



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERÍN DE 3BHP, CON
FINES DIDÁCTICOS, PARA EL LABORATORIO DE
TRANSFERENCIA DE CALOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA
NACIONAL”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

PUMISACHO GUALOTO GISSELA VANESSA
gissela.pumisacho@epn.edu.ec

SIMBAÑA UYANA PABLO MAURICIO
pablo.simbana@epn.edu.ec

DIRECTOR:
Ing. JOSÉ LUIS PALACIOS ENCALADA, Ph.D.
jose.palacios@epn.edu.ec

CODIRECTOR:
Ing. SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ, Ph.D.
Santiago.vaca@epn.edu.ec

Quito, agosto 2022

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Gissela Vanessa Pumisacho Gualoto** y **Pablo Mauricio Simbaña Uyana**, bajo mi supervisión.



Ing. José Luis Palacios Encalada, PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO



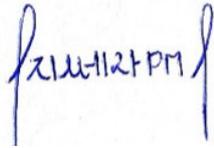
Ing. Santiago David Vaca Jiménez, PhD.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **GISSELA VANESSA PUMISACHO GUALOTO** y **PABLO MAURICIO SIMBAÑA UYANA**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Gissela Vanessa Pumisacho Gualoto



Pablo Mauricio Simbaña Uyana

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado con mucho amor a la memoria de mi tío Manuel, quien dedicó su vida al cuidado mío de y de mis hermanos, impulsando siempre nuestros sueños y esperanzas.

A mis padres Sixto y Erika, por todos los esfuerzos realizados para permitirme estudiar una carrera.

A mi hermana Michelle, por ser mi modelo a seguir, motivándome constantemente a superarme.

A mi hermano Boris, por el conocimiento y apoyo brindado durante toda mi carrera.

A mis mascotas Tobias y Loki, por acompañarme sin falta durante todas las noches y madrugadas de estudio.

A mi familia en general, por siempre estar pendientes de mí, brindándome su apoyo y consejos en los buenos y malos momentos.

Gissela Pumisacho

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado mi familia y amigos que han contribuido en mi formación personal, académica, y cumplir mis metas impuestas a lo largo de todo mi caminar.

A mi madre Raquel que ha demostrado ser un ejemplo de constancia, sacrificio, valentía y fortaleza. Por ser padre y madre a la vez, sin descansar y poner de prioridad a sus hijos. Porque nunca me ha hecho falta nada y me ha dado más allá de las posibilidades.

A Olguita por ser mi segunda madre, que ha estado presente en todo momento y apoyarme en diferentes aspectos desinteresadamente. Además de ser el instrumento que Dios me ha enviado para acercarme cada vez más a él.

A mi tío José por ser un padre, que me ha enseñado a nunca desmayar en los momentos más difíciles y a confiarme en mí. Por tantos momentos y viajes que ha compartido.

A Adrián que ha estado como mi hermano mayor ayudando en todas mis etapas y me ha brindado su amistad, hogar, consejos y enseñanzas.

A Karen, mi mejor amiga, por motivarme y darme sus consejos en los momentos más complicados.

Finalmente, a Vanessa por ser una amiga incondicional, por sus consejos y paciencia en este largo camino.

Pablo Simbaña

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la fortaleza para no rendirme cuando las cosas se ponían difíciles.

A la Escuela Politécnica Nacional y Facultad de Ingeniería Mecánica por los conocimientos y apoyo brindado, en especial al magistral docente Wilson Guachamín por enseñarme el valor de la vida y esfuerzo constante.

A todos mis amigos, en especial a Eduardo, José y Omar, por hacer de este camino algo más llevadero. Por siempre estar presentes y brindarme su apoyo desinteresado cuando más lo necesitaba. Por cada momento vivido lleno de risas, tristezas, penas y lágrimas.

A mi compañero Pablo, por todo el esfuerzo y colaboración puestos para la realización de este proyecto.

Al equipo de ProEnergy, por el conocimiento y ayuda brindados durante la construcción de este proyecto.

Gissela Pumisacho

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a la emblemática Escuela Politécnica Nacional y gloriosa Facultad de Ingeniería Mecánica, por ser un segundo hogar y fuente de conocimiento a lo largo de toda mi formación académica.

De la misma forma agradezco a José Luis Palacios por permitir llevar a cabo el proyecto de titulación, además de ser un docente respetable y dedicado a la hora de dictar sus cátedras. Además, mi sincera gratitud a Wilson Guachamín por haberme inculcado la dedicación y las ganas de seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi amiga Gissela por trabajar sin descanso, entregando hasta el último esfuerzo en la elaboración de este proyecto. Por los buenos momentos, horas de estudio y anécdotas a lo largo de todo el periodo académico. Así también a Boris y su equipo de trabajo por el apoyo brindado.

A mi amigo Eduardo por estar presente desde el primer y último día de clases como compañero y amigo, apoyándome con motivación, consejos, horas de estudio y risas. Por más momentos así porque sin “Carajo” no hay “Chispun”.

A Vanessa que me enseñó lo bonito de la vida, demostró que puedo hacer cosas más allá de mis límites, sacar lo mejor de mí a pesar de toda situación, y sobre todo recordar que las cosas pasan por algo.

Finalmente, a todos mis amigos y compañeros de la Facultad de Ingeniería Mecánica que han demostrado que los “guayperos” somos una sola familia que siempre estamos para darnos la mano y seguir adelante a pasar de cualquier percance. Porque Mecánica es pasión y siempre te llevaré en mi corazón.

Pablo Simbaña

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Pregunta de Investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Alcance	2
1 MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Calderas De Vapor.....	3
2 METODOLOGÍA.....	6
2.1 Determinación de las especificaciones técnicas.....	7
2.1.1 Parámetros de diseño y requerimientos funcionales.....	7
2.1.2 Especificaciones de diseño.....	8
2.2 Análisis y selección de alternativas.....	10
2.2.1 Análisis funcional.....	10
2.2.2 Principios de solución.....	11
2.2.3 Evaluación de soluciones.....	22
2.2.4 Solución virtual.....	24
2.3 Diseño térmico.....	25
2.3.1 Análisis termodinámico.....	25
2.3.2 Análisis de transferencia de calor.....	34
2.4 Diseño mecánico.....	37
2.4.1 Dimensionamiento geométrico.....	37
2.4.2 Selección de materiales.....	38
2.4.3 Diseño de los elementos sometidos a presión.....	39
2.5 Diseño de sistemas periféricos.....	45
2.5.1 Sistema de alimentación de agua.....	45
2.5.2 Sistema de purgas.....	52
2.5.3 Sistema de alimentación de combustible.....	54
2.5.4 Sistema de abastecimiento de vapor.....	58
2.6 Diseño del sistema de control.....	61
2.6.1 Control de presión.....	61
2.6.2 Control de nivel de agua.....	64

2.6.3	Control de fuego	66
2.7	Construcción y montaje	67
2.7.1	Selección de elementos normalizados.....	68
2.7.2	Proceso de construcción	69
2.8	Protocolo de pruebas.....	80
2.8.1	Prueba hidrostática.....	80
2.8.2	Prueba sistema de alimentación de agua	80
2.8.3	Prueba sistema de alimentación de combustible	81
2.8.4	Prueba sistema de purgas	81
2.8.5	Prueba sistema de abastecimiento de vapor	81
2.8.6	Prueba sistema de control	82
2.9	Análisis de costos	83
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	84
3.1	Resultados	84
3.1.1	Eficiencia real del calderín.....	84
3.1.2	Calor real cedido por los gases	86
3.2	Discusión.....	88
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
4.1	Conclusiones.....	89
4.2	Recomendaciones.....	90
	Referencias Bibliográficas	91
	Anexos	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de flujo metodológico	6
Figura 2.2. Simbología de señales.....	10
Figura 2.3. Función global.	11
Figura 2.4. Estructura funcional	12
Figura 2.5. Sistema de control ON/OFF.....	14
Figura 2.6. Sistema de control modulante.....	14
Figura 2.7. Matriz morfológica – Módulo 1	15
Figura 2.8. Quemador radial atmosférico	16
Figura 2.9. Quemador de aire forzado.	17
Figura 2.10. Quemador de alta presión tipo jet.	17
Figura 2.11. Matriz morfológica – Módulo 2	18
Figura 2.12. Caldera Piro tubular vertical.....	20
Figura 2.13. Caldera vertical Fulton	20
Figura 2.14. Caldera vertical con cámara de gases lateral.....	21
Figura 2.15. Matriz morfológica – Módulo 3	21
Figura 2.16. Solución virtual del calderín propuesto.....	24
Figura 2.17. Transferencia de calor en el calderín	34
Figura 2.18. Geometría de una tapa cóncava (torrisférica).	41
Figura 2.19. Radio con el cual la tapa es cóncava.	41
Figura 2.20. Radio con el cual la tapa es cóncava (base vaso comunicante).....	42
Figura 2.21. Esquema del sistema de alimentación de agua	45
Figura 2.22. Bomba de agua.....	46
Figura 2.23. Dimensionamiento de la tubería de alimentación de agua.	47
Figura 2.24. Válvula solenoide de agua.	48
Figura 2.25. Válvula de bola.	49
Figura 2.26. Válvula check.....	50
Figura 2.27. Filtro.....	51
Figura 2.28. Contador de agua.	51
Figura 2.29. Esquema del sistema de purgas.	52
Figura 2.30. Válvula de bola.	54
Figura 2.31. Esquema del sistema de alimentación de combustible.	55
Figura 2.32. Válvula reguladora de presión.....	56
Figura 2.33. Manguera flexible para GLP.....	56
Figura 2.34. Válvula solenoide de combustible.	57
Figura 2.35. Quemador radial atmosférico.	58
Figura 2.36. Esquema del sistema de abastecimiento de vapor.	59
Figura 2.37. Dimensionamiento de la tubería de abastecimiento de vapor.	60
Figura 2.38. Válvula de seguridad.....	62
Figura 2.39. Manómetro de glicerina.....	63
Figura 2.40. Presostato.....	63
Figura 2.41. Visor de nivel.	64
Figura 2.42. Electrodo de nivel.	65
Figura 2.43. Módulo de ignición.	66
Figura 2.44. Cuerpo cilíndrico	70
Figura 2.45. Tapa cóncava	71
Figura 2.46. Construcción del recipiente a presión	71
Figura 2.47. Cuerpo del vaso comunicante.....	72
Figura 2.48. Brida ciega.....	73

Figura 2.49. Construcción del vaso comunicante.....	73
Figura 2.50. Estructura	74
Figura 2.51. Deflectores.....	75
Figura 2.52. Montaje del calderín parte 1.....	76
Figura 2.53. Montaje del calderín parte 2.....	76
Figura 2.54. Montaje del calderín parte 3.....	77
Figura 2.55. Montaje de sistemas periféricos.....	78
Figura 2.56. Montaje del sistema de control.....	79
Figura 2.57. Calderín	79
Figura 2.58. Prueba hidrostática.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Tipos de calderas.....	3
Tabla 2.1. Condiciones ambientales de Quito.....	7
Tabla 2.2. Calidad de agua en Quito.....	8
Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de diseño.....	9
Tabla 2.4. Parámetros permisibles en agua de alimentación en calderas.....	13
Tabla 2.5. Conclusiones de la evaluación – Módulo 1.....	23
Tabla 2.6. Conclusiones de la evaluación – Módulo 2.....	23
Tabla 2.7. Conclusiones de la evaluación – Módulo 3.....	24
Tabla 2.8. Requerimientos del calderín.....	25
Tabla 2.9. Datos atmosféricos de Quito.....	25
Tabla 2.10. Propiedades y composición de GLP.....	28
Tabla 2.11. Masa molar del aire, propano y butano.....	29
Tabla 2.12. Entalpías de formación y absolutas de reactivos y productos.....	33
Tabla 2.13. Entalpia de los productos de combustión a diferentes temperaturas.....	33
Tabla 2.14. Entalpia total de los productos en la combustión a diferentes temperaturas.....	34
Tabla 2.15. Selección de materiales para las partes sometidas a presión del calderín.....	38
Tabla 2.16. Características de la bomba de agua.....	45
Tabla 2.17. Características de la tubería de alimentación de agua.....	47
Tabla 2.18. Características de la válvula solenoide de agua.....	48
Tabla 2.19. Características de la válvula de bola.....	49
Tabla 2.20. Características de la válvula check.....	49
Tabla 2.21. Características del filtro.....	50
Tabla 2.22. Características del contador de agua.....	51
Tabla 2.23. Características de la tubería de purga principal.....	53
Tabla 2.24. Características de la tubería de purga principal.....	53
Tabla 2.25. Características de la válvula de bola.....	53
Tabla 2.26. Características de la válvula reguladora de presión.....	55
Tabla 2.27. Características de la válvula reguladora de presión.....	56
Tabla 2.28. Características de la válvula solenoide de combustible.....	57
Tabla 2.29. Características del quemador radial atmosférico.....	58
Tabla 2.30. Características de la tubería de abastecimiento de vapor.....	60
Tabla 2.31. Características de la válvula de seguridad.....	61
Tabla 2.32. Características del manómetro.....	62
Tabla 2.33. Características del presostato.....	63
Tabla 2.34. Características del Switch de Presión.....	64
Tabla 2.35. Características del electrodo de nivel.....	65
Tabla 2.36. Características del módulo de ignición.....	66
Tabla 2.37. Equipo utilizado.....	67
Tabla 2.38. Herramientas en la construcción y montaje.....	67
Tabla 2.39. Instrumentos de medición.....	68
Tabla 2.40. Proceso de construcción del cuerpo cilíndrico.....	70
Tabla 2.41. Proceso de construcción de tapas cóncavas.....	70
Tabla 2.42. Proceso de construcción del recipiente a presión.....	71
Tabla 2.43. Proceso de construcción del cuerpo del vaso comunicante.....	72
Tabla 2.44. Proceso de construcción de brida ciega.....	72
Tabla 2.45. Proceso de construcción del vaso comunicante.....	73

Tabla 2.46. Proceso de construcción del cuerpo del vaso comunicante.....	74
Tabla 2.47. Proceso de construcción de cubierta, deflectores y lunas.	75
Tabla 2.48. Proceso de montaje del calderín parte 1.	75
Tabla 2.49. Proceso de montaje del calderín parte 2.	76
Tabla 2.50. Proceso de montaje del calderín parte 3.	76
Tabla 2.51. Proceso de montaje de sistemas periféricos	77
Tabla 2.52. Proceso de montaje de sistemas periféricos	78
Tabla 2.53. Costos totales del equipo.	83
Tabla 3.1. Datos medidos durante una operación normal del calderín.....	84

RESUMEN

Este trabajo muestra el diseño y construcción de un calderín de uso didáctico que tiene como principal objetivo contribuir a la formación académica de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente las instalaciones del Laboratorio de Transferencia de Calor no cuentan con un generador de vapor que contribuya como instrumento didáctico, por lo cual este requiere la implantación de un equipo con estas características.

El proyecto inició con una recopilación bibliográfica acerca de fundamentos de termodinámica y transferencia de calor, características principales de generadores de vapor y equipos disponibles en el mercado. Continuando con el proyecto se tomaron en consideración los requerimientos de los usuarios, a partir de los cuales se generó una solución basada en el método ordinal corregido de criterios ponderados. Posteriormente se realizó el diseño del equipo siguiendo la reglamentación descrita en el Código ASME para recipientes a presión, Sección I y II. Llegado a este punto se realizó la selección de elementos normalizados (tuberías, válvulas, accesorios, dispositivos de control, etc.), generación de planos, construcción de piezas y montaje del equipo. Una vez construido el equipo, se puso en marcha el protocolo de pruebas en el taller de construcción. Logrando resultados favorables en las pruebas de los sistemas de alimentación de agua, alimentación de combustible, abastecimiento de vapor, purga, y de control.

Finalmente, se transportó e instaló el equipo en el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional. En donde se realizó nuevamente una prueba de arranque y operación normal, en la que el equipo llegó sin problemas a su presión de trabajo (60 psig). Una vez terminado la prueba el equipo fue apagado y entregado al jefe del laboratorio.

Palabras clave: Generador de vapor, Vapor, Presión, Transferencia de Calor

ABSTRACT

This work shows the design and construction of a boiler for didactic use whose main objective is to contribute to the academic training of the students of the Faculty of Mechanical Engineering of Escuela Politécnica Nacional. Currently, the facilities of the Heat Transfer Laboratory do not have a steam generator that contributes as a didactic instrument. Due to, is required the implementation of equipment with these characteristics.

The project started with a bibliographic compilation about the fundamentals of thermodynamics and heat transfer, the main characteristics of steam generators, and equipment available on the market. Continuing with the project, the user requirements were taken into consideration to generate a solution based on the weighting methods for multi-criteria decision-making technique. Subsequently, the design of the equipment was carried out following up on the regulations described in the ASME Pressure Vessels Code, Section I and II. At this point, the selection of standardized elements (pipes, valves, accessories, control devices, etc.), generation of plans, construction of parts, and assembly of the equipment were carried out. Once the equipment was built, the testing protocol was launched in the construction workshop. Achieving favorable results in the tests of water supply, fuel supply, steam supply, purge, and control systems.

Finally, the equipment was transported and installed in the Heat Transfer Laboratory of Escuela Politécnica Nacional. Where a start-up and normal operation test was carried out again, in which the equipment reached its working pressure (60 psi) without problems. Once the test finished, the equipment was turned off and handed over to the laboratory's chief.

Keywords: Steam Generator, Steam, Pressure, Heat Transfer

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CALDERÍN DE 3BHP, CON FINES DEDÁCTICOS, PARA EL LABORATORIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL”

INTRODUCCIÓN

Las calderas y generadores de vapor son utilizados a nivel industrial para proporcionar el calor y potencia requeridos en procesos de calentamiento y transferencia de energía; constituyéndose así en el elemento central de funcionamiento de muchas industrias [1]. Dentro de sus aplicaciones están: impulso/movimiento, atomización, limpieza, hidratación, humidificación, esterilización y calentamiento, siendo estas últimas las más comunes en plantas procesadoras de alimentos, plantas químicas, hospitales y refinerías [2].

Dada su amplia aplicación industrial, y a la alta formación técnica que requiere su diseño, fabricación y operación varios centros técnicos de estudio superior utilizan equipos didácticos para entender su comportamiento y operación. Habitualmente estos son utilizados en los laboratorios de instrucción profesional, como equipos didácticos o de abastecimiento para diferentes bancos de pruebas.

La adquisición de un equipo de generación de vapor que cumpla con los requerimientos y necesidades específicas de un laboratorio de instrucción profesional representa una fuerte inversión. Por lo que la construcción de una caldera que cumpla con estas características resulta ser ampliamente más beneficioso, al permitir obtener un equipo, de bajo costo, en comparación a equipos con prestaciones similares en el mercado.

Actualmente el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional no posee ningún equipo de generación de vapor. Situación que perjudica la formación académica de los estudiantes al limitar la realización de prácticas de generación de vapor. Por lo que, el presente proyecto tiene como fin diseñar y construir un calderín con capacidad de producción de 3BHP a 60 psig, para el Laboratorio de Transferencia de Calor.

Pregunta de Investigación

¿Cómo diseñar y construir un calderín de 3BHP con fines didácticos, para el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional?

Objetivo general

Diseñar y construir un calderín de 3BHP con fines didácticos, para el Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional

Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica del estado del arte de las calderas diseñadas y construidas para fines didácticos.
- Establecer los requerimientos funcionales del calderín.
- Diseñar el Calderín en función de los requerimientos establecidos y en base la norma internacional ASME para calderas y recipientes a presión.
- Elaborar el modelo 3D de la solución óptima.
- Realizar el análisis económico de los diferentes rubros que intervienen en la construcción del Calderín.
- Construir el calderín, instalarlo, elaborar el protocolo de pruebas y ponerlo a punto.

Alcance

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un calderín de 3BHP para el laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional que permita la elaboración de prácticas de laboratorio y clases dictadas que generen una mejor comprensión a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Mecánica acerca de esta clase de equipos, para lo cual se entregaran planos, cálculos y el equipo físico al laboratorio de Transferencia de Calor.

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Calderas De Vapor

Generalidades

Una caldera es un recipiente cerrado que trabaja con una presión interna generada por el calentamiento de un fluido. Generalmente, dicho fluido es calentado a partir de la aplicación directa de calor producto de la combustión de un combustible (sólido, líquido o gaseoso), o el uso de energía nuclear o eléctrica [3].

Capacidad de generación

La capacidad de generación de una caldera se mide acorde a su producción, por lo general en kilogramos de vapor por hora, pero a diferente presión y temperatura. El fluido generado contiene cantidades elevadas de energía, esta es expresada en forma de calor, para lo cual ASME recomienda usar unidades de kilo BTU por hora [4]. En un generador de vapor se presenta que, el calor transmitido es igual a la variación de entalpía del fluido. Además, la evaporación nominal de un generador de vapor se da en condiciones normales, presión absoluta a nivel del mar, latitud cero y punto de ebullición de 100°C.

Evaporación real

Describe a la capacidad de un generador en producir vapor a condiciones de presión y punto de ebullición del agua dependiendo de la altitud en la cual opere el equipo, también es conocida como la evaporación de operación [4].

Factor de evaporación

Es la relación entre la evaporación nominal y la evaporación real, bajo condiciones de trabajo diferentes a las condiciones normales [4].

$$F. e. = \frac{(H_{fg} \text{ fluido a presión atmosférica})}{(H_g \text{ fluido a presión de operación} - H_f \text{ fluido a temperatura de alimentación})}$$

(Ecuación 1)

Clasificación de las calderas

Tabla 1.1. Tipos de calderas.

En función de:	Calderas	Características
La disposición de los fluidos	Pirotubulares	Calderas en las cuales el fuego y gases de combustión circulan a través del haz de tubos.

	Acuotubulares	Calderas en las cuales el fluido calorportador (agua) circula a través del haz de tubos.
El servicio que prestan	Estacionarias	Calderas fijas, instaladas en tierra.
	Móviles	Calderas instaladas en locomotoras, para impulsar su movimiento.
	Marinas	Calderas instaladas en embarcaciones, para accionar su sistema de propulsión.
La presión de trabajo	De baja presión	Calderas que operan con presiones menores a 15 psig.
	De potencia (alta presión)	Calderas que generan vapor a presiones mayores de 15 psig.
	Miniatura	Calderas miniatura de alta presión que generen vapor a 100 psig.
La fuente de calor	Combustión	Calderas que operan con el calor producido a partir de combustión de un combustible sea líquido, sólido o gaseoso.
	Nuclear	Calderas que operan con el calor producido a partir de fusión de átomos de uranio.
	Eléctrica	Calderas que operan con el calor producido a partir de resistencias eléctricas e inducción.
El combustible empleado	De combustible sólido	Calderas que emplean como combustible carbón, bagazo o residuos de madera.
	De combustible líquido	Calderas que emplean como alcoholes, residuales y derivados del petróleo.
	De combustible gaseoso	Calderas que emplean como combustible propano, gas natural o GLP.
La presión de los gases en el hogar	De tiro natural	El diferencial de presión que permite el ingreso de aire para la combustión

		se da por efecto de una chimenea alta.
	De tiro forzado	El diferencial de presión que permite el ingreso de aire para la combustión se da por efecto de un ventilador a la entrada del quemador.
	De tiro inducido	El diferencial de presión que permite el ingreso de aire para la combustión se da por efecto de un extractor de gases a la salida de la chimenea.
La tecnología empleada	De agua caliente	Calderas en las cuales el fluido caloportador es el agua a temperaturas inferiores a 100 °C
	De agua sobrecalentada	Calderas en las cuales el fluido caloportador es el agua a temperaturas superiores a 110 °C
	De fluido térmico	Calderas en las cuales el fluido caloportador es distinto al agua.
	De vapor	Calderas en las cuales el fluido caloportador es vapor de agua.

(Fuente: [5], [6])

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se detallan las etapas necesarias para llevar a cabo el presente proyecto de titulación. En la figura 2.1 se presenta mediante un diagrama el procedimiento realizado.

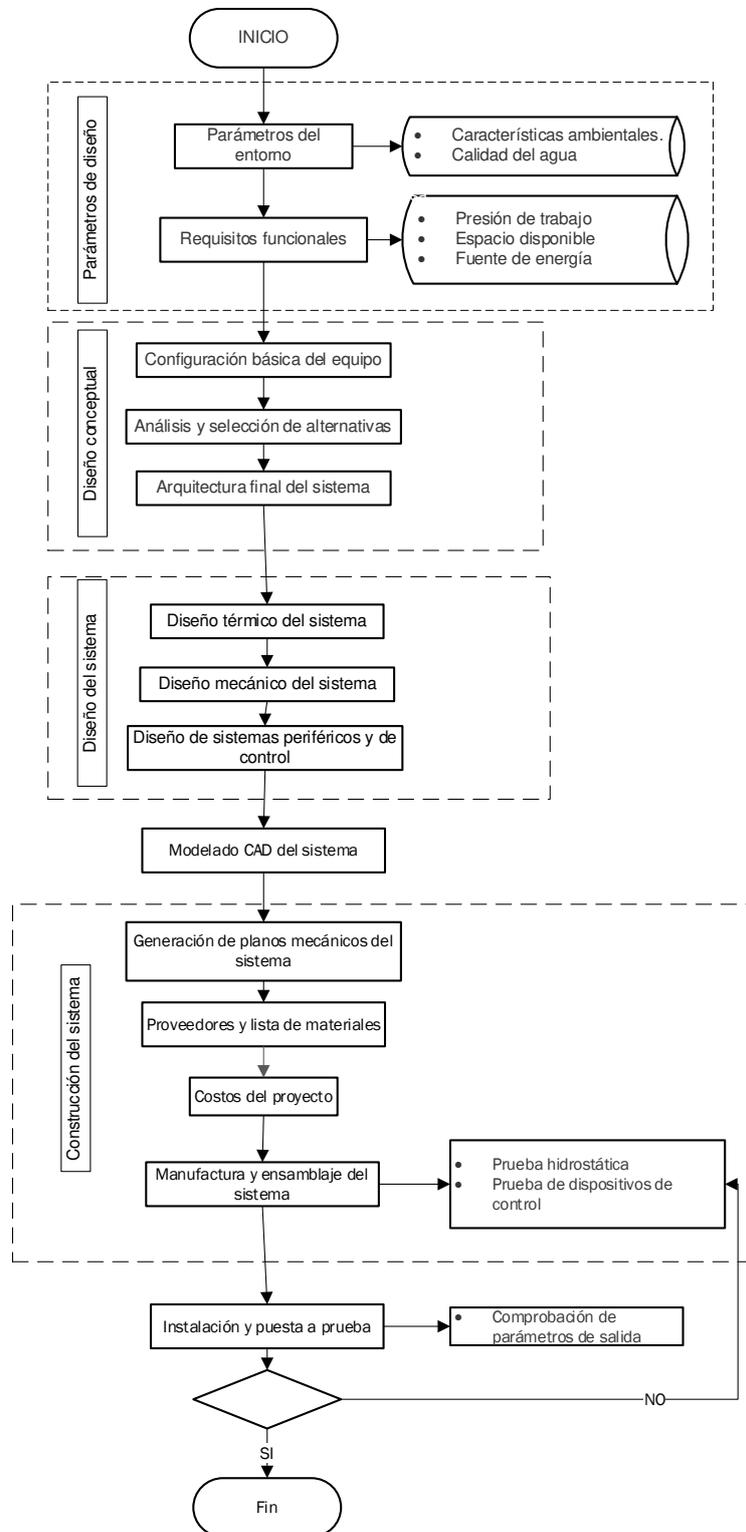


Figura 2.1. Diagrama de flujo metodológico (Fuente: Propia)

2.1 Determinación de las especificaciones técnicas

2.1.1 Parámetros de diseño y requerimientos funcionales

Los parámetros de diseño a tomar en cuenta son lineamientos, condiciones, y restricciones que pueden interferir en el diseño del equipo y de esta manera que dicho equipo cumpla con las expectativas y opere de manera adecuada en el área de trabajo.

Es importante indicar que este proyecto será diseñado y tomará las recomendaciones dadas por el código de calderas y recipientes a presión de la ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Con base a la literatura revisada, y las recomendaciones de diferentes docentes académicos se ha presentado los parámetros a consideración en este proyecto, los cuales se enuncian a continuación:

- Presión atmosférica local
- Temperatura del aire
- Densidad del aire
- Calidad del agua de alimentación
- Temperatura del agua de alimentación
- Calidad de vapor
- Presión y temperatura de trabajo
- Tipo de combustible
- Espacio y ubicación del entorno de trabajo

Características ambientales.

Debido a la localización geográfica las condiciones varían considerablemente, este proyecto se pretende diseñarlo y operarlo a condiciones de Quito, Ecuador. Las condiciones ambientales de Quito se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Condiciones ambientales de Quito.

Variable	Valor	Unidad
Altitud	2850	m
Presión atmosférica	10.434	psi
Temperatura ambiente	17.8	°C
Temperatura agua de red	15	°C
Humedad relativa	60-80	%

(Fuente: [7])

Calidad del agua de alimentación.

La calidad el agua de alimentación en un generador de vapor es de mucho cuidado, al no considerar la composición e impurezas del agua pueden generar problemas como son las incrustaciones, corrosión, natas y espumas, arrastres, y fragilidad en la caldera. En el proyecto se trabajará con el fluido de la red pública del Distrito Metropolitano de Quito, la temperatura del fluido se encuentra en un promedio de 15°C. En la Tabla 2.2 se presenta la composición de la calidad del agua de Quito parámetros dentro de la norma INEN 1108.

Tabla 2.2. Calidad de agua en Quito

Parámetros	Unidad	Calidad en Quito
Hierro	Ppm	<0,05
Cobre	Ppm	<0,014
CaCO ₃	Ppm	26,74±6,65
pH		7,34 ±0,21

(Fuente:[8])

Cantidad de vapor.

Como se definió en el título del proyecto, el equipo contra con una potencia de evaporación de 3BHP, se debe tener en claro que esta potencia dependerá de las condiciones de trabajo del equipo, así como las condiciones ambientales del lugar.

Espacio de trabajo.

El equipo será ubicado en el laboratorio de transferencia de calor de la Escuela Politécnica Nacional, sea dispuesto un área de instalación del equipo de 2 m x 0.7 m y de altura 1.5 m.

Tipo de combustible.

Se toma en consideración diferentes tipos de combustibles disponibles en el mercado nacional los cuales se apeguen a los parámetros y necesidades para cumplir con la potencia de evaporación. Para los cuales se ha tomado en consideración 2 combustibles principales: GLP y Diesel.

2.1.2 Especificaciones de diseño

Para un mejor análisis de las especificaciones del equipo se realiza una tabla de especificaciones técnicas considerando criterios ya analizados en el estado del arte.

Además, se ha analizado las necesidades del usuario y la voz del ingeniero, esta información fue recolectada a partir de jefe del Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional, en este punto se ha distinguido entre requisitos (R) y deseos (D).

Tabla 2.3. Especificaciones técnicas de diseño.

Especificaciones				
Concepto	Descripción	Tipo	Intervalos	Criterio
Geometría	No debe superar las dimensiones especificadas por la norma ASME, además de las dimensiones dadas por el laboratorio de transferencia de calor de la Escuela Politécnica Nacional.	R	$\leq 2 \text{ m}^2$	Calderín comercial
Masa	La caldera no debe ser pesada, fácil movilidad	R	$\leq 200 \text{ Kg}$	Calderín comercial
Energía	Caldera de baja potencia	R	3BHP	Calderín comercial
	Eficiencia de la caldera	D	$\geq 50\%$	Calderín comercial
Material	Material resistente: Altas temperaturas, presiones de trabajo altas y desgaste.	R	$\leq 400 \text{ }^\circ\text{C}$ $\geq 90 \text{ psig}$	Calderas comerciales
Señal	La caldera debe tener control de nivel de agua	R	-	Calderas comerciales
	La caldera debe tener control de presión de vapor.	R	-	Calderas comerciales
	La caldera debe tener control de llama	R	-	Calderas comerciales
	La caldera debe tener un panel de control.	D	-	Calderas comerciales
Fabricación	Elementos disponibles en el mercado nacional.	R	-	Calderas comerciales
	Procesos de manufactura disponible en el mercado nacional.	R	-	Calderas comerciales

	Cumplir la norma ASME	R	-	Calderas comerciales
Ergonomía	Controles de funcionamiento de fácil manejo.	R	-	Uso didáctico
	Sistema motriz para movilizar el equipo	D	-	Uso didáctico
	Funcionamiento confiable	R	-	Uso didáctico
Montaje	La caldera fácil de ensamblarse y puesta a punto.	R	-	Calderas comerciales
	Conexiones de alimentación y de purga	R	-	Calderas comerciales.
Seguridad	Paro de emergencia	R	-	Caldera comerciales
	Señales de seguridad y control	R	-	Caldera comerciales
Costo	Bajo costo	R	-	Recursos disponibles
	Repuestos disponibles en el mercado nacional.	R	-	Recursos disponibles.

(Fuente: Propia)

2.2 Análisis y selección de alternativas

2.2.1 Análisis funcional

Al tener todas las especificaciones que debe cumplir el equipo, se procede a identificar a gran escala el funcionamiento de todo el sistema y desglosarlo en funciones principales y secundarias. Se desarrolla un sistema de caja negra para describir la función del equipo mediante el flujo de señales de entrada y de salida como se logra apreciar en la Figura 2.3



Figura 2.2. Simbología de señales

(Fuente: Propia)



Figura 2.3. Función global.

(Fuente: Propia)

Estructura funcional

Para tener una comprensión más clara del funcionamiento del sistema se procede a analizar por niveles la caja negra, con lo cual se determinan los elementos internos que interactúan conjuntamente, con la finalidad de generar la estructura global del sistema.

La estructura funcional se presenta mediante un diagrama tomando todos los inputs y outputs, además de los elementos internos. Se muestra en la Figura 2.4.

2.2.2 Principios de solución

Mediante la Figura 2.4. se toma tres módulos de análisis para el funcionamiento general del sistema. Los módulos que se tomaron en consideración las diferentes alternativas y seleccionar la más idónea para cumplir las necesidades y requerimientos del equipo.

Módulos para considerar son:

- Módulo 1: Sistema de alimentación
- Módulo 2: Fuente de energía
- Módulo 3: Transferencia de calor.

2.2.2.1 Módulo 1: Sistema de alimentación

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Calidad del fluido (agua)
- Sistema de control del fluido.

Calidad del fluido (agua)

Los problemas del agua de calderas pueden generar problemas que afectaran la vida útil del equipo como: incrustaciones, corrosión, natas, corrosión por tensiones, etc. Por lo cual existen tratamientos, especificaciones y pruebas del agua con el fin de solucionar dichos problemas, de esta manera estos generadores de vapor operaran con eficiencia, seguridad y de forma continua [5].

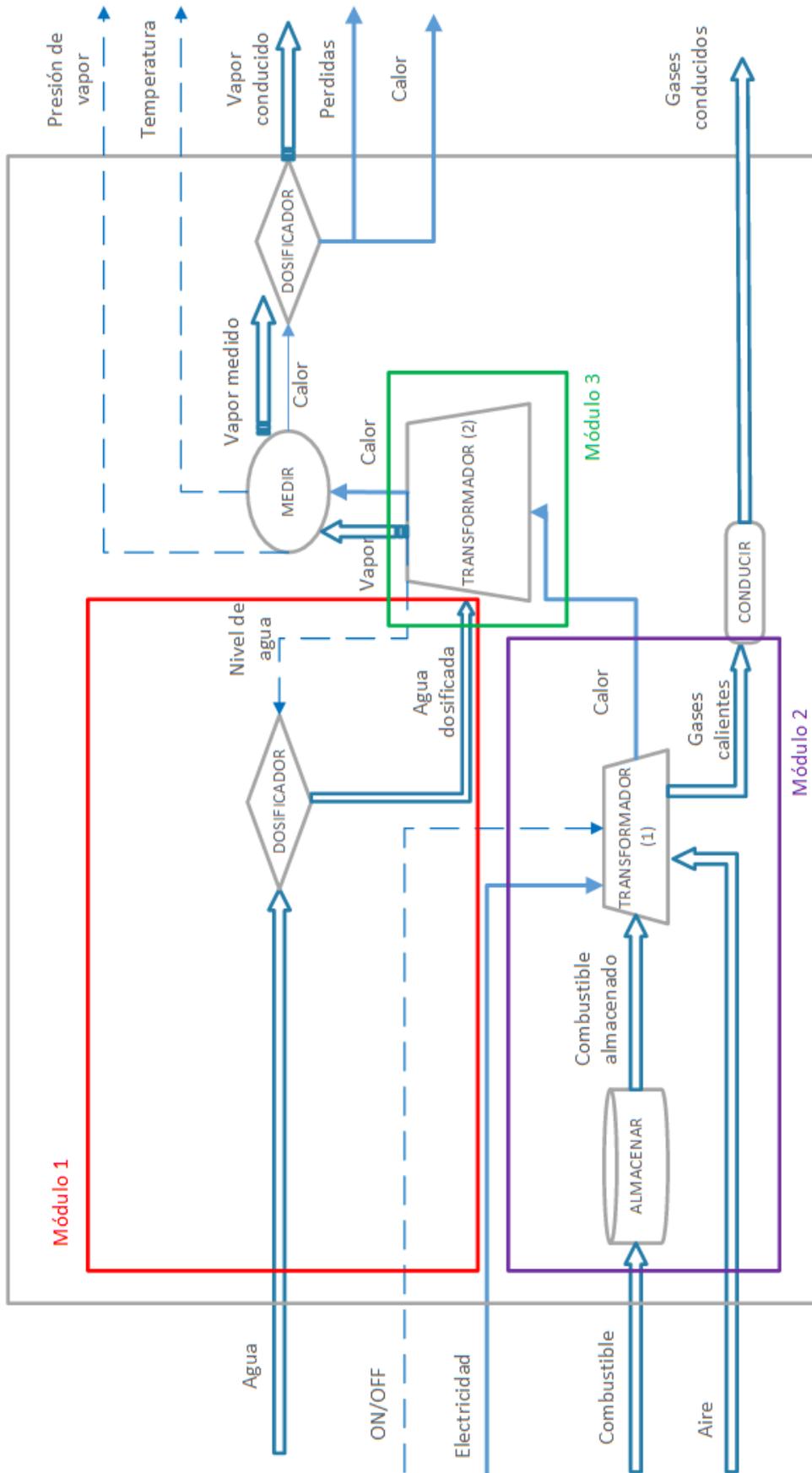


Figura 2.4. Estructura funcional
(Fuente: Propia)

ASME entrega unos límites permisibles de algunos compuestos presentes en el agua de alimentación en calderas con la finalidad de evitar problemas ya mencionados anteriormente.

El equipo utilizar el agua de la red pública de Quito, por lo cual se ha analizado la composición de los diferentes compuestos que se encuentran en el agua tal como muestra la referencia [8]. Mediante los datos permisibles dados por ASME y los entregados por la EMAPS [8] se compararán los parámetros necesarios tal como muestra la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Parámetros permisibles en agua de alimentación en calderas.

Parámetros	Unidad	Calidad en Quito	ASME
Hierro	ppm	<0,05	<0,1
Cobre	ppm	<0,014	<0,05
CaCO ₃	ppm	26,74±6,65	<0,3
pH		7,34 ±0,21	8,3-10

(Fuente: [8]; [3])

Como se observa en la Tabla 2.4 los parámetros establecidos en el agua potable de Quito están dentro de los límites establecidos por ASME, por lo cual no se requiere un tratamiento de agua en el sistema de alimentación. Se toma en consideración un exceso de carbonato de calcio lo cual nos producirá pequeñas incrustaciones tratables.

Sistema de control del fluido

Esta función hace referencia al suministro de agua al tanque de presión, mediante una diferencia entre la fase líquida y gaseosa de los fluidos. Este sistema, a más de controlar el nivel de agua, es un elemento de seguridad en calderas de vapor.

– Alternativa 1. Control de nivel de agua y calderas ON/OFF

El nivel de agua dependerá de la conexión y desconexión de la bomba de alimentación entre dos niveles. Al momento del paro de la bomba el quemador estará trabajando y encendido suministrando la carga de vapor, generando la presión interna de la caldera. La bomba se encenderá cuando el nivel de agua cae, así ingresa agua a elevado caudal. Esto producirá una baja en el caudal de vapor y caída de presión [9]. En la figura 2.4 se observa el control de nivel ON/OFF.

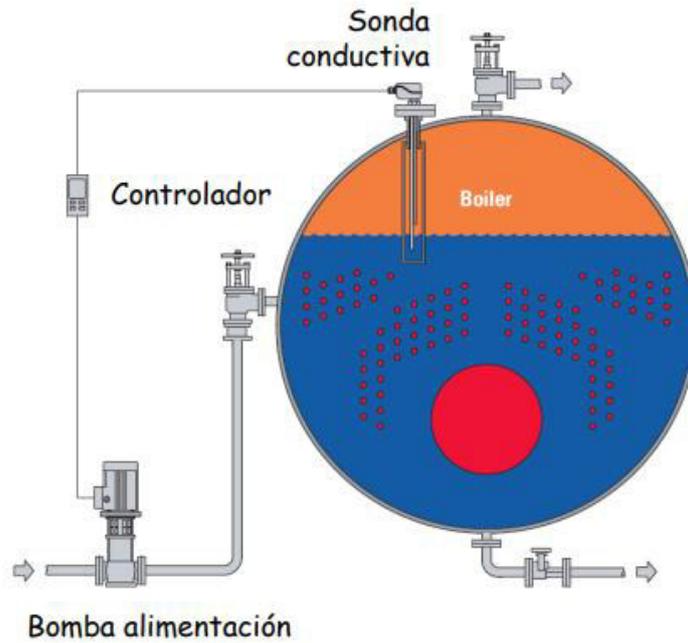


Figura 2.5. Sistema de control ON/OFF
(Fuente:[9])

– **Alternativa 2. Control de nivel de agua y vapor modulante**

Este sistema cuenta con un controlador proporcional que regula una válvula ubicada en la línea del agua de alimentación con lo cual se permite un trabajo continuo de la bomba, se tiene una velocidad regulada del fluido de alimentación [9].

