



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

**“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN UN CALDERÍN
DE 2 BHP Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA”**

AUTOR:

EGDO. WILMO MARLON VACACELA MIRANDA.

TUTOR:

ING. SANTIAGO PAÚL CABRERA ANDA, Mg

AMBATO-ECUADOR
2011

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación, bajo el tema **“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN UN CALDERÍN DE 2 BHP Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA”**, desarrollado por el estudiante Wilmo Marlon Vacacela Miranda, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, considero que dicho informe investigativo, observa las orientaciones metodológicas de la investigación científica.

Que ha sido dirigida en todas sus partes cumpliendo con las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Por lo expuesto, autorizo su presentación ante los organismos competentes para la sustentación y defensa del mismo.

Ambato, 28 de Abril de 2011

Ing. Santiago Paúl Cabrera Anda, Mg.
DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación. **“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN UN CALDERÍN DE 2 BHP Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA”**, así como los contenidos, análisis, conclusiones, recomendaciones, propuesta a excepción de los conceptos y definiciones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente trabajo.

Ambato, 28 de Abril de 2011

Wilmo Marlon Vacacela Miranda

AUTOR

DEDICATORIA

A Dios por darme la oportunidad de vivir, de regalarme una familia maravillosa y guiarme por la senda del bien, con mucho cariño a mis padres que siempre han estado a mi lado para apoyarme en todo momento, a mi esposa quien me ha dado aliento para culminar esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A todas las personas e instituciones quienes hicieron posible el desarrollo de este proyecto, a mis padres por ser mi apoyo, a mi esposa quien sin su ayuda esto no hubiese sido posible, a mi Tutor, Ing. Santiago Cabrera quien me ayudó de una manera excepcional, a todos los docentes quienes fueron una guía en mi carrera estudiantil

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

| | |
|--|---|
| 1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN | 1 |
| 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO | 2 |
| 1.2.3 PROGNOSIS | 3 |
| 1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.2.5 INTERROGANTES | 3 |
| 1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN | 3 |
| 1.2.5.1 De contenido | 3 |
| 1.2.5.2 Delimitación Espacial | 4 |
| 1.2.5.3 Delimitación Temporal | 4 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 1.4 OBJETIVOS | 5 |
| 1.4.1 OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 5 |

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

| | |
|---|---|
| 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS | 6 |
| 2.2 FUNDAMENTACIÓN TEORICA | 7 |
| 2.2.1 Glosario | 7 |
| 2.3 CATEGORIAS FUNDAMENTALES. | 7 |
| 2.3.1 CALDERAS | 7 |
| 2.3.1.1 Acuatubular | 8 |
| 2.3.1.2 Piro tubular | 8 |
| 2.3.1.3 Otras | 8 |
| 2.3.1.4 PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA | 9 |

| | |
|--|----|
| 2.3.1.4.1 Cuerpo | 9 |
| 2.3.1.4.2 Hogar | 9 |
| 2.3.1.4.3 Tubos de fuego | 10 |
| 2.3.1.4.4 Espejos o mamparas | 10 |
| 2.3.1.4.5 Quemador | 11 |
| 2.3.1.4.6 Chimenea | 11 |
| 2.3.1.4.7 Bomba de alimentación | 11 |
| 2.3.2 FASES DEL AGUA | 11 |
| 2.3.2.1 Agua líquida | 11 |
| 2.3.2.2 Vapor húmedo (mezcla) | 12 |
| 2.3.2.3 Vapor saturado | 12 |
| 2.3.2.4 Vapor sobrecalentado | 12 |
| 2.3.3 INSTALACIÓN DE CALDERAS | 13 |
| 2.3.4 COMBUSTIBLES PARA CALDERAS. | 13 |
| 2.3.5 G.L.P. (GAS LICUADO DE PETROLEO) | 14 |
| 2.3.5.1 Características del G.L.P. | 14 |
| 2.3.5.2 Consumo de el G.L.P. | 15 |
| 2.3.5.3 Propiedades aproximadas del G.L.P a 15.06 °c | 16 |
| 2.3.6 PARÁMETROS DE LA COMBUSTIÓN | 16 |
| 2.3.6.1 Los parámetros generales de ahorro de energía en combustión. | 17 |
| 2.3.6.1.1 Parámetros de operación | 17 |
| 2.3.6.1.2 Parámetros de diseño | 17 |
| 2.3.6.2 MEDIDAS PARTICULARES A TOMAR | 18 |
| 2.3.7 QUEMADORES DE CALDEROS | 18 |
| 2.3.7.1 QUEMADORES MECÁNICOS | 18 |
| • De una marcha | 18 |
| • De varias marchas | 19 |
| • Modulantes | 19 |
| 2.3.7.2 QUEMADORES ATMOSFÉRICOS | 19 |
| 2.3.7.2.1 Cálculo de potencia en quemadores atmosféricos | 20 |
| 2.3.8 ACCESORIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO SEGURO | 21 |
| 2.3.8.1 Accesorios de observación | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.3.8.2 Pressuretrol (regulador de presión) | 22 |
| 2.3.8.3 Manómetros | 22 |
| 2.3.8.4 Medidor de nivel y control de agua | 22 |
| 2.3.9 RENDIMIENTO TÉRMICO O EFICIENCIA | 22 |
| 2.3.10 CODIGO ASME | 23 |
| 2.4 CATEGORIAS FUNDAMENTALES | 24 |
| 2.5 HIPÓTESIS | 24 |
| 2.6 SEÑALIZACION DE VARIABLES | 25 |

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

| | |
|---|----|
| 3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN | 26 |
| 3.1.1. Experimental | 26 |
| 3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN | 26 |
| 3.2.1 NIVEL | 26 |
| 3.3.2 TIPO | 27 |
| 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA | 28 |
| 3.3.1. POBLACIÓN O UNIVERSO | 28 |
| 3.3.2. MUESTRA | 28 |
| 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES | 29 |
| 3.4.1. Variable Dependiente | 29 |
| 3.4.2. Variable Independiente | 30 |
| 3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN | 30 |
| 3.5.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN | 32 |
| 3.5.1.1 Manómetro | 32 |
| 3.5.1.2 Medidor de cuenta litros para GLP | 33 |
| 3.5.1.3 Cronómetro | 33 |
| 3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 34 |

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS | 35 |
| 4.1.1 Análisis de variación de presión de GLP en el quemador | 35 |
| 4.1.2 Análisis de variación de presión y caudal de GLP en el quemador | 37 |
| 4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS | 38 |
| 4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS. | 55 |

CAPITULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

| | |
|---------------------|----|
| 5.1 CONCLUSIONES | 57 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 58 |

CAPITULO VI

6 PROPUESTA

| | |
|--|----|
| 6.1 DATOS INFORMATIVOS | 59 |
| 6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA | 60 |
| 6.3 JUSTIFICACIÓN | 60 |
| 6.4 OBJETIVOS | 60 |
| 6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD | 61 |
| 6.5.1 Análisis técnico | 61 |
| 6.5.2 Análisis económico | 61 |
| 6.6 FUNDAMENTACIÓN | 63 |
| 6.6.1 CÁLCULOS TÉRMICOS | 63 |
| 6.6.1.1 Determinación de la capacidad en agua del calderín | 63 |
| 6.6.1.2 Energía almacenada por el agua en el proceso de vaporización | 64 |
| 6.6.1.3 Ecuación térmica de equilibrio | 64 |
| 6.6.1.4 Calor cedido en el cilindro | 65 |
| 6.6.1.5 Calor cedido en la chimenea | 67 |
| 6.6.1.6 Dimensionamiento de la chimenea | 68 |
| 6.6.1.7 Eficiencia del equipo | 69 |

| | |
|---|----|
| 6.6.1.8 Cálculo del calor entregado por el combustible al sistema | 70 |
| 6.6.1.9 Análisis estequiométrico del combustible | 72 |
| 6.6.1.10 Cálculo de la potencia del quemador | 73 |
| 6.6.1.11 Cálculo de temperatura adiabática de llama en combustión estable | 75 |
| 6.6.1.12 Calidad de la mezcla | 76 |
| 6.6.2 CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | 78 |
| 6.6.2.1 Temperatura inicial de los gases de combustión al sistema | 78 |
| 6.6.2.2 Flujo másico de los gases de combustión por cada tubo | 78 |
| 6.6.2.3 Cálculo de los coeficientes de convección de los fluidos | 79 |
| a) Gases de Combustión | 79 |
| Número de Reynolds | 79 |
| Número de Nusselt | 79 |
| b) Agua | 79 |
| Número de Reynolds | 80 |
| Número de Nusselt | 80 |
| 6.6.2.4 Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica | 80 |
| 6.6.2.5 Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor | 83 |
| 6.6.2.6 Cálculo del área de transferencia de calor | 84 |
| 6.6.2.7 Cálculo del número de tubos | 84 |
| 6.6.3 CÁLCULOS MECÁNICOS | 85 |
| 6.6.3.1 Cálculos del diseño del cuerpo cilíndrico | 85 |
| a) Estimación de la presión interior en el cilindro | 85 |
| b) Espesor mínimo requerido del tanque sometido a presión interior | 85 |
| 6.6.3.2 Espesor y diámetro de los tubos | 86 |
| a) Dilatación térmica lineal de los tubos de fuego | 87 |
| 6.6.3.3 Dimensionamiento de los espejos | 88 |
| 6.6.3.4 Selección de la bomba de alimentación | 88 |
| a) Tasa de evaporación de agua en la caldera | 88 |
| b) Caudal de la bomba | 89 |
| 6.7 METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO | 89 |
| 6.7.1 MODELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO | 90 |
| 6.8 ADMINISTRACIÓN | 96 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN | 96 |
| 6.9.1 GUÍA DE OPERACIÓN | 96 |
| 6.9.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO | 101 |
| BIBLIOGRAFÍA | 103 |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE FIGURAS, GRÁFICAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1-1: Diagrama de un calderín vertical | 9 |
| FIGURA 3-1: Manómetro | 32 |
| FIGURA 3-2: Medidor de cuenta litros para GLP | 33 |
| FIGURA 3-3: Cronómetro | 33 |
| FIGURA 6-1: Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica compuesta | 65 |
| FIGURA 6-2: Diagrama de temperaturas de entrada y salida en contraflujo | 81 |
| FIGURA 6-3: Factor de corrección par un intercambiador de calor de un solo paso en flujo cruzado con ambos fluidos no mezclados | 82 |
| FIGURA 6-4: Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica | 83 |
| FIGURA 6-5: Cuerpo o carcasa principal | 91 |
| FIGURA 6-6: Espejos | 91 |
| FIGURA 6-7: Tubos de combustión. | 92 |
| FIGURA 6-8: Chimenea | 92 |
| FIGURA 6-9: Base del calderín | 93 |
| FIGURA 6-10: Quemador | 93 |
| FIGURA 6-11: Medidor de nivel de agua | 94 |
| FIGURA 6-12: Tablero de control | 94 |
| FIGURA 6-13: Regulador de presión de gas | 95 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|---|----|
| GRÁFICA 4-1: Eficiencia vs. Presión de GLP (Caudal del 100%) | 38 |
| GRÁFICA 4-2: Eficiencia vs. Presión de GLP (Caudal del 75%) | 39 |
| GRÁFICA 4-3: Diagrama T-v | 40 |
| GRÁFICA 4-4: Entalpia vs. Tiempo. (Caudal del 100%) | 41 |
| GRÁFICA 4-5: Entalpia vs. Tiempo. (Caudal del 75%) | 42 |
| GRÁFICA 4-6: Eficiencia vs. $1q_3$. (Caudal del 100%) | 43 |
| GRÁFICA 4-7: Eficiencia vs. $1q_3$. (Caudal del 75%) | 44 |
| GRÁFICA 4-8: q_{quemador} vs. $1q_3$. (Caudal del 100%) | 45 |
| GRÁFICA 4-9: q_{quemador} vs. $1q_3$. (Caudal del 75%) | 46 |
| GRÁFICA 4-10: Presión de proceso vs Tiempo. (0.4 PSI, presión de combustible y caudal de 100%) | 47 |
| GRÁFICA 4-11: Presión de proceso vs Tiempo. (0.5 PSI, presión de combustible y caudal de 100%) | 48 |
| GRÁFICA 4-12: Presión de proceso vs Tiempo. (1 PSI, presión de combustible y caudal de 100%) | 49 |
| GRÁFICA 4-13: Presión de proceso vs Tiempo. (2 PSI, presión de combustible y caudal de 100%) | 50 |
| GRÁFICA 4-14: Presión de trabajo vs. Tiempo. (0.4 PSI presión de combustible y caudal de 75%) | 51 |
| GRÁFICA 4-15: Presión de trabajo vs. Tiempo. (0.5 PSI, presión de combustible y caudal de 75%) | 52 |
| GRÁFICA 4-16: Presión de proceso vs Tiempo. (1 PSI, presión de combustible y caudal de 75%) | 53 |
| GRÁFICA 4-17: Presión de proceso vs Tiempo. (2 PSI, presión de combustible y caudal de 75%) | 54 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA N° 2-1: PROPIEDADES DEL G.L.P. A 15.06 °C | 16 |
| TABLA N° 4-1: Calderín de 2 BHP, caudal en un 100%. | 36 |
| TABLA N° 4-2: Calderín de 2 BHP, caudal en un 75%. | 37 |
| TABLA N° 4-3: Valores de diferencia de eficiencias de las presiones, respecto a la de diseño. | 55 |
| TABLA N° 6-1: Costo de recursos humanos | 61 |
| TABLA N° 6-2: Costo de recursos materiales | 61 |
| TABLA N° 6-3: Costo de materiales para la construcción del equipo | 62 |
| TABLA N° 6-4: Costo de recursos totales | 62 |
| TABLA N° 6-5: Costo promedio de una práctica | 62 |
| TABLA N° 6-6: Fracción molar de los productos | 72 |
| TABLA N° 6-7: Entalpía de los gases | 74 |
| TABLA N° 6-8: Espesor y diámetro sometidos a presión exterior | 86 |
| TABLA N° 6-9: Características físicas del calderín | 90 |

RESUMEN EJECUTIVO.

El presente trabajo de investigación se orientó en analizar el funcionamiento de un calderín de 2 BHP y la influencia de la variación de los parámetros de combustión, que para este caso fueron la presión del combustible y el caudal, sobre la eficiencia, y tener la oportunidad en lo posterior de incorporar procesos útiles.

El proyecto tiene como objetivo general, analizar el efecto de incidencia de los parámetros de combustión y su efecto sobre la eficiencia, mediante la variación de los parámetros de combustión, determinar un rango de trabajo óptimo o el más apropiado para el calderín; con respecto a la hipótesis, se plantearon en base a cuan precisos podemos ser en cuanto a la eficiencia del caldero respecto a un modelo operativo o de diseño. La investigación que comprende este trabajo es de nivel experimental y de tipo exploratorio; dentro de la misma se realizaron ensayos experimentales de variación de presión de GLP y variación de caudal de alimentación de GLP. Los resultados recopilados se encuentran en tablas, entre las que podemos mencionar, Eficiencia vs. Presión de GLP, Eficiencia vs. Entalpia, Presión de proceso vs. tiempo, en función de la presión de combustible y la variación de caudal de GLP; Todas estas representadas gráficamente con puntos de dispersión entre todos los parámetros de estudio, a presiones de combustible bajas entre la cuales fueron de 0.4, 0.5 y 1 PSI, las eficiencias son muy similares entre si, pero al momento que trabaja con 2 PSI esta varia notablemente mostrando una caída aproximada de un 15%, para los 2 casos como fueron el trabajar con un caudal del 100% y del 75%, en cuanto a su desempeño. Finalmente en el capítulo seis se propone el diseño y la construcción de un calderín de 2 BHP con una eficiencia de diseño del 65% aproximadamente, para lograr llevar a cabo nuestro estudio.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN UN CALDERÍN DE 2 BHP Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Las calderas, en sus generaciones de vapor y agua caliente, están ampliamente extendidas tanto para uso industrial, semi-industrial o doméstico, encontrándose en cometidos tales como, generación de electricidad, procesos químicos, calefacción, agua caliente sanitaria, plantas que realizan calentamiento de fluidos y aire, vaporización, aplicaciones en hospitales, industrias textiles, industria alimenticia, calentamiento de agua para hoteles, piscinas, viviendas, centros de recreación y estéticos (SPA), secadores de hojas, planchas industriales, movimiento de turbinas, etc.

En Sudamérica los países más desarrollados industrialmente como Brasil, Argentina, Colombia se encuentran cantidad de empresas e industrias relacionadas a la elaboración de calderas de excelente calidad, ya que existe un mayor mercado y difusión sobre la utilización y eficacia de los Calderos, por nombrar unas tenemos; JIT CALDERAS, Calderas Continental LTDA, teniendo muy en cuenta que estas empresas trabajan bajo normas internacionales y cuentan

con el aval de las respectivas certificaciones internacionales razón por las cuales sus costos son elevados.

A nivel nacional son muy pocas las empresas inmersas en este mercado, en su gran mayoría estos son de elaboración artesanal, pero no por ello se deja a un lado la excelente calidad de las mismas, son elaboradas siguiendo las respectivas normas y especificaciones internacionales, pero en su gran mayoría no cuentan con las certificaciones respectivas, por tal motivo se las encuentra muy convenientes, en Ecuador contamos con fábricas y empresas distribuidoras de calderos por citar algunas tenemos: ELECON, MIM CALDEROS, Exro del Ecuador Cía.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

El presente proyecto está orientado a facilitar la apertura de nuevas fuentes de investigación.

Además la implementación de este caldero incentivará a los estudiantes a elaborar prácticas y comprender de una mejor manera el funcionamiento y accionamiento de los mismos. Es decir se pretende elevar el interés de los estudiantes en cuanto a la importancia de los artefactos dentro del laboratorio de energía.

El Laboratorio de Energía de la carrera de Ingeniería Mecánica se ve en la necesidad de implementar herramientas didácticas, útiles y prácticas para el enriquecimiento intelectual de los estudiantes de la carrera ya que todo cálculo relacionado a calderos se lo realiza de una forma estrictamente analítica y el objetivo principal de esta implementación es el que los análisis también sean de una forma práctica.

Finalmente se pondrá de manifiesto ciertas consideraciones en cuanto a relaciones de trabajo y funcionamiento, orientadas a brindar una herramienta de trabajo útil para quienes utilicen y controlen el equipo, contando también con un alto rango de efectividad en cuanto a los resultados obtenidos.

1.2.3 PROGNOSIS

De no llevarse a cabo el presente estudio, se desconocería el efecto de los parámetros de combustión, sobre la eficiencia y a su vez los factores subsecuentes a esto lo que serian las pérdidas de energía, consumo de combustible, en un calderín de 2 BHP, destinado al calentamiento de agua para uso semi-industrial.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Qué efecto producirá la variación de los parámetros de combustión en cuanto a la eficiencia térmica de un calderín de 2 BHP?

1.2.5 INTERROGANTES

- ¿Se podrá calcular de una manera rápida y precisa los parámetros teóricos de funcionamiento de un calderín de 2 BHP?
- ¿Será de utilidad la implementación de un calderín en el Laboratorio de Energía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.5.1 De contenido

Tema: Estudio de parámetros de combustión en un calderín de 2 BHP y su efecto sobre la eficiencia térmica.

Aspecto: Comprobativo, en cuanto a parámetros de combustión y su incidencia en la eficiencia del mismo.

Campo: Termodinámica.

1.2.5.2 Delimitación Espacial:

Todos los trabajos de construcción metalmecánica se ejecutaron en los talleres de la Empresa MIM Calderos del Ing. Daniel Mayorga, ubicada en la parroquia Izamba, mientras que las pruebas, parte experimental y puesta en marcha en el laboratorio de Energía de la FICM y la recolección bibliográfica en la biblioteca de la FICM.

1.2.5.3 Delimitación Temporal:

Se realizó entre los meses de Octubre de 2010 a Abril de 2011.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio es reflejo y reporte de todos los conocimientos adquiridos durante la carrera estudiantil.

Se describen algunos conceptos y temas importantes e indispensables para el desarrollo del estudio, como las fases del agua, tipos de calderas, montaje y la instalación de equipos industriales como calderas o sus equipos secundarios.

Es de mucha importancia el conocimiento del procedimiento para la puesta en marcha de la caldera, por lo que se ejemplifica este proceso desde la verificación después de la instalación, hasta la operación normal del calderín.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Analizar la incidencia de los parámetros de combustión y su efecto sobre la eficiencia térmica.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto del flujo de combustible sobre la eficiencia de un calderín de 2 BHP.
- Evaluar el efecto del caudal de combustible sobre el tiempo de operación.
- Evaluar el proceso termodinámico que ocurre en el calderín.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el presente estudio se ha tomado como referencia:

- RUIZ, Edison y VIERA, Edgar., *Implementaron un caldero pirotubular vertical de 10 BHP*, ESPOCH. Riobamba-Ecuador, 1994.
- MORENO, Mercedes y PAZ, Patricia. *Calcularon un generador de vapor para el laboratorio Químico-Industrial de la ESPOCH*. Riobamba – Ecuador, 2008
- MENA, Andrés G. *Diseño, construyo e implemento un intercambiador de calor para analizar viscosidades en diferentes tipos de aceite para el laboratorio de energía, UTA FICM*. Ambato-Ecuador, 2010.
- TOAPANTA, Eduardo. *Diseño un prototipo para secado de maíz con ventilador de flujo radial. UTA FICM*. Ambato-Ecuador, 2009.
- SEQUÉN, Edy. *Implemento los sistemas de control de un caldero vertical*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. *Investigó sobre la eficiencia térmica de caldera*, Informe de laboratorio: Santafé de Bogotá – Colombia. 2000
- Revista electrónica N° 13 UNIVERSIDAD RAFAEL LANDIVAR Realizaron un análisis acerca de cómo predecir de una mejor manera el cálculo de generación de vapor en una caldera.
- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SECTION VIII (SECCIÓN VIII DEL CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN)

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 GLOSARIO

2.2.1.1 CALDERO: Recipiente a presión capaz de generar vapor a altas presiones.

2.2.1.2 CALDERÍN: Similar al caldero pero de menor envergadura.

2.2.1.3 CUERPO: Lugar donde se almacena el agua y vapor.

2.2.1.4 HOGAR: Lugar donde se produce la combustión.

2.2.1.5 TUBOS DE FUEGO: Elementos por los cuales circula el aire de combustión.

2.2.1.6 ESPEJOS: Placas encargadas de dirigir el paso de los gases por los sitios más adecuados.

2.2.1.7 QUEMADOR: Es el que realiza el proceso de combustión.

2.2.1.8 CHIMENEA: Ducto por el cual se desalojan los gases de combustión.

2.2.1.9 CAMARA DE COMBUSTIÓN: Hogar.

2.2.1.10 MEDIDOR DE NIVEL DEL AGUA: Está dado por el principio de vasos comunicantes e indican el nivel de agua para la operación del caldero.

2.2.1.11 MCDONNEL: Nombre con el que se conoce comúnmente al medidor de nivel de agua

2.2.1.12 MANÓMETRO: Aparatos para medir presiones dentro de recipientes cerrados.

2.2.1.13 PRESSURETROL: Regulador o controlador de presión.

2.2.1.14 PURGA: Expulsión del agua o vapor en exceso del caldero.

2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.

2.3.1 CALDERAS

Las calderas son transformadores de energía térmica capaces de transferir de forma conveniente el calor producido por una combustión o generado por otro fenómeno químico o físico a un fluido (generalmente agua previamente tratada) destinado a ceder la energía recibida en forma térmica o mecánica y luego utilizada en múltiples empleos.

La gran energía contenida en el vapor puede ser liberada en forma de trabajo de expansión y equivale a la energía térmica cedida por la caldera al fluido. Este vapor se utiliza en diversas áreas industriales, dependiendo de la calidad del vapor, presión, temperatura y pureza. Existen diferentes tipos de calderas, a continuación se mencionan las más conocidas.

2.3.1.1 Acuatubular

También llamada acuotubular o tubos de agua; la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión u horno, y el agua fluye dentro de los tubos. Este tipo de calderas se utiliza especialmente para generar vapor a elevadas presiones de trabajo, por lo cual tienen un mayor costo que las piro tubulares; también consumen grandes cantidades de agua y combustible. Generalmente las presiones de trabajo de estas calderas se encuentran entre los 500 y 3,000 PSI.

2.3.1.2 Piro tubular

Se le conoce también como tubos de humo, en este caso, el fuego y los gases calientes de la combustión que se generan en el horno u hogar pasan por el interior de los tubos, de uno o varios pasos, hasta llegar a la chimenea. El horno y los tubos están rodeados de agua.

Generan bajas presiones y por lo general son más pequeñas que las acuatubulares. La presión máxima de trabajo para estas calderas es de alrededor de 500 PSI.

2.3.1.3 Otras

La caldera de fundición seccional, son las que se componen de secciones huecas dentro de las cuales circula el agua.

Caldera eléctrica: la ventaja de estas, es que requieren menor mantenimiento, al tener menos partes móviles, pero son más costosas, tanto inicialmente como en la operación.

Las calderas supercríticas pueden ser una múltiple combinación de las anteriores y su mayor característica es que puede trabajar a presiones superiores a las 3,000 PSI.

2.3.1.4 PARTES PRINCIPALES DE UNA CALDERA.

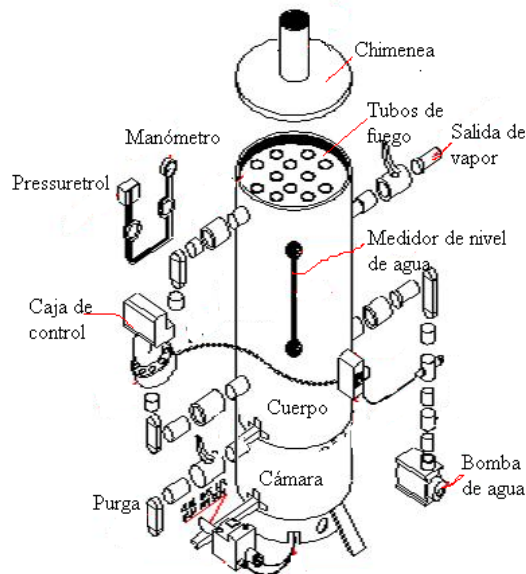


FIGURA 2-1: Diagrama de un calderín vertical.
FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

2.3.1.4.1 CUERPO

El cuerpo puede ser cilíndrico o rectangular, las más comunes de hallar son las de tubos de humo, las cuales tienen un cuerpo cilíndrico elaborado en chapa de acero, sellados herméticamente con el objetivo principal de almacenar agua y vapor, el cual esta complementado por espejos, fluxes, envolventes y mamparas. Para el caso de una caldera tubos de agua, el cuerpo lo forman los domos, los fluxes y la envolvente, de manera que adquiere una forma rectangular.

2.3.1.4.2 HOGAR

Es la parte de la caldera donde se produce la combustión. El hogar en las calderas pirotubulares es un tubo de gran diámetro con perfil corrugado o liso. En las calderas acuotubulares el hogar se ubica en la cavidad que forman los tubos que comunican a los domos.

2.3.1.4.3 TUBOS DE FUEGO

Son los elementos en los cuales circulan los gases calientes y permiten la transferencia de calor, se fijan en los cabezales mediante diversos procesos mecánicos, por expansión, empleando el rolado o la expansión a presión, pudiendo también soldarse.

La disposición de los tubos es intercalada, así se aprovecha mejor el espacio aunque pueden también encontrarse distribuidos en línea. En calderos comerciales los diámetros están entre 2 y 4 pulgadas y su selección depende de la pérdida de tiro, facilidad de mantenimiento y costo. De acuerdo al número de veces que circula los gases en el interior del cuerpo, los tubos pueden disponerse de tal manera que tengan uno, dos, tres, cuatro pasos de retorno.

Los dos métodos más comunes para la fabricación de estos tubos son: el estirado en caliente y el estirado en frío obteniendo dos clases de tuberías las que son:

- El proceso de fabricación de tubos sin costura.
- El proceso de fabricación de tubo soldado a tope.

En una variación casi limitada de disposición de construcción, los tubos que forman la superficie de absorción de calor y los que proporcionan los circuitos de circulación en la mayoría de las calderas de construcción de acero que se emplean en la actualidad.

Los tamaños más usuales de tubos están en el rango de 25 y 152 mm (1 y 6 pulgadas) de diámetro, con espesores de pared de 2 y 19 mm ($\frac{1}{16}$ y $\frac{3}{4}$ de pulgada).

2.3.1.4.4 ESPEJOS O MAMPARAS

El flujo de gases a través de la caldera esta controlado por mamparas o reflectores, cuyo único objetivo es dirigir el paso de los gases por los sitios más adecuados, con el objetivo de que el proceso de transferencia de calor entre el agua y los gases sea más eficiente.

2.3.1.4.5 QUEMADOR

Es en el cual se realiza el proceso de combustión.

Actualmente, los quemadores cumplen cinco funciones diferentes:

- Enviar el combustible a la zona de combustión.
- Suministrar la cantidad correcta de aire para la correcta combustión.
- Mezcla aire-combustible.
- Encienden la mezcla.
- Remover los productos de combustión.

Las varias formas de cumplir estas funciones, están de acuerdo a la variedad de diseños y operaciones de los quemadores.

2.3.1.4.6 CHIMENEA.

Es el ducto por el cual se desalojan los gases de la combustión a un lugar conveniente y seguro.

Además cumple con ser un sistema efectivo de dispersión de contaminantes.

2.3.1.4.7 BOMBA DE ALIMENTACIÓN

Son las encargadas de suministrar agua a las calderas, el controlador de nivel de agua en la caldera activa la bomba de alimentación, su principal función es; evitar choque térmico en la caldera.

2.3.2 FASES DEL AGUA

El agua existe en tres fases sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor). Ya que en una caldera existe el agua en la fase líquida y de vapor, nos centraremos en estas dos para su análisis.

2.3.2.1 AGUA LÍQUIDA

Si por ejemplo en una caldera con un determinado y constante volumen de agua, mantenemos constante de 1 atmósfera de presión absoluta (1 atm o 14.7PSI) a temperaturas menores a 0°C el agua se encuentra en estado sólido (hielo). Si

aplicamos calor y se aumenta la temperatura por encima de 0°C y debajo de 100°C se producirá un cambio de fase de sólido a líquido, tendríamos líquido comprimido o subenfriado (no está a punto de evaporarse).

Cuando se alcanzan los 100°C, en este instante el agua sigue siendo un líquido y cualquier aumento de calor causará que parte del líquido se vaporice y vuelva a existir un nuevo proceso de cambio de fase de líquido a vapor; un líquido que está a punto de evaporarse se llama **líquido saturado**.

2.3.2.2 VAPOR HÚMEDO (MEZCLA)

Alcanzados los 100°C empieza la ebullición y el aumento de temperatura se detendrá hasta que el líquido saturado se evapore por completo. Cuando existe un aumento de calor pero la temperatura se mantiene constante en un cambio de fase, a este calor se le llama **calor latente**. Es una mezcla saturada de líquido-vapor.

2.3.2.3 VAPOR SATURADO

Es un vapor a punto de condensarse. Toda el agua contenida en un recipiente (caldera) pasó de su fase líquida a vapor; por lo que una pequeña pérdida de calor condensaría una parte de este vapor y entonces sería vapor húmedo o una mezcla de líquido + vapor. Si el aumento de calor continúa, entonces es un vapor sobrecalentado.

2.3.2.4 VAPOR SOBRECALENTADO

Es un vapor que no está a punto de condensarse (no es vapor saturado).

Cuando el cambio de fase termina, se encuentra una región de una sola fase (vapor saturado) y una transferencia adicional de calor aumenta la temperatura y el volumen específico aunque no cambia de fase.

Si se extrae calor, a éste solo se le reduciría la temperatura y su volumen específico, pero no se condensaría si su temperatura es mayor a 100°C a una presión de 1atm.

2.3.3 INSTALACIÓN DE CALDERAS

Examinar cuidadosamente la caldera en el momento de su llegada para determinar si ha sufrido algún daño durante el transporte y la magnitud de este si lo hubiere. La caldera fue inspeccionada y probada antes de salir de la planta de fabricación. Si no puede instalarse inmediatamente después de llevarla al lugar, se debe colocar en un lugar seco, limpio, bajo techo y seguro.

La caldera debe instalarse sobre una base firme, no combustible, preferiblemente de concreto y nivelarse correctamente. Debe dejarse suficiente espacio alrededor de la caldera para permitir el acceso a todos sus componentes, con el fin de realizar inspecciones y labores de mantenimiento.

El cuarto de la caldera debe mantenerse limpio, por esto es importante que tenga un drenaje grande que permita la rápida salida del agua cuando sea necesario. También el cuarto debe de estar seco y bien ventilado, que permita la circulación del aire y la llegada hasta el quemador para una combustión adecuada.

La caldera esta diseñada de tal manera que la salida de gases sea fluida y que no necesite de equipos adicionales para su extracción, pero se deberá de tener cuidado en la cantidad de aire que llega al quemador y no obstruir la salida en la chimenea.

El área transversal de la chimenea, no debe de ser menor del área transversal de salida de gases en la caldera; no debe de tener curvas fuertes y evitarse los tramos horizontales, inclinando el conducto para que aumente su altura a medida que se aleja de la caldera.

2.3.4 COMBUSTIBLES PARA CALDERAS.

Los combustibles están caracterizados por un poder calorífico (cantidad de kilocalorías / kilo que suministran al quemarse), un grado de humedad y unos porcentajes de materiales volátiles y cenizas.

Entre los principales podemos encontrar el diesel, carbón mineral, gas natural, petróleo residual, GLP, etc.

2.3.5 G.L.P. (GAS LICUADO DE PETROLEO)

Es un hidrocarburo, derivado del Petróleo, que se obtiene durante el proceso de refinación de otro derivado denominado gasolina.

Se produce en estado de vapor pero se convierte en líquido mediante *compresión* y *enfriamiento* simultáneos de estos vapores, necesitándose 273 litros de vapor para obtener un litro de gas líquido.

El GLP es una mezcla de propano y propileno en un 56% y butano y butileno en un 44%, es un hidrocarburo que a temperatura ordinaria y presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso. Tiene la propiedad de pasar al estado líquido al someterlo a una presión relativamente superior a la atmosférica, propiedad que le confiere la gran ventaja de poder ser almacenado en estado líquido, ocupando un volumen muy reducido.

Para comprender las características físicas - químicas y propiedades del butano y propano, es necesario conocer que los mismos están compuestos por partículas extremadamente pequeñas en constante movimiento y a medida que aumenta la temperatura, más rápido es el movimiento de las partículas.

2.3.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL G.L.P.

La empresa AUSTROGAS de Cuenca, a través de su página WEB: www.austrogas.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=23, manifiesta que:

- *SE PRODUCE EN ESTADO DE VAPOR*, pero se licúa con cierta facilidad, mediante compresión y enfriamiento.
- *NO TIENE COLOR*, es transparente como el agua en su estado líquido.
- *NO TIENE OLOR* cuando se produce y licúa, pero se le agrega una sustancia de olor penetrante para detectarlo cuando se fugue, llamada *etyl mercaptano*.
- *NO ES TÓXICO*, solo desplaza el oxígeno, por lo que no es propio para respirarlo mucho tiempo.

- *ES MUY INFLAMABLE*, cuando se escapa y se vaporiza se enciende violentamente con la menor llama o chispa.
- *EXCESIVAMENTE FRÍO*, por pasar rápidamente del estado líquido a vapor, por lo cual, al contacto con la piel producirá siempre quemaduras de la misma manera que lo hace el fuego.
- *ES LIMPIO*, cuando se quema debidamente combinado con el aire, no forma hollín, ni deja mal sabor en los alimentos preparados con él.
- *ES ECONÓMICO*, por su rendimiento en comparación con otros combustibles.
- *ES MÁS PESADO QUE EL AIRE*, por lo que al escaparse el gas, tenderá a ocupar las partes mas bajas, como el piso, fosas y pozos que haya en el área.

2.3.5.2 CONSUMO DEL G. L. P.

Inmediatamente se evapora, pasando del estado líquido al gaseoso, sucediendo aquí el fenómeno inverso al de la licuación.

Se consume en forma de vapor en los quemadores de estufas, calentadores de agua, calefactores, etc. Este vapor se produce al abrir la válvula de cualquier quemador conectado a un cilindro o tanque, ya que en ese momento tiende a escapar la presión del recipiente, haciendo que hierva el líquido para formar más vapor. Si el consumo de gas se prolonga también continuará hirviendo el líquido, tomando el calor necesario para ello del medio ambiente, a través de las paredes metálicas del cilindro, de esta manera se consume el líquido, transformándose poco a poco en vapor hasta terminarse.

2.3.5.3 PROPIEDADES APROXIMADAS DEL G.L.P A 15.06 °C

TABLA N° 2-1: PROPIEDADES DEL G.L.P. A 15.06 °C

| | PROPANO | BUTANO | MEZCLA |
|--|-------------------------------|-------------------------------|---------------|
| Fórmula | C ₂ H ₆ | C ₃ H ₈ | |
| Punto inicial de ebullición (°C) | -42 | -1 | -42 |
| Gravedad específica del líquido (kg/litro) | 0,504 | 0,582 | 0,519 |
| Peso por metro cúbico de líquido (Kg.) | 504 | 582 | 519 |
| Calor específico del líquido (kj/kg) | 1,464 | 1,276 | 1,426 |
| Metros cúbicos de vapor por litro | 0,271 | 0,235 | 0,264 |
| Metros cúbicos de vapor por kilogramo | 0,539 | 0,410 | 0,513 |
| Gravedad específica de vapor (aire = 1,0) | 1,50 | 2,01 | 1,60 |
| Temperatura de ignición en aire | 439-549 | 482-538 | 482-519 |
| Temperatura máxima de llama en aire °C | 1980 | 2008 | 2000 |
| Límites de flamabilidad en aire, % de vapor en mezcla de gas -aire | | | |
| a) Bajo | 2,15 | 1,55 | 1,55 |
| b) Alto | 9,60 | 8,60 | 9,60 |
| Calor latente de vaporización en el punto de ebullición (kj/kg) | 428 | 388 | 426 |

FUENTE: REPSOL YPF

2.3.6 PARÁMETROS DE LA COMBUSTIÓN

Si queremos aprovechar toda la energía de un combustible, es necesario que la combustión se realice en las mejores condiciones posibles. Como caso claro tenemos la corrección en la realización de la combustión. Incluimos en la combustión la caldera, que es el lugar donde se produce la combustión.

Para aprovechar bien la energía que se desprende en la reacción de oxidación de los elementos combustibles es necesario que se realice en las mejores condiciones posibles. Para ellos deberemos hacer que todo el carbono se transforme en CO₂, que no haya inquemados sólidos o gaseosos, que no haya pérdidas de calor por la formación de inquemados, que el aire sea bien empleado en todo el proceso de combustión. Cumpliendo todo estos requisitos tendríamos la combustión

completa. La caldera en este proceso es fundamental para la buena marcha del mismo; en general, todos los equipos empleados en la combustión van a ser importantes para la buena marcha de la misma.

2.3.6.1 LOS PARÁMETROS GENERALES DE AHORRO DE ENERGÍA EN COMBUSTIÓN.

La conservación de energía en la combustión se puede abordar por 2 caminos a seguir, como son: Los parámetros de operación y las características de diseño del equipo.

2.3.6.1.1 PARÁMETROS DE OPERACIÓN:

Existe un equipo con sus condiciones fijas. Si se requiere optimizar la combustión de este, los factores operacionales a trabajar son:

- a) Exceso de aire, tipo de combustible, tipo y condiciones de atomización, tipo de chimenea
- b) Limpieza del intercambiador (deshollinado). Tratamiento del agua, recolección de condensados, cambio de quemador.
- c) Cambio de combustible, cambio de refractarios (aislantes).
- d) Cambio del área de transferencia de calor. (Prácticamente cambio del equipo)

2.3.6.1.2 PARÁMETROS DE DISEÑO:

Condiciones quemador: Presión, Caudal.

Condiciones de atomización: Cambio de válvulas, cambio de bomba.

Condiciones de tiro de chimenea: Aumento del diámetro de chimenea, aumento de la altura de chimenea, disminución de pérdidas.

Estas son opciones para mejorar la combustión, es un análisis de costo/beneficio lo que da la decisión.

2.3.6.2 MEDIDAS PARTICULARES A TOMAR:

- Disminuir las pérdidas de calor en los gases de escape.
- Mantener el exceso de aire en los valores recomendados.

2.3.7 QUEMADORES DE CALDEROS

El propósito principal de un quemador es mezclar y dirigir el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa.

Existen 2 tipos principales de quemadores: para combustibles líquidos y combustibles gaseosos

2.3.7.1 QUEMADORES MECÁNICOS

Según: TECNO CONTROL, Quemadores Madrid, en su página WEB: <http://www.serviciotecnicocalderasmadrid.com/Quemadores.html>; en los quemadores a sobrepresión; el aire de combustión es introducido mediante un ventilador, existen diversos sistemas para lograr la mezcla del aire con el combustible.

En el caso de gas, el combustible se introduce mediante los inyectores, aprovechando la propia presión de suministro. En los combustibles líquidos se utilizan diversos sistemas para su pulverización, de modo que se creen microgotas de combustible que facilitan su mezcla con el aire. El tipo más extendido es el de pulverización mecánica.

Estos quemadores se fabrican desde pequeñas hasta muy altas potencias. La combustión puede ajustarse actuando sobre el gasto de combustible, sobre la cantidad de aire a impulsar y sobre los elementos que producen la mezcla; por lo que es posible obtener rendimientos de combustión muy altos.

Por el número de escalones de potencia que producen, se distinguen los siguientes tipos de quemadores:

- **DE UNA MARCHA**

Son quemadores que sólo pueden funcionar con la potencia a la que hayan sido regulados, son quemadores de pequeña potencia.

- **DE VARIAS MARCHAS**

Son quemadores con dos ó más escalones de potencia (habitualmente dos); es decir, que pueden funcionar produciendo potencias distintas.

Deben disponer de los elementos necesarios para poder regular la admisión de aire y el gasto de combustible, de modo que en cada escalón de potencia se obtenga el rendimiento de combustión más alto posible. Se utilizan para potencias intermedias o altas.

- **MODULANTES**

Estos quemadores ajustan continuamente la relación Aire - Combustible, de manera que pueden trabajar con rendimientos elevados en una amplia gama de potencias; adecuándose de manera continua a las necesidades de producción.

2.3.7.2 QUEMADORES ATMOSFÉRICOS

En este tipo de quemadores, el gas se quema directamente con el aire a presión atmosférica, son los clásicos en las calderas domésticas están constituidos por:

- *Mezclador de gas y aire*, en el que la energía cinética del chorro de gas al pasar por un venturi, aspira el aire ambiente, formando una mezcla inflamable o premezcla.
- *Cabeza de quemador*, donde se aporta el aire restante llamado también aire secundario, necesario para la combustión estable.

La principal ventaja de este sistema es su simplicidad y bajo coste. Aunque se pueden fabricar para potencias unitarias altas (unos 1.200 kW), los empleados habitualmente en climatización no superan los 300 kW.

La energía de activación se logra mediante llama piloto, que debe estar permanentemente encendida, o con encendidos automáticos (electrónicos, tren de chispas, etc). La regulación del gas se obtiene por variación de la presión en el inyector (abriendo y cerrando progresivamente la válvula de gas); esto permite que el quemador pueda ser modulante con relativa facilidad.

La regulación del aire (con gas a presión constante) se puede conseguir:

- Variando la sección de entrada de aire, por obturación de los orificios por donde entra, mediante discos roscados, anillo móvil o capuchón deslizante.
- Por deslizamiento de la boquilla del inyector respecto del Venturi.

Lo más habitual es que únicamente se module la válvula de gas, dejando en una posición fija la entrada de aire en la puesta en marcha.

El quemador más grande de una cocina domestica produce unos $1720 \text{ Kcal/h} = 2 \text{ Kw}$.

-Los quemadores de GLP, tanto de las cocinas domesticas como de los calefones, usan válvulas reguladoras que reducen y regulan la presión del gas hasta unos 250-300 mmCA (24.5 - 29.5 mbar).

-Los quemadores industriales, pueden no usar válvulas reguladoras de presión del gas, sino las llamadas de "válvulas de ataque rápido" o "industriales" es estos casos, la presión es regulada cuando el operador manipula la manija del quemador.

-El quemador de un calefón doméstico para calentar agua produce unos 300 W/cm^2 de superficie de la distancia entre la parrilla del quemador, tanto del sensor de llama como de los electrodos que producen la chispa debe ser de 0.5 - 1 cm, y en una posición que garantice su contacto con la llama.

- Los electrodos tanto de la chispa como del sensor se ponen al rojo vivo durante la operación del quemador.

2.3.7.2.1 CÁLCULO DE POTENCIA EN QUEMADORES ATMOSFÉRICOS

Para efectos de cálculo en cuanto a la potencia se utiliza como referencia las fórmulas del libro; “Manual de Gasista” de Lorenzo Becco, como se presentan a continuación:

Para caudal másico de combustible en rangos de presiones bajas comprendidas entre 0.1 a 1 PSI:

$$C_m = 3.542 S \sqrt{m_1 * h}$$

Donde:

C_m = Caudal másico de GLP. (Kg/s)

3.542 = Constante de fórmula.

S = Sección de paso de GLP por el inyector. (m²)

$m_1 = 2,15 \frac{Kg}{m^3}$. Densidad de GLP, asumiendo un 60% de Propano y un 40% de Butano.

h = Presión de GLP, en mmH₂O de agua.

