodinámico y la operación de la mini central de vapor.

Control de Llama

Caja de control: este elemento está encargado de tres tareas importantes, estas son:
Producir la Chispa
Detectar la Llama
Permitir el Flujo de Gas

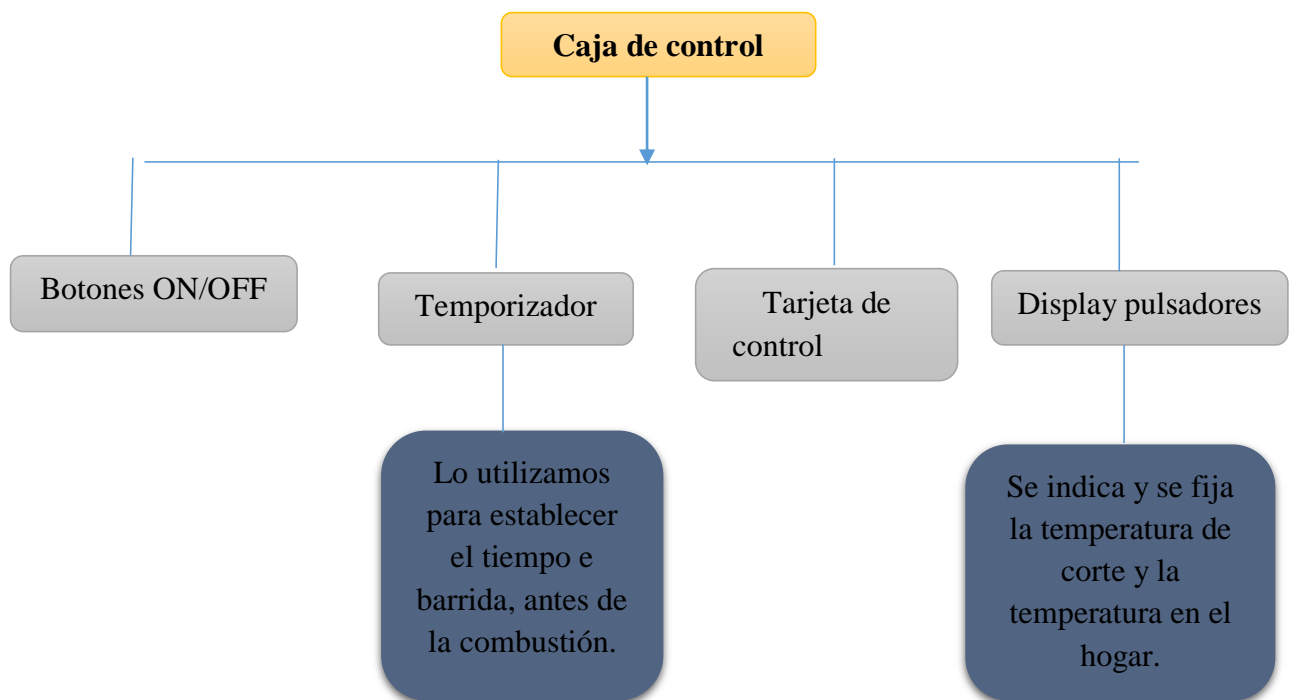


Ilustración 46 Caja de control.

Fuente: Propia.

Medición de flujo másico

Flujómetro: En la actualidad, los sistemas de medición de vapor están diseñados para operar con una presión de línea fija. Las pequeñas variaciones de presión lamentablemente pueden afectar directamente la presión de cualquier medidor.

Diseño de la torre de Enfriamiento.

Las torres de refrigeración son equipos diseñados con la finalidad de enfriar volúmenes de agua en las industrias que trabajan con disipación de calor.

El principio de enfriamiento de estos equipos se centra en la evaporación, el equipo genera una nube de gotas de agua bien por pulverización, bien por caída libre que se pone en contacto con una corriente de aire.

Los sistemas de refrigeración por efecto de la evaporación de agua se han utilizado con fines industriales y/o para el acondicionamiento del aire desde inicios del siglo pasado. Los principios y técnicas no han cambiado, ya que la base del sistema sigue siendo sencilla y simple, sin embargo en los últimos años, ha visto una evolución sustancial en cuanto a la calidad de los materiales y la accesibilidad de las instalaciones.

Los conocimientos actuales han llevado a la eliminación del uso de rellenos de celulosa, madera o fibrocemento que anteriormente eran muy comunes. La legislación vigente no permite el empleo de estos materiales porque benefician el crecimiento microbiológico.

Tenemos dos tipos de torres de refrigeración:

Torre de tiro o ventilación mecánica:

En las cuales destacan las de Tiro Forzado y Tiro Inducido

Torre de tiro natural

Las torres de tiro natural son en las que el aire es inducido por una gran chimenea situada sobre el relleno.

Los motivos por los que el aire es inducido dentro de la torre son:

La diferencia de densidades entre el aire de los exteriores de la torre y el aire húmedo

caliente.

La diferencia de velocidades entre el viento que transita por la parte superior de la chimenea y el viento a nivel del suelo.

Las torres de tiro natural son mayormente alta y, además, poseen una sección transversal grande que facilita el movimiento del aire ascendente. Estas torres generan bajos egresos en la aplicación de mantenimientos, además, son muy indicadas para enfriar grandes caudales de agua.

Selección de la torre

Lo primero que debemos saber que se construirá una torre de enfriamiento para una miniplanta, para un equipo de laboratorio, la cual no tendrá algún impacto ambiental y la temperatura de funcionamiento no es muy alta, además de poder controlarse.

Es por esto que se decidió trabajar y fabricar una torre de tiro natural por varios factores:

Sirven para disipación de cargas térmicas medias y bajas

Las torres de tiro natural son de mayor tamaño, pero también son fabricadas a escala para equipos de laboratorio.

Dada su elevada altura y geometría, la emisión de aerosoles es muy limitada.

Las de tiro mecánico se utilizan más porque el agua es recirculada nuevamente, en cambio en la de tiro natural cumple para ambos casos.

No cuenta con ventilador como la de tiro natural, la cual es eficiente pero se genera gasto además de ser utilizado para cantidades mayores en industrias.

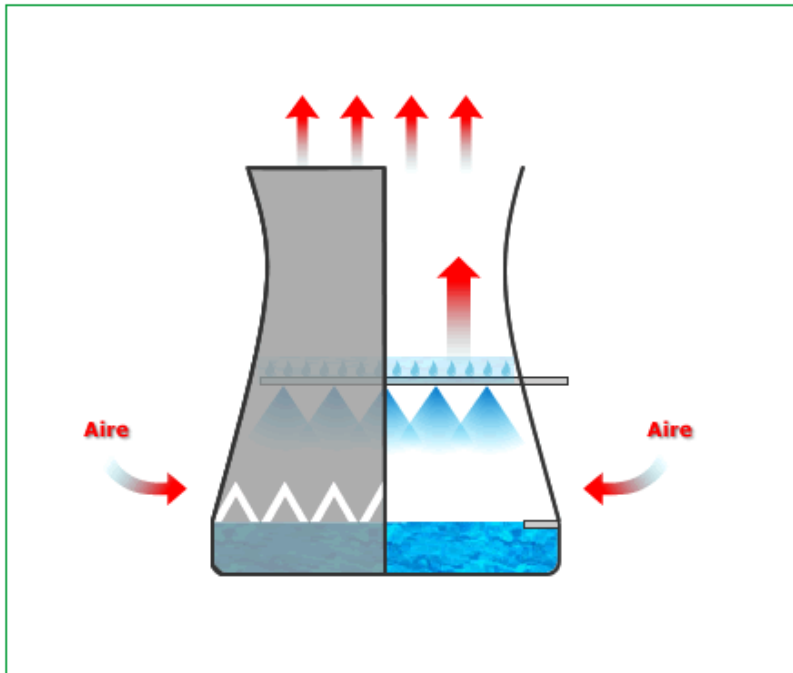


Ilustración 47 Torre de enfriamiento de tiro natural.

Fuente: http://refriclimas.mex.tl/934977_torres-de-enfriamiento.html.

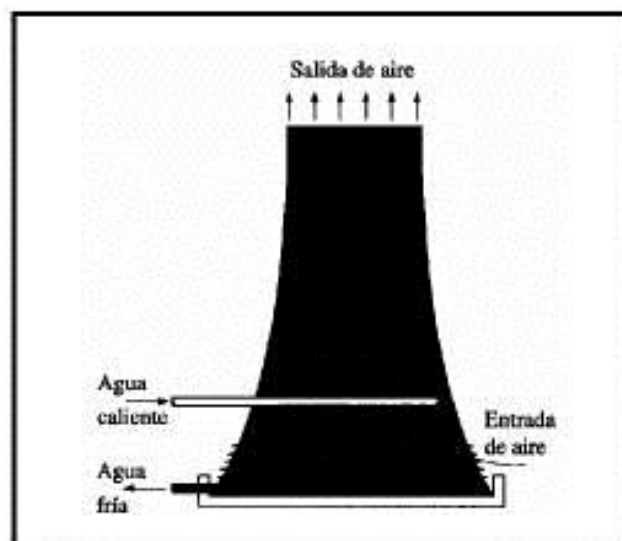


Ilustración 48 Torre de enfriamiento de tiro natural.

Fuente: http://refriclimas.mex.tl/934977_torres-de-enfriamiento.html.

Selección de materiales

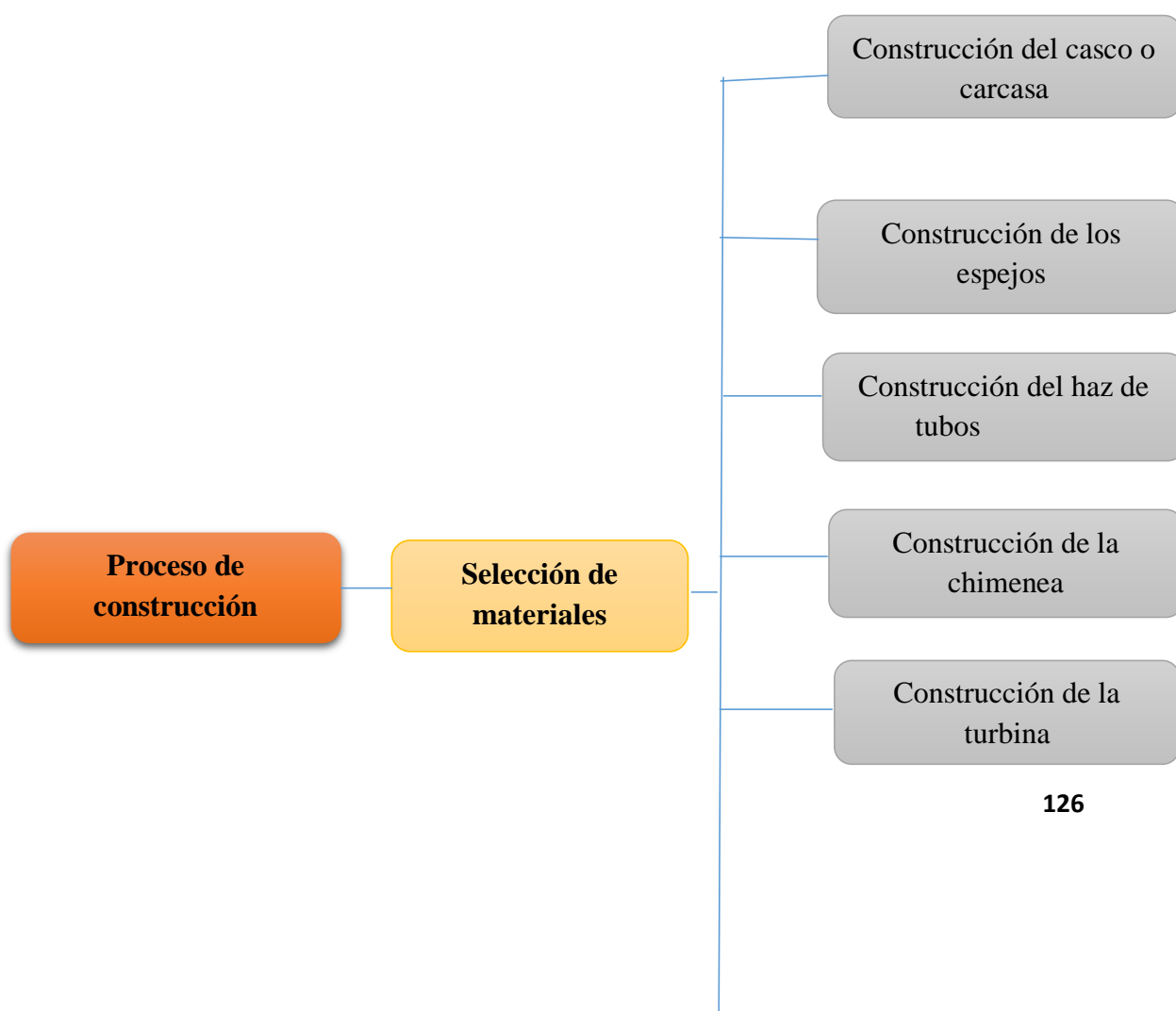
Tabla 36

Selección de materiales

Elemento	Material
Casco	A 106, Acero, resistente a altas temperaturas.
Haz de Tubos	A106
Placa porta tubos (espejos)	A516
Chimenea	Lámina de acero
Turbina	Acero inox. AISI 304
Carcasa de turbina	Acero inox. AISI 304
Quemador	Acero inox. AISI 304
Torre de enfriamiento	Acero inox. AISI 304

Fuente: Propia.