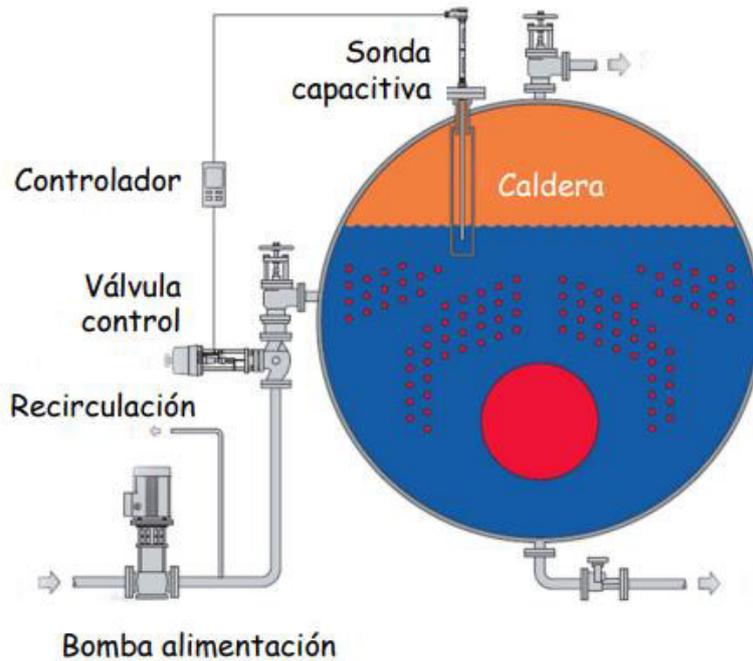


Figura 2.6. Sistema de control modulante.
(Fuente: [9])

Diagrama morfológico para el módulo 1

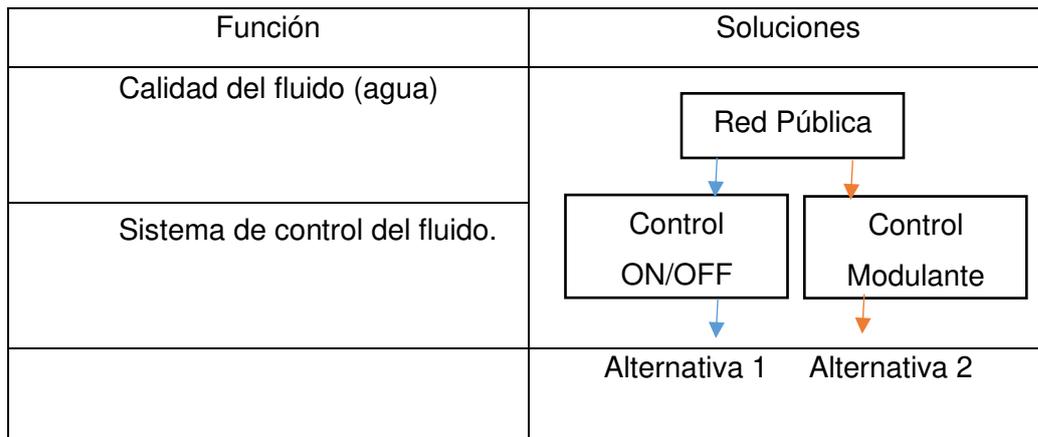


Figura 2.7. Matriz morfológica – Módulo 1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 – Módulo 1

Ventajas

- Es un sistema simple
- Bajo costo
- Se utiliza generalmente en calderas en espera.

Desventajas

- La presión y caudal del vapor es variable.
- Desgaste de la bomba y quemador.
- Mayor arrastre de agua de caldera.

Alternativa 2 – Módulo 1

Ventajas

- La presión y caudal del vapor es constante.
- Trabajo del quemador más eficiente.
- Menos arrastre de agua de caldera.
- Menos desgaste de la bomba y quemador.

Desventajas

- Elevado costo por equipos.
- Mayor consumo de electricidad.
- No recomendado en calderas de en espera.

2.2.2.2 Módulo 2: Fuente de energía

Este módulo cumple con las siguientes funciones:

- Combustible
- Convertir energía.

Combustible

En esta función se detallarán los diferentes combustibles disponibles en el mercado nacional, los cuales podrán ser utilizados como fuente de energía en este proyecto.

– Alternativa 1. Gas licuado del Petróleo (GLP)

El GLP es un combustible limpio, es decir que no presenta impurezas. Se encuentra almacenado en estado líquido, pero en operación se lo utiliza en estado gaseoso. Elemento compuesto por dos componentes principales: Propano y Butano [10].

– Alternativa 2. Diésel

El Diésel es un hidrocarburo líquido compuesto por parafinas, generalmente utilizado en calentadores de hogares y en motores diésel [11].

Convertir energía

Esta función se encargará de convertir el combustible y transformarlo en calor a través de un quemador.

– Alternativa 1. Quemador radial atmosférico

Se trata de un quemador tipo Venturi, el cual toma gas por la zona de la garganta. Mediante una chispa generada a partir de una varilla de encendido y una electroválvula genera la combustión. Este tipo de quemadores son aptos para trabajar con gas natural o GLP. Se los fabrica en dimensiones de 120 mm hasta los 500 mm de diámetro. Su capacidad de generación va desde 5000 kcal/h hasta 125000 kcal/h [12].



Figura 2.8. Quemador radial atmosférico
(Fuente:[12])

– **Alternativa 2. Quemador de aire forzado**

Este quemador premezcla el aire y gas previo a su combustión, cuenta con un ventilador que inyecta aire forzado. Por lo general este quemador tiene gran rendimiento y proporciona elevada estabilidad de llama. Su potencia calórica va desde 10000 kcal/h hasta 150000 kcal/h [13].

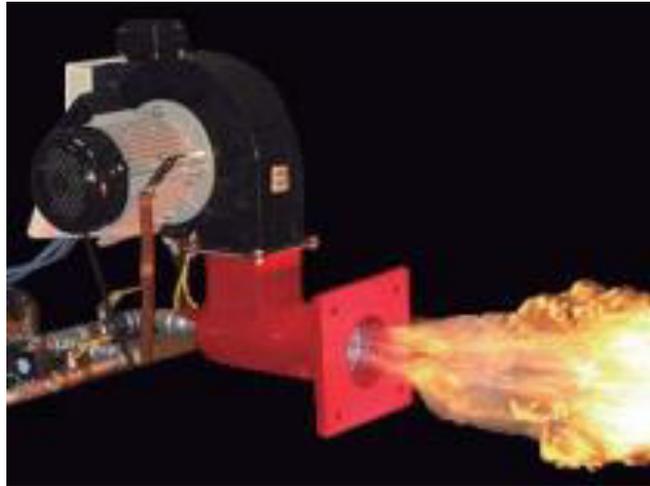


Figura 2.9. Quemador de aire forzado.
(Fuente: [13])

– **Alternativa 3. Quemador de alta presión tipo jet**

Este quemador funciona a partir de la combustión de diésel, y cuenta con un ventilador que inyecta aire forzado (tiro forzado). Además, dispone de una o varias toberas que permiten presurizar el combustible [14].



Figura 2.10. Quemador de alta presión tipo jet.
(Fuente: [14])

Diagrama morfológico para el módulo 2

Debido a la accesibilidad y disponibilidad de los quemadores a nivel nacional se han generado dos alternativas que utilizan GLP y una alternativa para el Diésel. Esto se puede observar en la Figura 2.11.

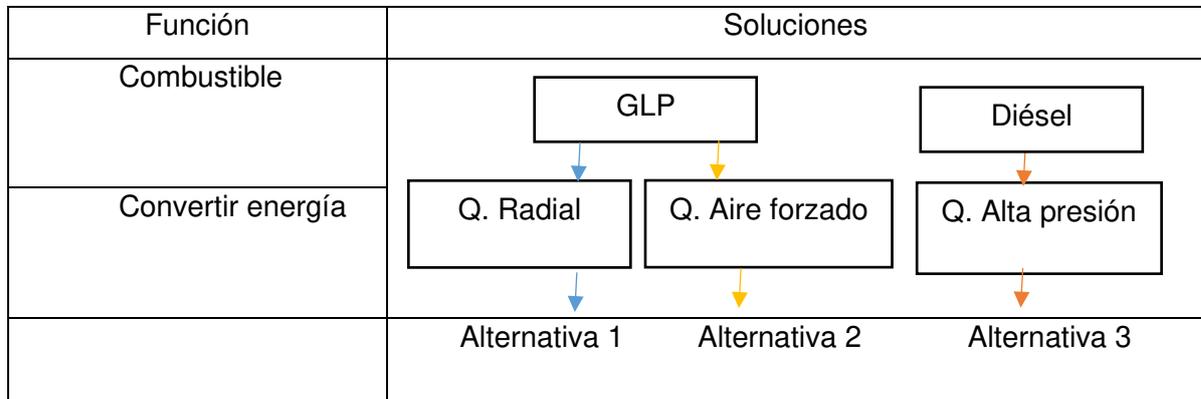


Figura 2.11. Matriz morfológica – Módulo 2

(Fuente: Propia)

Alternativa 1 – Módulo 2

Ventajas

- Disponible en el mercado nacional
- Bajo costo
- Combustible accesible.
- No necesita ventiladores eléctricos.

Desventajas

- No se controla el flujo de aire del quemador.

Alternativa 2 – Módulo 2

Ventajas

- Combustión eficiente
- Se regula el flujo de aire del quemador
- Combustible accesible

Desventajas

- Consumo de electricidad

- Costos en el mercado nacional elevado para proyectos pequeños.

Alternativa 3 - Módulo 2

Ventajas

- Sistema de ventilación de alta eficiencia
- Mantenimiento accesible
- Fácil montaje

Desventaja

- Costo elevado en la adquisición del equipo y repuestos
- Requiere de elevada energía eléctrica
- Manejo complicado.
- Generación de gases y humos.

2.2.2.3 Módulo 3: Transferencia de calor

Este módulo se tomará importancia en la estructura y forma de transferencia de calor tomando en consideración modelos disponibles en el mercado.

- Configuración en transferencia de calor

Configuración en cámara de combustión

En este apartado analizaremos la configuración que tendrá la cámara de combustión y tendrá la tarea de transferir de manera óptima el calor al tanque de presión.

- **Alternativa 1. Piro tubular vertical**

El recipiente que contiene el agua se encuentra atravesado por la cámara de combustión (hogar) y por un set de tubos verticales por donde circulan gases calientes provenientes de la quema del combustible. La transferencia de calor se da principalmente por radiación (55%), y por convección (15%).



Figura 2.12. Caldera Pirotubular vertical
(Fuente:[15])

– **Alternativa 2. Caldera de vapor hogar central vertical**

Las calderas Fulton presentan configuraciones diferentes a las calderas convencionales, la caldera clásica Fulton presenta una cámara de combustión central por donde circula el gas caliente de la combustión desde la parte superior a inferior, rodeando la cámara del líquido para así llegar a una cámara con deflectores verticales donde circula desde la parte inferior a superior.

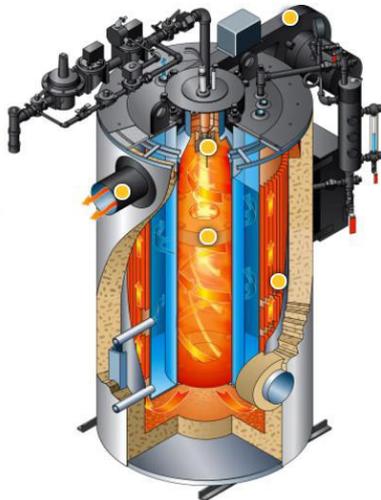


Figura 2.13. Caldera vertical Fulton
(Fuente:[15])

– **Alternativa 3. Caldera vertical con cámara de gases lateral.**

Una configuración alternativa utilizada en generadores de vapor pequeños aplicados coloquialmente en saunas. Este tipo de generadores utilizan un tanque a presión calentado a partir de quemadores inferiores y además de vías laterales alrededor del tanque a presión para los humos de combustión.

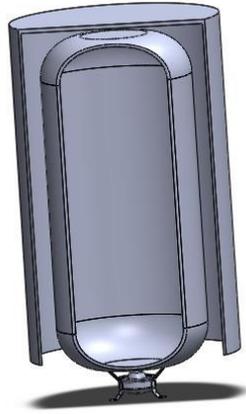


Figura 2.14. Caldera vertical con cámara de gases lateral.
(Fuente: Propia)

Diagrama morfológico para el módulo 3

Función	Soluciones		
Configuración transferencia de calor	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Cámara tubular</div> <div style="text-align: center; color: blue;">↓</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Cámara Fulton central</div> <div style="text-align: center; color: orange;">↓</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Cámara lateral con deflectores</div> <div style="text-align: center; color: red;">↓</div>
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3

Figura 2.15. Matriz morfológica – Módulo 3
(Fuente: Propia)

Alternativa 1 – Módulo 3

Ventajas

- Eficiente en el área de transferencia de calor.
- Menor cuidado en el tratamiento de agua de alimentación
- Mayor volumen de agua en el tanque a presión

Desventajas

- Maneja presiones bajas
- Equipos robustos y costosos
- Manufactura complicada al fabricar

Alternativa 2 – Módulo 3

Ventajas

- Mayor área de transferencia de calor.
- Cuenta con una eficiencia hasta 84%.
- Diseño compacto y tamaño reducido.

Desventajas

- Complejidad al momento de construir por lo cual se tornan costosas
- Complejas en mantenimiento
- Sistemas de control complejo
- Repuestos costosos y disponibilidad bajo a nivel nacional

Alternativa 3 - Módulo 3

Ventajas

- Facilidad de construcción y manufactura de elementos.
- Bajo costo
- Montaje y puesta a punto sencillo

Desventaja

- Trabaja a bajas presiones
- Eficiencia baja

2.2.3 Evaluación de soluciones

En este apartado la mejor alternativa es seleccionada a partir de evaluación de los pesos específicos de cada criterio mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados. En el Anexo I se presenta las tablas adimensionales de evaluación detallada de cada criterio respecto a cada alternativa.

Módulo 1: Sistema de alimentación

Los criterios que debe cumplir el módulo 1 son los siguientes:

- Bajo costo de los equipos
- Vida útil de los equipos
- Fácil montaje

Las alternativas propuestas para el módulo 1 son las siguientes:

- Alternativa 1: Red pública – Control On/Off
- Alternativa 2: Red pública – Control modulante

La Tabla 2.5 muestra los resultados adimensionales de la evaluación total para las alternativas del módulo 1. Se logra observar que la alternativa 1: Red pública – Control on/off brinda mayores beneficios.

Tabla 2.5. Conclusiones de la evaluación – Módulo 1

Conclusión	Costo	Montaje	Vida útil	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.33	0.2178	0.1056	0.6534	1
Alternativa 2	0.165	0.1089	0.0528	0.3267	2

(Fuente: Propia)

Módulo 2: Fuente de energía

Los criterios que debe cumplir el módulo 2 son los siguientes:

- Bajo costo de adquisición
- Mayor eficiencia
- Menor espacio
- Montaje del equipo

Las alternativas propuestas para el módulo 2 son las siguientes:

- Alternativa 1: GLP – Quemador Radial
- Alternativa 2: GLP – Quemador de aire forzado
- Alternativa 3: Diesel – Quemador de alta presión

La Tabla 2.6 muestra los resultados adimensionales de la evaluación total para las alternativas del módulo 2. Se logra observar que la alternativa 1 GLP – Quemador Radial brinda mayores beneficios.

Tabla 2.6. Conclusiones de la evaluación – Módulo 2

Conclusión	Costo	Eficiencia	Espacio	Montaje	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.2	0.048	0.075	0.075	0.398	1
Alternativa 2	0.1	0.099	0.0375	0.0375	0.274	3
Alternativa 3	0.1	0.15	0.0375	0.0375	0.325	2

(Fuente: Propia)

Módulo 3: Transferencia de calor

Los criterios que debe cumplir el módulo 3 son los siguientes:

- Bajo costo de adquisición
- Facilidad de fabricación y métodos de manufactura
- Compacto para el área de trabajo
- Eficiencia térmica (área de transferencia de calor)

Las alternativas propuestas para el módulo 3 son las siguientes:

- Alternativa 1: Cámara tubular
- Alternativa 2: Cámara Fulton central
- Alternativa 3: Cámara lateral con deflectores

La Tabla 2.6 muestra los resultados adimensionales de la evaluación total para las alternativas del módulo 3. Se logra observar que la alternativa 3 Cámara lateral con deflectores brinda mayores beneficios

Tabla 2.7. Conclusiones de la evaluación – Módulo 3

Conclusión	Costo	Fabricación	Eficiencia	Compacto	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.132	0.099	0.066	0.025	0.322	2
Alternativa 2	0.064	0.048	0.1	0.025	0.237	3
Alternativa 3	0.2	0.15	0.032	0.05	0.432	1

(Fuente: Propia)

2.2.4 Solución virtual

Al ser encontradas las alternativas óptimas para cada módulo gracias al método de criterios ponderados, se agrupan generando el diseño preliminar del proyecto.

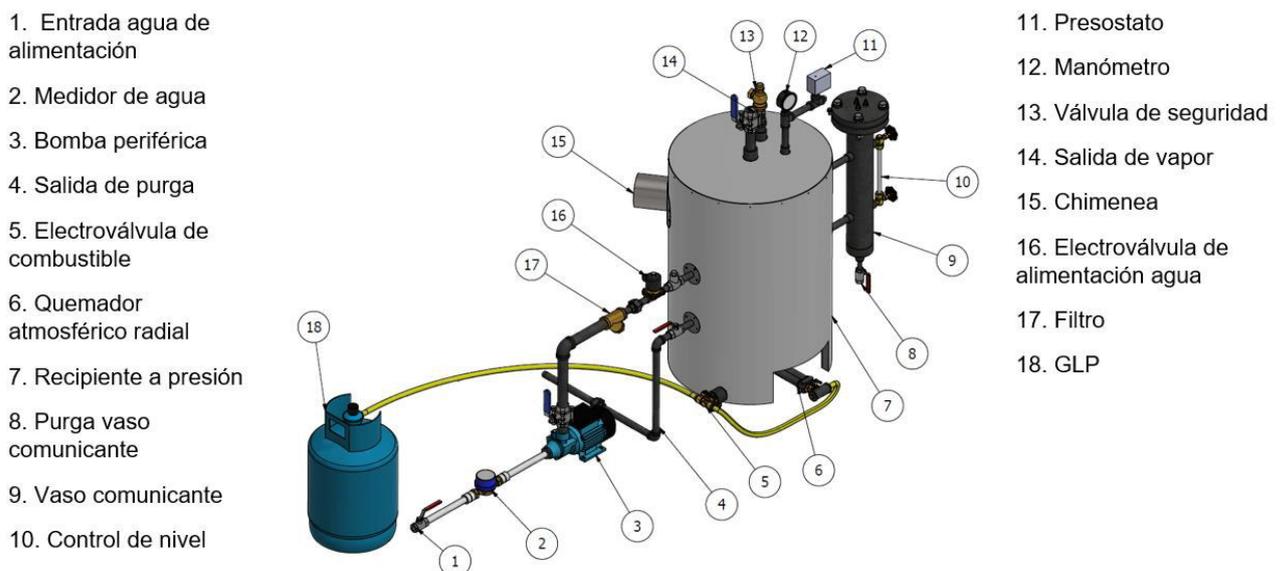


Figura 2.16. Solución virtual del calderín propuesto.
(Fuente: Propia)

2.3 Diseño térmico

El diseño térmico del calderín ha sido realizado con la ayuda del software Matlab, el cual considera las propiedades de agua y vapor de su base de datos X Steam.

2.3.1 Análisis termodinámico

Para los cálculos realizados en este apartado se han tomado en cuenta los requerimientos del calderín propuestos al inicio del proyecto y las condiciones atmosféricas a las que este se encontrará operando, los cuales se encuentran descritos en la Tabla 2.8 y Tabla 2.9.

Tabla 2.8. Requerimientos del calderín.

Potencia real del calderín	PR	3 BHP
Presión de diseño	Pd	90 psig
Presión de trabajo	Pw	60 psig
Temperatura de Saturación @Presión de trabajo	Tsat	150.74 °C

(Fuente: Propia)

Tabla 2.9. Datos atmosféricos de Quito.

Altura sobre el nivel del mar	h	2850 m
Presión atmosférica	Pa	10,434 psi (0,71 atm)
Temperatura agua de alimentación	Twin	15°C

(Fuente: [7])

Factor de evaporación (F.e.)

Tomando en cuenta que se requiere que el calderín genere 3 BHP a 60 psig bajo las condiciones atmosféricas de Quito, es necesario conocer la potencia nominal a la cual el calderín debe ser diseñado para cumplir con este requerimiento. Para lo cual, se procede a calcular el factor de evaporación mediante la Ecuación 2.1.

$$F.e. = \frac{h_{fg} @ P_a}{h_g @ P_o - h_f @ T_{win}}$$

(Ecuación 2.1)

Donde:

$h_{fg} @ P_a$: Entalpia del fluido (mezcla) a la presión atmosférica.

$h_g @ P_o$: Entalpia del fluido (vapor) a la presión de operación.

$h_f @ T_{win}$: Entalpia del fluido (líquido) a la temperatura de alimentación.

$$h_{fg}@P_a = 2280,9 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_g@P_o = 2746,8 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_f@T_{win} = 63,05 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$F. e. = \frac{2280,9 \frac{kJ}{kg * K}}{2746,8 \frac{kJ}{kg * K} - 63,05 \frac{kJ}{kg * K}}$$

$$\setminus F. e. = 0,85$$

Potencia nominal del caldero (PN)

Una vez obtenido el factor de evaporación se procede a calcular la potencia nominal del caldero mediante la Ecuación 2.2.

$$PN = \frac{PR}{F. e.}$$

(Ecuación 2.2)

Donde:

PR: Potencia real del calderín en BHP.

$$PN = \frac{3BHP}{0,85}$$

$$\setminus PN = 3,53 BHP$$

Calor total requerido (\dot{Q}_{Total})

Una vez obtenida la potencia nominal del calderín se procede a calcular el calor total requerido mediante la Ecuación 2.3 y la Ecuación 2.4.

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{Q}_{\acute{u}til} + \dot{Q}_{p\acute{e}rdidas}$$

(Ecuación 2.3)

$$\dot{Q}_{Total} = \frac{\dot{Q}_{\acute{u}til}}{\eta}$$

(Ecuación 2.4)

Donde:

$\dot{Q}_{\acute{u}til}$: Calor útil.

$\dot{Q}_{p\acute{e}rdidas}$: Perdidas del proceso.

η : Eficiencia térmica del calderín.

El calor útil sera igual a la potencia nominal del calderín en [kJ/h], por lo cual se tiene que:

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = 3,53 \text{ BHP} * \frac{9,8095 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1 \text{ BHP}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 124660 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Por otro lado, debido a que inicialmente se desconoce la eficiencia real del calderín, se asumira un valor del 80%, para ser posteriormente recalculado en base a datos tomados del equipo ya en funcionamiento.

$$\dot{Q}_{Total} = \frac{\dot{Q}_{\acute{u}til}}{\eta} = \frac{124660 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{0,80}$$
$$\dot{Q}_{Total} = 155820 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Caudal másico real del agua/vapor (\dot{m}_{H_2O})

Conociendo el calor útil del proceso, se procede a calcular el caudal másico real de agua que debe ingresar al calderín, el cual equivaldra también al caudal másico real de vapor que este debe generar, mediante las siguientes ecuaciones.

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = \dot{Q}_{sensible} + \dot{Q}_{latente}$$

(Ecuación 2.5)

$$\dot{Q}_{sensible} = \dot{m}_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * (T_{sat} - T_{win})$$

(Ecuación 2.6)

$$\dot{Q}_{latente} = \dot{m}_{H_2O} * (h_g @ T_{sat} - h_f @ T_{sat})$$

(Ecuación 2.7)

Donde:

$h_f @ T_{sat}$: Entalpia del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

$h_g @ T_{sat}$: Entalpia del fluido (vapor) a la temperatura de saturación.

T_{sat} : Temperatura de saturación de agua a la presión de operación.

T_{win} : Temperatura del agua de alimentación.

$C_{p_{H_2O}}$: Calor especifico del agua.

$$Cp_{H2O} = 4,18 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_f @T_{sat} = 635,45 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_g @T_{sat} = 2746,8 \frac{kJ}{kg * K}$$

Reemplazando la Ecuación 2.6 y la Ecuación 2.7, en la Ecuación 2.5, se tiene por consiguiente la Ecuación 2.8.

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = \dot{m}_{H2O} * Cp_{H2O} * (T_{sat} - T_{win}) + \dot{m}_{H2O} * (h_g @T_{sat} - h_f @T_{sat})$$

(Ecuación 2.8)

$$\dot{Q}_{\acute{u}til} = \dot{m}_{H2O} * (Cp_{H2O} * (T_{sat} - T_{win}) + (h_g @T_{sat} - h_f @T_{sat}))$$

$$\dot{m}_{H2O} = \frac{124659,13 \frac{kJ}{h}}{4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (150,74 - 15)^\circ C + (2746,8 - 635,45) \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{H2O} = 46,50 \frac{kg}{h}$$

Caudal másico de combustible (\dot{m}_{comb})

Teniendo en cuenta la composición y propiedades del GLP comercia en Ecuador descritas en la Tabla 2.10, se procede a calcular el caudal másico de combustible mediante la Ecuación 2.9.

Tabla 2.10. Propiedades y composición de GLP.

Composición	
Propano (C3H8)	70%
Butano (C4H10)	30%
Propiedades	
Densidad relativa (Comparada con aire seco)	1,5
Poder calorífico inferior	45343,04 $\frac{kJ}{kg}$

(Fuente: [16])

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}_{Total}}{PCI_{GLP}}$$

(Ecuación 2.9)

Donde:

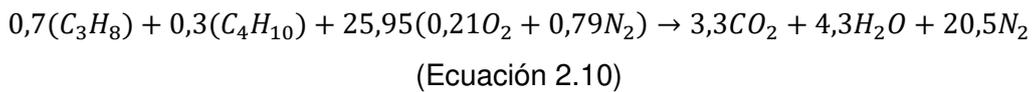
PCI_{GLP} : Poder calorífico del GLP.

$$\dot{m}_{comb} = \frac{155820 \frac{kJ}{h}}{45343,04 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{comb} = 3,44 \frac{kg}{h}$$

Relación de aire/combustible para una mezcla estequiométrica (AC)

Para el cálculo de la relación aire/combustible, se estableció inicialmente la reacción química del proceso de combustión ideal del GLP, con aire seco, que se muestra en la Ecuación 2.10.



Considerando los datos de masa molar del aire y combustible mostrados en la Tabla 2.11, se procede a calcular su masa mediante la Ecuación 2.11 y la Ecuación 2.12.

Tabla 2.11. Masa molar del aire, propano y butano.

Sustancia	Fórmula	Masa molar
Aire	$0,21O_2 + 0,79N_2$	$28,97 \frac{kg}{kmol}$
Propano	C_3H_8	$44,1 \frac{kg}{kmol}$
Butano	C_4H_{10}	$58,12 \frac{kg}{kmol}$

(Fuente: [4])

- Masa de aire

$$m_{aire} = N_{aire} * M_{aire}$$

(Ecuación 2.11)

Donde:

N_{aire} : Moles de aire

M_{aire} : Masa molar de aire

$$m_{aire} = 25,95 \text{ kmol}_{aire} * 28,97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{aire}}$$

$$m_{aire} = 751,77 \text{ kg}$$

- **Masa de combustible**

$$m_{comb} = (N_{C_3H_8} * M_{C_3H_8}) + (N_{C_4H_{10}} * M_{C_4H_{10}})$$

(Ecuación 2.12)

Donde:

$N_{C_3H_8}$: Moles de propano.

$M_{C_3H_8}$: Masa molar del propano.

$N_{C_4H_{10}}$: Moles de butano.

$M_{C_4H_{10}}$: Masa molar del butano.

$$m_{comb} = \left(0,7 \text{ kmol}_{C_3H_8} * 44,1 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{C_3H_8}} \right) + \left(0,3 \text{ kmol}_{C_4H_{10}} * 58,12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{C_4H_{10}}} \right)$$

$$m_{comb} = 48,3 \text{ kg}$$

- **Relación aire/combustible**

Una vez obtenidas las masas de aire y combustible, se procede a calcular la relación aire/combustible mediante la Ecuación 2.13.

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}}$$

(Ecuación 2.13)

$$AC = \frac{754,77 \text{ kg}_{aire}}{48,3 \text{ kg}_{comb}}$$

$$\therefore AC = 15,56$$

Relación de Aire/combustible para una mezcla con 20% de exceso de aire (AC_{exceso})

Para el cálculo de la relación aire/combustible, se estableció inicialmente la reacción química del proceso de combustión del GLP, con aire seco en exceso (20%), que se muestra en la Ecuación 2.14.

$$0,7(C_3H_8) + 0,3(C_4H_{10}) + 31,13(0,21O_2 + 0,79N_2)$$

$$\rightarrow 3,3CO_2 + 4,3H_2O + 1,09O_2 + 24,60N_2$$

(Ecuación 2.14)

Para el cálculo de masa de aire y combustible, se siguió el mismo proceso que en el apartado anterior.

- **Masa de aire**

$$m_{aire} = N_{aire} * M_{aire}$$

(Ecuación 2.11)

$$m_{aire} = 31,13 \text{ kmol}_{aire} * 28,97 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{aire}}$$

$$m_{aire} = 901,95 \text{ kg}$$

- **Masa de combustible**

$$m_{comb} = (N_{C_3H_8} * M_{C_3H_8}) + (N_{C_4H_{10}} * M_{C_4H_{10}})$$

(Ecuación 2.12)

$$m_{comb} = \left(0,7 \text{ kmol}_{C_3H_8} * 44,1 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{C_3H_8}} \right) + \left(0,3 \text{ kmol}_{C_4H_{10}} * 58,12 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}_{C_4H_{10}}} \right)$$

$$m_{comb} = 48,3 \text{ kg}$$

- **Relación aire/combustible**

$$AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}}$$

(Ecuación 2.13)

$$AC_{exceso} = \frac{901,95 \text{ kg}_{aire}}{48,3 \text{ kg}_{comb}}$$

$$\setminus AC_{exceso} = 18,67$$

Caudal másico de los gases de combustión (\dot{m}_{gas})

Conociendo la relación aire/combustible, se procede a calcular el caudal másico de los gases de combustión mediante la Ecuación 2.15 y la Ecuación 2.16.

$$\dot{m}_{gas} = \dot{m}_{aire} + \dot{m}_{comb}$$

(Ecuación 2.15)

$$\dot{m}_{aire} = AC_{exceso} * \dot{m}_{comb}$$

(Ecuación 2.16)

Donde:

\dot{m}_{aire} : Caudal másico de aire necesario para la combustión.

AC_{exceso} : Relación aire/combustible del GLP para la mezcla con 20% de exceso de aire.

$$\dot{m}_{aire} = 18,67 * 3,44 \frac{kg}{h} = 64,22 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{gas} = 3,44 \frac{kg}{h} + 64,22 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{gas} = 67,66 \frac{kg}{h}$$

Temperatura de llama adiabática (Tg)

Para el cálculo de la temperatura de llama adiabática se partió del balance de energía del proceso de combustión, mostrado en la Ecuación 2.17.

$$Q - W = Dh$$

(Ecuación 2.17)

Sin embargo, sumiendo que este es un proceso adiabático ($Q = 0$, $W = 0$), se tiene la Ecuación 2.18 y por consiguiente la Ecuación 2.19.

$$Dh = h_{productos} - h_{reactivos} = 0$$

(Ecuación 2.18)

$$\sum N_{productos} (hf + h_T - h^o)_{productos} = \sum N_{reactivos} (hf + h_T - h^o)_{reactivos}$$

(Ecuación 2.19)

Donde:

hf : Entalpia de formación de la sustancia.

h_T : Entalpia de la sustancia a la temperatura en la que esta se encuentra.

h^o : Entalpia absoluta de la sustancia a 1atm y 25°C.

Debido a la falta de datos para el caso real de estudio se tomaron los valores de $(h_T)_{productos}$ a condiciones normales (1atm, 25°C), por lo cual se tiene que:

$$h_{T_{productos}} = h^o_{productos}$$

(Ecuación 2.20)

$$\sum N_{productos} (hf)_{productos} = \sum N_{reactivos} (hf + h_T - h^o)_{reactivos}$$

(Ecuación 2.21)

Considerando el proceso de combustión del GLP, con aire seco en exceso (20%), se rempaza la Ecuación 2.21 en la Ecuación 2.14, obteniéndose por consiguiente la Ecuación 2.22.

$$\begin{aligned}
& 0,7(hfC_3H_8) + 0,3(hfC_4H_{10}) + 31,13(0,21hfO_2 + 0,79hfN_2) \\
& = 3,3(hfCO_2 + h_TCO_2 - h^oCO_2) + 4,3(hfH_2O + h_TH_2O - h^oH_2O) \\
& + 1,09(hfO_2 + h_TO_2 - h^oO_2) + 24,60(hfN_2 + h_TN_2 - h^oN_2) \\
& \text{(Ecuación 2.22)}
\end{aligned}$$

Para el cálculo se procede a remplazar los valores de entalpías mostrados en la Tabla 2.12 en la Ecuación 2.22.

Tabla 2.12. Entalpías de formación y absolutas de reactivos y productos.

Sustancia	$h_f \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h^o \left(\frac{kJ}{mol} \right)$
C_3H_8	-103 850	-
C_4H_{10}	-126 150	-
O_2	0	8 682
N_2	472 650	8 669
CO_2	-393 520	9 364
H_2O	-241 820	9 904

(Fuente: [4])

$$\begin{aligned}
& 0,7(-103\ 850) + 0,3(-126\ 150) + 31,13[0,21(0) + 0,79(472\ 650)] \\
& = 3,3(-393\ 520 + h_TCO_2 - 9\ 364) + 4,3(-241\ 820 + h_TH_2O - 9\ 904) \\
& + 1,09(0 + h_TO_2 - 8\ 682) + 24,59(472\ 650 + h_TN_2 - 8\ 669) \\
& 2525300,65 = 3,3(h_TCO_2) + 4,3(h_TH_2O) + 1,09(h_TO_2) + 24,59(h_TN_2) \\
& \text{(Ecuación 2.23)}
\end{aligned}$$

Finalmente se procede a remplazar los valores de la Tabla 2.13 en la Ecuación 2.23, se obtienen los valores mostrados en la Tabla 2.17

Tabla 2.13. Entalpia de los productos de combustión a diferentes temperaturas.

$T (^oK)$	$h_TCO_2 \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_TH_2O \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_TN_2 \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_TO_2 \left(\frac{kJ}{mol} \right)$
2050	103835	85156	66612	69772
2100	106864	87735	68417	71668
2150	109898	90330	70226	73573
2200	112939	92940	72040	75484

(Fuente: [4])

Tabla 2.14. Entalpia total de los productos en la combustión a diferentes temperaturas.

$T (^{\circ}K)$	$h_{CO_2} \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_{H_2O} \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_{N_2} \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	$h_{O_2} \left(\frac{kJ}{mol} \right)$	Entalpia total $\left(\frac{kJ}{mol} \right)$
2050	342655,5	366170,8	1637989,08	76051,48	2422866,86
2100	352651,2	377260,5	1682374,03	78118,12	2490403,85
2150	362663,4	388419	1726857,34	80194,57	2558134,31
2200	372698,7	399642	1771463,6	82277,56	2626081,86

(Fuente: Propia)

Sabiendo que la temperatura adiabática equivale a la temperatura a la que las entalpías de la Ecuación 2.23 se igualan, se procede a interpolar los valores de temperatura y entalpia total de la Tabla 2.17, dando como resultado la siguiente temperatura de llama adiabática.

$$Tg = 2125,86 K$$

$$Tg = 1852,76^{\circ}C$$

2.3.2 Análisis de transferencia de calor

El análisis de transferencia de calor se realizará mediante resistencias térmicas. Sin embargo, debido a la falta de correlaciones existentes para la configuración de calderín, se procede a analizar únicamente el tramo donde existe ebullición nucleada, sabiendo que el calor transferido por este mecanismo es igual al calor transferido por los gases, y al calor útil, como se muestra en la Figura 2.17.

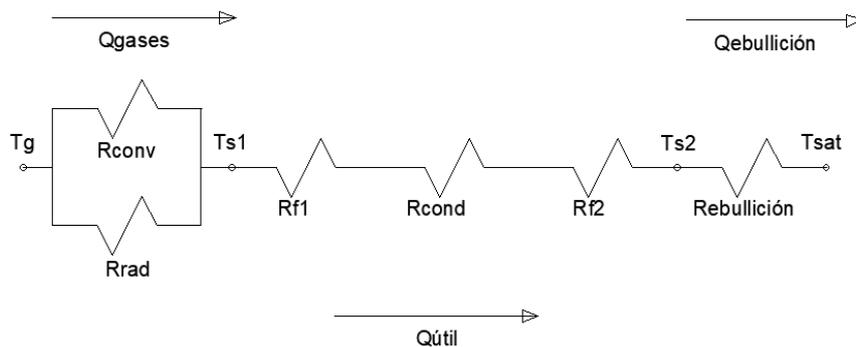


Figura 2.17. Transferencia de calor en el calderín

(Fuente: Propia)

Transferencia de calor por Ebullición nucleada (\dot{q})

El tipo de superficie y condiciones en la que está siendo calentada también afectan la transferencia de calor al fluido. Estas complicaciones dificultan desarrollar relaciones teóricas para la transferencia de calor en el régimen de ebullición nucleada y se necesita

apoyar en relaciones basadas en datos experimentales [3]. La correlación que se usa con mayor amplitud para el flujo de calor en el régimen de ebullición nucleada se muestra en la Ecuación 2.24.

$$\dot{q} = \mu_f@T_{sat} * h_{fg}@T_{sat} * \left[\frac{g * (\rho_f@T_{sat} - \rho_g@T_{sat})}{\sigma} \right]^{\frac{1}{2}} * \left[\frac{C_{Pf}@T_{sat} * (T_s - T_{sat})}{C_{sf} * h_{fg}@T_{sat} * Pr_f@T_{sat}^n} \right]^3$$

(Ecuación 2.24)

Donde:

\dot{q} : flujo de calor en la ebullición nucleada.

$\mu_f@T_{sat}$: Viscosidad del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

$h_{fg}@T_{sat}$: Entalpía del fluido (mezcla) a la temperatura de saturación.

g : Aceleración gravitacional.

$\rho_f@T_{sat}$: Densidad del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

$\rho_g@T_{sat}$: Densidad del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

σ : Tensión superficial de la interfase liquido-vapor.

$C_{Pf}@T_{sat}$: Calor específico del fluido (líquido) a la temperatura de saturación

T_s : Temperatura superficial del calentador, la cual según [17], se encuentra entre 5 y 5.5 grados arriba de la temperatura de saturación, para la presión de trabajo del calderín.

T_{sat} : Temperatura de saturación de agua a la presión de operación.

C_{sf} : Constante experimental en función del tipo de combinación superficie – fluido.

$Pr_f@T_{sat}$: Número de Prandtl del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

n : Constante experimental en función del tipo de fluido.

$$\mu_f@T_{sat} = 0,18163 * 10^{-3} \frac{kg}{m * s}$$

$$h_{fg}@T_{sat} = 2111,7 * 10^3 \frac{J}{kg}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$\rho_f@T_{sat} = 916,41 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_g @ T_{sat} = 2,5892 \frac{kg}{m^3}$$

$$\sigma = 0,0486 \frac{N}{m}$$

$$Cp_f @ T_{sat} = 4311,9 \frac{J}{kg}$$

$T_s = 155,99 \text{ } ^\circ\text{C}$: Considerando un exceso de temperatura de $5,25 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$T_{sat} = 150,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$C_{sf} = 0,013$: Agua – acero [3].

$$Pr_f @ T_{sat} = 1,1454$$

$n = 1$: Agua [3].

$$\dot{q} = (0,18163 * 10^{-3}) \frac{kg}{m * s} * (2111,7 * 10^3) \frac{J}{kg} * \left[\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * \left(916,41 \frac{kg}{m^3} - 2,5892 \frac{kg}{m^3} \right)}{0,0486 \frac{N}{m}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$* \left[\frac{4311,9 \frac{J}{kg} * (155,99 \text{ } ^\circ\text{C} - 150,74 \text{ } ^\circ\text{C})}{0,013 * (2111,7 * 10^3) \frac{J}{kg} * 1,1454^1} \right]^3$$

$$\therefore \dot{q} = 65053 \frac{W}{m^2}$$

Área de transferencia (A_{trans})

Conociendo el factor de transferencia de calor por ebullición nucleada, se procede a calcular el área necesaria para transferir todo el calor útil al fluido, mediante la Ecuación 2.25.

$$A_{trans} = \frac{\dot{Q}_{\text{útil}}}{\dot{q}}$$

(Ecuación 2.25)

Donde:

$\dot{Q}_{\text{útil}}$: Calor útil en [J/s].

$$A_{trans} = \frac{124659,13 \frac{kJ}{h} * \frac{1000 J}{1 kJ} * \frac{1 h}{3600 s}}{65053 \frac{J}{s * m^2}}$$

$$\therefore A_{trans} = 0,5323 \text{ } m^2$$

2.4 Diseño mecánico

Este apartado se ha desarrollado tomando en cuenta la reglamentación y ecuaciones descritas en la Ref. [18].