Para caudal másico de combustible en rangos de presiones medias mayores de 1 PSI:

$$C_m = C_2 * S \left(\frac{H_o}{H_i} \right)^{\frac{1}{r}} \sqrt{\frac{2r}{r-1} * h * m_1 \left[1 - \left(\frac{H_o}{H_i} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]} * 9.81$$

Donde:

C_m = Caudal másico de GLP. (Kg/s)

C_2 = Coeficiente de contracción del inyector.

S = Sección de paso de GLP por el inyector. (m²)

h = Presión de GLP, en mmH₂O de agua.

$m_1 = 2,15 \frac{Kg}{m^3}$. Densidad de GLP, asumiendo un 70% de Propano y un 30% de Butano.

H_o = Presión atmosférica, en mmH₂O de agua.

H_i = Presión absoluta de GLP a la entrada del inyector, en mmH₂O de agua.

r = Relación de los calores específicos a presión y volumen constante.

2.3.8 ACCESORIOS PARA EL FUNCIONAMIENTO SEGURO

Las calderas deben poseer una serie de accesorios que permitan su utilización en forma segura, los que son:

2.3.8.1 ACCESORIOS DE OBSERVACIÓN:

Son los que tenemos una interacción directa vista, accesorio.

2.3.8.2 PRESSURETROL (REGULADOR DE PRESIÓN)

Es un control de presión mediante línea de voltaje que proporciona un control automático de operación, protección automática de seguridad de límite alto y opcionalmente un control modulador del rango de disparo para sistemas de presión de hasta 300 PSI.

2.3.8.3 MANÓMETROS

Son aparatos de medida cuya principal función es medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados. Existen, básicamente dos tipos: los de líquidos y los de gases.

2.3.8.4 MEDIDOR DE NIVEL Y CONTROL DE AGUA

Es básicamente un nivel de vidrio, el sistema de medición esta basado en el principio de vasos comunicantes, es mas comúnmente conocido como McDonnell, debido a la empresa que los fabrica, cabe recalcar que su nombre correcto es: (Control de nivel de alta presión o control de la bomba y apagado por bajo nivel de agua). El depósito requiere de dos conexiones para conectar el nivel, instalando entre las conexiones del nivel y el depósito unas válvulas de aislamiento para poder separar ambos sistemas

2.3.9 RENDIMIENTO TÉRMICO O EFICIENCIA

¹El rendimiento térmico o eficiencia de una máquina térmica es una magnitud de proceso dimensional, es un concepto asociado al trabajo realizado por las máquinas.

Todo el mundo sabe que obtener un buen rendimiento o eficiencia supone tener buenos y esperados resultados con poco trabajo. En física este concepto se define como el cociente entre el trabajo útil que realiza una máquina en un intervalo de

¹ http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/rendimiento/index.htm

tiempo determinado y el trabajo total entregado a la máquina en ese intervalo. Se designa con la letra griega η .

El rendimiento de una maquina será siempre un número menor de uno ($0 < R < 1$). Para expresarlo en % se multiplica su valor por 100. Representa el “tanto por ciento” conseguido de total trabajo suministrado.

Las máquinas simples permiten obtener un rendimiento del 100%. Reciben energía mecánica y entregan energía mecánica (no cambian el tipo de energía) y no tienen mecanismos.

El resto de las máquinas transforman un tipo de energía en otra (calor en energía cinética, eléctrica, etc.) y sus rendimientos se alejan del 100% debido a los rozamientos de sus piezas y a la posibilidad de aprovechar todo el calor para transformarlo en energía mecánica en los motores (imposibilidad de la máquina ideal).

En *Termodinámica* se define el rendimiento en función del calor o de la temperatura de los focos frío y caliente de una máquina térmica.

2.3.10 CÓDIGO ASME

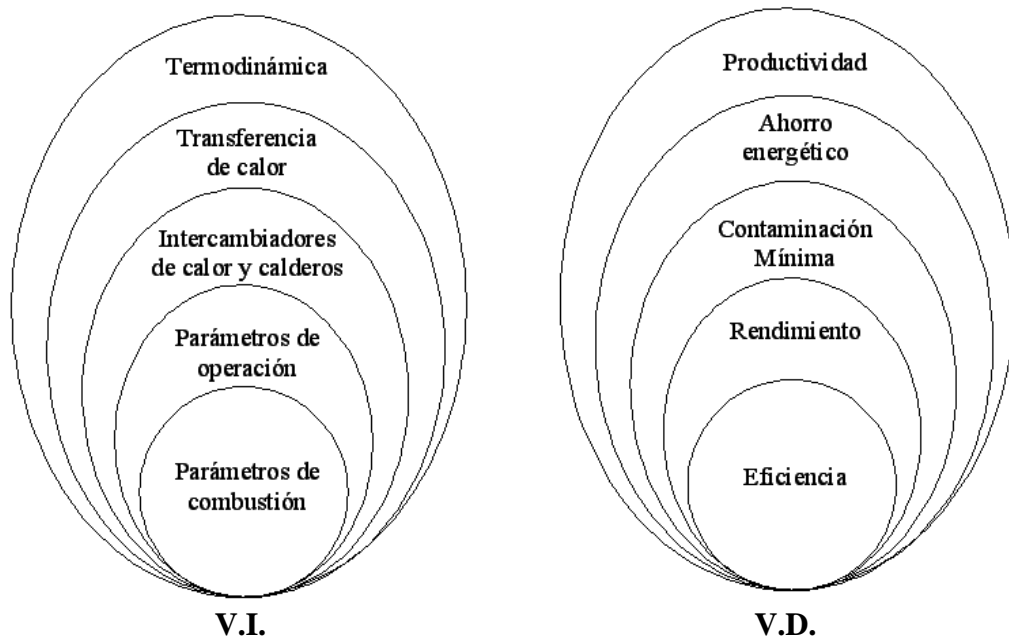
La ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) establece un comité en 1911 para el objetivo de formular reglas estándar para la construcción de calderas de vapor y otros recipientes de presión. Este comité ahora es denominado de Calderas y recipientes de presión.

La función del Comité fundamentalmente es establecer reglas consideradas necesarias para la construcción de recipientes de presión nuevos, que funcionen de una manera segura y confiable, e interpretar estas reglas cuando las preguntas surgen en cuanto a su intención. Con pocas excepciones, la necesidad práctica, en cuanto a la probabilidad y las consecuencias de deterioramiento en cuanto al servicio que éstas presten con fluidos específicos o entornos externos de operación.

Es conocido que el Código o norma especificado para esto es el: ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE SECTION VIII (SECCIÓN VIII DEL CÓDIGO ASME DE CALDERAS Y RECIPIENTES DE PRESIÓN)

En consecuencia no se pretende que esta sección sea usada como un manual de diseño; más bien el criterio de la ingeniería debe ser empleado en la selección de aquellas herramientas del código de acuerdo a las necesidades y requerimientos y no puede sustituir la educación, la experiencia, y el empleo del criterio de la ingeniería. La frase criterio de la ingeniería se refiere a juicios técnicos hechos por diseñadores y constructores bien informados, experimentados en el uso del Código. Los criterios de la ingeniería deben ser compatibles con la filosofía del Código y tales juicios nunca deben ser usados para invalidar exigencias obligatorias o las prohibiciones específicas del Código.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.5 HIPÓTESIS

- La correcta evaluación de los parámetros de combustión, permitirá predecir con una aproximación del 20% la eficiencia térmica de un calderín de 2 BHP.

2.6 SEÑALIZACION DE VARIABLES

V.I.: Parámetros de combustión

V.D.: Eficiencia Térmica.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.

En la presente investigación se presentó una modalidad de nivel de campo exploratorio y científica; esta modalidad toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo al objetivo del proyecto.

La modalidad de la investigación documental bibliográfica tubo como propósito detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre una cuestión determinada, basándose en documentos, libros, revistas, internet y estadística.

3.1.1. EXPERIMENTAL

En esta investigación se estudió las relaciones de casualidad utilizando la metodología experimental con la finalidad de controlar los fenómenos. Se fundamenta en la manipulación activa y el control sistemático de las variables independientes.

3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo de investigación, nos referimos a los siguientes:

3.2.1 NIVEL

- **De campo.**

En el presente trabajo se utilizó la modalidad de investigación de campo para la obtención de los datos necesarios para el estudio y se pudo interpretar los resultados de la investigación.

- **Experimental.**

Ya que se realizó prácticas experimentales para observar el comportamiento del calderín con la directa manipulación de los parámetros de combustión, el cual para nuestro caso fue la variación de presión y caudal de GLP.

- **Bibliográfica.**

Fue de gran importancia, ya que se utilizaron fuentes bibliográficas tales como libros, revistas, paginas WEB, las cuales proporcionaron apoyo tecnológico, y científico; tanto para el desarrollo de los ensayos así como también aplicar consideraciones importantes dentro del diseño del calderín.

3.2.2 TIPO

- **EXPLORATORIO**

Dado a que se indagó en cada uno de los parámetros de análisis generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo; y también porque se logró obtener una mayor objetividad sobre un problema en sí no muy investigado en nuestro medio.

- **DESCRIPTIVO**

Dado a que se comparó entre varios fenómenos, situaciones o formas; además de clasificar los modelos de comportamiento en base a ciertos criterios

- **EXPLICATIVA**

La hipótesis planteada se comprobó en base a los distintos ensayos experimentales llevados a efecto.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN O UNIVERSO

La población o universo en la presente investigación esta catalogada dentro de un parámetro infinito dado a los diferentes dispositivos para calentamiento de agua semi-industrial que usan GLP.

El objeto de estudio en este caso específico, fueron los parámetros de combustión los cuales fueron modificados para investigar el comportamiento de la eficiencia del calderín.

3.3.2. MUESTRA

Corresponden a las diversas pruebas realizadas en el calderín de 2 BHP.

Como la población es de tamaño infinito, debido a las características constructivas del calderín, la muestra a ser analizada involucrará 10 variaciones controladas en el caudal de combustible, y de presión del combustible suministrado al quemador.

| PRUEBA # | PRESIÓN DE GLP | CAUDAL | SIN PREVIO CALENTAMIENTO |
|----------|----------------|--------|-----------------------------|
| 1 | 0.4 | 100% | |
| 2 | 0.5 | | |
| 3 | 1 | | |
| 4 | 2 | | |
| 5 | 4 | | |
| 6 | 0.4 | 75% | |
| 7 | 0.5 | | |
| 8 | 1 | | |
| 9 | 2 | | |
| 10 | 4 | | |

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable Dependiente: Parámetros de combustión.

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|-------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Para aprovechar toda la energía de un combustible es necesario optimizar y regular los parámetros que contribuyen al mismo, tales como son la presión y el caudal, para aprovechar bien la energía que se desprende en la reacción de oxidación de los elementos combustibles, es necesario que se realice en las mejores condiciones posibles. | Presión del combustible | Alta | > 2 PSI | Observación directa. |
| | | Media | 0.5 a 2 PSI | Instrumentos de laboratorio |
| | | Baja | ≤ 0.5 PSI | |
| | Caudal Combustible. | Máxima | 100 % | Observación directa. |
| Media | | 75 % | | |

3.4.2. Variable Independiente: Eficiencia Térmica.

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ITEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|-------------|-------------|------------|--|
| La eficiencia es el rendimiento de una máquina o artefacto, dado sus condiciones específicas de operación. | Rendimiento | Alto | (50 –100)% | Observación directa. Bibliografía |
| | | Medio | (30- 49)% | |
| | | Bajo | < 30% | |

3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La presente investigación se realizó, con dos tipos de técnicas: la primera fue la observación directa que se realizó en el Laboratorio de Energía de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para poder comprobar el cumplimiento de los objetivos planteados como también el correcto desarrollo del estudio y sobretodo su buen funcionamiento en el momento de culminado éste; posteriormente se procedió a la recolección de datos con la ayuda de los implementos e instrumentos del Laboratorio.

Se empezó midiendo la temperatura ambiental de cada práctica y la velocidad de salida de los gases de combustión, las prácticas que se realizaron fueron:

- Análisis de variación de presión de GLP en el quemador con un caudal de GLP del 100%
- Análisis de variación de presión de GLP en el quemador con un caudal de GLP del 75%.

a) Instrumentos para la práctica:

- Manómetro.
- Cronómetro.
- Regulador de presión.
- Medidor de gas.
- Paso del GLP.

b) Toma de datos:

Para este análisis se ha evaluado el calderín sin previo calentamiento, los pasos a seguir para realizar este análisis fueron los siguientes:

1. Verificar visualmente el estado del calderín.
2. Revisar que las fuentes o recursos necesarios para la puesta en marcha del calderín se encuentren listas y disponibles, tales como son: Agua de alimentación, Combustible GLP, y electricidad.
3. Verificar la presión de alimentación del combustible antes de que este sea encendido.
4. Regular la manija de paso de GLP.
5. Encender la llama piloto del calderín.
6. Encender el calderín.
7. Recopilar los datos de presión de proceso y tiempo, durante lapsos de 1 a 2 minutos.
8. Luego de terminado el ensayo, esperar a que el calderín se enfríe y descargarlo y purgarlo completamente.

Luego de realizados los procedimientos de los ensayos de variación de presión y de caudal de GLP en el quemador, se procedió a recolectar toda la información necesaria. Como fueron la toma de datos de tiempo, presión de proceso, temperaturas del agua de entrada y al finalizar cada practica.

3.5.1 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Son los implementos mediante los cuales se obtuvo medidas de: tiempo, presión, volumen:

3.5.1.1 MANÓMETRO

Sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

Figura 3-1: MANÓMETRO



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

3.5.1.2 MEDIDOR DE CUENTA LITROS PARA GLP

Dispositivo mecánico para medir y registrar automáticamente cantidades de gas.

Figura 3-2: MEDIDOR DE GAS



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

3.5.1.3 CRONÓMETRO

Es un reloj o una función del reloj utilizada para medir fracciones temporales, normalmente breves y precisas de tiempo.

Figura 3-3: CRONÓMETRO



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Con la información recolectada se procedió a elaborar tablas para una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Mediante gráficas de dispersión y un análisis matemático de los datos para obtener información de cuales son los parámetros más idóneos para un ideal desempeño del calderín de 2 BHP, ya que se pudo apreciar que a diferentes presiones del combustible el comportamiento del CALDERÍN varía en cuanto a llegar a su carga máxima de presión de proceso final.

Con las gráficas realizadas se procedió a verificar y comparar cual es la ecuación que más se ajusta a un óptimo desempeño del calderín con las cuales se determinaron:

- Propiedades termodinámicas.
- Proceso en diagrama termodinámico.
- Calores con tiempos requeridos.
- Potencia del quemador.
- Eficiencias para cada caso.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para realizar el análisis de resultados, se tomaron un total de ocho ensayos, cuatro para la variación de presión de GLP y un caudal del 100% y cuatro con una variación de caudal de un 75%, cuyos datos obtenidos se encuentran tabulados en anexos.

4.1.1 ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PRESIÓN DE GLP EN EL QUEMADOR

Se realizaron ocho pruebas variando la presión de ingreso de GLP al combustible, en la tabla a continuación podremos observar: Presión del GLP, caudal de GLP, tiempos de logro de presión final del proceso, entalpías en cada uno de los ciclos que se presentan dentro del proceso, los calores del proceso así como el calor del quemador y las eficiencias para cada tiempo del proceso, mediante la evaluación de calor de los procesos 1-3 sobre el calor entregado por el quemador.

TABLA 4-1: Calderín de 2 BHP, caudal en un 100%.

| Calderín de 2 BHP caudal de GLP 100% | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| | | P = 14,7 PSI | | | P = 48,7 PSI | | | | | | |
| Presión de GLP (PSI) | Masa de Agua (Kg) | ϕ Inyector (mm) | Caudal de GLP m ³ /h | Tiempo de proceso (h) | h ₁ (KJ/kg) | h ₂ (KJ/kg) | h ₃ (KJ/kg) | iq ₃ (KJ/h) | q _{quemador} (KJ/h) | Eficiencia η (%) | Calidad de la mezcla (%) |
| 0,40 | 45 | 0,5 | 0,92 | 0,82 | 83,92 | 419,06 | 581,62 | 27243,31 | 46009,92 | 59,21 | 7,38 |
| 0,50 | | | 1,03 | 0,76 | | | | 29488,78 | 51441,33 | 57,33 | 7,38 |
| 1,00 | | | 1,46 | 0,53 | | | | 42393,95 | 72749,54 | 58,27 | 7,38 |
| 2,00 | | | 1,65 | 0,55 | | | | 40478,45 | 82356,63 | 49,15 | 7,38 |
| DISEÑO | | | | | | | | | | | |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

4.1.2 ANÁLISIS DE VARIACIÓN DE PRESIÓN DE GLP Y DE CAUDAL DE GLP EN EL QUEMADOR

Se realizaron ocho pruebas variando el caudal de GLP y la presión de ingreso de GLP al combustible, en la tabla a continuación podremos observar el desglose de datos como en la tabla anterior.

TABLA 4-2: Calderín de 2 BHP, caudal en un 75%.

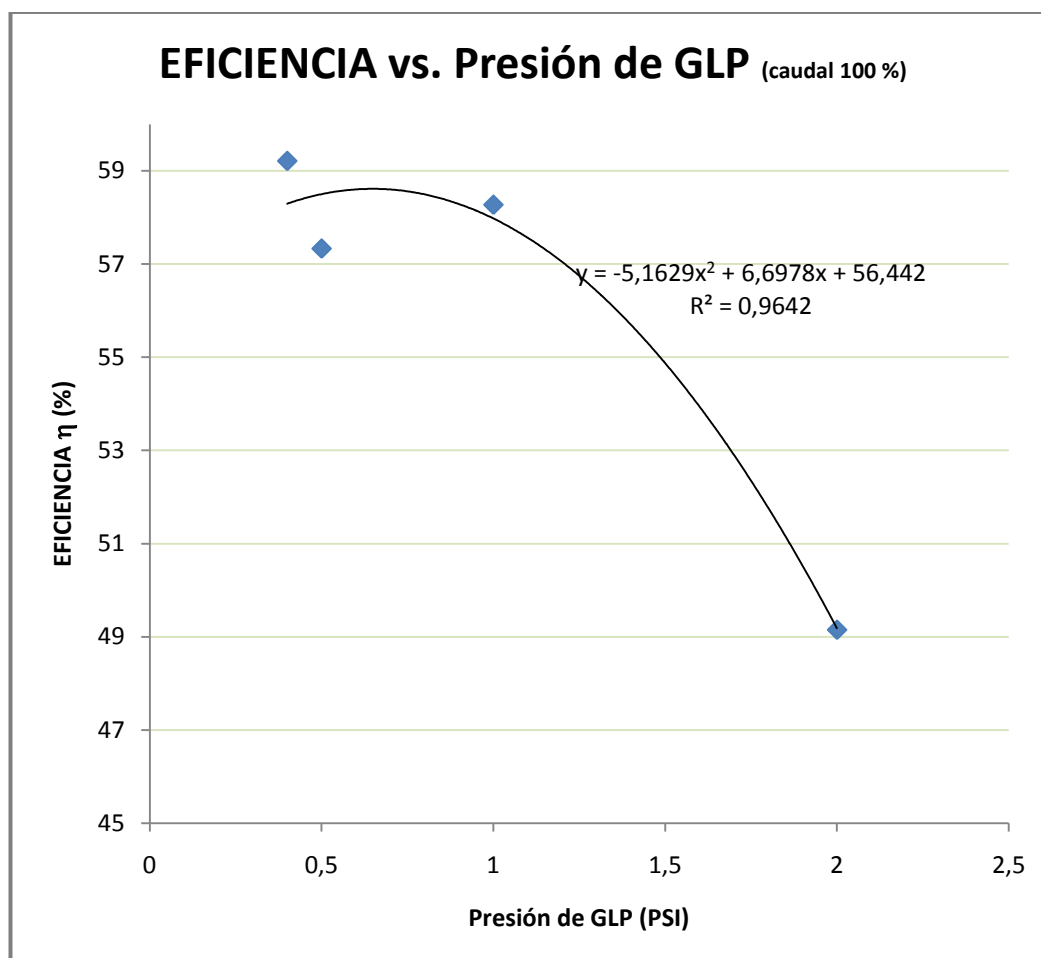
| Calderín de 2 BHP caudal de GLP 75% | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------------------------|------------------|--------------------------|
| | | P = 14,7 PSI | | P = 48,7 PSI | | | | | | | |
| Presión de GLP (PSI) | Masa de Agua (Kg) | φ Inyector (mm) | Caudal de GLP m ³ /h | Tiempo de proceso (h) | h1 (KJ/kg) | h2 (KJ/kg) | h3 (KJ/kg) | h _q (KJ/h) | q _{quemador} (KJ/h) | Eficiencia h (%) | Calidad de la mezcla (%) |
| 0,40 | 45 | 0,5 | 0,69 | 1,27 | 83,92 | 419,06 | 581,62 | 17575,71 | 34507,44 | 50,93 | 7,38 |
| 0,50 | | | 0,77 | 1,16 | | | | 19370,98 | 38581,00 | 50,21 | 7,38 |
| 1,00 | | | 1,10 | 0,80 | | | | 27849,70 | 54562,16 | 51,04 | 7,38 |
| 2,00 | | | 1,24 | 0,85 | | | | 26250,26 | 61767,47 | 42,50 | 7,38 |
| DISEÑO | | | | | | | | | | | |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

A partir de los datos tabulados que se encuentran en el numeral 4.1 (Análisis de los resultados), al igual que los que se encuentran tabulados en anexos, se realizaron gráficas de dispersión, en los cuales se analizó las curvas presión de GLP vs. eficiencia y entalpías, también de tiempo de proceso vs. tiempo.

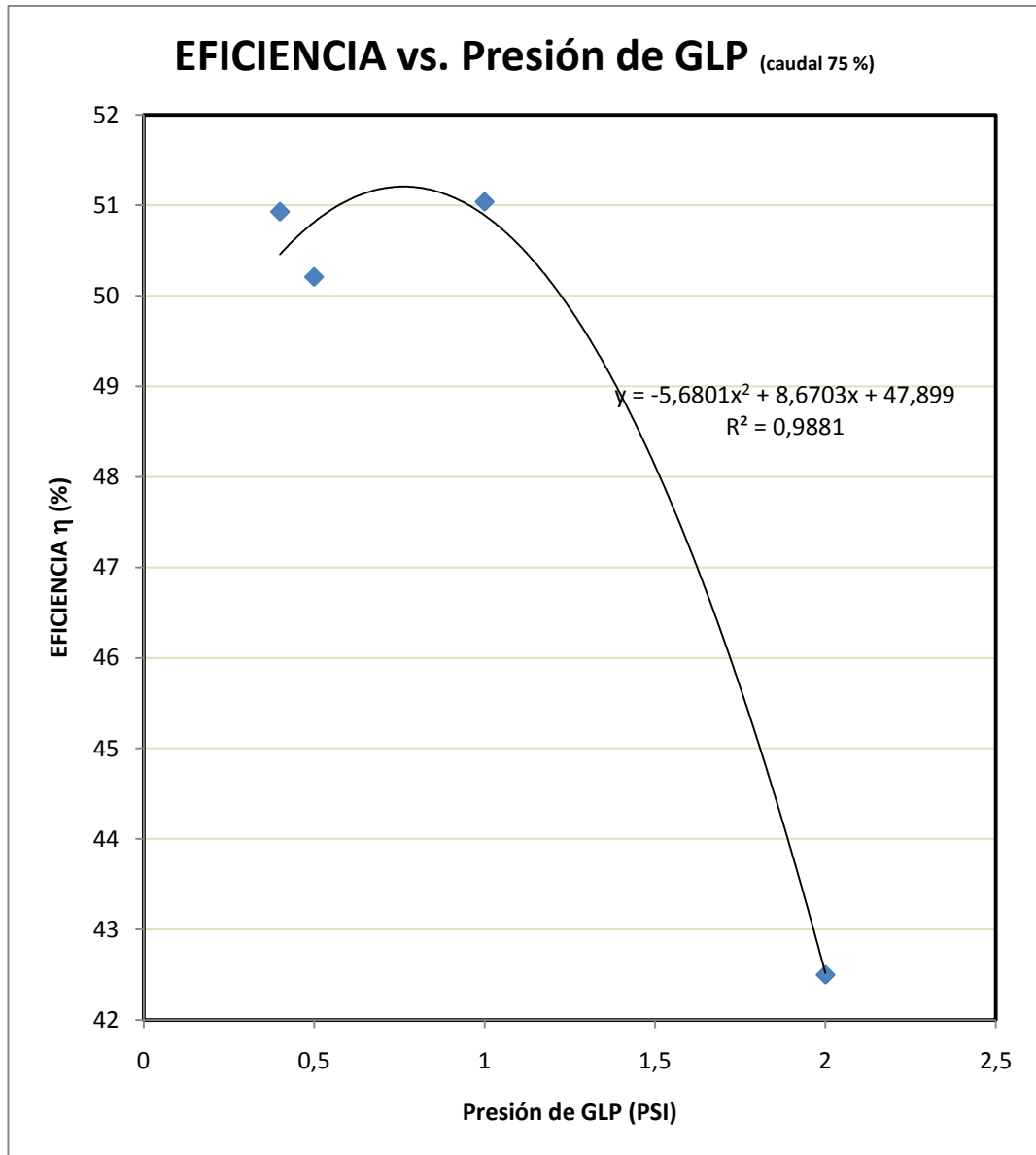
GRÁFICA 4-1: Eficiencia vs. Presión de GLP (Caudal del 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

En esta gráfica, podemos apreciar que en las presiones de GLP correspondientes entre el rango de 0.4 a 1 PSI una eficiencia muy similar fluctuante entre el 60% pero se observa claramente una decreciente en la presión de 2 PSI, esto debido a que es mucho el calor entregado por el sistema en relación de lo necesario para poder lograr el proceso final.

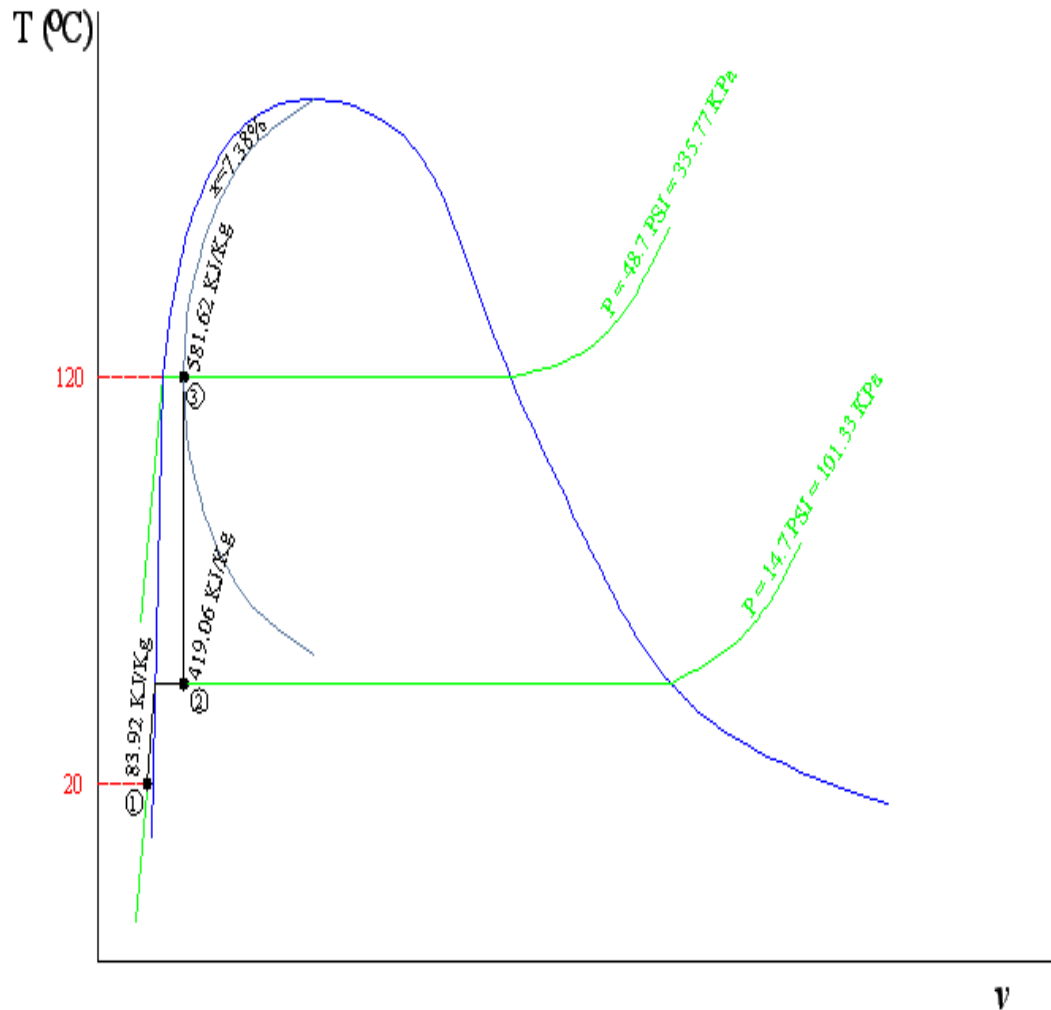
GRÁFICA 4-2: Eficiencia vs. Presión de GLP (Caudal del 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Esta gráfica, muy similar a la anterior, las presiones de GLP correspondientes entre el rango de 0.4 a 1 PSI muestran una eficiencia muy similar fluctuante entre el 50% y se registra nuevamente una caída de eficiencia en los 2 PSI de presión de GLP, esto debido a que es mucho el calor entregado por el sistema en relación de lo necesario para poder lograr el proceso final.

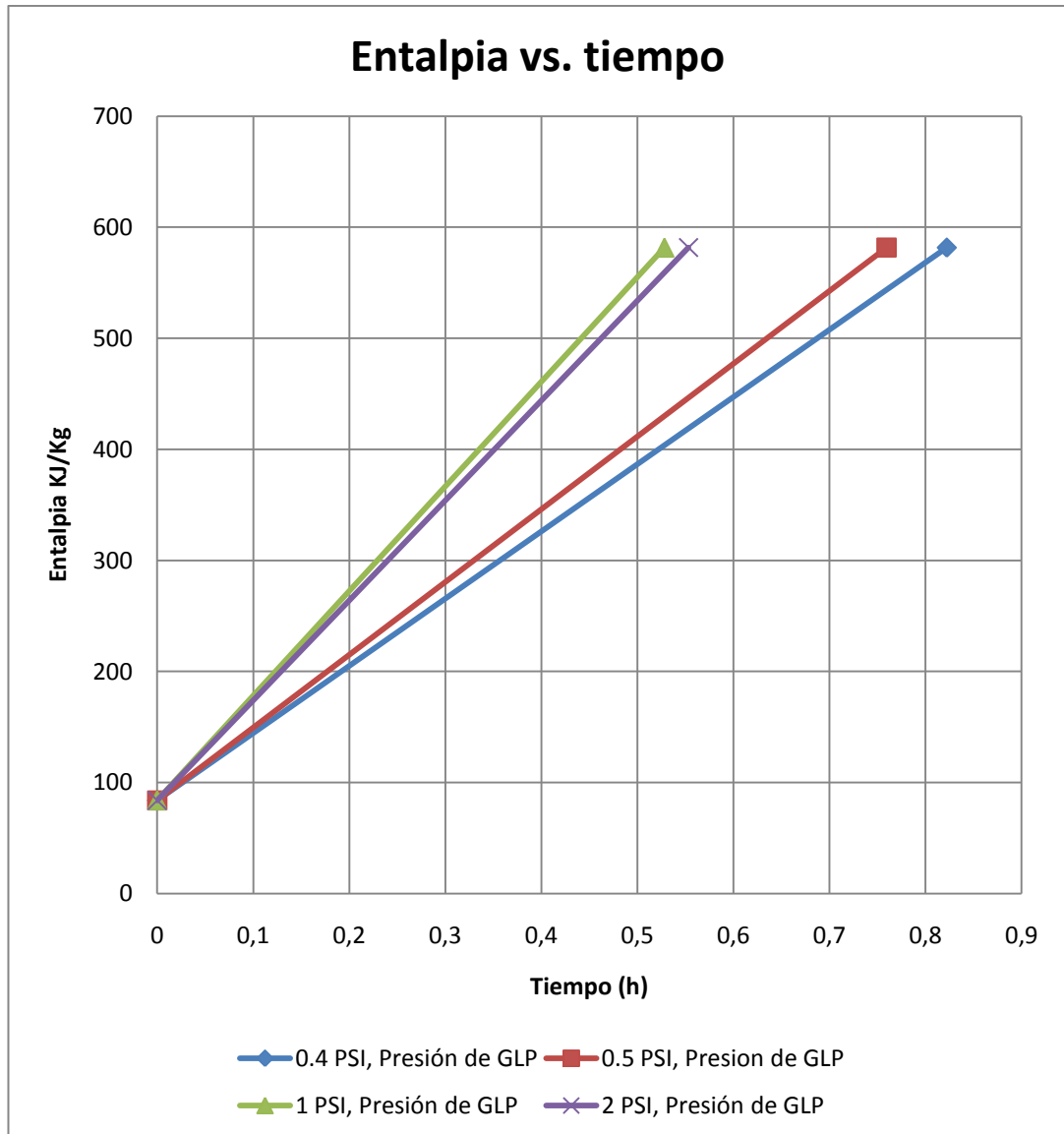
GRÁFICA 4-3: Diagrama T-v



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

En este diagrama podemos apreciar el proceso de cambio de fase del agua partiendo desde una presión de 14.7 PSI (101.33 KPa), a medida que se le transmite calor al agua, la presión interna irá variando dado a que es un recipiente a presión, hasta lograr una presión final de 48.7 PSI (335.77 KPa), momento en el cual se a terminado nuestro proceso, como podemos apreciar en el mismo se observa la calidad que alcanza la mezcla la cual fue de 7.38%.

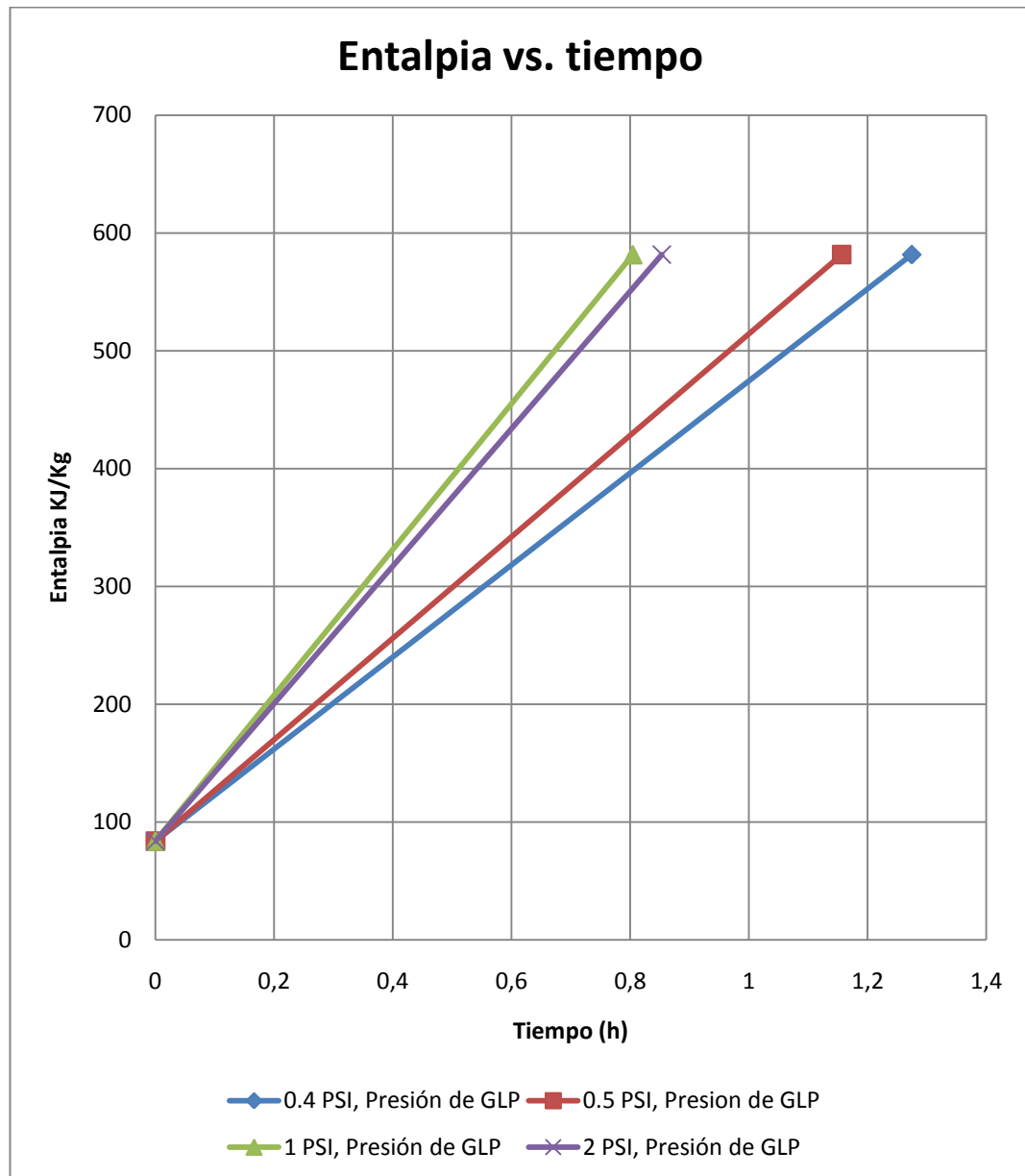
GRÁFICA 4-4: Entalpia vs. tiempo. (Caudal del 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

En esta gráfica podemos apreciar de una mejor manera la variación de entalpías sometidas a cada presión, con un caudal del 100%, y el tiempo que se toma para el mismo. Se puede apreciar que para 2 PSI de presión de GLP, se tiene una mayor entalpia debido al mayor calor transmitido para el efecto, y las entalpías logradas en las presiones dentro del rango de 0.4 a 1 PSI son muy similares entre sí variando relativamente muy poco.

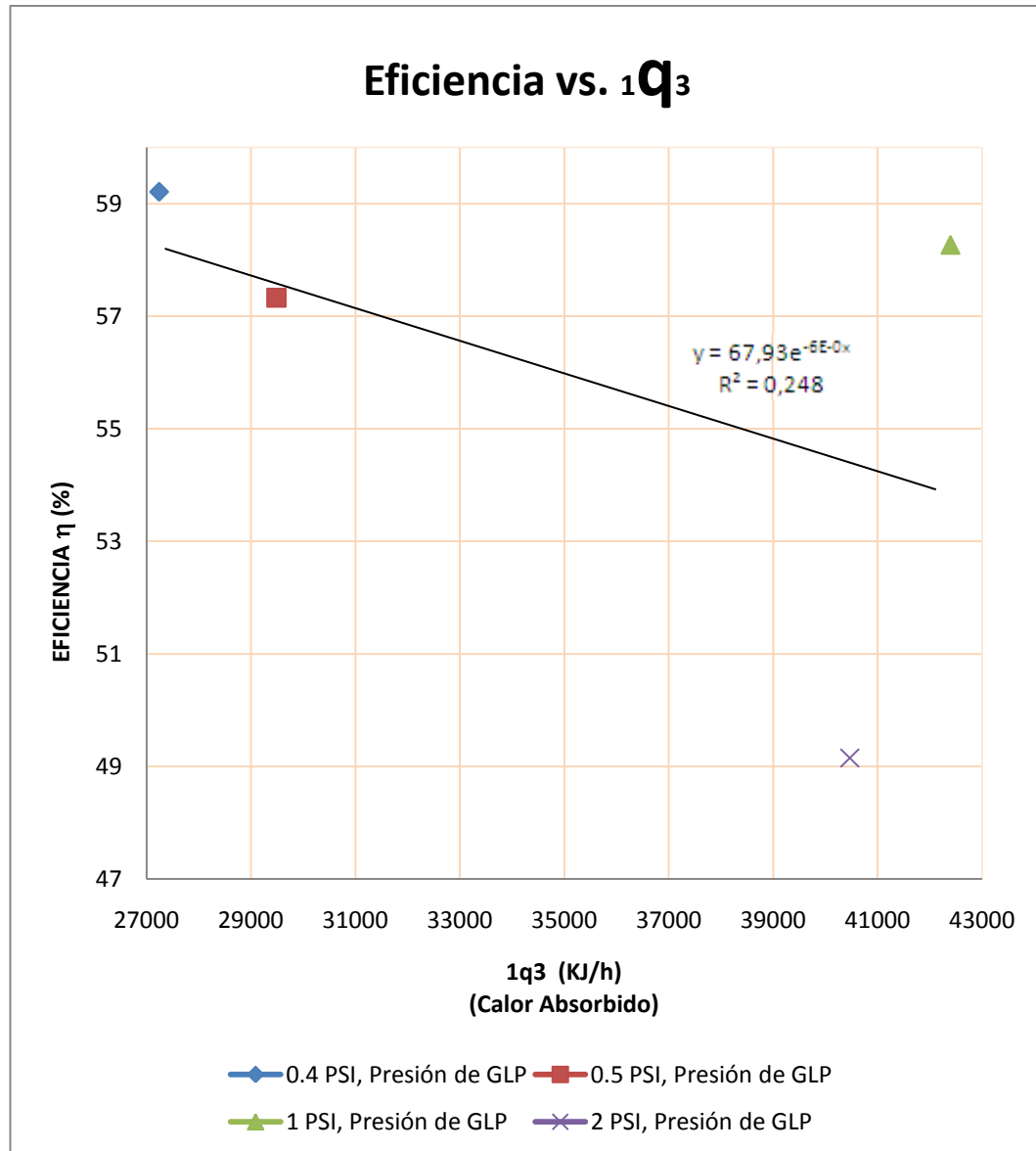
GRÁFICA 4-5: Entalpia vs. tiempo. (Caudal del 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Esta gráfica muy similar a la anterior, podemos apreciar la variación de entalpias sometidas a cada presión, con un caudal del 75%, y el tiempo que se toma para el mismo. Las entalpias logradas en las presiones dentro del rango de 0.4 a 1 PSI son muy similares entre sí variando relativamente poco, se puede apreciar que para 2 PSI de presión de GLP, se tiene una mayor entalpia debido al mayor calor transmitido para el efecto.

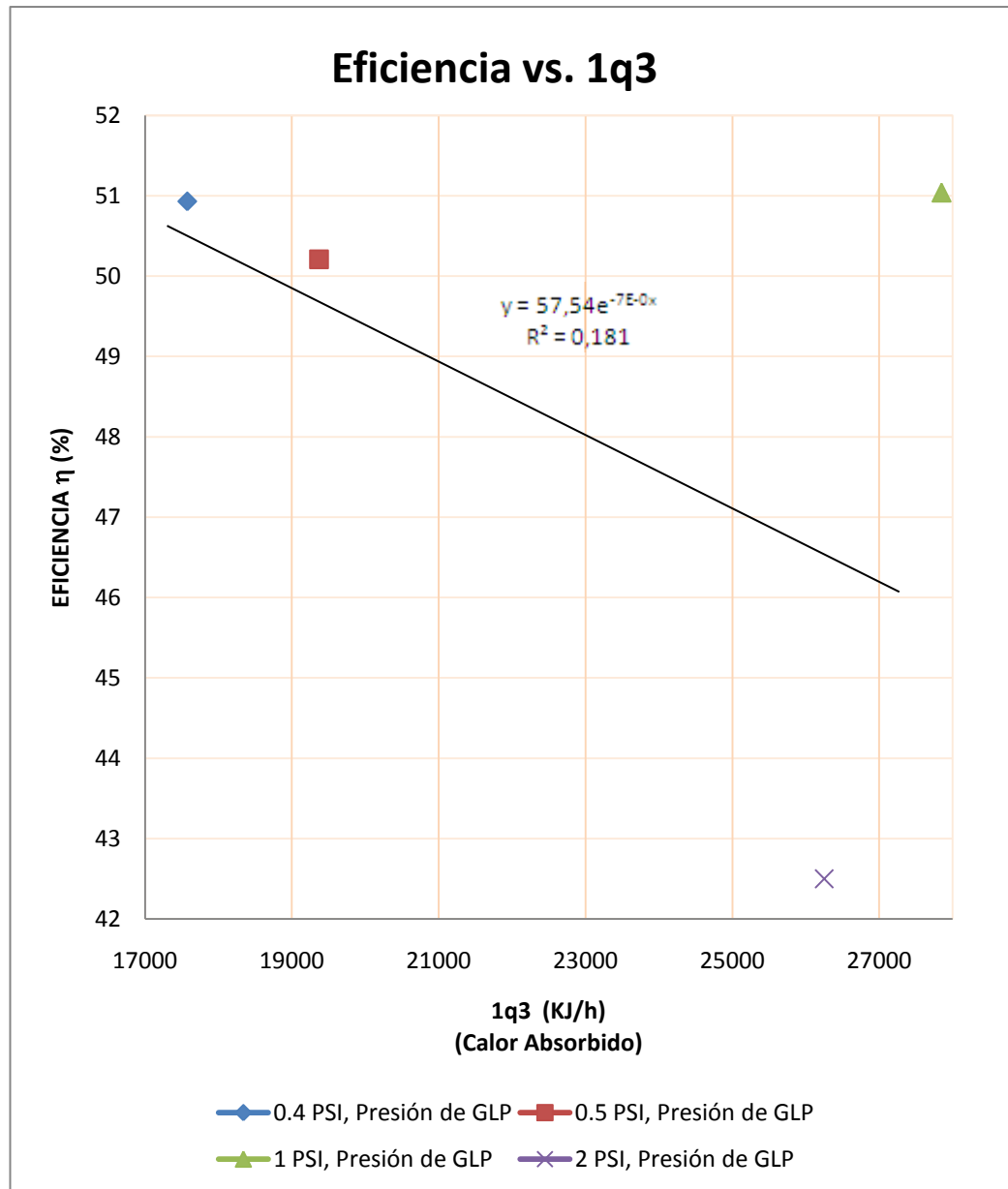
GRÁFICA 4-6: Eficiencia vs. $1q_3$ (Caudal del 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Esta gráfica nos muestra como la eficiencia es muy similar entre el rango de 0.4 PSI a 1 PSI, podemos apreciar una cierta armonía dentro de este parámetro y cómo al aumentar la presión de combustible a 2 PSI disminuye la eficiencia en un 9 % aproximadamente.