5.6. Modelamiento y construcción del equipo



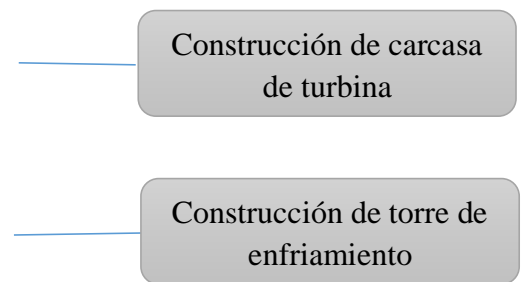


Ilustración 49 Proceso de construcción.

Fuente: Propia.

El proceso de fabricación de la mini central, parte de la selección de los materiales adecuados para cada uno de los componentes, de igual manera estos fueron fabricados de forma simultánea.

SELECCIÓN DE MATERIALES

Especificación de los materiales usados

Tabla 37

Selección de materiales

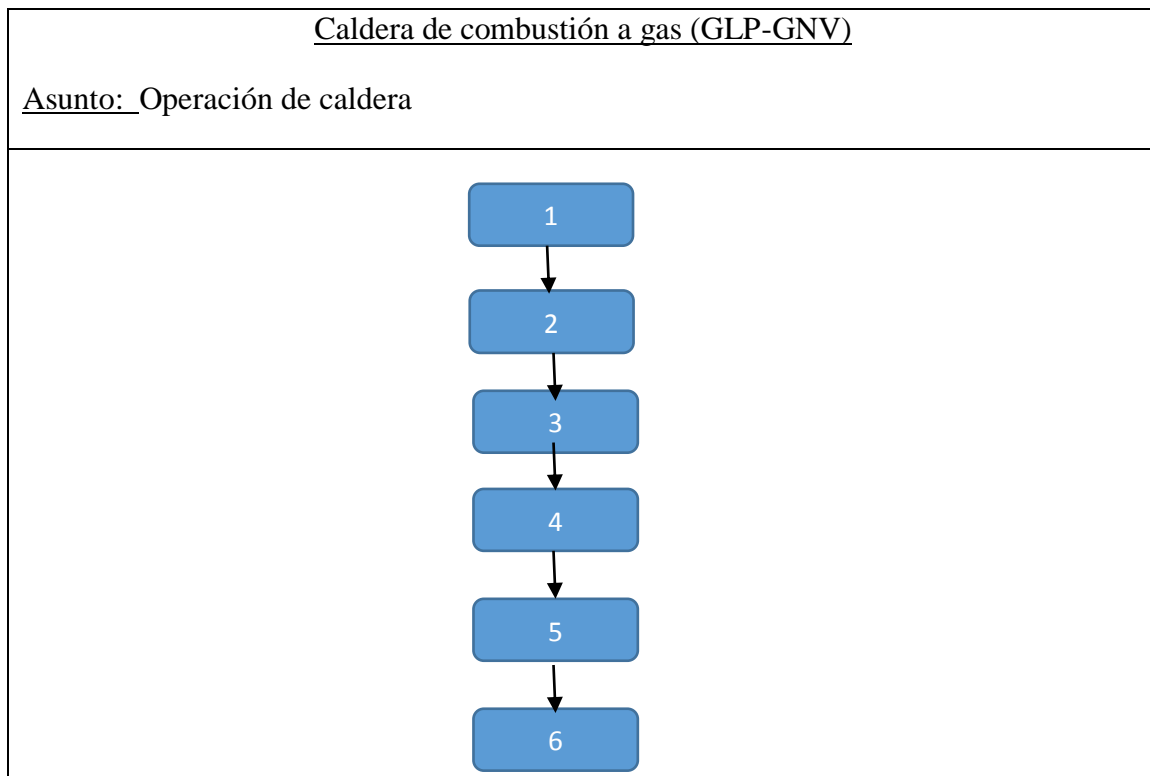
Elemento	Material	Especificación de diseño
Casco	A 106, Acero, resistente a altas temperaturas.	Diámetro de 0.20m, longitud 0.30m s, la cubierta externa de casco es de acero galvanizado
Haz de Tubos	A106	16 tubos de diámetro 0.019m , longitud 0.20m
Placa porta tubos (espejos)	A106	2 placas de diámetro 0.20m, espesor 0.006m.
Chimenea	Lámina de acero	Longitud 0.15m , espesor 0.015m

<i>Turbina</i>	Acero inox. AISI 304	Diámetro 0.12m, espesor 0.016m, 30 alabes.
<i>Carcasa de turbina</i>	Acero inox. AISI 304	Rectangular, 0.15m x 0,038m
<i>Quemador</i>	Acero inox. AISI 304	GLP, atmosférico.
<i>Torre de enfriamiento</i>	Acero inox. AISI 304	Forma cónica con escalonamiento interno.

Fuente: Propia.

La selección de los materiales se hizo bajo especificación técnica para los elementos seleccionados.

FLUJOGRAMA PARA LA CORRECTA OPERACIÓN DE MINI CENTRAL DE VAPOR



<u>Pasos</u>	Descripción de la operación
<u>1</u>	Verificar que exista alimentación de energía eléctrica del tablero principal al tablero de control de caldera.
<u>2</u>	Verificar el nivel de agua en la caldera.
<u>3</u>	Verificar que exista combustible en el bidón de gas
<u>4</u>	Verificar que estén cerradas las llaves: a) Suministro de vapor (válvula principal) b) Purgas (superficie, fondo, tubo de nivel)
<u>5</u>	Verificar que estén abiertas las llaves: a) Suministro de combustible b) Mezclador de quemador de GLP c) Presionar el botón generador de chispa.
<u>6</u>	Poner en funcionamiento la caldera y cuando haya alcanzado la presión de trabajo, realizar las pruebas. Al final de la jornada cerrar la válvula principal de suministro de vapor.

PASOS PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA MINICENTRAL DE VAPOR.

1. Llenar litros de agua destilada la caldera.
2. Verificar la conexión de mangueras del bidón de gas hacia el quemador.
3. Verificar que la llave de paso este cerrada.
4. Presionar el botón que se encuentra en la parte posterior de la mesa, para generar la chispa y el quemador encienda.
5. Girar la perilla del quemador hasta tener la llama adecuada.
6. Esperar que el quemador en conjunto con la caldera realicen el trabajo de obtener el vapor.
7. Esperar que la caldera obtenga una presión de 14 PSI como máximo, ya que cuando el manómetro marque 15 PSI la válvula de alivio se activara y dejara salir todo el vapor obtenido, entonces se deberá realizar nuevamente todo los pasos indicados anteriormente.
8. Cuando obtengamos los 14 PSI, abriremos la llave de paso el cual dejara seguir el vapor en dirección a la turbina.

9. Tomar apuntes de la temperatura a la entrada y salida de la turbina, para observar que cantidad ha disminuido por el trabajo que realiza al interior de la turbina.
10. Observar cuando ingrese el vapor a la turbina ya que esta va acoplada a un eje donde se tomara medición de las RPM (Revoluciones por Minuto), además este eje por medio de una faja está conectada a un generador.
11. Con la ayuda de un tacómetro mediremos las revoluciones por minuto.
12. Con un multímetro mediremos el voltaje y corriente que obtendremos gracias al trabajo de la turbina.
13. El procedimiento es de un ciclo Rankine abierto, entonces terminara cuando el vapor ingrese a la torre de enfriamiento y este se adhiera a las paredes de esta.
14. En caso quisiéramos saber en cuanto disminuyo la temperatura por el trabajo realizado, podremos tomar una medición a la entrada de la torre de enfriamiento y comparar con las temperaturas anteriores y así analizar en cuanto disminuyo la temperatura por trabajo realizado en cada etapa antes mencionada.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El análisis económico que se realizó para el plan de mantenimiento es de costo mínimo, ya que esta minicentral de vapor que está destinada para el laboratorio solo se utilizara dos veces por año y el principal mantenimiento que se dará es la limpieza de la Caldera, la Turbina y la Torre de Enfriamiento con agua destilada.

El análisis económico de los costos de operación solo incluirá el bidón de gas porque el agua destilada se puede conseguir en la Universidad Señor de Sipán de manera gratuita.

Para empezar con el diseño de la miniplanta se tomaron en cuenta, datos encontrados en informaciones buscadas, además de tomar a criterio temperaturas y presiones de acuerdo al clima de Pimentel y de acuerdo a las dimensiones para un laboratorio.

Gracias a la matriz morfológica, llegamos a seleccionar el diseño adecuado para la miniplanta.

Se realizó un pleno análisis de los materiales a utilizar ya que esta trabajará constantemente con vapor la cual puede ocasionar porosidad y corrosión, es por eso que se

escogió trabajar con acero inoxidable (no todas las piezas serán diseñadas con este material).

Gracias a la fabricación de esta miniplanta, los alumnos del área de ciencias térmicas, podrán observar y analizar de manera real el funcionamiento de una central térmica a escala.

La potencia generada en la mini central de vapor es de 40w, potencia suficiente para realizar las pruebas y ensayos de laboratorio, además de poder accionar una pequeña bomba de agua de una lavadora.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda que los equipos de operación al momento de instalarse gocen del suficiente espacio físico para el buen manejo y mantenimiento de los accesorios de dichos equipos.

Es recomendable instalar termómetros en las líneas de vapor de entrada y salida de la turbina y del caldero.

Se recomienda que se tomen los datos pertinentes, una vez puesta en marcha la mini central, para corroborar los datos del fabricante, como la eficiencia de la caldera y la turbina, el consumo real del combustible y a partir de este dato la generación de vapor en la caldera.

Es recomendable, una vez instalado el equipo de laboratorio, cerciorarse con pruebas, que todos los controles de nivel y de seguridad de la mini central funcionen de forma correcta.

Tener los implementos adecuados para realizar el análisis térmico.

Tener una distancia prudente para prevenir cualquier accidente al realizar pruebas.

Realizar su mantenimiento a la miniplanta de acuerdo a las especificaciones dadas.

6.3. Referencias bibliográficas.

1. (s.f.). Obtenido de <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFE/eventos/EVENTO%203/TEXTTO%203C.pdf>
2. Abu-Mulaweh, H. I. (2002). *Portable Experimental Apparatus for Demonstrating Thermodynamics Principles*. Indiana, USA: Indiana University-Purdue University at Fort Wayne Fort Wayne, IN 46805, USA.
3. Almeida Barragán, A. S., & Armas Landázuri, D. C. (2013). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, Y OPERACIONALIZACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO TUBO Y CARCASA, DESTINADO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK*. Quito – Ecuador: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.
4. Almeida Barragán, Antonio Sebastián; Armas Landázuri, Daniela Cristina. (2013). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, Y OPERACIONALIZACIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO TUBO Y CARCASA, DESTINADO PARA EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA*

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES DE LA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK. Quito – Ecuador: UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK.

5. Banta, A. (1997). *The Design of an Instructional Cogeneration Laboratory*. California: California
6. State University, Sacramento, Sacramento, CA.
7. Brunel, S. P., & Kingston, L. (2009). *Designing and Planning Laboratories*. England.
8. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *termodinámica*. University of Nevada, Reno: McGRAW- HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Obtenido de http://unefa-termodinamica.blogspot.pe/2009_07_01_archive.html
9. Corona Barajas, E., & Melo Gomez, A. O. (2012). *modelacion y simulacion de una planta de potencia de vapor ideal*. Mexico.
10. Curto, D. U., Pedro, I., & Ana, I. (25 de Mayo de 2012). *mini central cuenta con una caldera generadora de vapor a partir de GLP*. Montevideo: Universidad de la República - Uruguay.
11. Del Rio, L. B. (2013). *DISEÑO DE UN GENERADOR DE VAPOR*. Madrid. García Prado, L. (2010). *Semblanza de las calderas, tipos, ventajas*.
12. García, J. B. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UNA CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL*. RIOBAMBA – ECUADOR: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
13. Gillet, D. A., & Rekik, Y. (2005). *Collaborative web-based experimentation in flexible engineering education*. Lausanne, Switzerland: The Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL).
14. Golato, M. A., Colombres, F. J., Gustavo, A., A. Correa, C., & Paz, D. (2008). *cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor*. Tucuma- Argentina.
15. Gooday, G. (1990). *Precision measurement and the genesis of physics teaching laboratories in Victorian Britain*. Cambridge: University of Kent at Canterbury, Kent CT2 7NR, U.K.
16. Jorge, J., Mercadé, J., Conangla, L., & Ferreres, E. (2009). *MAKING A VIRTUAL LEARNING ENVIRONMENT FOR NON-ASSISTED PHYSICS LABORATORY*.

Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.