2.4.1 Dimensionamiento geométrico

Diámetro interior del recipiente a presión (D_{in})

Teniendo en cuenta que el recipiente a presión no debe superar los 0,4m de diámetro, como se especifica en el apartado PMB – 2.1 en la Ref. [18]; y que el diámetro mínimo de rolado que se conforma en la industria local es de 0,38 m. Se establece el siguiente diámetro interno para el recipiente a presión.

$$\therefore D_{in} = 0,38 \text{ m}$$

Altura efectiva del cilindro (L_{efec})

Una vez establecido el diámetro del recipiente, se procede a calcular la altura del cilindro en donde existirá transferencia por ebullición nucleada, mediante la Ecuación 2.26 y la Ecuación 2.27.

$$L_{efec} = \frac{A_{pared}}{\pi * D_{in}}$$

(Ecuación 2.26)

$$A_{pared} = A_{trans} - A_{base}$$

(Ecuación 2.27)

Donde:

A_{pared} : Área de la pared cilíndrica que está en contacto con el agua.

A_{base} : Área de la tapa cóncava base del recipiente a presión.

$A_{base} = 0,1536 \text{ m}^2$; Calculada a partir de un modelo elaborado en Autodesk inventor

$$A_{pared} = 0,5323 \text{ m}^2 - 0,1536 \text{ m}^2 = 0,3787$$

$$L_{efec} = \frac{0,3787}{\pi * 0,38}$$

$$\therefore L_{efec} = 0,3172 \text{ m}$$

Altura total del cilindro (L_{total})

Considerando que el nivel máximo de agua en el calderín no debe superar los 2/3 de la altura de la pared cilíndrica (sin tomar en cuenta las tapas cóncavas), como se especifica

en el apartado PMB – 13.1 en la Ref. [18] , se procede a calcular la altura total del cilindro mediante la Ecuación 2.28.

$$L_{total} = L_{efec} * 3/2$$

(Ecuación 2.28)

$$L_{total} = 0,3172 m * 3/2$$

$$\therefore L_{total} = 0,4759 m$$

Por facilidad de corte se aproximó la longitud total del cilindro a 0,48 m.

2.4.2 Selección de materiales

Los materiales para las partes sometidas a presión del calderín han sido seleccionados según las recomendaciones de los apartados PG – 6 y PG – 9 en la Ref. [18], y sobre todo considerando la disponibilidad de estos en el mercado local.

Tabla 2.15. Selección de materiales para las partes sometidas a presión del calderín.

Elemento	Especificación Material		Descripción
Cuerpo cilíndrico y tapas cóncavas	ASTM A516-70		Placas de acero al carbono, para recipientes a presión en servicio a baja y moderada temperatura.
Cuerpo Vaso comunicante	ASTM A106-B		Tubería sin costura de acero al carbono, para servicio a alta temperatura.
Base vaso comunicante	ASTM A234 WPB		Accesorios de tubería conformados, de acero al carbono y acero aleado para temperaturas moderadas y elevadas.
Tubería	ASTM A106-B		Tubería sin costura de acero al carbono, para servicio a alta temperatura.
Bridas	ASME 16.5	ASTM A105	Productos forjados de acero al carbono, para componentes de tubería.
Accesorios	ASME 16.11		
Pernos	ASTM A193-B7		Elementos para atornillado de acero al carbono y acero inoxidable para servicio a alta presión y temperatura.

Tuercas	ASTM A194-2H	Tuercas de acero al carbono y acero inoxidable diseñadas para uso en servicio de alta presión y temperatura.
Arandelas	ASTM F436	Arandelas planas galvanizadas para servicio estructural.
	DIN 127	Arandelas de seguridad galvanizadas para servicio estructural

(Fuente: [18])

2.4.3 Diseño de los elementos sometidos a presión

Para realizar el diseño de los elementos sometidos a presión se ha establecido una máxima presión de trabajo admisible de 90 psig (presión de diseño), y una temperatura de pared de 370°C, como se recomienda en el apartado PFT – 50 en la Ref. [18].

Espesor mínimo del recipiente a presión

- Cuerpo cilíndrico

En concordancia con el apartado PG – 27.2.2 en la Ref. [18], se procede a calcular el espesor mínimo para el cuerpo del vaso comunicante, mediante la Ecuación 2.29.

$$t_c = \frac{PM * R_{in}}{(S * E) - (1 - y) * PM} + C ; PM = \frac{(S * E) * (t_c - C)}{R_{in} + (1 - y) * (t_c - C)}$$

(Ecuación 2.29)

Donde:

t_c : Espesor mínimo requerido en el cuerpo cilíndrico.

C : Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural.

R_{in} : Radio interior del cilindro.

E : Eficiencia junta.

S : Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño.

PM : Máxima presión de trabajo admisible.

y : Coeficiente de temperatura.

$C = 0$; [18]

$R_{in} = 190 \text{ mm} = 7,4803 \text{ in}$

$E = 1$; [18]

$S = 17984,68 \text{ psi}$: ASTM A516 – 70 [19].

$PM = 90 \text{ psi}$

$y = 0,4$; [18]

$$t_c = \frac{90 \text{ psi} * 7,4803 \text{ in}}{(17984,68 \text{ psi} * 1) - (1 - 0,4) * 90 \text{ psi}} + 0$$

$$\therefore t_c = 0,0375 \text{ in}$$

Al no existir una plancha de 0,0375 in (0,95 mm) en el mercado local se procede a establecer un espesor nominal de 1/4 in (6 mm) como se establece en el apartado PMB – 5.2 en la Ref. [18], con lo cual se procede a determinar nuevamente la máxima presión de trabajo admisible para el cuerpo cilíndrico mediante la Ecuación 2.29.

$$PM = \frac{(17984,68 \text{ psi} * 1) * (0,25 \text{ in} - 0)}{7,4803 \text{ in} + (1 - 0,4) * (0,25 - 0)}$$

$$\therefore PM = 589,25 \text{ psi}$$

- Tapas cóncavas

Este tipo de tapas se consideran especialmente por la facilidad de manufactura y además el costo de fabricación. En concordancia con el apartado PG – 29.1 en la Ref. [18], se procede a calcular el espesor mínimo para la tapa, mediante la Ecuación 2.30.

$$t_t = \frac{5 * PM * L}{4,8 * S * w}; PM = \frac{t_t * 4,8 * S * w}{5 * L}$$

(Ecuación 2.30)

Donde:

t_t : Espesor mínimo requerido en las tapas cóncavas.

L : Radio con el cual la tapa es cóncava, medido en el lado cóncavo de la tapa.

w : Factor de reducción de la resistencia de la junta soldada.

$PM = 90 \text{ psi}$

$L = 500 \text{ mm} = 19,685 \text{ in}$

$w = 1$: Acero al carbono; [18]

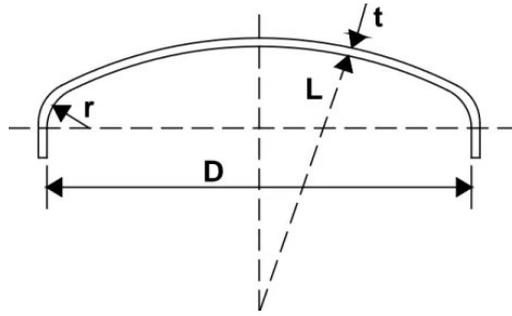


Figura 2.18. Geometría de una tapa cóncava (torrisférica).
(Fuente: [18])

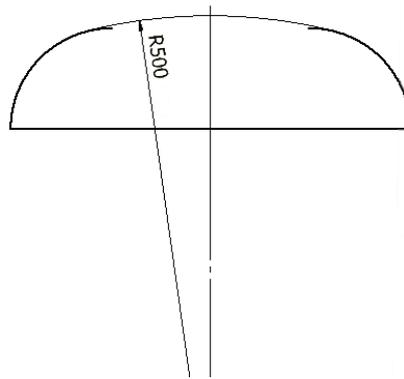


Figura 2.19. Radio con el cual la tapa es cóncava.
(Fuente: Propia)

$$t_t = \frac{5 * 90 \text{ psi} * 19,685 \text{ in}}{4,8 * (17984,68 \text{ psi}) * 1}$$

$$\therefore t_t = 0,1026 \text{ in}$$

Al no existir una plancha de 0,1026 in (2,61 mm) en el mercado local se procede a establecer un espesor nominal de 1/4 in (6 mm) como se establece en el apartado PMB – 5.2 en la Ref. [18], con lo cual se procede a determinar nuevamente la máxima presión de trabajo admisible para las tapas cóncavas mediante la Ecuación 2.30.

$$PM = \frac{0,25 \text{ in} * 4,8 * 17984,68 \text{ psi} * 1}{5 * 19,685 \text{ in}}$$

$$\therefore PM = 219,27 \text{ psi}$$

Máxima presión admisible en el vaso comunicante.

- Cuerpo del vaso comunicante

En concordancia con el apartado PG – 27.2.2 en la Ref. [18], se procede a calcular la presión máxima admisible en el cuerpo del vaso comunicante, mediante la Ecuación 2.29.

$t = 0,216 \text{ in}$; Tubería de acero Sch 40-3"

$S = 13708,97 \text{ psi}$: ASTM a106 – B [19].

$$PM = \frac{(13708,97 \text{ psi} * 1) * (0,216 \text{ in} - 0)}{3 \text{ in} + (1 - 0,4) * (0,216 - 0)}$$

$$\therefore PM = 946,17 \text{ psi}$$

- Base del vaso comunicante

En concordancia con el apartado PG – 29.1 en la Ref. [18], se procede a calcular la presión máxima admisible en la base del vaso comunicante, mediante la Ecuación 2.30.

$t = 0,216 \text{ in}$; Tapón capa de acero Sch 40-3"

$L = 59.99 \text{ mm} = 2.35 \text{ in}$

$S = 15838.12 \text{ psi}$: ASTM A234 WPB [19].

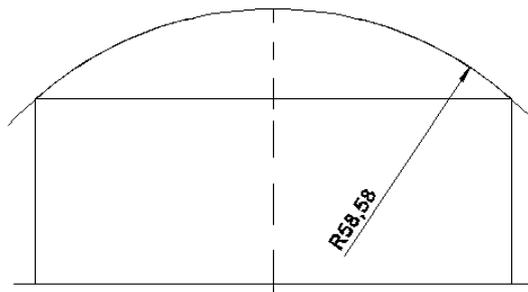


Figura 2.20. Radio con el cual la tapa es cóncava (base vaso comunicante).

(Fuente: Propia)

$$PM = \frac{0,216 \text{ in} * 4,8 * 15838.12 \text{ psi} * 1}{5 * 2.35 \text{ in}}$$

$$\therefore PM = 1424 \text{ psi}$$

Diámetro máximo de aberturas (d_{max})

En el proceso de diseño se debe tomar en consideración las perforaciones necesarias para el acople de boquillas, conexiones de entrada y salida de fluido, accesorios o instrumentos de control de la caldera. Para lo cual se debe considerar un diámetro máximo de abertura, según el apartado PG – 32.1.3 en la Ref. [18], se procede a calcular dicho diámetro, mediante la Ecuación 2.31 y la Ecuación 2.32.

$$d_{max} = 2,75 * [D_{ext} * t * (1 - K)]^{\frac{1}{3}}$$

(Ecuación 2.31)

$$K = \frac{PM * D_{ext}}{1,82 * S * t}$$

(Ecuación 2.32)

Donde:

D_{ext} : Diámetro exterior del cuerpo, cabezal o tapa cóncava.

t : Espesor nominal de la tapa, cuerpo o cabezal.

S : Esfuerzo admisible a la temperatura de diseño.

- Cuerpo cilíndrico y tapas cóncavas

$$PM = 90 \text{ psi}$$

$$D_{ext} = 15,46 \text{ in}$$

$$t = 0,25 \text{ in}$$

$$S = 17984,68 \text{ psi: ASTM A516 - 70 [19].}$$

$$K = \frac{90 \text{ psi} * 15,46 \text{ in}}{1,82 * 17984,68 \text{ psi} * 0,25 \text{ in}} = 0,17$$

$$d_{max} = 2,75 * [15,46 \text{ in} * 0,25 \text{ in} * (1 - 0,1647)]^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore d_{max} = 4,055 \text{ in}$$

Dado a que ninguna abertura en el recipiente a presión cuenta con un diámetro mayor a 4,055 in, no se requiere de ningún cálculo de compensación.

- Cuerpo del vaso comunicante

$$PM = 90 \text{ psi}$$

$$D_{ext} = 3,5 \text{ in}$$

$$t = 0,216 \text{ in}$$

$$S = 13708,97 \text{ psi: ASTM A106 - B [19].}$$

$$K = \frac{90 \text{ psi} * 3,5 \text{ in}}{1,82 * 13708,97 \text{ psi} * 0,216 \text{ in}} = 0,058$$

$$d_{max} = 2,75 * [3,5 \text{ in} * 0,216 \text{ in} * (1 - 0,058)]^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore d_{max} = 2,46 \text{ in}$$

Dado a que ninguna abertura en el vaso comunicante cuenta con un diámetro mayor a 2,46 in, no se requiere de ningún tipo de compensación.

- **Base del vaso comunicante**

$$PM = 90 \text{ psi}$$

$$D_{ext} = 3,5 \text{ in}$$

$$t = 0,216 \text{ in}$$

$$S = 15838.12 \text{ psi: ASTM A234 WPB [19].}$$

$$K = \frac{90 \text{ psi} * 3,5 \text{ in}}{1,82 * 15838.12 \text{ psi} * 3,5 \text{ in}} = 0,05$$

$$d_{max} = 2,75 * [3,5 \text{ in} * 0,216 \text{ in} * (1 - 0,05)]^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore d_{max} = 2,46 \text{ in}$$

Dado a que ninguna abertura en el vaso comunicante cuenta con un diámetro mayor a 2,46 in, no se requiere de ningún tipo de compensación.

2.5 Diseño de sistemas periféricos

Este apartado se ha desarrollado tomando en cuenta la reglamentación descrita en la Ref. [18], así como la disponibilidad de componentes en el mercado local.

2.5.1 Sistema de alimentación de agua

Esquema del sistema de alimentación de agua

En la Figura 2.21 se muestra el sistema de alimentación de agua del calderín, el cual será el encargado de suministrar el agua necesaria para reposicionar así la consumida en forma de vapor durante la operación.

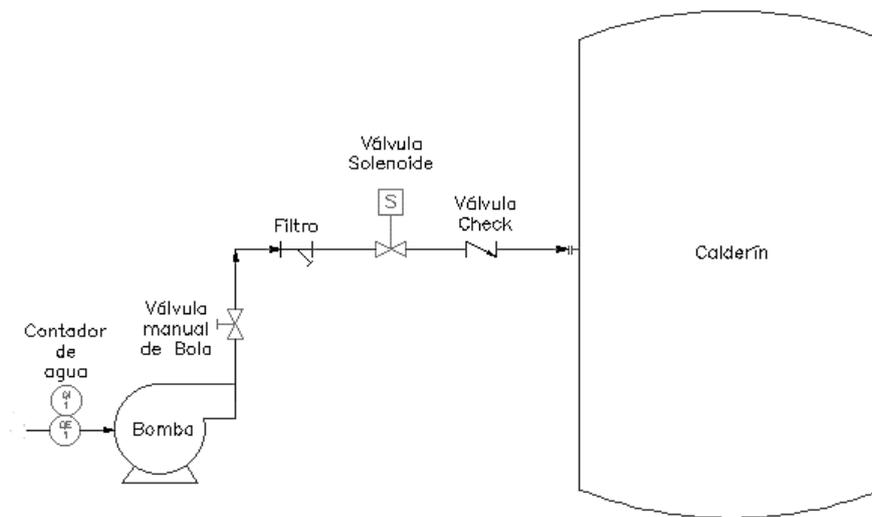


Figura 2.21. Esquema del sistema de alimentación de agua

(Fuente: Propia)

Selección de componentes

- Bomba de alimentación

Como se especifica en el apartado PMB – 11.1 en la Ref. [18], toda caldera miniatura deben contar con al menos una bomba o dispositivo de alimentación, que sea capaz de administrar agua a una presión mayor que la esperada a la entrada de la caldera.

Teniendo en cuenta que la presión esperada a la entrada del calderín es la presión de trabajo (60 psig), se procede a seleccionar la siguiente bomba de alimentación.

Tabla 2.16. Características de la bomba de agua.

Marca	Lyon Pump
Modelo	QB80

Material	Fundición de hierro
Caudal máximo	46 l/min
Altura máxima	65 m
Altura de succión máxima	8 m
Conexión y descarga	Rosca hembra, 1" NPT (DN 25)
Presión de descarga	75 psi
Potencia	1 HP
Alimentación	110V, 10A, 60Hz

(Fuente: [20])



Figura 2.22. Bomba de agua.

(Fuente: [20])

- Tubería de alimentación de agua

El dimensionamiento de la tubería del sistema de alimentación de agua, ha sido realizado mediante el software TVL, el cual considera la ecuación empírica de Darcy–Weisbach para determinar el diámetro de una tubería en función la caída de presión a lo largo de esta.

Siendo así se procede a introducir los datos que corresponden a el grado de la tubería seleccionada, la presión de descarga de la bomba (75 psig), la máxima caída de presión permitida a lo largo de la tubería (14 psi) teniendo en cuenta que la presión a la entrada del calderín debe ser mayor a 60 psig, la distancia entre la conexión para el agua de alimentación en el calderín y la descarga de la bomba (1.05 m); y, por último, el caudal máximo proporcionado por la bomba (2.76 m³/h).

Introducir Datos

Unidades SI(bar) ▼

Grado de Tubería	ANSI Sch40 ▼	
Presión del Agua	75	psig ▼
Máxima Pérdida de Presión Permisible	14	psi ▼
Longitud de la Tubería [?]	1.05	m ▼
Rango de Flujo del Liquido	2.76	m³/h ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Resultados		
Tamaño de Tubería	NPS3/8	
Diámetro Interno Tubería	12.5222	mm ▼
Velocidad del Agua	6.22523	m/s ▼
Caída de Presión	7.08779	psi ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	1.05	m ▼

Figura 2.23. Dimensionamiento de la tubería de alimentación de agua.

(Fuente: Propia)

De acuerdo con los resultados obtenidos, el diámetro mínimo de tubería equivale a 3/8" NPS (DN 10), sin embargo, debido a que en el apartado PMB – 11.1 en la Ref. [18], especifica que la conexión de agua de alimentación en calderas miniatura deben ser igual o superior a DN 15, se procede a seleccionar la siguiente tubería.

Tabla 2.17. Características de la tubería de alimentación de agua.

Material	ASTM A106-B
Cedula	Sch 40
Diámetro nominal	1/2" NPS (DN 15)

(Fuente: Propia)

Debido a que la descarga de la bomba es de DN 25, se ha decidido mantener un tramo de la tubería con este diámetro para posteriormente reducirla a DN 15, mediante accesorios.

Tomando en cuenta que en el apartado PMB – 14 en la Ref. [18], se especifica que los accesorios de tubería y dispositivos conectados a la caldera miniatura deben ser como mínimo de clase 150, se han seleccionado para la tubería de alimentación de agua accesorios roscados de hierro negro ASTM A197 clase 150. A diferencia de la unión de hierro forjado ASTM A105 clase 3000, soldada al calderín para formar la conexión.

- **Válvula solenoide de agua**

Como se especifica en el apartado PMB – 11.2 en la Ref. [18], la tubería de alimentación debe contar con una válvula de corte de diámetro igual al de la tubería, que evite el paso de agua hacia la caldera cuando esta no lo requiera.

Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar siguiente válvula solenoide, de apertura y cierre automático, que permita el paso de agua únicamente cuando la bomba este encendida.

Tabla 2.18. Características de la válvula solenoide de agua.

Marca	Kailing Pneumatic
Modelo	2W160-15
Material	Bronce
Conexión	Rosca hembra, 1/2" NPT (DN 15)
Presión máxima de trabajo	145 psi
Rango de temperatura	-10 – 150°C
Alimentación	110V

(Fuente: [21])



Figura 2.24. Válvula solenoide de agua.

(Fuente: [21])

- **Válvula manual de bola**

Teniendo en cuenta que la válvula solenoide de agua debe ser energizada para abrir o cerrar el paso de agua, se procede a seleccionar adicionalmente, la siguiente válvula manual de bola, para ser usada de ser necesario.

Tabla 2.19. Características de la válvula de bola.

Marca	Covna
Modelo	Flange ball valve 3PC
Material	Acero inox. SS304
Conexión	Rosca hembra, 1" NPT (DN 25)
Presión máxima de trabajo	150 psi
Rango de temperatura	-29 – 180°C

(Fuente:[22])



Figura 2.25. Válvula de bola.

(Fuente: [22])

- Válvula check

Como se especifica en el apartado PMB – 11.2 en la Ref. [18], la tubería de alimentación debe contar con una válvula de retención de diámetro igual al de la tubería, que evite el retorno de agua desde la caldera cuando el dispositivo de alimentación (bomba) no este activo provocando que no haya suficiente presión en la tubería de alimentación. Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar la siguiente válvula check.

Tabla 2.20. Características de la válvula check.

Marca	Covna
Modelo	Check valve 3PC
Material	Acero inox. SS304

Conexión	Rosca hembra, 1/2" NPT (DN 15)
Presión máxima de trabajo	235 psi
Rango de temperatura	-20 – 150°C

(Fuente: [23])



Figura 2.26. Válvula check.

(Fuente: [23])

- Filtro

Debido a que no se utilizará un sistema de tratamiento para el agua de alimentación del calderín, se procede a seleccionar el siguiente filtro, el cual servirá para atrapar cualquier partícula (suciedad y oxido), que pueda afectar el correcto funcionamiento del equipo.

Tabla 2.21. Características del filtro

Marca	Genebre
Modelo	3302N 06
Material	Cuerpo de latón. Tamiz en acero inox. SS304.
Conexión	Rosca hembra, 1" NPT (DN 25)
Presión máxima de trabajo	235 psi
Rango de temperatura	-20 – 100°C

(Fuente: [24])



Figura 2.27. Filtro
(Fuente: [24])

- Contador de agua

Considerando que el calderín es un equipo didáctico, es necesario contar con instrumentos que midan parámetros como la producción de vapor. Sin embargo, debido a su alto costo se optó por seleccionar el siguiente contador de agua, que cuenta con una precisión de medida adecuada para permitir conocer el consumo de agua del calderín, el cual puede ser correlacionado con su producción de vapor.

Tabla 2.22. Características del contador de agua.

Marca	Baylan
Modelo	VK – 6
Material	Cuerpo de bronce.
Conexión	Rosca macho, 1/2" NPT (DN 15)
Rango de caudal volumétrico	0,3 – 3 m ³ /h

(Fuente: [25])



Figura 2.28. Contador de agua.
(Fuente: [25])

El contador de agua será acoplado en la tubería proveniente de la red, justo antes de la conexión de entrada a la bomba.

2.5.2 Sistema de purgas

Esquema del sistema de purgas

En la Figura 2.29 se muestra el sistema de purgas del calderín, el cual permitirá extraer durante el mantenimiento los sedimentos acumulados en el equipo, además de servir como descarga cuando este requiera ser vaciado.

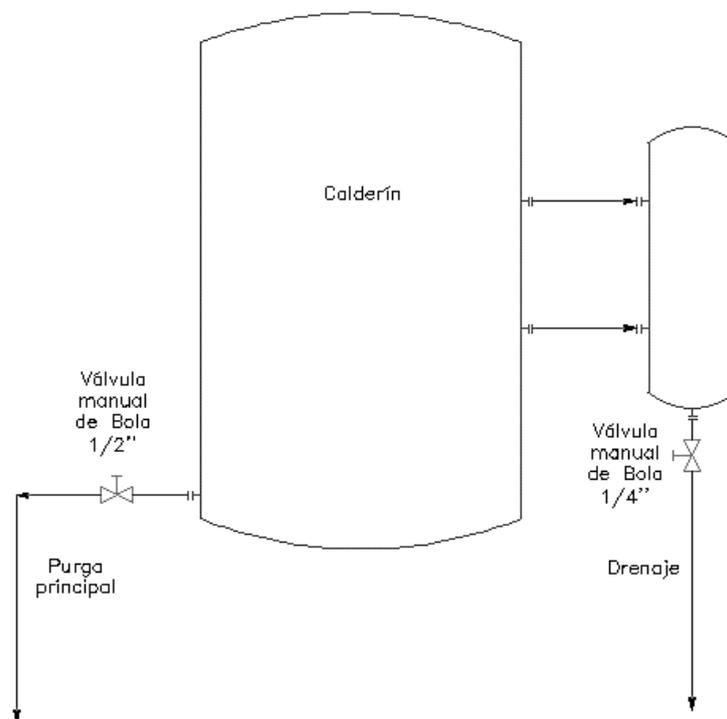


Figura 2.29. Esquema del sistema de purgas.

(Fuente: Propia)

Selección de componentes

- Tubería de purga principal

La tubería de purga principal, no ha podido ser dimensionada bajo el mismo procedimiento que la tubería del sistema de alimentación de agua, debido a que se desconoce el caudal máximo de descarga. Sin embargo, teniendo en cuenta que en el apartado PMB – 12 en la Ref. [18], se especifica que la conexión para la purga principal en calderas miniatura deben ser igual o superior a DN 15, se procede a seleccionar la siguiente tubería.

Tabla 2.23. Características de la tubería de purga principal

Material	ASTM A106-B
Cedula	Sch 40
Diámetro nominal	1/2" NPS (DN 15)

(Fuente: Propia)

Para la tubería de purga principal, al igual que para la tubería de alimentación de agua, se han seleccionado accesorios roscados de hierro negro ASTM A197 clase 150. A diferencia de la unión de hierro forjado ASTM A105 clase 3000, soldada al calderín para formar la conexión.

- Tubería de drenaje del vaso comunicante

La tubería de drenaje del vaso comunicante presenta el mismo inconveniente de dimensionamiento que la tubería de purga principal. Sin embargo, teniendo en cuenta que en el apartado PG – 60.1.6 en la Ref. [18] se especifica que la conexión para drenaje en columnas de agua e indicadores de nivel debe ser igual o superior a DN 8, se procede a seleccionar la siguiente tubería.

Tabla 2.24. Características de la tubería de purga principal

Material	ASTM A106-B
Cedula	Sch 40
Diámetro nominal	1/4" NPS (DN 8)

(Fuente: Propia)

Para la tubería de drenaje del vaso comunicante, se ha seleccionado una unión de hierro forjado ASTM A105 clase 3000, soldada al vaso comunicante para formar la conexión.

- Válvulas de bola

Como se especifica en el apartado PMB – 12 en la Ref. [18], las tuberías del sistema de purgas y drenaje deben contar con una válvula de corte de diámetro igual al de la tubería que evite la descarga cuando no se lo requiera. Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar las siguientes válvulas manuales de bola.

Tabla 2.25. Características de la válvula de bola.

Marca	Covna
Modelo	Ball valve 2 PC

Material	Acero inox. SS304
Conexión tubería de purga principal.	Rosca hembra, 1/2" NPT (DN 15)
Conexión tubería de drenaje del vaso comunicante.	Rosca hembra, 1/4" NPT (DN 8)
Presión máxima de trabajo	150 psi
Rango de temperatura	-10 – 180°C

(Fuente: [26])



Figura 2.30. Válvula de bola.

(Fuente:[26])

2.5.3 Sistema de alimentación de combustible

Esquema del sistema de alimentación de combustible

En la Figura 2.31 se muestra el sistema de alimentación de combustible del calderín, el cual será el encargado de suministrar el combustible necesario para la obtención de la fuente de calor (llama) del equipo.

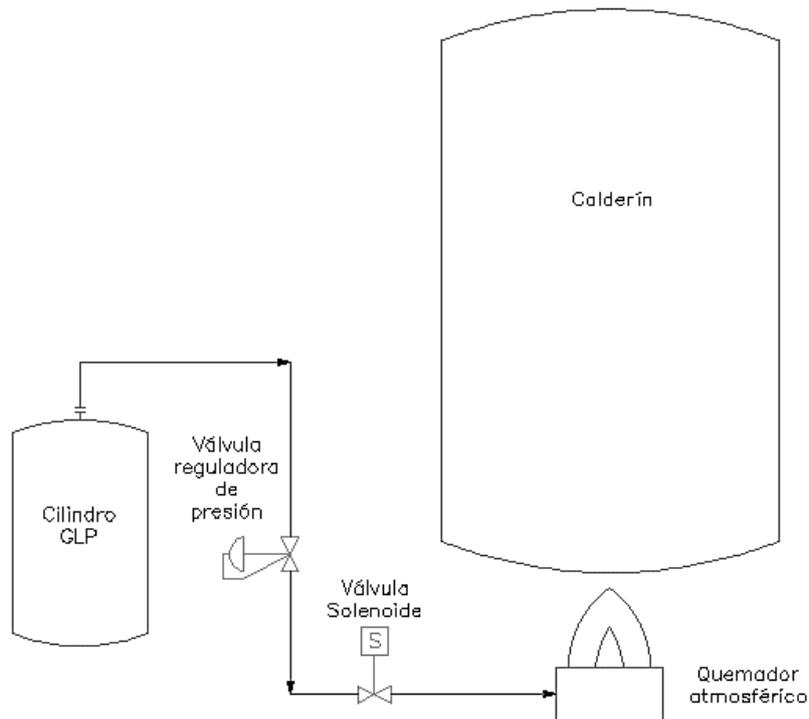


Figura 2.31. Esquema del sistema de alimentación de combustible.

(Fuente: Propia)

Selección de componentes

- Válvula reguladora de presión

Teniendo en cuenta que el GLP se encuentra comprimido dentro del cilindro, se procede a seleccionar la siguiente válvula reguladora de presión, para poder controlar el flujo de combustible en la descarga del cilindro.

Tabla 2.26. Características de la válvula reguladora de presión.

Marca	SRG
Modelo	Regulador de alta presión GLP 555
Material	Cuerpo en fundición de zinc Sello de asiento en nitrilo (EN 549). Diafragma en resina de acetil.
Conexión	20 – 22 mm
Descarga	Boquilla 5/16 para conexión de manguera
Rango de caudal másico	4 – 8 kg/h
Rango de presión de salida	0 – 2 bar

(Fuente: [27])



Figura 2.32. Válvula reguladora de presión.

(Fuente: [27])

- Manguera flexible para GLP

En función de dirigir el GLP del cilindro al quemador, se procede a seleccionar la siguiente manguera.

Tabla 2.27. Características de la válvula reguladora de presión.

Marca	Perfilplast
Material	Caucho reforzado recubierto con PVC
Diámetro interno	5/16"
Presión máxima	350 psi

(Fuente: [28])



Figura 2.33. Manguera flexible para GLP

(Fuente: [28])

- Válvula solenoide de combustible

Como se especifica en el apartado PMB – 17 en la Ref. [18], el sistema de alimentación de combustible debe contar con una válvula automática que evite el paso de combustible hacia el quemador cuando no sea necesario. Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar la siguiente válvula solenoide de combustible.

Tabla 2.28. Características de la válvula solenoide de combustible.

Marca	Kailing Pneumatic
Modelo	2W025-08
Material	Bronce
Conexión	Rosca hembra, 1/4" NPT (DN 15)
Presión máxima de trabajo	145 psi
Rango de temperatura	-10 – 150°C
Alimentación	110V

(Fuente: [29])



Figura 2.34. Válvula solenoide de combustible.

(Fuente: [29])

- Quemador atmosférico

Para la selección del quemador es necesario tener en cuenta que, para altitudes superiores a 600 m sobre el nivel del mar la potencia del quemador se verá reducida a razón de 4% por cada 300 m de altura [30], por lo que es necesario aplicar un factor de corrección sobre la potencia requerida por el calderín. Siendo así, la potencia corregida será obtenida mediante la Ecuación 2.33 y la Ecuación 2.34.

$$f = 1 - \frac{h - 600 \text{ m}}{300 \text{ m}} * (0.04)$$

(Ecuación 2.33)

$$PQ = \frac{Q_{total}}{f}$$

(Ecuación 2.34)

Donde:

f : Factor de corrección de altura.

h : Altura de Quito sobre el nivel del mar en [m].

PQ : Potencia del quemador.

Q_{total} : Calor total requerido por el calderín.

$$f = 1 - \frac{2850 \text{ m} - 600 \text{ m}}{300 \text{ m}} * (0.04) = 0.7$$

$$PQ = \frac{155820 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{0.7}$$

$$PQ = 222600 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Considerando la potencia calculada, se procede a seleccionar el siguiente quemador.

Tabla 2.29. Características del quemador radial atmosférico.

Marca	Gasmate
Modelo	GM014-008 Two Ring Burner
Material	Hierro Fundido
Conexión	Boquilla 5/16 para conexión de manguera
Potencia máxima	403.6 MJ/h
Presión de alimentación	0.5 Bar

(Fuente: [31])



Figura 2.35. Quemador radial atmosférico.

(Fuente: [31])

2.5.4 Sistema de abastecimiento de vapor.

Esquema del sistema de abastecimiento de vapor

En la Figura 2.36 se muestra el sistema de abastecimiento de vapor del calderín, el cual será el encargado de suministrar el vapor generado a los equipos que lo requieran.

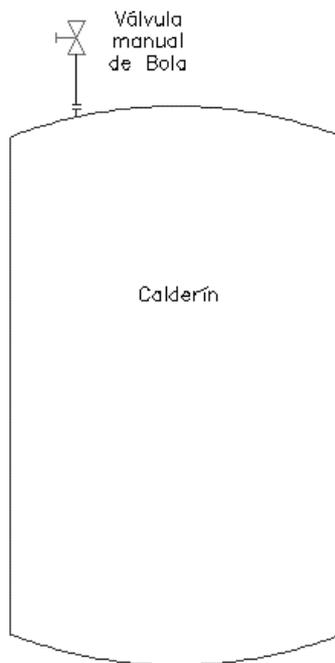


Figura 2.36. Esquema del sistema de abastecimiento de vapor.

(Fuente: Propia)

Selección de componentes

- Tubería de abastecimiento de vapor

El dimensionamiento de la tubería del sistema de abastecimiento de vapor, ha sido realizado bajo el mismo procedimiento que la tubería del sistema de alimentación de agua, utilizando el software TVL.

Siendo así se procede a introducir los datos que corresponden a el grado de la tubería seleccionada, la presión de vapor (60 psig), el caudal másico de vapor entregado (46.5 kg/h), la máxima caída de presión permitida a lo largo de la tubería (0.005 psi) teniendo en cuenta que se desea mantener la presión de vapor hasta la primera válvula de corte, y por último, la distancia entre la conexión para la descarga de vapor en el calderín y la primera válvula de corte (0.2 m).

Introducir Datos

	Unidades	SI(bar) ▼
Grado de Tubería	ANSI Sch40 ▼	
Presión de Vapor	60	psig ▼
Rango de Flujo del Vapor	46.5	kg/h ▼
Máxima Pérdida de Presión Permisible	0.005	psi ▼
Longitud de la Tubería [?]	0.2	m ▼

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Calcular

[Limpiar](#)

Resultados

Tamaño de Tubería	NPS1	
Diámetro Interno Tubería	26.6446	mm ▼
Velocidad del Vapor	8.44361	m/s ▼
Caída de Presión	0.000197267	bar ▼
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	0.2	m ▼

Figura 2.37. Dimensionamiento de la tubería de abastecimiento de vapor.

(Fuente: Propia)

De acuerdo con los resultados obtenidos, se procede a seleccionar la siguiente tubería.

Tabla 2.30. Características de la tubería de abastecimiento de vapor.

Material	ASTM A106-B
Cedula	Sch 40
Diámetro nominal	1" NPS (DN 25)

(Fuente: Propia)

Tomando en cuenta que en el apartado PMB – 14 en la Ref. [18], se especifica que los accesorios de tubería y dispositivos conectados a la caldera miniatura deben ser como mínimo de clase 150, se han seleccionado para la tubería de alimentación de agua accesorios roscados de hierro negro ASTM A197 clase 150. A diferencia de la unión de hierro forjado ASTM A105 clase 3000, soldada al calderín para formar la conexión.

- Válvula de bola

Como se especifica en el apartado PMB – 16 en la Ref. [18], la línea de vapor en las calderas miniatura debe contar con una válvula de corte de diámetro igual al de la

tubería, que evite la descarga de vapor cuando no se lo requiera, y esta debe estar ubicada lo más cerca posible del cuerpo de la caldera. Teniendo esto en cuenta se procede a seleccionar la válvula manual de bola de la Figura 2.25 con las características mostradas en la Tabla 2.19

2.6 Diseño del sistema de control

Este apartado se ha desarrollado tomando en cuenta la reglamentación descrita en la Ref. [18], así como la disponibilidad de componentes en el mercado local.

2.6.1 Control de presión

Válvula de seguridad

La válvula de seguridad es el dispositivo encargado de reducir la presión dentro de la caldera en el caso de que esta haya alcanzado el límite establecido (presión de tarado), mediante la liberación del fluido contenido.

Como se especifica en los apartados PMB – 15 y PG – 67.2 en la Ref. [18], toda caldera miniatura debe contar con una válvula de seguridad no inferior a DN 15, cuya presión de tarado sea mayor a la máxima presión de trabajo admisible (presión de diseño), pero sin sobrepasar el 106% de la presión máxima regulada en cualquiera de las válvulas.

Sabiendo que la presión de diseño del calderín es de 90 psig y que la presión máxima regulada en las demás válvulas es de 150 psi, se procede a seleccionar la siguiente válvula de seguridad.

Tabla 2.31. Características de la válvula de seguridad.

Marca	Aetv
Modelo	S10S
Material	Latón / Bronce
Conexión	Rosca macho, 3/4" NPT (DN 20)
Descarga	Rosca hembra, 3/4" NPT (DN 20)
Presión de tarado	100 psig

(Fuente: [32])



Figura 2.38. Válvula de seguridad.

(Fuente: [32])

Manómetro

El manómetro es el instrumento encargado de indicar la presión dentro de la caldera. En el apartado PG – 60.6.1 en la Ref. [18] se especifica que toda caldera debe contar con al menos uno, cuya graduación este entre 1.5 y 2 veces la presión de tarado regulada en la válvula de seguridad.

Sabiendo que la presión de trabajo del calderín es de 60 psig y que la presión de tarado regulada en la válvula de seguridad es de 100 psig, se procede a seleccionar el siguiente manómetro.

Tabla 2.32. Características del manómetro.

Marca	Genebre
Tipo	Bourdon
Material	Caja en acero inox. SS304. Tubo bourdon y racor en latón UNE-EN 12165.
Conexión	Rosca macho, 1/4" NPT (DN 8)
Rango de presión	0-150 psi
Tamaño	φ63
Clase de precisión	cl.2.5

(Fuente: [33])



Figura 2.39. Manómetro de glicerina.

(Fuente: [33])

Presostato

El presostato es el dispositivo encargado de mantener la presión de la caldera dentro del rango establecido. Para lo cual, abre o cierra el circuito eléctrico que controla la electroválvula de combustible en función de la presión censada en la caldera.

Se procede a seleccionar el siguiente presostato, el cual ha sido calibrado a una presión de 60 psi con un diferencial de 10 psig, con el fin de mantener al calderín operando a la presión de trabajo establecida.

Tabla 2.33. Características del presostato.

Marca	Fengshen
Modelo	PC10E
Conexión	Rosca macho, 1/4" NPT (DN 8)
Rango de ajuste de presión	14-145 psi (1-10 bar)
Diferencial de presión	14-43 psi (1-3 bar)
Clase de precisión	cl.2.5

(Fuente: [34])



Figura 2.40. Presostato.

(Fuente: [34])

2.6.2 Control de nivel de agua

Visor de nivel

Como se especifica en los apartados PG – 60.1.1 y PG – 60.3.4 en la Ref. [18], toda caldera con nivel de agua fijo debe contar con al menos un indicador de nivel de agua visible que esté conectado directamente a la caldera, o en su defecto a una columna de agua conectada a esta, mediante una conexión no inferior a DIN 15.

Se procede a seleccionar el siguiente visor de nivel el cual será acoplado a la columna de agua establecida en el vaso comunicante, de manera que sea capaz de mostrar el nivel máximo y mínimo de agua en el calderín.

Tabla 2.34. Características del Switch de Presión.

Marca	Apollo
Modelo	20-150
Material	Válvulas de latón con mango de aluminio Mirilla de tubo de vidrio de borosicalato
Conexión	Roscado macho, 1/2" NPT (DN 15)
Mirilla	5/8" x 12"
Presión máxima de trabajo	150 psig - 350°F 300 psig - 100°F

(Fuente: [35])



Figura 2.41. Visor de nivel.

(Fuente: [35])

Electrodos de nivel

Los electrodos de nivel son sensores conductivos que permiten controlar el nivel de agua en la calderín.