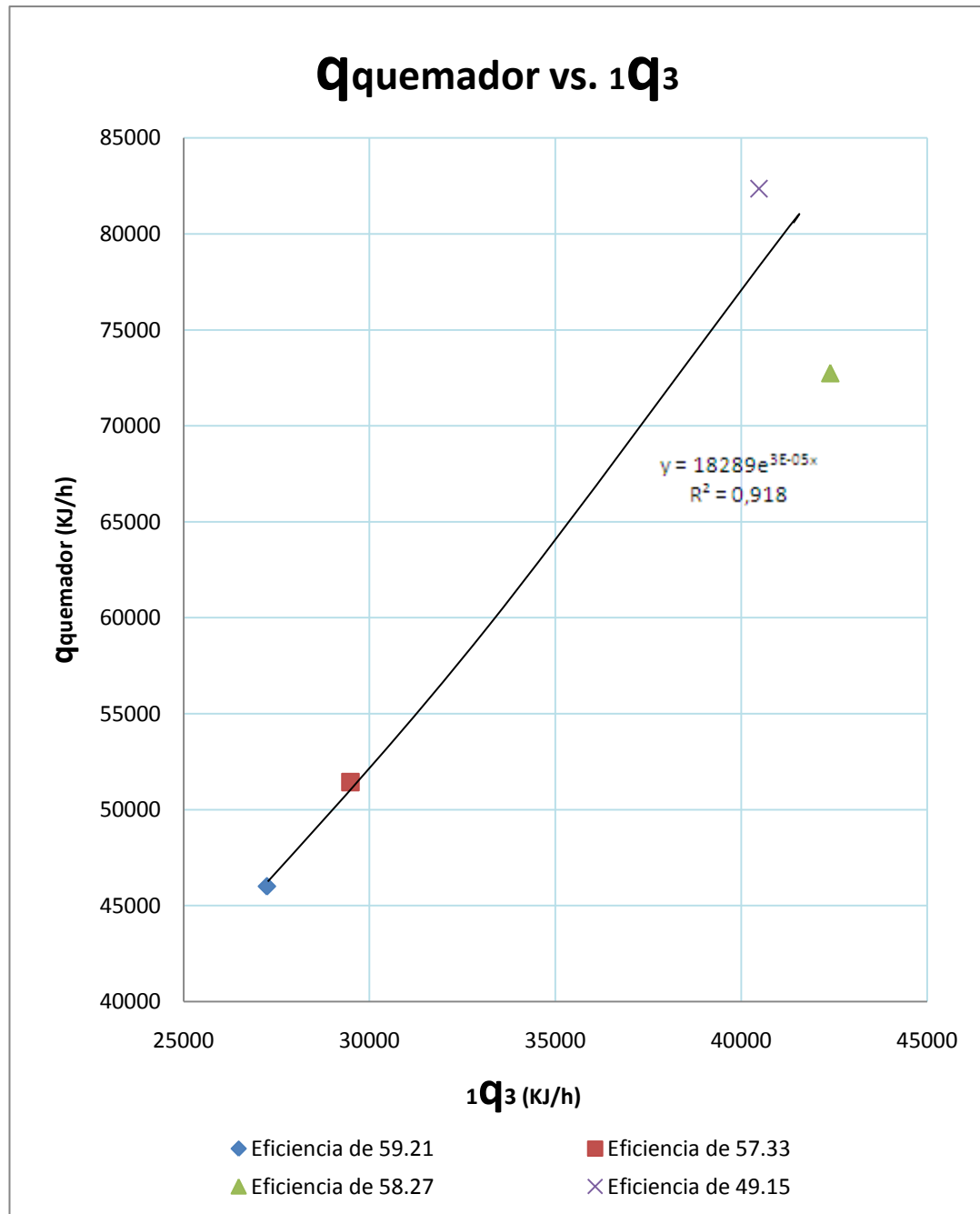
GRÁFICA 4-7: Eficiencia vs. $1q_3$ (Caudal del 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Esta gráfica muy similar a la anterior nos muestra el desempeño de la eficiencia con un caudal del 75% de GLP, la eficiencia es muy similar entre el rango de 0.4 PSI a 1 PSI, podemos apreciar una cierta armonía dentro de este parámetro y cómo al aumentar la presión de combustible a 2 PSI disminuye la eficiencia en un 8% aproximadamente.

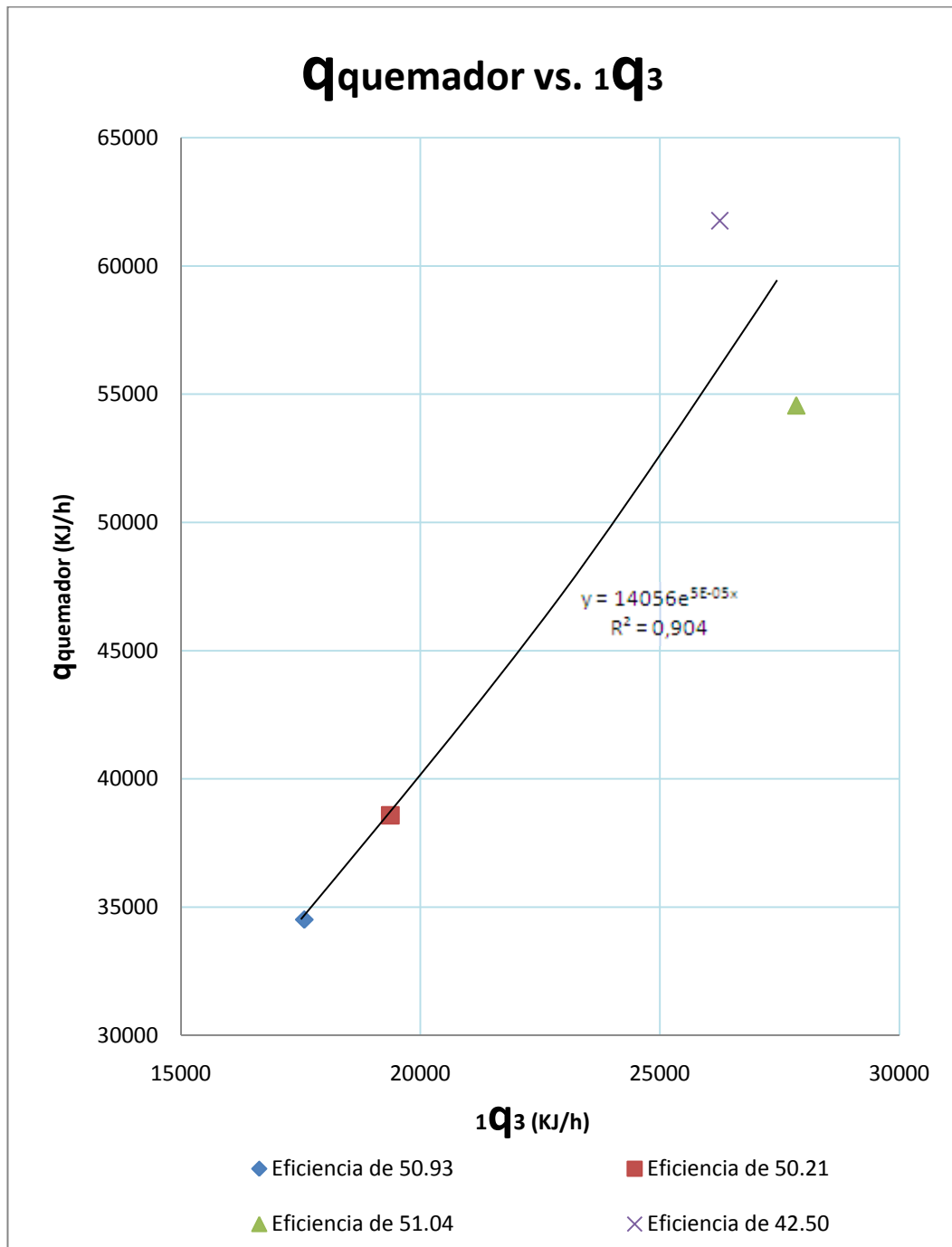
GRÁFICA 4-8: Q_{quemador} vs. $1Q_3$. (Caudal del 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Como podemos observar en esta gráfica, se a expuesto el calor que entrega el quemador y el calor absorbido por el agua para llegar a un proceso de 7.38% de calidad de la mezcla, también podemos apreciar la eficiencia que se genera en cada punto.

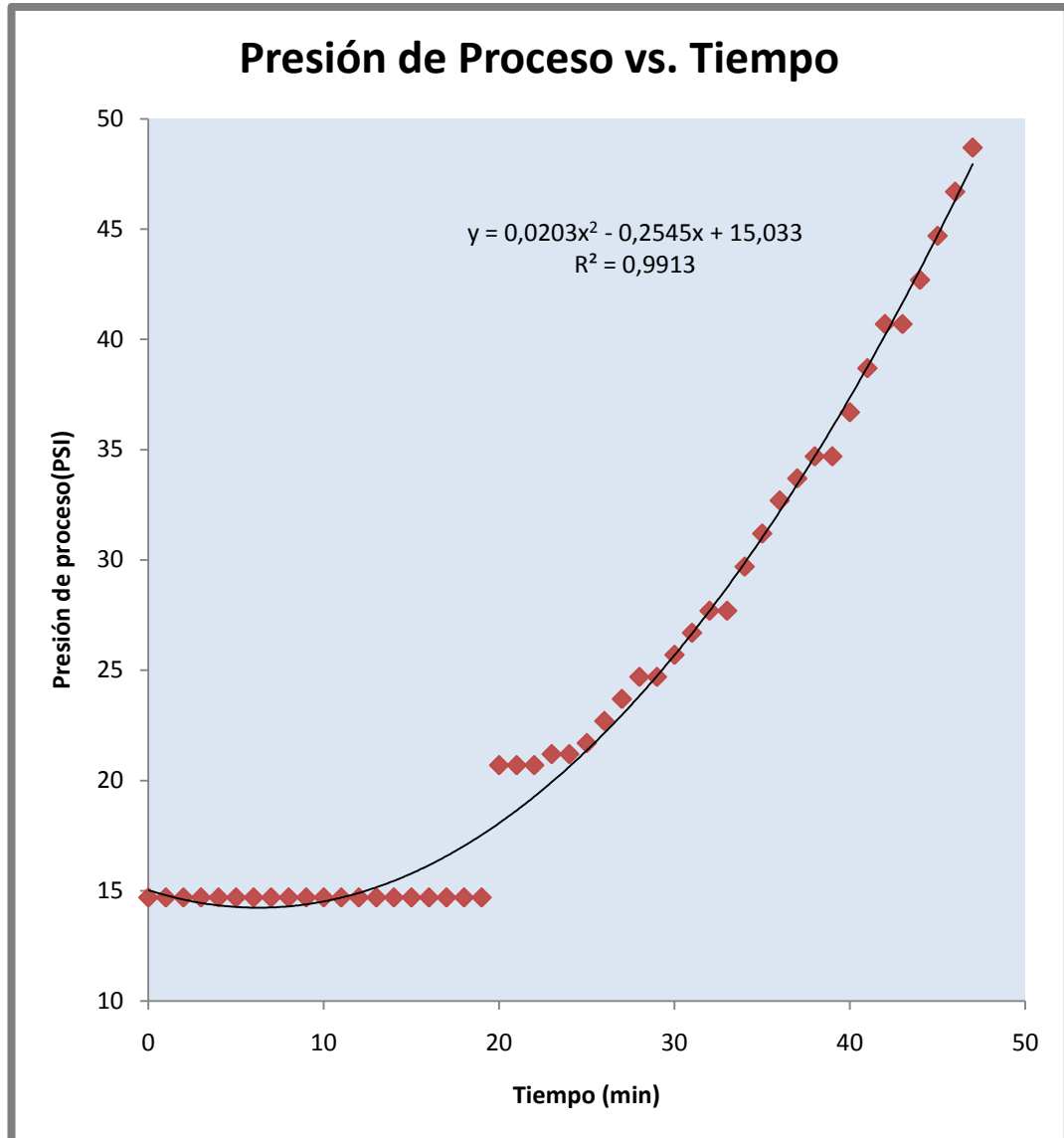
GRÁFICA 4-9: Q_{quemador} vs. $1Q_3$. (Caudal del 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

En esta gráfica de igual manera que en la anterior tenemos una representación haciendo constar las eficiencias obtenidas en cada punto.

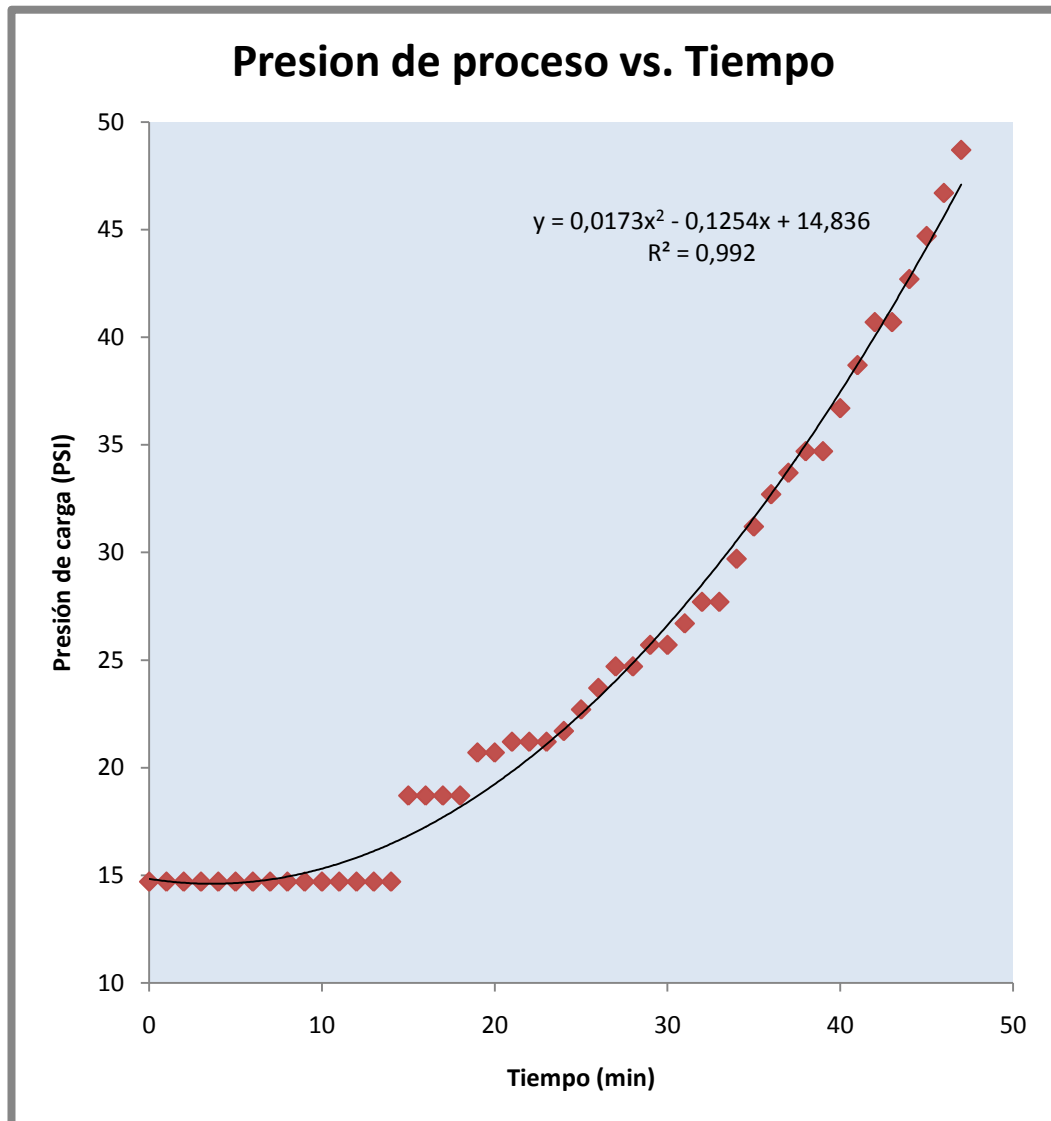
GRÁFICA 4-10: Presión de proceso vs. tiempo. (0.4 PSI, presión de combustible y caudal de 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

En esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 19 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 49 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final, ésta se realizó con una presión de gas de 0.4 PSI, y el calderín esta sin previo calentamiento, se ajusta una curva polinómica, la tendencia es creciente y se ajusta en un 99.1% a la ideal.

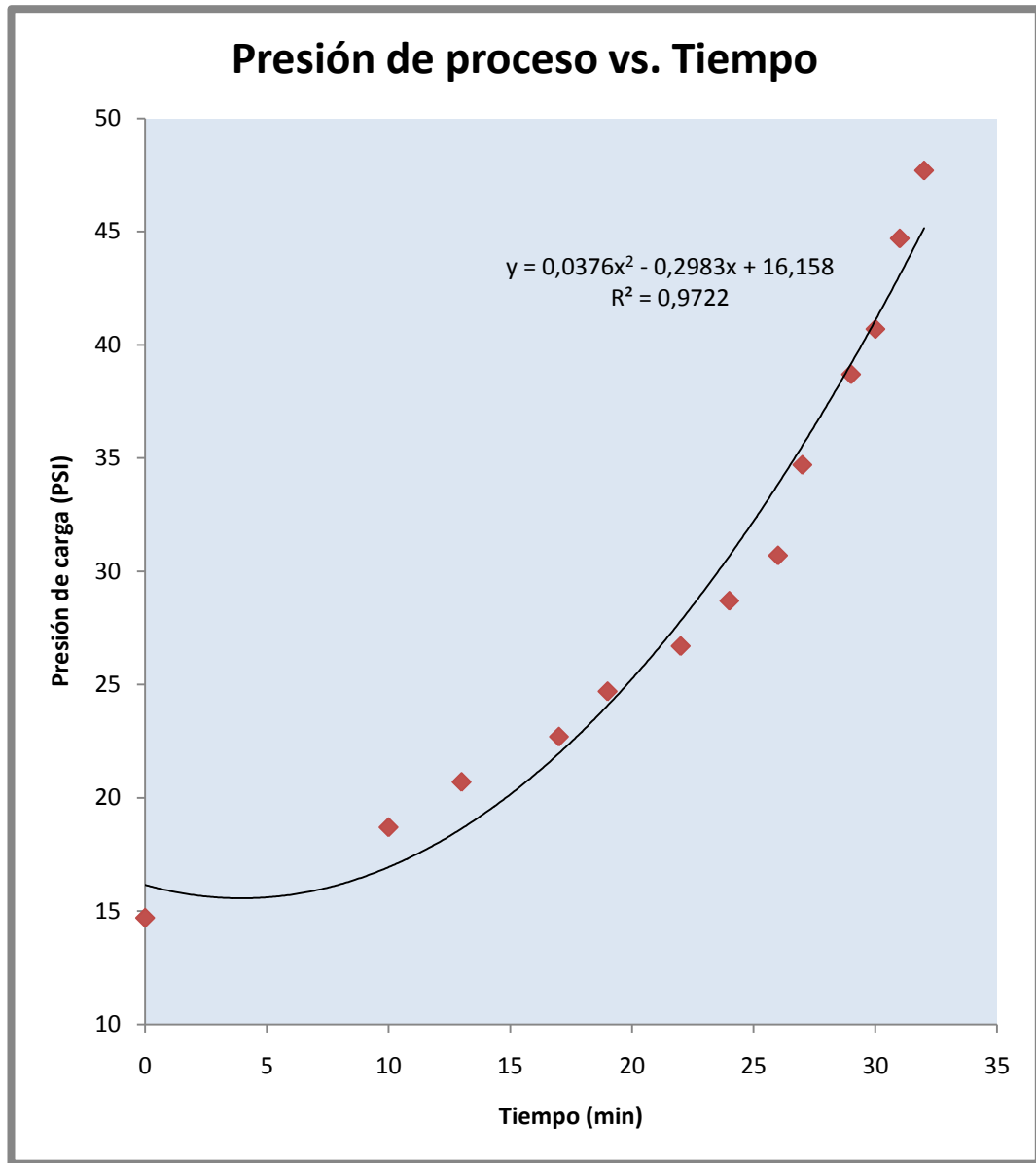
GRÁFICA 4-11: Presión de proceso vs. tiempo. (0.5 PSI, presión de combustible y caudal de 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en este gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 15 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 46 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final, esta prueba se realizó con una presión de gas de 0.5 PSI y el calderín sin previo calentamiento, se ajusta una curva polinómica, la tendencia es creciente y se ajusta en un 99.2% a la ideal.

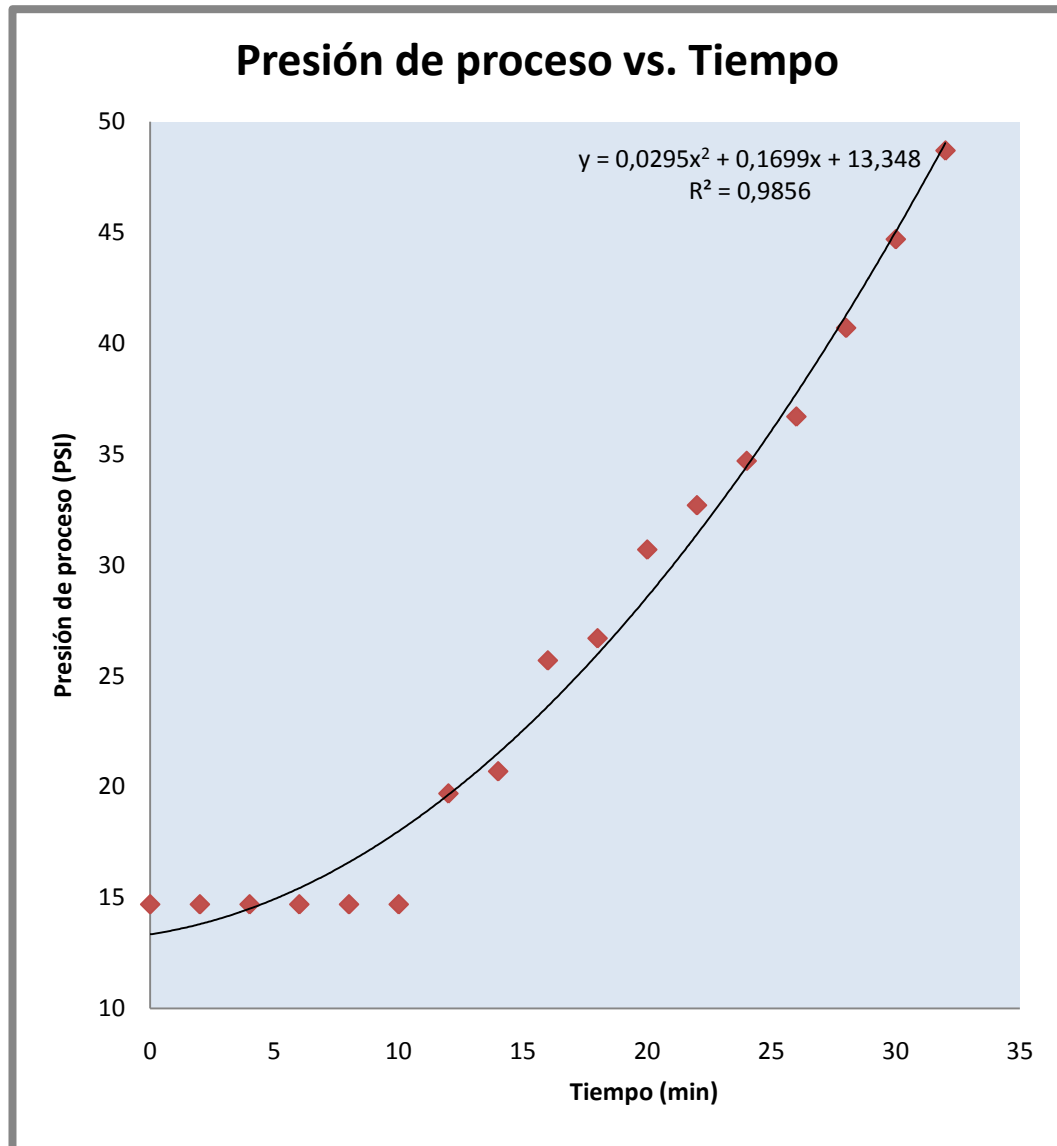
GRÁFICA 4-12: Presión de proceso vs. tiempo. (1 PSI, presión de combustible y caudal de 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Como podemos apreciar en el gráfico, logramos la presión interna de carga del cuerpo en un lapso de 31 minutos, podemos apreciar que al cabo de los 10 minutos aproximadamente obtuvimos la variación de presión de proceso, la cual empieza a formar la creciente, esta prueba se realizó con una presión de gas de 1 PSI y el calderín sin previo calentamiento, se ajusta una curva polinómica, la tendencia es creciente y se ajusta en un 97.4% a la ideal.

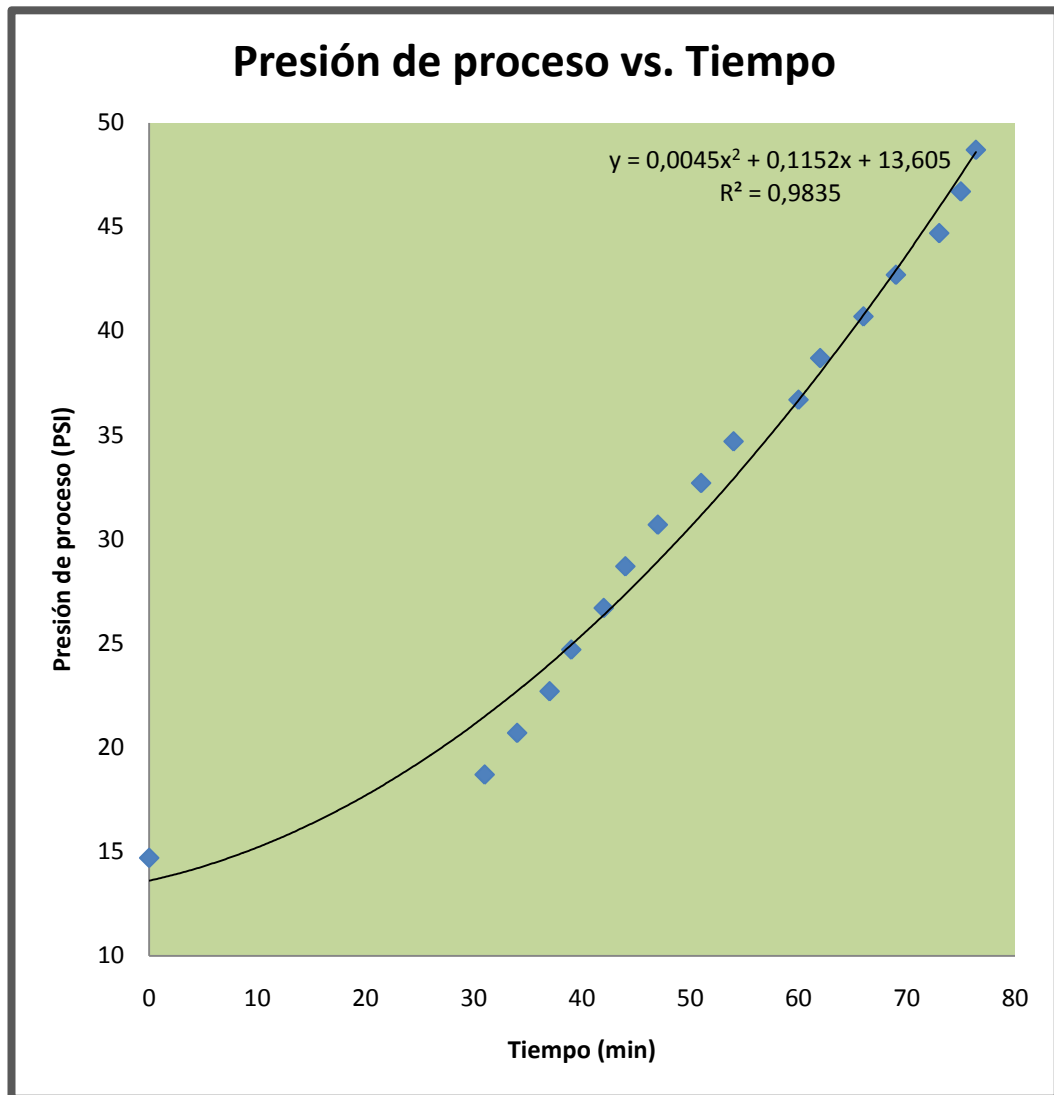
GRÁFICA 4-13: Presión de proceso vs. tiempo. (2 PSI, presión de combustible y caudal de 100%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Como podemos observar en esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 10 a 11 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 34 minutos aproximadamente, la cual empieza a formar la creciente, esta prueba se realizó con una presión de gas de 2 PSI y el calderín sin previo calentamiento, se ajusta una curva polinómica, la tendencia es creciente y se ajusta en un 98.2% a la ideal.

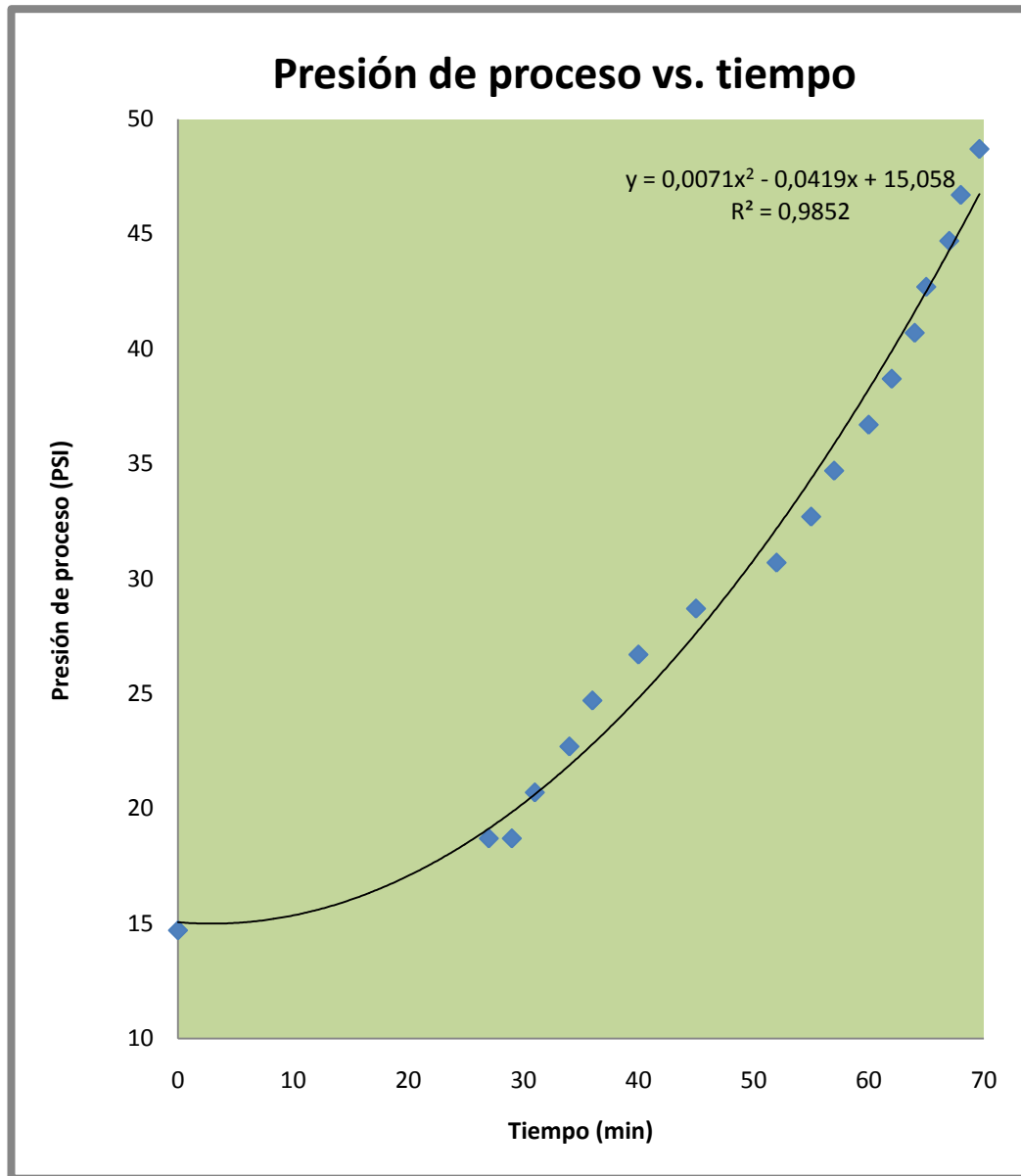
GRÁFICA 4-14: Presión de trabajo vs. tiempo. (0.4 PSI, presión de combustible y caudal de 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 30 a 32 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 80 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final, esta prueba se realizó con una presión de inyección del GLP de 0.4 PSI, y el caudal del GLP en un 75%, el calderín sin previo calentamiento, la tendencia es creciente y se ajusta en un 98.3% a la ideal.

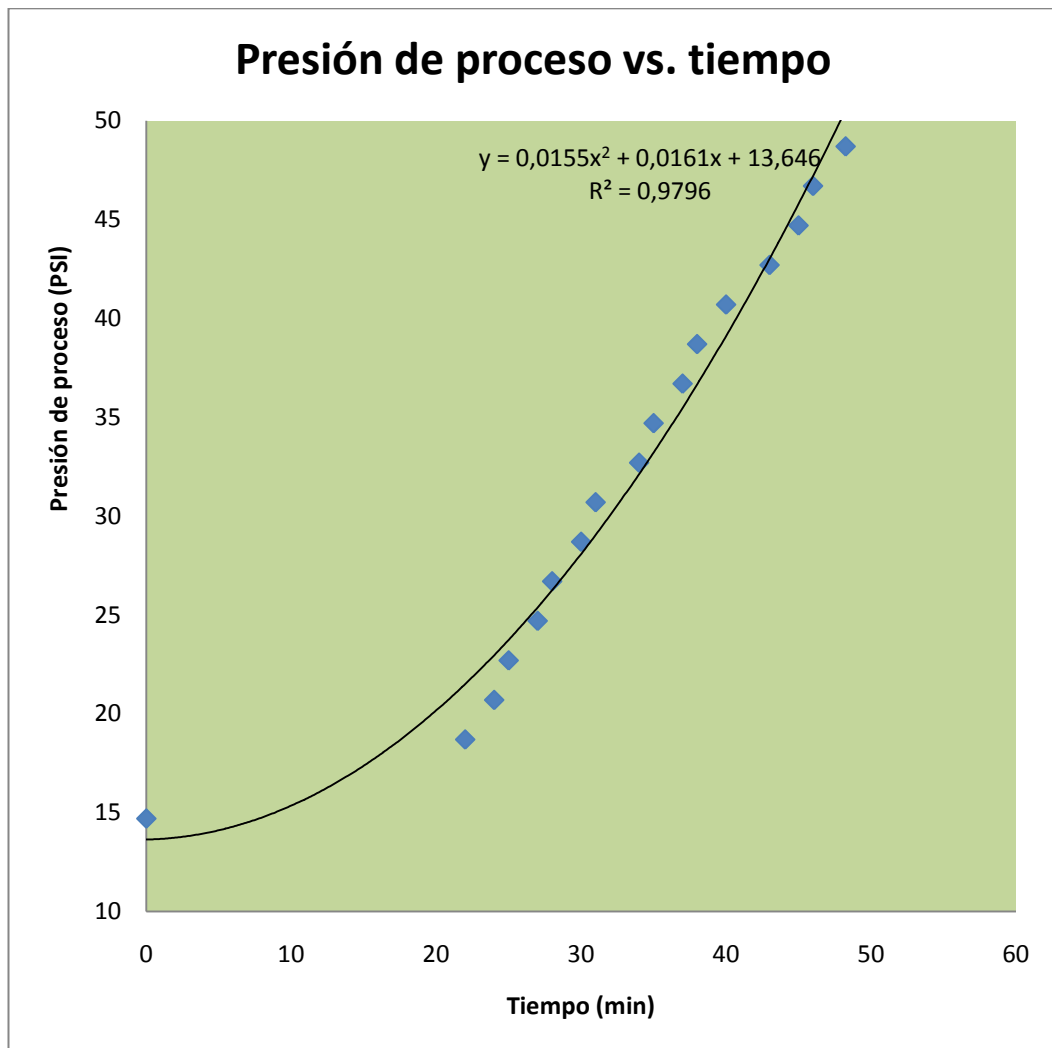
GRÁFICA 4-15: Presión de trabajo vs. tiempo. (0.5 PSI, presión de combustible y caudal de 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 27 a 28 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 70 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final, esta se realizó con una presión de inyección del GLP de 0.5 PSI y el caudal del GLP en un 75%, el calderín sin previo calentamiento, la tendencia es creciente y se ajusta en un 98.5% a la ideal.

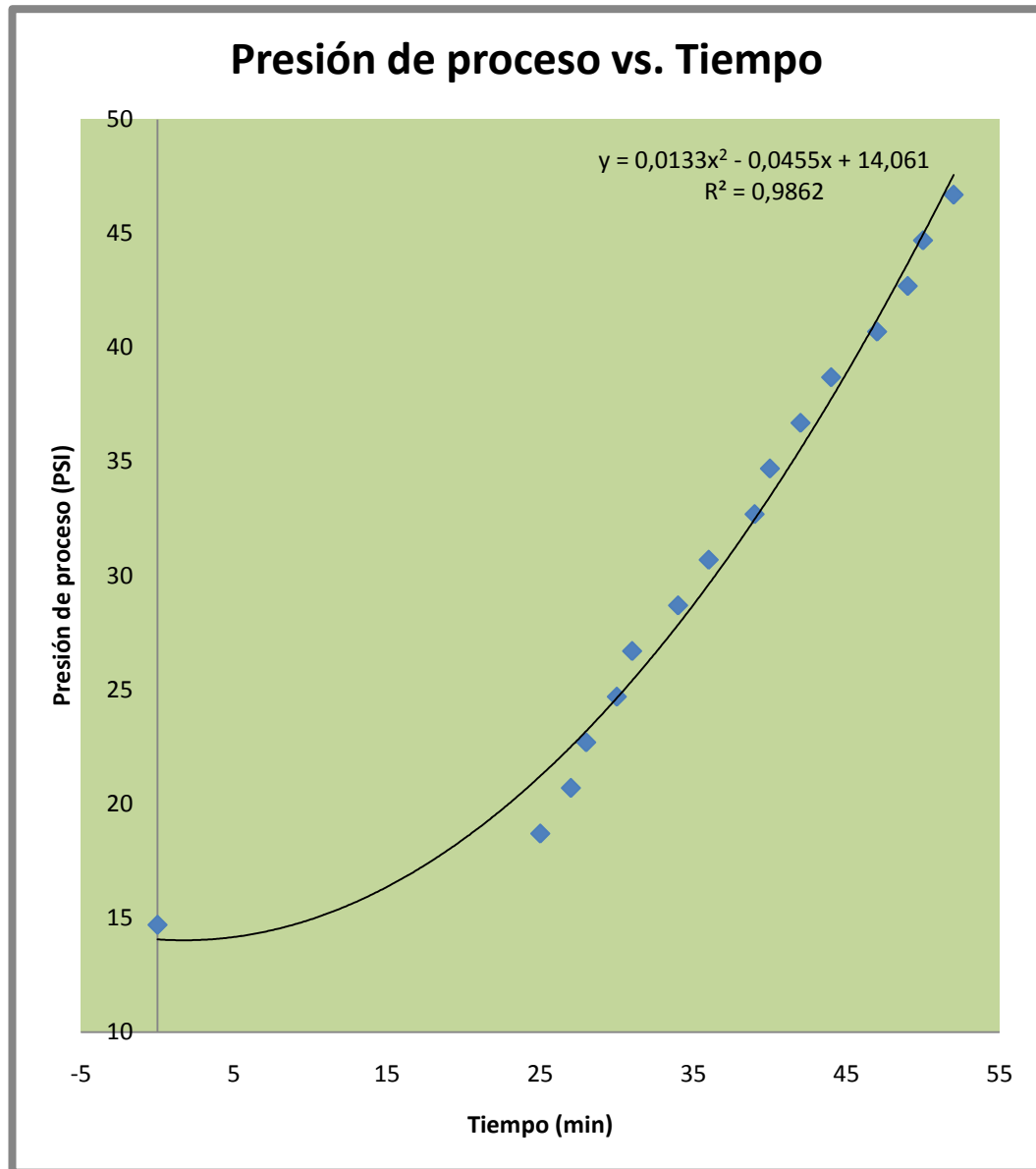
GRÁFICA 4-16: Presión de proceso vs. tiempo. (1 PSI, presión de combustible y caudal de 75%)



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 20 a 22 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 50 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final esta prueba se realizó con una presión de gas de 1 PSI y un caudal en 75%, el calderín sin previo calentamiento, se ajusta una curva polinómica, la tendencia es creciente y se ajusta en un 98.5% a la ideal.

GRÁFICA 4-17: Presión de trabajo vs. tiempo. (2 PSI, presión de combustible y caudal de 75%).



ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en esta gráfica tenemos aproximadamente un lapso de 26 minutos en los cuales no se observa ninguna variación en cuanto a la presión interna del cuerpo en el calderín y tomándose un tiempo total de 54 minutos aproximadamente para lograr su objetivo final, esta se realizó con una presión de inyección del GLP de 2 PSI, el caudal del GLP en un 75%, el calderín sin previo calentamiento, la tendencia es creciente y se ajusta en un 98.8% a la ideal.

El modelo de regresión lineal aplicado a cada ensayo, el cual se ajusta en la gran mayoría a un 98% del modelo óptimo, la tendencia es creciente lo cual explica el mejoramiento de la capacidad de carga del calderín variando los parámetros de combustión lo cual en unos casos a afectado de manera notable, la eficiencia y el tiempo en cuanto a la carga total de presión interna en el cuerpo del calderín.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.

En la siguiente tabla se muestra una variación de porcentajes de eficiencia, con respecto al modelo de diseño, tanto con las variaciones de presión de GLP, así como la variación de caudal del 100% y 75%.

TABLA 4-3: Valores de diferencia de eficiencias de las presiones, respecto a la de diseño.

| Diferencia porcentual entre eficiencias | | | |
|--|-----------------------------|---|----------------------------------|
| | Presión de GLP (PSI) | Eficiencia η (%) | Diferencia de eficiencias |
| caudal 100% | 0.4 | 59.21 | 3.29% |
| | 0.5 | 57.33 | Diseño |
| | 1 | 58.27 | 1.66% |
| | 2 | 49.15 | 14.26% |
| caudal 75% | 0.4 | 50.93 | 1.44% |
| | 0.5 | 50.21 | Diseño |
| | 1 | 51.04 | 1.66% |
| | 2 | 42.50 | 15.36% |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Como podemos observar en la tabla, dentro de un rango de 0.4 a 1 PSI de inyección de GLP, y un suministro del 100% del caudal contamos con una eficiencia muy similar a la de diseño, notándose que la variación de la misma no rebasa un rango de un 4%, no así al suministrarle 2 PSI de GLP, se puede apreciar una variación en cuanto a la eficiencia pero no mayor al 14%, esto nos sugiere que

una mayor presión de GLP no vuelve más eficiente al artefacto, de igual manera sucedió con el caudal en un 75%, se aprecia una armonía de eficiencia en el rango de 0.4 a 1 PSI no mayor al 2%, y la presión de 2 PSI una diferencia del 15% aproximadamente.

Se puede decir que evaluando los parámetros de combustión se puede tener datos muy aproximados a lo real en cuanto a la eficiencia del calderín, y como se pudo observar ninguna sobrepasa un 20% de diferencia respecto a la de diseño, calificando de esta manera la hipótesis como positiva, dado a que se pudo predecir que la correcta evaluación de los parámetros de combustión, permitió predecir con una precisión del 20% la eficiencia térmica del calderín de BHP.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES

- Se pudo apreciar que la tendencia de la eficiencia pasado el 1 PSI de presión de combustible tiende a disminuir, como se pudo apreciar al suministrarle 2 PSI, la baja fue de un 9% aproximadamente.
- La presión de GLP correspondiente a 1 PSI y 2 PSI con un caudal de 100%, experimenta el alcance de presión requerida en menor tiempo tomándose un promedio de 34 min, no así con 0.4 PSI y 0.5 PSI cuyo promedio de tiempo fue de 48 min.
- La variación del flujo de combustible afecta notablemente en cuanto a la eficiencia del calderín, al tener un caudal del 100% se promedia una eficiencia del 56%, mientras que al reducir el flujo al 75%, el promedio de la eficiencia se reduce a un 49% aproximadamente.
- La disminución del caudal de GLP, influye negativamente en cuanto al tiempo para lograr la presión final del proceso, la diferencia esta dada dentro de un rango del 53%
- El proceso Termodinámico del calderín, fue inicialmente isobárico, luego de concluido éste se desarrolla un proceso isocórico a presión atmosférica, hasta lograr la presión final de proceso la cual es de 48.7 PSI (335.77 KPa).
- Las curvas de variación de presión de proceso, respecto al tiempo, se ajustan en alto grado al modelo de ecuación cuadrática, usando regresión por mínimos cuadrados.