17. López, J. B. (2013). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA UNA CALDERA PIRO TUBULAR HORIZONTAL*. RIOBAMBA – ECUADOR: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
18. MÉNDEZ GÓMEZ, M. P. (2014). *MEJORAMIENTO DEL TRATAMIENTO DE DESECHOS HOSPITALARIOS POR ESTERILIZACIÓN EN AUTOCLAVES*. QUITO.
19. Perez, C. F., & Bayona, P. J. (2011). *Instrumentacion de la Planta Termica de la Universidad Pontificia Bolivariana*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana Facultad de Ingenieria Mecanica Seccional Bucaramanga.
20. Quintero, V., Segnini, L., Rodriguez, E., Duran, C., & Balza, M. (2011). *PLANTA DE GENERACION ELECTRICA A VAPOR*. Venezuela.
21. Universidad de Calgary. (2009). *EXPERIMENTO 4: CICLO RANKINE - EXPERIMENTO*. NY: Comicion nacional para el uso eficiente de la energia.
22. Universidad Nacional del Callao. (2007). *Calderas y turbinas de vapor para la generación eléctrica*.
23. Universidad Nacional del Noreste - Buenos Aires. (2013). *laboratorio de mecánica, máquinas térmicas y fluidos para estudiantes*. BUENOS AIRES.

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista.



Facultad de Ingeniería Arquitectura y Urbanismo

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MINI-CENTRAL DE VAPOR PARA INSTRUCCIÓN UNIVERSITARIA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN, PIMENTEL.

ENTREVIST

A DATOS GENERALES

G. Nombre del entrevistado:

H. Dirección:

I. ¿Cuál es su ocupación?

J. Tiempo de servicio:

K. Edad

L. Sexo :

Masculino

Femenino:

M. Fecha de entrevista: ___/___/___

Duración: 30 min

10. ¿Cuáles son las ventajas de la utilización del sistema de generación de energía eléctrica a partir del vapor de agua?

11. ¿Qué modelos o tipos son recomendables?

12. ¿Qué tipos de instalación recomienda utilizar?

13. ¿Qué marca de equipos son recomendables?

14. ¿Cuál es el valor porcentual de la eficiencia real que puede lograr una caldera pirotubular?

15. ¿Qué tipo de material es el más recomendable para diseñar una turbina de vapor?

16. ¿Cuáles son las normas utilizadas en proyectos de diseño de calderas y turbinas de vapor?

17. ¿Qué opinión le merece la iniciativa de diseñar y fabricar un mini-planta de vapor monitoreada electrónicamente para fines de instrucción de los futuros ingenieros mecánicos-eléctricos en la Universidad Señor de Sipán?

18. ¿Qué recomendaciones brindaría para el diseño y fabricación de esta mini-central?

Anexo 2: Encuesta.



“FACULTAD DE INGENIERIA ARQUITECTURA Y URBANISMO”

“ESCUELA ACADEMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

ELÉCTRICA”

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MINICENTRAL DE VAPOR PARA
INSTRUCCIÓN UNIVERSITARIA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN,
PIMENTEL.**

ENCUESTA:

OBJETIVO: Recopilar información sobre los cursos de ciencias térmicas y el laboratorio de física.

1. ¿Ha desaprobado usted algún curso de ciencias térmicas (Termodinámica, Transferencia de Calor, Maquinas Térmicas)?

() 1 vez

2 veces

3 veces

En la primera vez lo aprobó

2. El estudiante que entra a los cursos de Maquinas Térmicas y Transferencia de Calor ¿posee los suficientes conocimientos previos para enfrentar estas materias?

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Medianamente de acuerdo

En desacuerdo

No sabe, no opina

3. ¿Es la exigencia del docente de los cursos de Maquinas Térmicas y

Transferencia de Calor la más adecuada?

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Medianamente de acuerdo

En desacuerdo

No sabe, no opina

4. ¿Qué curso de ciencias térmicas demanda de más exigencia para el estudio?

Maquinas Térmicas

Transferencia de Calor

Termodinámica

Turbomáquinas

Centrales de Energía

5. ¿Cree usted que la escuela de ingeniería mecánica eléctrica cuenta con los equipos de laboratorio adecuados para el desarrollo de los cursos de ciencias térmicas?

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Medianamente de acuerdo

En desacuerdo

No sabe, no opina

6. ¿Cree usted que se obtendría un mejor aprendizaje de los cursos de ciencias térmicas si se implementara el laboratorio con equipos adecuados?

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

Medianamente de acuerdo

En desacuerdo

No sabe, no opina

7. ¿Cree usted que con la implementación un laboratorio de ciencias térmicas disminuirá el índice de desaprobados en los cursos de Termodinámica, Transferencia de Calor, Maquinas Térmicas?

() Si

() No

() Posiblemente

8. ¿Tiene alguna idea si es que en el Perú se haya elaborado una mini-central de vapor para fines instrucciones universitarias?

() Si

() No

¿Donde?

9. Sabe cuál es el funcionamiento de una central de vapor

() Si

() No

Poco

Explique

10. ¿Qué opinión le merece la iniciativa de diseñar y fabricar un mini-planta de vapor monitoreada electrónicamente para fines de instrucción de los futuros ingenieros mecánicos-eléctricos en la Universidad Señor de Sipán?

Excelente

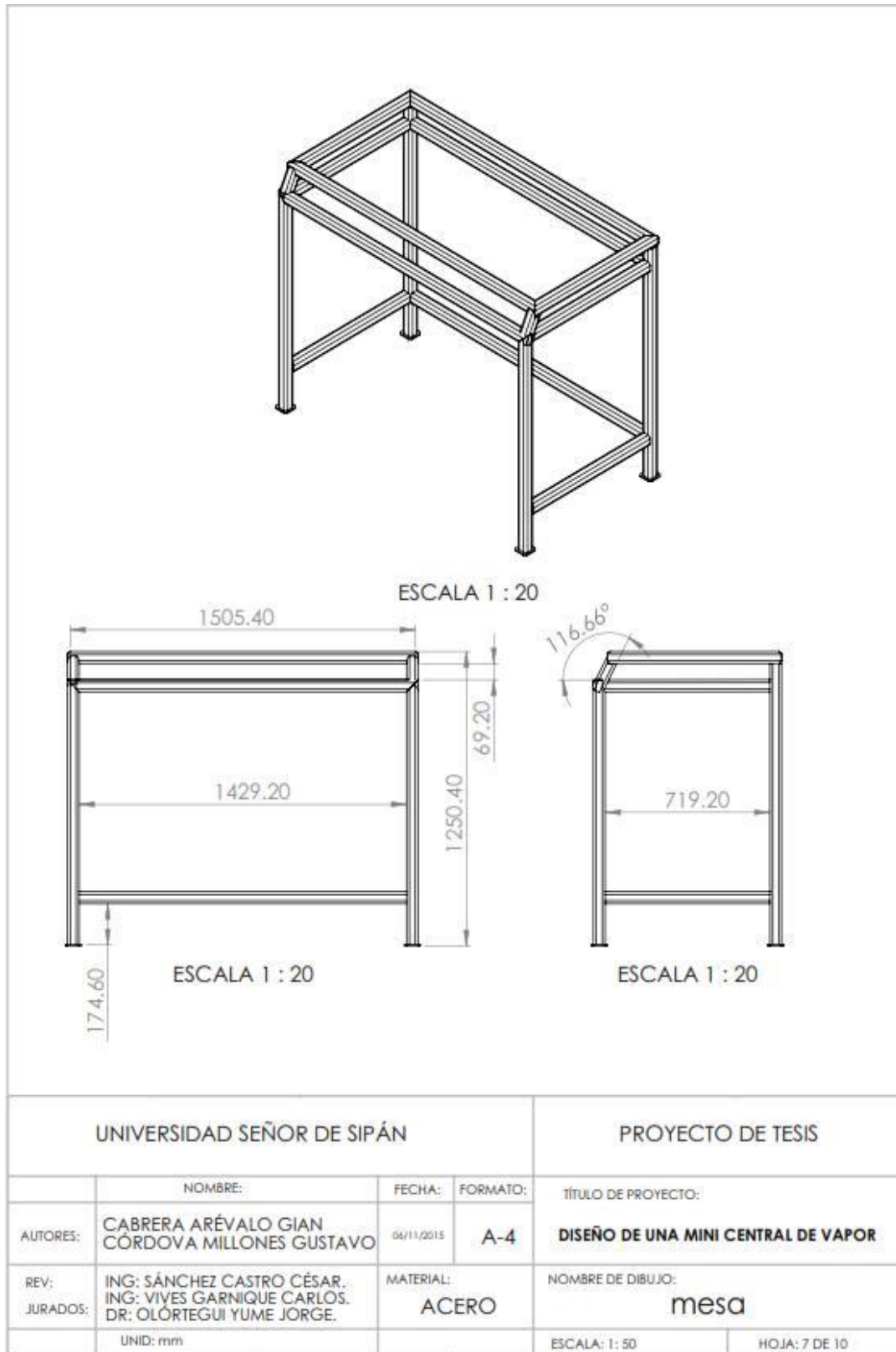
Buena

Regular

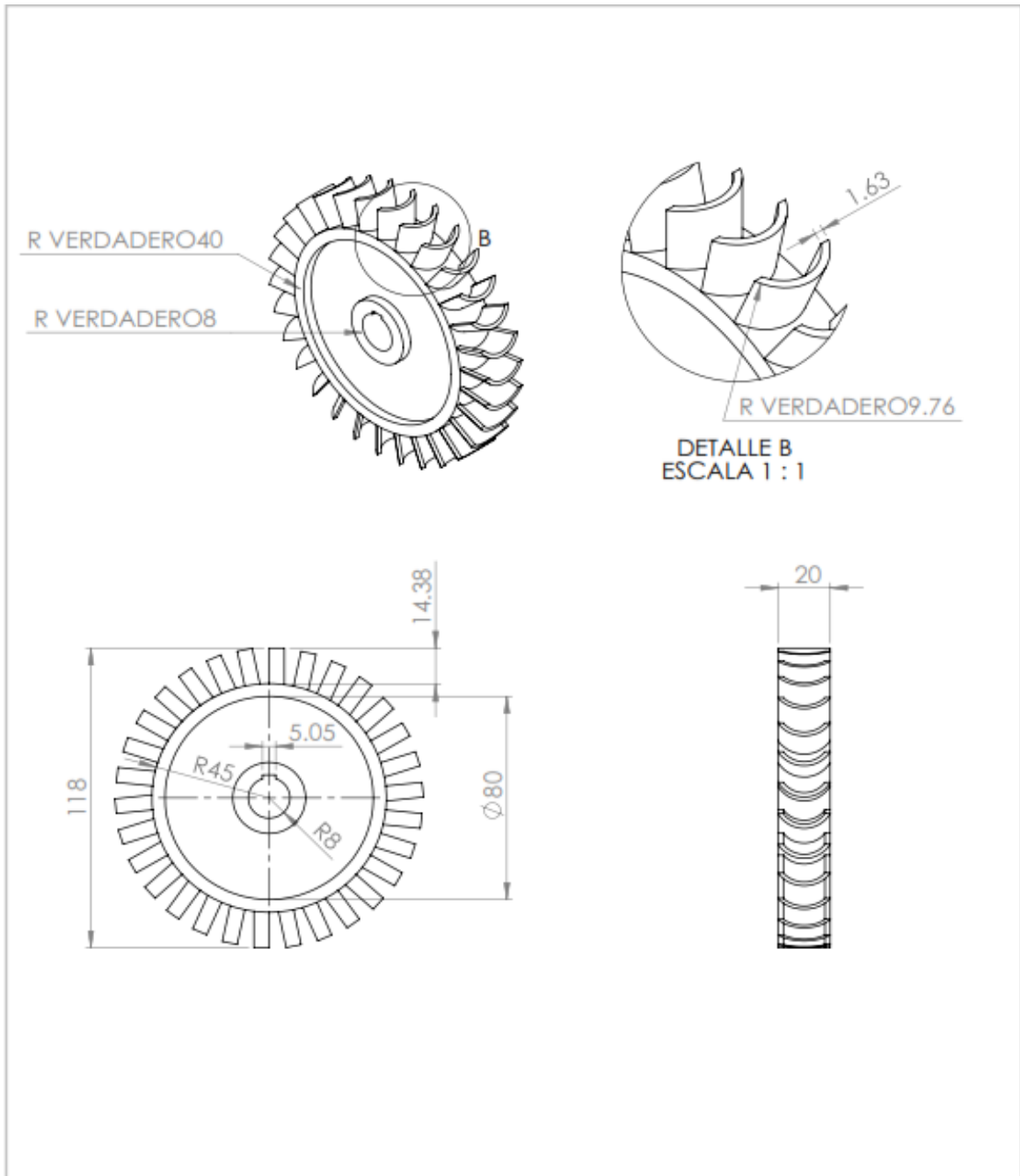
Mala

No sabe, no opina

Anexo 3: Plano de la mesa de la minicentral de vapor.