Se acoplarán 3 electros en el vaso comunicante. Uno que al detectar el agua en el nivel máximo apague la bomba; otro que al detectar que el agua ha descendido hasta un nivel establecido prenda la bomba; y adicionalmente otro para en caso de existir alguna falla que ocasione que el agua descienda por debajo del nivel mínimo, apague el quemador evitando que el calderín se quede sin agua.

Tomando todo esto en cuenta, se procede a seleccionar el siguiente tipo de electrodo de nivel.

Tabla 2.35. Características del electrodo de nivel.

Marca	Dongguan RGP Industrial Electrical
Modelo	WE – ST – G4
Material	Conexión roscada en bronce Varilla en acero inox. SS304
Conexión	Roscado macho, 1/2" NPT (DN 15)
Varilla	4,5 x 370 mm
Presión máxima	2,5 Mpa (362 psi)
Temperatura máxima	250°C

(Fuente: [36])



Figura 2.42. Electrodo de nivel.

(Fuente: [36])

La longitud de cada uno de los electrodos será modificada con el fin de fijar los niveles de máximo y mínimo de agua en el calderín a $2/3$ y $1/3$ de la altura del cuerpo cilíndrico, respectivamente, como se especifica en el apartado PMB – 13.1 en la Ref. [18]. Por otro lado, debido a que el cuerpo del vaso comunicante es metálico este pasara a actuar como el electrodo de referencia dentro del circuito.

2.6.3 Control de fuego

Módulo de ignición

Debido a que el quemador seleccionado cuenta con un encendido y apagado manual, se procede a seleccionar un módulo de ignición que vuelva la tarea automática en función de los requerimientos del calderín.

Este módulo ignición es un dispositivo conformado por un control encargado de abrir la electroválvula de combustible al mismo tiempo que establece un arco eléctrico o chispa entre los electrodos ignición, para encender el quemador. Por otro lado, entre los electrodos de ignición existe una tercera varilla encargada en detectar que el quemador se encuentre encendido, y en caso de no estarlo, envía una señal hacia el control para cerrar la válvula de combustible.

Tabla 2.36. Características del módulo de ignición.

Marca	Chonqing Haodong Technology
Modelo	HD 103
Material	Varillas en acero inox. SS304
Alimentación	110V AC

(Fuente: [37])



Figura 2.43. Módulo de ignición.

(Fuente: [37])

2.7 Construcción y montaje

En este apartado se detalla los materiales seleccionados y el proceso de construcción de cada uno de los elementos que conforma el calderín, así como también el montaje de los sistemas periféricos y de control. Para lo cual se designado la siguiente codificación.

Tabla 2.37. Equipo utilizado

Equipo utilizado	Código
Torno	TN
Taladro de mano	TM
Amoladora	AD
Corte por plasma	PC
Soldadora TIG	ST
Soldadora MIG	SM
Tronzadora	TR
Roscadora	RS
Compresor	CP
Oxicorte	OX
Roladora	RL
Prensa abombadora	PA
Motortool	MT
Corte por láser	CL
Remachadora	RH

(Fuente: Propia)

Tabla 2.38. Herramientas en la construcción y montaje

Herramienta	Código
Dados	DD
Machuelo	MC
Disco de corte	DC
Disco de desbaste	DB
Llave de pico	LP
Llave de tubo	LT
Prensa de cadena	PT
Martillo	MA
Brocas	BC

Grata	GT
Esquineros magnéticos	EM
Cuerda	CR
Alicate	EM
Pistola para pintar	PP
Destornillador	DT
Corta frío	CF

(Fuente: Propia)

Tabla 2.39. Instrumentos de medición

Instrumentos de medición	Código
Calibrador pie de rey	CA
Flexómetro	FX
Cinta métrica	CM
Escuadra	EC
Nivel	NL

(Fuente: Propia)

2.7.1 Selección de elementos normalizados

- Bomba periférica de agua de 1HP
- Válvula solenoide de agua
- Válvula solenoide de combustible
- Válvulas manuales de bola
- Válvula check
- Filtro de agua
- Contador de agua
- Válvula reguladora de presión para GLP
- Manguera flexible para GLP
- Quemador atmosférico
- Válvula de seguridad
- Manómetro
- Presostato
- Visor de nivel
- Electrodo de nivel
- Módulo de ignición

- Garruchas
- Tubería y accesorios
- Pernos
- Tuercas
- Arandelas
- Tornillos
- Remaches
- Bridas

Partes por construir y modificar

- Recipiente a presión
- Estructura metálica
- Vaso comunicante

Materia prima

- Plancha de Acero ASTM-A516 Grado 70 1220 x 2440 x 6
- Plancha de Acero ASTM-A36 1220 x 2440 x 1,4
- Plancha de Aluminio liso 1220 x 2440 x 1
- Angulo de Acero ASTM-A36 1 1/2" x 1/8"
- Tubería de Acero ASTM-A106 Grado B 1/2" Sch.40 L=6000
- Tubería de Acero ASTM-A106 Grado B 1" Sch.40 L=6000
- Tubería de Acero ASTM-A106 Grado B 3" Sch.40 L=6000
- Tubería de Acero ASTM-A106 Grado B 4" Sch.40 L=6000
- Pintura para metal plomo mate
- Carrete de Electrodo ER70s-6 1mm sólido
- Varilla de Electrodo ER70s-6 3/32"
- Lamina de asbesto 1500 x 1500 x 1/8"
- Manta de fibra cerámica aíslate 1000 x 600 x 25
- Plancha de asbesto 1500 x 1500 x 1/4"

2.7.2 Proceso de construcción

En este apartado se describirá el proceso llevado a cabo en la construcción de los siguientes elementos:

- Recipiente a presión
- Estructura metálica

- Vaso comunicante

Construcción recipiente a presión

El cuerpo cilíndrico y las tapas cóncavas se construyeron a partir de la plancha de acero ASTM-A516 Grado 70, en función de las dimensiones y especificaciones detalladas en los planos PC.301, PC.302 y PC.303 (Anexo IV). En las Tabla 2.40, Tabla 2.41 y Tabla 2.42 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.40. Proceso de construcción del cuerpo cilíndrico.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar la plancha a las medidas establecidas en los planos	OX, FX, AD, DB
2	Rolar la plancha	RL

(Fuente: Propia)



Figura 2.44. Cuerpo cilíndrico
(Fuente: Propia)

Tabla 2.41. Proceso de construcción de tapas cóncavas

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar la plancha a las medidas establecidas en los planos para formar 2 discos planos	OX, FX, AD, DB
2	Deformar los discos planos hasta convertirlos en tapas cóncavas	PA, AD, DB

(Fuente: Propia)



Figura 2.45. Tapa cóncava
(Fuente: Propia)

Tabla 2.42. Proceso de construcción del recipiente a presión

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Biselar los bordes del cuerpo cilíndrico y las tapas cóncavas	AD, DB
2	Soldar el cuerpo cilíndrico (3 pases)	ST, NL, TM, GT
3	Soldar tapas al cuerpo cilíndrico (3 pases)	ST, TM, GT
4	Perforar el recipiente a presión para las conexiones	PC, MT, FX, CM
5	Soldar las tuberías y accesorios normalizados para las conexiones respectivas como indica el plano PC.003 (2 pases)	ST, FX, NL, TM, GT

(Fuente: Propia)



Figura 2.46. Construcción del recipiente a presión
(Fuente: Propia)

Construcción vaso comunicante

El vaso comunicante se construyó a partir de la tubería de acero ASTM-A106 Grado B, el accesorio para soldar de acero ASTM-A234WPB y las bridas de acero ASTM-A105, en función a las dimensiones y especificaciones detalladas en los planos PC.005, PC.501, PC.502 y PC.503 (Anexo IV). En las Tabla 2.43, Tabla 2.44 y Tabla 2.45 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.43. Proceso de construcción del cuerpo del vaso comunicante.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar la tubería a la medida establecida en el plano.	TR, FX, AD, DB
2	Perforar el cuerpo del vaso comunicante para las conexiones	PC, MT, FX, CM
3	Perforar la tapa de ASTM-A234WPB para la conexión respectiva	PC, MT, FX, CM

(Fuente: Propia)



Figura 2.47. Cuerpo del vaso comunicante
(Fuente: Propia)

Tabla 2.44. Proceso de construcción de brida ciega.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Perforar la brida para las conexiones respectivas	TN, BC, CA
2	Roscar los agujeros maquinados previamente	TN, MC

(Fuente: Propia)



Figura 2.48. Brida ciega
(Fuente: Propia)

Tabla 2.45. Proceso de construcción del vaso comunicante.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Biselar los bordes del cuerpo del vaso comunicante, tapa y brida con cuello	AD, DB
2	Soldar la tapa y brida con cuello al cuerpo del vaso comunicante (3 pases)	ST, PT, NL, TM, GT
3	Soldar los accesorios para las conexiones respectivas como indica el plano PC.005	ST, PT, NL, TM, GT

(Fuente: Propia)



Figura 2.49. Construcción del vaso comunicante
(Fuente: Propia)

Construcción estructura

La estructura se construyó a partir de perfiles de acero ASTM-A36, en función a las dimensiones y especificaciones detalladas en los planos PC.002, PC.201 - PC.209 (Anexo IV). En la Tabla 2.46 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.46. Proceso de construcción del cuerpo del vaso comunicante.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar los perfiles a las medidas establecidas en los planos PC.201 – PC.209	TR, FX, AD, DB
2	Soldar los perfiles y garruchas en función al plano PC.002	SM, FX, EC, NL, EM,
3	Perforar los perfiles indicados en el plano para la sujeción de elementos.	TM, BC, AD, DB

(Fuente: Propia)



Figura 2.50. Estructura
(Fuente: Propia)

Construcciones cubiertas, detectores y lunas

Los elementos fueron construidos a partir de planchas de acero ASTM-A36 y Aluminio liso, en función a las dimensiones y especificaciones detalladas en los planos PC.006 – PC.009, PC.401 – PC.403 (Anexo IV). En la Tabla 2.46 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.47. Proceso de construcción de cubierta, deflectores y lunas.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar las planchas de aluminio y acero ASTM-A36 para generar las lunas, deflectores y cubiertas, en función a los planos	CL, FX, CA

(Fuente: Propia)



Figura 2.51. Deflectores
(Fuente: Propia)

Montaje del calderín

Una vez construido todos los elementos no normalizados, se procede a realizar el montaje del calderín, en función a los planos PC.001 y PC.004 (Anexo IV). En las Tabla 2.48, Tabla 2.49 y Tabla 2.50 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.48. Proceso de montaje del calderín parte 1.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Maquinar las superficies previas a la soldadura indicadas en el plano PC.004	AD, DB
2	Soldar el recipiente a presión a la estructura	SM, FX, NL
3	Acoplar el vaso comunicante al recipiente a presión mediante la tubería y accesorios normalizados	LP, LT

(Fuente: Propia)



Figura 2.52. Montaje del calderín parte 1.
(Fuente: Propia)

Tabla 2.49. Proceso de montaje del calderín parte 2.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Soldar los deflectores al recipiente a presión	SM, FX, NL, EM
2	Pintar las superficies con pintura anticorrosiva gris mate	CP, PP



Figura 2.53. Montaje del calderín parte 2
(Fuente: Propia)

Tabla 2.50. Proceso de montaje del calderín parte 3.

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Soldar la cubierta de acero recubriendo los deflectores.	SM, FX, NL
	Soldar la tubería de escape de gases	SM, FX, NL
2	Colocar la manta de fibra cerámica aislante sobre la cubierta de acero.	AE

3	Colocar y fijar la cubierta externa, lunas y tapa superior de aluminio, mediante remaches pop.	CR, RH, CM
---	--	------------

(Fuente: Propia)



Figura 2.54. Montaje del calderín parte 3.
(Fuente: Propia)

Montaje de sistemas periféricos

Al haber montado toda la estructura del calderín se procede a realizar el montaje de los elementos y conexiones normalizadas, en función al plano PC.001 (Anexo IV). En la Tabla 2.51 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.51. Proceso de montaje de sistemas periféricos

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Cortar y roscar la tubería de 1" y ½", en función a las dimensiones establecidas en el plano PC.001	TR, RS, FX
2	Acoplar válvulas, accesorios y tuberías normalizadas para el sistema de alimentación de agua y purgas	LP, LT
3	Acoplar la bomba de alimentación de agua	LP, LT
4	Acoplar el quemador	DT

5	Acoplar válvulas, accesorios y mangueras para el sistema de alimentación de combustible	LP, DT
---	---	--------

(Fuente: Propia)



Figura 2.55. Montaje de sistemas periféricos.
(Fuente: Propia)

Montaje de sistema de control

Una vez montado todos los sistemas periféricos se procede a instalar el sistema de control como se muestra en los planos PC.010 y PC.011 (Anexo IV). En la Tabla 2.52 se detalla el proceso realizado.

Tabla 2.52. Proceso de montaje de sistemas periféricos

N°	Proceso	Equipos, herramienta, instrumento
1	Acoplar instrumentos, accesorios y tubería normalizada para el sistema de control	LP, LT
2	Generar las conexiones necesarias para los instrumentos de control	EM, CF, DT
3	Armar el panel de control en función del plano PC.010	EM, CF, DT
4	Colocar la conexión para la alimentación de energía eléctrica	EM, CF, DT

(Fuente: Propia)



Figura 2.56. Montaje del sistema de control
(Fuente: Propia)

Montaje final

Finalmente se procede a realizar la instalación y puesta a punto del equipo en las instalaciones del Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional.



Figura 2.57. Calderín
(Fuente: Propia)

2.8 Protocolo de pruebas

2.8.1 Prueba hidrostática

Como se especifica en el apartado PMB – 21 en la Ref. [18], las calderas miniaturas junto con su tubería exterior deben ser sometidas a una prueba hidrostática en la cual la presión de prueba debe ser igual o mayor a 1,5 veces la máxima presión admisible a la que fue diseñado el recipiente a presión; y la temperatura de los elementos sometidos a la prueba igual o mayor a 15°C.

Teniendo en cuenta que el recipiente a presión fue diseñado a 90 psig, se optó por realizar la prueba hidrostática a una presión de 135 psig, con agua limpia proveniente de la red a 15°C.

Durante los primeros minutos de la prueba se mantuvo la válvula de la tubería de abastecimiento de vapor abierta, hasta que todo el aire desalojó el sistema. Luego de ello se cerró la válvula y se presurizó hasta llegar a la presión de prueba, la cual se mantuvo durante un tiempo de 2 horas. Después de comprobar que no existían ningún tipo de fugas a lo largo de las soldaduras, uniones roscadas o bridas, se procedió a descargar el agua mediante la tubería de purga principal hasta llegar a la presión de diseño, la cual se mantuvo durante otra hora. Luego de comprobar que de igual forma no existían fugas, se descargó totalmente al sistema, finalizando así la prueba.



Figura 2.58. Prueba hidrostática.
(Fuente: Prueba)

2.8.2 Prueba sistema de alimentación de agua

La prueba de este sistema, inició verificando que las válvulas se encontraran posicionadas para permitir el paso del agua, y que el sentido de giro de la bomba fuera el correcto. Luego de esto se procedió a encender la bomba con ayuda del control de

nivel, alimentando de esta manera al calderín, hasta el momento en que se detectó el nivel máximo de agua y por acción del control de nivel se apagó la bomba.

Durante esta prueba se pudo verificar que no existen fugas a lo largo de la tubería y que el sistema es capaz de alimentar al calderín de forma adecuada.

2.8.3 Prueba sistema de alimentación de combustible

La prueba de este sistema, inicio verificando que la válvula reguladora de GLP se encontrara posicionada para permitir el paso de combustible y que estuviese regulada para suministrar GLP a 0.5 bar. Luego de esto, a encender el quemador con ayuda del control de fuego, demostrando que así que existe alimentación de combustible.

Aprovechando que el quemador se encontraba encendido se procedió a regular el flujo de aire y combustible a la entrada del quemador, con el fin de alcanzar una combustión completa, basándose en la coloración de la llama.

Durante esta prueba se pudo verificar que no existen fugas a lo largo de la tubería y que el sistema es capaz de alimentar al quemador de forma adecuada, permitiendo obtener una llama fuerte de color azul.

2.8.4 Prueba sistema de purgas

Para la prueba de este sistema, se encendió el calderín hasta que alcanzo su presión de trabajo. Luego de esto se movilizó al equipo hasta un lugar donde la descarga fuera segura y se procedió a abrir tanto la válvula de la tubería de purga, como la válvula de drenaje del vaso comunicante.

Durante esta prueba se pudo verificar que no existen fugas a lo largo de las tuberías y que el sistema es capaz de purgar adecuadamente al calderín, siempre y cuando este se encuentre cargado a su presión de trabajo.

2.8.5 Prueba sistema de abastecimiento de vapor

Para la prueba de este sistema, se encendió el calderín hasta que alcanzo su presión de trabajo. Luego de esto se procedió a abrir la válvula del sistema permitiendo el paso de vapor hacia el equipo conectado. El sensor de su sistema de alimentación abrió la válvula solenoide, demostrando que detecto el vapor.

Durante esta prueba se pudo verificar que no existen fugas a lo largo de la tubería y que el sistema es capaz abastecer de vapor al equipo conectado.

2.8.6 Prueba sistema de control

Antes de iniciar con la prueba de este sistema, se desconectó un momento el control de fuego mientras se alimentaba al calderín hasta un nivel por debajo del mínimo.

Para la prueba de control de nivel, se procedió a encender el calderín, este al detectar un nivel por debajo del mínimo encendió la bomba hasta que uno de los electrodos detectó que el agua llegó al nivel máximo, haciendo que el control apagara la bomba.

Para la prueba de control de presión, se esperó hasta que el calderín alcanzara la presión de trabajo. Una vez sucedido, se pudo observar cómo se apagó automáticamente el quemador. Luego de esto, se esperó hasta que la presión en el calderín descendiera lo suficiente haciendo que el quemado se encienda nuevamente.

Para la prueba de control de fuego, se desconectó a la bomba y se procedió a descargar el calderín mientras este seguía encendido. Cuando el electrodo de seguridad detectó un nivel de agua inferior al establecido envió la señal y el control de fuego apagó el quemador.

2.9 Análisis de costos

Para este apartado se han considerado los costos incurridos en la construcción del recipiente a presión, vaso comunicante, estructura, cubiertas, deflectores y lunas; el ensamble del calderín; el montaje de los sistemas periféricos y de control; y la conexión realizada para la toma de agua de red. Los cuales han sido desarrollados más detalladamente en el Anexo III.

Teniendo en cuenta esto, a continuación, se muestran los costos totales del equipo.

Tabla 2.53. Costos totales del equipo.

Especificaciones	USD
Costo de construcción del recipiente a presión	467,29
Costo de construcción del vaso comunicante	320,99
Costo de construcción de la estructura	167,35
Costo de construcción de las cubiertas, deflectores y lunas	203,36
Costo de ensamble del calderín	257,62
Costo de montaje de los sistemas periféricos	447,30
Costo de montaje del sistema de control	752,27
Costo de la conexión para la toma de agua de red	44,16
Subtotal	2660,33
Costos indirectos	80,00
Costos de instalación	40,00
Costo Total	2780,33

(Fuente: Propia)

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Eficiencia real del calderín

Durante una de las primeras operaciones del calderín se procedió a cuantificar el combustible consumido desde que se encendió el quemador con el calderín lleno de agua a temperatura ambiente, hasta que llegó por primera vez a la presión de trabajo y se apagó el quemador, obteniéndose los datos mostrados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Datos medidos durante una operación normal del calderín.

Combustible consumido	0,85 kg
Masa de agua a evaporar (calderín lleno)	55,12 kg

(Fuente: Propia)

Teniendo en cuenta que durante la operación descrita anteriormente no toda la masa de agua llegó a evaporarse, es necesario calcular qué porcentaje de esta que se evaporó, con el fin de conocer cuánta energía en forma de calor fue aprovechada.

Este porcentaje de agua evaporada corresponde a la calidad del fluido (mezcla) dentro de la caldera cuando esta llega a la presión de trabajo, la cual se procede a calcular mediante la Ecuación 3.1 y la Ecuación 3.2.

$$x = \frac{(v_{fg}@P_w - v_f@P_w)}{v_g@P_w}$$

(Ecuación 3.1)

$$v_{fg}@P_w = \frac{V_{calderin}}{m_{H2O}}$$

(Ecuación 3.2)

Donde:

$v_{fg}@P_w$: Volumen específico del fluido (mezcla) a la presión de trabajo.

$v_f@P_w$: Volumen específico del fluido (líquido) a la presión de trabajo.

$v_g@P_w$: Volumen específico del fluido (vapor) a la presión de trabajo.

$V_{calderin}$: Volumen interno del calderín.

m_{H2O} : masa de agua a ser evaporada.

$$v_f@P_w = 0,0011 \frac{m^3}{kg}$$

$$v_g@P_w = 0,3852 \frac{m^3}{kg}$$

$V_{calderin} = 0,0743 m^3$; Calculado a partir del modelo elaborado en Autodesk inventor.

$$v_{fg}@P_w = \frac{0,0743 m^3}{55,12 kg} = 0,0013 \frac{m^3}{kg}$$

$$x = \frac{\left(0,0013 \frac{m^3}{kg} - 0,0011 \frac{m^3}{kg}\right)}{0,3852 \frac{m^3}{kg}}$$

$$\therefore x = 6,66 * 10^{-4}$$

La calidad obtenida muestra que durante esta operación únicamente el 0.06% del agua logro evaporarse.

Conociendo el consumo de combustible y la masa de agua que se calienta y evapora, se procede a calcular la eficiencia real del calderín en base al método directo, mediante la Ecuación 2.4, Ecuación 2.8 y Ecuación 2.9.

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{Total}}}$$

(Ecuación 2.4)

$$Q_{\text{útil}} = m_{H_2O} * C_{p_{H_2O}} * (T_{\text{sat}} - T_{\text{win}}) + x * m_{H_2O} * (h_g@T_{\text{sat}} - h_f@T_{\text{sat}})$$

(Ecuación 2.8)

$$Q_{\text{Total}} = m_{\text{comb}} * PCI_{GLP}$$

(Ecuación 2.9)

Donde:

η : Eficiencia real del calderín.

$Q_{\text{útil}}$: Calor útil.

Q_{Total} : Calor total

$h_f @T_{\text{sat}}$: Entalpia del fluido (líquido) a la temperatura de saturación.

$h_g @T_{\text{sat}}$: Entalpia del fluido (vapor) a la temperatura de saturación.

T_{sat} : Temperatura de saturación de agua a la presión de operación.

T_{win} : Temperatura del agua de alimentación.

$C_{p_{H_2O}}$: Calor específico del agua.

PCI_{GLP} : Poder calorífico del GLP.

m_{comb} : Masa de combustible consumido.

$$C_{p_{H_2O}} = 4,18 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_f @ T_{sat} = 635,45 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$h_g @ T_{sat} = 2746,8 \frac{kJ}{kg * K}$$

$$T_{sat} = 150,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{win} = 15^\circ\text{C}$$

$$PCI_{GLP} = 45343,04 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{\acute{u}til} = m_{H_2O} * \left(C_{p_{H_2O}} * (T_{sat} - T_{win}) + x * (h_g @ T_{sat} - h_f @ T_{sat}) \right)$$

$$Q_{\acute{u}til} = 55,12 \text{ kg} * \left(\begin{array}{l} 4,18 \frac{kJ}{kg * K} * (150,74 \text{ } ^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) + \\ 6,66 * 10^{-4} * \left(2746,8 \frac{kJ}{kg * K} - 635,45 \frac{kJ}{kg * K} \right) \end{array} \right) = 31543 \text{ kJ}$$

$$Q_{Total} = 0,85 \text{ kg} * 45343,04 \frac{kJ}{kg} = 3,8542 \text{ kJ}$$

$$\eta = \frac{31543 \text{ kJ}}{3,8542 \text{ kJ}}$$

$$\therefore \eta = 0,8184$$

3.1.2 Calor real cedido por los gases

En la misma operación del calderín descrita en el apartado anterior, se procedió a medir la temperatura de los gases de combustión a la salida de la chimenea, la cual resulto se de 215°C.

Teniendo en cuenta el consumo de combustible medido previamente, es posible calcular la masa de gases de combustión mediante la Ecuación 2.15 y la Ecuación 2.16.

$$m_{gas} = m_{aire} + m_{comb}$$

(Ecuación 2.15)

$$m_{aire} = AC_{exceso} * m_{comb}$$

(Ecuación 2.16)

Donde:

m_{aire} : Caudal másico de aire necesario para la combustión.

AC_{exceso} : Relación aire/combustible del GLP para la mezcla con 20% de exceso de aire.

$$AC_{exceso} = 18,87$$

$$m_{aire} = 18,87 * 0,85 \text{ kg} = 15,94 \text{ kg}$$

$$m_{gas} = 15,94 \text{ kg} + 0,85 \text{ kg}$$

$$\therefore m_{gas} = 16,79 \text{ kg}$$

Conociendo la masa de gases de combustión, la temperatura de los gases a la salida de la chimenea y que la temperatura de los gases a la entrada del intercambiador puede ser aproximada a la temperatura de llama adiabática, se procede a calcular el calor transferido por los gases mediante la

$$Q_{gases} = m_{gas} * Cp_{gas} * (T_g - T_{gout})$$

(Ecuación 3.3)

Donde:

Cp_{gas} : Calor específico de los gases de combustión (gas ideal).

T_g : Temperatura de los gases a la entrada del intercambiador (temperatura de la llama adiabática).

T_{gout} : Temperatura de los gases a la salida de la chimenea.

$$Cp_{gas} = 1200,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$T_g = 1852,76 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{gout} = 215 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{gases} = 16,79 \text{ kg} * 1200,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (1852,76 \text{ }^\circ\text{C} - 215 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{gases} = 33035 \text{ kJ}$$

Suponiendo que todo el calor cedido por los gases es calor útil se tiene que la eficiencia del calderín sería.

$$\eta = \frac{33035 \text{ kJ}}{3,8542 \text{ kJ}}$$

$$\therefore \eta = 0.8571$$

3.2 Discusión

El equipo construido permite generar vapor a una presión de 60 psig, presión seteada en el presostato, el tiempo transcurrido para la generación de vapor a esta presión es de 40 minutos con un consumo de 0.85 kg de combustible. Además, en el apartado de la prueba hidrostática se evidenció que el equipo puede llegar sin dificultad a una presión de 135 psig. Teniendo en cuenta esta consideración, el régimen al cual puede operar la caldera cumple con las recomendaciones y requisitos del código ASME para que un equipo sea considerado como una minicaldera.

Una vez obtenido los datos de la operación del equipo se obtuvo que la eficiencia real del calderín resulto ser 81.84%, la cual es muy cercana a la asumida inicialmente, por lo que se deduce que el calderín será capaz de cumplir con la producción de vapor requerida a las condiciones establecidas.

Sabiendo que el calor transferido por los gases es de 33035 kJ y que el calor útil únicamente es de 31543 kJ, se tiene que 1492 kJ se están siendo transferidos en forma de pérdidas al ambiente, esto sin contar el resto de pérdidas del sistema.

Las dimensiones delimitantes y peso del calderín son 1,258 x 2,306 x 0,878 [m] y 114 kg respectivamente, las cuales cumplen con las dimensiones establecidas por el Código ASME. Dichas dimensiones a su vez se acoplan al área de trabajo que se dispuso para la instalación del equipo en el Laboratorio de Transferencia de Calor de la EPN.

Finalmente, el calderín tuvo un costo de \$2780,33 el cual a pesar de ser elevado se encuentra considerablemente por debajo de equipos similares en el mercado cuyos precios rondan entre \$5000 - \$7000, lo cual indica que el equipo construido genera un ahorro del 39% del precio comercial. Como se observa en el apartado de costos el sistema de control representó el rubro más alto en el proyecto con un 27.05% del coste final.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó un calderín en base a los requerimientos del Laboratorio de Transferencia de Calor de la Escuela Politécnica Nacional. Con un costo total que asciende a \$ 2780.33. Para lo cual se siguieron las reglas del código ASME para calderas y recipientes a presión.

Las posibles soluciones fueron formuladas en base a la información referente a tipos de calderas, aplicaciones en la industria y disponibilidad de equipos en el mercado. Y mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados se seleccionó la opción óptima para las necesidades del laboratorio.

Mediante el diseño térmico se determinó el área efectiva de transferencia de calor basándose únicamente en el mecanismo de ebullición nucleada. Esto debido a la falta de una correlación térmica para la configuración del calderín, la cual concuerda con un cilindro concéntrico con deflectores radiales en su sección anular, por donde circulan los gases de combustión.

Con la ayuda del software Autodesk INVENTOR 2020 se generó un modelo 3D de la solución propuesta. Hecho lo anterior se generó los planos de conjunto, subconjunto, de taller, de instrumentación y control. Los cuales representan las dimensiones, procesos e instrucciones a seguir en la construcción y montaje del equipo.

Con el equipo construido se realizaron pruebas en campo para validar el funcionamiento de los sistemas periféricos y de control. Corroborando de esta forma la inexistencia de fugas, y el correcto funcionamiento de los dispositivos. Permitiendo que el equipo opere bajo los requerimientos de potencia, presión y nivel de agua, establecidos inicialmente.

Con el equipo operando normalmente se tomaron datos de consumo de combustible, producción de vapor y temperatura de los gases de combustión a la salida de la chimenea. Mediante los cuales se determinó que la eficiencia real del calderín ronda el 81,84%. Demostrando en definitiva que se encuentra por encima de equipos similares en el mercado.

4.2 Recomendaciones

El equipo debe operar dentro de los límites establecidos para evitar así accidentes y averías en accesorios e instrumentos de medición. Con lo cual se prevé extender la vida útil del equipo.

Es importante purgar al equipo al menos una vez por semana con la finalidad de evitar la acumulación de sedimentos. Ya que estos sedimentos con el tiempo generan incrustaciones que disminuirán la eficiencia térmica del equipo. Además, tener presente que la purga principal del recipiente a presión debe ser realizada a la presión de trabajo. Mientras que la purga del vaso comunicante puede realizarse a la presión atmosférica.

Tener presente que al terminar la operación del equipo se debe cerrar válvulas de combustible y agua de alimentación. Debido a que, una vez apagado el equipo el sistema de control deja de operar y podría generar fugas de combustible e inundaciones en el recipiente.

Tomar precauciones con zonas calientes como son las cubiertas de aluminio, tubo de escape de gases, vaso comunicante y tubería de purga. Debido a que son elementos que no cuentan con recubrimiento térmico, por lo que se encuentran a altas temperaturas. De igual manera evitar la manipulación de los electrodos y visor de nivel debido que son instrumentos sensibles e indispensables para el control del equipo.

Asegurarse que ningún objeto bloquee el panel de control debido a que es un medio que nos permite observar el correcto funcionamiento del calderín. Además, que en el panel de control se ubica el botón de parada de emergencia. El cual deberá ser accionado de presentarse algún anomalía o situación que ponga en riesgo la vida del equipo y los usuarios.

Si el calderín permanecerá en desuso por un largo periodo de tiempo es necesario asegurarse que el recipiente sea vaciado por completo. Lo cual disminuirá problemas ocasionados por el agua de alimentación no tratada. Además, es importante analizar la factibilidad de implementar un sistema de tratamiento de agua para evitar incrustaciones, depósitos y corrosión en el equipo.

Referencias Bibliográficas

- [1] Borroto y A. Rubio, «Combustión y Generación de Vapor. Cienfuegos». Editorial UNIVERSO SUR, 2007.
- [2] TVL, «Aplicaciones Principales para el vapor de agua». Compañía Especialista en Vapor. Online Available: <https://www.tlv.com/global/LA/steam-theory/principal-applications-for-steam.html>
- [3] A. L. Kohan, *Manual de calderas: principios operativos de mantenimiento, construcción, instalación, reparación, seguridad, requerimientos y normativas*. Mcgraw-Hill Interamericana de España, S.A.U., 2000.
- [4] W. H. S. and H. E. D. and J. C. Miles, *Energía mediante vapor, aire o gas*, 5ta ed. España: Reverte S.A., 1982.
- [5] A. L. Kohan, *Boiler Operator's Guide*, 5.^a ed. McGraw-Hill Education, 2021.
- [6] S. D. A. MANUEL y P. M. ROSARIO M^a, *Manual práctico del operador de calderas industriales*. Ediciones Paraninfo, S.A., 2014.
- [7] Climate- Data, Clima Quito: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Quito [Online]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-pichincha/quito-1012/>
- [8] EMAPS, Resumen de la calidad del agua en las redes de Distribución del Distrito Metropolitano de Quito. 2012. [Online]. Available: <https://www.aguaquito.gob.ec/sites/default/files/documentos/calidaddelaguadic2012.pdf>
- [9] Spirax Sarco, Controles de Nivel Modulantes para calderas de vapor, SB-P402-02. 2004. [Online]. Available: www.SpiraxSarco.com/es
- [10] ENI Ecuador, GLP uso doméstico e industrial, *GLP*. [Online]. Available: <https://www.eniecuador.ec/productos-domesticos-e-industriales/glp-uso-domestico-e-industrial/>
- [11] I. B. Noguera, ¿Qué es el gasoil?, *Ingeniería Química Reviews*. [Online]. Available: <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/05/gasoil-diesel.html>
- [12] F. Ameghino, Quemadores Radiales. American Burners. [Online]. Available: <https://rubcar-borghini.com.ar/assets/catradales.pdf>
- [13] Fricaval, Quemadores Industriales a Gas FL 30, [Online]. Available: <http://fricaval89.com/productos/quemadores-industriales/gas/FL-30-calderas.html>
- [14] Intelservice SAS, Quemadores Industriales. [Online]. Available: <https://www.intelservice.com.co/quemadores/>
- [15] Fulton, Classic™ Steam, *Fulton*, 2020. [Online]. Available: <https://www.fulton.com/products/classic/>
- [16] LojaGas, Hoja de Seguridad del Gas Licuado de Petróleo, *LojaGas*, 2012.
- [17] C. R. Rubio Ramírez, G. A. Martheyn Lizarazo, H. A. Rolón Ortiz, y L. E. Vera Duarte, Modelo de transferencia de calor por ebullición de una caldera horizontal de 10BHP, *Inf. Téc.*, vol. 82, n.º 2, p. 134, 2018, doi: 10.23850/22565035.1138.
- [18] ASME, Reglas para la Construcción de Calderas de Potencia, *Código ASME Para Calderas Recip. Presion*, 2010.
- [19] ASME, Materiales, *Código ASME Para Calderas Recip. Presion*, vol. II Parte D, 2019.
- [20] Lyon Pumps staff, Bombas periféricas, *Lyon Pumps*. Lyon Pumps.
- [21] KAILING PNEUMATIC staff, 2/2 Way Direct Acting Solenoid Valve, ZG3/8"-ZG2", *KAILING PNEUMATIC*. KAILING PNEUMATIC.

- [22] COVNA staff, 1000WOG 3PC Type Ball Valve with Internal Thread (WCB, CF8C CF8M), *COVNA*. [Online]. Available: <https://www.covnagroup.com/wp-content/uploads/2020/09/3pc-female-thread-ball-valve-1.jpg>
- [23] COVNA staff, Swing Type Check Valve (Non Return Valve), *COVNA*. [Online]. <https://www.covnagroup.com/wp-content/uploads/2020/01/COVNA-Swing-Type-Check-Valve-Specification.pdf>
- [24] GENE BRE staff, Filtro colador tipo Y en latón, *GENEBRE*, 30 de septiembre de 2020. [Online]. Available: https://pim.genebre.es/genebre/documents/fichas_tecnicas/3302N.pdf ().
- [25] DITECNIA staff, Medidor Volumétrico Baylan, *DITECNIA Distribuidora Técnica Asociada*. [Online]. Available: <https://www.ditecna.com.ec/wp-content/uploads/2020/08/MEDIDOR-VOLUMETRICO.pdf>
- [26] COVNA staff, 2-PC Ball Valve Thread End, *COVNA*. [Online]. Available: <https://www.covnagroup.com/wp-content/uploads/2020/09/2pc-female-thread-ball-valve.pdf>
- [27] ROTAREX SRG staff, Compact Regulator for portable LPG tanks - High Pressure, *ROTAREX SRG*. ROTAREX SRG.
- [28] KYWI staff, MANGUERA GAS GLP/AIRE , *KYWI*. [Online]. Available: <https://kywitiendaenlinea.com/product/manguera-gas-glp-aire-5-16-265psi-c-m/>
- [29] KAILING PNEUMATIC staff, 2/2 Way direct Acting Selenoid Valve, ZG1/8" - ZG3/8", *KAILING PNEUMATIC*. KAILING PNEUMATIC.
- [30] American Gas Association, National Fuel Gas Code, *NFPA 54*, 1999.
- [31] Gasmate staff, Cast Iron Ring Burners, *Gasmate*. [Online]. Available: https://www.gasmate.co.nz/documents/GM014-008_Gasmate-Two_Ring-Burner_Instructions_web.pdf
- [32] Aetv staff, Adjustable Overflow Valve S10S, *Aetv Industrial Limited*. [Online]. Available: http://www.aetvalve.com/page103?_l=en&product_id=214.
- [33] GENE BRE staff, Manómetro Ø63 con glicerina, salida inferior, rosca NPT, *GENEBRE*. [Online]. Available: https://pim.genebre.es/genebre/documents/fichas_tecnicas/3822N.pdf
- [34] FENSHEN staff, PRESSURE CONTROLS, *FENSHEN Products Catalogue*.
- [35] Apollo Valves staff, 20-100/200/300 Series Water Gauge, *Apollo Valves Submitt. Sheet*, n.º 704, pp. 1-2.
- [36] DONGGUAN RGP INDUSTRIAL ELECTRICAL staff, Sonda de nivel de agua, *DONGGUAN RGP INDUSTRIAL ELECTRICAL*. [Online]. Available: http://www.jhfzdh.com/products_983.html
- [37] Chongqing Haodong Technology staff, Automatically Ignition Spark Electric Pulse Igniter 220/110VAC, *Alibaba*. [Online]. Available: <https://www.alibaba.com/product-detail/Automatically-ignition-spark-Electric-pulse->

Anexos

Anexo I

Tablas de las ponderaciones de cada criterio y cada módulo

Módulo 1

Tabla A. 1. Evaluación del peso específico de cada criterio.

Costo > montaje > vida útil					
Criterio	Costo	Montaje	Vida útil	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	3	0.5
Montaje	0		1	2	0.33
Vida útil	0	0		1	0.16
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 2. Evaluación del peso específico del criterio bajo costo de los equipos.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
			3	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 3. Evaluación del peso específico del criterio vida útil de los equipos.

Alternativa 2 > Alternativa 1				
Criterio	Alternativa 2	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 2		1	2	0.66
Alternativa 1	0		1	0.33
			3	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 4. Evaluación del peso específico del criterio fácil montaje.

Alternativa 1 > Alternativa 2				
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0.66
Alternativa 2	0		1	0.33
			3	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 5. Conclusiones de la evaluación – Módulo 1

Conclusión	Costo	Montaje	Vida útil	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.5 * 0.66	0.33*0.66	0.16*0.66		
Alternativa 2	0.5 * 0.33	0.33*0.33	0.16*0.33		

(Fuente: Propia)

Módulo 2

Tabla A. 6. Evaluación del peso específico de cada criterio.

	Costo > Eficiencia > Espacio = Montaje					
Criterio	Costo	Eficiencia	Espacio	Montaje	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0.4
Eficiencia	0		1	1	3	0.3
Espacio	0	0		0.5	1.5	0.15
Montaje	0	0	0.5		1.5	0.15
					10	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 7. Evaluación del peso específico del criterio bajo costo de adquisición.

	Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3				
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.25
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 8. Evaluación del peso específico del criterio mayor eficiencia.

	Alternativa 3 > Alternativa 2 > Alternativa 1				
Criterio	Alternativa 3	Alternativa 2	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 3		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		1	2	0.33
Alternativa 1	0	0		1	0.16
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 9. Evaluación del peso específico del criterio menor espacio.

	Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3				
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.25
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 10. Evaluación del peso específico del criterio montaje del equipo.

	Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3				
Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.25
Alternativa 3	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 11. Conclusiones de la evaluación – Módulo 2

Conclusión	Costo	Eficiencia	Espacio	Montaje	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.4*0.5	0.3*0.16	0.15*0.5	0.15*0.5		
Alternativa 2	0.4*0.25	0.3*0.33	0.15*0.25	0.15*0.25		
Alternativa 3	0.4*0.25	0.3*0.5	0.15*0.25	0.15*0.25		

(Fuente: Propia)

Módulo 3

Tabla A. 12. Evaluación del peso específico de cada criterio.

	Costo > Fabricación > Eficiencia > Compacto					
Criterio	Costo	Fabricación	Eficiencia	Compacto	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0.4
Fabricación	0		1	1	3	0.3
Eficiencia	0	0		1	2	0.2
Compacto	0	0	0		1	0.1
					10	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 13. Evaluación del peso específico del criterio bajo costo de adquisición.

	Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2				
Criterio	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 3		1	1	3	0.5
Alternativa 1	0		1	2	0.33
Alternativa 2	0	0		1	0.16
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 14. Evaluación del peso específico del criterio facilidad de fabricación y métodos de manufactura.

	Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2				
Criterio	Alternativa 3	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 3		1	1	3	0.5
Alternativa 1	0		1	2	0.33
Alternativa 2	0	0		1	0.16
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 15. Evaluación del peso específico del criterio compacto para el área de trabajo.

	Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1				
Criterio	Alternativa 3	Alternativa 2	Alternativa 1	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 3		1	1	3	0.5
Alternativa 2	0		0.5	1.5	0.25
Alternativa 1	0	0.5		1.5	0.25
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 16. Evaluación del peso específico del criterio Eficiencia térmica.

	Alternativa 2 > Alternativa 1 > Alternativa 3				
Criterio	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 2		1	1	3	0.5
Alternativa 1	0		1	2	0.33
Alternativa 3	0	0		1	0.16
				6	1.00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 17. Conclusiones de la evaluación – Módulo 3

Conclusión	Costo	Fabricación	Eficiencia	Compacto	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0.4*0.33	0.3*0.33	0.2*0.33	0.1*0.25		
Alternativa 2	0.4*0.16	0.3*0.16	0.2*0.5	0.1*0.25		
Alternativa 3	0.4*0.5	0.3*0.5	0.2*0.16	0.1*0.5		

(Fuente: Propia)

Anexo II

Código de Matlab para el diseño térmico.

```
clc
clear all
%DISEÑO TÉRMICO
%DATOS%
P_real=3; %Potencia real de la caldera en [BHP]
Pa=10.4341; %Presión atmosférica [psia]
Pw=60+Pa; %Presión de trabajo [psia]*con presión 1 atm
Pd=90+Pa; %Presión de diseño [psia]*con presión 1 atm
Alt=2850; %Altitud de la ciudad de Quito en [m]
Tw_in=15; %Temperatura del agua de ingreso [°C]
T_aire= 15; %Temperatura ambiente del aire [°C]

%DATOS DE PRESION EN BARES
Pw=Pw/14.50377; %Presión de trabajo [bar]
Pd=Pd/14.50377; %Presión de diseño [bar]
Pa=Pa/14.50377; %Presión atmosférica [bar]

%*****
%ANÁLISIS TERMODINÁMICO

%FACTOR DE EVAPORACIÓN (Fe)
hg_Pa=XSteam('hV_p',Pa); %Entalpía del fluido (vapor) a la presión atmosférica
en [KJ/kg*K]
hf_Pa=XSteam('hL_p',Pa); %Entalpía del fluido (líquido) a la presión atmosférica
en [KJ/kg*K]
hfg_Pa=hg_Pa-hf_Pa; %Entalpía del fluido (mezcla) a la presión atmosférica en
[KJ/kg*K]
hg_Pw=XSteam('hV_p',Pw); %Entalpía del fluido (vapor) a la presión de operación
en [KJ/kg*K]
hf_Twin=XSteam('h_pt',Pa,Tw_in); %Entalpía del fluido (líquido) a la temperatura
de alimentación en [KJ/kg*K]
Fe=(hfg_Pa)/(hg_Pw-hf_Twin); %Factor de evaporización

%POTENCIA NOMINAL DEL CALDERO (PN)
P_nom=P_real/Fe; %Potencia nominal de la caldera en [BHP]

%CALOR TOTAL REQUERIDO (Q_total)
Q_util=P_nom*9.8095*3600; % Potencia o calor útil en [KJ/h]
n=0.80; %Eficiencia considerada para el caldero (perdidas de calor y eficiencia
del caldero)
Q_total=Q_util/n; %Potencia o calor total requerido en [KJ/h]

%CAUDAL MÁSIICO DE AGUA/VAPOR (mH2O)
Tw_out=XSteam('Tsat_p',Pw); %Temperatura del vapor(agua) de salida [°C]
Cp_h2o=XSteam('CpL_p',Pa); %Cp del fluido (líquido) a presión atmosférica en
[KJ/kg*K]
hg_Twout=XSteam('hV_T',Tw_out); %Entalpía del fluido (vapor) a la temperatura de
saturación en [KJ/kg*K]
hf_Twout=XSteam('hL_T',Tw_out); %Entalpía del fluido (líquido) a la temperatura
de saturación en [KJ/kg*K]
DTw=Tw_out-Tw_in; %Diferencia de temperatura entre el agua y el vapor en [°C]
m_h2o=Q_util/((Cp_h2o*DTw)+(hg_Twout-hf_Twout));%Caudal másico de agua requerido
en [kg/h]
```

```

%CAUDAL MÁSIICO DE COMBUSTIBLE (mcomb)
PCI=45343.04; %Poder calorífico del GLP en [KJ/Kg]
m_comb=Q_total/PCI; %Caudal másico del combustible en [Kg/h]

%PROCESO DE COMBUSTIÓN
AC_esteq=15.56; %Relación aire/combustible del GLP para una mezcla
estequiométrica
AC_exce=18.67; %Relación aire/combustible del GLP para una mezcla con 20% de
exceso de aire

%CAUDAL MÁSIICO DE GASES DE COMBUSTIÓN (mgas)
m_aire=AC_exce*m_comb; %Caudal másico de aire requerido para la combustión
m_gas=m_aire+m_comb; %Caudal másico de gases de combustión en [kg/h]

%TEMPERATURA DE LA LLAMA ADIABÁTICA
Tg_in=1852.76; %Temperatura inicial de los gases de combustión en [°C]
(Temperatura de la llama adiabática)

%*****
%ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

%CALOR POR UNIDAD DE AREA NECESARIO PARA LA EBULLICIÓN NUCLEADA [q]
Tg=Tg_in; %Temperatura de la llama adiabática [°C]
Tsat=Tw_out-0.1; %Temperatura de saturación del agua a la presión de trabajo
Ts=Tw_out+5.25; %Temperatura superficie del calentador [°C]
hg_sat=XSteam('hV_T',Tsat); %Entalpia del fluido (vapor) a la temperatura de
saturación en [J/kg*K]
hf_sat=XSteam('hL_T',Tsat); %Entalpia del fluido (líquido) a la temperatura de
saturación en [J/kg*K]
hfg_sat=(hg_sat-hf_sat)*1000; %Entalpia del fluido (mezcla) a la temperatura de
saturación en [J/kg*K]
uf_sat=XSteam('mu_pT',Pw,Tsat); %Viscosidad del fluido (líquido) a la temperatura
de saturación en [kg/m*s]
g=9.81; %Aceleracion gravitacional en [m/s2]
rhof_sat=XSteam('rhoL_T',Tsat); %Densidad del fluido (líquido) a la temperatura
de saturación en [kg/m3]
rhog_sat=XSteam('rhoV_T',Tsat); %Densidad del fluido (vapor) a la temperatura de
saturación en [kg/m3]
ga=XSteam('st_T',Tsat); %Tensión superficial de la interfase liquido-vapor [N/m]
Cpf_sat=XSteam('cpL_T',Tsat)*1000; %Calor específico del fluido (líquido) a la
temperatura de saturacion en [J/kg*K]
Kf_sat=XSteam('tcL_T',Tsat); %Conductividad térmica del fluido (líquido) a la
temperatura de saturación
Pr=(uf_sat*Cpf_sat)/Kf_sat; %Número de Prandtl del fluido (líquido) a la
temperatura de saturación
Csf=0.013; %Constante experimental en función del tipo de combinación superficie
- fluido
n=1; %Constante experimental en función del tipo fluido
q_ebu=uf_sat*hfg_sat*(((g*(rhof_sat-rhog_sat))/ga)^(1/2))*(((Cpf_sat*(Ts-
Tsat))/(Csf*hfg_sat*Pr*n))^3); %Calor por unidad de área necesario para la
ebullición en [J/s*m2]

%ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR
A_efec=Q_util*1000/(q_ebu*3600); %Área efectiva de transferencia de calor en [m2]

```

Código de Matlab para el diseño térmico.

```
clc
clear all
%DISEÑO MECÁNICO
%DATOS%
P_real=3; %Potencia real de la caldera en [BHP]
Pa=10.4341; %Presión atmosférica [psia]
Pw=60; %Presión de trabajo [psig]
Pd=90; %Presión de diseño [psig]
Alt=2850; %Altitud de la ciudad de Quito en [m]
A_efec=0.5323; %Área efectiva de transferencia de calor en [m2]

%DIMENSIONAMIENTO GEOMÉTRICO
D_in=0.38; %Diámetro interior del cilindro [m]
A_base=(124641.575+28922.766)/(1000^2); %Área de tapa cóncava base del recipiente
a presión en [m2]
A_pared=A_efec-A_base; %Área de la pared cilíndrica que está en contacto con el
agua en [m2]
L_efec=A_pared/(pi*D_in); %Longitud efectiva de la pared cilíndrica sin tomar en
cuenta las tapas cóncavas en [m]
L_total=L_efec*3/2; %Longitud total del cilindro sin tomar en cuenta las tapas
cóncavas en [m]

%ESPESOR CUERPO CILÍNDRICO
C=0; %Margen mínimo para roscado y estabilidad estructural
R_in=(380/2)/25.4;%Radio interior del cilindro en [in]
E=1; %Eficiencia junta
S=17984.68; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-516-70 en [psi]
PM=90; %Máxima presión de trabajo admisible en [psi]
y=0.4; %Coeficiente de temperatura
t_c=(PM*R_in)/((S*E)-(1-y)*PM)+C; %Espesor mínimo requerido en el cuerpo
cilindrico [in]
t_c=1/4; %Espesor del cuerpo cilíndrico establecido por la norma en [in]
PM_r=((S*E)*(t_c-C))/(R_in+(1-y)*(t_c-C)); %Máxima presión de trabajo admisible
en el cuerpo cilíndrico en [psi]

%ESPESOR DE LA TAPA CÓNCAVA
L=(500)/25.4; %Radio con el cual la tapa es cóncava, medido en el lado cóncavo
de la tapa en [in]
w=1; %Factor de reducción de la resistencia de la junta soldada (1 para el acero
al carbono)
t_t=(5*PM*L)/(4.8*S*w);%Espesor mínimo requerido en el cuerpo cilíndrico [in]
t_t=1/4; %Espesor de las tapas cóncavas establecido por la norma en [in]
PM_r=(t_t*4.8*S*w)/(5*L); %Máxima presión de trabajo admisible en las tapas
cóncavas en [psi]

%PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DEL CUERPO DEL VASO COMUNICANTE
R_v=3;%Radio interior la tubería [in]
S=13708.967; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-106-B en [psi]
t_v=0.216; %Espesor del cuerpo del vaso comunicante [in]
PM_v=((S*E)*(t_v-C))/(R_v+(1-y)*(t_v-C)) %Máxima presión de trabajo admisible en
el cuerpo del vaso comunicante [psi]

%PRESIÓN MÁXIMA ADMISIBLE DE LA BASE DEL VASO COMUNICANTE
```

```

L_b=(58.58)/25.4; %Radio con el cual la tapa es cóncava, medido en el lado cóncavo
de la tapa en [in]
w=1; %Factor de reducción de la resistencia de la junta soldada (1 para el acero
al carbono)
t_b=0.216; %Espesor de las tapas cóncavas establecido por la norma en [in]
S=15838.12; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-234 WPB en [psi]
PM_b=(t_b*4.8*S*w)/(5*L_b); %Máxima presión de trabajo admisible en las tapas
cóncavas en [psi]

%DIÁMETRO MÁXIMO DE ABERTURAS NO COMPENSADAS (d_max)
%RECIPIENTE A PRESIÓN
D_ext=((R_in*2))+2*t_c; %Diámetro exterior del cuerpo, cabezal o tapa cóncava en
[in]
t_c=1/4; %Espesor nominal de la tapa, cuerpo o cabezal en [in]
S=17984.68; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-516-70 en [psi]
K=(PM*D_ext)/(1.82*S*t_c);
d_max=2.75*[D_ext*t_c*(1-K)]^(1/3); %Diámetro máximo de aberturas sin
compensación en [in]

%CUERPO VASO COMUNICANTE
D_ext=3.5; %Diámetro exterior del cuerpo del vaso comunicante en [in]
S=13708.967; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-106-B en [psi]
K=(PM*D_ext)/(1.82*S*t_v);
d_max=2.75*[D_ext*t_v*(1-K)]^(1/3); %Diámetro máximo de aberturas sin
compensación en [in]

%BASE VASO COMUNICANTE
D_ext=3.5; %Diámetro exterior de la base del vaso comunicante en [in]
S=15838.12 ; %Valor del esfuerzo máximo admisible a la temperatura de diseño
(370°C) para SA-234 WPB en [psi]
K=(PM*D_ext)/(1.82*S*t_b)
d_max=2.75*[D_ext*t_b*(1-K)]^(1/3) %Diámetro máximo de aberturas sin compensación
en [in]

```

Código de Matlab para el cálculo de la eficiencia (método directo).

```

clc
clear all
%CÁLCULO EFICIENCIA (MÉTODO DIRECTO)
%DATOS%
P_real=3; %Potencia real de la caldera en [BHP]
Pa=10.4341; %Presión atmosférica en Quito en [psia]
Pw=60+Pa; %Presión de trabajo [psia]*considerando Pa
Pd=90+Pa; %Presión de diseño [psia]*considerando Pa
Alt=2850; %Altitud de la ciudad de Quito en [m]
Tw_in=15; %Temperatura del agua de ingreso [°C]
T_aire= 15; %Temperatura ambiente del aire [°C]

%DATOS DE PRESIÓN EN BARES
Pw=Pw/14.50377; %Presión de trabajo [bar]
Pd=Pd/14.50377; %Presión de diseño [bar]
Pa=Pa/14.50377; %Presión atmosférica [bar]

```

%MASA DE AGUA

```
Lh=0.32; %Altura de agua en el recipiente cilíndrico en [m]
D=0.38; %Diámetro del cilindro en [m]
lh=0.33; %Altura de agua en el vaso comunicante en [m]
d=0.0779272; %Diámetro del vaso comunicante en [m]
V1=pi*Lh*(D/2)^2; %Volumen de agua en el recipiente cilíndrico en [m3]
V2=8650782.045/(1000^3); %Volumen de agua en la base en [m3]
V3=pi*lh*(d/2)^2; %Volumen de agua en el vaso comunicante en [m3]
V4=182306.087/(1000^3); %Volumen de agua en la base del vaso comunicante en [m3]
rhoL_Pa=XSteam('rho_pT',Pa,Tw_in); %Densidad del agua en [kg/m3]
m1=V1*rhoL_Pa; %Masa de agua en el recipiente cilíndrico en [kg]
m2=V2*rhoL_Pa; %Masa de agua en la base en [kg]
m3=V3*rhoL_Pa; %Masa de agua en el vaso comunicante en [kg]
m4=V4*rhoL_Pa; %Masa de agua en la base del vaso comunicante [kg]
m_h2o=(m1+m2+m3+m4); %Masa de agua inicial a calentar en [kg]
```

%VOLUMEN TOTAL DEL RECIPIENTE A PRESIÓN

```
lT=0.5; %Altura total del vaso comunicante en [m]
LT=0.48; %Altura de agua en el recipiente cilíndrico en [m]
V1T=pi*LT*(D/2)^2; %Volumen total del recipiente cilíndrico en [m3]
V3T=pi*lT*(d/2)^2; %Volumen total del vaso comunicante en [m3]
VT=V1T+(2*V2)+V3T+V4 %Volumen total en [m3]
```

%CALIDAD DEL FLUIDO EN EL RECIPIENTE A LA PRESIÓN DE TRABAJO

```
vfg_Pw=VT/m_h2o %Volumen específico en el recipiente [m3/kg]
vg_Pw=XSteam('vV_p',Pw) %Volumen específico del fluido (Vapor) en [m3/kg]
vf_Pw=XSteam('vL_p',Pw) %Volumen específico del fluido (Líquido) en [m3/kg]
x=(vfg_Pw-vf_Pw)/vg_Pw %Calidad del fluido en el recipiente a la presión de trabajo
```

%MASA DE AGUA TRANSFORMADA A VAPOR

```
m_vap=x*m_h2o; %Masa de agua transformada a vapor durante la medición en [kg]
```

%CALOR ÚTIL

```
Tw_out=XSteam('Tsat_p',Pw) %Temperatura del vapor(agua) de salida [°C]
Cp_h2o=XSteam('CpL_p',Pa); %Cp del fluido (líquido) a presión atmosférica en [KJ/kg*K]
hg_Twout=XSteam('hV_T',Tw_out); %Entalpía del fluido (vapor) a la temperatura de saturación en [KJ/kg*K]
hf_Twout=XSteam('hL_T',Tw_out); %Entalpía del fluido (líquido) a la temperatura de saturación en [KJ/kg*K]
DTw=Tw_out-Tw_in; %Diferencia de temperatura entre el agua y el vapor en [°C]
Q_util=m_h2o*(Cp_h2o*DTw)+m_vap*(hg_Twout-hf_Twout) %Calor entregado al agua durante la medición en [kj]
```

%CALOR ENTREGADO POR EL COMBUSTIBLE

```
m_comb=0.85; % Masa de combustible utilizado durante la medición en [Kg]
PCI=45343.04; %Poder calorífico del GLP en [KJ/Kg]
Q_comb=m_comb*PCI %Calor cedido por el combustible durante la medición [Kj]
```

%EFICIENCIA REAL

```
n=Q_util/Q_comb
```

Código de Matlab para el cálculo del calor cedido por los gases de combustión.

```
clc
clear all
%Cálculos tesis

%MASA DE COMBUSTIBLE
PCI=45343.04; %Poder calorífico del GLP en [KJ/Kg]
m_comb=0.85; % Masa del combustible en [Kg/h]
Q_comb=m_comb*PCI; %Calor cedido por el combustible [Kj/h]

%PROCESO DE COMBUSTIÓN
AC_esteq=15.62; %Relación aire/combustible del GLP para una mezcla estequiométrica
AC_exce=18.75; %Relación aire/combustible del GLP para una mezcla con 20% de exceso de aire

%MASA DE LOSGASES DE COMBUSTIÓN (m_gas)
m_aire=AC_exce*m_comb; %Masa de aire requerido para la combustión en [kg]
m_gas=m_aire+m_comb; %Masa de gases de combustión en [kg]

%Calor cedido por los gases (Q_gas)
Tg_in=1852.76; %Temperatura inicial de los gases de combustión °C (Temperatura de la llama adiabática)
Tg_out=215; %Temperatura de los gases de combustión a la salida de la chimenea °C
Tf_gas=(Tg_out+Tg_in)/2; %Temperatura de película de los gases de combustión
Dtg=Tg_in-Tg_out; %Delta temperatura de los gases de combustión
[rho_gas,mu_gas,nu_gas,Pr_gas,k_gas,cp_gas]=AirProperties(Tf_gas,[],[],'rho','mu','nu','Pr','k','c_p'); %Propiedades gas ideal a la temperatura de película
Q_gas=m_gas*(cp_gas/1000)*Dtg %Calor transferido por los gases en [kj]

%Eficiencia de la caldera
n=Q_gas/Q_comb
```

Anexo III

Análisis de costos

Construcción del recipiente a presión

Tabla A. 18. Costos de elementos normalizados para el recipiente a presión.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Unión Roscada de AF 3000lbs-1"	ASME B16.11	u	2	5,99	11,98
Unión Roscada de AF 3000lbs-1/2"	ASME B16.11	u	1	2,99	2,99
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1/2" x 6"	ASTM A106-B	u	4	1,29	5,15
				TOTAL	20,13

(Fuente: Propia)

Tabla A. 19. Costos de materiales para el recipiente a presión.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Plancha de acero 1220 x 2440 x 6	ASTM A516-70	u	0,7	168,26	117,78
				TOTAL	117,78

(Fuente: Propia)

Tabla A. 20. Costos de mano de obra para la construcción del recipiente a presión.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Oxicorte	5,00	1,0	5,00
Conformado Rolado	5,00	6	30,00
Conformado Bombeado	5,00	5	25,00
Conformado Rebordeo	5,00	5	25,00
Esmerilado	6,25	3	18,75
Ensamble	6,25	8	50,00
Soldadura TIG manual	6,25	16	100,00

Corte por plasma	6,25	0,5	3,13
Maquinado	6,25	2	12,50
		TOTAL	269,38

(Fuente: Propia)

Tabla A. 21. Costo total de la construcción del recipiente a presión.

Costo elementos normalizados [USD]	20,13
Costo de materiales [USD]	117,78
Costo de mano de obra [USD]	269,38
Cotos adicionales [USD]	60,00
Total [USD]	467,29

(Fuente: Propia)

Construcción del vaso comunicante

Tabla A. 22. Costos de elementos normalizados para el vaso comunicante.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Unión Roscada de AF 3000lbs-1/2"	ASME B16.11	u	5	2,99	14,95
Brida de AF 150lbs-3"	ASME B16.5	u	1	15,34	15,34
Brida Ciega de AF 150lbs-3"	ASME B16.5	u	1	24,02	24,02
Tapón Capa de AF Sch 40- 3"	ASTM A234 WPB	u	1	2,35	2,35
Perno de acero galv. 5/8"x3"	ASTM A193- B7	u	4	2,02	8,06
Tuerca de acero galv. 5/8"	ASTM A194- 2H	u	4	0,90	3,58
Arandela Plana de acero galv. 5/8"	ASTM F436	u	8	0,15	1,16
Arandela de presión de acero galv. 5/8"	DIN 127	u	4	0,12	0,49
Perno de acero galv. 1/4" x 3/4"	ASTM A325	u	1	0,27	0,27

Arandela Plana de acero galv. 1/4"	ASTM F436	u	1	0,12	0,12
				TOTAL	70,37

(Fuente: Propia)

Tabla A. 23. Costos de materiales para el vaso comunicante.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Tubería de acero Sch 40-3"x 6000	ASTM A106-B	u	0,1	229,68	22,97
Plancha de asbesto 1500 x 1500 x 1/4"	ASTM A106-B	u	0,2	44,50	8,90
				TOTAL	31,87

(Fuente: Propia)

Tabla A. 24. Costos de mano de obra para la construcción del vaso comunicante.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Corte	6,25	1	6,25
Esmerilado	6,25	2,5	15,63
Ensamble	6,25	8	50,00
Soldadura TIG manual	6,25	6	37,50
Maquinado	6,25	1	6,25
Corte por plasma	6,25	0,5	3,13
Roscado	10,00	4	40,00
		TOTAL	158,75

(Fuente: Propia)

Tabla A. 25. Costo total de la construcción del vaso comunicante.

Costo elementos normalizados	70,37
Costo de materiales	31,87
Costo de mano de obra	158,75
Cotos adicionales	60,00
Total	320,99

(Fuente: Propia)

Construcción de la estructura

Tabla A. 26. Costos de elementos normalizados para la estructura.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Garruchas con freno $\phi 3''$	-	u	2	7,35	14,70
Garruchas sin freno $\phi 3''$	-	u	2	6,45	12,90
				TOTAL	27,60

(Fuente: Propia)

Tabla A. 27. Costos de materiales para la estructura.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Ángulo de HN-1 1/2" x 1/8" x 6000	ASTM A36	u	0,15	17,80	2,67
Perfil de HN-2" x 1" x 1/8" x 6000	ASTM A36	u	1,5	16,80	25,20
				TOTAL	27,87

(Fuente: Propia)

Tabla A. 28. Costos de mano de obra para la construcción de la estructura.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Corte	6,25	2	12,50
Esmerilado	6,25	1	6,25
Ensamble	6,25	5	31,25
Soldadura MIG manual	6,25	3	18,75
Maquinado	6,25	1	6,25
Perforado	3,75	0,5	1,88
		TOTAL	76,88

(Fuente: Propia)

Tabla A. 29. Costo total de la construcción de la estructura.

Costo elementos normalizados [USD]	27,60
Costo de materiales [USD]	27,87
Costo de mano de obra [USD]	76,88

Cotos adicionales [USD]	35,00
Total [USD]	167,35

(Fuente: Propia)

Construcción de cubiertas, deflectores y lunas

Tabla A. 30. Costos de materiales para las cubiertas, deflectores y lunas.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Plancha de Aluminio 1220x2440x1	Aluminio	u	1	48,09	48,09
Plancha de acero 1220x2440x1	ASTM A36	u	1	57,27	57,27
				TOTAL	105,36

(Fuente: Propia)

Tabla A. 31. Costos de mano de obra para la construcción de las cubiertas, deflectores y lunas.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Corte Laser	7,00	14	98,00
		TOTAL	98,00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 32. Costo total de la construcción de las cubiertas, deflectores y lunas.

Costo elementos normalizados	0,00
Costo de materiales	105,36
Costo de mano de obra	98,00
Cotos adicionales	0,00
Total	203,36

(Fuente: Propia)

Ensamble del calderín

Tabla A. 33. Costos de elementos normalizados para el ensamble del calderín.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Manta de fibra de cerámica 25 x 600 x 1000	-	u	1,0	45,00	45,00
Ducto de Aluminio 4"	-	u	2	14,72	29,43
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1/2" x 4"	ASTM A106-B	u	2	1,34	2,69
Unión universal de HN 150lbs- 1/2"	ASME B16.3	u	2	4,31	8,62
Remaches Pop 1/8" x 5/16"	ANSI B18.1.1	u	82	0,01	0,82
				TOTAL	86,57

(Fuente: Propia)

Tabla A. 34. Costos de materiales para el ensamble del calderín.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Tubería de acero Sch 40- 4" x 6000	ASTM A106-B	u	0,1	330,12	33,01
Pintura Anticorrosión Plomo mate	ASTM A36	u	1	24,04	24,04
				TOTAL	57,05

(Fuente: Propia)

Tabla A. 35. Costos de mano de obra para el ensamble del calderín.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Esmerilado	6,25	1	6,25
Ensamble	6,25	6	37,50
Soldadura MIG manual	6,25	3	18,75
Maquinado	6,25	1	6,25

Pintura	3,75	1	3,75
Remachado	6,50	1	6,50
		TOTAL	79,00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 36. Costo total del ensamble del calderín.

Costo elementos normalizados [USD]	86,57
Costo de materiales [USD]	57,05
Costo de mano de obra [USD]	79,00
Cotos adicionales [USD]	35,00
Total [USD]	257,62

(Fuente: Propia)

Montaje de los sistemas periféricos

Tabla A. 37. Costos de elementos normalizados para el montaje de los sistemas periféricos.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1/4" x 2"	ASTM A106-B	u	1	0,67	0,67
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1/2" x 2"	ASTM A106-B	u	4	0,67	2,69
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1" x 2"	ASTM A106-B	u	1	1,14	1,14
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1" x 4"	ASTM A106-B	u	1	2,24	2,24
Unión universal de HN 150lbs- 1/2"	ASME B16.3	u	2	4,31	8,62
Bushing de HN 150lbs-1/2" x 1/4"	ASME B16.3	u	1	0,84	0,84
Bushing de HN 150lbs-1" x 1/2"	ASME B16.3	u	2	0,97	1,95

Codo Roscado de HN 150lbs- 1/2" x 90°	ASME B16.3	u	2	1,40	2,80
Codo Roscado de HN 150lbs- 1" x 90°	ASME B16.3	u	1	2,80	2,80
Manguera flexible para GLP	-	m	4	1,60	6,41
Bomba de agua 1HP	QB80	u	1	85,00	85,00
Valvula solnoide de agua	2W160-15	u	1	30,00	30,00
Valvula solenide de Gas	2W025-08	u	1	30,00	30,00
Valvula manual de bola 1"	Ball Valve 3PC	u	2	26,00	51,99
Valvula manual de bola 1/2"	Ball Valve 2PC	u	1	22,18	22,18
Valvula manual de bola 1/4"	Ball Valve 2PC	u	1	11,19	11,19
Válvula Check 1/2"	Check valve 3PC	u	1	8,00	8,00
Filtro	3302N 06	u	1	5,82	5,82
Contador de agua	VK-6	u	1	24,14	24,14
Válvula Reguladora de Presión	Reguladora 555	u	1	13,99	13,99
Quemador atmosferico	GM014-008	u	1	41,00	41,00
				TOTAL	352,80

(Fuente: Propia)

Tabla A. 38. Costos de materiales para el montaje de los sistemas periféricos.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Tubería de acero Sch 40- 1/2" x 6000	ASTM A106-B	u	0,18	39,36	7,08
Tubería de acero Sch 40- 1" x 6000	ASTM A106-B	u	0,18	66,18	11,91
				TOTAL	19,00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 39. Costos de mano de obra para montaje de los sistemas periféricos.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Corte	6,25	1	6,25
Roscado	6,25	1	6,25
Ensamble	8,00	6	48,00
		TOTAL	60,50

(Fuente: Propia)

Tabla A. 40. Costo total del montaje de los sistemas periféricos.

Costo elementos normalizados [USD]	352,80
Costo de materiales [USD]	19,00
Costo de mano de obra [USD]	60,50
Cotos adicionales [USD]	15,00
Total [USD]	447,30

(Fuente: Propia)

Montaje del sistema de control

Tabla A. 41. Costos de elementos normalizados para el montaje del sistema de control.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1/2" x 4"	ASTM A106-B	u	2	1,44	2,88
Neplo Roscado de HN Sch 40- 1" x 2"	ASTM A106-B	u	1	1,20	1,20
Accesorio Tee de HN 150lbs-1/2"	ASME B16.3	u	2	1,04	2,09
Bushing de HN 150lbs-1/2" x 1/4"	ASME B16.3	u	2	0,90	1,80
Reducción de HN 150lbs - 1" x 3/4"	ASME B16.3	u	1	2,40	2,40
Tapón cabeza cuadrada de HN-1/2"	ASME B16.3	u	1	0,72	0,72

Válvula de Seguridad	S10S	u	1,0	37,50	37,50
Manómetro	Bourdon	u	1,0	12,84	12,84
Presostato	PC10E	u	1,00	69,66	69,66
Visor de nivel	Apollo 20-150	u	1,0	111,88	111,88
Electrodos de nivel	WE-ST-G4	u	3	21,47	64,40
Módulo de ignición	HD 103	u	1,0	64,26	64,26
Gabinete Plástico 300x400x180	Zcebox	u	1,0	82,68	82,68
Material Eléctrico	-	u	1	169,04	169,04
				TOTAL	619,27

(Fuente: Propia)

Tabla A. 42. Costos de mano de obra para montaje del sistema de control.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Ensamble	8,00	16	128,00
		TOTAL	128,00

(Fuente: Propia)

Tabla A. 43. Costo total del montaje del sistema de control.

Costo elementos normalizados [USD]	619,27
Costo de materiales [USD]	0,00
Costo de mano de obra [USD]	128,00
Cotos adicionales [USD]	5,00
Total [USD]	752,27

(Fuente: Propia)

Conexión para la toma de agua de red

Tabla A. 44. Costos de elementos normalizados de la conexión para la toma de agua de red.

Elemento	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Neplo Roscado de Polimex 1/2" x 6"	-	u	2	0,53	1,05

Unión Roscada de Polimex- 1/2"	-	u	2	1,48	2,96
Codo Roscado de PVC 1/2"x 90º	INEN 1373	u	2	0,57	1,14
Codo Roscado de PVC 1/2"x 45º	INEN 1373	u	2	0,92	1,84
Union Roscada PVC 1/2"	INEN 1373	u	2	0,38	0,76
Adaptador PVC 1/2"	INEN 1373	u	2	0,50	1,01
Accesorio Tee PVC 1/2"	INEN 1373	u	1,0	0,69	0,69
Válvula de bola PVC	ASTM F1970	u	1,0	2,80	2,80
				TOTAL	8,24

(Fuente: Propia)

Tabla A. 45. Costos de materiales de la conexión para la toma de agua de red.

Materiales	Especificación/ Material	Unidad	Cantidad (A)	Precio Unitario [USD] (B)	Costo [USD] (C=A*B)
Tubería de PVC Sch 40- 1/2" x 6000	ASTM D1785	u	1,00	5,92	5,92
				TOTAL	5,92

(Fuente: Propia)

Tabla A. 46. Costos de mano de obra de la conexión para toma de agua de red.

PROCESO	COSTO HORA [USD] (B)	HORAS (H)	COSTO [USD] (D=B*H)
Corte	6,25	1	6,25
Instalación	6,25	3	18,75
		TOTAL	25,00

(Fuente: Propia)

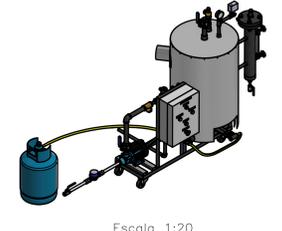
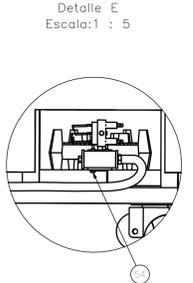
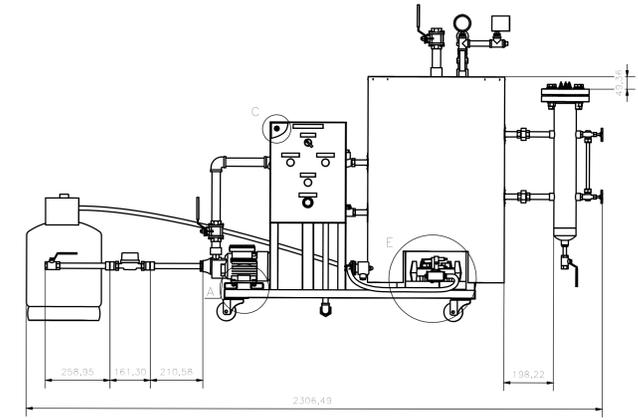
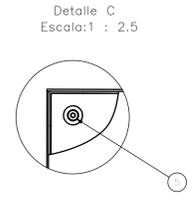
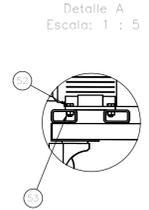
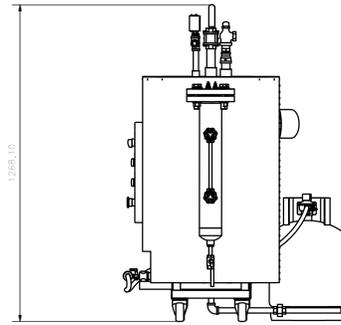
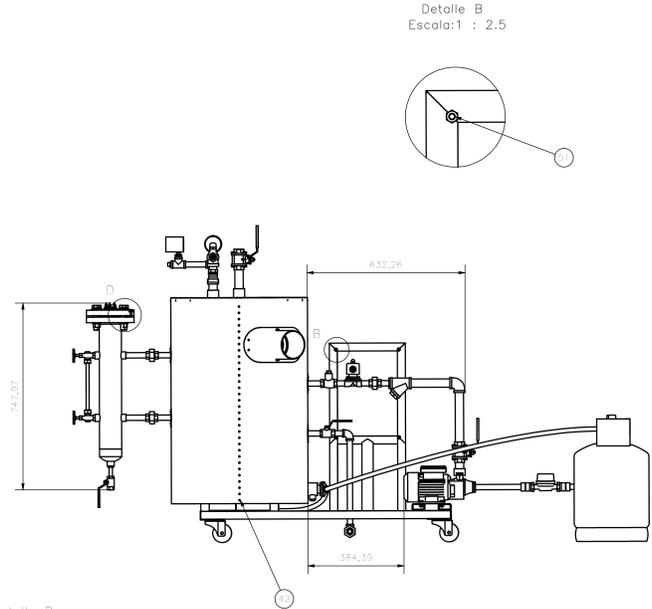
Tabla A. 47. Costo total de la conexión de la toma de agua de red.

Costo elementos normalizados [USD]	8,24
Costo de materiales [USD]	5,92
Costo de mano de obra [USD]	25,00
Cotos adicionales [USD]	5,00
Total [USD]	44,16

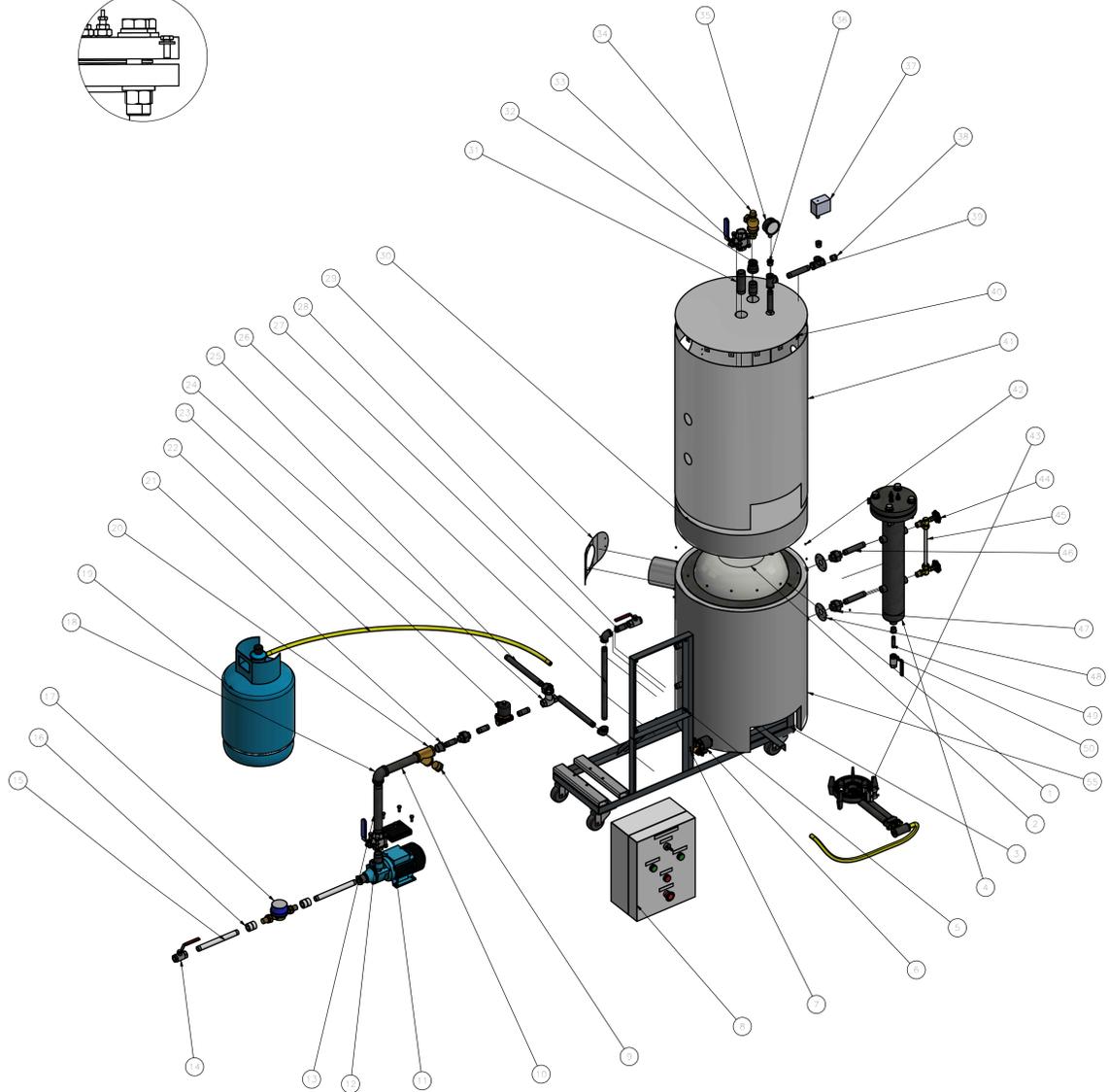
(Fuente: Propia)

Anexo IV

Planos



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
ALTURA	1268.1
LARGO	2306.49
ANCHO	878.48
PESO	



ESPECIFICACIONES CONSTRUCTIVAS

- Cortar las planchas con calcorte o láser según indique cada plano de taller
- Cortar las tuberías con tronzadora y generar las rosas respectivas.
- Las juntas a ser soldadas se maquinara previamente realizando el biselado.
- Los elementos se soldarán por proceso MIG y TIG según como indique cada simbología en cada subconjunto.
- Los elementos del recipiente a presión se realizan por procesos de conformado por rolado y abombado.
- Utilizar en todo el proceso de construcción los elementos de seguridad personal.
- Perforar los agujeros indicados para diferentes conexiones por plasma y taladrado según sea necesario.
- Utilizar herramientas de medición como calibradores, flexómetros y nivel en cada uno de los elementos construidos.

ESPECIFICACIONES DE MONTAJE

- Maquinar las superficies previas a la soldadura indicadas en el plano PC.004
- Soldar el recipiente a presión a la estructura
- Acoplar el vaso comunicante al recipiente a presión mediante la tubería y accesorios normalizados
- Soldar los deflectores al recipiente a presión
- Pintar las superficies con pintura anticorrosiva gris mate
- Soldar la cubierta de acero recubriendo los deflectores.
- Colocar la manta de fibra cerámica aislante sobre la cubierta de acero.
- Colocar y fijar la cubierta externa, lunas y tapa superior de aluminio, mediante remaches pap.
- Para los sistemas periféricos acoplar válvulas, accesorios y tuberías normalizadas para el sistema de alimentación de agua y purgas
- Acoplar la bomba de alimentación de agua
- Acoplar el quemador
- Acoplar válvulas, accesorios y mangueras para el sistema de alimentación de combustible
- Para el sistema de control Acoplar instrumentos, accesorios y tubería normalizada para el sistema de control
- Armar el panel de control en función del plano PC.006
- Colocar la conexión para la alimentación de energía eléctrica
- Generar las conexiones de alimentación de agua con la red pública
- Ubicar la purga al desague en el lugar de trabajo.