- **5.2 RECOMENDACIONES**

- Procurar una mejor combustión, manteniendo una presión de trabajo del combustible entre un rango de 0.5 a 1 PSI.
- Tener siempre en cuenta que una mala calibración de la presión de inyección de GLP afectará notablemente el proceso, ya que si es muy alta la combustión en la cámara será rica en combustible lo cual no se tendrá una llama uniforme y si es muy baja tomará demasiado tiempo en lograr el proceso deseado.
- El rango de presión de inyección de GLP, dentro del cual se puede trabajar es entre 0.5 PSI a 1 PSI, y un caudal del 100%, ya que si esta es mayor, la llama no tiene una estabilidad y en una menor, se alcanza la presión de proceso requerida en un lapso de tiempo mayor.
- Se debe instalar termocuplas en el interior del calderín, ya que con estas se hubiese podido contar con un dato de temperatura de proceso inicial y final más real.
- Se debe complementar esta investigación, mediante análisis de emanación de gases del calderín, con la ayuda de equipo especializado para esto, obteniendo datos de generación CO, CO₂ y material particulado, para poder saber si el proceso se encuentra dentro de los rangos permisibles de contaminación de impacto ambiental.

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

TEMA:

“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE CALDERÍN DE 2 BHP, PARA EL ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN Y SU EFECTO SOBRE LA EFICIENCIA”

PERSONAL EJECUTORIO:

- Tutor: Ing. Santiago Cabrera
- Ejecutor: Egdo. Wilmo Vacacela.

UBICACIÓN:

- Institución: Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi.
- Facultad: Ingeniería Civil y Mecánica
- Carrera: Ingeniería Mecánica
- Laboratorio: Energía.

BENEFICIARIO:

- Facultad: Ingeniería Civil y Mecánica
- Carrera: Ingeniería Mecánica

TECNICO RESPONSABLE:

- Egdo. Wilmo Vacacela

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

El principio de funcionamiento de un calderín es sencillo; es un proceso mediante el cual se pretende calentar agua mediante la energía liberada en una reacción de combustión, y evaporarla para de esta manera obtener vapor o agua caliente, dependiendo cual sea el propósito del proceso y su función requerida.

Para el diseño de este calderín de 2 BHP, se propone el uso de GLP, como combustible, por su bajo costo y fácil manejo en condiciones adecuadas, todo los cálculos del calderín de 2 BHP, se enfocaron en la capacidad de almacenamiento de agua, y un tiempo promedio de cuarenta y cinco minutos hasta lograr la presión absoluta de trabajo deseada que para nuestro estudio fue de 48.7 PSI.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Disponer de agua caliente para algunos procesos semi-industriales, los cuales puedan servir para futuros proyectos de investigación.

Generación de vapor húmedo (mezcla), que podrá aplicarse en cogeneración.

6.4 OBJETIVOS

- Diseñar y construir un calderín de 2BHP de uso semi-industrial.
- Instalar un calderín de 2 BHP en el Laboratorio de Energía de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 ANÁLISIS TÉCNICO

Para la construcción del calderín vertical de 2 BHP, se utilizó el herramental y equipos, existentes en el taller industrial MIM CALDEROS, en la parroquia de Izamba.

6.5.2 ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación se describen todos los costos que se efectuaron para la ejecución de este proyecto.

TABLA 6-1: COSTO DE RECURSOS HUMANOS.

| DENOMINACIÓN | COSTOS (USD) |
|---|---------------------|
| Mano de obra para la construcción del calderín | 800.00 |
| Mano de obra para la conexión del sistema eléctrico | 200.00 |
| TOTAL | 1000.00 |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

TABLA 6-2: COSTO DE RECURSOS MATERIALES

| DENOMINACIÓN | COSTOS (USD) |
|--|---------------------|
| Materiales y suministros de oficina | 80.00 |
| Materiales para las pruebas de laboratorio | 77.00 |
| Materiales para la construcción del equipo | 2500.00 |
| Varios | 300.00 |
| TOTAL | 2957.00 |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

TABLA 6-3: COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.

| DENOMINACIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO (USD) | PRECIO TOTAL (USD) |
|---------------------------------------|----------|-----------------------|--------------------|
| Plancha de acero | 1 | 521.54 | 521.54 |
| Tubos para calderín | 3 | 284.21 | 852.63 |
| Nivel de agua (MC DONNEL 157) | 1 | 260.30 | 260.00 |
| Manómetro | 1 | 22.00 | 22.00 |
| Pressuretrol | 1 | 65.00 | 65.00 |
| Tablero y accesorios de control | 1 | 325.68 | 325.68 |
| Válvula check de agua | 1 | 37.00 | 37.00 |
| Bomba 3/4 HP | 1 | 94.25 | 94.25 |
| Electrodos (2 kg) | 3 | 18.30 | 54.90 |
| Lana de Vidrio | 1 | 22.30 | 22.30 |
| Tanque de reserva de agua (8 galones) | 1 | 14.70 | 14.70 |
| Accesorios para instalación gas | | 50.00 | 50.00 |
| Accesorios plomería calderín | | 80.00 | 80.00 |
| Otros | | 100.00 | 100.00 |
| TOTAL | | | 2500.00 |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

TABLA 6-4: COSTO DE RECURSOS TOTALES

| DENOMINACIÓN | COSTOS (USD) |
|---------------------|----------------|
| Recursos Humanos | 1000.00 |
| Recursos Materiales | 2957.00 |
| TOTAL | 3957.00 |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

TABLA 6-5: COSTO PROMEDIO DE UNA PRÁCTICA.

| DENOMINACIÓN | POTENCIA | COSTO | TIEMPO | CONSUMO | COSTOS (USD) |
|---------------------|-----------|------------------------|--------------|-------------|--------------|
| Electro válvula | 17 W | 0,081 USD (KW-h) | 45 min | 0.0128 KW/h | 0.001 |
| Bomba de Agua | 0.75 HP | | 2 min | 0.025 kw/h | 0.002 |
| Agua potable | 45 Lts | 0,50 USD (m3) | Por Práctica | 45 lts | 0.03 |
| GLP Industrial | 1.03 Kg/h | 0.81 USD (Kg) | | 45 min | 0.83 |
| Técnico Responsable | | 1.66 USD (C/h-trabajo) | | 1 hora | 1.66 |
| TOTAL | | | | | 2.53 |

ELABORADO POR: Wilmo Marlon Vacacela Miranda.

Con la tabla 6-5 podemos hacer referencia de que este valor es el mismo necesario para una producción de 9.8 Kg/h de vapor, dado a que es lo que produce el calderín en una práctica.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 CÁLCULOS TÉRMICOS

6.6.1.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD EN AGUA DEL CALDERÍN

Para realizar esta selección, partimos de la masa de agua que dispondremos dentro del calderín y para esto tenemos que:

Para el cuerpo y hogar, partimos de tuberías resistentes a la presión, de gran diámetro que en su mayoría son utilizadas para el transporte de crudo (petróleo), existentes en el mercado, para nuestro calderín se ha elegido una de 18 pulgadas (0.45 m) y $\frac{1}{4}$ de pulgada (0.0064 m) de espesor, en acero ASTM A36.

Dentro del cuerpo se han colocado 51 tubos de fuego los cuales se encargarán de transmitir el calor al agua.

La altura del cuerpo, es de 0.48 m, considerando que el agua contenida dentro del mismo llega a una altura de 0.33 m. Por tanto:

$$V_{H_2O} = (\pi * r_{hogar}^2 * L_{agua}) - [51(\pi * r_{otubo}^2 * L_{agua})]$$

Donde:

$r_{hogar} = 0.2175$ m. (Radio interior del cuerpo del calderín).

$r_{otubo} = 0.0095$ m. (Radio exterior de los tubos de fuego).

$L_{agua} = 0.33$ m. (Altura del agua dentro del tanque).

51 = número de tubos dentro del tanque

$$V_{H_2O} = 45.05 \text{ litros}$$

$$m_{H_2O} = \rho_{H_2O} * V_{H_2O}$$

Donde:

$$\rho_{H_2O} = 1000 \frac{Kg}{m^3}$$

$$V_{H_2O} = 0.04505 m^3$$

$$m_{H_2O} = 45.05 Kg$$

6.6.1.2 ENERGÍA ALMACENADA POR EL AGUA EN EL PROCESO DE VAPORIZACIÓN

Sabiendo que el agua empieza el proceso para llegar al ciclo final (mezcla) a una presión de 14.7 PSI, que es el equivalente a la presión atmosférica, y una temperatura de 20 °C aproximadamente y termina dicho proceso en los 48.7 PSI cuya presión es menor a la de diseño, a una temperatura aproximada de 120°C, tenemos que:

$$q = \frac{m}{\Delta t} * (h_f^{120^\circ C} - h_f^{20^\circ C})$$

Donde:

$$m = 45.05 Kg$$

$$\Delta t = 0.75 h$$

$$h_f^{20^\circ C} = 83.913 KJ/Kg. \text{ Entalpia a una temperatura de } 20^\circ C$$

$$h_f^{120^\circ C} = 580.81 KJ/Kg. \text{ Entalpia a una temperatura de } 120^\circ C$$

Estos valores se asumen de acuerdo a una estimación de temperaturas necesarias para el proceso.

$$q_{alm} = 29846.95 KJ/h$$

$$Q_{alm} = 8.29 KW$$

6.6.1.3 ECUACIÓN TÉRMICA DE EQUILIBRIO

$$Q_{sist} = Q_{alm} + \Sigma QP_{Calor} + 15\% \text{ (perdidas no cuantificables)}$$

Donde:

$$Q_{sist} = \text{Calor entregado por el sistema.}$$

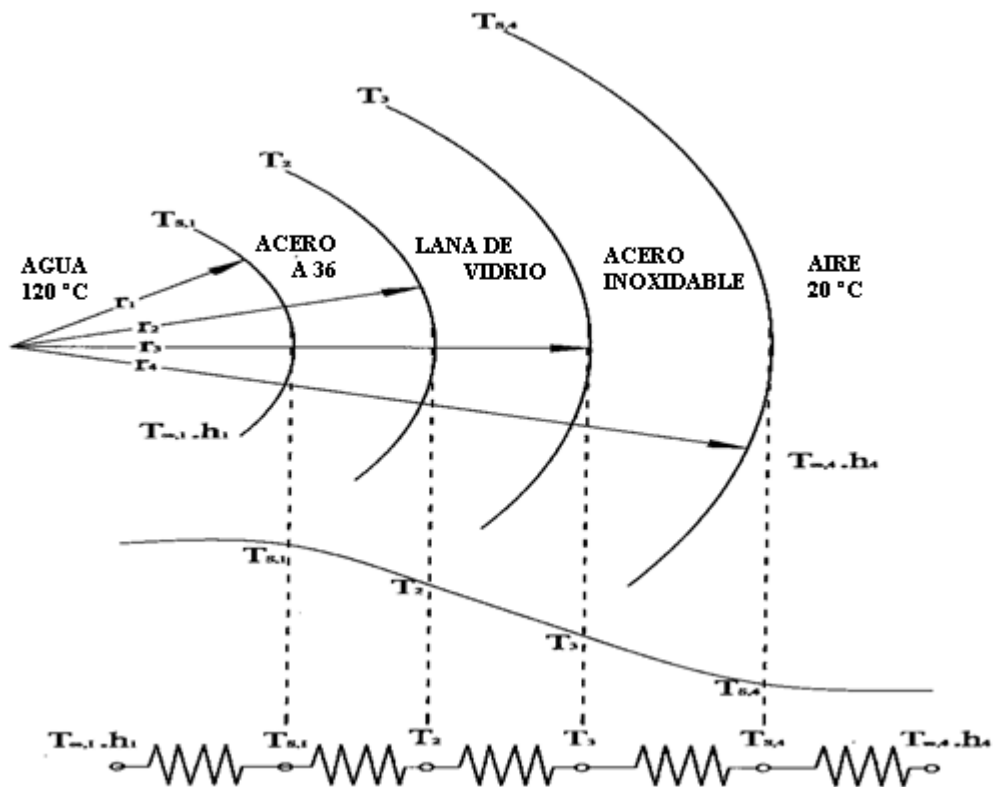
Q_{alm} = Calor almacenado por el agua en el proceso de vaporización

ΣP_{Calor} = Sumatoria de las pérdidas de calor.

6.6.1.4 CALOR CEDIDO EN EL CILINDRO

Para determinar la pérdida de calor se aplica el modelo de pérdidas cilíndrico de resistencias térmicas, por lo cual necesitamos saber los radios de cada uno de los cilindros, la longitud del cilindro y las conductividades térmicas de cada material.

FIGURA 6-1: Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica compuesta.



$$\frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} \quad \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} \quad \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} \quad \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} \quad \frac{1}{h_4 2\pi r_4 L}$$

$$q_{cedido} = \frac{\Delta T}{\Sigma R} = \frac{T_i - T_o}{\frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{h_4 2\pi r_4 L}}$$

Donde:

$$T_i = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 120 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K} \text{ Coeficiente convectivo natural del agua}$$

$$h_4 = 12 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K} \text{ Coeficiente convectivo natural del aire}$$

$$k_A = 69.5 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K} \text{ Conductividad térmica del acero.}$$

$$k_B = 0.046 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K} \text{ Conductividad térmica del aislante lana de vidrio.}$$

$$k_C = 15.1 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K} \text{ Conductividad térmica del acero inoxidable.}$$

$$r_1 = 0.2175 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.225 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.245 \text{ m}$$

$$r_4 = 0.246 \text{ m}$$

a) Para el agua:

$$R_1 = \frac{1}{h_1 2\pi r_1 L}$$

$$R_1 = 0.012 \text{ K/W}$$

b) Para el acero A36:

$$R_2 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k_A L}$$

$$R_2 = 1.55 * 10^{-4} \text{ K/W}$$

c) Para la lana de vidrio:

$$R_3 = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi k_B L}$$

$$R_3 = 0.59 \text{ K/W}$$

d) Para el acero inoxidable:

$$R_4 = \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi k_C L}$$

$$R_4 = 8.58 * 10^{-5} \text{ K/W}$$

e) Para el aire:

$$R_5 = \frac{1}{h_4 2\pi r_4 L}$$

$$R_5 = 0.07 \text{ K/W}$$

$$q_{cedido} = \frac{\Delta T}{\Sigma R} = \frac{T_i - T_o}{R_1 + R_1 + R_1 + R_1 + R_1}$$

$$q_{cedido} = 0.198 \text{ KW}$$

6.6.1.5 CALOR CEDIDO EN LA CHIMENEA

En este ítem calcularemos el calor perdido en la chimenea, basándose en el flujo másico de salida de combustible, el área, la velocidad y la temperatura en la chimenea, tenemos que:

$$A = \pi r^2$$

Donde:

$$r = 0.05 \text{ m}$$

$$A = 0.00785 \text{ m}^2$$

Ahora obtendremos el flujo másico:

$$\dot{m} = \frac{v * A}{\rho * T} * 100$$

Donde:

$$v = 1.3 \text{ m/s}$$

$$\rho = 0.287 \text{ Kg/m}^3$$

$$T = 378 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 0.0094 \text{ Kg/s}$$

De donde tenemos calor de gases de salida:

$$Q_{\text{Gases en la chimenea}} = \dot{m} * h_{\text{airecaliente}}$$

$$h_{\text{airecaliente}} = 378.75 \text{ KJ/Kg}$$

$$Q_{\text{Gases en la chimenea}} = 3.55 \text{ KW}$$

Por tanto tenemos que:

$$Q_{\text{perdidas}} = 8.3 \text{ KW} + 0.198 \text{ KW} + 3.55 \text{ KW} + 2.2 \text{ KW}$$

Podemos verificar que un quemador atmosférico utilizado en un calefón, con utilización de GLP como combustible es suficiente dado que tenemos un poder calorífico de 11900 Kcal/Kg , a razón de 1 Kg/h de combustible que es aproximadamente el caudal que arroja una válvula de gas domestico, contamos con un poder calorífico de 49822.92 KJ/h , se ha elegido este combustible dado a que su poder calorífico es el más idóneo para nuestra investigación, y es económico.

A simple vista podría parecer un valor muy alto pero tenemos que tomar en cuenta perdidas innatas del sistema.

6.6.1.6 DIMENSIONAMIENTO DE LA CHIMENEA

Para este procedimiento tomamos en cuenta la velocidad de salida de los gases de combustión, la cual fue tomada con ayuda del anemómetro. Esta formula nos ayuda a evaluar la altura de la misma.

$$V = \sqrt{4.43Kh \frac{(T_i - T_a)}{T_a}}$$

Donde:

$T_a = 20$ °C. (Temperatura ambiente)

$T_i = 105$ °C. (Temperatura de salida de los gases)

$K = 0.3$ (Constante)

$h =$ Altura de la chimenea

$V = 1.3$ m/s

Despejamos h , entonces tenemos que:

$$h = \frac{V^2}{4.43 * K * \left(\frac{(T_i - T_a)}{T_a}\right)}$$

$$h = 0.29 \text{ m.}$$

6.6.1.7 EFICIENCIA DEL EQUIPO

Como es sabido, la eficiencia de un calderín se expresa de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_{sale}}{Q_{entra}} \cdot 100$$

Donde:

$Q_{entra} = 14.25$ KW

$Q_{sale} = 9.768$ KW

$$\eta = 68.55\%$$

Esta eficiencia obtenida solo nos sirve como referencia dado a que es netamente analítica.

6.6.1.8 CÁLCULO DEL CALOR ENTREGADO POR EL COMBUSTIBLE AL SISTEMA

Tomando referencia del libro de Lorenzo Becco “Manual del Gasista”, encontramos que:

$$C_m = 3.542 S \sqrt{m_1 * h}$$

Donde:

C_m = Caudal másico de GLP.

3.542 = Constante de fórmula.

S = Sección de paso de GLP por el inyector.

$m_1 = 2.15 \frac{Kg}{m^3}$. Densidad de GLP, asumiendo un 60% de Propano y un 40% de Butano.

h = 351.53 mmH₂O, Presión de GLP

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

D = 0.0005 m. (Diámetro de apertura del inyector).

$$S = 1.96 * 10^{-7} m^2.$$

Entonces:

$$C_m = 1.91 * 10^{-5} Kg/s.$$

Esto es para cada inyector, en nuestro caso contamos con 15 inyectores para lo cual tenemos:

$$C_m = 1.91 * 10^{-5} Kg/S * 15 * 3600 s/h$$

$$C_m = 1.03 \frac{Kg}{h}$$

$$q_{sistema} = 11900 \frac{Kcal}{Kg} * 1.03 \frac{Kg}{h}$$

$$q_{sistema} = 12257 \frac{Kcal}{h} = 51317.61 \frac{KJ}{h}$$

$$Q_{sist} = 14.25 \text{ KW}$$

A continuación mostramos una tabla con los valores de C_m y $q_{sistema}$ para las presiones de 0.4, 0.5 y 1 PSI las cuales se aplica el análisis con la ecuación anteriormente planteada.

| Presión de GLP (PSI) | C_m (Kg/h) | $q_{sist.}$ (KJ/h) |
|----------------------|--------------|--------------------|
| Caudal de GLP 100% | | |
| 0.4 | 0.92 | 46009.92 |
| 0.5 | 1.03 | 51441.33 |
| 1 | 1.46 | 72749.54 |
| Caudal de GLP 75% | | |
| 0.4 | 0.69 | 34507.44 |
| 0.5 | 0.77 | 38581.00 |
| 1 | 1.10 | 54562.16 |

A continuación utilizando la fórmula para presiones medias, se procedió a calcular el C_m para una presión de inyección de 2 PSI.

Tenemos que:

$$C_m = C_2 * S \left(\frac{H_o}{H_i} \right)^{\frac{1}{r}} \sqrt{\frac{2r}{r-1} * h * m_1 \left[1 - \left(\frac{H_o}{H_i} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]} * 9.81$$

Donde:

C_m = Caudal másico de GLP.

$C_2 = 0.8$ (Coeficiente de contracción del inyector).

$S = 1.96 * 10^{-7} m^2$ (Sección de paso de GLP por el inyector).

$h = 1406.14 \text{ mmH}_2\text{O}$ (Presión de GLP, en mmH_2O de agua).

$m_1 = 2,15 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$. Densidad de GLP, asumiendo un 60% de Propano y un 40% de Butano.

$H_o = 10335.12 \text{ mmH}_2\text{O}$ (Presión atmosférica).

$H_i = 11741.26 \text{ mmH}_2\text{O}$ (Presión absoluta de GLP a la entrada del inyector).

$r = 1.2$ (Relación de los calores específicos a presión y volumen constante).

$$C_m = 1.65 \frac{Kg}{h}$$

$$q_{sistema} = 82356.63 \frac{KJ}{h}$$

Para lo cual tenemos que:

| Presión de GLP (PSI) | C_m (Kg/h) | $q_{sist.}$ (KJ/h) |
|----------------------|--------------|--------------------|
| Caudal de GLP 100% | | |
| 2 | 1.65 | 82356.63 |
| Caudal de GLP 75% | | |
| 2 | 1.24 | 61767.47 |

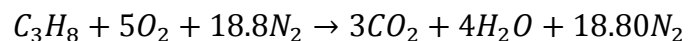
6.6.1.9 ANÁLISIS ESTEQUIOMÉTRICO DEL COMBUSTIBLE

Para realizar este pequeño análisis se sugiere los siguientes pasos:

- Considerar que el tipo de combustible es el propano (C_3H_8), para efectos del cálculo, dado a que el propano en la mezcla de GLP, se encuentra en un porcentaje aproximado del 70%
- Determinar la cantidad de moles
- Establecer la composición molar del producto
- Determinar el flujo másico del aire en los inyectores.

Partiremos de la ecuación real de la combustión.

La ecuación química para la combustión del propano con aire seco es:



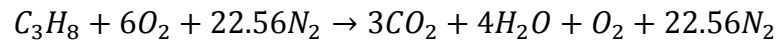
El número total de moles de productos es 25.8. La fracción molar de cada uno de los productos resulta entonces;

TABLA 6-6: Fracción molar de los productos

| | | |
|------------------|-------------|--------------|
| CO ₂ | 3/25.8 = | 0.1163 |
| H ₂ O | 4/25.8 = | 0.1550 |
| N ₂ | 18.8/25.8 = | 0.7287 |
| TOTAL | | 1.000 |

FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Se asume que la combustión se mezcla con exceso de aire, entonces el combustible propano con 120% aire teórico es:



$$Masa\ de\ aire = 6molO_2 * 32.0 \frac{lbm}{mol} + 22molN_2 * 28.0 \frac{lbm}{mol} = 808 \frac{lbm\ aire}{lbm\ mol\ comb}$$

La masa de combustible es:

$$m_{comb} = C_3H_8 = 12 * 3 + 8 * 1.007 = 44.064\ lbm\ comb$$

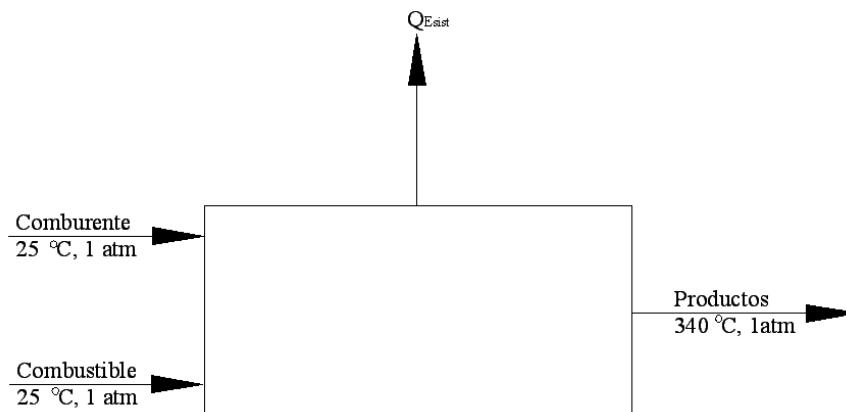
$$Ac = \frac{808 \frac{lbm\ aire}{lbm\ mol\ comb}}{44.064\ lbm\ comb} = 18.337 \frac{lbm\ aire}{lbm\ comb} = 18.337 \frac{kg\ aire}{kg\ comb}$$

Entonces teniendo ya calculado el flujo másico del combustible, procedemos a calcular el flujo másico del aire que se concentrará en el quemador.

$$\dot{m} = Ac * \dot{m}_{comb}$$

$$\dot{m} = 18.337 \frac{kg\ aire}{kg\ comb} * 1.03 \frac{kg}{h} = 18.88 \frac{kg\ aire}{h}$$

6.6.1.10 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL QUEMADOR



Se parte de la aplicación de la primera ley, entonces tenemos que:

$$H_R = H_P + Q$$

Los subíndices R,P, corresponden a los reactivos y a los productos respectivamente:

$$Q = H_R - H_P$$

$$Q_{sal} = \Sigma N_p(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p - \Sigma N_r(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_r$$

TABLA 6-7: ENTALPIA DE LOS GASES

| <i>Sustancia</i> | \bar{h}_f^o KJ/Kmol | $\bar{h}_{298^{\circ}K}$ KJ/Kmol | $\bar{h}_{600^{\circ}K}$ KJ/Kmol |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| $C_3H_8(g)$ | -103850 | 0 | 0 |
| O_2 | 0 | 8682 | 17929 |
| N_2 | 0 | 8669 | 17563 |
| H_2O | -241820 | 9904 | 17280 |
| CO_2 | -393520 | 9364 | 22280 |

FUENTE: Tablas de propiedades, Çengel 4ta edición.

$$\Sigma_r = (-103850) = -103850 \text{ KJ/Kmol}$$

$$\Sigma_p = 3(-393520 + 22280 - 9364) + 4(-241820 + 17280 - 9904) + (17929 - 8669) + 22.56(17563 - 8669)$$

$$\Sigma_p = -1805659.700 \text{ KJ/Kmol}$$

$$Q_{sal} = (-103850 - (-1805659.7))$$

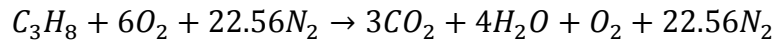
$$Q_{sal} = 1701809.7 \text{ KJ/Kmol}$$

$$Q = 1701809.7 \frac{\text{KJ}}{\text{Kgmol}} * \frac{1 \text{ Kgmol}}{44.097 \text{ KgC}_3\text{H}_8} * \frac{1.03 \text{ KgC}_3\text{H}_8}{\text{h}} * \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q = 11.07 \text{ KW}$$

6.6.1.11 CÁLCULO DE TEMPERATURA ADIABÁTICA DE LLAMA EN COMBUSTIÓN ESTABLE

Tenemos que la reacción del propano con 120% de aire teórico es:



Para este proceso adiabático, la relación de la temperatura de flama adiabática es:

$$H_{reactantes} = H_{productos}$$

De donde tenemos que:

$$\Sigma N_p(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_p = \Sigma N_r(\bar{h}_f^o)_{r} = (N\bar{h}_f^o)_{C_3H_8}$$

Puesto que todos los reactivos están en el estado de referencia estándar y $\bar{h}_f^o = 0$ para O_2 y N_2 . Los valores \bar{h}_f^o y \bar{h} de diversos componentes a 298 °K son:

| <i>Sustancia</i> | \bar{h}_f^o KJ/Kmol | $\bar{h}_{298^{\circ}K}$ KJ/Kmol |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| $C_3H_8(g)$ | -103850 | 0 |
| O_2 | 0 | 8682 |
| N_2 | 0 | 8669 |
| H_2O | -241820 | 9904 |
| CO_2 | -393520 | 9364 |

Sustituyendo tenemos que:

$$\begin{aligned} & (\text{Kmol } CO_2)[(-393520 + \bar{h}_{CO_2} - 9364)\text{KJ/Kmol } CO_2] + \\ & (4 \text{ Kmol } H_2O)[(-241820 + \bar{h}_{H_2O} - 9904)\text{KJ/Kmol } H_2O] + \\ & (1 \text{ Kmol } O_2)[(0 + \bar{h}_{O_2} - 8682)\text{KJ/Kmol } O_2] + (22.56 \text{ Kmol } N_2)[(0 + \\ & \bar{h}_{N_2} - 8669)\text{KJ/Kmol } N_2] = (1 \text{ Kmol } C_3H_8)(-103850 \text{ KJ/} \\ & \text{Kmol } C_3H_8) \end{aligned}$$

Lo que produce:

$$3\bar{h}_{\text{CO}_2} + 4\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} + \bar{h}_{\text{O}_2} + 22.56\bar{h}_{\text{N}_2} = -2315952.64 \text{ KJ}$$

Ya que $H_{\text{productos}}$ debe ser igual a -2315952.64 KJ , es necesario asumir una temperatura de flama T_f y comprobar para un balance de energía. Como una primera elección, sea $T_f = 2000 \text{ °K}$.

$$\begin{aligned} 3\bar{h}_{\text{CO}_2} + 4\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} + \bar{h}_{\text{O}_2} + 22.56\bar{h}_{\text{N}_2} &= 3 * 100804 + 4 * 82593 + 67881 \\ &+ 22.56 * 64810 = 2162778.6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Este valor es más bajo que 2315952.64 KJ . Por consiguiente, la temperatura real esta ligeramente por encima de 2000 °K , a continuación elegimos 2200 °K . Esto produce:

$$\begin{aligned} 3\bar{h}_{\text{CO}_2} + 4\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} + \bar{h}_{\text{O}_2} + 22.56\bar{h}_{\text{N}_2} &= 3 * 112939 + 4 * 92940 + 75484 \\ &+ 22.56 * 72040 = 2411283.4 \text{ KJ} \end{aligned}$$

Suponiendo una interpolación lineal entre las 2 temperaturas asumidas, tenemos lo siguiente:

| <i>T_f asumida</i> | <i>H_{productos}</i> |
|------------------------------|------------------------------|
| 2000 °K. | 2162778.6 KJ |
| T _f | 2315952.6 KJ |
| 2200 °K | 2411283.4 KJ |

Se sigue que $T_f = 2123.28 \text{ °K} = 1840 \text{ °C}$

6.6.1.12 CALIDAD DE LA MEZCLA

Para sacar una calidad de la mezcla lo más cercana a la realidad se tomó como datos de referencia los evaluados en tablas, de las cuales se tomó las presiones de proceso teniendo así:

$$h_{f2} = 419.06 \frac{KJ}{Kg} @ P=14.7 \text{ PSI}$$

$$h_{f3} = 581.6 \frac{KJ}{Kg} @ P=48.7 \text{ PSI}$$

$$h_{fg} = 2152.43 \frac{KJ}{Kg} @ P=48.7 \text{ PSI}$$

$$x = \frac{h_{f3} - h_{f2}}{h_{fg}}$$

$$x = 7.6 \%$$

Masa de mezcla, es equivalente a 45.05 kg por 7.6%, es por tanto: 3.42 Kg.

Comparando con la **masa de vapor real**, la cual obtuvimos al abrir la válvula de escape cuyo diámetro es de 0.0127 m ($1/2$ pulg.) de la mezcla de vapor obtuvimos una velocidad constante de salida de 20 m/s por un lapso de 30 minutos aproximadamente, de donde:

$$\dot{m} = \rho VA$$

de aquí:

$$\rho = 0.95 \text{ Kg/m}^3 \text{ (densidad de la mezcla)}$$

$$V = 20 \text{ m/s (Velocidad de salida de la mezcla)}$$

$$A = 1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^2. \text{ (Área de salida de la mezcla).}$$

$$\dot{m} = 2.394 \times 10^{-3} \frac{Kg}{S}$$

Tenemos que la masa real generada por el de 2 BHP es de:

$$m = 2.394 \times 10^{-3} \frac{Kg}{S} * \frac{3600 S}{1 h}$$

$$m = 9.03 \frac{Kg}{h}$$

6.6.2 CÁLCULOS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

6.6.2.1 TEMPERATURA INICIAL DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN AL SISTEMA

$$\dot{Q} = \dot{m}_h C p_h (Th_i - Th_o) = \dot{m}_c C p_c (Tc_o - Tc_i)$$

Donde:

$$\dot{m}_h = 16,09 \frac{Kg}{h} \text{ (Flujo másico de los Gases de Combustión)}$$

$$\dot{m}_c = 60 \frac{Kg}{h} \text{ (Flujo másico del agua)}$$

$$C p_h = 1.1 \frac{KJ}{Kg.K} \text{ (Calor específico de los gases de combustión)}$$

$$C p_c = 4.191 \frac{KJ}{Kg.K} \text{ (Calor específico del agua)}$$

$$Th_o = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Tc_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Tc_o = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Th_i = \frac{\dot{m}_c C p_c (Tc_o - Tc_i)}{\dot{m}_h C p_h} + Th_o$$

$$Th_i = 1531.55 \text{ }^\circ\text{C}$$

6.6.2.2 FLUJO MÁSIICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN POR CADA TUBO

$$A.V = \frac{\dot{m}_{c/tubo} RT}{P}$$

Donde:

$$V = 1.4 \text{ m/s} \text{ (Velocidad de los gases de combustión)}$$

$$A = 1.27 * 10^{-4} \text{ (Área de tubo de fuego)}$$

$$R = 0.287 \frac{KPa.m^3}{Kg.^{\circ}K} \text{ (Constante de gas)}$$

$$P = 101.33 \text{ KPa} \text{ (Presión atmosférica)}$$

$$T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{c/tubo} = \frac{AVP}{RT}$$

$$\dot{m}_{c/tubo} = 8.77 * 10^{-5} \frac{Kg}{s}$$

6.6.2.3 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CONVECCIÓN DE LOS FLUIDOS

a) GASES DE COMBUSTIÓN

Para conseguir \bar{h} primero se procedió a calcular el número de Reynolds y Nusselt respectivamente.

NÚMERO DE REYNOLDS

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_{c/tubo}}{\pi D \mu}$$

Donde:

$\mu = 3,72 \cdot 10^{-5} N \cdot s/m^2$ (Viscosidad dinámica de aire dentro del tubo de fuego).

$D = 0.0127$ m. (Diámetro interior de los tubos de fuego)

$$Re_D = 236.1 \quad \text{flujo laminar}$$

NÚMERO DE NUSSELT

$$\bar{Nu}_D = 3.66 + \frac{0.0688(D/L)Re_D Pr}{1 + 0.04[(D/L)Re_D Pr]^{2/3}}$$

Donde:

$Pr = 0.790$ Número de Prandtl

$$\bar{Nu}_D = 3.99$$

De aquí:

$$\bar{h} = \bar{Nu}_D \frac{k}{D}$$

Donde:

$k = 59.0 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$ (de tablas extraído a 230°C de la tabla A4 de INCROPERA)

$$h_{gases \ de \ comb.} = 18.53 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

b) AGUA

Se procede de igual manera que en lo anterior:

NÚMERO DE REYNOLDS

$$Re_D = \frac{4\dot{m}_c}{\pi D\mu}$$

Donde:

$$\dot{m}_c = 0.017 \text{ m}^3/\text{s}^2$$

$D = 0.0905 \text{ m}$. (Diámetro exterior de los tubos de fuego)

$\mu = 4.2 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ (Viscosidad dinámica del agua).

$$Re_D = 2652.25 \quad \text{flujo turbulento}$$

NÚMERO DE NUSSELT

$$\bar{Nu}_D = C_1 Re_D^m$$

Donde:

$$Pr = 2.66$$

$$\bar{Nu}_D = 38.60$$

$$\bar{h} = \bar{Nu}_D \frac{k}{D}$$

Donde:

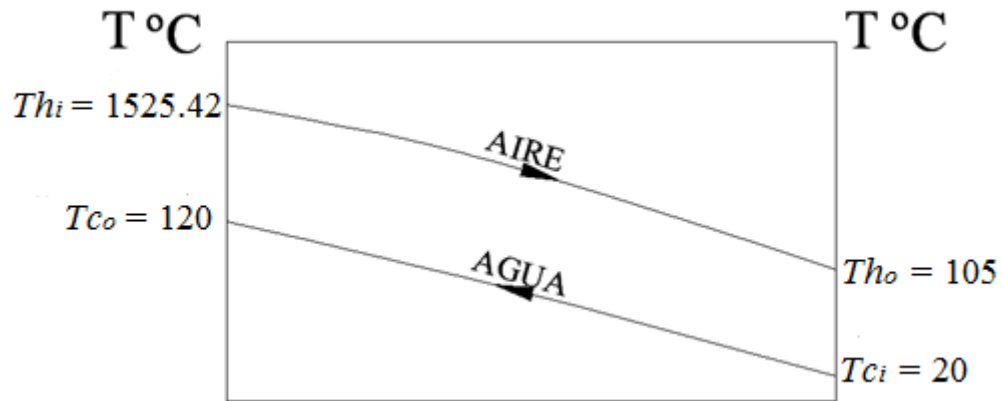
$k = 660 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{K}}$ (tabla A4 de INCROPERA)

$$\bar{h} = 1337.29 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}$$

6.6.2.4 CÁLCULO DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA

Debido a la disposición del aire caliente en circulación en una sola dirección y el agua estacionaria, el intercambiador de calor es en sí un banco de tubos, cuyo diagrama se lo expresa de la siguiente manera:

FIGURA 6-2: Diagrama de temperaturas de entrada y salida en contraflujo.



FUENTE: FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera – DeWitt, 1999, México.

Para determinar la diferencia de temperatura media logarítmica, tenemos que:

$T_{c_i} = 20$ °C. (Temperatura inicial del agua).

$T_{c_o} = 120$ °C (Temperatura final del agua).

$Th_i = 1531.55$ °C. (Temperatura inicial del aire caliente).

$Th_o = 105$ °C. (Temperatura final del aire caliente).

Temperatura superficial uniforme del agua:

$$\Delta T_{ml} = F * \Delta T_{ml,CF}$$

$$\Delta T_{ml,CF} = \frac{(\Delta T_2) - (\Delta T_1)}{\ln \left[\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right]}$$

$$\Delta T_1 = T_{aire,i} - T_{agua,o}$$

$$\Delta T_1 = 1405.42$$
 °C

$$\Delta T_2 = T_{aire,o} - T_{agua,i}$$

$$\Delta T_2 = 85$$
 °C

Donde:

$$\Delta T_{ml,CF} = 470,66$$
 °C

El factor de corrección (F) se puede determinar a partir de los valores de P y R, así:

$$P = \frac{T_{aire,o} - T_{aire,i}}{T_{agua,i} - T_{aire,i}}$$

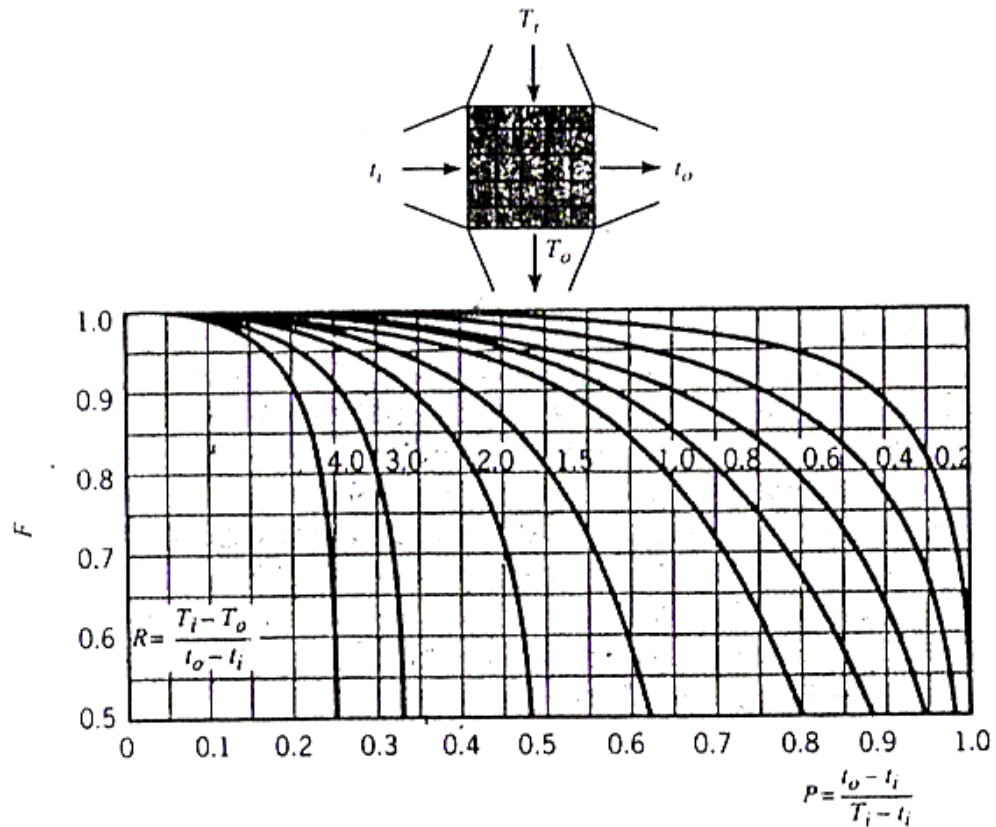
$$P = 0.94$$

$$R = \frac{T_{agua,i} - T_{agua,o}}{T_{aire,o} - T_{aire,i}}$$

$$R = 0.07$$

A continuación en la figura 6-6 y con los valores de P y R ya definidos, tenemos que:

FIGURA 6-3: Factor de corrección par un intercambiador de calor de un solo paso en flujo cruzado con ambos fluidos no mezclados.



FUENTE: FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, Incropera – DeWitt, 1999, México.

$$F = 0.96$$

Por lo que obtenemos una temperatura media logarítmica de:

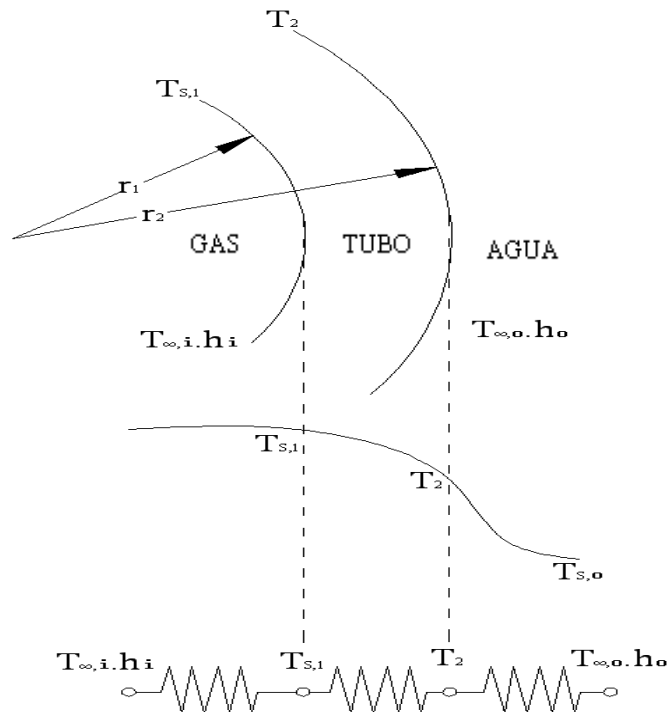
$$\Delta T_{ml} = 0.96 * 470.66$$

$$\Delta T_{ml} = 451.84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.6.2.5 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para este análisis, podemos asumir que los factores de impureza y la resistencia térmica de la pared del tubo son despreciables, entonces tenemos que:

FIGURA 6-4: Distribución de temperaturas para una pared cilíndrica



- Para los tubos

$$q = UA_s \Delta T_{ml}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{aire}} + \frac{1}{h_{agua}}}$$

Donde:

$$h_{aire} = 18.53 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_{agua} = 1337.29 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$U = 18.28 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

6.6.2.6 CÁLCULO DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Se determina con la ecuación:

$$A_{trans \ de \ calor} = \frac{q}{U * \Delta T_{ml}}$$

$q = 8295.82 \ W$ (Calor almacenado)

$$U = 18.28 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$\Delta T_{ml} = 451.84 \ ^\circ C$

$$A_{trans \ de \ calor} = 1.005 \ m^2.$$

6.6.2.7 CÁLCULO DEL NÚMERO DE TUBOS

Para el caso de nuestro intercambiador de calor, tomamos el modelo matemático partiendo de:

$$A_{trans \ de \ calor} = N * \pi * \phi * L$$

Donde:

$$\phi = 0.01905 \ m$$

$$L = 0.33 \ m.$$

$N =$ Número de tubos.

$$N = \frac{A_{trans \ de \ calor}}{\pi * \phi * L}$$

$$N = 50.89 \ tubos$$

6.6.3 CÁLCULOS MECÁNICOS

6.6.3.1 CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL CUERPO CILÍNDRICO

a) ESTIMACIÓN DE LA PRESIÓN INTERIOR EN EL CILINDRO.