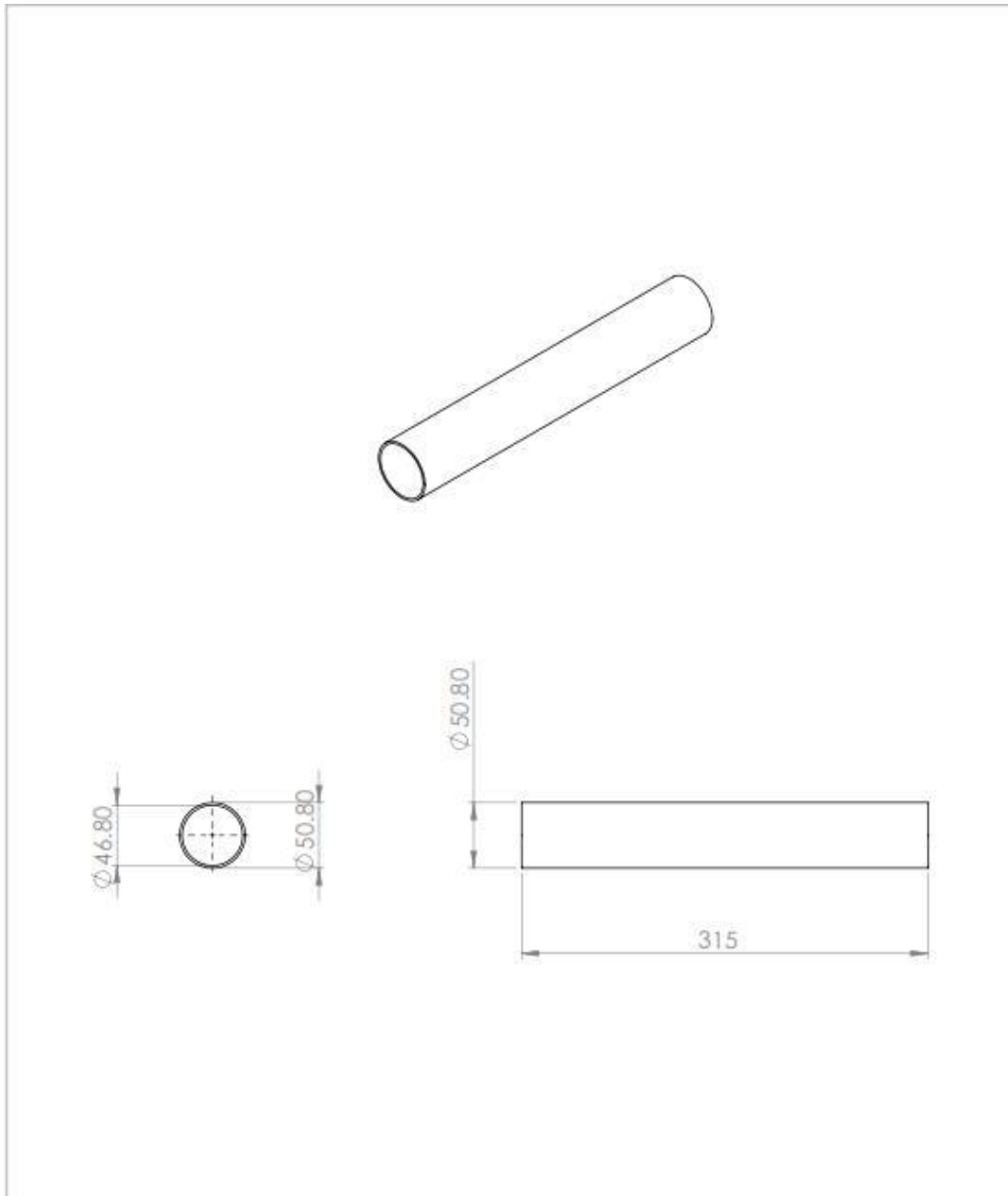


Anexo 4: Plano de la Turbina.



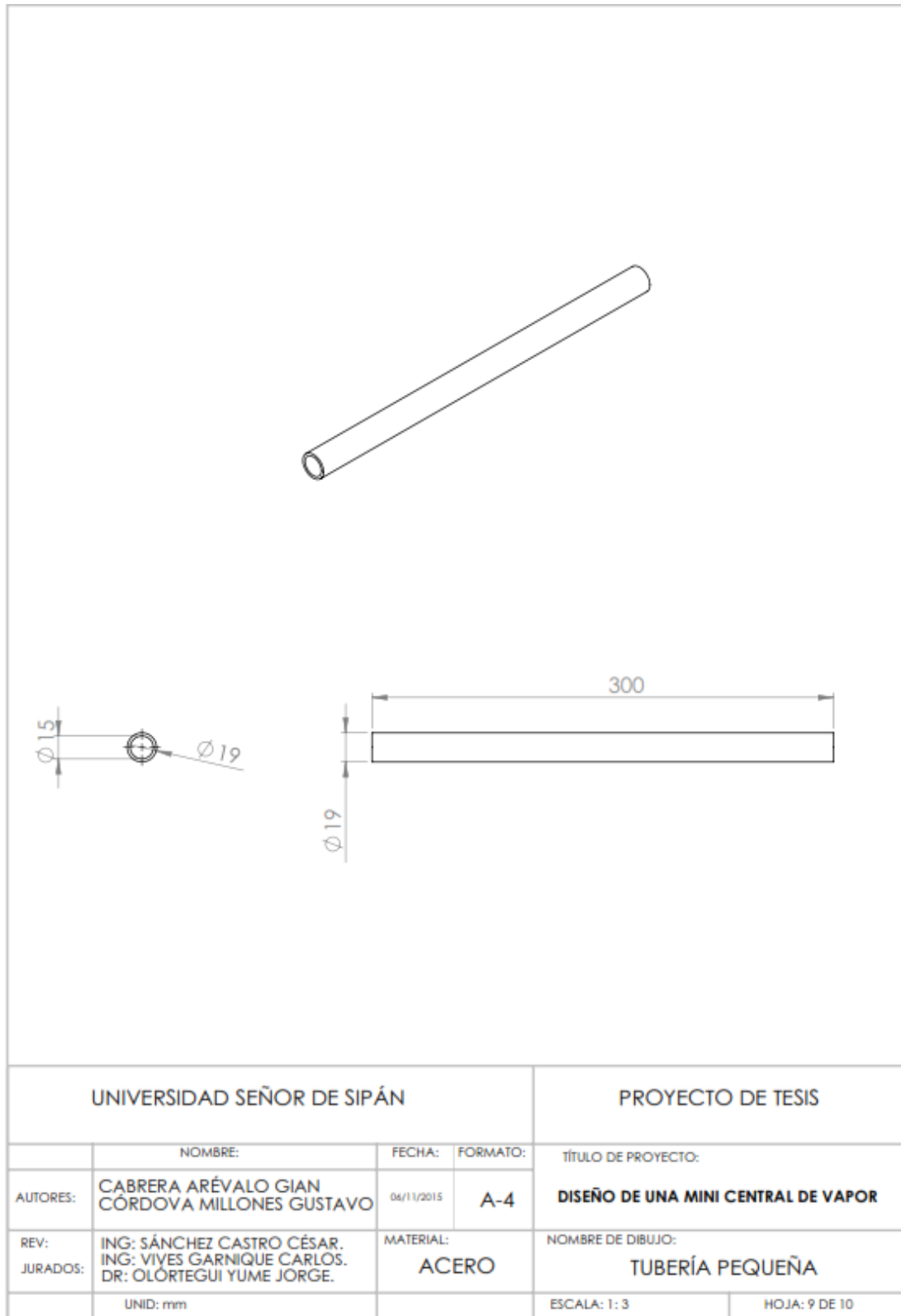
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV: JURADOS:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR. ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	MATERIAL:	NOMBRE DE DIBUJO:		
	UND: mm	ACERO	TURBINA		
			ESCALA: 1: 2	HOJA: 5 DE 7	

Anexo 5: Plano de la Tubería Grande.

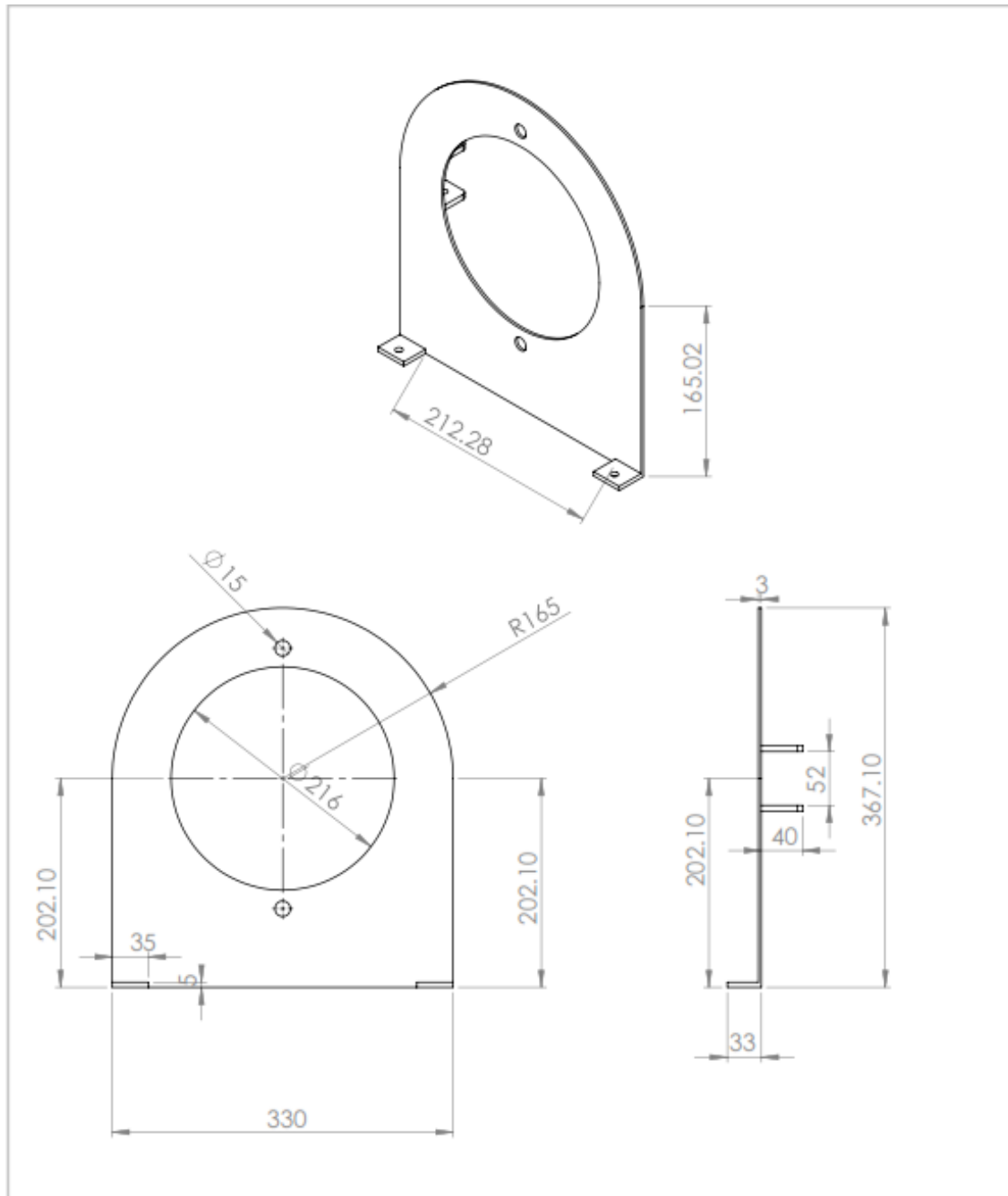


UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	04/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV: JURADOS:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR. ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	MATERIAL:	NOMBRE DE DIBUJO:		
	UNID: mm	ACERO	TUBERÍA GRANDE		
		ESCALA: 1: 4	HOJA: 10 DE 10		

Anexo 6: Plano de la tubería pequeña.

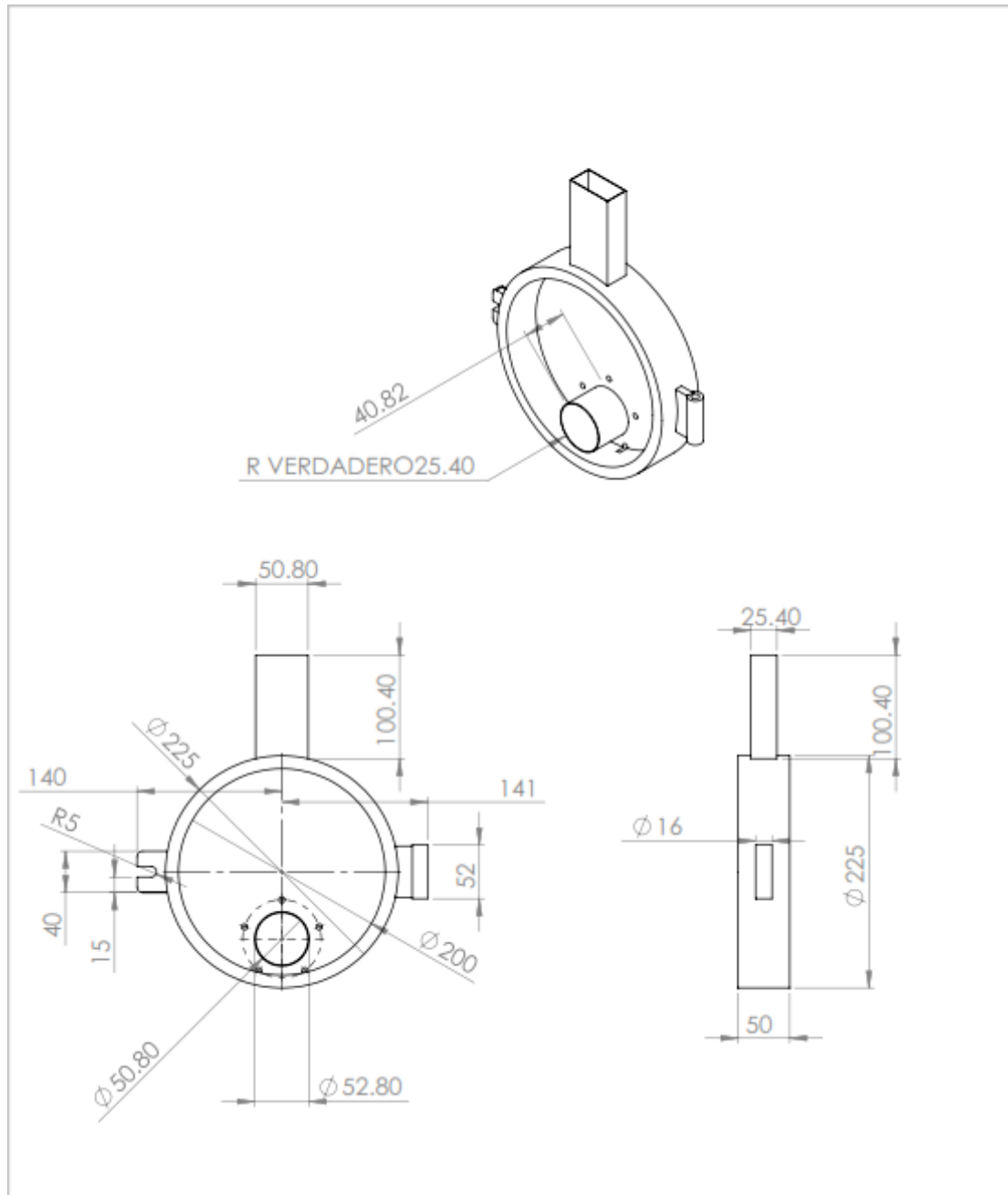


Anexo 7: Plano de la tapa lateral de la caldera.