55	5H	AISLANTE TÉRMICO LAT		1	FIB. DE VIDRIO	
54	13E	TORNILLO	ASTM A354	2	ACERO GALV.	M5X16
53	10B	TUERCA HEXAGONAL	ASTM A563	4	ACERO GALV.	3/8"
52	10B	PERNÓ	ASTM-A354	4	ACERO GALV.	3/8"x12"
51	5B	TUERCA HEXAGONAL	ASTM A563	4	ACERO GALV.	1/4"
50	6I	VÁLVULA DE BOLA		2	SS-304	COVNA, 1/4"
49	6I	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	1	ASTM-A106B	Sch40-1/4"x2"
48	6I	MEDIA LUNA ZIN	PC.009	1	ALUMINIO	
47	6I	UNIÓN	ASME B.16.3	4	A-197	1/2",CLASE 150
46	6H	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	4	ASTM-A106B	Sch40-1/2"x4"
45	7H	VIDRIO		1	BOROSICALATO	5/8"x9"
44	7H	VÁLVULA DE NIVEL		2	LATÓN	1/2"
43	7H	QUEMADOR	ANSI B18.1.1	1	CAST IRON	GAS MATE
42	4D	REMACHE	ANSI B18.1.1	72	ACERO INOX	1/8"
41	6G	CUBIERTA EXTERNA	PC.008	1	ALUMINIO	
40	6G	TAPA EXTERIOR	PC.007	1	ALUMINIO	
39	6F	TEE	ASME B16.3	2	ASME B16.3	1/2",CLASE 150
38	6F	TAPÓN CAB. CUADRADA	ASME B16.3	1	A-197	1/2",CLASE 150
37	6F	PRESOSTATO		1		FENGSHEN,1/4"
36	6F	REDUCTOR	ASME B16.3	3	A-197	1/2"x1/4",CLASE 150
35	6F	MANÓMETRO		1	SS-304	GENEBRE,1/4"
34	6F	VÁLVULA DE SEGURIDAD		1	LATÓN	AETV,3/4"
33	6F	VÁLVULA DE BOLA	ASME B16.34	2	SS-304	COVNA, 1"
32	6F	REDUCTOR	ASME B16.3	1	A-197	1"x3/4", CLASE 150
31	6F	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	1	ASTM-A106B	Sch40-1"x4"
30	6H	AISLANTE TÉRMICO SUP		1	FIB. DE VIDRIO	
29	5H	MEDIA LUNA 4IN	PC.006	2	ALUMINIO	
28	5H	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	4	ASTM-A106B	Sch40-1/2"x2"
27	5I	CODO 90°	ASME B16.3	2	A-197	1/2", CLASE 150
26	5I	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	1	ASTM-A106B	Sch40-1/2"x14.47"
25	5I	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	2	ASTM-A106B	Sch40-1/2"x9.5"
24	5I	VÁLVULA CHECK		1	SS-304	COVNA, 1/2"
23	5I	ELECTRO VÁLVULA AGUA		1	LATÓN	KLQD, 1/2"
22	4I	MANGUERA		2	CAUCHO REF.	5/16"x80"
21	4I	REDUCTOR ROSCADO	ASME B16.3	2	A-197	1"x1/2", CLASE 150
20	4I	FILTRO		1	LATÓN	GENEBRE, 1"
19	3I	TANQUE GLP		1		10KG
18	4I	CODO 90°	ASME B16.3	1	A-197	1", CLASE 150
17	4J	CONTADOR DE AGUA		1	BRONCE	BAYLAN
16	3J	ACOPLAMIENTO	ASTM D2467	1	PVC	1/2"
15	3J	TUBERÍA ROSCADA	ASTM D1785	2	PVC	Sch40-1/2"x10"
14	3K	VÁLVULA DE BOLA		2	SS-304	COVNA, 1/2"
13	4J	TUBERÍA ROSCADA		1		Sch40-1"x9.3"
12	4J	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	2	ASTM-A106B	Sch40-1"x2"
11	4J	BOMBA PERIFÉRICA		1		LYON PUMPS
10	4I	TUBERÍA ROSCADA	ASME SA-106	1	ASTM-A106B	Sch40-1"x7.3"
9	4I	TAPÓN CAB. HEXA.	ASME B16.3	1	A197	1/2"
8	5J	PANEL DE CONTROL		1	ABS, PC	ZCEBOX 300X400X180
7	5I	TORNILLO CABEZA RED.	ASTM-A354	2	ACERO GALV.	M.3X8
6	4I	ELECTRO VÁLVULA GLP		1	LATÓN	KLQD, 5/16"
5	13A	TORNILLO CABEZA HEXA	ASTM-A354	4	ACERO GALV.	1/4"x3/4"
4	6H	VASO COMUNICANTE	PC.005	1	ASTM A53	
3	6I	ESTRUCTURA TANQUE	PC.004	1	ASTM A36	
2	5H	TANQUE A PRESIÓN	PC.003	1	SA 516-70	
1	6I	ESTRUCTURA	PC.002	1	ASTM A53	1/2"x0.75"

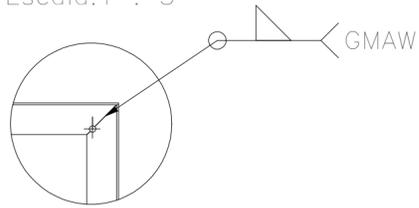
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

EPN FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
 Dis. Pumisacho, Simbóla
 Rev. Prof. José Palacios

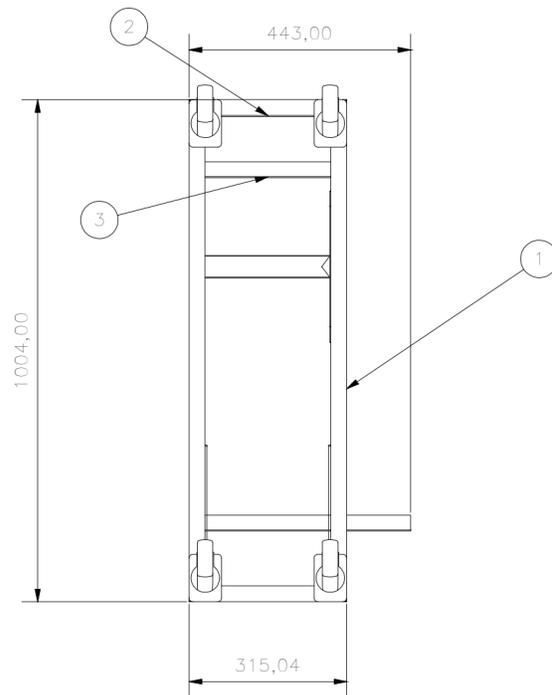
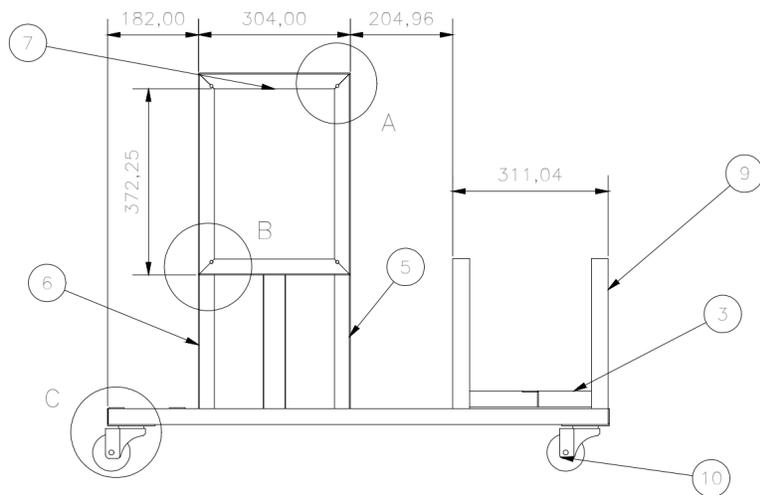
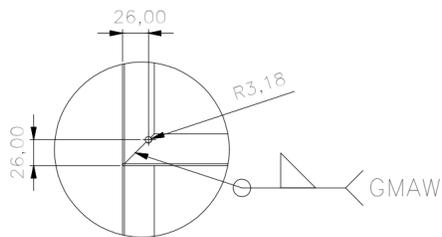
ESCALA: 1:10
 FECHA: 11-07-22

CALDERIN
 PC.001

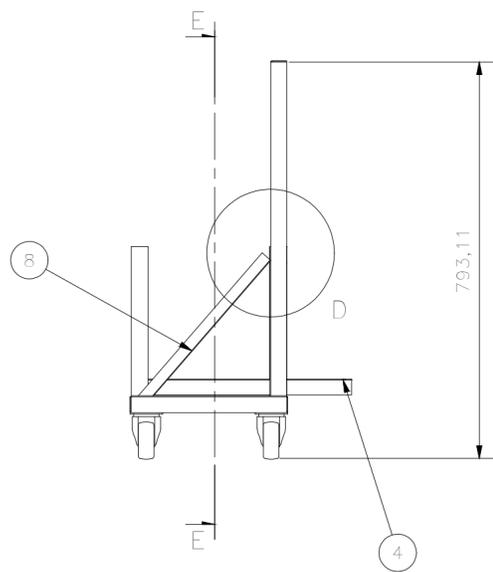
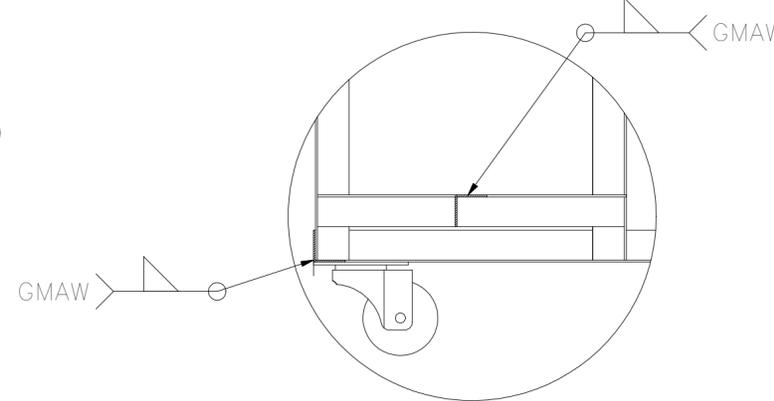
Detalle A
Escala: 1 : 5



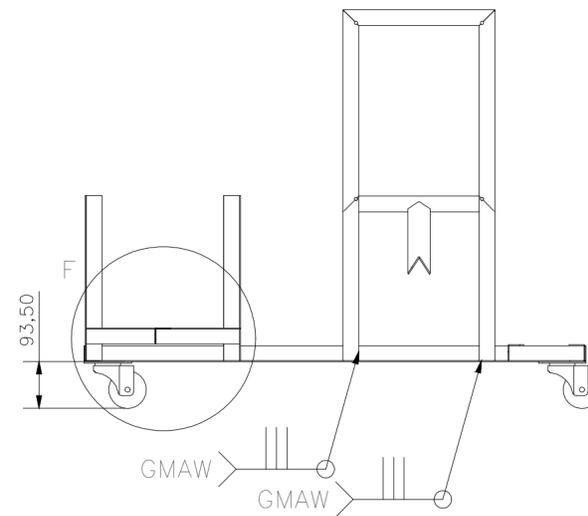
Detalle B
Escala: 1 : 5



Detalle F
Escala: 1 : 5



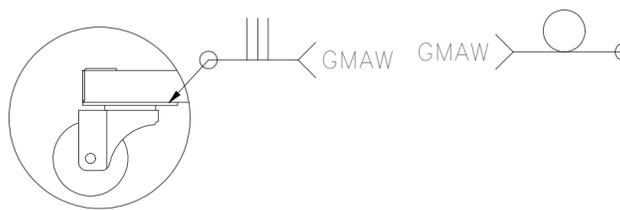
Sección E-E
Escala: 1 : 10



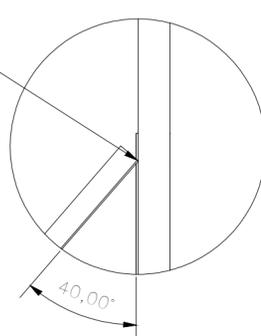
PERSPECTIVA ISOMÉTRICA



Detalle C
Escala: 1 : 5



Detalle D
Escala: 1 : 5

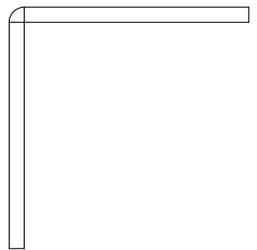
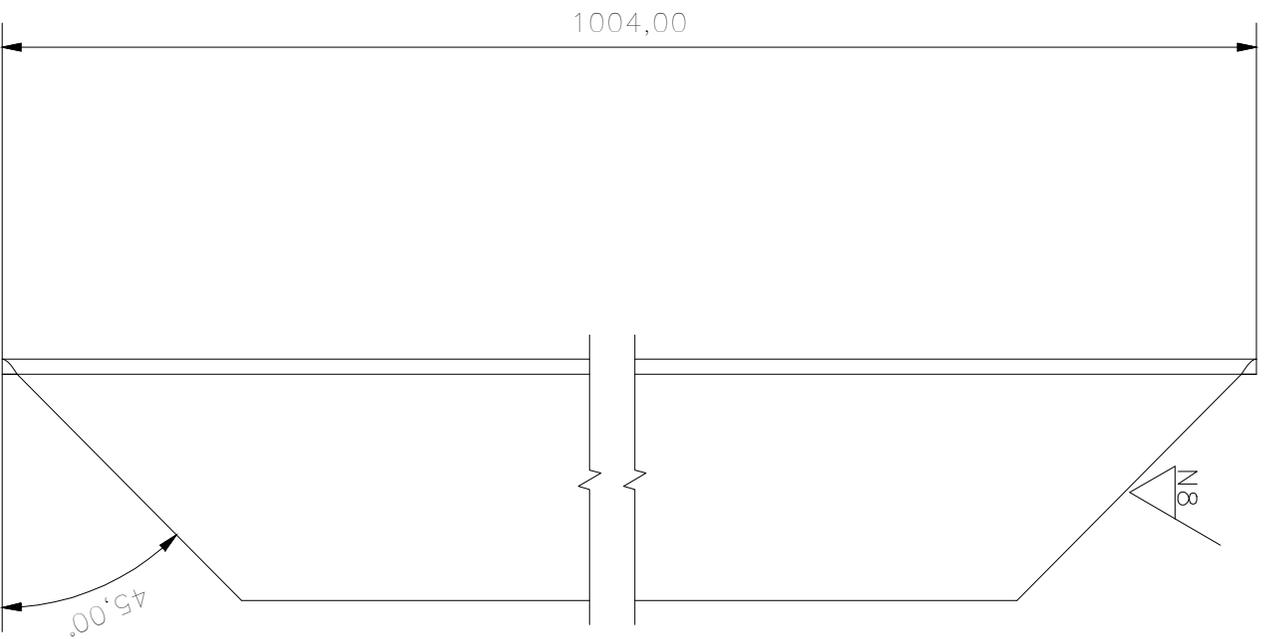


Nota:
-Las uniones se realizan a partir de soldadura GMAW como indica los símbolos.
-Todos los cordes se realizan con electrodo ER70s-6 de 1mm
-Perforaciones en las uniones del soporte de control.

10	3D	GARRUCHAS	-----	4	-----	100X100
9	2D	PERFIL C	PC.209	1	ASTM A36	330X30X2
8	4D	SOPORTE	PC.208	1	ASTM A36	400X30X2
7	2C	PERFIL H	PC.207	2	ASTM A36	304X30X2
6	1D	PERFIL VI	PC.206	1	ASTM A36	700X30X2
5	2D	PERFIL VD	PC.205	1	ASTM A36	700X30X2
4	4D	BASE QUEMADOR	PC.204	1	ASTM A36	439X30X2
3	3C	PERFIL M	PC.203	4	ASTM A36	311X30X2
2	4A	PERFIL S	PC.202	2	ASTM A36	315X30X2
1	4B	PERFIL L	PC.201	2	ASTM A36	1004X30X
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

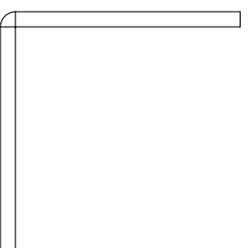
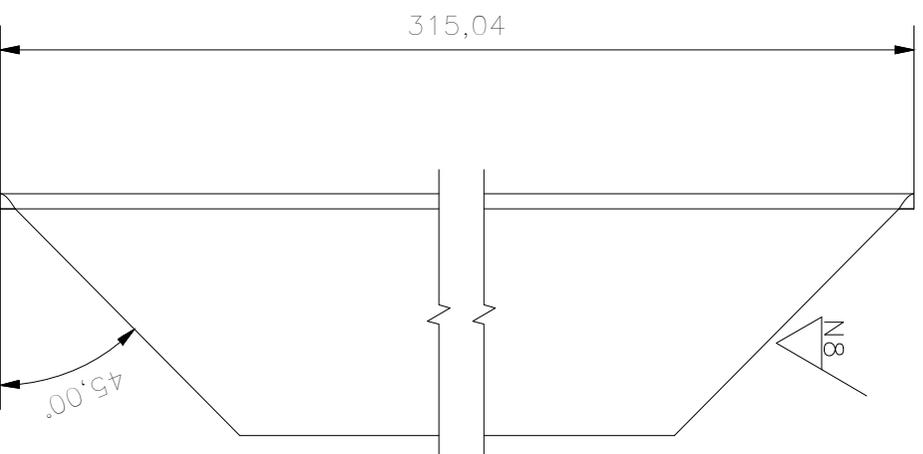
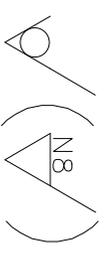
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Dib. Pumisacho, Simbaña	Escala: 1:10
			Dis. Pumisacho, Simbaña	
			Rev. Prof. José Palacios	
ESTRUCTURA BASE			PC.002	Fecha: 11-07-22

AP (N8) A



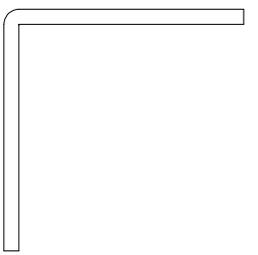
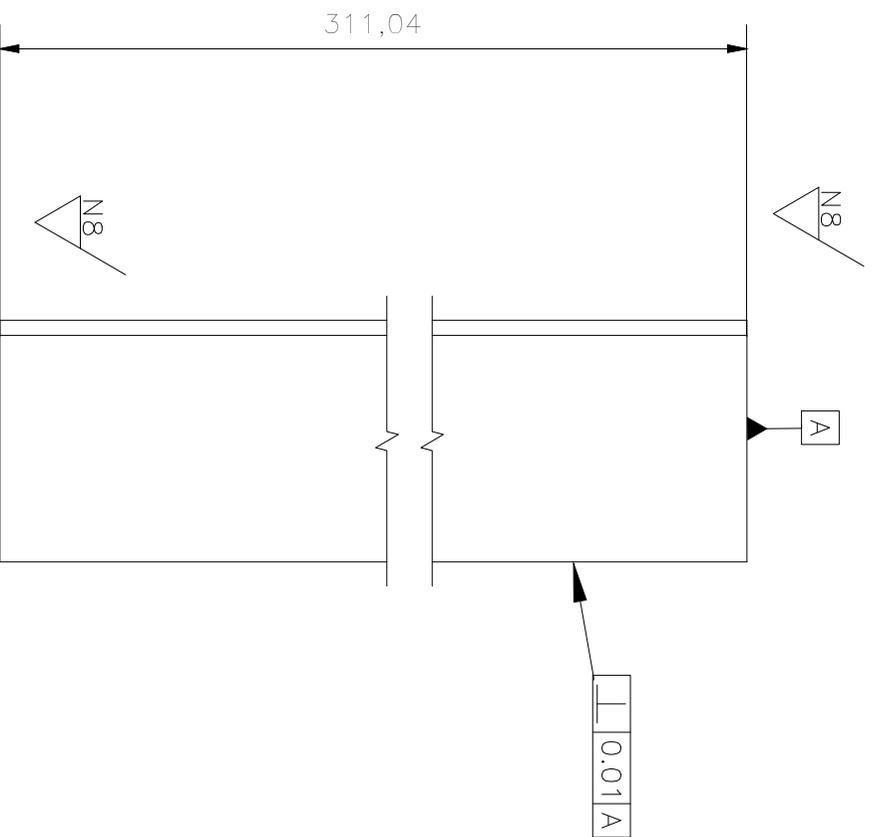
Nota:
- Cortar con tronzoadora
- Maquinar las aristas y retirar exceso de material

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	ESCALA:	1:1	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	DIB.:	Pumisacho, Simbaña
			DIS.:	Pumisacho, Simbaña
			REV.:	Prof. José Palacios.
PERFIL L		PC.201		FECHA: 11-07-22



- Nota:
- Cortar con tronzadora
 - Maquinar las aristas y retirar exceso de material

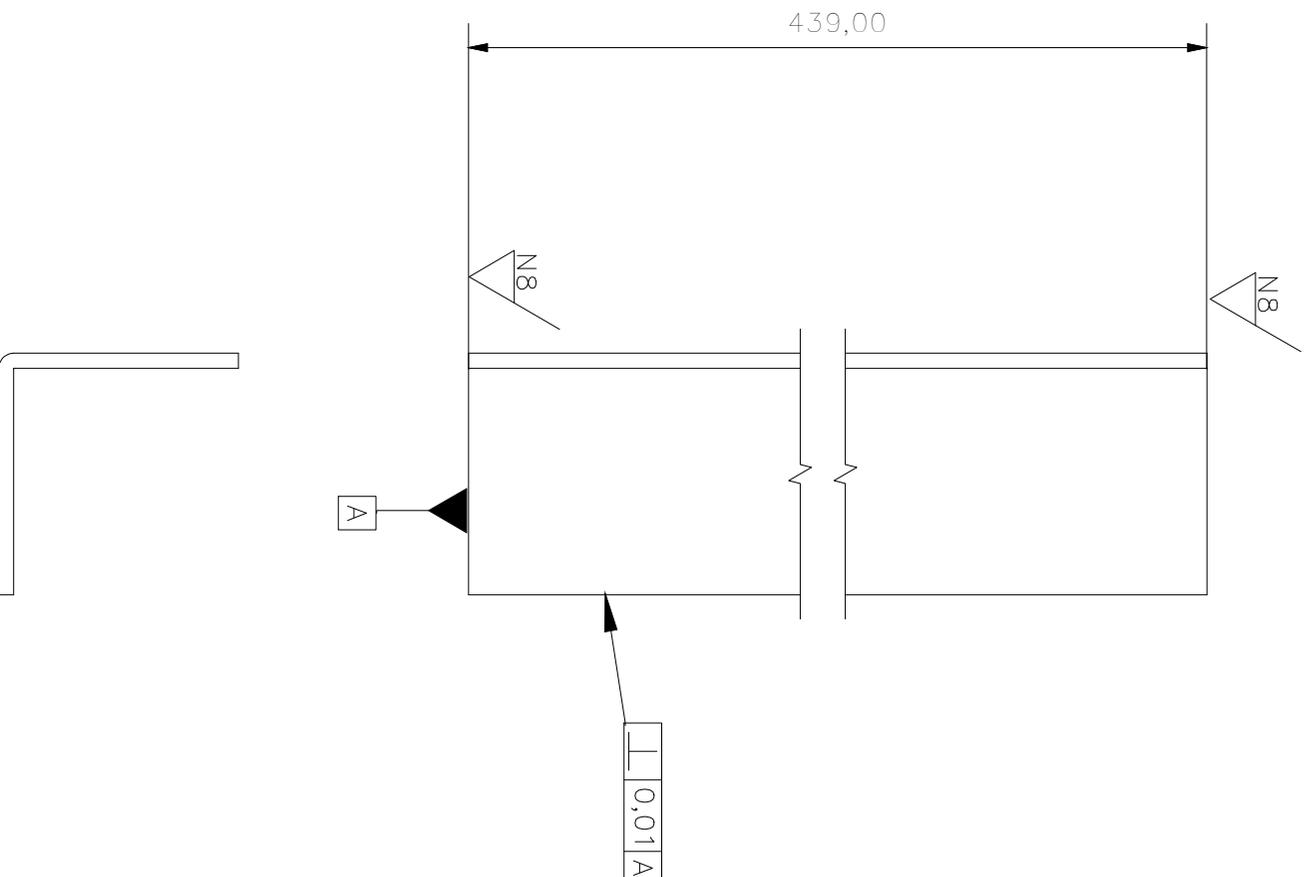
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno			
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	DIB.: Pumisacho, Simbaña
				DIS.: Pumisacho, Simbaña
			REV.: Prof. José Palacios.	
PERFIL S		PC.202		FECHA: 11-07-22



- Nota:
- Cortar con tronzadora
 - Maquinar las aristas y retirar exceso de material

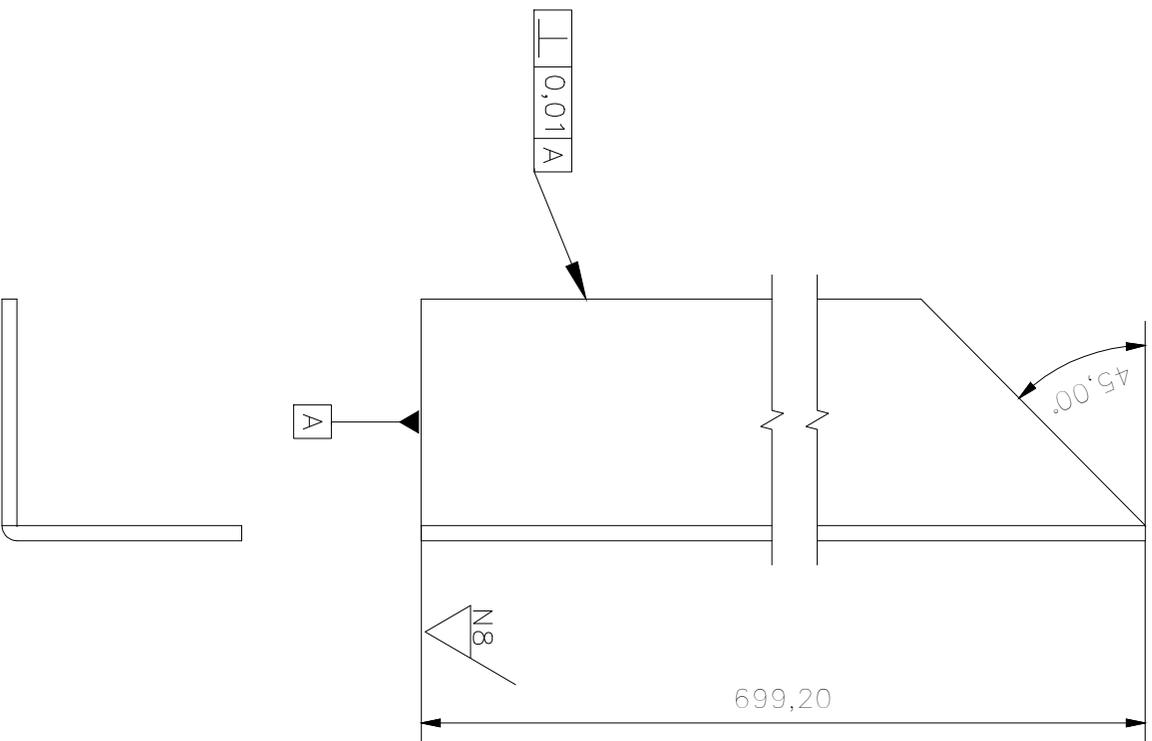
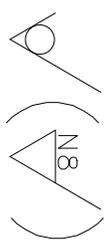
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	EPN		INGENIERÍA MECÁNICA	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.:	ESCALA:	DIB.:	Pumisacho, Simbaña
		±0,01	1:1	DIS.:	Pumisacho, Simbaña
		REV.:	Prof. José Palacios.		
PERFIL M			PC.203		FECHA: 11-07-22

(A) (N8)



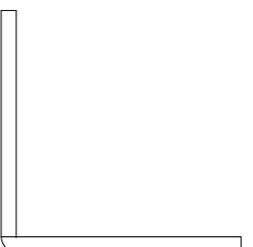
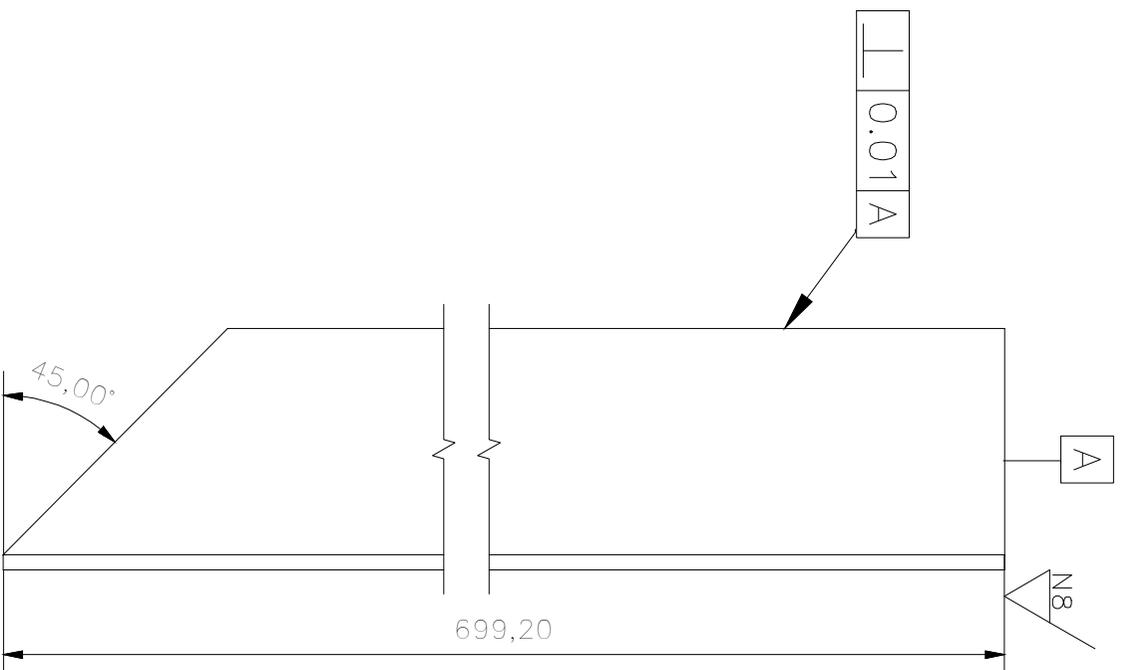
Nota:
- Cortar con tronzoadora
- Maquinar las aristas y retirar exceso de material

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno			
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	DIB.: Pumisacho, Simbaña
				DIS.: Pumisacho, Simbaña
				REV.: Prof. José Palacios.
BASE QUEMADOR			PC.204	FECHA: 11-07-22



- Nota:
- Cortar con tronzadora
 - Maquinar las aristas y retirar exceso de material

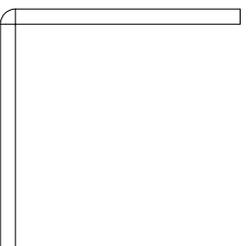
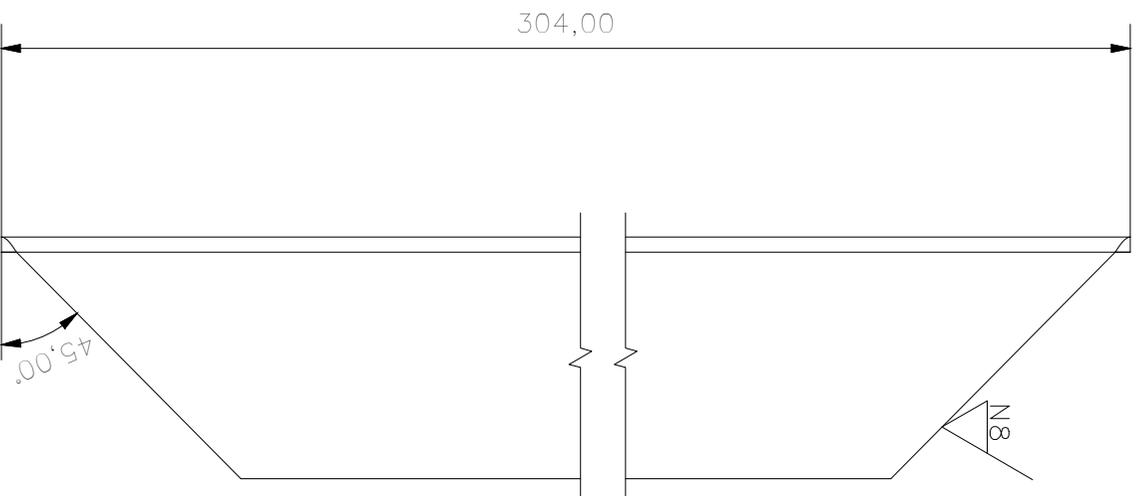
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno			
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	DIB.: Pumisacho, Simbaña
				DIS.: Pumisacho, Simbaña
			REV.: Prof. José Palacios.	
PERFIL VD		PC.205		FECHA: 11-07-22



Nota:
- Cortar con tronzadora
- Maquinar las aristas y retirar exceso de material

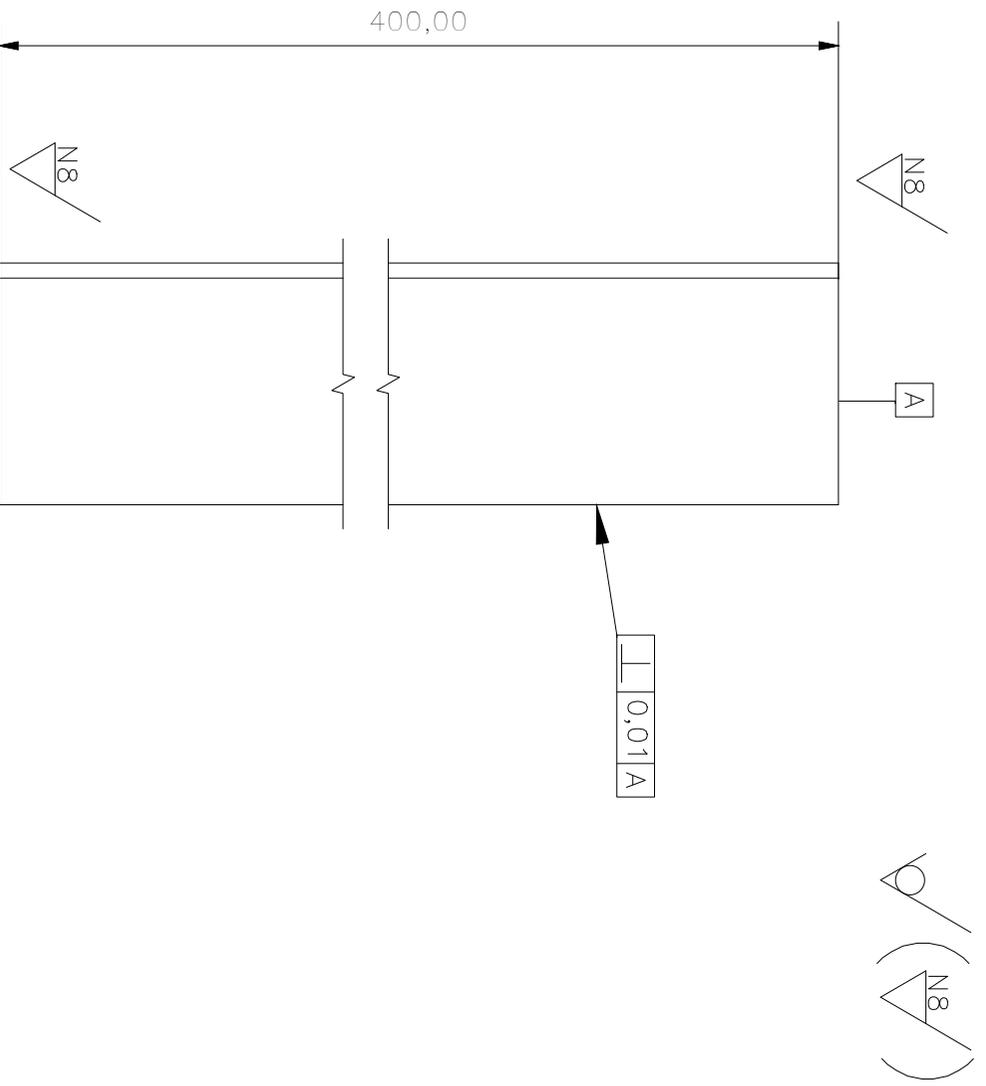
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	EPN		INGENIERÍA MECÁNICA	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	DIB.:	Pumisacho, Simbaña
				DIS.:	Pumisacho, Simbaña
				REV.:	Prof. José Palacios.
PERFIL VI			PC.206		FECHA: 11-07-22

PA (N8) (A)



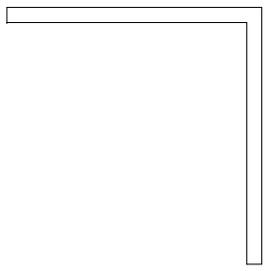
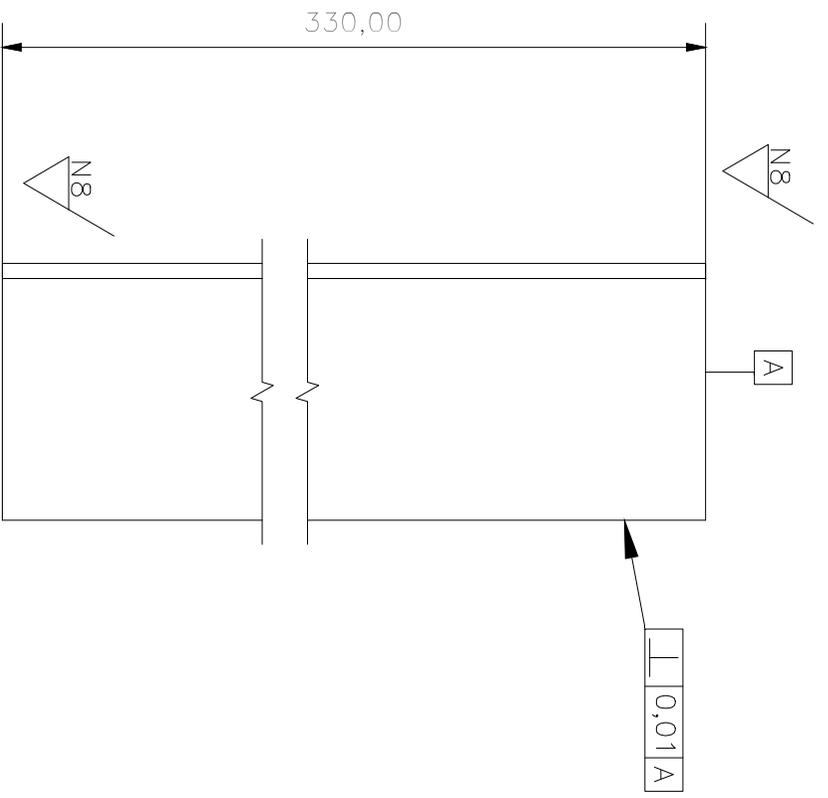
- Nota:
- Cortar con tronzadora
 - Maquinar las aristas y retirar exceso de material

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	DIS.: Pumisacho, Simbaña
			REV.: Prof. José Palacios.	
PERFIL H			PC.207	FECHA: 11-07-22

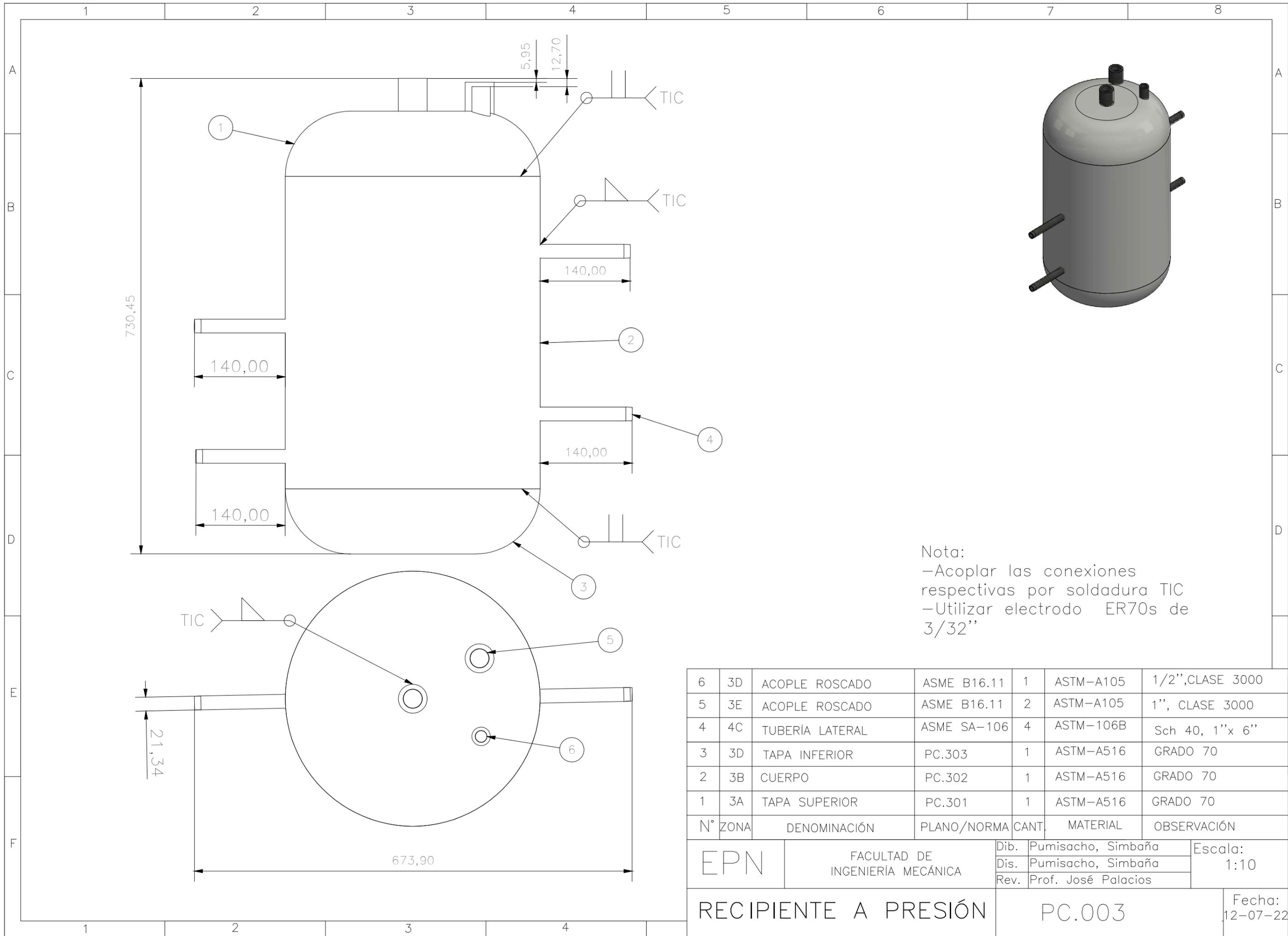


Nota:
 - Cortar con tronzadora
 - Maquinar las aristas y retirar exceso de material