En recipientes cilíndricos sujetos a presión, se presentan esfuerzos radiales y tangenciales cuyo valor depende del radio del elemento en consideración,

La Presión de diseño (P_D) para el cálculo mecánico esta dentro del siguiente rango:

$$P_D = P_T + 30 \text{ PSI}$$

Donde:

$P_T = 34$ PSI (Presión de proceso final)

*Por razones de seguridad se suma un valor de 30 PSI, obteniendo de esta manera un valor conservador sin riesgo a los usuarios.

$$P_D = 64 \text{ PSI}$$

Considerando que la presión de trabajo real es de $P_T + P_{atm}$ (14.7 PSI)= 48.7 PSI.

El cálculo de espesores para cilindros de presión que soportan tales esfuerzos, están dados por el código ASME sección VII división IUG-27.

b) ESPESOR MÍNIMO REQUERIDO DEL TANQUE SOMETIDO A PRESIÓN INTERIOR

$$d = \frac{P * r_{i\text{tanque}}}{S.E - 0.6 * P}$$

Donde:

d = Espesor mínimo requerido. (pulg)

$P = 64$ PSI (Presión de trabajo)

$r_{i\text{tanque}} = 8.56$ pulg. (Radio interior del tanque)

$E = 0.85$ (Eficiencia del cordón de soldadura y se usa este valor cuando la junta es examinada por zonas)

$$S = 3000 \frac{lb}{pulg^2} \text{ (Esfuerzo máximo admisible del material)}$$

$$d = 0.22 \text{ pulg} = 0.0056 \text{ m}$$

El grosor más cercano existente en el mercado es de $\frac{1}{4}$ " (0.25 pulg), que fue la que se utilizó.

6.6.3.2 ESPESOR Y DIÁMETRO DE LOS TUBOS

Para los tubos de fuego debe considerarse; que estos tubos deben ser de acero negro, templado y sin costura, para servicio a altas temperaturas, se recomienda trabajar con un solo diámetro según norma ASTM A136.

TABLA 6-8: ESPESOR Y DIÁMETRO SOMETIDOS A PRESIÓN EXTERIOR

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

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

Diámetros pequeños se cubren de impurezas y diámetros demasiado grandes, los gases dejan de ser turbulentos disminuyendo la capacidad de transferencia de calor.

Para una presión de 64 PSI, escogemos un diámetro de $\frac{1}{2}$ ", con un espesor de 0.109 pulg.

Este tipo de acero resiste altas temperaturas y es el utilizado en calderas e intercambiadores de calor, su punto de fusión está entre los 1400 a 1560 °C, pero para nuestro caso resiste más debido al contacto directo que los tubos tienen con el agua, denominado o conocido comúnmente como camisa húmeda o colchón de agua.

a) Dilatación térmica lineal de los tubos de fuego

Casi todos los sólidos se dilatan al calentarse, e inversamente se encojen al enfriarse. Esta dilatación o contracción es pequeña, pero sus consecuencias son importantes, dependiendo al entorno y su utilización directa en el caso de máquinas herramientas.

En el caso de tubos se asume una dilatación térmica lineal:

Tenemos que:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

En donde:

$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (Coeficiente de dilatación lineal para el acero)

$L = 0.48 \text{ m}$ (Longitud de los tubos de fuego)

$\Delta T = 1502.22 \text{ }^\circ\text{C}$ (Variación de temperatura)

$\Delta L =$ Variación de longitud del tubo de fuego.

De aquí despejando la longitud final del tubo tenemos que:

$$L_f = L_o [1 + \alpha(T_f - T_o)]$$

$$L_f = 0.4872 \text{ m.}$$

Tenemos un aumento de 7.2 mm, lo cual parece muy grande pero tenemos que considerar que la mampara inferior está sometido a una variación de temperatura similar, por esta razón se disminuye el impacto de cedencia térmico ya que la mampara cede con los tubos.

6.6.3.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS ESPEJOS

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

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

Donde:

d = espesor requerido por presión.

$\phi = 3.54$ pulg. (Longitud menor de diámetro entre soldas).

P = 64 PSI (Presión máxima de trabajo).

S = 3000 Lb/pulg². (Máximo esfuerzo del material)

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

$$d = 0.23 \text{ pulg} = 5.9 * 10^{-3} \text{ m.}$$

6.6.3.4 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN

Cuando se bombea agua directamente a la caldera, se requiere superar la presión en la misma, para ello la presión entregada por la bomba debe ser superior a la que hay en la caldera, algunos fabricantes recomiendan adicionar 10% al valor de presión para usarla en la elección de la bomba. La presión interna que debemos superar es de 48.7 PSI, para lo cual seleccionamos una bomba de 0.75 HP

a) TASA DE EVAPORACIÓN DE AGUA EN LA CALDERA

1 BHP = La energía necesaria para evaporar 45.05 Kg de agua a 100 °C durante una hora.

Densidad del agua a 100 °C = $958.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Entonces la tasa de evaporación del agua en el calderín de 2 BHP es:

$$Tasa\ de\ evap. = \frac{2 * 45.05}{958.4}$$

$$Tasa\ de\ evap. = 0.094 \frac{m^3}{h}$$

b) CAUDAL DE LA BOMBA

Al tratarse de un sistema de control on-off simple, multiplicaremos por 2 para obtener el caudal de la bomba:

$$Q_{Bomba} = 0.094 \frac{m^3}{h} * 2 = 0.188 \frac{m^3}{h}$$

Razón por la cual se ha seleccionado una bomba HIDROS QB – 70 con un $Q_{m\acute{a}x} = 45 \text{ l}/\text{min}$ equivalentes a $2.7 \frac{m^3}{h}$, con una Pot = 0.75 HP, suficientes para romper la presión interna e inyectar agua dentro del calderín.

6.7 METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO

Los datos básicos para el diseño del calderín de 2 BHP, que fue instalado en el laboratorio de energía de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato, son los que se describe a continuación:

Es un calderín vertical, piro-tubular de una altura de 1.30 metros considerando todos los elementos del mismo, el cual cuenta con 51 tubos para el paso de la combustión de los gases, construido con acero negro para servicios a altas temperaturas.

TABLA 6-9: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CALDERÍN

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|--------------|
| Potencia Generada (BHP) | 2 |
| Presión de diseño (PSI) | 64 |
| Presión de trabajo (PSI) | 34 |
| Presión de la bomba (PSI) | 37.5 |
| Masa de Vapor/hora (^{Kg} / _h) | 9.7 |
| Área de transferencia de calor (m ²) | 1.005 |
| Temperatura de entrada del agua (°C) | 20 |
| Temperatura de salida del agua (°C) | 100 |
| Temperatura Inicial de los gases de combustión (°C) | 1525.33 |
| Temperatura de salida de los gases de combustión (°C) | 105 |
| Longitud de la cámara de combustión (m) | 0.30 |
| Diámetro de la cámara de combustión (m) | 0.435 |
| Número de tubos | 51 |
| Altura de los tubos (m) | 0.48 |
| Diámetro de los tubos (m) | 0.127 |
| Diámetro de los espejos (m) | 0.435 |
| Altura de la chimenea (m) | 0.27 |
| Diámetro de la chimenea (m) | 0.11 |
| Velocidad de los gases de escape (m/s) | 1.3 |
| Altura total del calderín (m) | 1.3 |
| Potencia de la bomba (HP) | 0.75 |

Elaborado por: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

6.7.1 MODELAMIENTO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

a) Cuerpo o carcasa principal.- Es de forma cilíndrica y es la parte principal del calderín, el cual cuenta con las dimensiones de 0.80 m de altura y 0.45 m de diámetro.

Está construido de una plancha de acero de 0.00635 m es decir ¼ de pulgada de espesor, la cual se procedió a varolarla hasta conseguir un diámetro exterior de 0.45 m, y posteriormente soldarla.

FIGURA 6-5: Cuerpo o carcasa principal



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

b) Espejos.- Son de forma circular están elaborados con la misma plancha del cuerpo, las 51 perforaciones en cada uno fueron realizadas mediante plasma dejando un espacio de 4 cm entre centros.

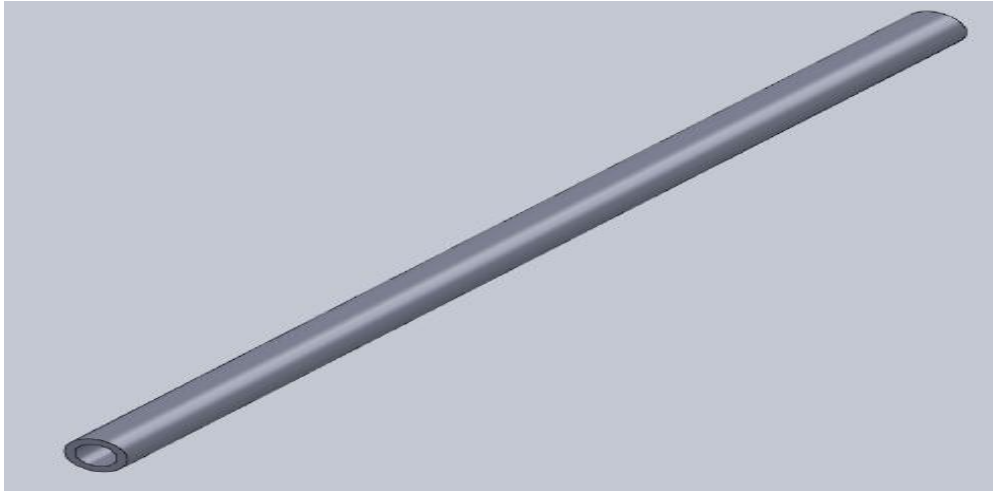
FIGURA 6-6: Espejos



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

c) Tubos de combustión.- son 51 tubos de acero de 0.0127 m diámetro interior, sin costura para resistir efectivamente a la alta presión a la cual están sometidos, son de una longitud de 0.48 m.

FIGURA 6-7: Tubos de combustión.



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

Posteriormente se los suelda a los espejos.

d) Chimenea.- Fue construida partiendo de una plancha de tol de 0.003175 m es decir de $\frac{1}{8}$ de pulgada, mediante varolación y asistencia de cortadora de plasma.

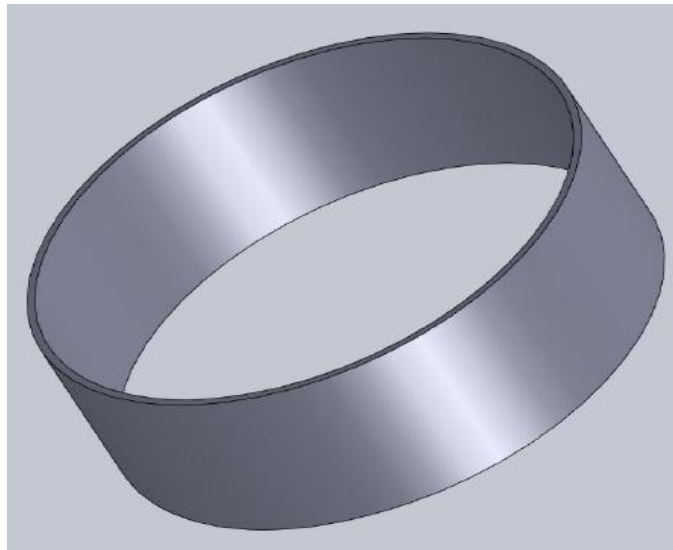
FIGURA 6-8: Chimenea



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

e) Base del calderín.- Construido en la misma forma que el cuerpo del caldero, pero con una altura de 0.18 m.

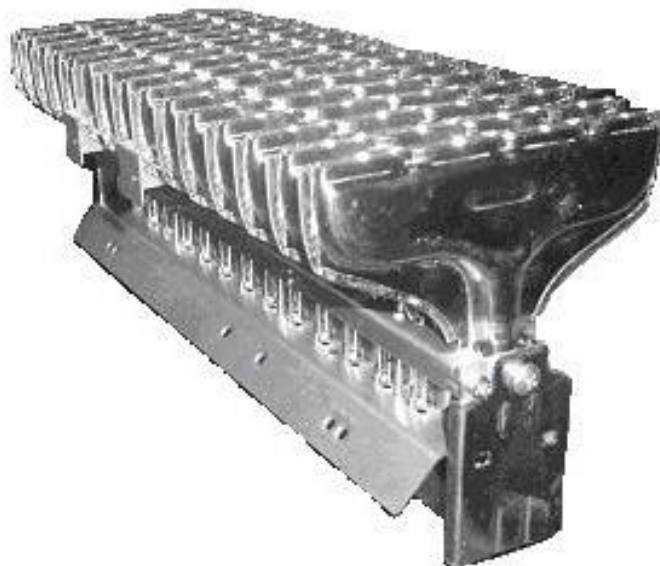
FIGURA 6-9: Base del calderín



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

e) **Quemador.-** El quemador que se ha adquirido es uno de tipo atmosférico, de gas, usado en calefones domésticos con capacidad de 29 litros.

FIGURA 6-10: Quemador



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

f) **Medidor de nivel y control de agua.-** Para la construcción del mismo tomamos una plancha de 0.00635 m. y la varolamos hasta darle un diámetro de 0.075 m. para la cual también construimos una brida del mismo material con 8 agujeros de 0.075 m. de diámetro para la sujeción del mismo a la bolla medidora de nivel, al cual se le soldó los neplos comunicantes.

FIGURA 6-11: Medidor de nivel y control de agua



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

g) Tablero de control.- Es parte fundamental del sistema ya que en su interior se encuentran, un breaker de seguridad de 16 Amp. tipo riel de un solo polo/una entrada; dos contactores con bobina y demás dispositivos que hacen posible la automatización del sistema.

FIGURA 6-12: Tablero de control



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

h) Regulador de presión de gas.- Es un aparato de control de flujo, diseñado para mantener una presión constante a la salida del mismo, independientemente de las variaciones de presiones existentes a la entrada del accesorio, el cual nos fue de mucha utilidad para nuestros objetivos de estudio.

FIGURA 6-13: Regulador de presión de gas



FUENTE: Wilmo Marlon Vacacela Miranda

La fuente de alimentación de agua hacia el es por medio de una bomba hidráulica con una capacidad de 0.75 HP.

Consta de medidor de nivel, Pressuretrol, medidor de presión, llaves y válvulas.

Es semiautomático, trabaja con corriente alterna de 110 V.

Este sistema fue construido con el fin de analizar los parámetros de combustión en un calderín de 2 BHP.

6.8 ADMINISTRACIÓN

El presente estudio se ha realizado en base a la información recopilada en libros, internet y otras publicaciones. A través de trabajo en el laboratorio, se procederá al desarrollo de tablas de adquisición para demostrar los objetivos propuestos anteriormente.

El equipo construido se encuentra listo para ser operado.

Reducir Tiempo y Esfuerzo: La innovación tecnológica nos brinda herramientas mediante las cuales podemos acceder a información remota tan rápido como a información de primera mano, lo que nos permite acceder a información más eficientemente y en menor tiempo, sin tener que movilizar personal a un laboratorio o planta en particular.

Mejorar la calidad y la cantidad de la información: Con la implementación de este equipo al Laboratorio de Energía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, será más factible llegar a tomar datos en la práctica llegando a constatar con la teoría, y tener nociones claras del sistema en sí, como también la instrumentación del mismo.

Dentro del campo industrial es conocido que este tipo de sistemas se encuentran muy inmiscuidos en la industria alimenticia, textil, turismo, vivienda, etc. Razón por la cual es de vital importancia conocer bien este tipo de sistemas.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

En este ítem se incorporó el plan de operación y mantenimiento del calderín de 2 BHP.

6.9.1 GUÍA DE OPERACIÓN

ARRANQUE PARA OPERACIÓN DIARIA

Un arranque exitoso requiere de la preparación adecuada por parte del operador, del buen estado de:

- La Caldera
- Los controles
- Los equipos y sistemas auxiliares.

Todos deben operar apropiadamente para apoyar las necesidades de la caldera.

INSPECCIÓN PREVIA AL ENCENDIDO DE LA CALDERA

- Camine alrededor de la caldera y verifique su integridad física, los equipos de soporte y componentes antes de arrancarla.
- Verifique que la entrada de combustible a la línea principal y a la línea del piloto esté disponible.
- Reserva de agua disponible para arrancar la caldera.
- Exista el suficiente suministro de gas.
- Sistema eléctrico en servicio.

ENCENDIDO

Determine el tipo de arranque requerido

ARRANQUE EN FRÍO, es cuando la caldera y sus componentes están a temperatura ambiente y no han sido operados por un largo tiempo (Por mantenimiento).

ARRANQUE EN CALIENTE, significa que la caldera y sus componentes han estado en operación reciente, pasos previos para que el equipo obtenga la presión de operación.

- Verifique el nivel de agua en la caldera
- Cierre todos los desagües y purgas
- Coloque el sistema de control de la caldera en línea y comience el arranque
- Energice el sistema de control y encienda la caldera al modo de operación.

PASOS A SEGUIR

- Preparar el mechero para el encendido de la piloto
 - Mojar el mechero con alcohol o tiñer.
- Abrir al mínimo la válvula de la llave piloto y encenderlo con el mechero.
- Coloque el interruptor de energía de la caldera en la posición ON, para proporcionarle energía al sistema de control al quemador.
- Arranque los sistemas de alimentación de agua y llene la caldera.
- Verifique la posición de la válvula de combustible.
- Una vez que se activa la electroválvula y el quemador arranca, observe la secuencia de operación. La secuencia exacta es mostrada en el programador del caldero. Según la caldera va aumentando la temperatura y presión, vigile la operación del sistema de apoyo.
- Cierre las válvulas de drenaje en las tuberías de distribución del sistema de vapor, a medida que se van calentando y presurizando.
- Verifique las operaciones de control “Límite”, haciendo que cada uno de los parámetros de límite alcance su punto programado, y la operación del sistema de control.
- Una vez que se ha completado el arranque y la caldera está manteniendo la presión programada, camine alrededor de la caldera y todo su equipo buscando condiciones anormales.
- Sea cuidadoso con el sistema de condensado, para mantener el suficiente nivel de alimentación y agua a la caldera.

APAGADO DE LA CALDERA

Una vez el apagado se ha iniciado, hay dos funciones muy importantes que el operador debe supervisar, para asegurar la integridad del personal y del equipo.

- Al momento que el apagado se inicia, el quemador debe ser revisado. Esto significa que visualmente se verifica, para asegurarse que no hay llamas presentes, y que no está saliendo combustible al hogar de la caldera. Algunas instalaciones tienen la política de cerrar manualmente las válvulas de aislamiento de combustible, tan pronto se inicia el apagado de la caldera.
- Asegúrese de que el nivel de agua de la caldera se mantenga hasta que la caldera se enfrié. El metal de la caldera almacena tanto calor, que puede permanecer caliente el tiempo suficiente para causar extensos daños, si no es enfriada con un nivel de agua adecuado. Una vez fría, el agua de alimentación puede ser desconectada y la caldera drenada si se desea.

LA PURGA

La purga es una parte íntegra del adecuado funcionamiento del programa de tratamiento de agua de caldera, normalmente requiere monitorización continua para un control positivo y correcto. Mediante la purga se retira la mayoría del lodo, suciedad y otros materiales indeseables de la caldera.

La continua alimentación al caldero de agua nueva con su contenido de impurezas, llevará a que dichas impurezas o sales vayan acumulándose hasta llegar a situaciones en que sería imposible para el caldero seguir acumulándolas, de allí la necesidad de eliminarlas del caldero.

La purga debe realizarse en dos lugares de la caldera: en el fondo de la caldera y en los controles.

La purga de fondo, es indispensable para eliminar los lodos y productos de tratamiento, que tienden a sedimentarse en el fondo del caldero. La purga de un caldero puede realizarse en forma intermitente o en forma continua.

LIMPIEZA QUÍMICA DE CALDEROS

Un caldero puede requerir una limpieza por dos motivos:

- El calderín es nuevo y por consiguiente sus tubos y superficies internas se hallan recubiertos de aceites o grasas que le sirvieron de protección durante su fabricación, o contiene restos de material del proceso de fabricación del mismo. Igualmente se requiere esta limpieza, cuando por alguna razón el caldero se ha contaminado con aceites o petróleos. En este caso la limpieza a aplicar es normalmente de tipo alcalina.
- Cuando el caldero se encuentra incrustado, en este caso deberá realizarse una limpieza de tipo ácida. La corrosión externa o deterioro de las superficies de calderas en el lado de fuego puede ser un proceso continuo, es una combinación química del metal, conocida como oxidación u orín. Normalmente esta acción no debería progresar apreciablemente en la vida de una caldera; generalmente, la mayoría de las superficies de calderas están recubiertas de hollín o cenizas en el lado de fuego.

LIMPIEZA DE LOS TUBOS

Inspeccione los tubos para localizar acumulaciones de hollín. El hollín disminuye la transferencia del calor y baja la eficiencia de la caldera.

El periodo de limpieza de los tubos varía con el tipo de combustible utilizado y el tipo de quemador. Algunas instrucciones de operación recomiendan limpiarlos 2 veces por año. Actualmente una unidad con un buen diseño y bien calibrada, necesita solamente una limpieza de tubos al año.

La presencia de una gran cantidad de hollín en periodos cortos, puede ser debido a un exceso de combustible y una pobre alimentación de aire; entonces la relación aire-combustible debe ser ajustada.

Si la temperatura de los gases de la combustión es mayor a la normal, significa que los tubos están sucios; hay que limpiarlos.

6.9.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO DIARIO

- Purgar la caldera, tanto de la purga de fondo como de sus columnas de control de nivel, esto se hace subiendo el nivel de agua a $\frac{1}{2}$ cristal y purgando hasta que arranque la bomba de alimentación.
- Comprobar así mismo que la presión indicada por los manómetros de entrada al combustible, la presión en la válvula mediadora y la presión de salida de combustible, son las fijadas.

MANTENIMIENTO SEMANAL

- Revisión a las condiciones del quemador, presión, temperatura, etc.
- Chequear los niveles de entrada y paso de la bomba, haciendo uso de las válvulas de purga de fondo de la caldera.

MANTENIMIENTO MENSUAL

- Comprobar que los niveles de agua sean los indicados.
- Comprobar el voltaje y cargas que toman los instrumentos.
- Tirar ligeramente de las palancas de las válvulas de seguridad para que escapen y evitar que peguen en su asiento.

No después de tres meses de efectuada la puesta en marcha inicial de la caldera y después según las condiciones lo requieran, la caldera deberá ser enfriada y secada, las cubiertas quitadas y el interior debe ser lavado con agua a presión, tubos y espejos deberán ser inspeccionadas al mismo tiempo para buscar incrustaciones.

MANTENIMIENTO ANUAL

- Revisar el estado en que se encuentran todas las válvulas de la caldera, sentarlas si es necesario y si no se pueden asentar, cambiarlas por otras nuevas.
- Desarme e inspeccione las válvulas de seguridad, así como las tuberías de drenaje.

RECOMENDACIONES

- Si el calderín va a ser utilizado por un periodo de tiempo considerable, (una semana en adelante), se recomienda darle un tratamiento químico previo al agua de alimentación al caldero, para ablandarla, para evitar así la deposición de lodos en el calderín.
- Evitar al máximo tener cerca del calderín materiales combustibles o productos corrosivos que puedan derramarse, cualquier derrame accidental hay que limpiarlo en el acto.
- Se debe verificar la presión de inyección de GLP, chequear la condición del tiro y la llama para asegurarnos que esta no sea demasiado alta ni eche humo.
- Los operadores encargados del mantenimiento del calderín deben cerciorarse que el sistema de combustible, incluyendo las válvulas, tanques y tuberías estén funcionando adecuadamente y sin fugas.
- Verificar los sistemas de ventilación y mantenerlos seguros para evitar que los gases, producto de la combustión, no se acumulen en los lugares de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA.

-**ALVARENGA**, Beatriz. – **MAXIMO**, Antonio. (1998), “*Física general: con experimentos sencillos*”, Cuarta edición, Editado e impreso por: Oxford University Press Harla, México S.A. de C.V.

-**AVALLONE**, Eugene A. - **BAUMEISTER**, Theodore III. (1995), “*Manual del Ingeniero Mecánico*”, (MARKS), Novena edición en inglés – tercera edición en español, impreso en México por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.

-**BILURBINA**, Luis. – **LIESA**, Francisco. – **IRIBARREN**, José. (2003), “*Corrosión y protección*”, Primera edición, Ediciones de la Universidad de Cataluña, España.

-**ÇENGEL**, Yunus A.(2004) “*Transferencia de Calor*”, Segunda edición impreso en México por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.

-**ÇENGEL**, Yunus A. - **BOLES**, Michael A. (2009), “*Termodinámica*”, Sexta edición impreso en México por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.

-**GEANKOPLIS**, C.J. (1999) “*Procesos de transportes y operaciones unitarias*” 3a Edición, impreso en México, Editorial CECSA.

-**GOODING GARAVITO**, Nestor. “*Operaciones Unitarias II: Manual de Prácticas* “. 1^{ra} ed. Santafé de Bogotá; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería. 1998. Pág. 109–137.

-**HERRERA** Luis. - **MEDINA** Arnaldo. y **NARANJO** Galo. “*Tutoría de la investigación Científica*”, Impreso en Quito por Empresdane Graficas Cia. Ltda.

-**INCROPERA**, Frank P. - **DEWITT**, David P. (1999), “*Fundamentos de Transferencia de Calor*”. Cuarta edición, impreso en México por PRENTICE HALL-HISPANO AMERICANA S.A.

-**NORMAS INEN**. “*Código de dibujo Técnico-Mecánico*” (1981) Quito-Ecuador.

-**PERRY**, Robert. - **GREEN**, Don y **MALONEY**, James. Perry: “*Manual del Ingeniero Químico*”. 6ed. México: McGraw Hill, 1998. Vol III, Pág. 9–72 a 9–83. ISBN 468–422–973–9

-**SEQUÉN**, Edy (2009), “*Fabricación, montaje e instalación de una caldera pirotubular tipo vertical de vapor húmedo de 40 hp, en la empresa servicios industriales, mecánicos y eléctricos, SEIME*”. Tesis de grado. Guatemala. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

-**SMITH**, J.M. (2001), “*Introducción a la termodinámica en Ingeniería Química*”. 5a Edición, impreso en México por McGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MÉXICO, S.A DE C.V.

-**SHIELD**, Carl. “*Calderas: Tipos, Características y sus funciones*”. 1ed. México: Continental, 198. Pág. 20–72

-**TURÉGANO**, J. - **MARCOS**, A. - **GAÑÁN**, J. – **GONZÁLEZ**, J.F. – **MIRANDA**, A. - **CORREIRA**, S. “*Optimización del proceso de combustión en una caldera de calefacción de 465 kw, modelo CPA de roca*”. Escuela de Ingenierías Industriales de Badajoz. Universidad de Extremadura (España). Escola Superior de Tecnologia e Gestao de Portalegre. Área de Engenharia (Portugal). Depto. Eng. Electromecânica Universidade da Beira Interior (Portugal).

PÁGINAS WEB

-<http://www.estgp.pt/investigacao/Papers/Paper8.pdf>

-http://www.tecnimiralles.es/servicio_tecnico_nota_informativa_combustion_caldras_calentadores_gas.pdf.

-<http://www.industrialtijuana.com/mcalderas.htm>

- <http://www.energia.inf.cu/iee-mep/SyT/CDG/Taller1BURE/CALDERASACS2.PDF>

- http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/glp_butano_y_propano/paises/peru/repsolgas/propiedades_del_glp/

-<http://www.doschivos.com/display.asp?ID=723&f=13547>

-http://www.austrogas.com.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=23

-http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/ingenie/Monge_T_M/Cap-1.pdf

-<http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/estudios-calculos>

-http://www.grupojpcalderas.com/images/pdf/ATTSU_Informacion_ES.pdf

-<http://www.monografias.co/trabajos34/calor-termodinamica/calortermodinámica.shtml>

-<http://www.portalplanetasedna.com.ar/dilatacion.htm>

-http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/rendimiento/index.htm

-<http://aplicaciones.virtual.unal.edu.co/drupal/files/capacidad.pdf>

-<http://www.scribd.com/doc/6000723/Copia-de-Calderas>

-<http://www.olmar.com/>

-http://www.asturiasliberal.org/colaboraciones/piensa_en_liberal/el_concepto_de_eficiencia_y_su_aplicacion_historica_en_la_avia_2.php

-<http://www.factorialvulcano.com/>

-<http://www.fedemental.com/>

-http://aniversario.unet.edu.ve/mipv/cav/cav02_1.htm

-<http://www.sensorone.co.uk/pressure-units-conversion/inh2o-to-mmh2o-mbar-PSI-mmhg.html>

-<http://www.serviciotecnicocalderasmadrid.com/Quemadores.html>

-<http://es.scribd.com/doc/20117737/Parametros-de-un-Sistema-de-Combustion-A-Tener-en-Cuenta-en-una-Conversion>

-<http://www.cvc.com.ve/portal/files/docs/184.pdf>

-<http://www.cstools.asme.org/csconnect/pdf/CommitteFiles/33304.pd>

ANEXOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|-----------------------------|-------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal. |
| Temperatura ambiente: | 19.4 °C | Presión inicial de proceso: | 14.7 PSI |
| | | Caudal de GLP: | 100% |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Presión de GLP: | 0.4 PSI |

ENSAYO Nº 1

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 02/12/2010

PRESIÓN DE PROCESO VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | 0 | 7 | 25 |
| 0 | 1 | 8 | 26 |
| 0 | 2 | 9 | 27 |
| 0 | 3 | 10 | 28 |
| 0 | 4 | 10 | 29 |
| 0 | 5 | 11 | 30 |
| 0 | 6 | 12 | 31 |
| 0 | 7 | 13 | 32 |
| 0 | 8 | 13 | 33 |
| 0 | 9 | 15 | 34 |
| 0 | 10 | 16,5 | 35 |
| 0 | 11 | 18 | 36 |
| 0 | 12 | 19 | 37 |
| 0 | 13 | 20 | 38 |
| 0 | 14 | 20 | 39 |
| 0 | 15 | 22 | 40 |
| 0 | 16 | 24 | 41 |
| 0 | 17 | 26 | 42 |
| 0 | 18 | 26 | 43 |
| 0 | 19 | 28 | 44 |
| 6 | 20 | 30 | 45 |
| 6 | 21 | 32 | 46 |
| 6 | 22 | 34 | 49.32 |
| 6,5 | 23 | | |
| 6,5 | 24 | | |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|-------------------------------|-------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal. |
| Temperatura ambiente: | 17.5 °C | Presión de inicial de proceso | 14.7 PSI |
| | | Caudal de GLP: | 100% |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Presión de GLP: | 0.5 PSI |

ENSAYO N° 2

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 03/12/2010

PRESIÓN DE PROCESOVS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 0 | 7 | 24 |
| 0 | 1 | 8 | 25 |
| 0 | 2 | 9 | 26 |
| 0 | 3 | 10 | 27 |
| 0 | 4 | 10 | 28 |
| 0 | 5 | 11 | 29 |
| 0 | 6 | 11 | 30 |
| 0 | 7 | 12 | 31 |
| 0 | 8 | 13 | 32 |
| 0 | 9 | 13 | 33 |
| 0 | 10 | 15 | 34 |
| 0 | 11 | 16,5 | 35 |
| 0 | 12 | 18 | 36 |
| 0 | 13 | 19 | 37 |
| 0 | 14 | 20 | 38 |
| 4 | 15 | 20 | 39 |
| 4 | 16 | 22 | 40 |
| 4 | 17 | 24 | 41 |
| 4 | 18 | 26 | 42 |
| 6 | 19 | 26 | 43 |
| 6 | 20 | 28 | 44 |
| 6,5 | 21 | 30 | 45 |
| 6,5 | 22 | 32 | 46 |
| 6,5 | 23 | 34 | 46.46 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|----------------------------|-------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal. |
| Temperatura ambiente: | 17.9 °C | Presión inicial de proceso | 14.7 PSI |
| | | Caudal de GLP: | 100% |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Presión de GLP: | 1 PSI |

ENSAYO N° 3

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 07/01/2011

PRESIÓN DE PROCESO VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 0 | 16 | 26 |
| 4 | 10 | 20 | 27 |
| 6 | 13 | 24 | 28 |
| 8 | 17 | 26 | 29 |
| 10 | 19 | 30 | 30 |
| 12 | 22 | 33 | 31 |
| 14 | 24 | 34 | 31.24 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|----------------------|--------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Precalentado |
| Temperatura ambiente: | 24.6 °c | Presión de trabajo: | 35 PSI |
| | | Caudal de GLP: | 100% |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Presión de GLP: | 2 PSI |

ENSAYO N° 4

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 07/01/2011

PRESIÓN VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 0 | 16 | 10 |
| 6 | 4 | 18 | 11 |
| 7 | 5 | 20 | 12 |
| 8 | 6 | 22 | 13 |
| 9 | 6,5 | 26 | 14 |
| 10 | 7 | 30 | 15 |
| 11 | 8 | 34 | 16 |
| 12 | 9 | 34 | 16,3 |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP**

| | | | |
|---|----------|------------------------------------|-------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal. |
| Temperatura ambiente: | 21 °C | Presión inicial de proceso: | 14.7 PSI |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Caudal de GLP: | 75% |
| | | Presión de GLP: | 0.4 PSI |

ENSAYO Nº 5

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 02/01/2011

PRESIÓN DE PROCESO VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 18 | 51 |
| 4 | 31 | 20 | 54 |
| 6 | 34 | 22 | 60 |
| 8 | 37 | 24 | 62 |
| 10 | 39 | 26 | 66 |
| 12 | 42 | 28 | 69 |
| 14 | 44 | 30 | 73 |
| 16 | 47 | 32 | 75 |
| | | 34 | 76,39 |

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP**

| | | | |
|---|----------|-----------------------------|------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal |
| Temperatura ambiente: | 24.6 °c | Presión de trabajo: | 14.7 PSI |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Caudal de GLP: | 75% |
| | | Presión de GLP: | 2 PSI |

ENSAYO Nº 6

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 07/01/2011

PRESIÓN VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 20 | 57 |
| 4 | 27 | 22 | 60 |
| 4 | 29 | 24 | 62 |
| 6 | 31 | 26 | 64 |
| 8 | 34 | 28 | 65 |
| 10 | 36 | 30 | 67 |
| 12 | 40 | 32 | 68 |
| 14 | 45 | 34 | 69,62 |
| 16 | 52 | | |
| 18 | 55 | | |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|----------------------|------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal |
| Temperatura ambiente: | 18.6 °C | Presión de trabajo: | 14.7 PSI |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Caudal de GLP: | 75% |
| | | Presión de GLP: | 1 PSI |

ENSAYO Nº 7

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 11/01/2011

PRESIÓN VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 0 | 20 | 35 |
| 4 | 22 | 22 | 37 |
| 6 | 24 | 24 | 38 |
| 8 | 25 | 26 | 40 |
| 10 | 27 | 28 | 43 |
| 12 | 28 | 30 | 45 |
| 14 | 30 | 32 | 46 |
| 16 | 31 | 34 | 48,25 |
| 18 | 34 | | |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL E INGENIERIA MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA
ENSAYO: CALDERO DE 2 BHP

| | | | |
|------------------------------------|----------|-----------------------------|------------|
| Combustible: | GLP | Estado del calderin: | Sin Precal |
| Temperatura ambiente: | 22.7 °C | Presión inicial de proceso: | 14.7 PSI |
| Velocidad del aire en la chimenea: | 1.3 m/Sg | Caudal de GLP: | 75% |
| | | Presión de GLP: | 2 PSI |

ENSAYO Nº 8

ELABORADO POR: WILMO MARLON VACACELA MIRANDA

FECHA: 27/01/2011

PRESIÓN VS. TIEMPO

| PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) | PRESIÓN (PSI) | TIEMPO (min) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 0 | 20 | 40 |
| 4 | 25 | 22 | 42 |
| 6 | 27 | 24 | 44 |
| 8 | 28 | 26 | 47 |
| 10 | 30 | 28 | 49 |
| 12 | 31 | 30 | 50 |
| 14 | 34 | 32 | 52 |
| 16 | 36 | 34 | 53,1 |
| 18 | 39 | | |

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

| T (K) | ρ (kg/m ³) | c_p (kJ/kg · K) | $\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²) | $\nu \cdot 10^6$ (m ² /s) | $k \cdot 10^3$ (W/m · K) | $\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s) | Pr |
|------------|--------------------------------|----------------------|---|---|-----------------------------|--|-------|
| Aire | | | | | | | |
| 100 | 3.5562 | 1.032 | 71.1 | 2.00 | 9.34 | 2.54 | 0.786 |
| 150 | 2.3364 | 1.012 | 103.4 | 4.426 | 13.8 | 5.84 | 0.758 |
| 200 | 1.7458 | 1.007 | 132.5 | 7.590 | 18.1 | 10.3 | 0.737 |
| 250 | 1.3947 | 1.006 | 159.6 | 11.44 | 22.3 | 15.9 | 0.720 |
| 300 | 1.1614 | 1.007 | 184.6 | 15.89 | 26.3 | 22.5 | 0.707 |
| 350 | 0.9950 | 1.009 | 208.2 | 20.92 | 30.0 | 29.9 | 0.700 |
| 400 | 0.8711 | 1.014 | 230.1 | 26.41 | 33.8 | 38.3 | 0.690 |
| 450 | 0.7740 | 1.021 | 250.7 | 32.39 | 37.3 | 47.2 | 0.686 |
| 500 | 0.6964 | 1.030 | 270.1 | 38.79 | 40.7 | 56.7 | 0.684 |
| 550 | 0.6329 | 1.040 | 288.4 | 45.57 | 43.9 | 66.7 | 0.683 |
| 600 | 0.5804 | 1.051 | 305.8 | 52.69 | 46.9 | 76.9 | 0.685 |
| 650 | 0.5356 | 1.063 | 322.5 | 60.21 | 49.7 | 87.3 | 0.690 |
| 700 | 0.4975 | 1.075 | 338.8 | 68.10 | 52.4 | 98.0 | 0.695 |
| 750 | 0.4643 | 1.087 | 354.6 | 76.37 | 54.9 | 109 | 0.702 |
| 800 | 0.4354 | 1.099 | 369.8 | 84.93 | 57.3 | 120 | 0.709 |
| 850 | 0.4097 | 1.110 | 384.3 | 93.80 | 59.6 | 131 | 0.716 |
| 900 | 0.3868 | 1.121 | 398.1 | 102.9 | 62.0 | 143 | 0.720 |
| 950 | 0.3666 | 1.131 | 411.3 | 112.2 | 64.3 | 155 | 0.723 |
| 1000 | 0.3482 | 1.141 | 424.4 | 121.9 | 66.7 | 168 | 0.726 |
| 1100 | 0.3166 | 1.159 | 449.0 | 141.8 | 71.5 | 195 | 0.728 |
| 1200 | 0.2902 | 1.175 | 473.0 | 162.9 | 76.3 | 224 | 0.728 |
| 1300 | 0.2679 | 1.189 | 496.0 | 185.1 | 82 | 238 | 0.719 |
| 1400 | 0.2488 | 1.207 | 530 | 213 | 91 | 303 | 0.703 |
| 1500 | 0.2322 | 1.230 | 557 | 240 | 100 | 350 | 0.685 |
| 1600 | 0.2177 | 1.248 | 584 | 268 | 106 | 390 | 0.688 |
| 1700 | 0.2049 | 1.267 | 611 | 298 | 113 | 435 | 0.685 |
| 1800 | 0.1935 | 1.286 | 637 | 329 | 120 | 482 | 0.683 |
| 1900 | 0.1833 | 1.307 | 663 | 362 | 128 | 534 | 0.677 |
| 2000 | 0.1741 | 1.337 | 689 | 396 | 137 | 589 | 0.672 |
| 2100 | 0.1658 | 1.372 | 715 | 431 | 147 | 646 | 0.667 |
| 2200 | 0.1582 | 1.417 | 740 | 468 | 160 | 714 | 0.655 |
| 2300 | 0.1513 | 1.478 | 766 | 506 | 175 | 783 | 0.647 |
| 2400 | 0.1448 | 1.558 | 792 | 547 | 196 | 869 | 0.630 |
| 2500 | 0.1389 | 1.665 | 818 | 589 | 222 | 960 | 0.613 |
| 3000 | 0.1135 | 2.726 | 955 | 841 | 486 | 1570 | 0.536 |