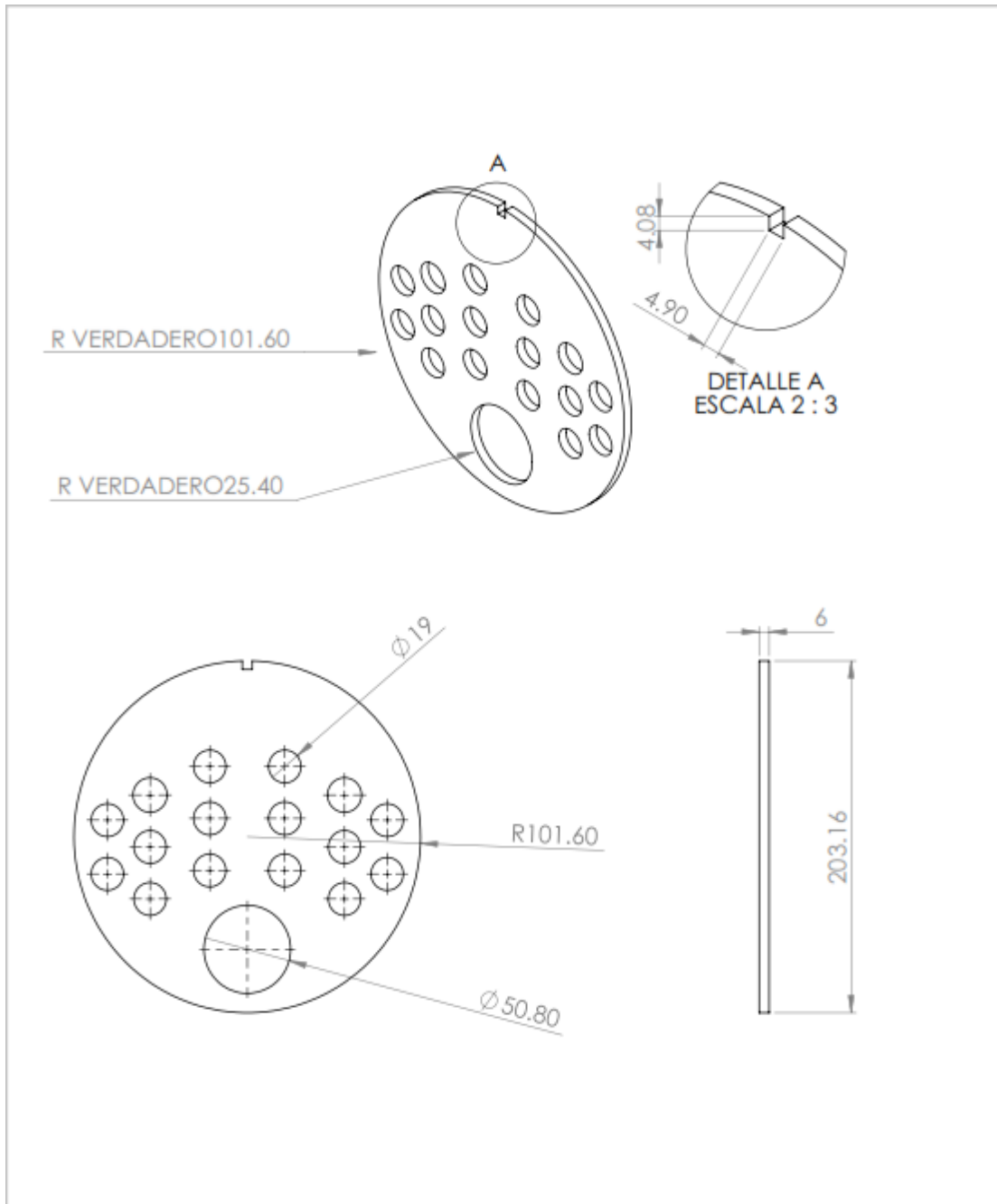
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
NOMBRE:		FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR.	MATERIAL:		NOMBRE DE DIBUJO:	
JURADOS:	ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	ACERO		TAPA LATERAL DE CALDERA	
UNID: mm				ESCALA: 1: 5	HOJA: 4 DE 10

Anexo 8: Plano de la tapa lateral de conductos de combustión.



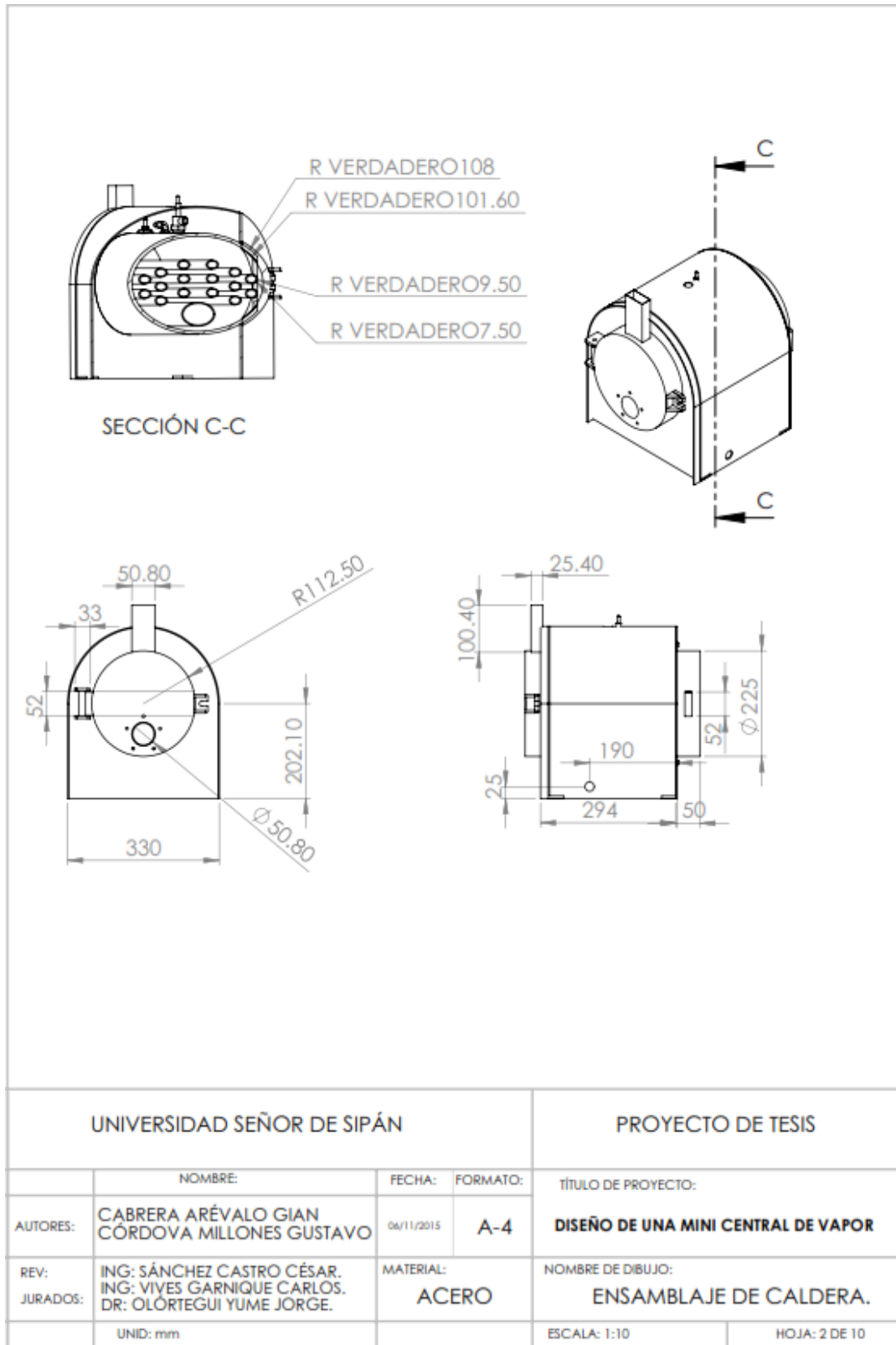
UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR.	MATERIAL:	NOMBRE DE DIBUJO:		
JURADOS:	ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	ACERO	TAPA LATERAL DE CONDUCTOS DE COMBUSTIÓN.		
	UNID: mm		ESCALA: 1: 5	HOJA: 3 DE 10	

Anexo 9: Plano de la brida.

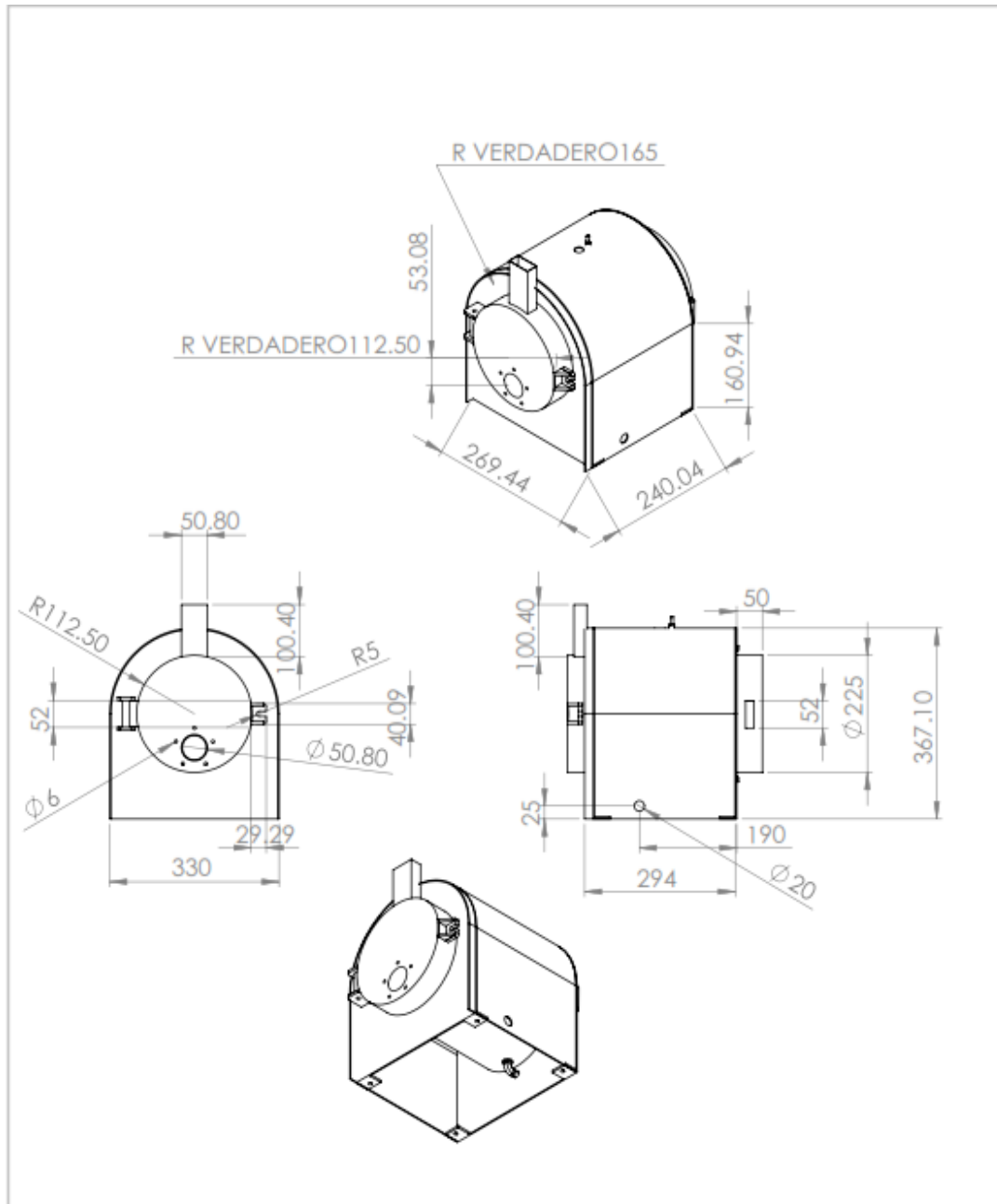


UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN			PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR
REV: JURADOS:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR. ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	MATERIAL:	NOMBRE DE DIBUJO:	
	UNID: mm	ACERO	BRIDA	
		ESCALA: 1: 3	HOJA: 8 DE 10	

Anexo 10: Plano del ensamblaje de la caldera.