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	DIS.: Pumisacho, Simbaña
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA: 1:1	REV.: Prof. José Palacios.
SOPORTE			PC.208	FECHA: 11-07-22

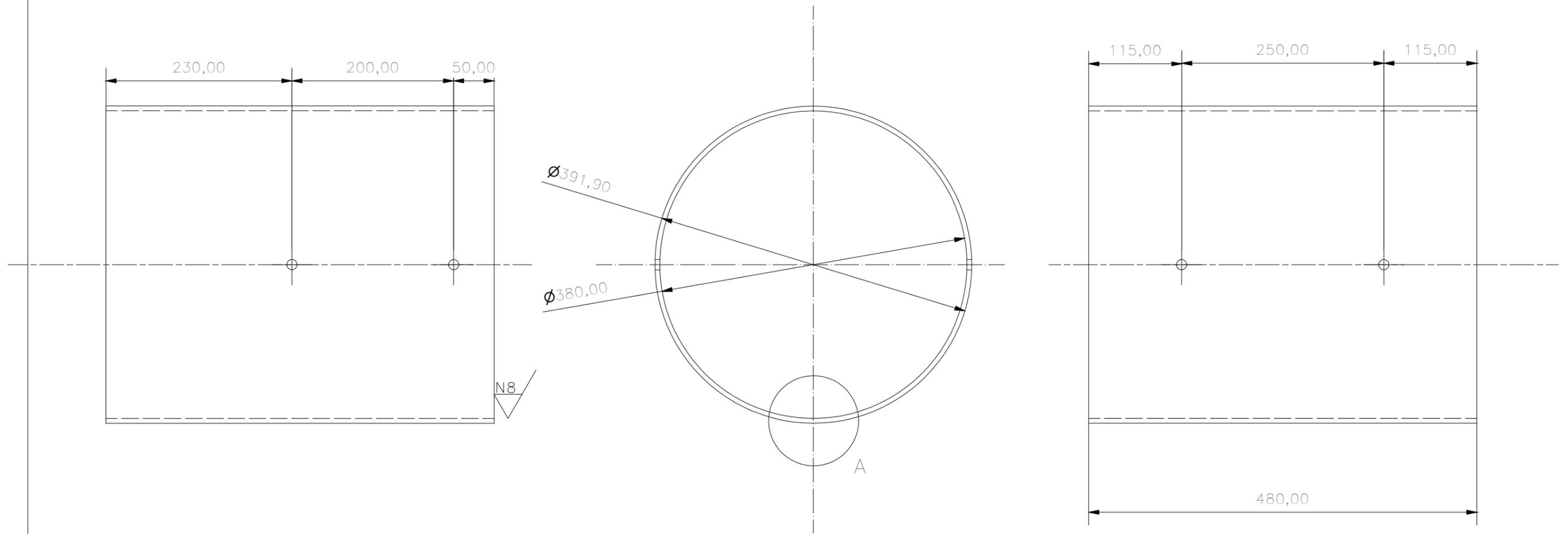


TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno	EPN		INGENIERÍA MECÁNICA	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.:	ESCALA:	DIB.:	Pumisacho, Simbaña
		±0,01	1:1	DIS.:	Pumisacho, Simbaña
			REV.:	Prof. José Palacios.	
PERFILI C			PC.209		FECHA: 11-07-22

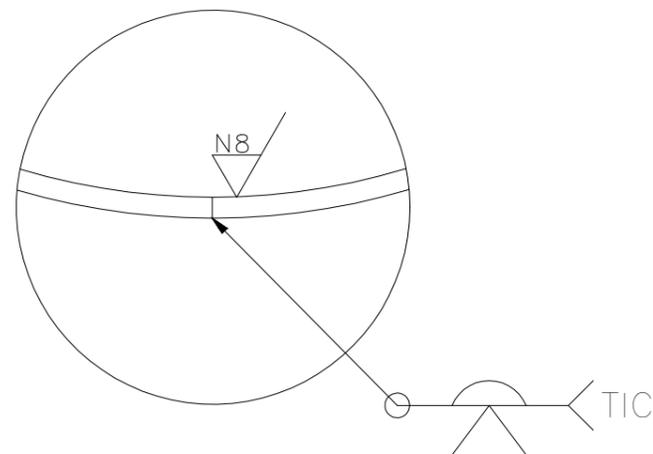


Nota:
 -Acoplar las conexiones respectivas por soldadura TIC
 -Utilizar electrodo ER70s de 3/32''

6	3D	ACOPLE ROSCADO	ASME B16.11	1	ASTM-A105	1/2'', CLASE 3000
5	3E	ACOPLE ROSCADO	ASME B16.11	2	ASTM-A105	1'', CLASE 3000
4	4C	TUBERÍA LATERAL	ASME SA-106	4	ASTM-106B	Sch 40, 1''x 6''
3	3D	TAPA INFERIOR	PC.303	1	ASTM-A516	GRADO 70
2	3B	CUERPO	PC.302	1	ASTM-A516	GRADO 70
1	3A	TAPA SUPERIOR	PC.301	1	ASTM-A516	GRADO 70
N° ZONA	DENOMINACIÓN		PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
EPN			FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib. Pumisacho, Simbaña	Escala: 1:10	
				Dis. Pumisacho, Simbaña		
				Rev. Prof. José Palacios		
RECIPIENTE A PRESIÓN					PC.003	
					Fecha: 12-07-22	



Detalle A
Escala: 1 : 2

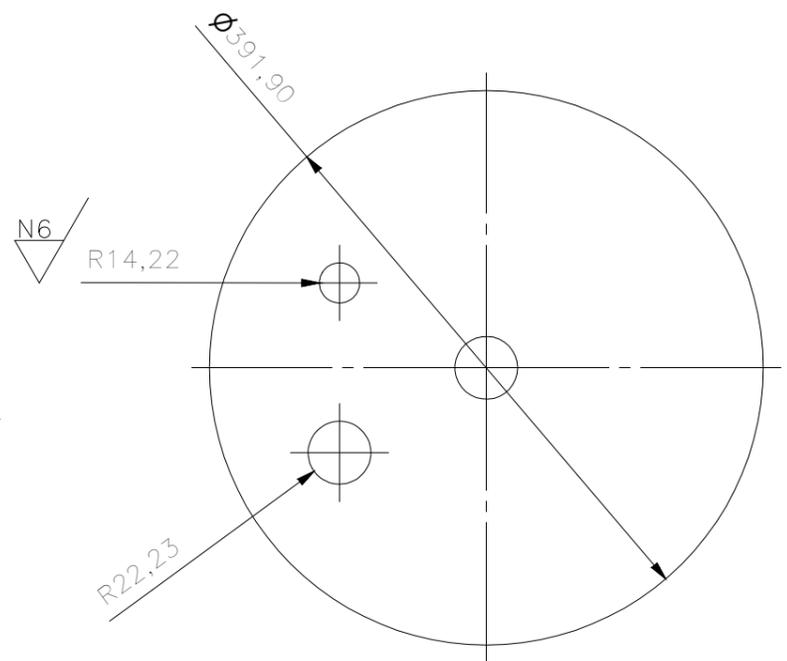
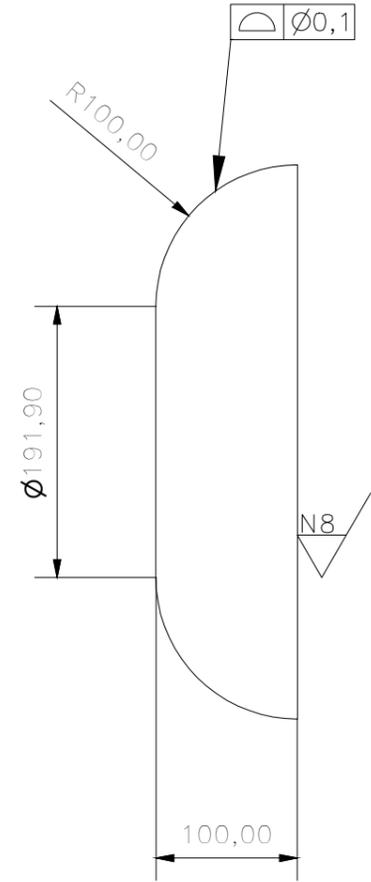
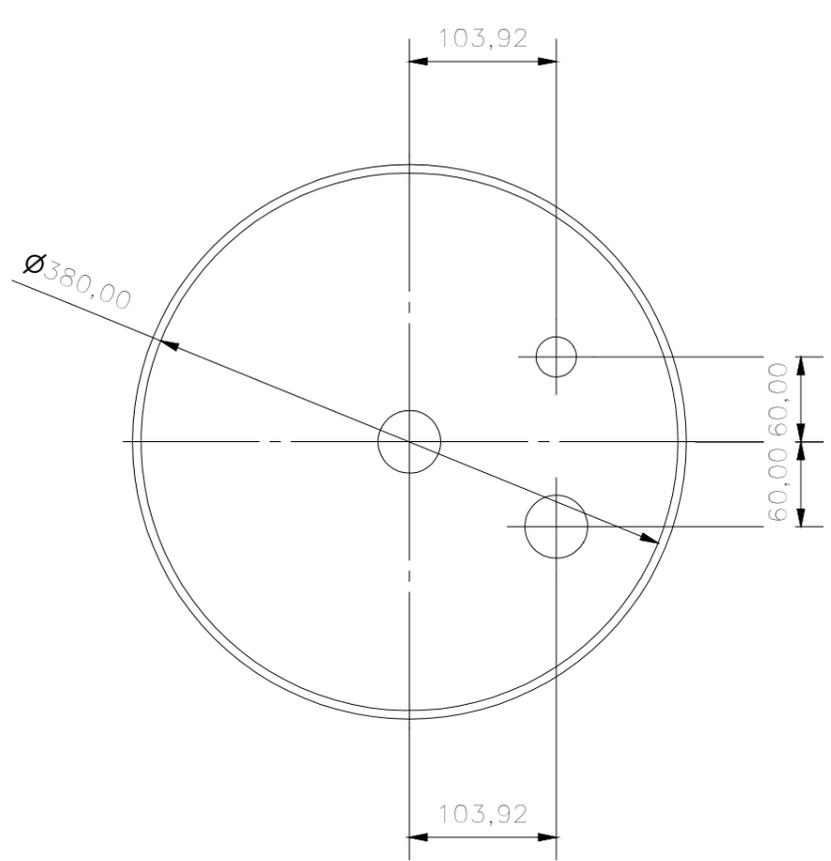


Nota:

- Se conforma el cuerpo por el proceso de rolado.
- El proceso de soldadura es TIC
- Electrodo ER70s de 3/32"

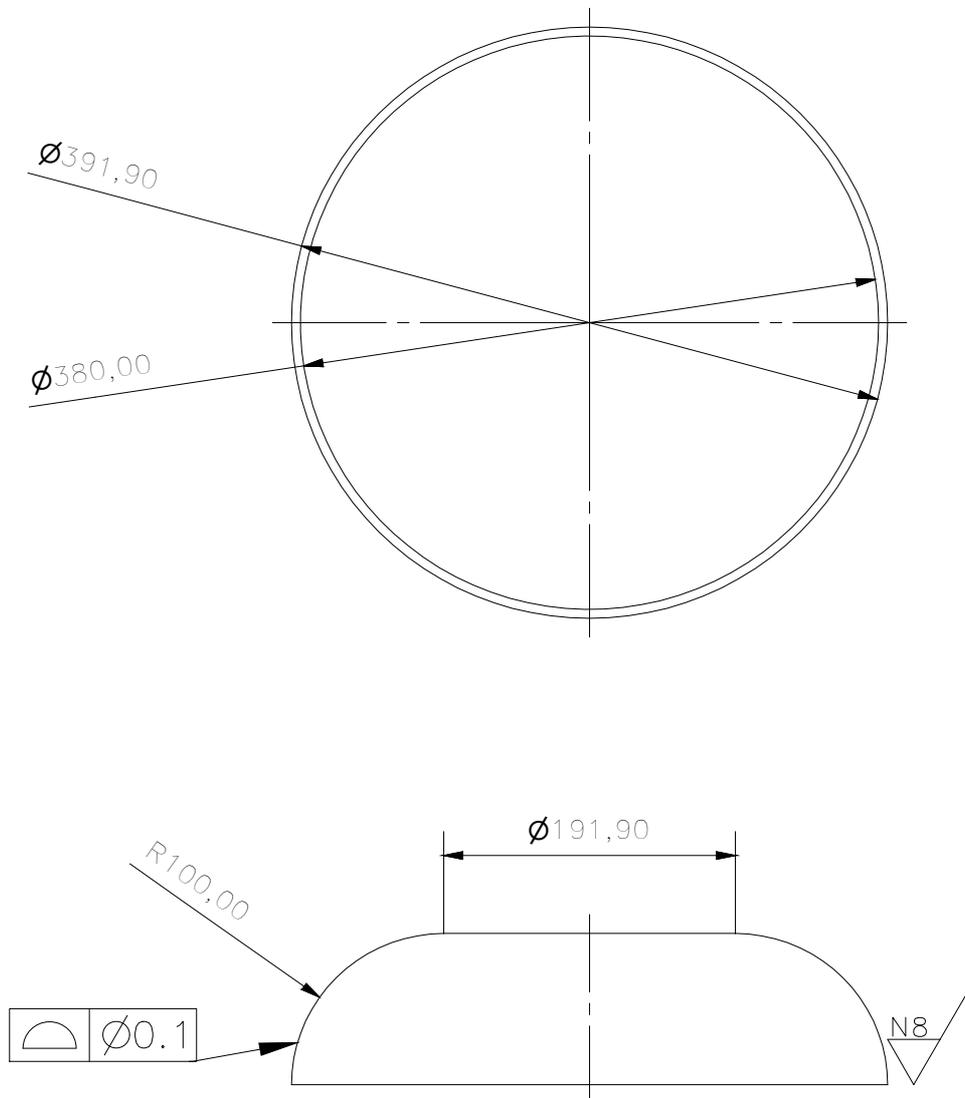
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña
MATERIAL:	ASTM-A516	TOL. GRAL.: ±0,01	ESCALA:	DIS.:
			1:5	Pumisacho, Simbaña
			REV.:	Prof. José Palacios
CUERPO		PC.302		FECHA: 11-07-22

✓ (N8) (N6) ✓



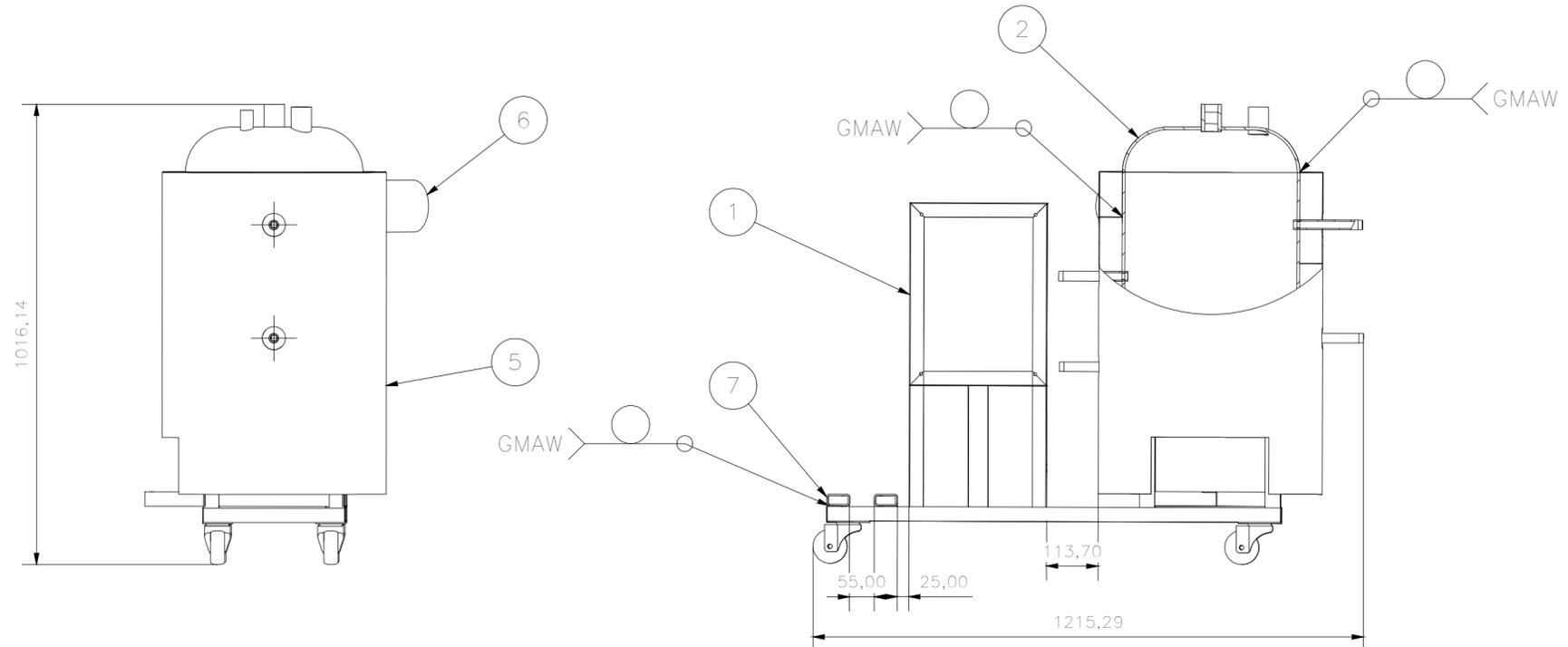
Nota:
 - Realizar 3 agujeros pro corte de plasma
 - Se realiza el conformado por abombamiento

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña
MATERIAL:	ASTM-A516	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA:	DIS.: Pumisacho, Simbaña
			1:5	REV.: Prof. José Palacios
TAPA SUPERIOR			PC.301	FECHA: 11-07-22

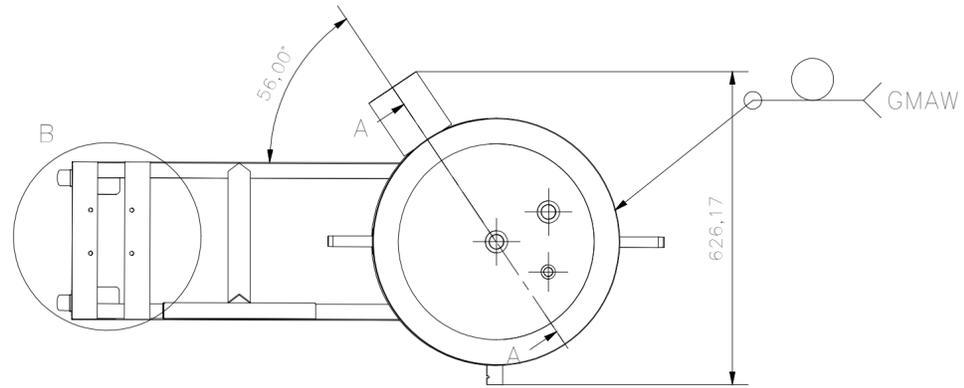
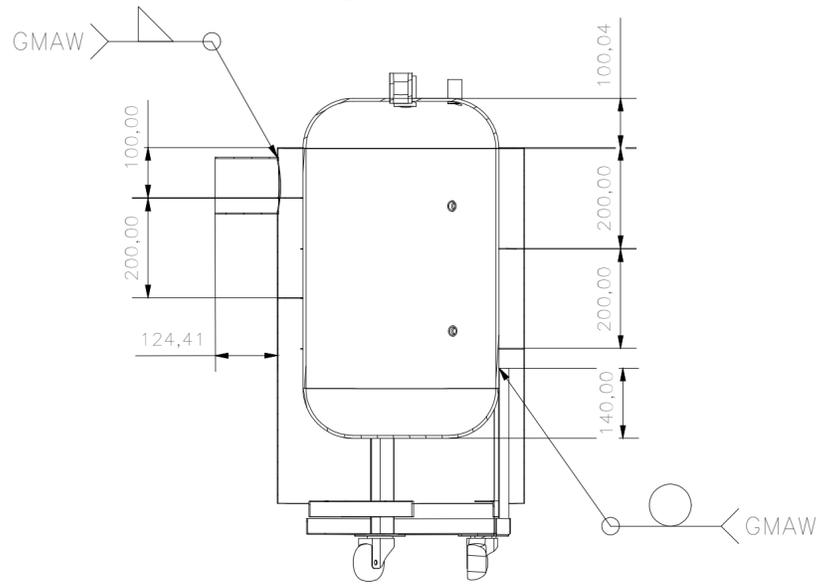


Nota:
-Realizar conformado por
abombamiento

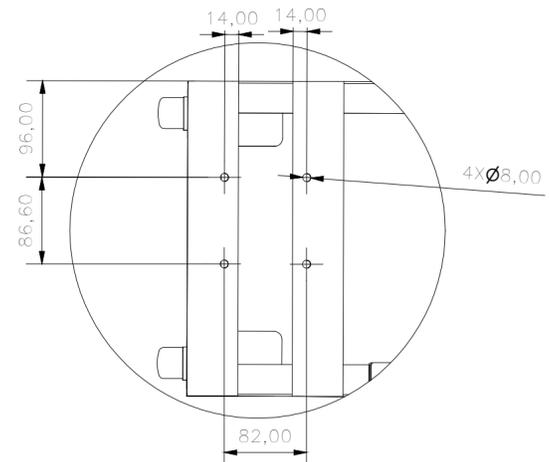
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A516	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA: 1:5	DIS.: Pumisacho, Simbaña
				REV.: Prof. José Palacios
TAPA INFERIOR		PC.303		FECHA: 12-07-22



Sección A-A
Escala:1:10



Detalle B
Escala:1 : 5

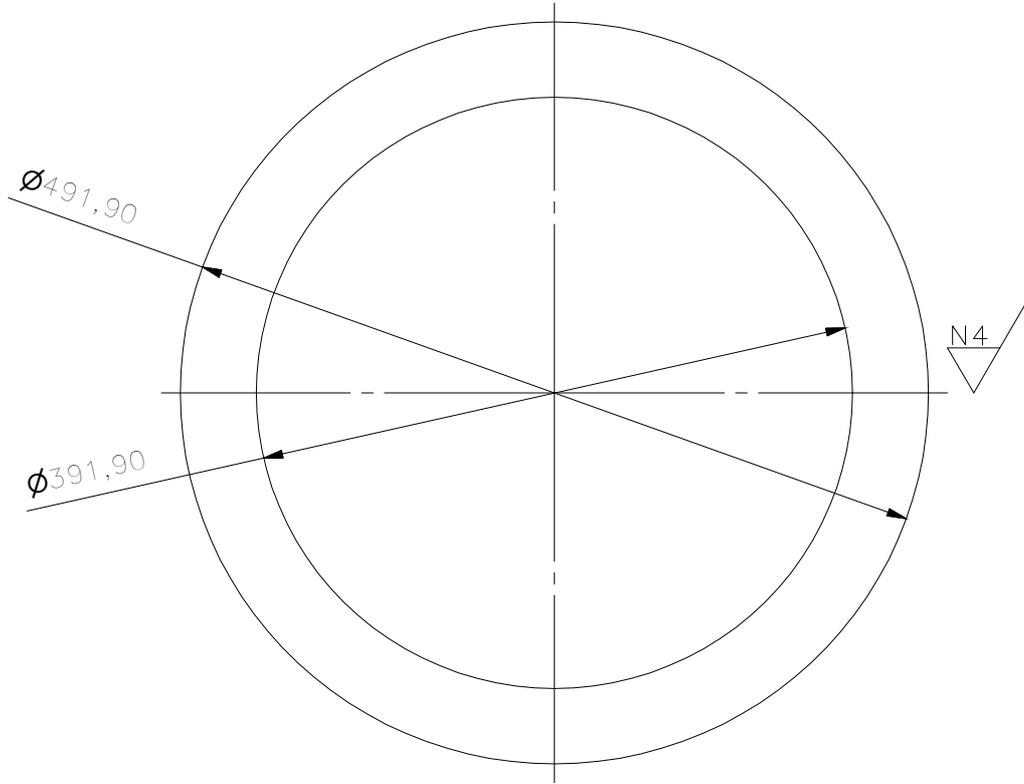
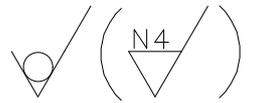


- Nota:
- Perforar por taladrado para elementos de sujeción
 - Soldar por proceso GMAW
 - Utilizar electrodo ER70s-6 de 3/32"

N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
7	4B	PERFIL SOPORTE	AISC	3	ANSI B36	Sch 10S, 5"x1"
6	3C	TUBO GASES	ASME	3	ANSI B36	Sch 10S, 5"x1"
5	3C	CUBIERTA INTERNA	PC.403	1	ASTM-A36	
4	2D	DEFECTOR LUNA	PC.402	4	ASTM-A36	
3	5D	DEFECTOR COMPLETO	PC.401	1	ASTM-A36	
2	5B	TANQUE A PRESIÓN	PC.003	1	ASTM-A516	
1	4C	ESTRUCTURA BASE	PC.002	1	ASTM-A36	

EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib.	Pumisacho, Simbaña	Escala: 1:10
		Dis.	Pumisacho, Simbaña	
		Rev.	Prof. José Palacios	

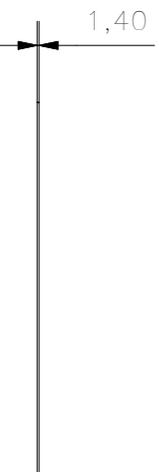
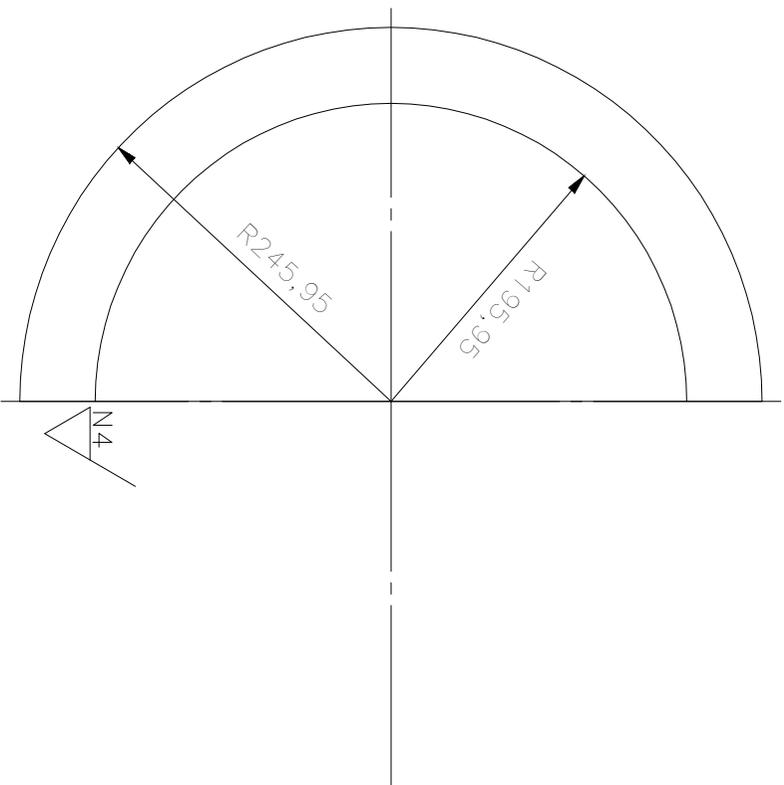
ESTRUCTURA-TANQUE	PC.004	Fecha: 11-07-22
-------------------	--------	--------------------



Nota:
- Cortar por corte a láser

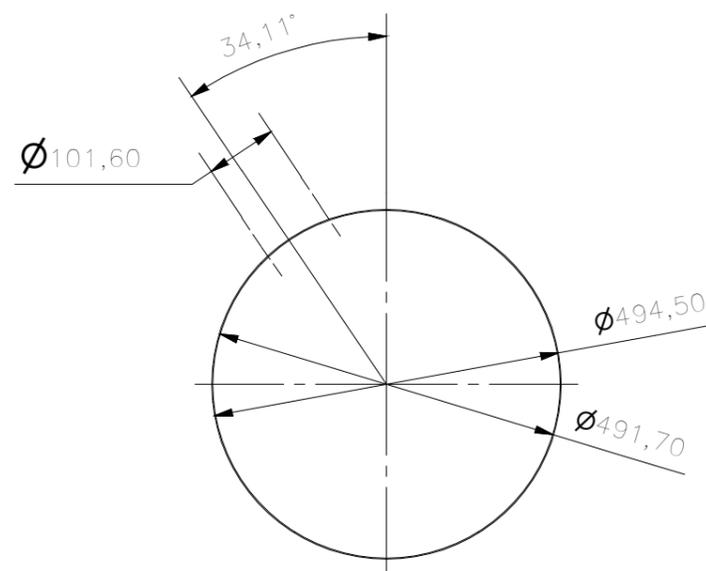
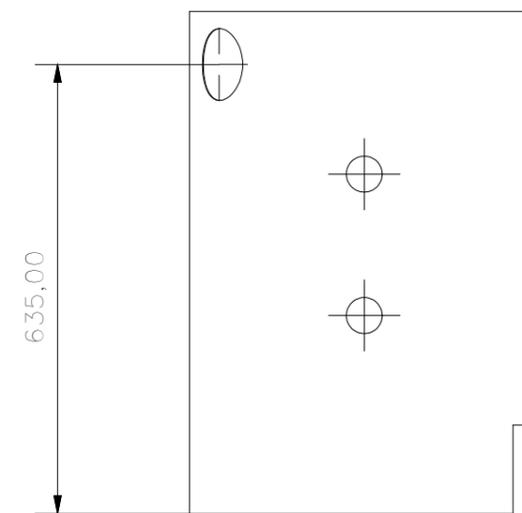
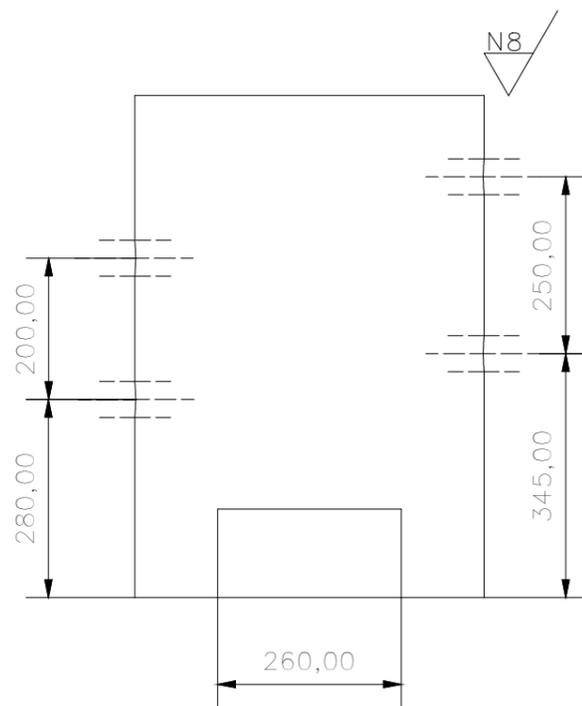
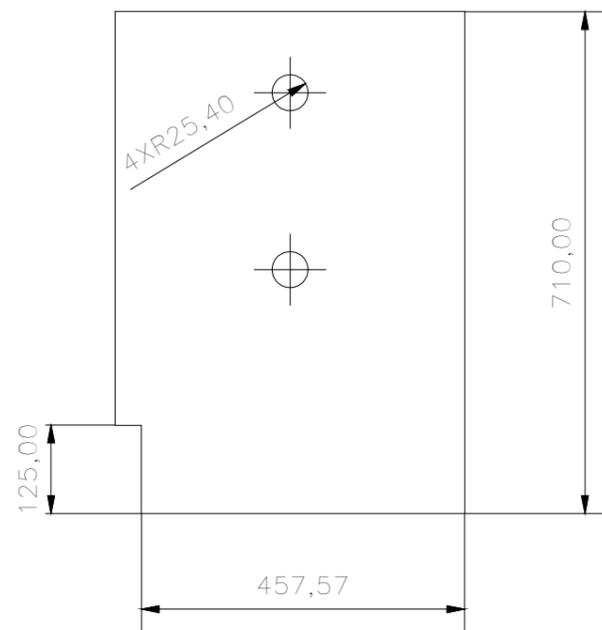
TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA:	DIS.: Pumisacho, Simbaña
			1:5	REV.: Prof. José Palacios
DEFLECTOR COMPLETO		PC.401		FECHA: 12-07-22

(A) A



Nota:
-Cortar por
corte a láser

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA:	DIS.: Pumisacho, Simbaña
			1:5	REV.: Prof. José Palacios
DEFECTOR TIPO LUNA		PC.402	FECHA:	12-07-22



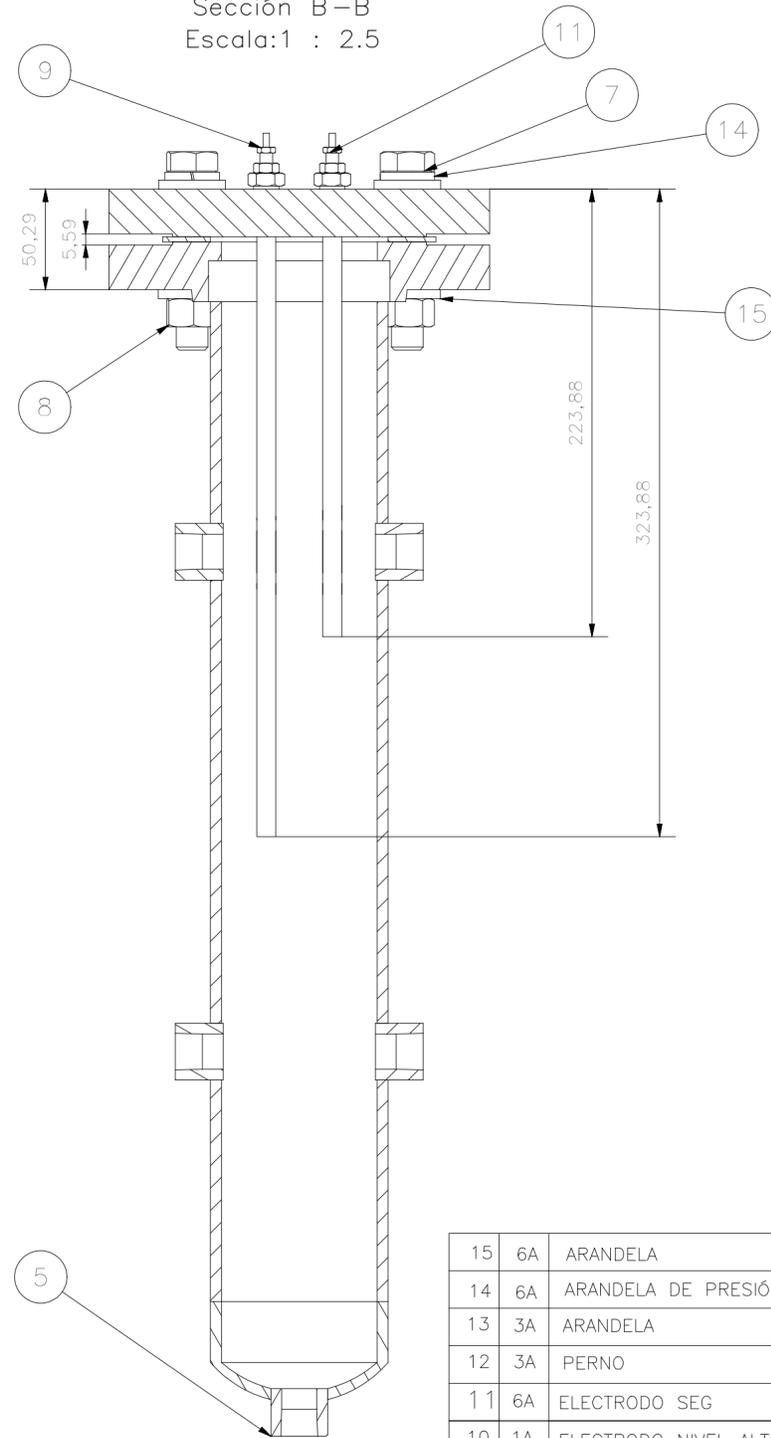
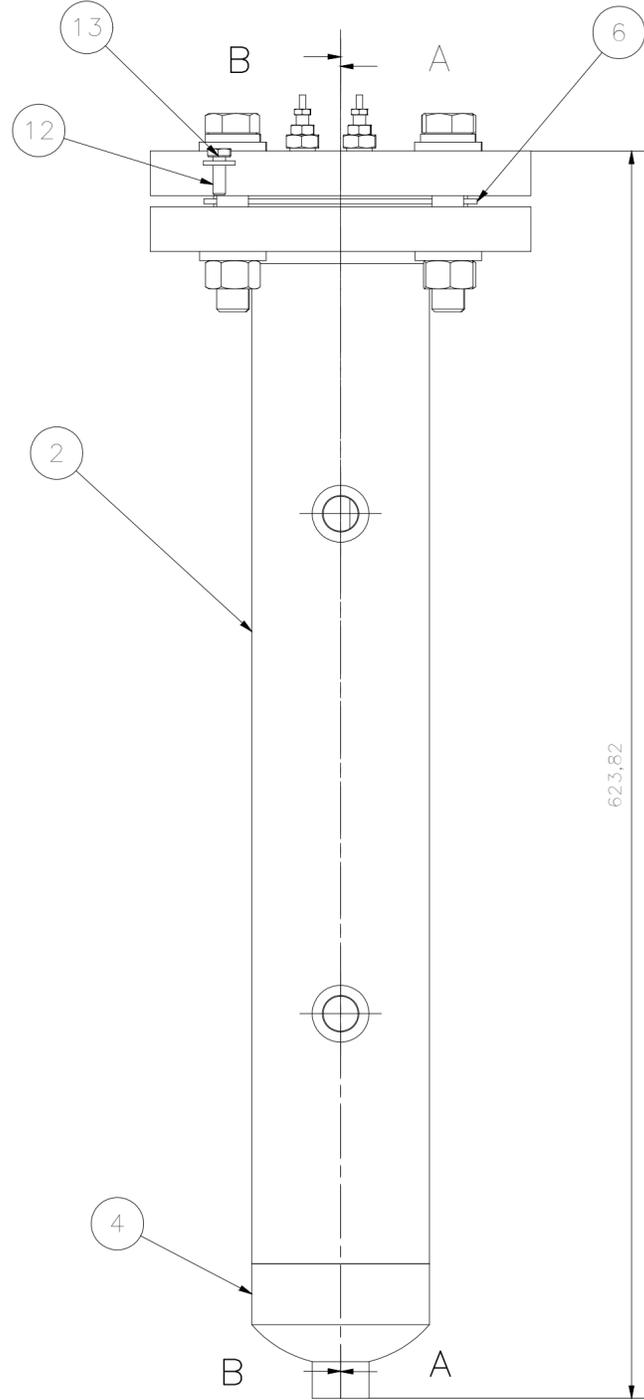
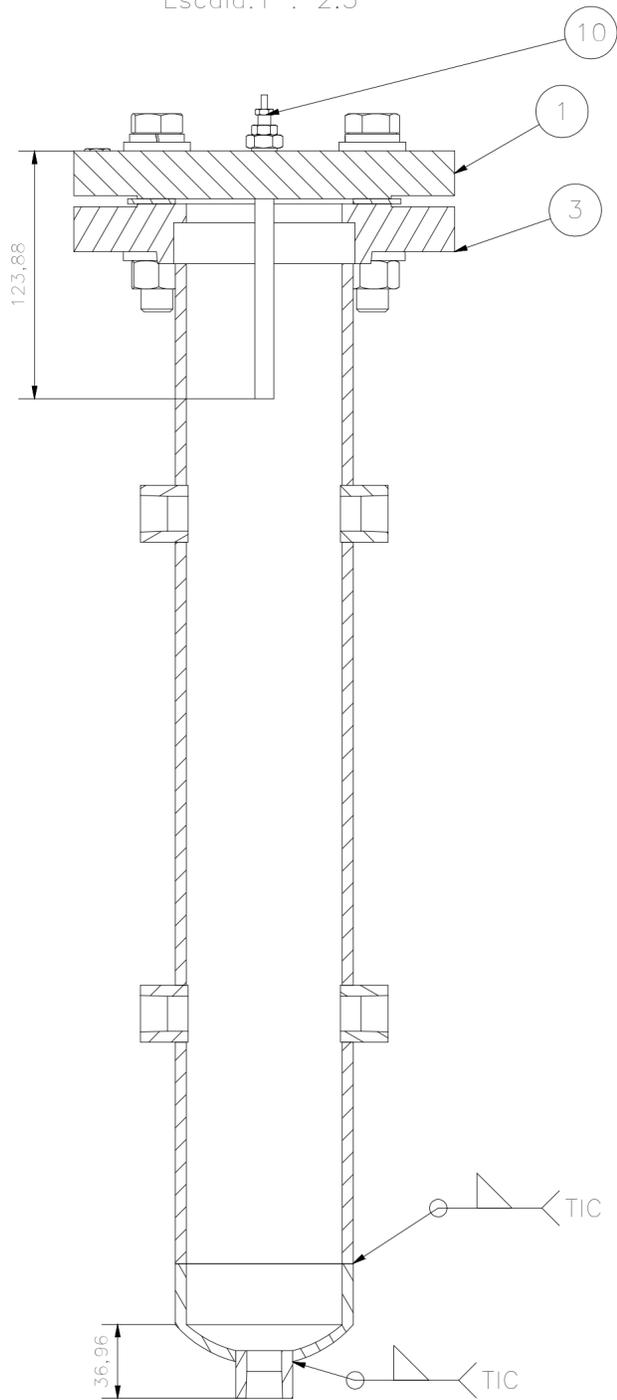
Nota:

- Cortar perfil por corte a láser
- Doblar por flexión
- Unir por soldadura GMAW a puntos

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno			
MATERIAL:	ASTM-A36	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA: 1:10	DIB.: Pumisacho, Simbaña
				DIS.: Pumisacho, Simbaña
				REV.: Prof. José Palacios
CUBIERTA INTERNA			PC.403	FECHA: 12-07-22

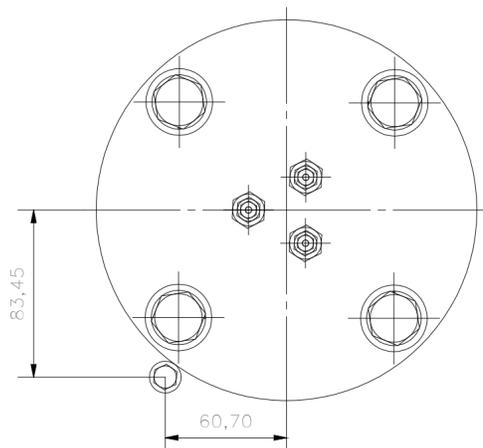
Sección A-A
Escala: 1 : 2.5

Sección B-B
Escala: 1 : 2.5



Nota:
- Acoplar conexiones por soldadura TIC

15	6A	ARANDELA	ASTM F436	4	ACERO GALV.	5/8"
14	6A	ARANDELA DE PRESIÓN	ASTM F436	4	ACERO GALV.	8/8"
13	3A	ARANDELA	ASTM F436	1	ACERO GALV.	1/4"
12	3A	PERNO	ASTM-A193	1	ACERO GALV.	1/4"x3/4"
11	6A	ELECTRODO SEG		1	SS-304	
10	1A	ELECTRODO NIVEL ALTO		1	SS-304	
9	5A	ELECTRODO NIVEL BAJO		1	SS-304	
8	5B	TUERCAS	ASTM-A194	4	ACERO GALV.	5/8"
7	6A	PERNOS HEXAGONAL	ASTM-A193	4	ACERO GALV.	5/8"x4"
6	4A	EMPAQUE	ASME B.16.21	1	ASBESTO	
5	5E	ACOPLE ROSCADO	ASME B.16.11	5	ASTM-A105	CLASE 1000 DN15
4	3E	TAPÓN CAPA	ASME B16.9	1	ASTM-A234WPB	Sch 40x3"
3	2B	BRIDA CON CUELLO	ASME B16.5	1	ASTM-A105	CLASE 150
2	3C	CUERPO	PC.502	1	ASTM-A106B	Sch 40x3"
1	2A	BRIDA CIEGA	PC.501	1	ASTM-A105	CLASE 150
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN



EPN

FACULTAD DE
INGENIERÍA MECÁNICA

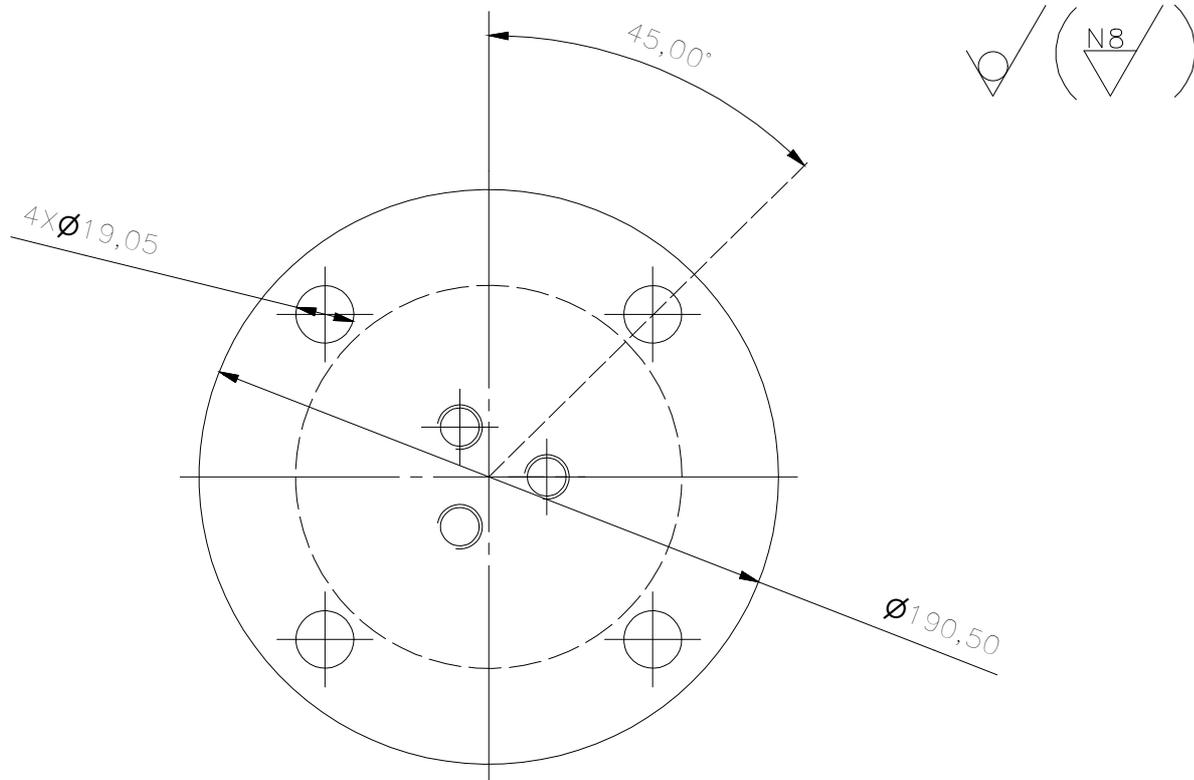
Dib. Pumisacho, Simbaña
Dis. Pumisacho, Simbaña
Rev. Prof. José Palacios

Escala:
1:2.5

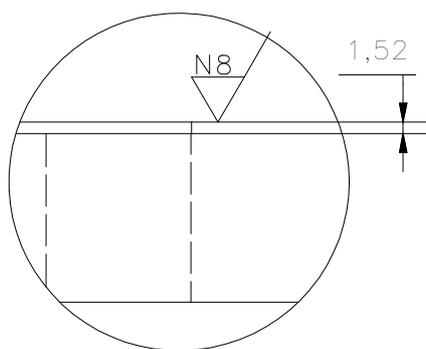
TANQUE A PRESIÓN

PC.005

Fecha:
12-07-22

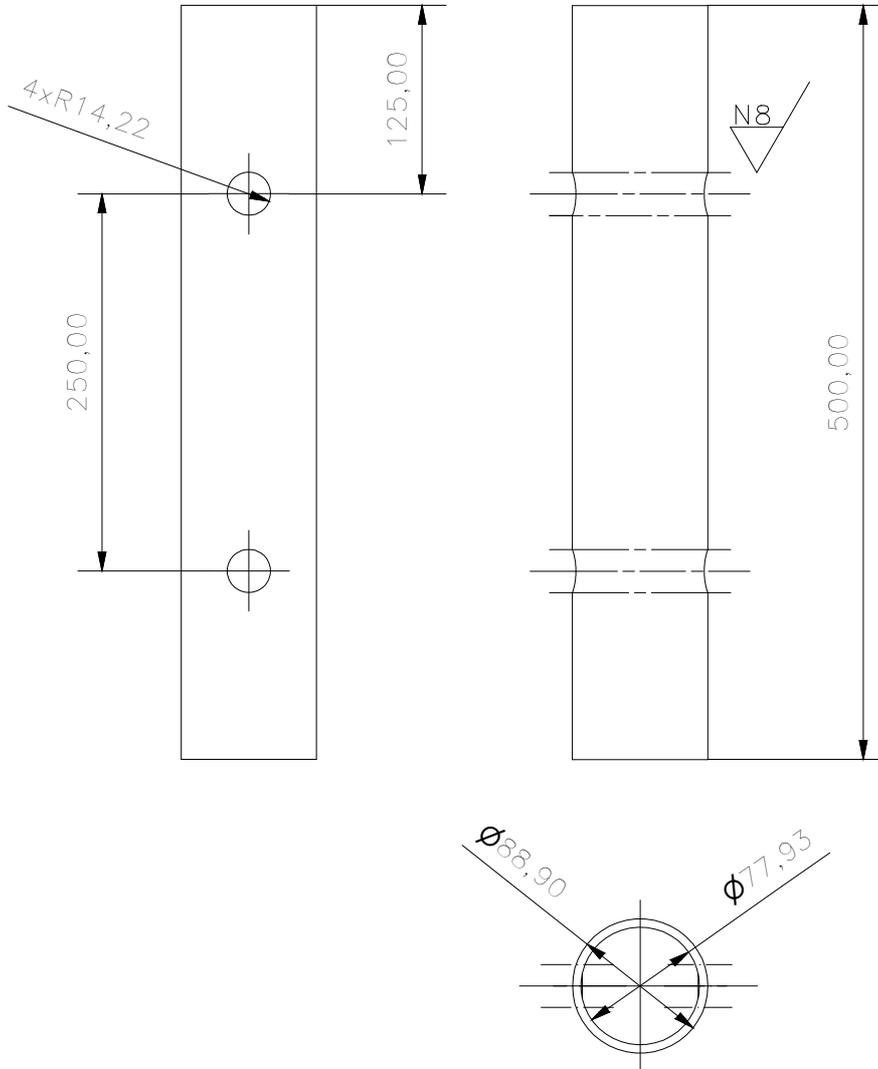
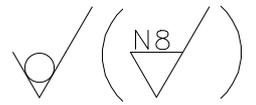


Detalle A
Escala: 1 : 1



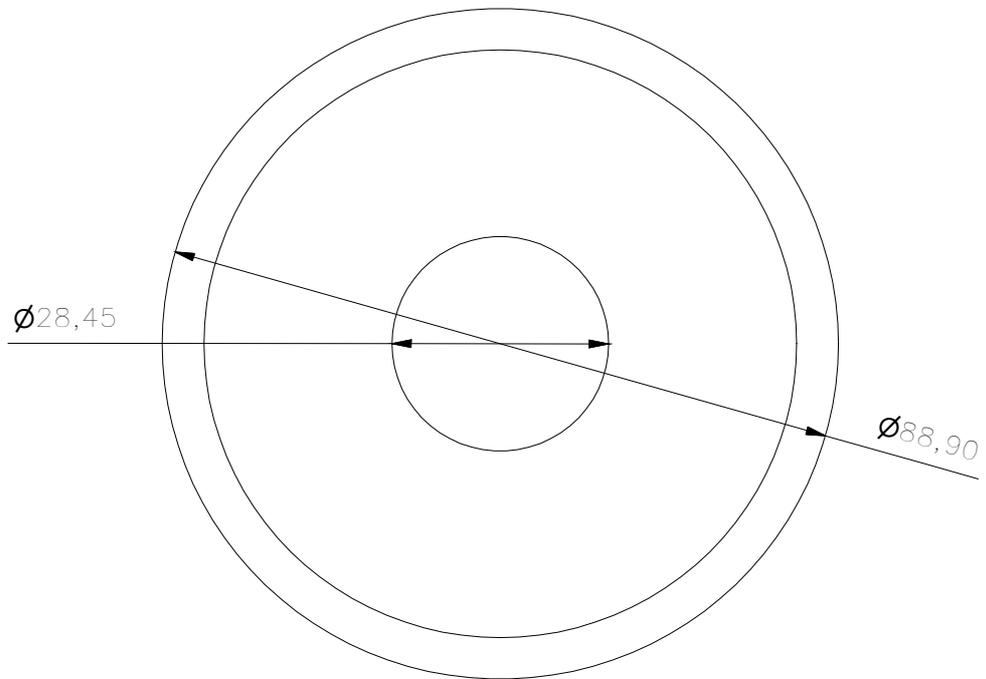
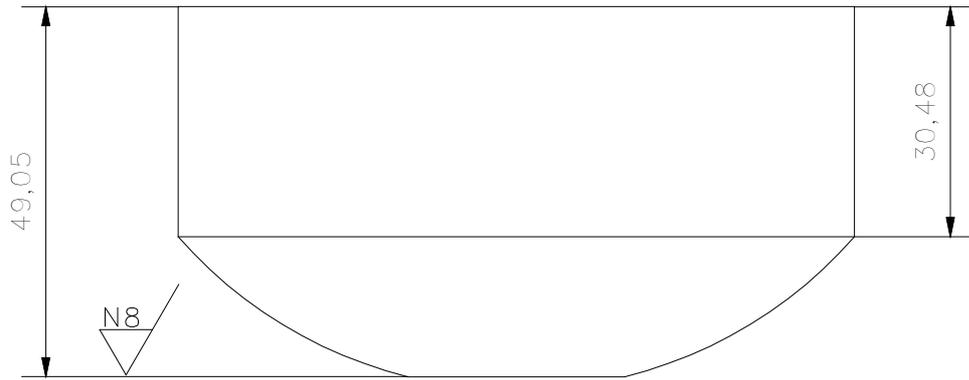
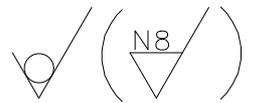
Nota:
- Realizar perforaciones
centrales en torno

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña
MATERIAL: ASTM-A105	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA: 1:2.5	DIS.:	Pumisacho, Simbaña
			REV.:	Prof. José Palacios
BRIDA CIEGA		PC.501		FECHA: 14-07-22



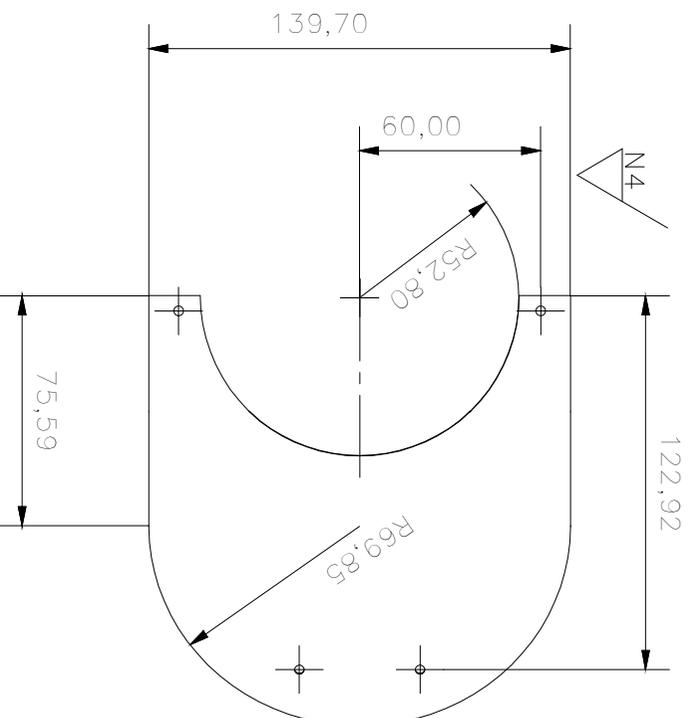
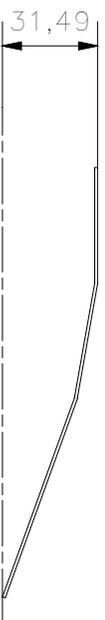
Nota:
 - Realizar perforaciones por plasma

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A106B	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA:	DIS.: Pumisacho, Simbaña	
			1:5	REV.:	Prof. José Palacios
CUERPO VASO		PC.502		FECHA: 14-07-22	



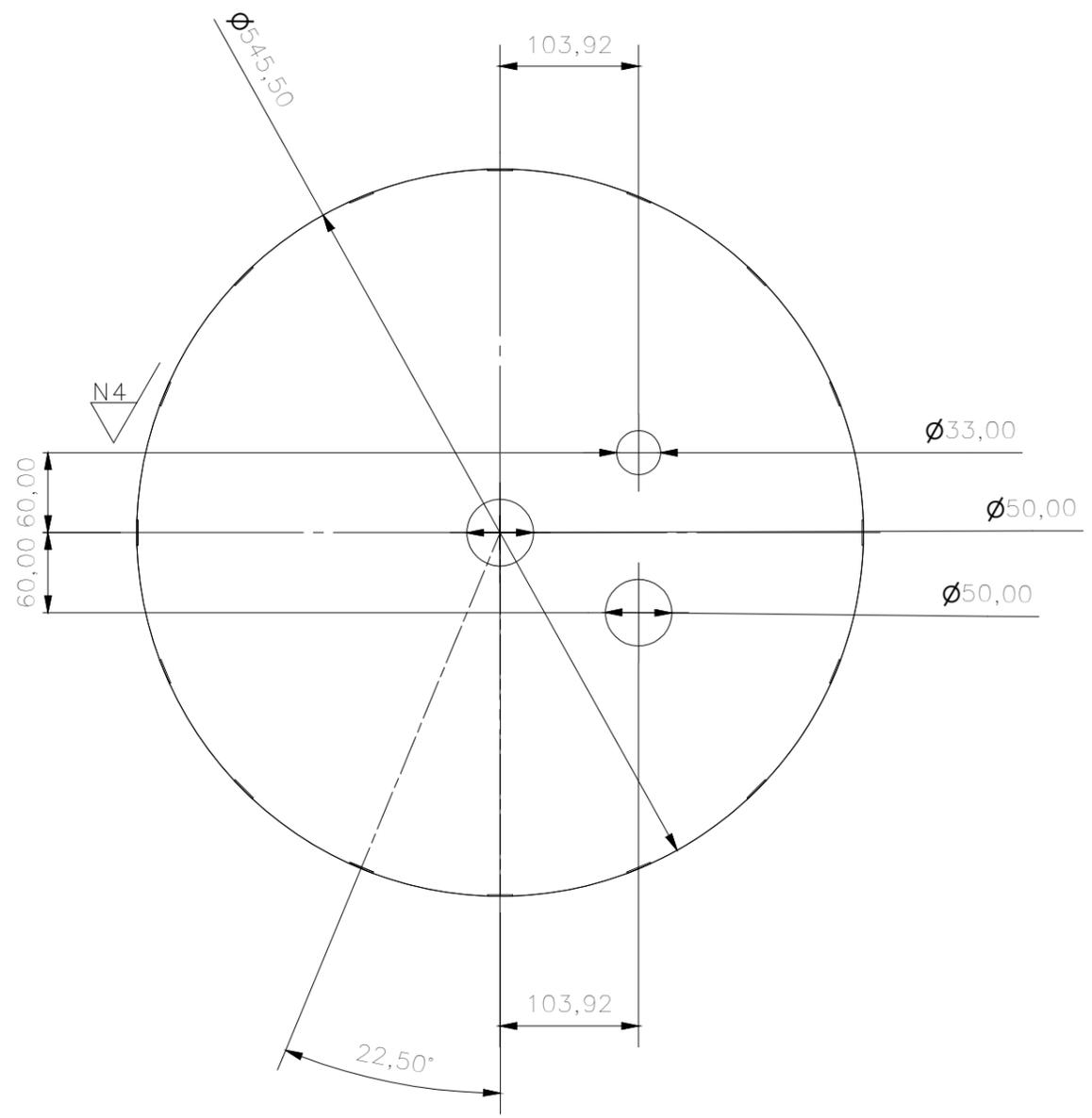
Nota:
- Perforar por plasma

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	
MATERIAL:	ASTM-A234WBP	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA: 1:1	DIS.: Pumisacho, Simbaña
				REV.: Prof. José Palacios
BRIDA CON CUELLO		PC.503		FECHA: 22-07-22

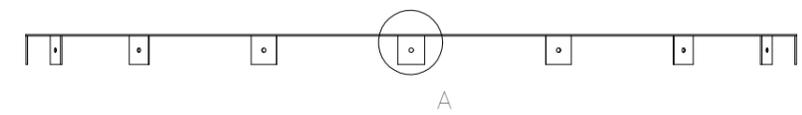
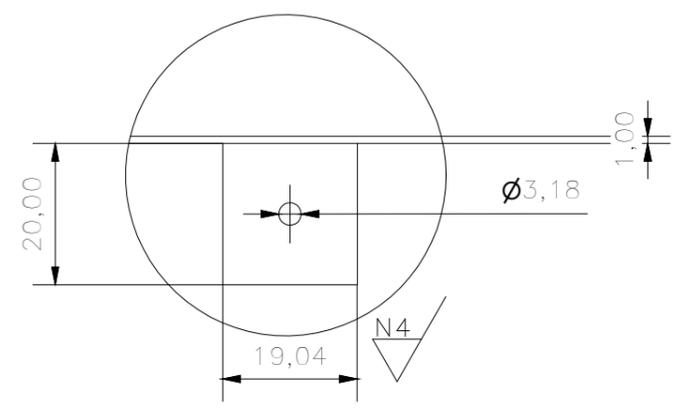


- Nota:
- Se corta el perfil por corte a láser
 - Se dobla por flexión

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno				
MATERIAL:	ALUMINIO	TOL. GRAL.:	ESCALA:	DIB.:	Pumisacho, Simbaña
		±0,1	1:2.5	DIS.:	Pumisacho, Simbaña
				REV.:	Prof. José Palacios
MEDIA 4''			PC.006		FECHA: 12-07-22

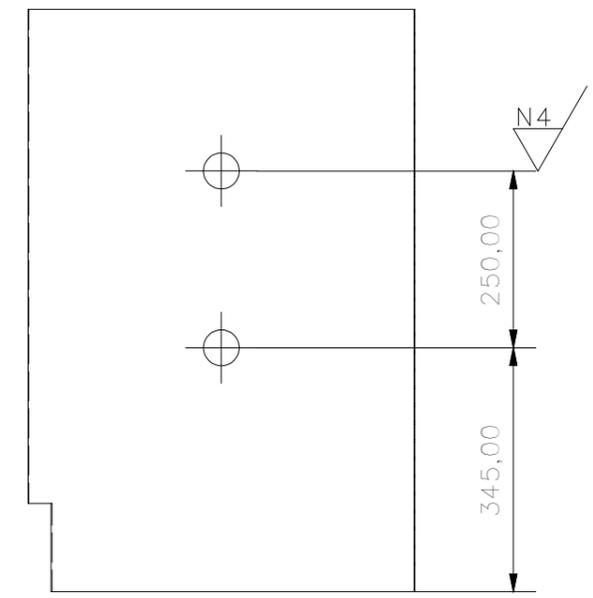
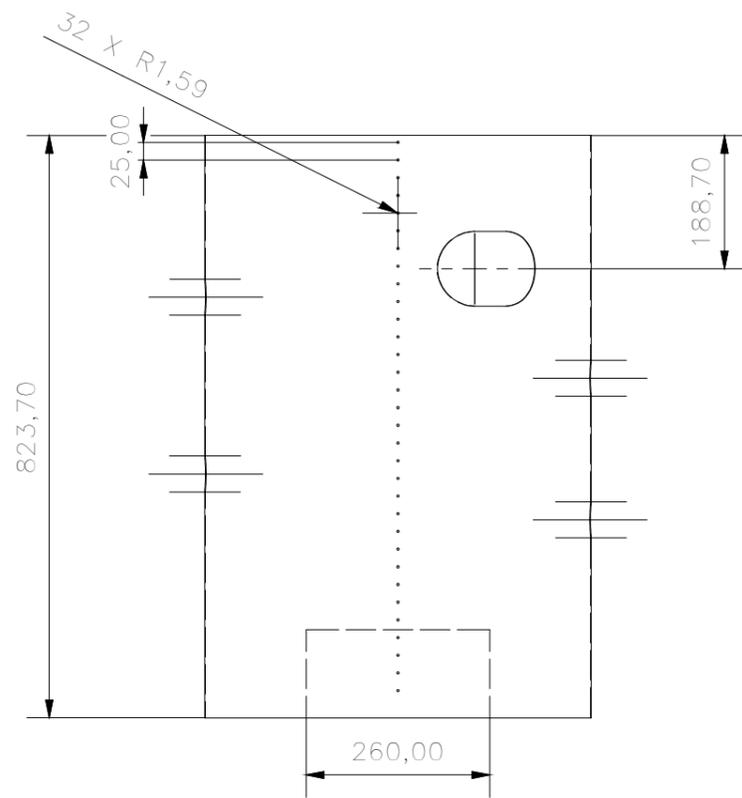
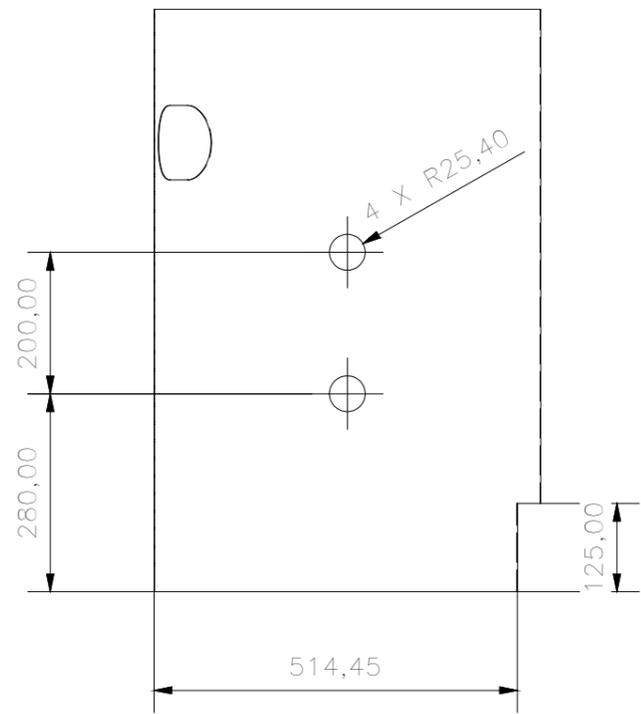
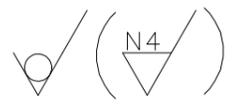


Detalle A
Escala: (1 : 1)



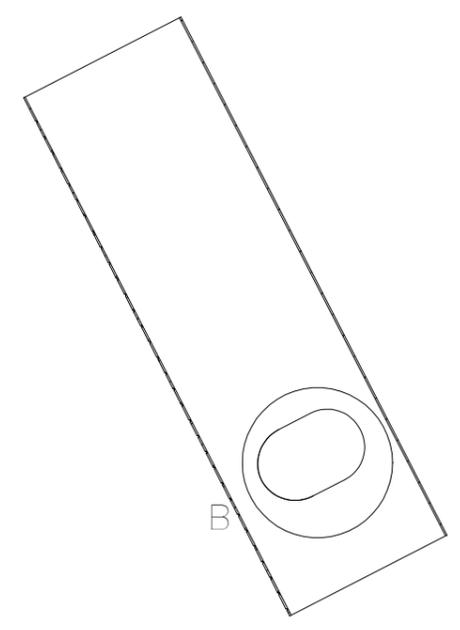
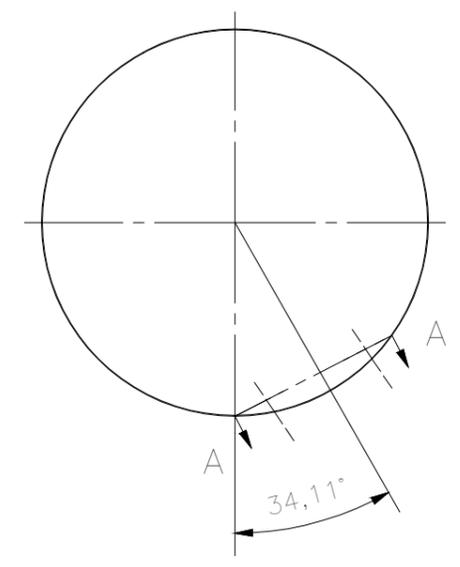
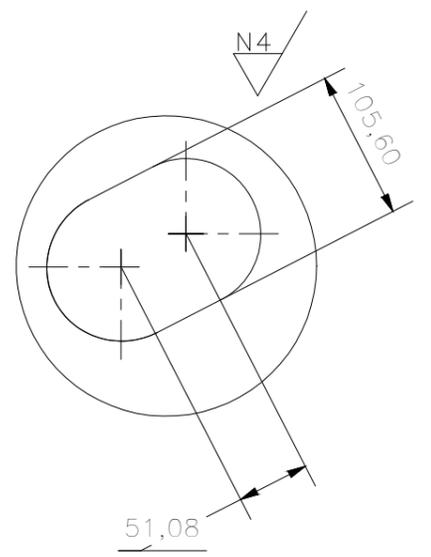
Nota:
 - Se corta el perfil por corte a láser
 - Se dobla por flexión

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña
MATERIAL:	ALUMINIO	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA:	DIS.: Pumisacho, Simbaña
			1:5	REV.: Prof. José Palacios
TAPA EXTERIOR			PC.007	FECHA: 12-07-22



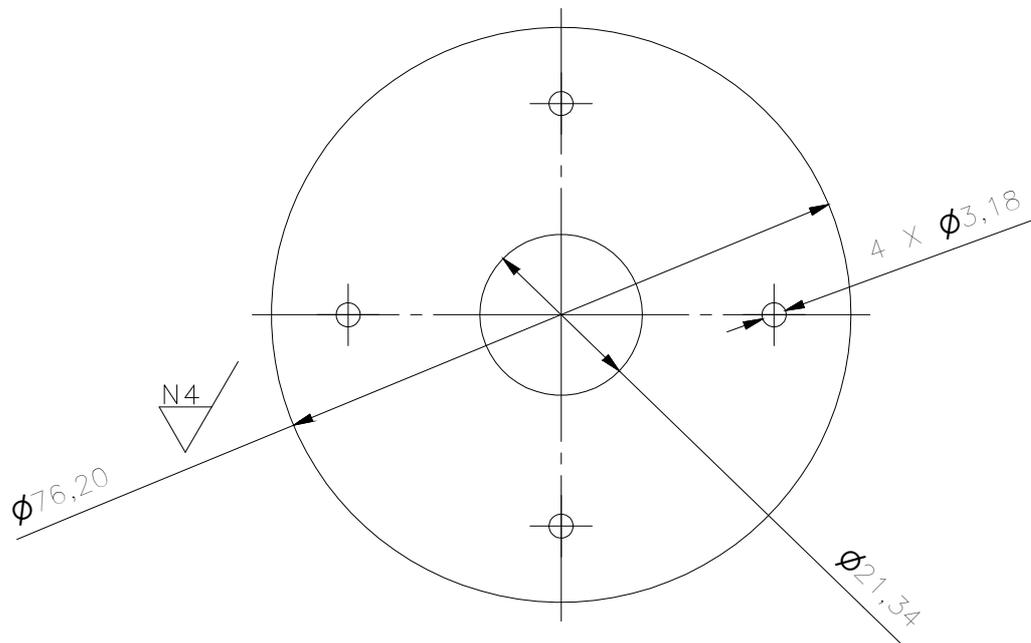
Sección A-A
Escala: (1 : 10)

Detalle B
Escala: (1 : 5)



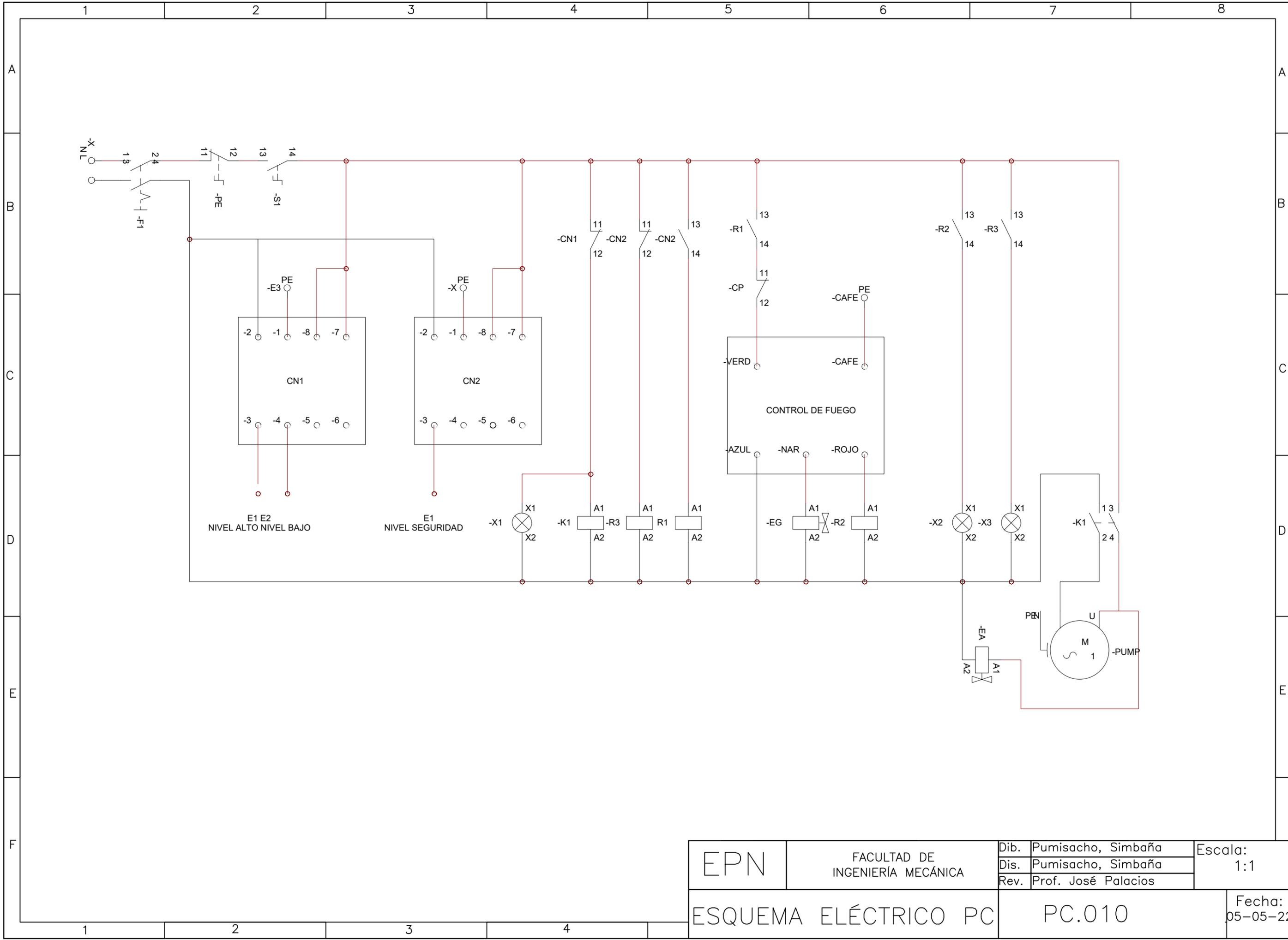
Nota:
- Cortar a láser
- Deformar por flexión y unido por remaches

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.: Pumisacho, Simbaña	DIS.: Pumisacho, Simbaña
MATERIAL:	ALUMINIO	TOL. GRAL.: ±0,1	ESCALA: 1:10	REV.: Prof. José Palacios
CUBIERTA EXTERNA			PC.008	FECHA: 12-07-22

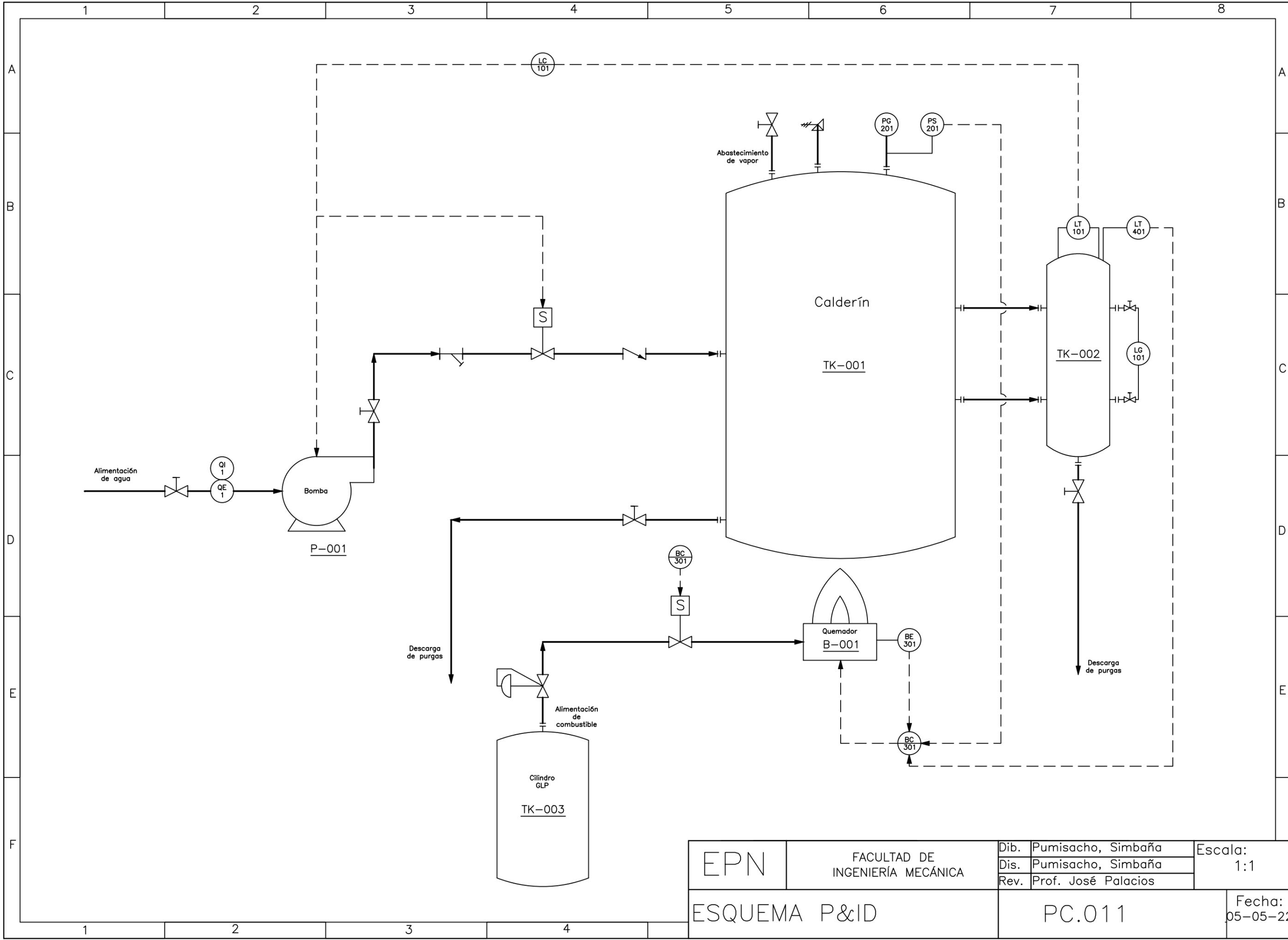


Nota:
- Cortar a láser

TRAT. TÉRMICO:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO:	Ninguno		DIB.:	Pumisacho, Simbaña
MATERIAL: ALUMINIO	TOL. GRAL.: $\pm 0,1$	ESCALA: 1:1	DIS.:	Pumisacho, Simbaña
			REV.:	Prof. José Palacios
MEDIA 2''		PC.009		FECHA: 12-07-22



EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Dib.	Pumisacho, Simbaña	Escala: 1:1
		Dis.	Pumisacho, Simbaña	
		Rev.	Prof. José Palacios	
ESQUEMA ELÉCTRICO PC		PC.010		Fecha: 05-05-22



EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	Dib.	Pumisacho, Simbaña	Escala: 1:1
		Dis.	Pumisacho, Simbaña	
		Rev.	Prof. José Palacios	
ESQUEMA P&ID		PC.011		Fecha: 05-05-22