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada^a

| Temperatura, T (K) | Presión P (bars) ^b | Volumen específico (m ³ /kg) | | Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg) | Calor específico (kJ/kg · K) | | Viscosidad (N · s/m ²) | | Conductividad térmica (W/m · K) | | Número de Prandtl | | Tensión superficial $\alpha_f \cdot 10^3$ (N/m) | Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹) | Temperatura T (K) |
|-------------------------|------------------------------------|---|-------|--|------------------------------------|-----------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------|-------------------------|--------|--|---|------------------------|
| | | $v_f \cdot 10^3$ | v_g | | $c_{p,f}$ | $c_{p,g}$ | $\mu_f \cdot 10^6$ | $\mu_g \cdot 10^6$ | $k_f \cdot 10^3$ | $k_g \cdot 10^3$ | Pr_f | Pr_g | | | |
| 273.15 | 0.00611 | 1.000 | 206.3 | 2502 | 4.217 | 1.854 | 1750 | 8.02 | 569 | 18.2 | 12.99 | 0.815 | 75.5 | -68.05 | 273.15 |
| 275 | 0.00697 | 1.000 | 181.7 | 2497 | 4.211 | 1.855 | 1652 | 8.09 | 574 | 18.3 | 12.22 | 0.817 | 75.3 | -32.74 | 275 |
| 280 | 0.00990 | 1.000 | 130.4 | 2485 | 4.198 | 1.858 | 1422 | 8.29 | 582 | 18.6 | 10.26 | 0.825 | 74.8 | 46.04 | 280 |
| 285 | 0.01387 | 1.000 | 99.4 | 2473 | 4.189 | 1.861 | 1225 | 8.49 | 590 | 18.9 | 8.81 | 0.833 | 74.3 | 114.1 | 285 |
| 290 | 0.01917 | 1.001 | 69.7 | 2461 | 4.184 | 1.864 | 1080 | 8.69 | 598 | 19.3 | 7.56 | 0.841 | 73.7 | 174.0 | 290 |
| 295 | 0.02617 | 1.002 | 51.94 | 2449 | 4.181 | 1.868 | 959 | 8.89 | 606 | 19.5 | 6.62 | 0.849 | 72.7 | 227.5 | 295 |
| 300 | 0.03531 | 1.003 | 39.13 | 2438 | 4.179 | 1.872 | 855 | 9.09 | 613 | 19.6 | 5.83 | 0.857 | 71.7 | 276.1 | 300 |
| 305 | 0.04712 | 1.005 | 29.74 | 2426 | 4.178 | 1.877 | 769 | 9.29 | 620 | 20.1 | 5.20 | 0.865 | 70.9 | 320.6 | 305 |
| 310 | 0.06221 | 1.007 | 22.93 | 2414 | 4.178 | 1.882 | 695 | 9.49 | 628 | 20.4 | 4.62 | 0.873 | 70.0 | 361.9 | 310 |
| 315 | 0.08132 | 1.009 | 17.82 | 2402 | 4.179 | 1.888 | 631 | 9.69 | 634 | 20.7 | 4.16 | 0.883 | 69.2 | 400.4 | 315 |
| 320 | 0.1053 | 1.011 | 13.98 | 2390 | 4.180 | 1.895 | 577 | 9.89 | 640 | 21.0 | 3.77 | 0.894 | 68.3 | 436.7 | 320 |
| 325 | 0.1351 | 1.013 | 11.06 | 2378 | 4.182 | 1.903 | 528 | 10.09 | 645 | 21.3 | 3.42 | 0.901 | 67.5 | 471.2 | 325 |
| 330 | 0.1719 | 1.016 | 8.82 | 2366 | 4.184 | 1.911 | 489 | 10.29 | 650 | 21.7 | 3.15 | 0.908 | 66.6 | 504.0 | 330 |
| 335 | 0.2167 | 1.018 | 7.09 | 2354 | 4.186 | 1.920 | 453 | 10.49 | 656 | 22.0 | 2.88 | 0.916 | 65.8 | 535.5 | 335 |
| 340 | 0.2713 | 1.021 | 5.74 | 2342 | 4.188 | 1.930 | 420 | 10.69 | 660 | 22.3 | 2.66 | 0.925 | 64.9 | 566.0 | 340 |
| 345 | 0.3372 | 1.024 | 4.683 | 2329 | 4.191 | 1.941 | 389 | 10.89 | 668 | 22.6 | 2.45 | 0.933 | 64.1 | 595.4 | 345 |
| 350 | 0.4163 | 1.027 | 3.846 | 2317 | 4.195 | 1.954 | 365 | 11.09 | 668 | 23.0 | 2.29 | 0.942 | 63.2 | 624.2 | 350 |
| 355 | 0.5100 | 1.030 | 3.180 | 2304 | 4.199 | 1.968 | 343 | 11.29 | 671 | 23.3 | 2.14 | 0.951 | 62.3 | 652.3 | 355 |
| 360 | 0.6209 | 1.034 | 2.645 | 2291 | 4.203 | 1.983 | 324 | 11.49 | 674 | 23.7 | 2.02 | 0.960 | 61.4 | 697.9 | 360 |
| 365 | 0.7514 | 1.038 | 2.212 | 2278 | 4.209 | 1.999 | 306 | 11.69 | 677 | 24.1 | 1.91 | 0.969 | 60.5 | 707.1 | 365 |
| 370 | 0.9040 | 1.041 | 1.861 | 2265 | 4.214 | 2.017 | 289 | 11.89 | 679 | 24.5 | 1.80 | 0.978 | 59.5 | 728.7 | 370 |
| 373.15 | 1.0133 | 1.044 | 1.679 | 2257 | 4.217 | 2.029 | 279 | 12.02 | 680 | 24.8 | 1.76 | 0.984 | 58.9 | 750.1 | 373.15 |
| 375 | 1.0815 | 1.045 | 1.574 | 2252 | 4.220 | 2.036 | 274 | 12.09 | 681 | 24.9 | 1.70 | 0.987 | 58.6 | 761 | 375 |
| 380 | 1.2869 | 1.049 | 1.337 | 2239 | 4.226 | 2.057 | 260 | 12.29 | 683 | 25.4 | 1.61 | 0.999 | 57.6 | 788 | 380 |
| 385 | 1.5233 | 1.053 | 1.142 | 2225 | 4.232 | 2.080 | 248 | 12.49 | 685 | 25.8 | 1.53 | 1.004 | 56.6 | 814 | 385 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-------|--------|------|-------|-------|-----|-------|-----|------|------|-------|------|------|--------------------|
| 390 | 1.794 | 1.058 | 0.980 | 2212 | 4.239 | 2.104 | 237 | 12.69 | 686 | 26.3 | 1.47 | 1.013 | 55.6 | 841 | 390 |
| 400 | 2.455 | 1.067 | 0.731 | 2183 | 4.256 | 2.158 | 217 | 13.05 | 688 | 27.2 | 1.34 | 1.033 | 53.6 | 896 | 400 |
| 410 | 3.302 | 1.077 | 0.553 | 2153 | 4.278 | 2.221 | 200 | 13.42 | 688 | 28.2 | 1.24 | 1.054 | 51.5 | 952 | 410 |
| 420 | 4.370 | 1.088 | 0.425 | 2123 | 4.302 | 2.291 | 185 | 13.79 | 688 | 29.8 | 1.16 | 1.075 | 49.4 | 1010 | 420 |
| 430 | 5.699 | 1.099 | 0.331 | 2091 | 4.331 | 2.369 | 173 | 14.14 | 685 | 30.4 | 1.09 | 1.10 | 47.2 | — | 430 |
| 440 | 7.333 | 1.110 | 0.261 | 2059 | 4.36 | 2.46 | 162 | 14.50 | 682 | 31.7 | 1.04 | 1.12 | 45.1 | — | 440 |
| 450 | 9.319 | 1.123 | 0.208 | 2024 | 4.40 | 2.56 | 152 | 14.85 | 678 | 33.1 | 0.99 | 1.14 | 42.9 | — | 450 |
| 460 | 11.71 | 1.137 | 0.167 | 1989 | 4.44 | 2.68 | 143 | 15.19 | 673 | 34.6 | 0.95 | 1.17 | 40.7 | — | 460 |
| 470 | 14.55 | 1.152 | 0.136 | 1951 | 4.48 | 2.79 | 136 | 15.54 | 667 | 36.3 | 0.92 | 1.20 | 38.5 | — | 470 |
| 480 | 17.90 | 1.167 | 0.111 | 1912 | 4.53 | 2.94 | 129 | 15.88 | 660 | 38.1 | 0.89 | 1.23 | 36.2 | — | 480 |
| 490 | 21.83 | 1.184 | 0.0922 | 1870 | 4.59 | 3.10 | 124 | 16.23 | 651 | 40.1 | 0.87 | 1.25 | 33.9 | — | 490 |
| 500 | 26.40 | 1.203 | 0.0766 | 1825 | 4.66 | 3.27 | 118 | 16.59 | 642 | 42.3 | 0.86 | 1.28 | 31.6 | — | 500 |
| 510 | 31.66 | 1.222 | 0.0631 | 1779 | 4.74 | 3.47 | 113 | 16.95 | 631 | 44.7 | 0.85 | 1.31 | 29.3 | — | 510 |
| 520 | 37.70 | 1.244 | 0.0525 | 1730 | 4.84 | 3.70 | 108 | 17.33 | 621 | 47.5 | 0.84 | 1.35 | 26.9 | — | 520 |
| 530 | 44.58 | 1.268 | 0.0445 | 1679 | 4.95 | 3.96 | 104 | 17.72 | 608 | 50.6 | 0.85 | 1.39 | 24.5 | — | 530 |
| 540 | 52.38 | 1.294 | 0.0375 | 1622 | 5.08 | 4.27 | 101 | 18.1 | 594 | 54.0 | 0.86 | 1.43 | 22.1 | — | 540 |
| 550 | 61.19 | 1.323 | 0.0317 | 1564 | 5.24 | 4.64 | 97 | 18.6 | 580 | 58.3 | 0.87 | 1.47 | 19.7 | — | 550 |
| 560 | 71.08 | 1.355 | 0.0269 | 1499 | 5.43 | 5.09 | 94 | 19.1 | 563 | 63.7 | 0.90 | 1.52 | 17.3 | — | 560 |
| 570 | 82.16 | 1.392 | 0.0228 | 1429 | 5.68 | 5.67 | 91 | 19.7 | 548 | 76.7 | 0.94 | 1.59 | 15.0 | — | 570 |
| 580 | 94.51 | 1.433 | 0.0193 | 1353 | 6.00 | 6.40 | 88 | 20.4 | 528 | 76.7 | 0.99 | 1.68 | 12.8 | — | 580 |
| 590 | 108.3 | 1.482 | 0.0163 | 1274 | 6.41 | 7.35 | 84 | 21.5 | 513 | 84.1 | 1.05 | 1.84 | 10.5 | — | 590 |
| 600 | 123.5 | 1.541 | 0.0137 | 1176 | 7.00 | 8.75 | 81 | 22.7 | 497 | 92.9 | 1.14 | 2.15 | 8.4 | — | 600 |
| 610 | 137.3 | 1.612 | 0.0115 | 1068 | 7.85 | 11.1 | 77 | 24.1 | 467 | 103 | 1.30 | 2.60 | 6.3 | — | 610 |
| 620 | 159.1 | 1.705 | 0.0094 | 941 | 9.35 | 15.4 | 72 | 25.9 | 444 | 114 | 1.52 | 3.46 | 4.5 | — | 620 |
| 625 | 169.1 | 1.778 | 0.0085 | 858 | 10.6 | 18.3 | 70 | 27.0 | 430 | 121 | 1.65 | 4.20 | 3.5 | — | 625 |
| 630 | 179.7 | 1.856 | 0.0075 | 781 | 12.6 | 22.1 | 67 | 28.0 | 412 | 130 | 2.0 | 4.8 | 2.6 | — | 630 |
| 635 | 190.9 | 1.935 | 0.0066 | 683 | 16.4 | 27.6 | 64 | 30.0 | 392 | 141 | 2.7 | 6.0 | 1.5 | — | 635 |
| 640 | 202.7 | 2.075 | 0.0057 | 560 | 26 | 42 | 59 | 32.0 | 367 | 155 | 4.2 | 9.6 | 0.8 | — | 640 |
| 645 | 215.2 | 2.351 | 0.0045 | 361 | 90 | — | 54 | 37.0 | 331 | 178 | 12 | 26 | 0.1 | — | 645 |
| 647.3 ^c | 221.2 | 3.170 | 0.0032 | 0 | ∞ | ∞ | 45 | 45.0 | 238 | 238 | ∞ | ∞ | 0.0 | — | 647.3 ^c |

^a Adaptada de la referencia 19.

^b 1 bar = 10⁵ N/m².

^c Temperatura crítica.

TABLA A-5

Agua saturada. Tabla de presiones

| Pres., <i>P</i> kPa | Temp. sat., <i>T</i> _{sat} °C | Volumen específico, m ³ /kg | | Energía interna, kJ/kg | | | Entalpía, kJ/kg | | | Entropía, kJ/kg · K | | |
|------------------------|--|---|---|---|----------------------------------|---|---|----------------------------------|---|---|----------------------------------|---|
| | | Líqu. sat., <i>v</i> _f | Vapor sat., <i>v</i> _g | Líqu. sat., <i>u</i> _f | Evap., <i>u</i> _{fg} | Vapor sat., <i>u</i> _g | Líqu. sat., <i>h</i> _f | Evap., <i>h</i> _{fg} | Vapor sat., <i>h</i> _g | Líqu. sat., <i>s</i> _f | Evap., <i>s</i> _{fg} | Vapor sat., <i>s</i> _g |
| 1.0 | 6.97 | 0.001000 | 129.19 | 29.302 | 2355.2 | 2384.5 | 29.303 | 2484.4 | 2513.7 | 0.1059 | 8.8690 | 8.9749 |
| 1.5 | 13.02 | 0.001001 | 87.964 | 54.686 | 2338.1 | 2392.8 | 54.688 | 2470.1 | 2524.7 | 0.1956 | 8.6314 | 8.8270 |
| 2.0 | 17.50 | 0.001001 | 66.990 | 73.431 | 2325.5 | 2398.9 | 73.433 | 2459.5 | 2532.9 | 0.2606 | 8.4621 | 8.7227 |
| 2.5 | 21.08 | 0.001002 | 54.242 | 88.422 | 2315.4 | 2403.8 | 88.424 | 2451.0 | 2539.4 | 0.3118 | 8.3302 | 8.6421 |
| 3.0 | 24.08 | 0.001003 | 45.654 | 100.98 | 2306.9 | 2407.9 | 100.98 | 2443.9 | 2544.8 | 0.3543 | 8.2222 | 8.5765 |
| 4.0 | 28.96 | 0.001004 | 34.791 | 121.39 | 2293.1 | 2414.5 | 121.39 | 2432.3 | 2553.7 | 0.4224 | 8.0510 | 8.4734 |
| 5.0 | 32.87 | 0.001005 | 28.185 | 137.75 | 2282.1 | 2419.8 | 137.75 | 2423.0 | 2560.7 | 0.4762 | 7.9176 | 8.3938 |
| 7.5 | 40.29 | 0.001008 | 19.233 | 168.74 | 2261.1 | 2429.8 | 168.75 | 2405.3 | 2574.0 | 0.5763 | 7.6738 | 8.2501 |
| 10 | 45.81 | 0.001010 | 14.670 | 191.79 | 2245.4 | 2437.2 | 191.81 | 2392.1 | 2583.9 | 0.6492 | 7.4996 | 8.1488 |
| 15 | 53.97 | 0.001014 | 10.020 | 225.93 | 2222.1 | 2448.0 | 225.94 | 2372.3 | 2598.3 | 0.7549 | 7.2522 | 8.0071 |
| 20 | 60.06 | 0.001017 | 7.6481 | 251.40 | 2204.6 | 2456.0 | 251.42 | 2357.5 | 2608.9 | 0.8320 | 7.0752 | 7.9073 |
| 25 | 64.96 | 0.001020 | 6.2034 | 271.93 | 2190.4 | 2462.4 | 271.96 | 2345.5 | 2617.5 | 0.8932 | 6.9370 | 7.8302 |
| 30 | 69.09 | 0.001022 | 5.2287 | 289.24 | 2178.5 | 2467.7 | 289.27 | 2335.3 | 2624.6 | 0.9441 | 6.8234 | 7.7675 |
| 40 | 75.86 | 0.001026 | 3.9933 | 317.58 | 2158.8 | 2476.3 | 317.62 | 2318.4 | 2636.1 | 1.0261 | 6.6430 | 7.6691 |
| 50 | 81.32 | 0.001030 | 3.2403 | 340.49 | 2142.7 | 2483.2 | 340.54 | 2304.7 | 2645.2 | 1.0912 | 6.5019 | 7.5931 |
| 75 | 91.76 | 0.001037 | 2.2172 | 384.36 | 2111.8 | 2496.1 | 384.44 | 2278.0 | 2662.4 | 1.2132 | 6.2426 | 7.4558 |
| 100 | 99.61 | 0.001043 | 1.6941 | 417.40 | 2088.2 | 2505.6 | 417.51 | 2257.5 | 2675.0 | 1.3028 | 6.0562 | 7.3589 |
| 101.325 | 99.97 | 0.001043 | 1.6734 | 418.95 | 2087.0 | 2506.0 | 419.06 | 2256.5 | 2675.6 | 1.3069 | 6.0476 | 7.3545 |
| 125 | 105.97 | 0.001048 | 1.3750 | 444.23 | 2068.8 | 2513.0 | 444.36 | 2240.6 | 2684.9 | 1.3741 | 5.9100 | 7.2841 |
| 150 | 111.35 | 0.001053 | 1.1594 | 466.97 | 2052.3 | 2519.2 | 467.13 | 2226.0 | 2693.1 | 1.4337 | 5.7894 | 7.2231 |
| 175 | 116.04 | 0.001057 | 1.0037 | 486.82 | 2037.7 | 2524.5 | 487.01 | 2213.1 | 2700.2 | 1.4850 | 5.6865 | 7.1716 |
| 200 | 120.21 | 0.001061 | 0.88578 | 504.50 | 2024.6 | 2529.1 | 504.71 | 2201.6 | 2706.3 | 1.5302 | 5.5968 | 7.1270 |
| 225 | 123.97 | 0.001064 | 0.79329 | 520.47 | 2012.7 | 2533.2 | 520.71 | 2191.0 | 2711.7 | 1.5706 | 5.5171 | 7.0877 |
| 250 | 127.41 | 0.001067 | 0.71873 | 535.08 | 2001.8 | 2536.8 | 535.35 | 2181.2 | 2716.5 | 1.6072 | 5.4453 | 7.0525 |
| 275 | 130.58 | 0.001070 | 0.65732 | 548.57 | 1991.6 | 2540.1 | 548.86 | 2172.0 | 2720.9 | 1.6408 | 5.3800 | 7.0207 |
| 300 | 133.52 | 0.001073 | 0.60582 | 561.11 | 1982.1 | 2543.2 | 561.43 | 2163.5 | 2724.9 | 1.6717 | 5.3200 | 6.9917 |
| 325 | 136.27 | 0.001076 | 0.56199 | 572.84 | 1973.1 | 2545.9 | 573.19 | 2155.4 | 2728.6 | 1.7005 | 5.2645 | 6.9650 |
| 350 | 138.86 | 0.001079 | 0.52422 | 583.89 | 1964.6 | 2548.5 | 584.26 | 2147.7 | 2732.0 | 1.7274 | 5.2128 | 6.9402 |
| 375 | 141.30 | 0.001081 | 0.49133 | 594.32 | 1956.6 | 2550.9 | 594.73 | 2140.4 | 2735.1 | 1.7526 | 5.1645 | 6.9171 |
| 400 | 143.61 | 0.001084 | 0.46242 | 604.22 | 1948.9 | 2553.1 | 604.66 | 2133.4 | 2738.1 | 1.7765 | 5.1191 | 6.8955 |
| 450 | 147.90 | 0.001088 | 0.41392 | 622.65 | 1934.5 | 2557.1 | 623.14 | 2120.3 | 2743.4 | 1.8205 | 5.0356 | 6.8561 |
| 500 | 151.83 | 0.001093 | 0.37483 | 639.54 | 1921.2 | 2560.7 | 640.09 | 2108.0 | 2748.1 | 1.8604 | 4.9603 | 6.8207 |
| 550 | 155.46 | 0.001097 | 0.34261 | 655.16 | 1908.8 | 2563.9 | 655.77 | 2096.6 | 2752.4 | 1.8970 | 4.8916 | 6.7886 |
| 600 | 158.83 | 0.001101 | 0.31560 | 669.72 | 1897.1 | 2566.8 | 670.38 | 2085.8 | 2756.2 | 1.9308 | 4.8285 | 6.7593 |
| 650 | 161.98 | 0.001104 | 0.29260 | 683.37 | 1886.1 | 2569.4 | 684.08 | 2075.5 | 2759.6 | 1.9623 | 4.7699 | 6.7322 |
| 700 | 164.95 | 0.001108 | 0.27278 | 696.23 | 1875.6 | 2571.8 | 697.00 | 2065.8 | 2762.8 | 1.9918 | 4.7153 | 6.7071 |
| 750 | 167.75 | 0.001111 | 0.25552 | 708.40 | 1865.6 | 2574.0 | 709.24 | 2056.4 | 2765.7 | 2.0195 | 4.6642 | 6.6837 |

Rego® High Pressure Industrial Regulators

597 Series

597 Series

Application

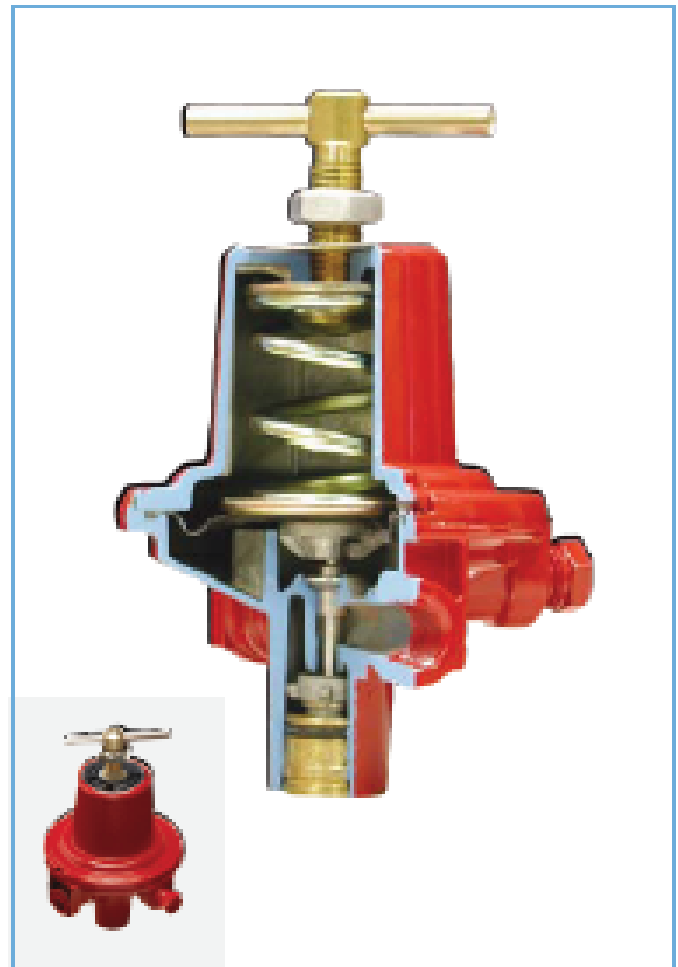
Designed to reduce LP-Gas container pressure down to between 0,1 bar and 7,0 bar. Ideal for liquid or vapour service, they can be used in a variety of applications including salamander heaters, weed burning torches, fish cookers, tar pot heaters, and other industrial type services.



Are in accordance with the requirements of Directive 97/23/EC for pressure equipment. But being pressure equipment equal or below the limits in section 1.1, 1.2 and 1.3 of Article 3 are stated to be designed and manufactured with the sound engineering practice of a Member State in order to ensure safe use. 597 series are UL approved.

Materials

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| Body | Zinc |
| Bonnet | Zinc |
| Springs | Steel |
| Valve Seat Discs | Resilient Rubber |
| Diaphragm | Integrated Fabric & Synthetic Rubber |
| Adjusting Screw | Brass |



Ordering Information

| Part Number | Adjustment Method | Inlet Connection | Outlet Connection | Recommended Delivery Pressure range in bar | Capacity Determined at Set pressure of bar * | Approximate Capacity Propane ** |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------|--|--|---------------------------------|
| 597FA | Tea Handle | 1/4" FNPT | 1/4" FNPT | 0,1 - 1,0 | 0,7 | 37 kg/h |
| 597FB | Tea Handle | 1/4" FNPT | 1/4" FNPT | 0,7 - 2,0 | 1,4 | 63 kg/h |
| 597FC | Tea Handle | 1/4" FNPT | 1/4" FNPT | 1,4 - 3,0 | 2,0 | 73 kg/h |
| 597FD | Tea Handle | 1/4" FNPT | 1/4" FNPT | 2,8 - 7,0 | 2,8 | 94 kg/h |

* Set pressure established at 7,0 bar inlet and a flow of 5,0 kg/h

** Capacity determined at actual delivery pressure 20% less than set pressure with inlet pressure 1,4 bar higher than the set pressure



REGO GmbH - Distribution Center Europe
 Industriestrasse 9, D-35075 Gladenbach, Germany
 Phone +49 (0)6462-9147-0, Fax -9147-29
 info@rego-europe.de · www.rego-europe.de

High Pressure Industrial Regulator 597 Series

597 Series

Application

Designed to reduce LP-Gas container pressure down to between 0.2 bar and 7,0 bar. Ideal for liquid or vapour service, they can be used in a variety of applications including salamander heaters, weed burning torches, fish cookers, tar pot heaters, and other industrial type services.



Are in accordance with the requirements of Directive 97/23/EC for pressure equipment.

But being pressure equipment equal or below the limits in section 1.1, 1.2 and 1.3 of Article 3 are stated to be designed and manufactured with the sound engineering practice of a Member State in order to ensure safe use. 597 series are UL approved

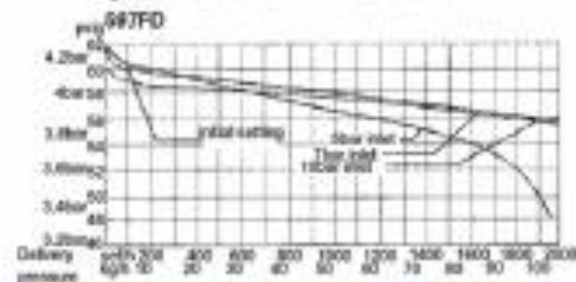
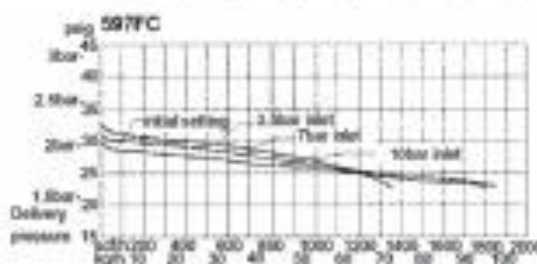
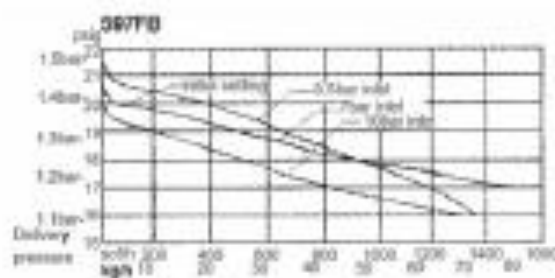
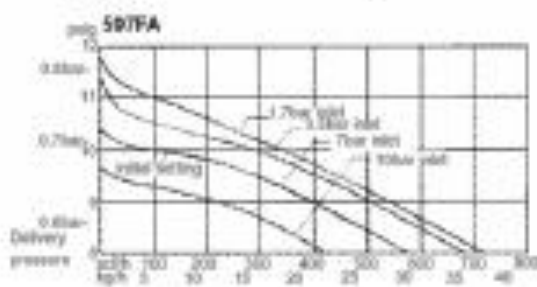


Ordering Information

| Part Number | Adjustment Method | Inlet Connection | Outlet Connection | Recommended Delivery Pressure range in bar | Capacity Determined at Set pressure of bar * | Approximate Capacity Propane ** |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------|--|--|---------------------------------|
| 597FA | Tea Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 0,1 - 1,0 | 0,7 | 37 kg/h |
| 597FB | Tea Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 0,7 - 2,0 | 1,4 | 63 kg/h |
| 597FC | Tea Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 1,4 - 3,0 | 2,0 | 73 kg/h |
| 597FD | Tea Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 2,8 - 7,0 | 2,8 | 94 kg/h |

* Set pressure established at 7,0 bar inlet and a flow of 5,0 kg/h

** Capacity determined at actual delivery pressure 20% less than set pressure with inlet pressure 1,4 bar higher than the set pressure



REGO
EUROPE

REGO GmbH - Distribution Center Europe
 Industriestrasse 9, D-35075 Gladenbach, Germany
 Phone +49 (0)6462-9147-0, Fax -9147-29
 info@rego-europe.de · www.rego-europe.de

- Controles de bajo nivel:

Electrónicos
Tipo Flotador

Serie 94/194

Presiones de operación hasta 250 psi (10.5 kg/cm²)

Usado para operar una bomba y mantener el nivel del agua en la caldera

Serie 21

Máxima presión de suministro de agua 150 psi

Máxima temperatura del agua de entrada de 49° C

Máxima presión de 35 psi buque (2.5 kg/cm²)

Serie 150S/157S/

Presiones de operación hasta 150 psi

Usado para operar una bomba y mantener el nivel de agua en la caldera

- Combinación de control de nivel/bomba controles para calderas
- Alimentadores de agua
- Válvulas
- Controles de nivel de líquido
- Interruptores de flujo líquido Interruptores de flujo de aire
- Flotadores

- Medidores de nivel



FUENTE:

http://www.dominion.com.mx/web/index.php?option=com_content&view=article&id=143&Itemid=157

Histórico de Precios

Precios por Sector

Precios Nacionales

Precios Internacionales

Clientes Aerocombustibles

Precios en Terminal - Distribuido por sectores

Sector: Sector Automotriz

Sector: Naviero

Sector: Pesca Artesanal

Sector: Petrolero Minero

Sector: Eléctrico

Sector: Aerocombustibles

Sector: Industrial

Sector: GLP

Vigencia: DEL 31 DE MARZO AL 06 DE ABRIL DE 2011

| Gas Licuado de Petróleo | Precios USD/Kg | Decreto Ejecutivo 338 |
|-------------------------|----------------|-----------------------|
| GLP Doméstico | 0.10667 | Art. 9 |
| GLP Vehicular | 0.188384 | Art. 10 |
| GLP Agroindustrial | 0.188384 | Art. 10 |
| GLP Industrial | 0.82950112 | Art. 09 |

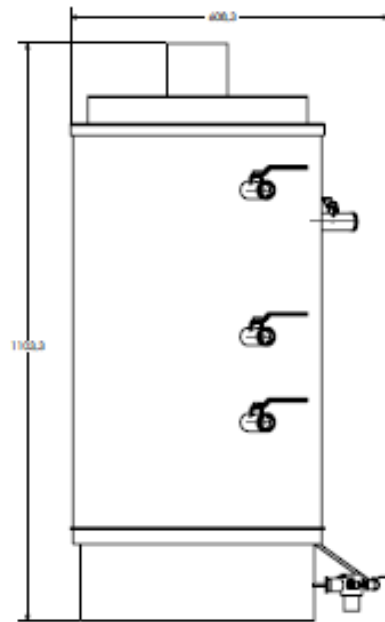
FUENTE:

[http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwN3dz9zA08LVx_noFBzY3cjA6B8pFm8n79RqJuJp6GhhZmroYGRmYeJk0-Yp4G7izEB3eEg-_DrB8kb4ACOBvp-Hvm5qfoFuREGWSaOigBWkduq/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVVB NUTFGSDIwTzcmDBJNEFQQzQzQTMwSTY!/">http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwN3dz9zA08LVx_noFBzY3cjA6B8pFm8n79RqJuJp6GhhZmroYGRmYeJk0-Yp4G7izEB3eEg-_DrB8kb4ACOBvp-Hvm5qfoFuREGWSaOigBWkduq/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVVB NUTFGSDIwTzcmDBJNEFQQzQzQTMwSTY!/](http://www.petrocomercial.com/wps/portal!/ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_jQAN9AQzcPIwN3dz9zA08LVx_noFBzY3cjA6B8pFm8n79RqJuJp6GhhZmroYGRmYeJk0-Yp4G7izEB3eEg-_DrB8kb4ACOBvp-Hvm5qfoFuREGWSaOigBWkduq/dl2/d1/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnB3LzZfVVB NUTFGSDIwTzcmDBJNEFQQzQzQTMwSTY!/)

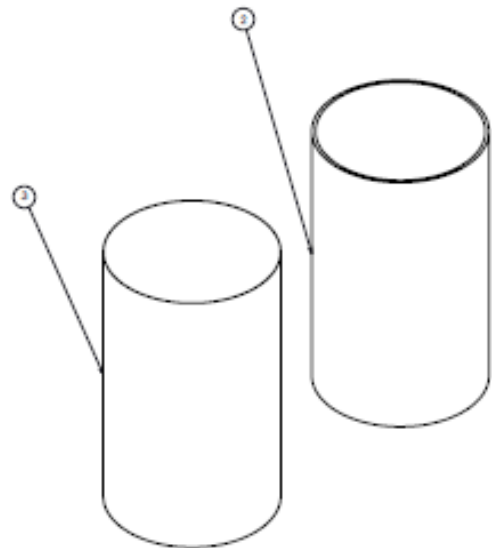
CALDERIN DE 2 BHP

-LABEG 1-

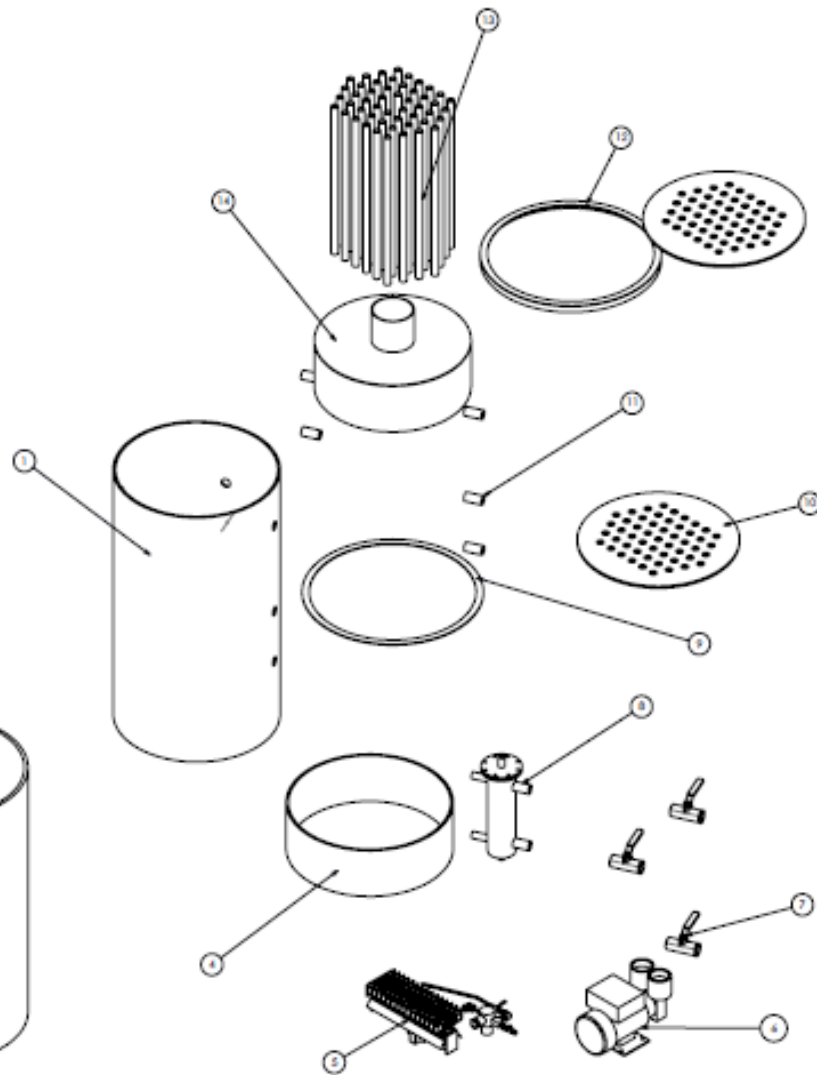




CONJUNTO ARMADO
ESCALA 1:5



NOTA: Por situaciones prácticas de montaje se recomienda:
1. Colocar y soldar los espejos en su posición respectiva.
2. Se procede a ubicar y soldar los tubos de fuego.



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CALDERÍN

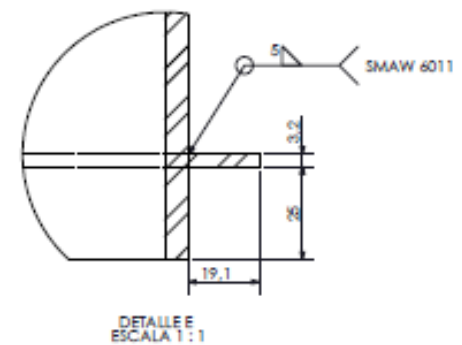
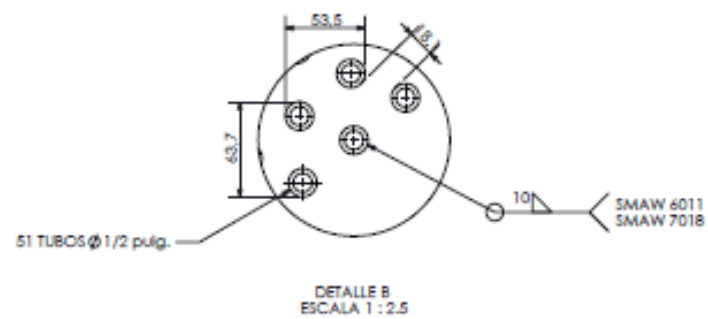
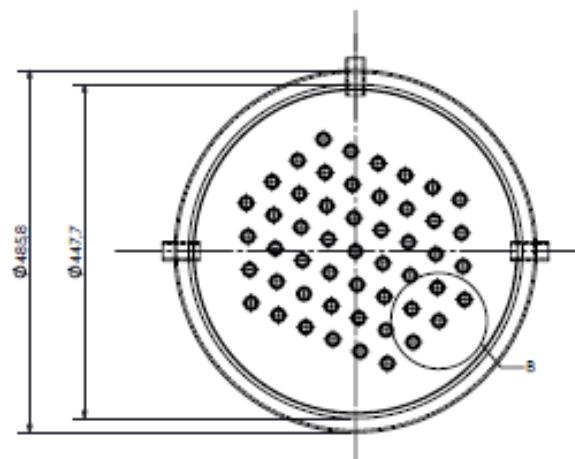
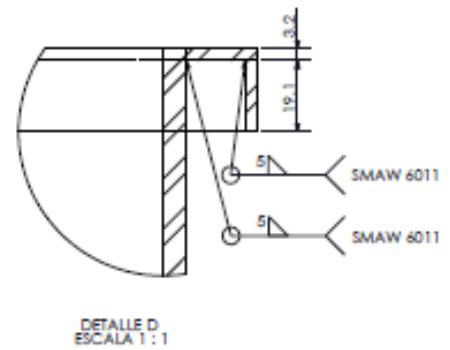
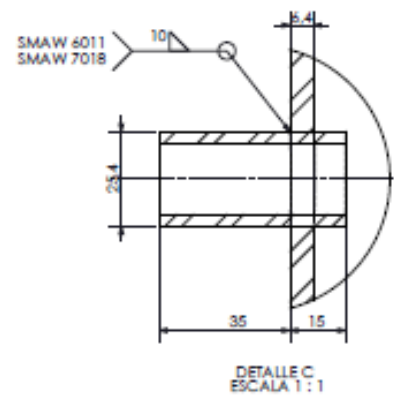
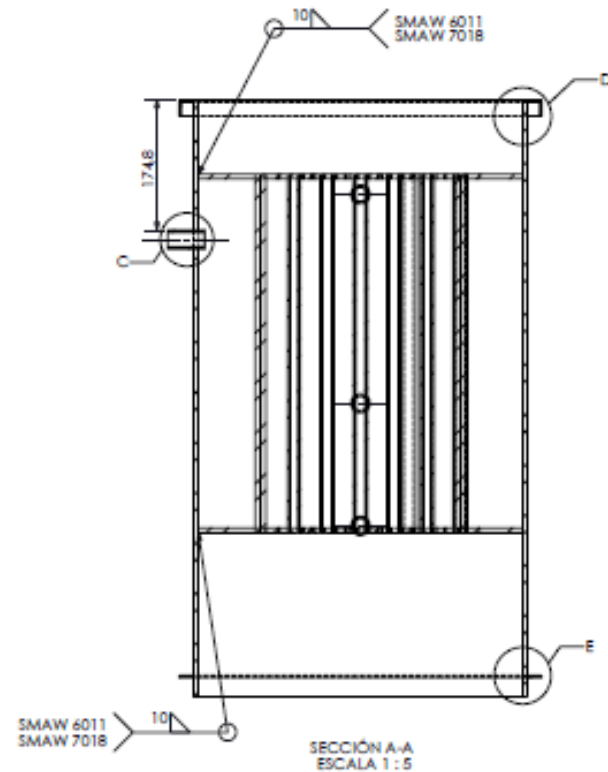
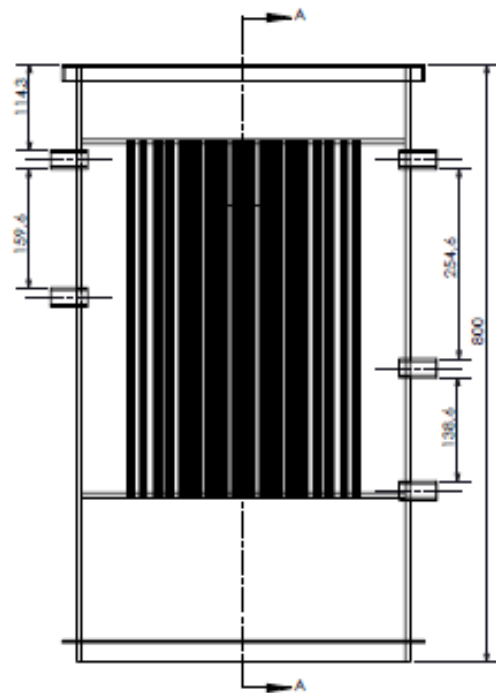
| PARÁMETRO | VALOR |
|--|------------|
| Calentamiento Generado | 2.3 HP |
| Presión de diseño | 44 PSI |
| Presión de trabajo | 34 PSI |
| Presión de la bomba de alimentación | 27.2 PSI |
| Flujo de vapor | 0.7 MPM |
| Flujo de transferencia de calor | 1.706 cal |
| Temperatura de inicio del agua | 20 °C |
| Temperatura de final del agua | 120 °C |
| Temperatura de inicio de los gases de combustión | 1325.33 °C |
| Temperatura de final de los gases de combustión | 125 °C |
| Longitud del cámara de combustión | 0.30 m |
| Diámetro de la cámara de combustión | 0.432 m |
| Número de tubos | 31 |
| Altura de los tubos de fuego | 0.48 m |
| Diámetro de los tubos de fuego | 1/2 pulg |
| Diámetro de los espejos | 0.432 m |
| Altura de la chimenea | 0.37 m |
| Diámetro de la chimenea | 0.11 m |
| Resistencia de los gases de escape | 1.4 INWG |
| Altura total del calderín | 1.10 m |
| Potencia de la bomba | 0.75 HP |

| Item | Descripción | Material | Cant. | Unid. | Observaciones |
|--------------|--------------------------|---------------------------|--------|-------|-----------------|
| 1 | Chimenea | Acero AISI 304 | 2 | 1 | anchura 178 |
| 2 | Tubo de fuego | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 31 | 486-496x4 |
| 3 | Anillo soldador superior | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 1 | 214 x 7.525 |
| 4 | Resaca | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 4 | 30mm x 1" |
| 5 | Espejo o mamparo | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 2 | anchura 178 |
| 6 | Anillo soldador inferior | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 1 | 1" x 3/8" |
| 7 | Nivel de control de agua | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 1 | submonte 14" |
| 8 | Clave de bola | Acero al Carbono | 4 | 4 | 3/4" |
| 9 | Bomba de agua | Wetter Colado | 1 | 1 | 0.75 HP |
| 10 | Fluviómetro | Acero inoxidable AISI 304 | 1 | 1 | caudales 11 lit |
| 11 | Esca de calderín | Acero AISI 304-3/8 | 2 | 1 | 16mm x 0.2m |
| 12 | Carrito de acero inox. | Acero inox. AISI 304 | 1 | 1 | 1m x 10cm |
| 13 | Recipiente superior | Acero al Carbono | 1 | 1 | 16mm x 16cm |
| 14 | Carrito principal | Acero AISI 304-3/8 | 1 | 1 | 16mm x 11 cm |
| Denominación | | Acetal | Nº. DE | 22 | Observaciones |

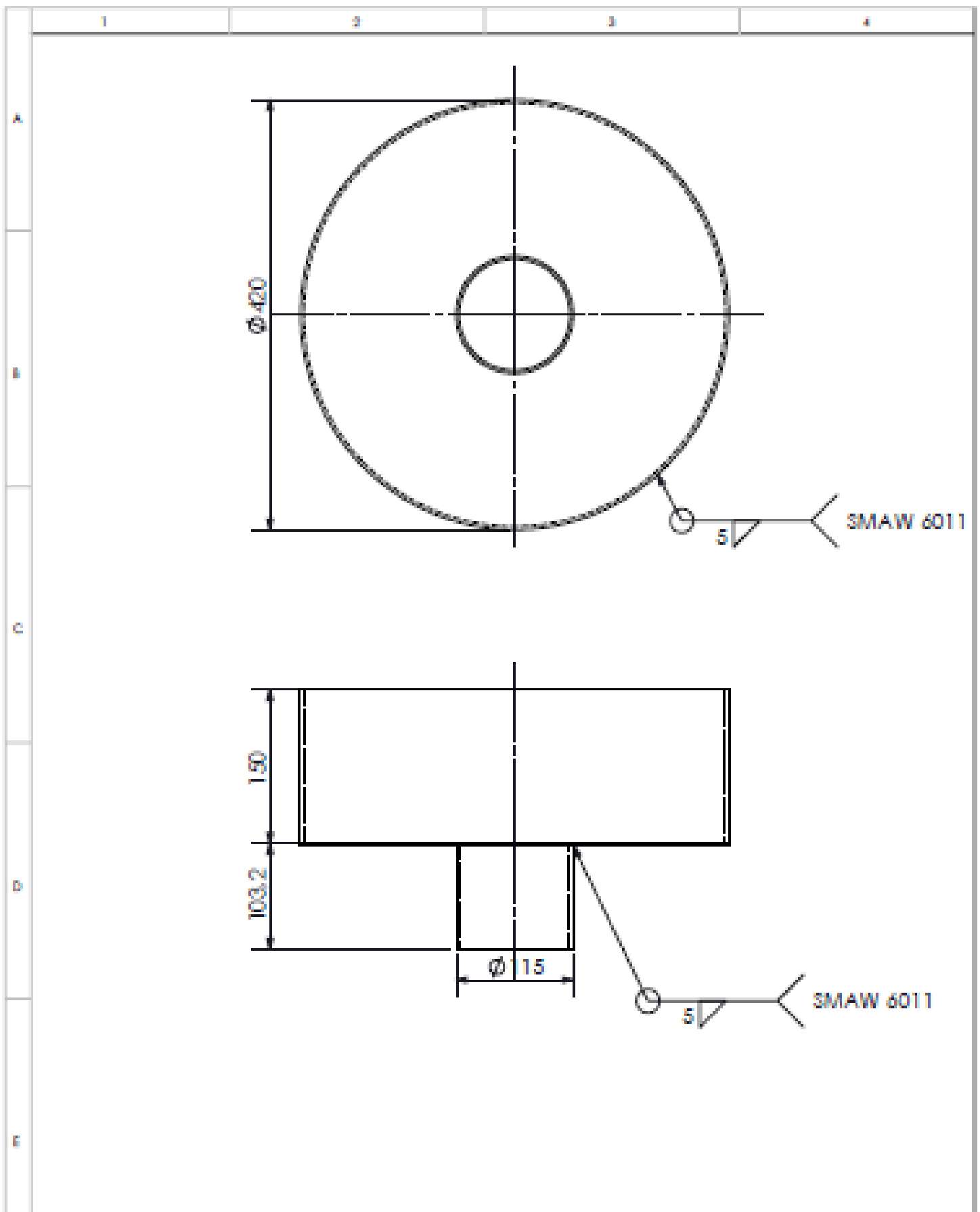
| Tolerancia | Peso | Material | Fecha | Estado |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------|-----------|
| | 141.44 kg | | | |
| Elaborado por: | Revisado por: | Verificado por: | Fecha: | Estado: |
| Elaborado por: J. A. López | Revisado por: J. A. López | Verificado por: J. A. López | Fecha: | Estado: |
| S.T.A. Ingeniería Mecánica | | | | Proyecto: |
| | | | | 001 |
| Dibujante: | | | | |

CALDERIN -LABEG 1-
(VISTA EXPLORADA)