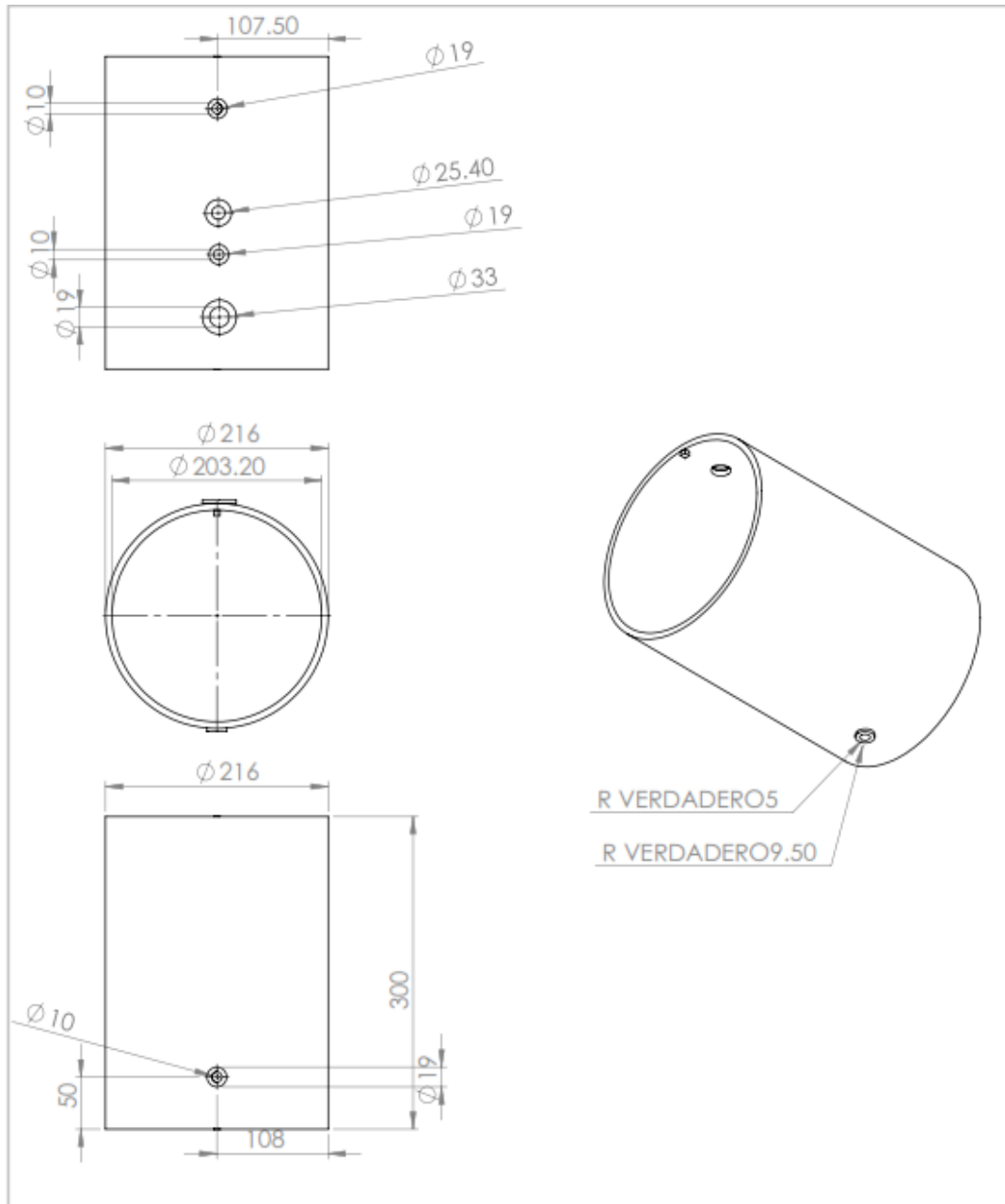


Anexo 11: Plano del ensamblaje de la caldera.



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR.	MATERIAL:	NOMBRE DE DIBUJO:		
JURADOS:	ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	ACERO	ENSAMBLAJE DE CALDERA		
	UNID: mm		ESCALA: 1:10	HOJA: 1 DE 10	

Anexo 12: Plano de la carcasa.



UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN				PROYECTO DE TESIS	
	NOMBRE:	FECHA:	FORMATO:	TÍTULO DE PROYECTO:	
AUTORES:	CABRERA ARÉVALO GIAN CÓRDOVA MILLONES GUSTAVO	06/11/2015	A-4	DISEÑO DE UNA MINI CENTRAL DE VAPOR	
REV: JURADOS:	ING: SÁNCHEZ CASTRO CÉSAR. ING: VIVES GARNIQUE CARLOS. DR: OLÓRTEGUI YUME JORGE.	MATERIAL: ACERO		NOMBRE DE DIBUJO: CARCASA	
	UNID: mm			ESCALA: 1: 5	HOJA: 6 DE 10

Anexo 13: Modelamiento y simulación de la mini planta con ayuda del software de diseño en 3D SOLIDWORKS.

Carcasa de la caldera.

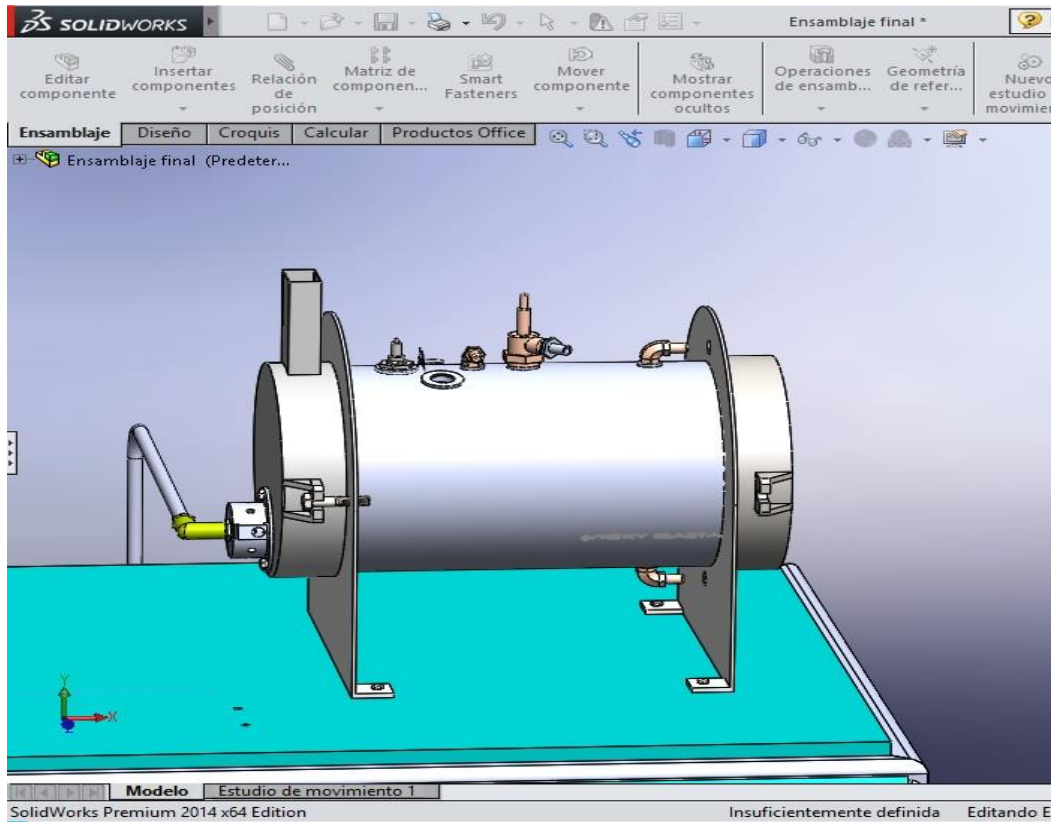


Ilustración 50 Carcasa de la caldera.

Fuente: Propia.

La carcasa es el elemento que contiene en su interior el haz de tubos y al mismo tiempo el agua requerida para la producción de vapor, el casco es diseñado bajo criterios de presión, siendo su dimensión más importante el diámetro y el espesor, generalmente es de un material resistente a altas temperaturas y a altas presiones, para el diseño realizado se utilizó Acero A106.

Quemador

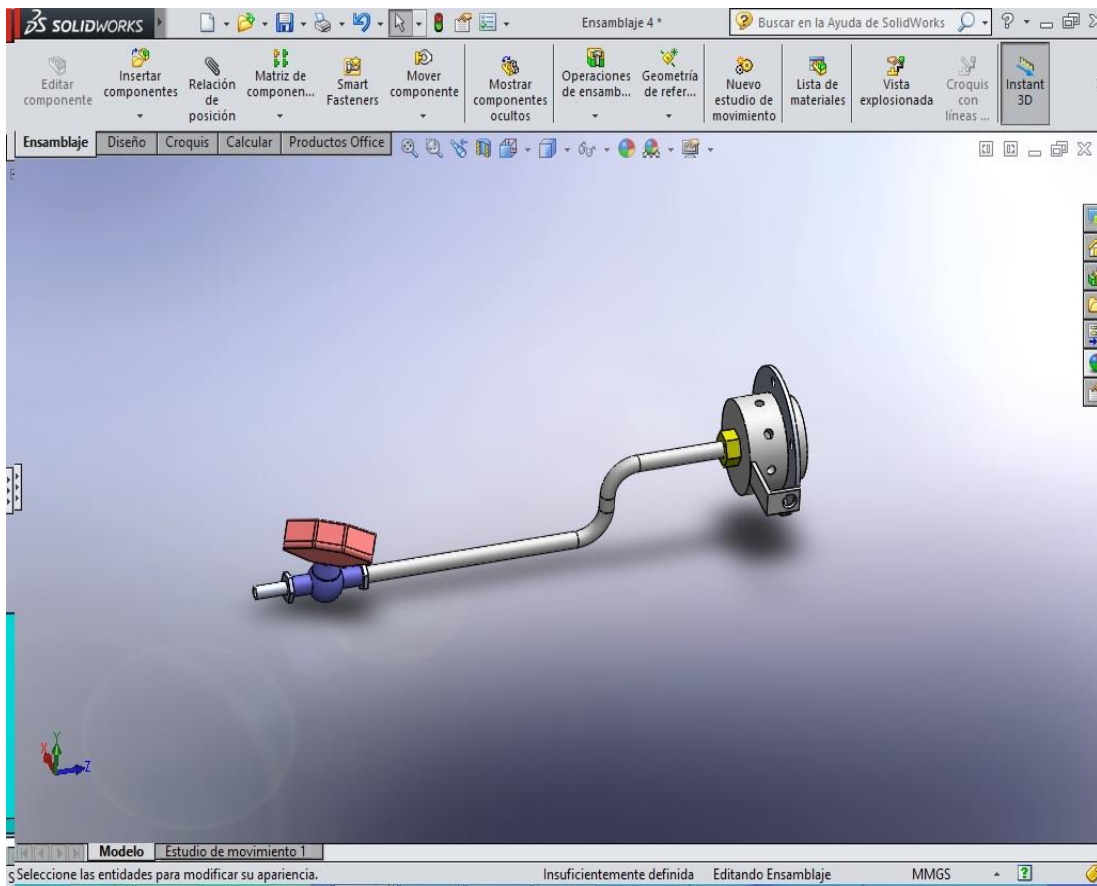


Ilustración 51 Quemador de GLP.

Fuente: Propia.

Es el elemento de la caldera encargado de producir calor, generalmente mediante una llama. Debe producir una llama estable y uniforme de manera que se realice una cierta distribución en el hogar. Los quemadores atmosféricos de gas son perforados y por sus orificios entra aire para producir la llama a presión ambiente.

Tapa delantera y chimenea

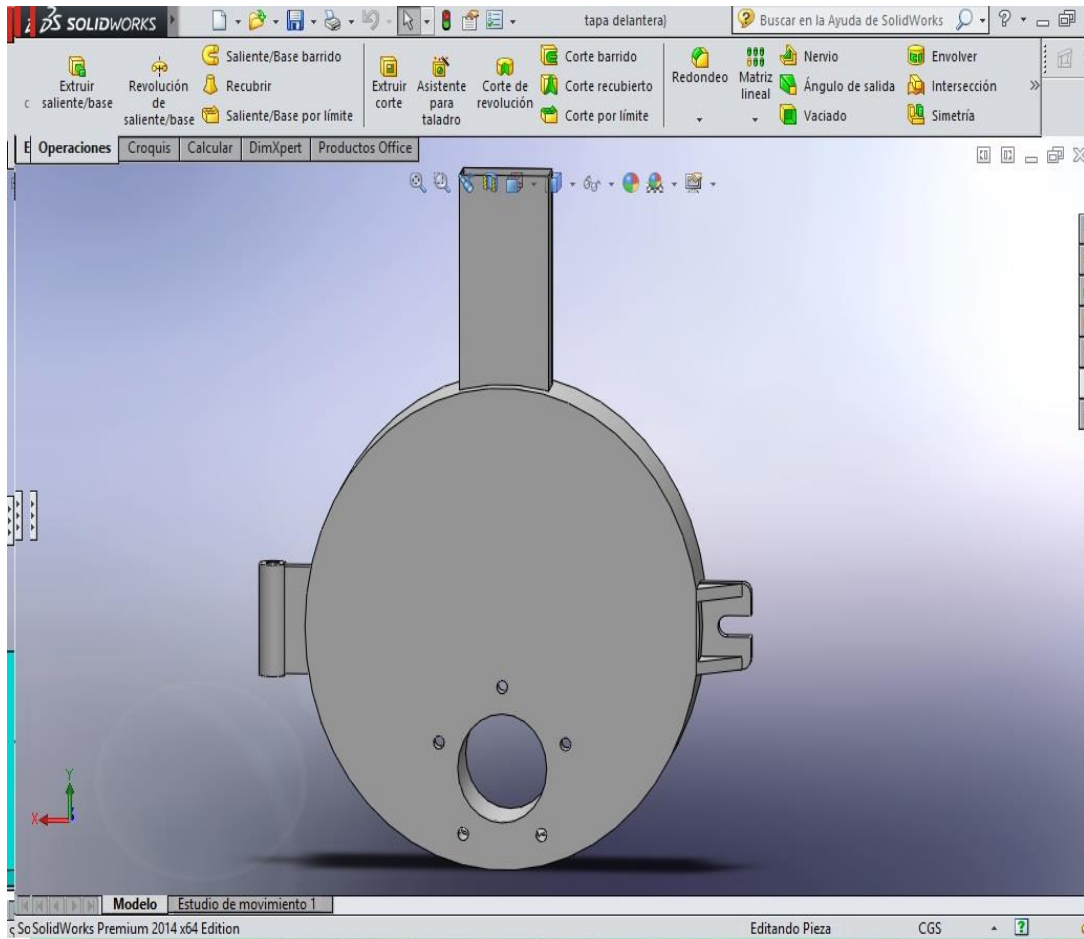


Ilustración 52 Tapa delantera y chimenea de la caldera.

Fuente: Propia.

La chimenea es la encargada de evacuar los gases producto de la combustión al exterior, la caldera diseñada es de tiro atmosférico, ya que el quemador posee unos agujeros que hace que el flujo de aire entre al haz de tubos y de la misma manera hace que se evacuen por la chimenea.

Tapa posterior de caldera

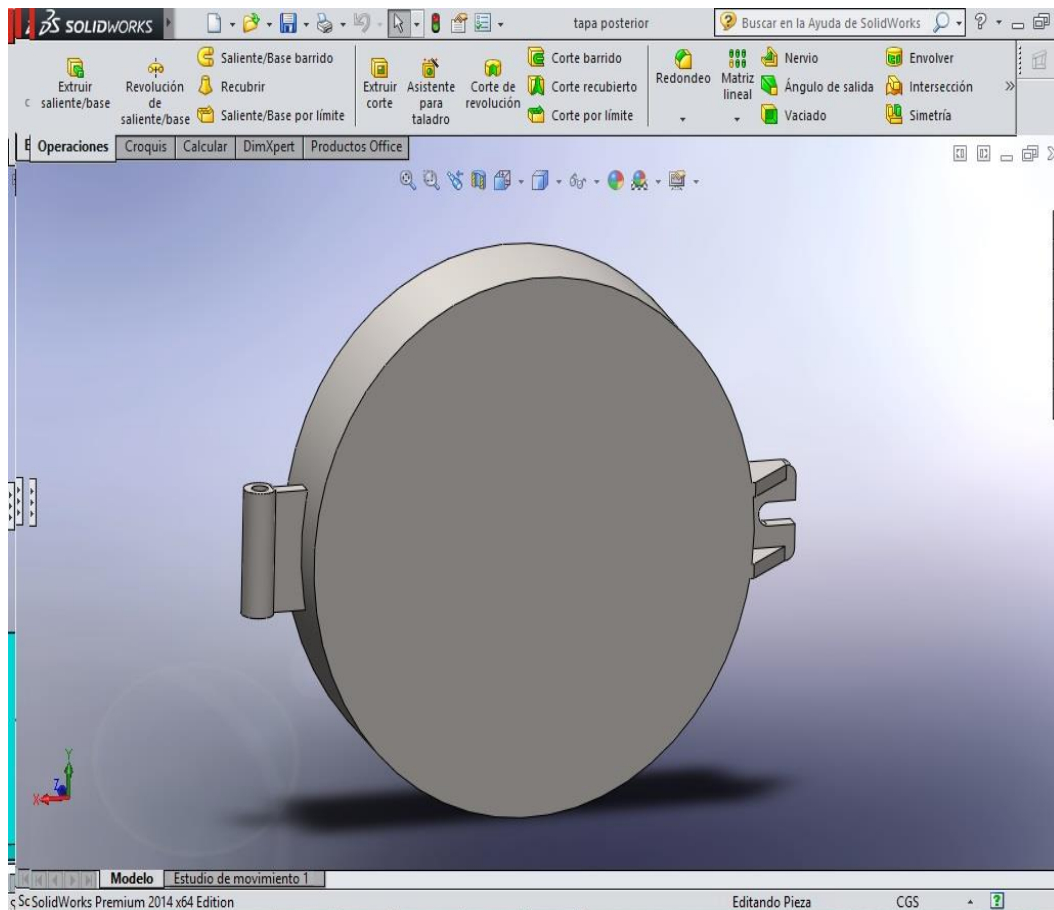


Ilustración 53 Tapa posterior de la caldera.

Fuente: Propia.

Es el elemento de la caldera que forma parte del trayecto de los gases producto de la combustión. Sirve como nexo entre todas las tuberías que componen el haz de tubos.

Torre de condensación

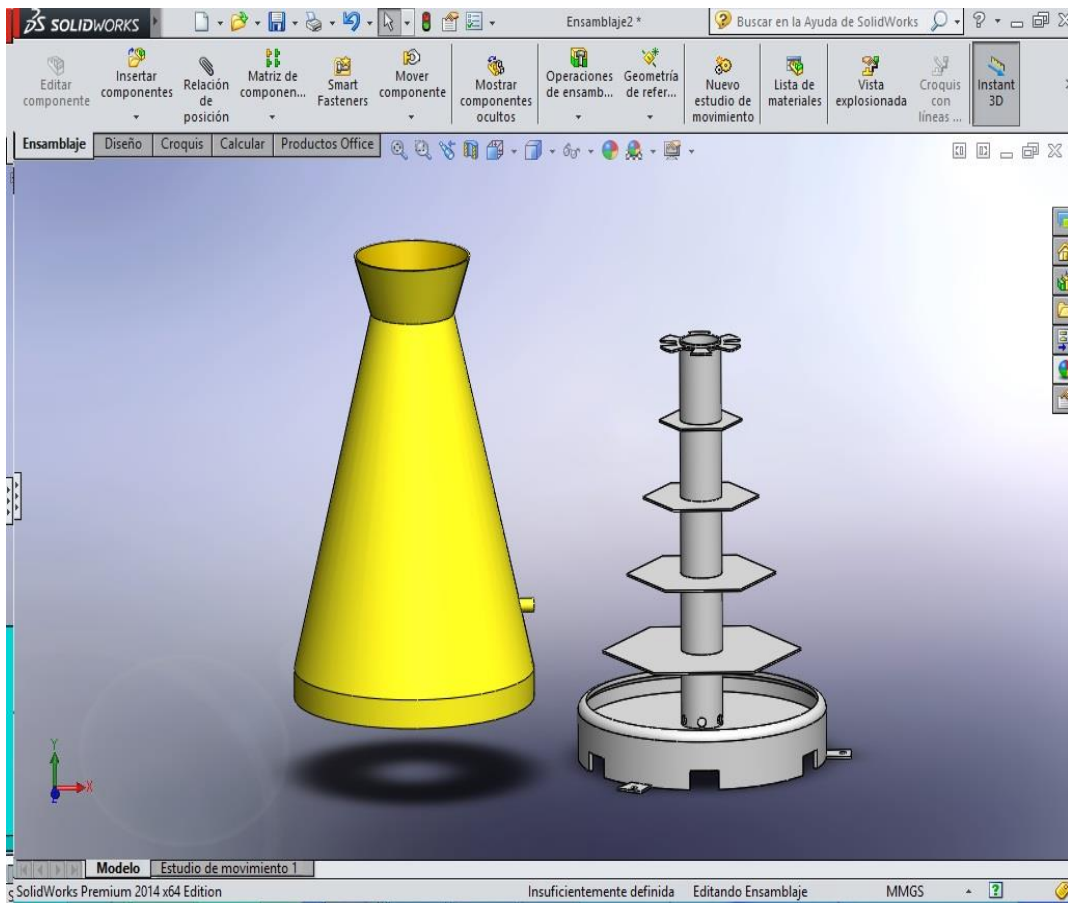


Ilustración 54 Torre de enfriamiento.

Fuente: Propia.

En la torre de enfriamiento el vapor cambia de estado y se convierte en agua, extrayendo el calor del agua mediante evaporación o conducción. El proceso es económico, comparado con otros equipos de enfriamiento como los cambiadores de calor, donde el enfriamiento ocurre a través de una pared.

Haz de tubos

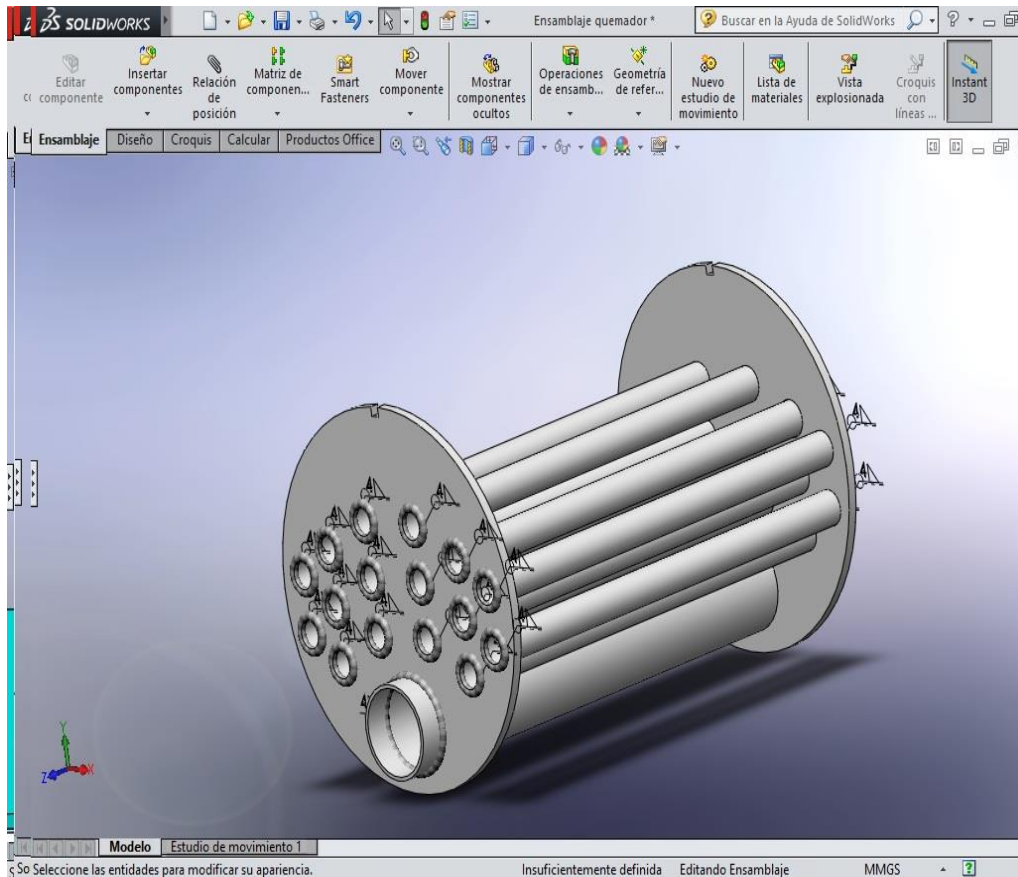


Ilustración 55 Haz de tubos.

Fuente: Propia.

Es el elemento de la caldera por el cual van los gases productos de la combustión que a su vez servirán para producir el vapor al contacto con el agua (intercambio de calor), deben ser de un material resistente a altas temperaturas y con una buena conductividad térmica, por lo general Acero A106.