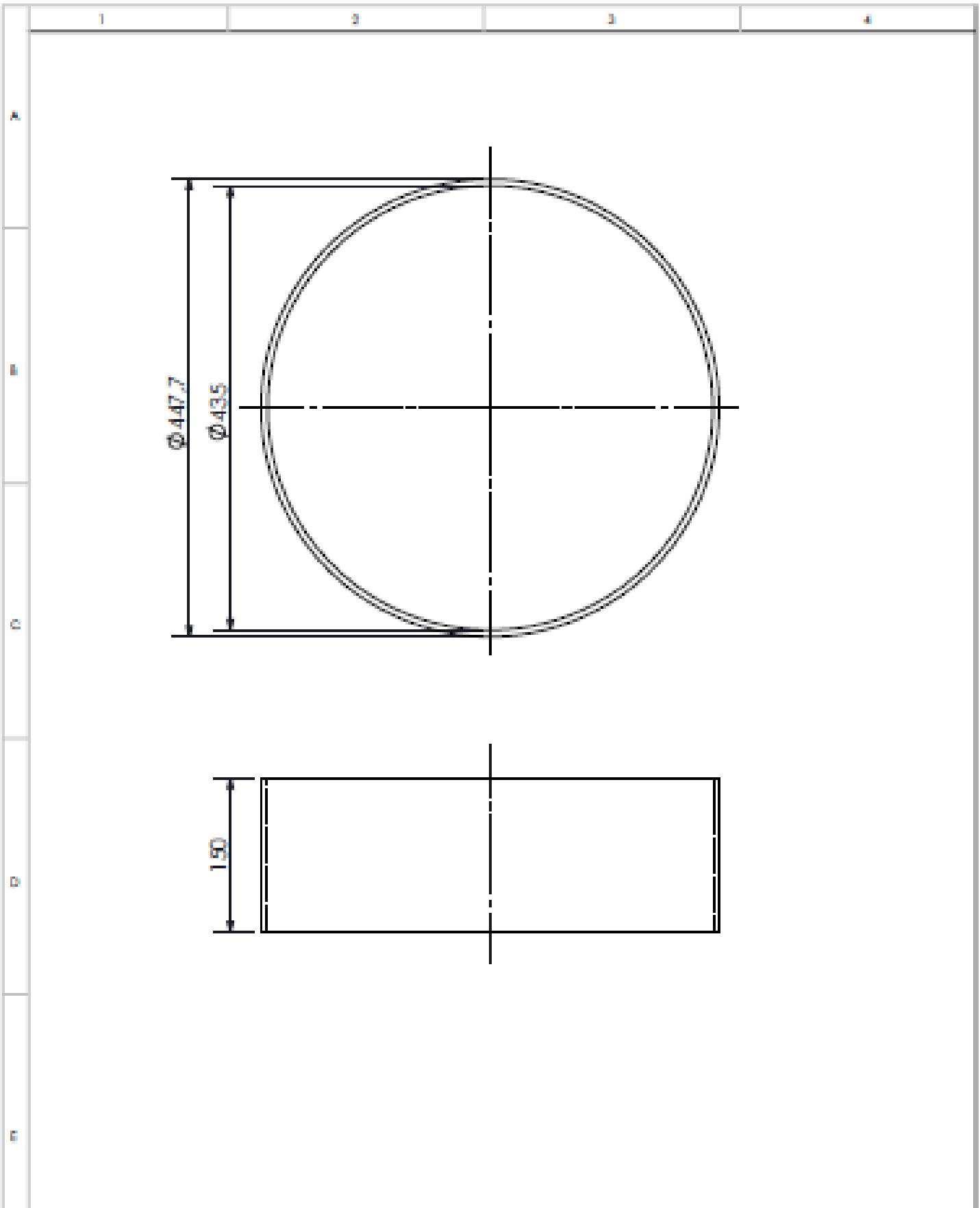




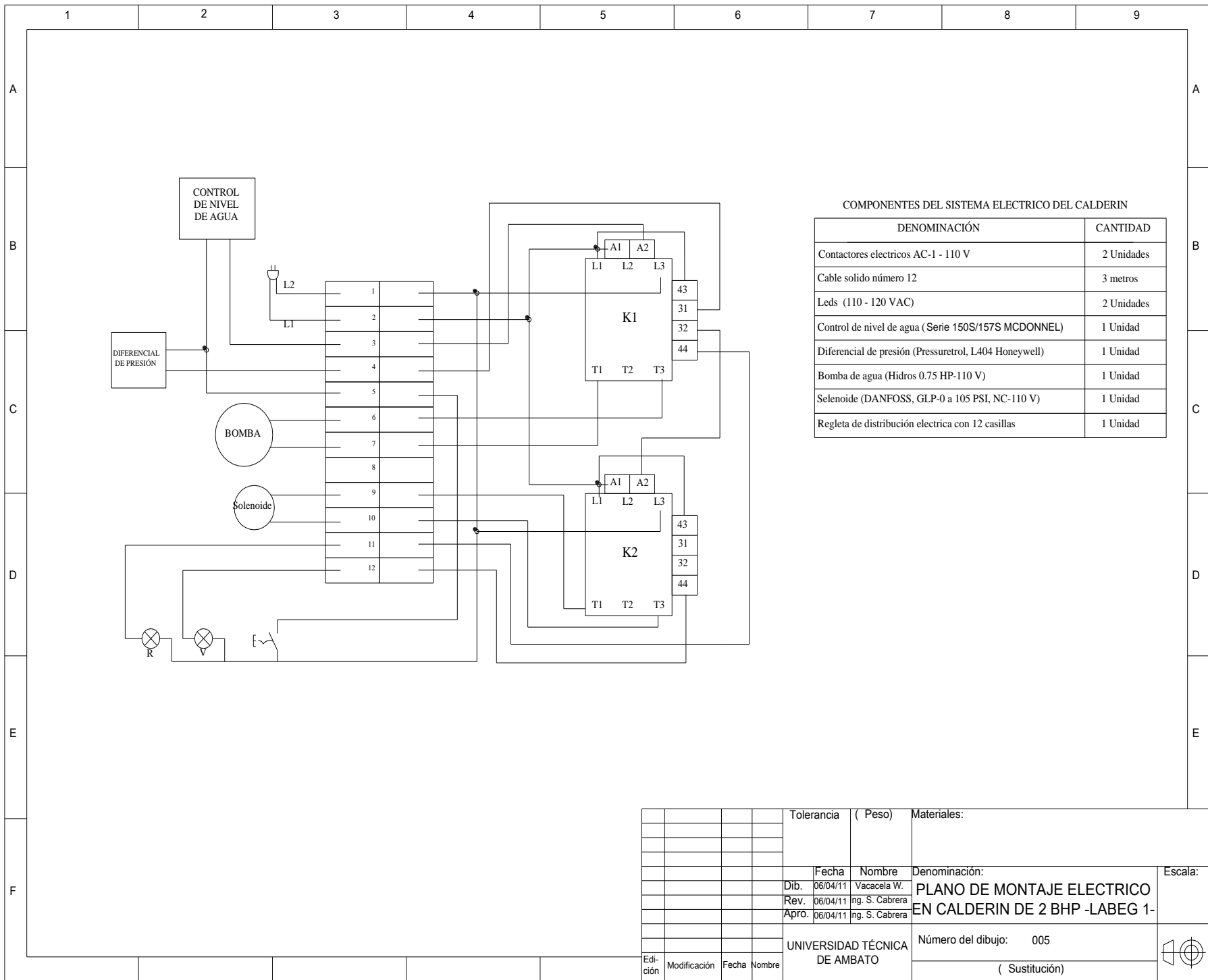
| | | | |
|---------------------|------------------|------------------------------------|----------|
| Tolerancias | Peso | Materiales | |
| | 104.26 Kg | Acero ASTM A-53 (Cuerpo y espejos) | |
| | | Acero ASTM A-156 (Tubos de fuego) | |
| Fecha | Nombre | Dibujos | Escala |
| 02-02-11 | M. VILLACORTES | CUERPO CALDERIN - LABEG 1- | 1:5 |
| Revisión | Fig. 1. Calderin | | |
| Aprobación | Fig. 1. Calderin | | |
| U.T.A. | | Número de Lámina | Registro |
| Ingeniería Mecánica | | 002 | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Revisión |
| | | | |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|----------|---------------------------------------|---------|
| | | | | TOLERANCIA: | PREC: | MATERIAL: | |
| | | | | | 4.73 Kg | LAMINA DE ACERO ASTM A-36 (1/8 pulg). | |
| | | | | | | | |
| | | | | FECHA: | NOMBRE: | TITULO: | ESCALA: |
| | | | | DISSUO: | 05-04-11 | W. Vocacela | 1:5 |
| | | | | REVISO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | |
| | | | | APROBO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | |
| | | | | U.T.A. | | NUMERO DE LAMINA: | 003 |
| | | | | INGENIERIA MECANICA | | SUSTITUCION: | |
| EDICION | MODIFICACION | FECHA | NOMBRE | | | | |



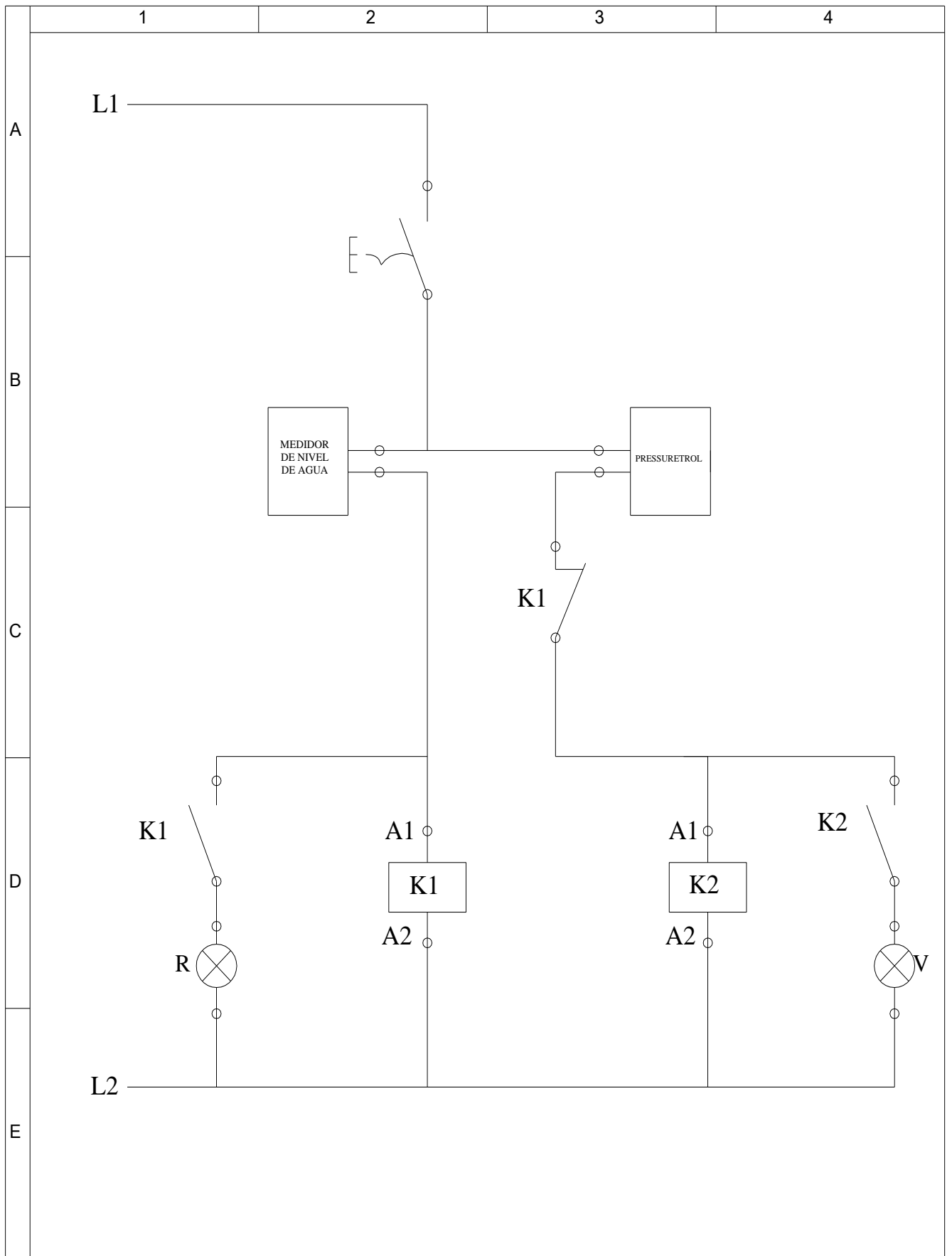
| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|-----------------|-----------------------------|---------|
| | | | | TOLERANCIA | REQ: | MATERIAL: | |
| | | | | | 3.63 Kg | ACERO ASME A36 | |
| | | | | FECHA: | NOMBRE: | TITULO: | ESCALA: |
| | | | | DISEÑO: 05-04-11 | W. Vozicobello | BASE DEL CALDERIN -LABEG 1- | 1:5 |
| | | | | REVISO: 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | APROBO: 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | U.T.A. | | NUMERO DE LAMINA: | 004 |
| REVISOR | MODIFICACION | FECHA | NOMBRE | INGENIERIA MECANICA | | SUSTITUCION: | |




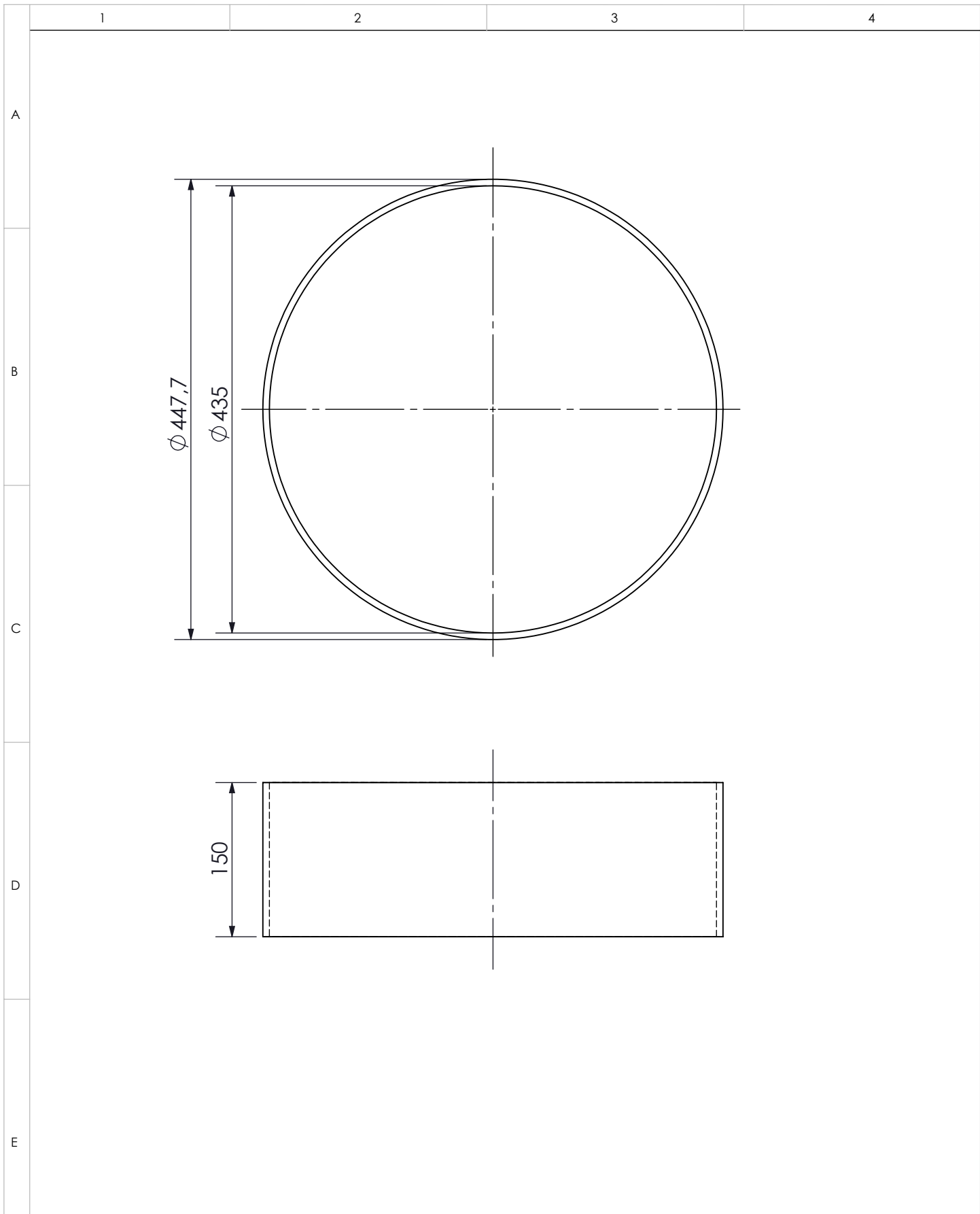
COMPONENTES DEL SISTEMA ELECTRICO DEL CALDERIN

| DENOMINACIÓN | CANTIDAD |
|---|------------|
| Contactores electricos AC-1 - 110 V | 2 Unidades |
| Cable solido número 12 | 3 metros |
| Leds (110 - 120 VAC) | 2 Unidades |
| Control de nivel de agua (Serie 150S/157S MCDONNEL) | 1 Unidad |
| Diferencial de presión (Pressuretrol, L404 Honeywell) | 1 Unidad |
| Bomba de agua (Hidros 0.75 HP-110 V) | 1 Unidad |
| Selenoide (DANFOSS, GLP-0 a 105 PSI, NC-110 V) | 1 Unidad |
| Regleta de distribución electrica con 12 casillas | 1 Unidad |

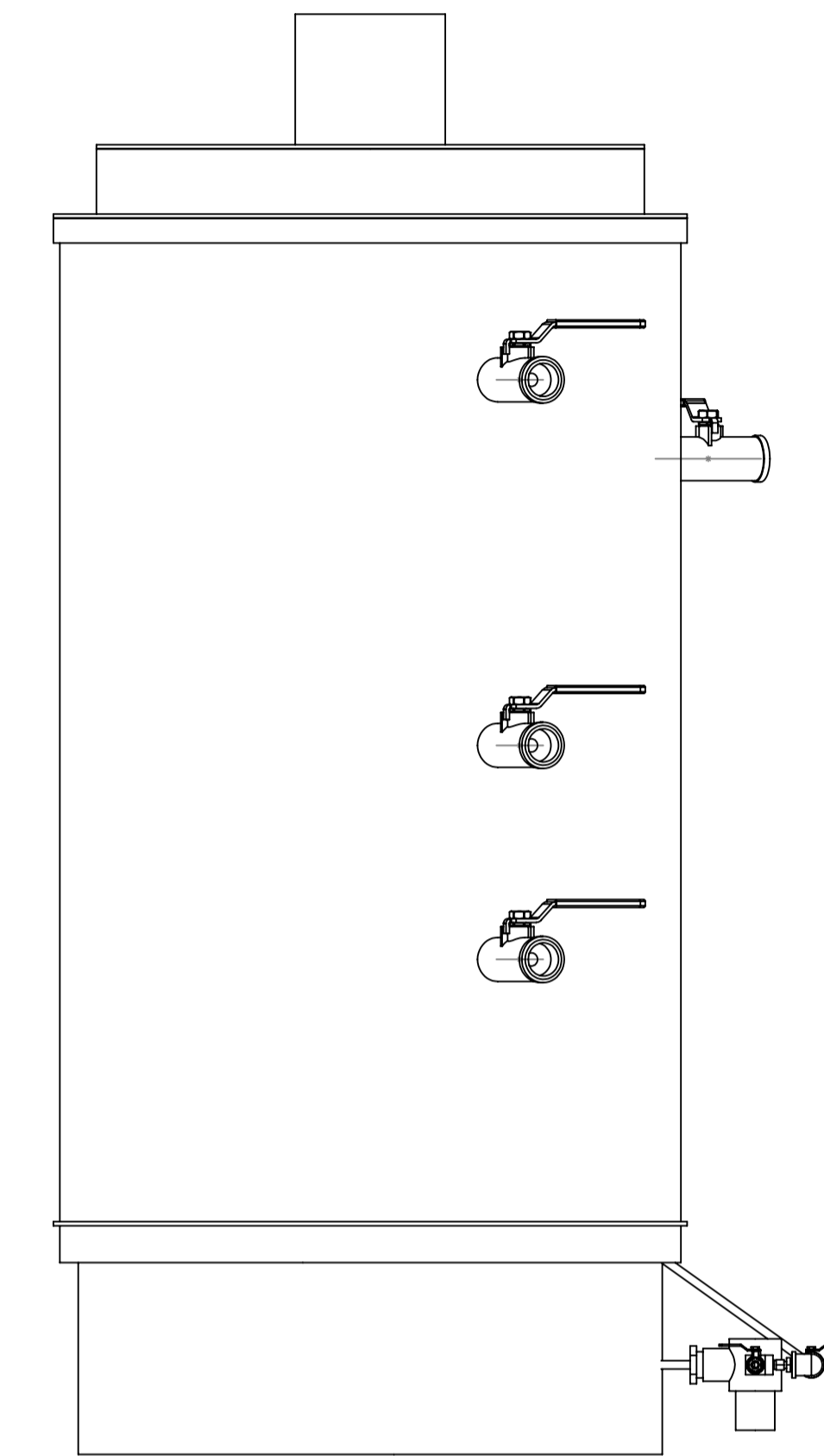
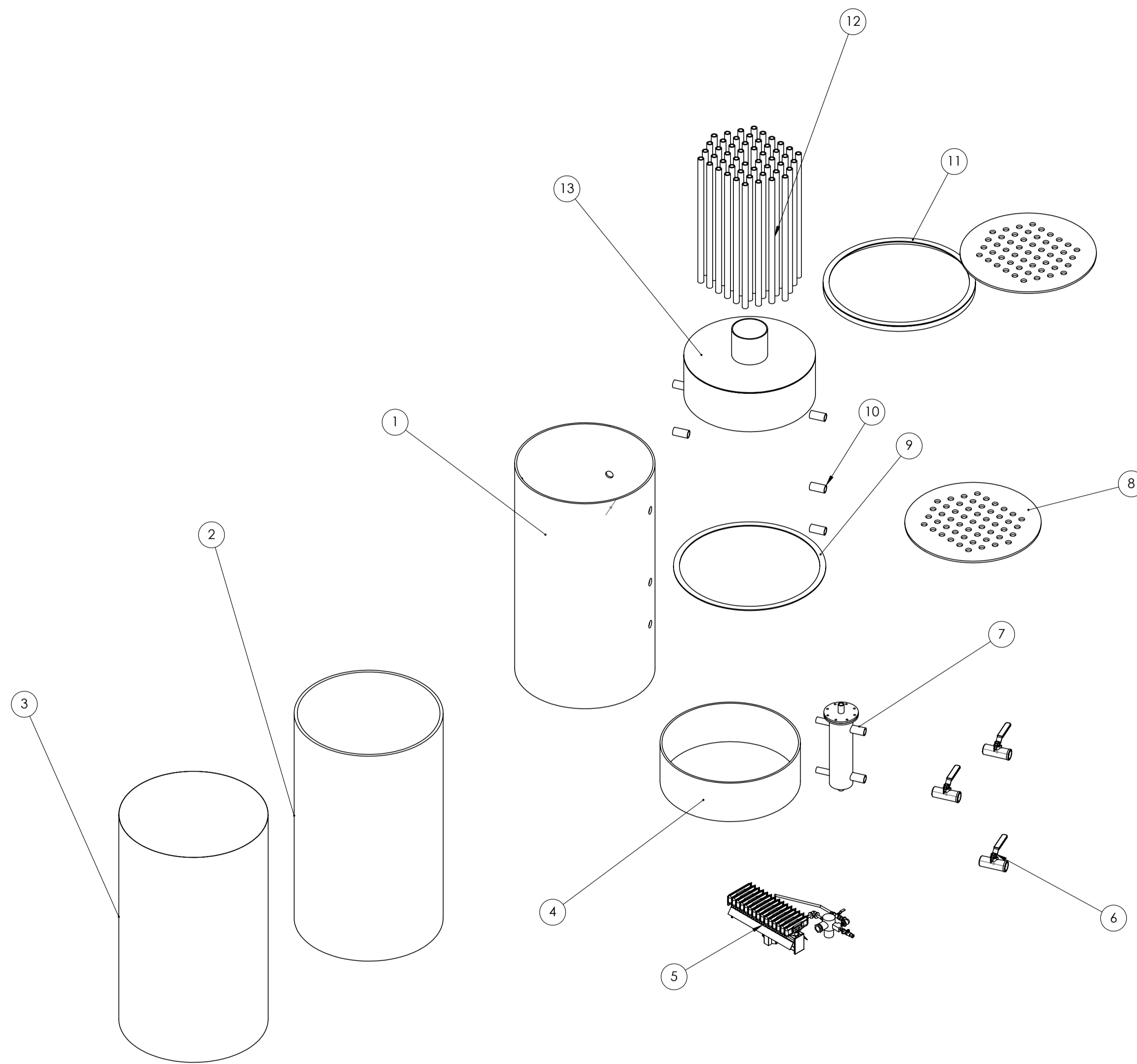
| | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|----------------------------------|-----------------|--|---------|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dib. 06/04/11 | Vacacela W. | PLANO DE MONTAJE ELECTRICO EN CALDERIN DE 2 BHP -LABEG 1- | |
| | | | | Rev. 06/04/11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | Apro. 06/04/11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | | | Número del dibujo: 005 | |
| | | | | | | (Sustitución) | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |



| | | | | | | | |
|--------------|--------------|-------|--------|----------------------------------|-----------------|--|---|
| | | | | Tolerancia | (Peso) | Materiales: | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | Fecha | Nombre | Denominación: | Escala: |
| | | | | Dib. 06/04/11 | Vacacela W. | PLANO ELECTRICO DE MANDO EN CALDERIN DE 2 BHP -LABEG 1- | |
| | | | | Rev. 06/04/11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | Apro. 06/04/11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | Número del dibujo: 006 |  |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre | | | (Sustitución) | |



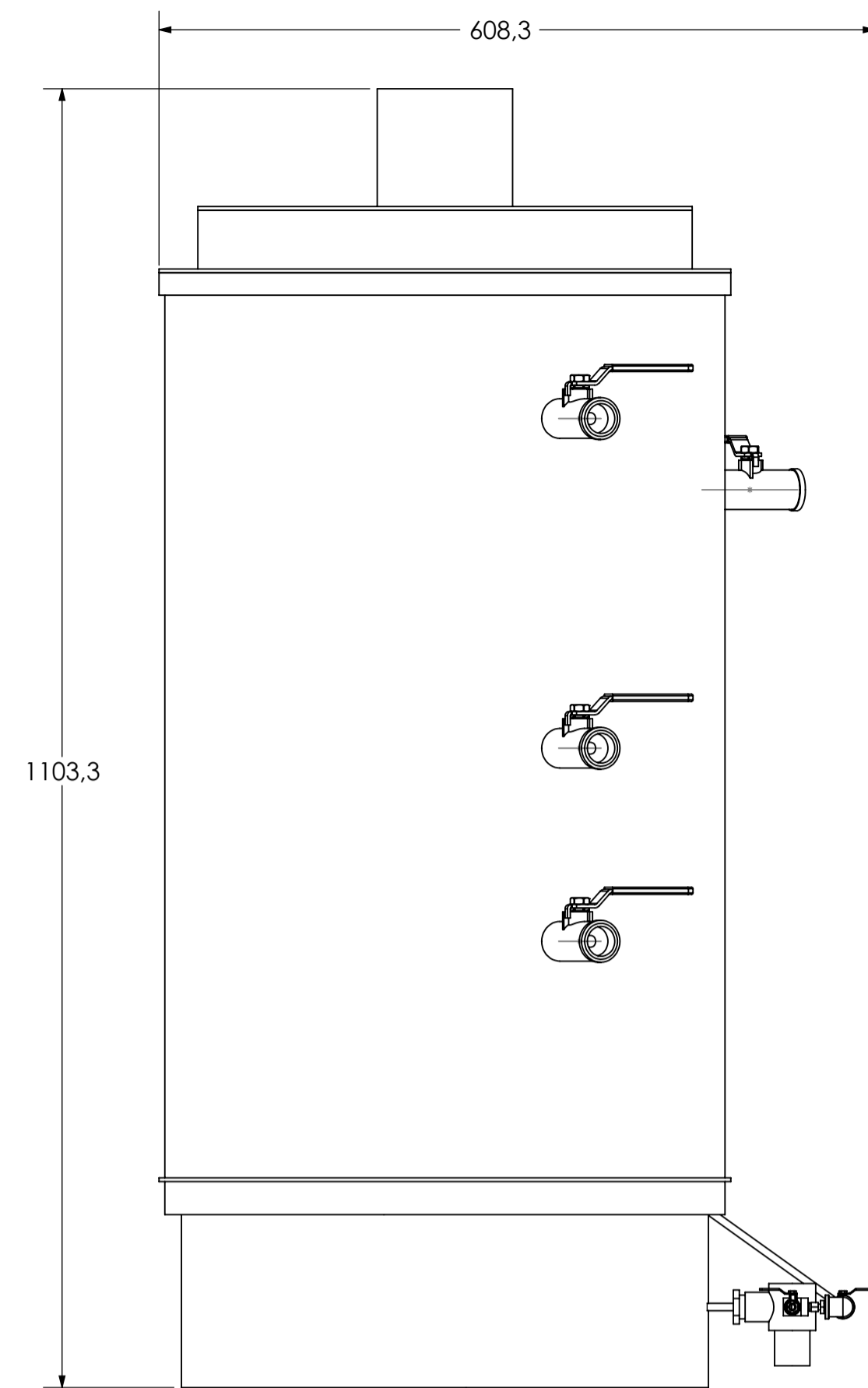
| | | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|----------|--------------------|-----------------------------|---------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | | |
| | | | | | 3.63 Kg | ACERO ASME A36 | | |
| | | | | | FECHA: | NOMBRE: | TITULO: | ESCALA: |
| | | | | DIBUJO: | 05-04-11 | W. Vacacela | BASE DEL CALDERIN -LABEG 1- | 1:5 |
| | | | | REVISO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | APROBO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| | | | | U.T.A. | | NUMERO DE LAMINA:. | 004 | |
| EDICIÓN | MODIFICACIÓN | FECHA | NOMBRE | INGENIERIA MECANICA | | SUSTITUCION: | | |



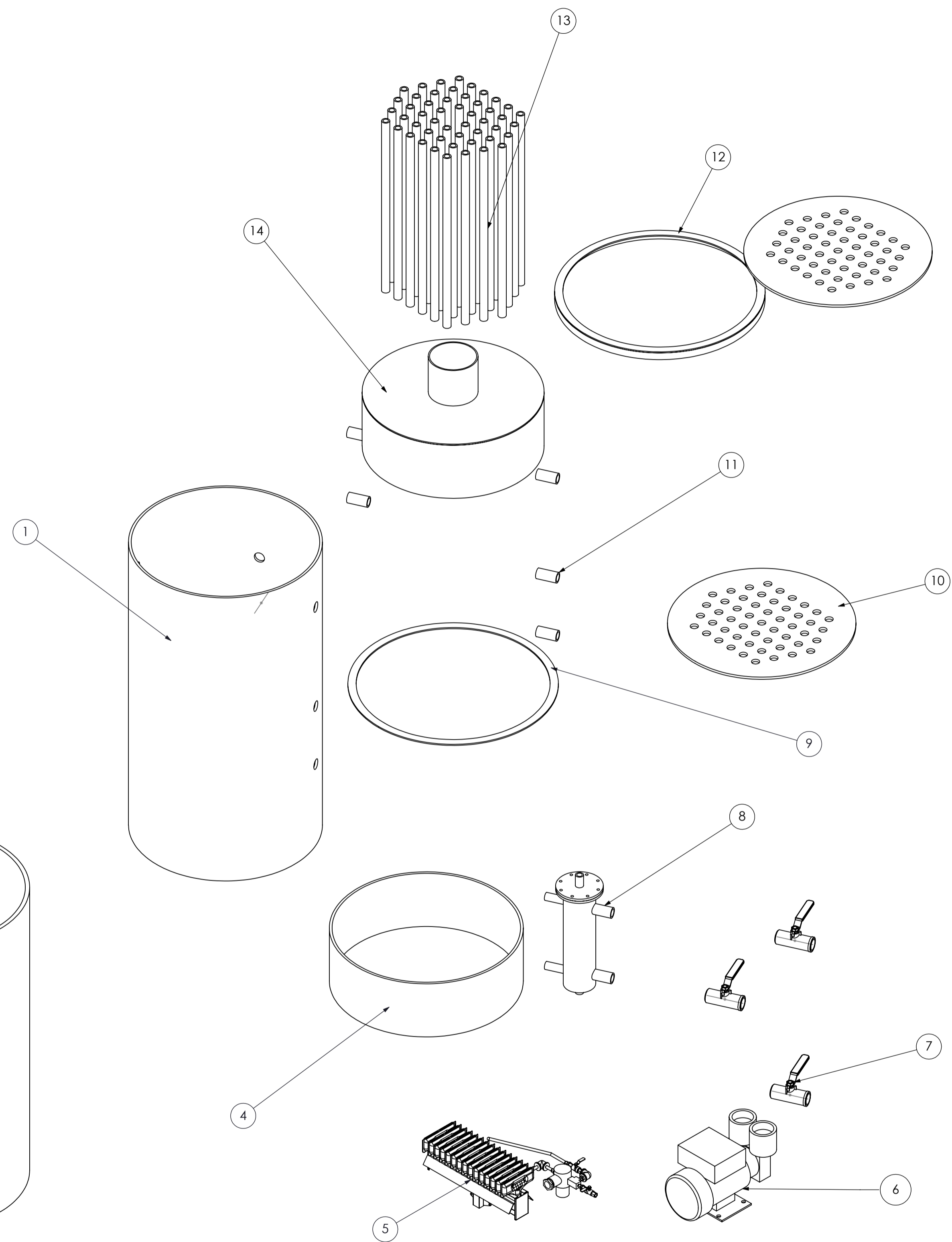
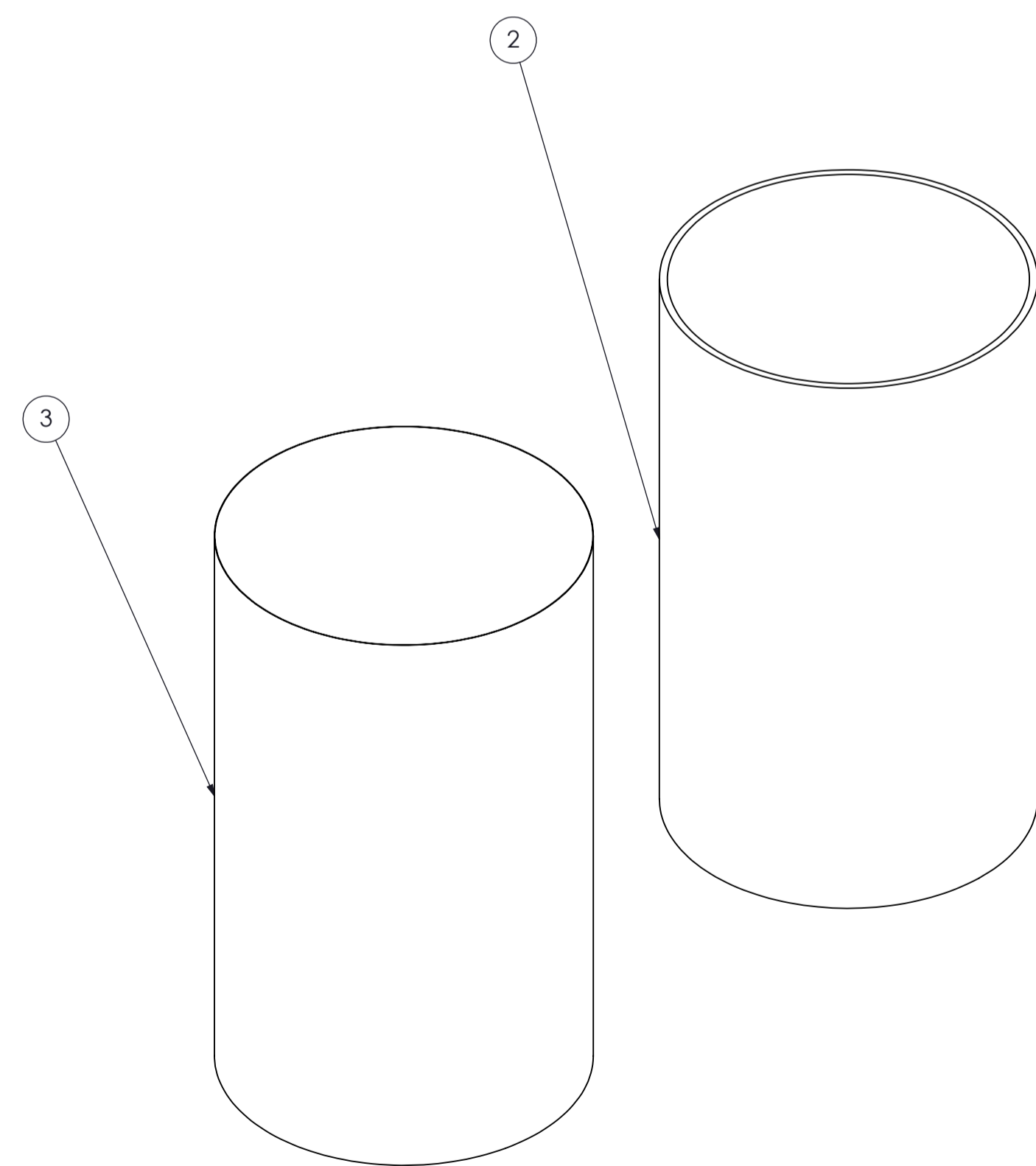
CONJUNTO ARMADO
ESCALA 1:5

| No. | Denominación | No. de dibujo | Material | No. de piezas | Peso (kg) | Observaciones |
|-----|---------------------------|---------------|---------------------------|---------------|-----------|----------------------|
| 13 | Chimenea | 2 | Acero ASME A36 | 1 | | plancha 1/8" |
| 12 | Tubo de fuego | 1 | Acero ASME A36 | 2 | | 1/2" sin costura |
| 11 | Anillo sujetador superior | 1 | Acero ASME A36 | 1 | | 1" x 3/8" |
| 10 | Neplos | 1 | Acero ASME A36 | 6 | | 3/4" x 7 cm |
| 9 | Anillo sujetador inferior | 1 | Acero ASME A36 | 1 | | 1" x 3/8" |
| 8 | Espejo o mampara | 1 | Acero ASME A36 | 2 | | plancha 3/8" |
| 7 | Nivel de control de agua | | Acero ASME A36 | 1 | | McDonnell 157 |
| 6 | Llave de bola | | Acero al carbon | 4 | | 3/4" |
| 5 | Quegador | | Acero Inoxidable AISI 430 | 1 | | Calefon 21 lts |
| 4 | Base del calderin | 3 | Acero ASME A36 | 1 | | Tuberio s/c 17.12 in |
| 3 | Lamina de acero inox. | | Acero inox. AISI 304 | 1 | | 1m x 1mm |
| 2 | Recubrimiento aislante | | Lana de fibra de vidrio | | | 1.22 m x 0.38 cm |
| 1 | Cuerpo principal | | Acero ASME A36 | 1 | | Tuberio s/c 17.12 in |

| | | | | | |
|----------------------------|-----------------|-------------------|--|-----------|--|
| Tolerancia: | | Peso: | | Material: | |
| Fecha | Nombre | Titulo: | | Escala: | |
| Dibujo: 05-04-11 | W. Vacacela | CALDERIN | | | |
| Reviso: 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | Número de Lámina: | | Registro: | |
| Aprobo: 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | | | | |
| U.T.A. Ingeniería Mecánica | | Sustitución: | | | |



CONJUNTO ARMADO
ESCALA 1:5



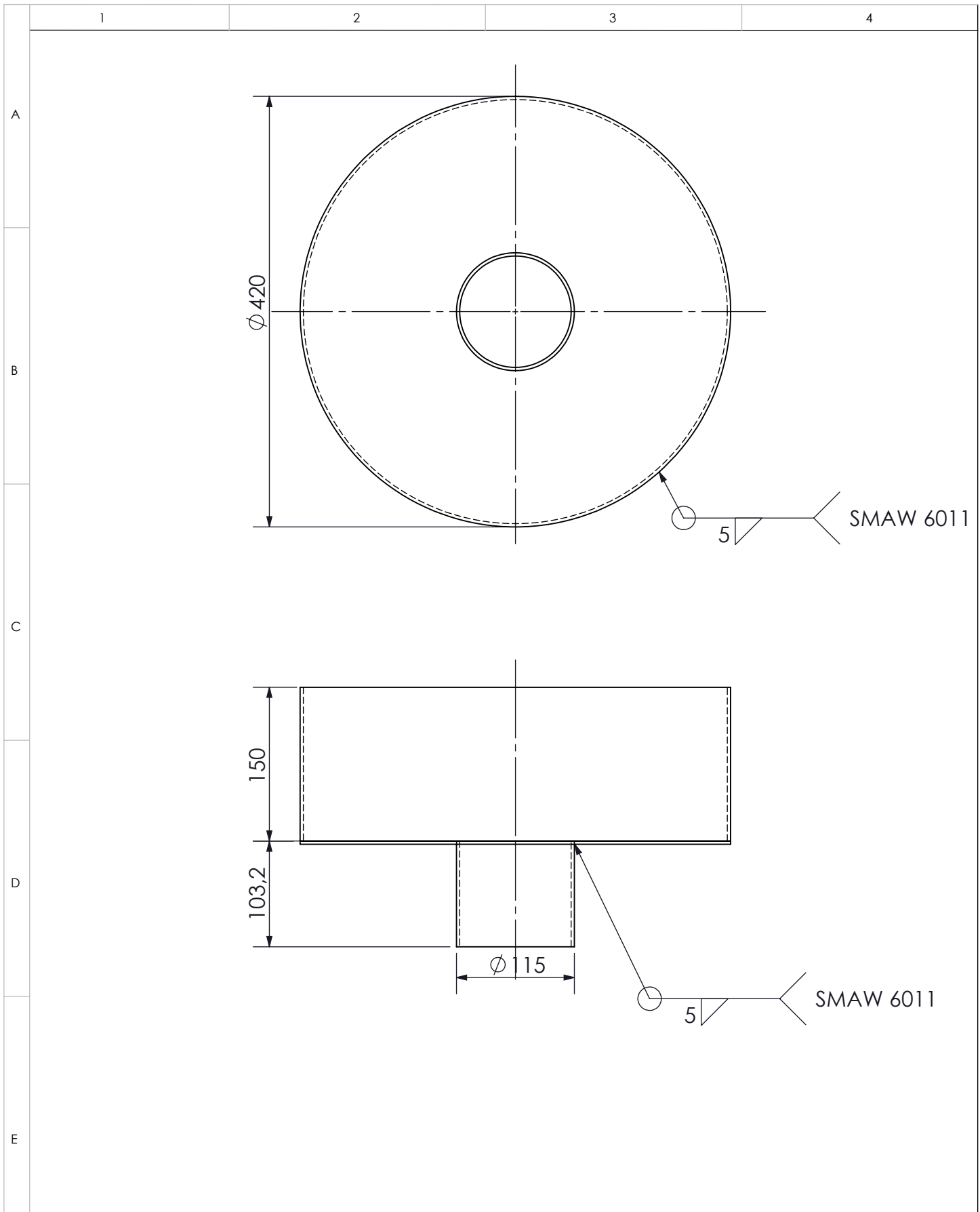
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CALDERIN

| PARÁMETRO | VALOR |
|---|----------------------|
| Potencia Generada | 2 BHP |
| Presión de diseño | 64 PSI |
| Presión de trabajo | 34 PSI |
| Presión de la bomba de alimentación | 37.5 PSI |
| Masa de vapor | 9.7 Kh/h |
| Área de transferencia de calor | 1.005 m ² |
| Temperatura de inicial del agua | 20 °C |
| Temperatura de final del agua | 120 °C |
| Temperatura de inicial de los gases de combustión | 1525.33 °C |
| Temperatura de final de los gases de combustión | 105 °C |
| Longitud de la cámara de combustión | 0.30 m |
| Diámetro de la cámara de combustión | 0.435 m |
| Número de tubos | 51 |
| Altura de los tubos de fuego | 0.48 m |
| Diámetro de los tubos de fuego | 1/2 pulg |
| Diámetro de los espejos | 0.435 m |
| Altura de la chimenea | 0.27 m |
| Diámetro de la chimenea | 0.11 m |
| Velocidad de los gases de escape | 1.3 m/s |
| Altura total del calderin | 1.10 m |
| Potencia de la bomba | 0.75 HP |