Medidor de nivel de agua

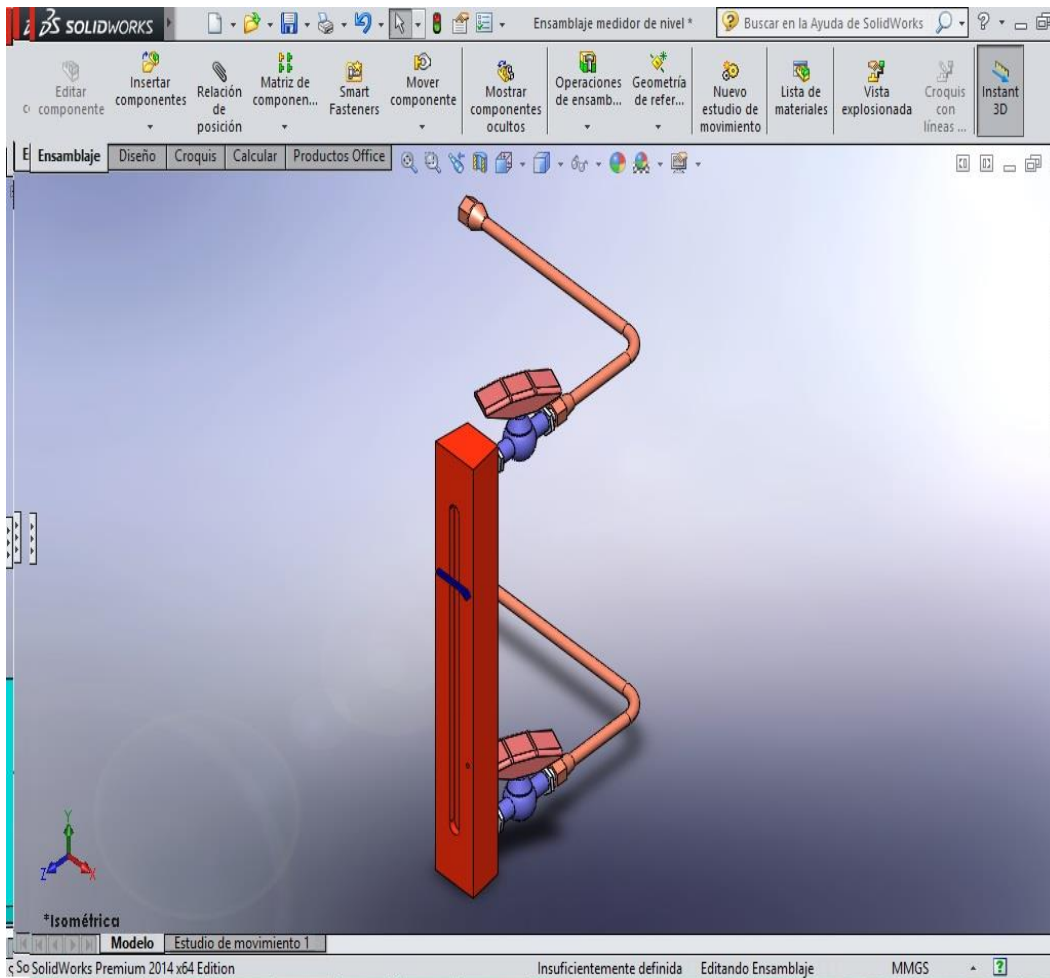


Ilustración 56 Medidor de nivel de agua.

Fuente: Propia.

Para lograr un funcionamiento seguro, todas las calderas de vapor necesitan un método de aviso cuando los niveles de agua están demasiado bajos o altos. En muchos países, las normativas requieren dos alarmas de nivel bajo de agua independientes, en muchos casos, se requieren alarmas independientes de nivel alto. Con la tendencia hacia la caldera sin supervisión, crece la necesidad de alarmas de alta seguridad y autocontrol.

Turbina

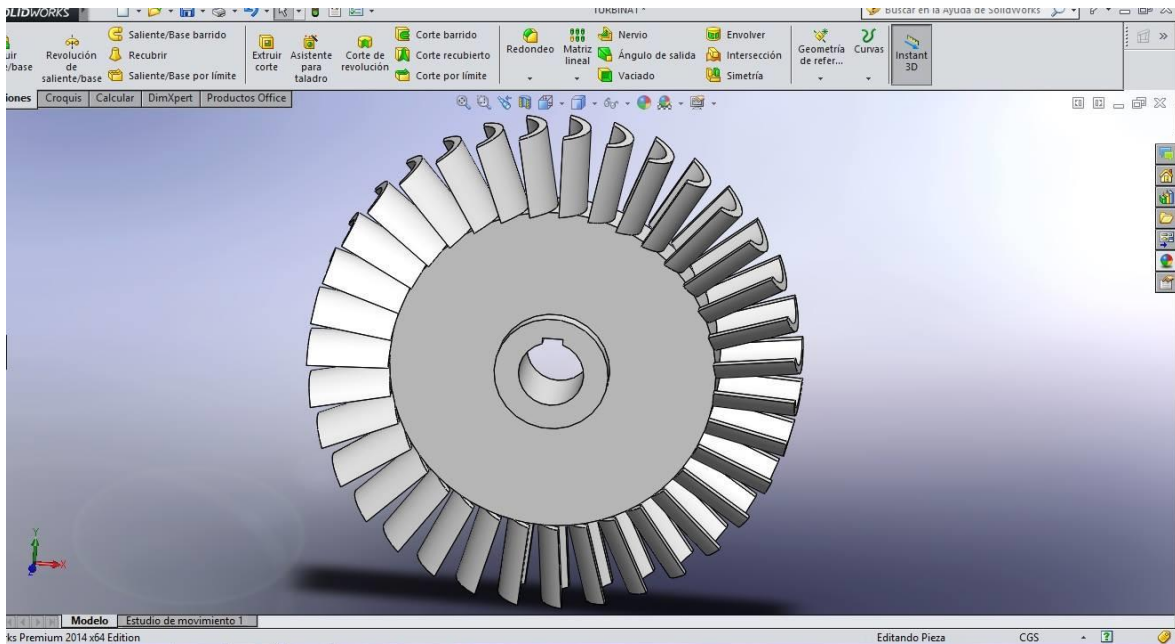


Ilustración 571 diseño de la turbina

Fuente: Propia.

Aquí se muestra el diseño de la turbina la cual entra en funcionamiento gracias al flujo de vapor la cual hará girar la turbina y esta acoplada a un generador, transformaran la energía mecánica en energía eléctrica.

Ensamblado final de mini central de vapor

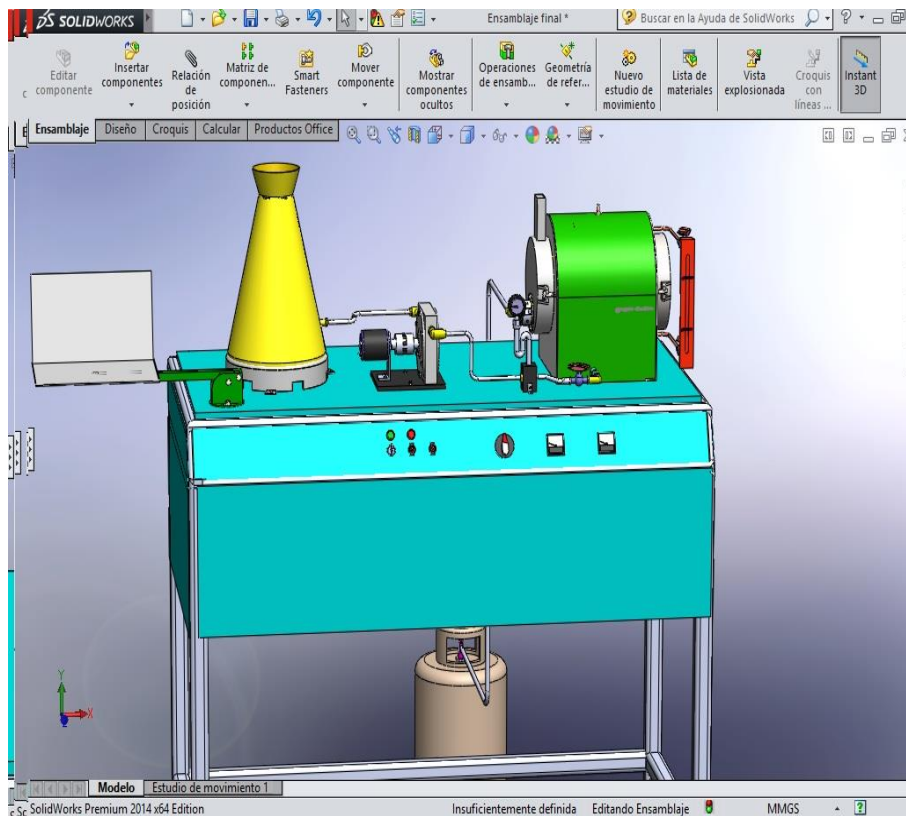


Ilustración 58 Ensamblado final de mini central de vapor.

Fuente: Propia.

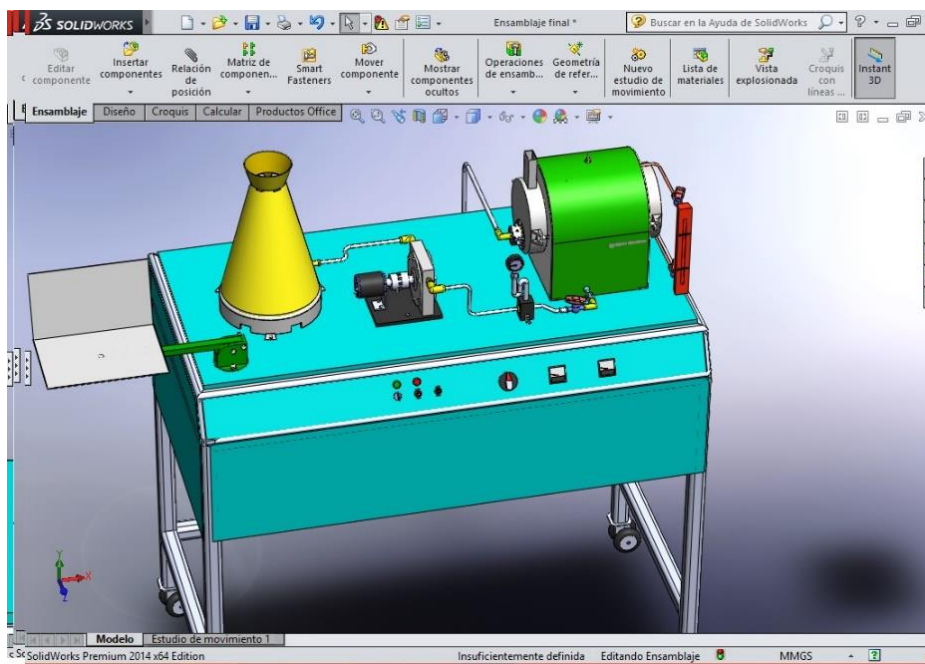


Ilustración 59 Ensamblado final de mini central de vapor.

Fuente: Propia.

Anexo 13: Partes de la caldera

Cuerpo o carcasa principal.- Es de forma cilíndrica y es la parte principal de la caldera, el cual cuenta con las dimensiones de 0.30 m de longitud y 0.203 m de diámetro. Está construido de una plancha de acero de 0.00635 m es decir ¼ de pulgada de espesor.



Ilustración 60 Cuerpo o carcasa principal de la caldera.

Fuente: Propia.

Bridas porta tubos o espejos.- Son de forma circular están elaborados con la misma plancha de acero del cuerpo, las 17 perforaciones en cada uno fueron realizadas en un taladro de pedestal, dejando un espacio de 4.7 cm entre centros.



Ilustración 61 Bridas o porta tubos o espejos.

Fuente: Propia.

Tubos de combustión.- son 16 tubos de acero de 0.019 m diámetro interior, sin costura para resistir efectivamente a la alta presión a la cual están sometidos, son de una longitud de 0.20m.

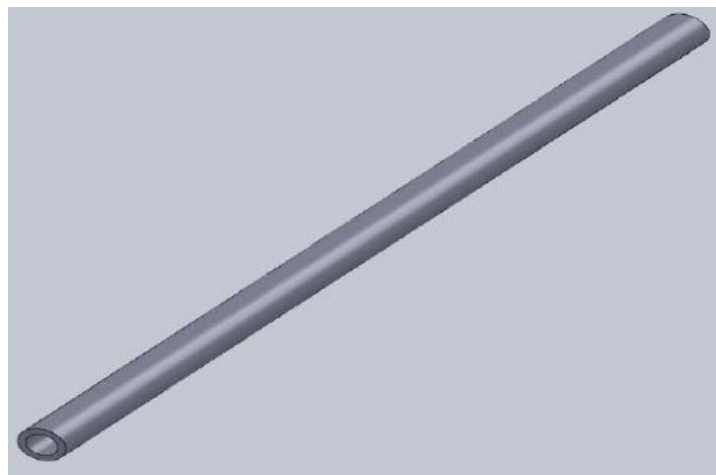


Ilustración 62 Tubos de combustión.

Fuente: Propia.

Tapas laterales y Chimenea.- Fue construida de acero A 106, con diámetro de 0.20m y 0.052m de ancho. La chimenea, que está alojada sobre la tapa lateral del sistema de escape de los gases de combustión está construida de un tubo cuadrado de acero de 0.052m x 0.0254m.



Ilustración 63 Tapas laterales y chimeneas.

Fuente: Propia.

Construcción del haz de tubos: Para la construcción del haz de tubos, se parte de la unión de la brida portatubos que fue perforada previamente.



Ilustración 64 Construcción del haz de tubos.

Fuente: Propia.

Soldadura del haz de tubos:



Ilustración 65 Soldadura del haz de tubos.

Fuente: Propia.