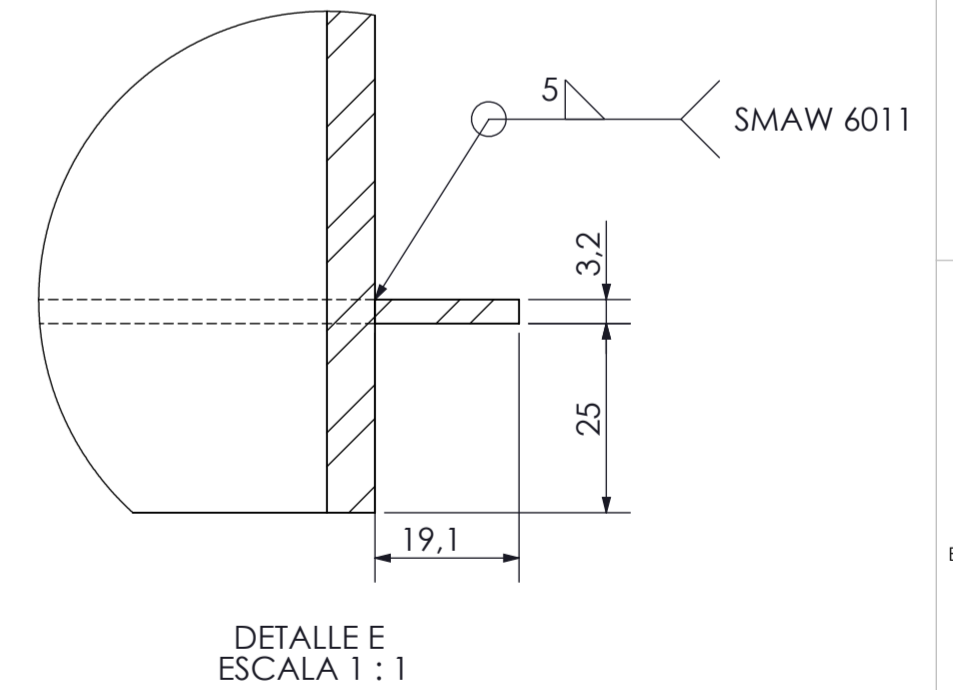
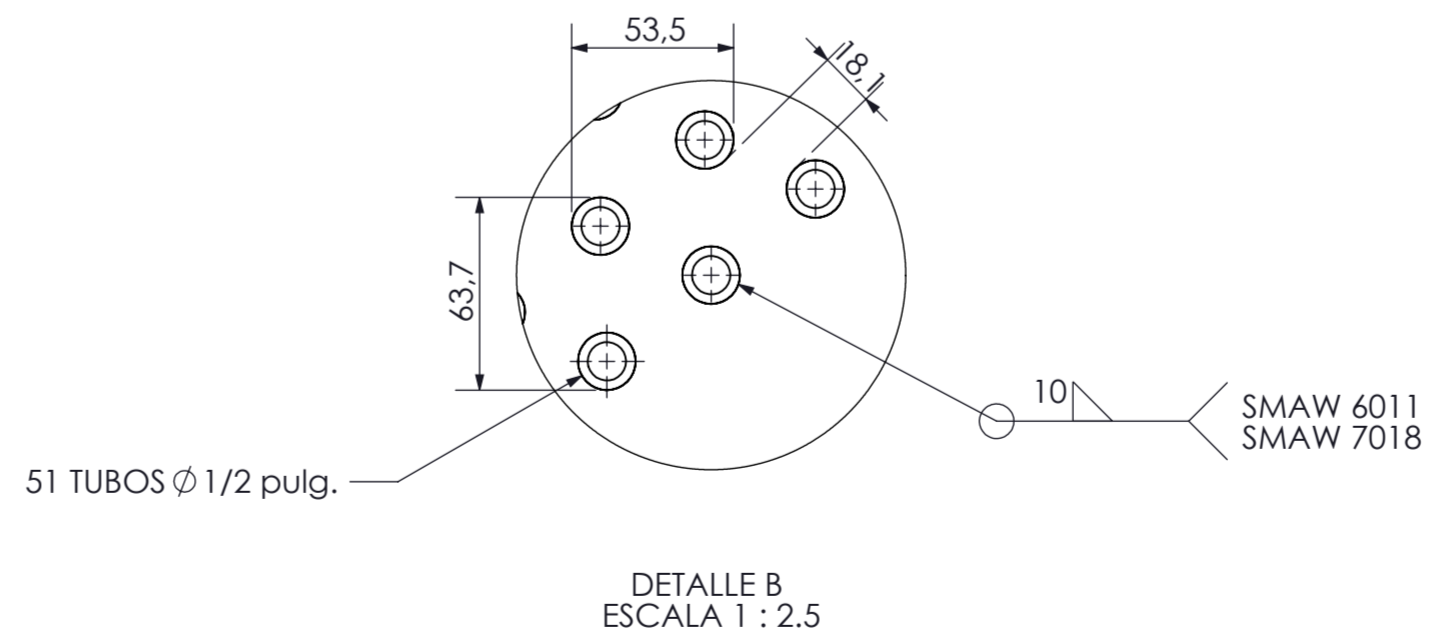
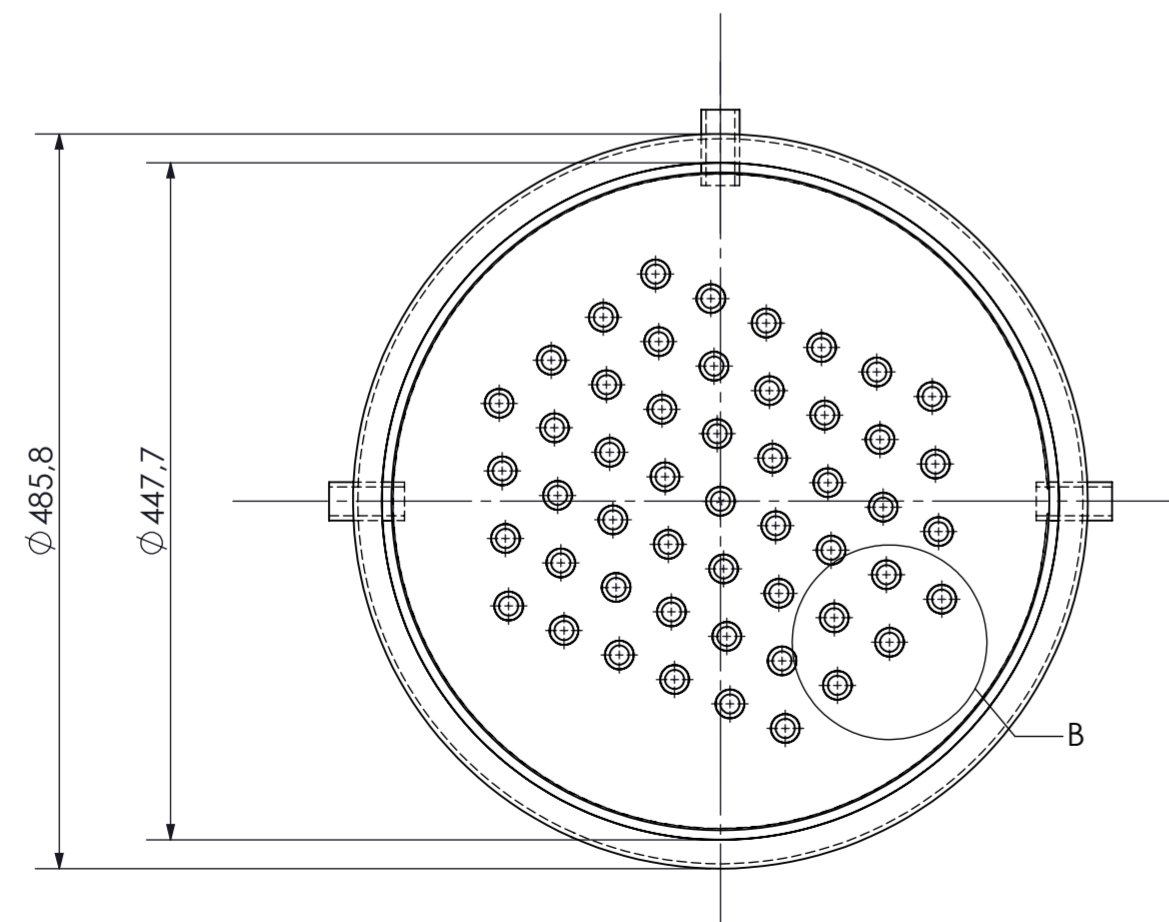
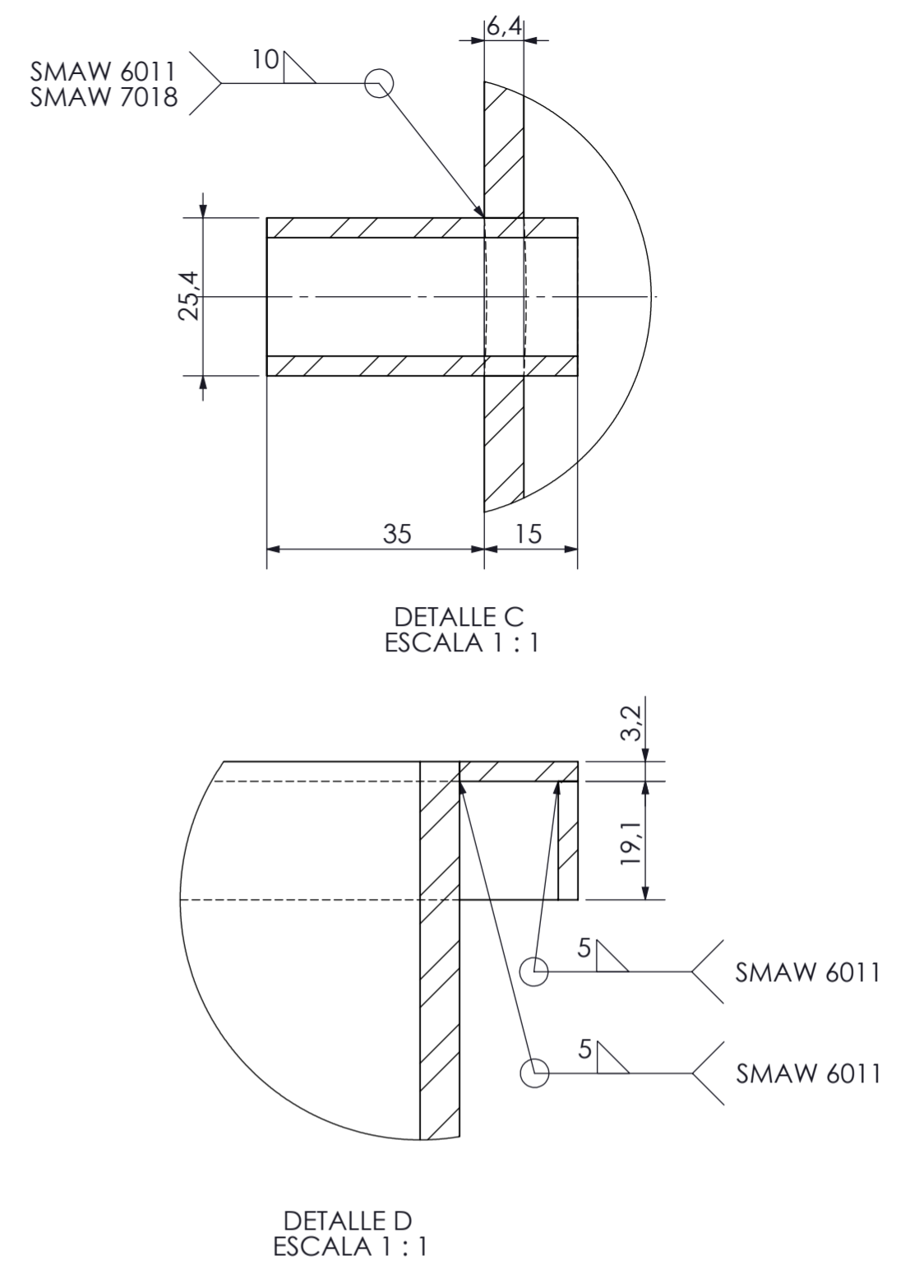
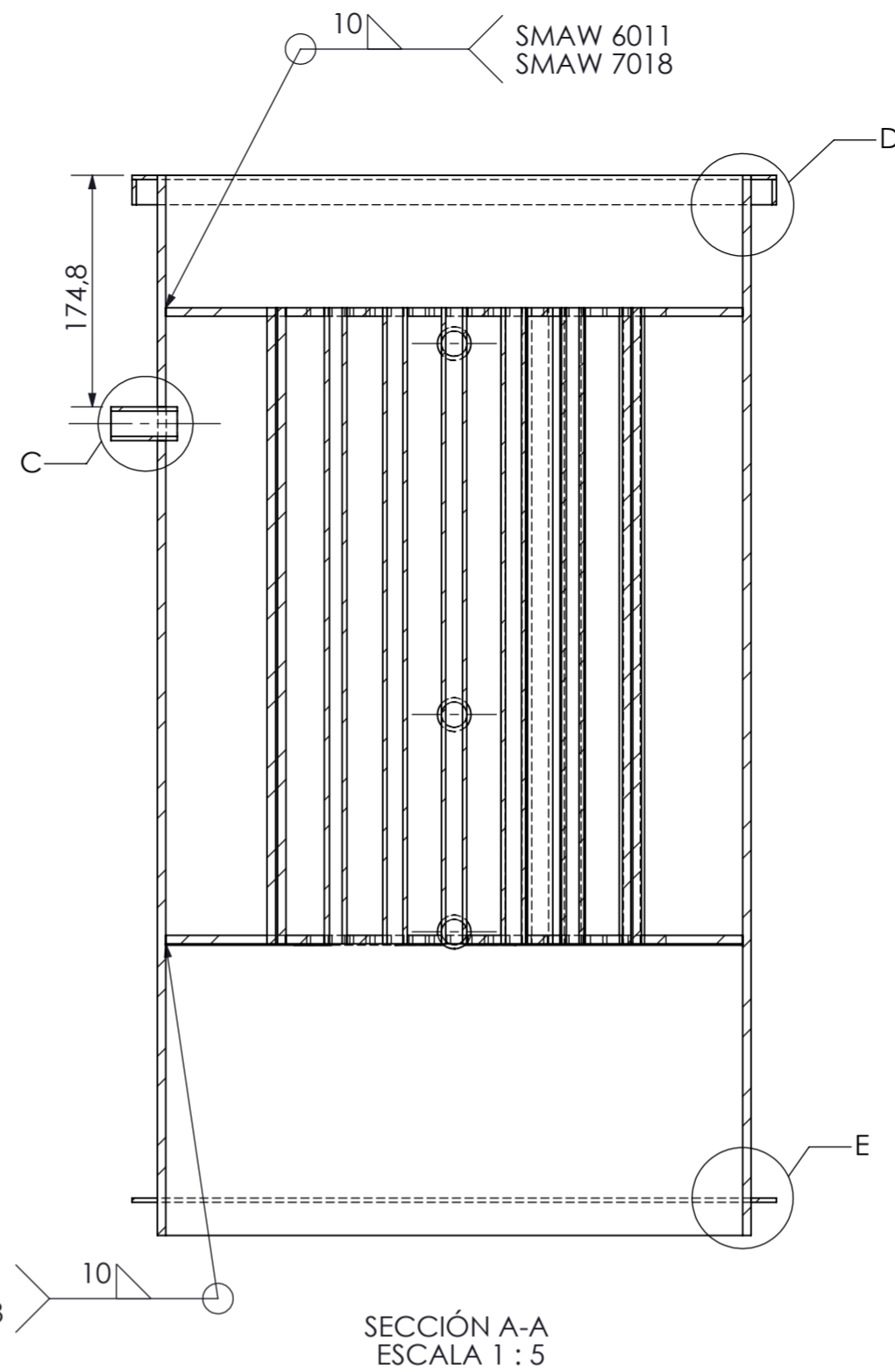
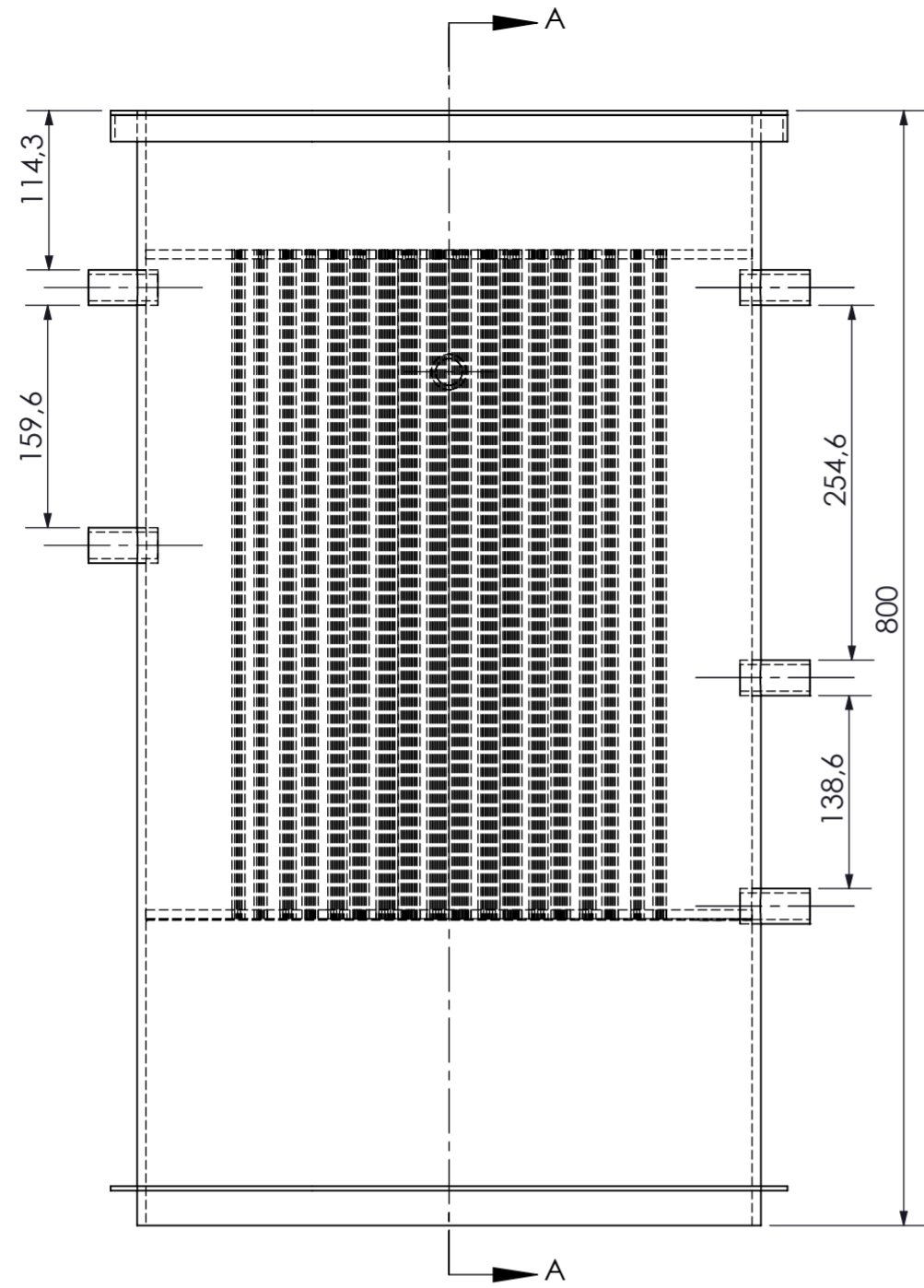
NOTA: Por situaciones prácticas de montaje se recomienda:
 1. Ubicar y soldar los espejos en su posición respectiva.
 2. Se procede a ubicar y soldar los tubos de fuego.

| No. | Denominación | Material | No. de dibujo | Pres. aprob. | Observaciones |
|-----|---------------------------|---------------------------|---------------|--------------|---------------------------|
| 14 | Chimenea | Acero ASTM A-36 | 2 | 1 | plancha 1/8" |
| 13 | Tubos de fuego | Acero ASTM A-156 | 51 | 1 | 480 mm x 1/2" s/c. sh. 40 |
| 12 | Anillo sujetador superior | Acero ASTM A-36 | 1 | 1 | 3/4" x 7 cm |
| 11 | Neplos | Acero ASME A-36 | 1 | 6 | 50mm x 1" |
| 10 | Espejo o mampara | Acero ASTM A-53 | 1 | 2 | plancha 1/2" |
| 9 | Anillo sujetador inferior | Acero ASTM A-36 | 1 | 1 | 1" x 3/8" |
| 8 | Nivel de control de agua | Acero ASTM A-36 | 1 | 1 | McDonnell 157 |
| 7 | Llave de bola | Acero al carbono | 4 | 1 | 3/4" |
| 6 | Bomba de agua | Hierro Colado | 1 | 1 | 0.75 HP |
| 5 | Quemador | Acero Inoxidable AISI 430 | 1 | 1 | Calefón 21 lts |
| 4 | Base del calderin | Acero ASTM A-36 | 3 | 1 | Tuberio s/c 17.12 in |
| 3 | Lamina de acero inox. | Acero inox. AISI 304 | 1 | 1 | 1 m x 1mm |
| 2 | Recubrimiento aislante | Lana de fibra de vidrio | 1 | 1 | Espesor: 0.38 cm |
| 1 | Cuerpo principal | Acero ASTM A-36 | 1 | 1 | Tuberio s/c 17.12 in |

| | | | |
|----------------------------|-----------------|--|-----------|
| Tolerancia: | Peso: | Material: | |
| | 141,45 Kg | | |
| Fecha: | Nombre: | Título: | |
| Dibujo: 26-04-11 | W. Vacaceta | CALDERIN -LABEG 1- (VISTA EXPLISIONADA) | Escala: |
| Reviso: 26-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| Aprobo: 26-04-11 | Ing. S. Cabrera | | |
| U.T.A. Ingeniería Mecánica | | Número de Lámina: | 001 |
| Edición: | Modificación: | Fecha: | Nombre: |
| | | | |
| Sustitución: | | | Registro: |



| | | | | | | | |
|---------|--------------|-------|--------|---------------------|----------|---------------------------------------|---------------------------|
| | | | | TOLERANCIA: | PESO: | MATERIAL: | |
| | | | | | 4.73 Kg | LAMINA DE ACERO ASTM A-36 (1/8 pulg). | |
| | | | | | FECHA: | NOMBRE: | TITULO: |
| | | | | DIBUJO: | 05-04-11 | W. Vacacela | CHIMENEA -LABEG 1- |
| | | | | REVISO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | |
| | | | | APROBO: | 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | |
| | | | | U.T.A. | | NUMERO DE LAMINA:.. | 003 |
| EDICIÓN | MODIFICACIÓN | FECHA | NOMBRE | INGENIERIA MECANICA | | SUSTITUCION: | ESCALA: 1:5 |
| | | | | | | | |



| | | | |
|--------------|-----------------|---|-----------|
| Tolerancia: | Peso: | Material: | |
| | 104.26 Kg | Acero ASTM A-53 (Cuerpo y espejos) Acero ASTM A-156 (Tubos de fuego) | |
| Fecha: | Nombre: | Título: | Escala: |
| 05-04-11 | W. Vacacela | CUERPO CALDERIN -LABEG 1- | 1:5 |
| Reviso: | Ing. S. Cabrera | Número de Lámina: | Registro: |
| 05-04-11 | Ing. S. Cabrera | 002 | |
| Aprobo: | Ing. S. Cabrera | Sustitución: | |
| | | | |
| Edi- ción | Modificación | Fecha | Nombre |
| | | | |

U.T.A.
Ingeniería Mecánica



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN, SALUD Y SEGURIDAD LABORALES

Edificio Luz Garden. Manduca a Ferrenquín, La Candelaria. Caracas, Venezuela.

E-mail: inpsasel@inpsasel.gov.ve Web: <http://www.inpsasel.gov.ve>

Anteproyecto de Norma Técnica
Inspección de Calderas en Servicio

Anteproyecto de Norma Técnica Inspección de Calderas en Servicio

2009



Gobierno Bolivariano
de Venezuela

Ministerio del Poder Popular
para el **Trabajo y Seguridad Social**





TITULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Objeto

Artículo 1. Establecer los criterios técnicos, procedimientos, responsabilidades para la inspección de Calderas en servicio, con el fin de prevenir accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales en cada empresa, establecimiento, unidad de explotación, cooperativa u otras formas asociativas comunitarias de carácter productivo o de servicios, persigan o no fines de lucro, sean públicas o privadas, de conformidad a lo establecido en la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo y su Reglamento Parcial.

Establecer mecanismos para la participación activa y protagónica de los trabajadores y las trabajadoras en la vigilancia, mejoramiento y control

Alcance

Artículo 2. Esta Norma Técnica, establece los criterios técnicos, procedimientos, y responsabilidades para la realización del reconocimiento interno, externo y pruebas de seguridad de las calderas en servicio, a fin de identificar las condiciones de operación y funcionamiento seguro de las calderas para prevenir accidentes de trabajo y enfermedades ocupacionales.

Campo de Aplicación

Artículo 3. Esta Norma Técnica regirá en todo el territorio nacional y sus disposiciones son de obligatorio cumplimiento para toda empresa, establecimiento, unidad de explotación, cooperativa u otras formas asociativas comunitarias de carácter productivo o de servicios, persigan o no fines de lucro, sean públicas o privadas, que posean calderas en servicio.

Se exceptúan de la aplicación de los preceptos de la presente norma técnica las calderas que utilicen combustible nuclear, las calderas que generan fuerza motriz en las embarcaciones militares, las calderas con una superficie de calefacción hasta de 54 pie², con presión de trabajo que no exceda de 28 PSI, las calderas de agua caliente o calentadores.

Definiciones

Artículo 4. A los fines del desarrollo y aplicación de la presente Norma Técnica de Prevención, se entiende por:

Amortiguador: Dispositivo utilizado para reducir el efecto de las fluctuaciones de presión y mejorar la lectura del manómetro.

Bitácora Diaria: Es un cuaderno foliado que debe ser llenado por el operador de caldera, en donde registrara todos los principales hechos relacionados con la operación, mantenimiento y reparación de la caldera.

Caldera: Equipo destinado a producir vapor de agua a una presión superior a la atmosférica, mediante la aplicación de calor producido por la combustión de materiales, reacciones químicas o energía eléctrica. Los sobrecalentadores, recalentadores, economizadores, u otras partes a presión, conectadas directamente a la caldera, sin la intervención de válvulas, serán considerados como parte de la caldera.

Calderas en Servicio: Se entenderá a efectos de esta norma, como todas aquellas calderas que se encuentren aptas para funcionar.

Calderas Fuera de Servicio: Son aquellas que desde el punto de vista técnico puede ser factible o no, su recuperación y las cuales pueden estar fuera de servicio de manera permanente o temporal.

Calderas fuera de servicio permanente: Son aquellas calderas que desde el punto de vista técnico, no es factible su recuperación.

Calderas fuera de servicio Temporal: Son aquellas calderas que desde el punto de vista técnico, es factible su recuperación.

Calderas Acuotubulares: Son aquellas donde los gases y humos provenientes de la combustión, rodean los tubos por cuyo interior circula agua, son llamadas también "Calderas de tubos de agua". Pueden trabajar hasta altas presiones y gran capacidad de producción de vapor.

Calderas Piro-tubulares: En estas calderas, los gases de combustión son obligados a pasar por el interior de los tubos que se encuentran sumergidos en la masa de agua. Todo el conjunto, agua y tubo de gases, se encuentra rodeado por la carcasa exterior. Los gases calientes al circular por los tubos, ceden calor, el cual se transmite a través de los tubos y posteriormente al agua.

Calibración de Válvulas de Seguridad: Es el ajuste en sitio bajo condiciones vivas de operación de la presión de disparo y presión de cierre de la misma.

Certificado de Suficiencia: Documento que otorga el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales (Inpsasel) al propietario de la caldera una vez que la inspección periódica revela que la caldera se encuentra en condiciones de funcionamiento seguro, el cual deberá fijarse en un lugar visible en la sala de calderas. Este documento debe renovarse anualmente.

Colector: Es un recipiente horizontal, cuya función es coleccionar las presiones de vapor de salida generadas por una o varias calderas, para luego distribuir dicha presión a las diferentes líneas de proceso evitando las fluctuaciones bruscas de presión que puedan afectar el buen funcio-



namiento de la o de las calderas, este debe contener subsistemas de medición, control y de seguridad.

Domo superior: Es el recipiente cilíndrico ubicado en la parte superior de la caldera acuatubular donde se encuentran separados el Agua y el Vapor.

Domo Inferior: Es el recipiente cilíndrico ubicado en la parte inferior de la caldera acuatubular que permanentemente se encuentra lleno de agua.

Economizador: Es la parte de la caldera que sirve para calentar previamente el agua de alimentación de la misma, aprovechando el calor contenido en los humos y gases de la combustión.

Empleador o empleadora: Se entiende por empleador o empleadora la persona natural o jurídica que en nombre propio, ya sea por cuenta propia o ajena, que tiene a su cargo una empresa, establecimiento, explotación o faena, de cualquier naturaleza o importancia, que ocupe trabajadores o trabajadoras, sea cual fuere su número.

Empresa prestadora de Servicios: Persona jurídica o natural registrada y acreditada por el Inpsasel, para realizar inspecciones a las calderas y sus instalaciones.

Equipos auxiliares: Son equipos periféricos que forman parte de la caldera; entre los que se encuentran: bombas de alimentación de agua, bomba de alimentación de combustible, el sobrecalentador de vapor, el recalentador de vapor, el economizador, los ventiladores de tiro inducido, forzado y secundario de la caldera, desaereador, sopladores de hollín.

Equipos accesorios: Son aquellos dispositivos mecánicos que siempre tiene una caldera para garantizar la seguridad, el control y la limpieza de la instalación. Por ejemplo: niveles de agua, válvulas de extracción, válvulas de seguridad.

Hogar o caja de fuego: Es una cámara donde se efectúa la combustión. La cámara confina el producto de la combustión y puede resistir las altas temperaturas que se presentan y las presiones que se utilizan.

Inspección: Es una secuencia ordenada de pasos a seguir para llevar a cabo la verificación de condiciones de seguridad y salud en el trabajo, a fin de ejecutar las mejores prácticas de identificación de los procesos peligrosos.

Inspección inicial: Se efectúa a todas las partes de la caldera para garantizar el funcionamiento de la misma, una vez que se ha instalado la caldera y antes de ponerse en funcionamiento, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de los lineamientos establecidos en la Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (Lopcyamat), su Reglamento Parcial, el Reglamento de las Condiciones de Higiene y Seguridad en el Trabajo y las Normas de Instalación de calderas.

Inspección Periódica (Anual): Es aquella que se práctica a intervalos no mayores de doce (12) meses y que sirve de referencia para el otorgamiento o no del Certificado de Suficiencia de la caldera. Se efectuará considerando los aspectos establecidos en la presente norma técnica, a través de medios de comprobación.

Inspección luego de una reparación o reconstrucción: Es aquella que se práctica antes de ponerse en funcionamiento, después de cada reparación o reconstrucción del cuerpo de presión de la caldera o por razones extraordinarias o a solicitud del Comité de Seguridad y Salud Laboral o del Delegado o Delegada de Prevención. Se efectuará considerando los aspectos establecidos en la presente norma técnica, a través de medios de comprobación.

Libro de Vida de la Caldera: Es un cuaderno foliado donde se anotaran todo los datos en orden cronológico y las observaciones acerca de su funcionamiento mantenimiento, reparación, fallas, accidente o siniestros sufridos por la caldera y o los equipos auxiliare; cualquier otra alteración de los parámetros normales de funcionamiento, fecha de exámenes, inspecciones y pruebas efectuadas.

Libro de vida de los Instrumentos de Medición, Control y Seguridad de la Caldera: Es un cuaderno foliado donde se anotaran por orden cronológico todos los datos y observaciones acerca de su funcionamiento, mantenimiento, reparación, fallas, accidentes o siniestros sufridos a los instrumentos de medición, control y seguridad de la caldera, así como el registro de nombre o tipo de instrumento, lazo de control al cual pertenece, variable, escala de operatividad, fabricantes, fecha de calibración, método y responsable de dicha calibración (empresa prestadora de servicio o departamento de la empresa).

Propietario o Usuario de la caldera: La persona natural o jurídica que en nombre propio, ya sea, por cuenta propia o ajena, posee en su proceso productivo de bienes o servicios una caldera.

Purgas: Extracciones de agua que se le realizan a la caldera, preferentemente de aquellas zonas en que existe mayor concentración de sólidos disueltos. Pueden ser continuas o discontinuas.

Manómetro: Es un instrumento que da a conocer la presión que ejerce un fluido contenido en un recipiente. La lectura de éste instrumento viene expresada en distintas unidades, tales como Psi, Bar, Kgf/cm², mmhg, Pulgh²o.

Mantenimiento Preventivo: Es la programación que comprende las inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

Mantenimiento Correctivo (reparaciones): Es la reparación de un equipo o maquina, una vez detectada una avería o falla.



Presión: Magnitud física que expresa la fuerza ejercida por un cuerpo sobre la unidad de superficie.

Presión Manométrica: Es la que representa la diferencial entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

Presión de Trabajo: Es la máxima presión manométrica a la cual opera normalmente una caldera, esta determinada por el proceso productivo.

Presión de Trabajo Máxima Permissible: Es el valor de la presión límite a la que puede trabajar con seguridad una caldera. Ninguna caldera podrá funcionar a presión mayor que la presión de trabajo máxima permissible.

Presión de Diseño: Valor de la presión que se considera durante el diseño de los elementos de la caldera sometidos a presión y que sirve para el cálculo del espesor mínimo de la pared.

Presión de Prueba: Es la presión máxima que se fija para realizar la prueba hidrostática considerando las especificaciones del fabricante.

Proceso Peligroso: Es todo aquello que en el trabajo pueda afectar la salud de los trabajadores o trabajadoras, sea que surjan de los objetos y medios de trabajo, de la interacción entre estos y la actividad, de la organización y división del trabajo o de otras dimensiones del trabajo, como el entorno y los medios de protección.

Prueba de Control: Son las requeridas para determinar el buen funcionamiento de la caldera, tales como prueba Hidrostática, disparo de Válvulas de Seguridad, entre otras.

Prueba Hidrostática: Prueba aplicada a los equipos sometidos a presión (superior a la atmosférica); Es una prueba de hermeticidad y resistencia.

Quemadores: Dispositivo que mezcla y dirige el flujo de combustible y aire de tal manera que se asegure el encendido rápido y la combustión completa de la mezcla.

Riesgo: Es la probabilidad de que ocurra un daño a la salud, materiales o ambos.

Sala de Calderas: Local donde se encuentra instalada la caldera, sus equipos auxiliares y la sala de control.

Servicio de Seguridad y Salud en el Trabajo: Se define a los Servicios de Seguridad y Salud en el Trabajo como la estructura organizacional de los patronos, patronas, cooperativas y otras formas asociativas comunitarias de carácter productivo o de servicios, que tiene como objetivos la promoción, prevención y vigilancia en materia de seguridad, salud, condiciones y medio ambiente de trabajo; para proteger los derechos humanos a la vida, a la salud e integridad personal de los trabajadores y las trabajadoras.



Sobrecalentadores: Es la parte o sistema de una caldera que sirve para elevar la temperatura de vapor de agua por encima de la temperatura del vapor saturado, sin aumentar la presión.

Superficie de Calefacción: Es la superficie de la caldera que está en contacto con los gases y humos de la combustión por un lado y, con el agua por el otro, esta superficie es medida por el lado que esta en contacto con los gases y humos.

Tapón Fusible: Es un elemento de alarma que se instala en la caldera en aquel punto de la superficie de calefacción mas abajo del cual no debe descender el nivel del agua, por los peligros que ello entraña.

Tubería de Alimentación de agua: Es la tubería que alimenta de agua a la caldera.

Tubería de Purga: Se define como una conexión de tubo equipada con válvula, por la cual puede evacuarse a presión, el agua contenida en una caldera.

Válvula de Seguridad: Dispositivo empleado para evacuar automáticamente el exceso de vapor de la caldera al momento en que la presión excede del valor máximo preestablecido.

Vapor Sobrecalentado o recalentado: Es el que se encuentra a temperaturas superiores a la que corresponde al vapor saturado a la misma presión.

Variables de proceso: Se definen como las variables físicas (temperatura, presión, velocidad, flujo entre otros), que intervienen en el proceso de generación de vapor en una caldera.



TÍTULO II

DE LAS INSPECCIONES A LAS CALDERAS

CAPÍTULO I

Inspección Inicial

Frecuencia

Artículo 5. El empleador o empleadora deberá asegurar la inspección inicial a la caldera después de instalada y antes de ponerse en servicio, después de cada reparación o reconstrucción.

Empresas prestadoras de servicio

Artículo 6. La inspección deberá ser realizada por una empresa prestadora de servicio a fin de garantizar el funcionamiento seguro y en cumplimiento a lo establecido en la normativa legal vigente.

Contenido de la inspección

Artículo 7. La inspección contemplará una inspección visual de las partes que componen el cuerpo de la caldera, el dueño de la caldera deberá tener todos sus registros disponibles, la superficie de calefacción limpia de escorias y hollín, hasta donde sea posible, o de incrustaciones que puedan haberse formado durante el tiempo transcurrido entre dos inspecciones.

Artículo 8. La empresa prestadora de servicios tomará los datos necesarios para llenar el informe de inspección correspondiente, cerciorándose de que la caldera se encuentra de acuerdo con los parámetros establecidos en la legislación vigente en seguridad y salud en el trabajo, relacionado con calderas.

CAPÍTULO II

Inspección Periódica (Anual)

Frecuencia

Artículo 9. El empleador o empleadora deberá a través del Servicio de Seguridad y Salud en el Trabajo, garantizar la Inspección anual de la caldera en servicio.

De quién realizará la inspección

Artículo 10. La inspección se llevará a cabo, por un personal de la empresa debidamente entrenado y conjuntamente con el apoyo de la empresa prestadora de servicio.



Resultados de la inspección

Artículo 11. Los resultados de esta inspección deberán ser registrados en el libro de vida de la caldera, en el formato establecido por el Inpsasel y deberá ser consignado a la institución.

Contenido de la inspección

Artículo 12. La Inspección Anual se efectuará considerando las indicaciones del fabricante, las de los Operadores de la caldera, las anotaciones en el libro de vida, de la bitácora diaria y las disposiciones establecidas en la normativa legal vigente, la cual constará de:

1. La inspección ocular y de operatividad de las partes externas e internas de la caldera.
2. La prueba hidrostática.
3. La prueba de válvula de seguridad
4. La Prueba de controles e instrumentales.
5. Prueba de los sistemas de seguridad.

Incumplimiento de la inspección anual

Artículo 13. El incumplimiento de la Inspección Anual, será motivo para ordenar la suspensión del funcionamiento de la caldera, por parte del Instituto Nacional de Prevención Salud y Seguridad Laborales.

CAPÍTULO III

Inspección por Reparación o Reconstrucción

Frecuencia

Artículo 14. El empleador o empleadora, deberá garantizar la realización de la inspección, luego de ser intervenida la caldera por reparación o reconstrucción y antes de iniciar la puesta en marcha, de las partes sometidas a reparación, para ello también se consideraran las indicaciones del fabricante y de la empresa prestadora de servicio, con el fin de garantizar el funcionamiento seguro en cumplimiento a lo establecido en la normativa legal vigente.

Pruebas luego de la reparación

Artículo 15. Se deberá garantizar la operatividad de las partes externas e internas de la caldera, a través de una prueba hidrostática, una prueba de válvula de seguridad, prueba de controles e instrumentales y de los sistemas de seguridad, para ello también se consideraran las indicaciones del fabricante, las partes que fueron sometidas a reparación y las especificacio-



nes de la empresa prestadora de servicio, con el fin de garantizar el funcionamiento seguro en cumplimiento a lo establecido en la normativa legal vigente.

CAPÍTULO IV

Inspección Interna para Calderas Acuotubulares

Frecuencia

Artículo 16. La empresa prestadora de servicio deberá realizar la inspección interna de la caldera al efectuar la inspección anual, con el fin de determinar si está en condiciones óptimas de servicio y en caso de alguna modificación o reparación mayor.

Contenido de la inspección

Artículo 17. En la inspección de la caldera en servicio se deberá contemplar:

1. La Inspección interna de los equipos auxiliares existentes, así como las conexiones de vapor, purgas, conexiones de agua con sus accesorios y sus respectivas válvulas, las reparaciones efectuadas previamente y deficiencias vinculadas o no, a las inspecciones anteriores.
2. Las condiciones de las superficies del metal del lado agua para verificar la existencia de corrosión e incrustaciones, aceites u otras sustancias. Si fuere necesario, se limpiarán considerando las indicaciones de la empresa prestadora de servicio para preservar la superficie de transferencia de calor.
3. Inspección conexiones para verificar su buen estado de funcionamiento ó determinar cualquier discontinuidad o defecto.
4. Inspeccionar tornillería para verificar su calidad, integridad mecánica y ajuste.
5. Las áreas donde las fisuras son más comunes en aparecer, tales como: Ligamentos entre orificios de domos, placas, colectores y bridas, donde pueda haber repetidas flexiones durante la operación, todas las áreas que se consideren necesarias de inspeccionar por la empresa prestadora de servicio y no señaladas en los puntos anteriores.
6. Las superficies externas de los tubos de agua, para ver si existe corrosión, depósitos o acumulación de combustibles, fisuras, abombamientos o deformaciones en los mismos.
7. Se inspeccionará la superficie externa de los tubos del sobrecalentador para ver si existe corrosión, abrasión, depósitos o acumulación de combustibles, fisuras, abombamientos o deformaciones en los mismos y desprendimiento de anclaje.

8. Se verificarán los espacios restringidos del lado de fuego (cámaras muertas), para determinar la existencia de residuos de la combustión.
9. 8. Se verificarán el refractario y condiciones de soldadura interna.
10. La empresa prestadora de servicios, notificará al propietario de la caldera toda deficiencia encontrada, para que tome las acciones correctivas a que hubiere lugar.
11. Si las deficiencias encontradas por la empresa prestadora de servicio generan dudas razonables se recomendará, por parte de la misma realizar los ensayos especializados con el fin de evaluar el grado de criticidad.

Resistencia del material

Artículo 18. Se verificará si existe acción corrosiva en las áreas que influya sobre la resistencia del material, se considerará su utilidad y especificaciones técnicas y se medirá el espesor del área afectada, para corroborar la resistencia del material.

Puesta en funcionamiento

Artículo 19. El Servicio de Seguridad y Salud en el trabajo, conjuntamente con el Comité de Seguridad y Salud Laboral, deberán garantizar la puesta en marcha de la Caldera hasta que, la parte o partes defectuosas hayan, sido reemplazadas o reparadas adecuadamente, sin que esto ponga en peligro la seguridad y salud de los trabajadores, trabajadoras y la integridad mecánica de la Caldera.



TÍTULO II INSPECCIONES

CAPÍTULO I

Inspección Interna para Calderas Piro-tubulares

Empresa prestadora de servicio

Artículo 20. La empresa prestadora de servicio realizará la inspección interna de la caldera, con el fin de determinar si está en condiciones adecuadas de servicio, esta deberá cubrir el estado general del interior de la caldera, los tubos, hogar, las placas, refractarios, quemadores, economizadores y sobrecalentadores, así como las conexiones de vapor, purgas y conexiones de agua con sus accesorios y las válvulas según corresponda.

Reparaciones

Artículo 21. La inspección de la caldera en servicio deberá cubrir las reparaciones efectuadas previamente, así como, los defectos evidenciados mediante reportes de inspecciones anteriores, históricas de operaciones y tratamiento químico, verificando evidencias de fugas por corrosión o agrietamiento en los registros.

Superficies metálicas

Artículo 22. Se revisarán todas las superficies metálicas internas de la línea de agua de alimentación y de la caldera, con la finalidad de determinar si existen depósitos causados por el tratamiento de agua, incrustaciones, aceites, u otras sustancias.

Limpieza de sedimentos

Artículo 23. Luego de la inspección interna y habiéndose determinado sedimentos e incrustaciones, de todas estas superficies, se limpiarán considerando las recomendaciones de la empresa prestadora de servicio y el personal encargado del área, quienes decidirán el método de limpieza, ya sea mecánicos o químicos.

Refuerzos

Artículo 24. Se evaluará los refuerzos diagonales u horizontales, para determinar si hay discontinuidades relevantes de los mismos, principalmente si existe presencia de grietas; si fuere necesario se aplicarán ensayos no destructivos.

Conexiones



Artículo 25. Se deberá inspeccionar tanto interno como externo, las bocas de visitas, placas reforzadas, así como reducciones u otras conexiones con bridas o tornillos, para detectar posibles fallas en las mismas.

Fisuras

Artículo 26. Se deberán evaluar las áreas donde las fisuras son más comunes en aparecer, tales como: Ligamentos entre orificios de tubos, entre orificios de los remaches, en bridas donde pueda haber cargas alternantes durante la operación, soldaduras de la placa a la carcaza y en todas las áreas que se consideren necesarias por la empresa prestadora de servicio y no señaladas en los puntos anteriores.

Hogar de la caldera

Artículo 27. Se verificará el hogar de la caldera, para determinar la existencia de residuos de la combustión, la alineación de los quemadores deberá observarse para que no provoquen que la llama choque con una zona particular de la caldera en servicio y produzca sobrecalentamiento en dicha área.

Deformaciones en la caldera

Artículo 28. La empresa prestadora de servicios, notificará cualquier parte de la caldera que haya sido deformada por pandeo, abombamiento o bolsas de tal tamaño como para debilitar seriamente las placas o tubos y especialmente cuando hayan fugas de agua por tal defecto, por lo tanto el Servicio de Seguridad y Salud en el Trabajo conjuntamente con el Comité de Seguridad y Salud Laboral, deberá garantizar la suspensión del servicio de la caldera hasta que la parte o partes defectuosas hayan sido reparadas adecuadamente.

Tapones Fusibles

Artículo 29. Los tapones fusibles:

1. Se empleará en las calderas de gran volumen de agua, esto es, superior a 150 lts por m² de superficie de calefacción, las del hogar interno y en las calderas del tipo loco móvil.
2. Deberá estar ubicado en cada hogar interno, inmediatamente debajo del nivel mínimo de agua.
3. Los tapones fusibles de acción por fuego, estarán rellenos con una aleación cuyo punto de fusión máxima sea de 250 °C.
4. La parte interna del tapón debe mantenerse libre de incrustaciones o cualquier otra sustancia extraña.

CAPÍTULO II

De la Inspección Externa de la Caldera

Inspección externa

Artículo 30. La inspección externa comprende el examen visual de la caldera, sus accesorios, conexiones y recinto, para garantizar que la caldera, sus accesorios, conexiones y recinto cumplan con los requisitos mínimos exigidos por la normativa legal vigente.

Identificación de la caldera

Artículo 31. La caldera deberá llevar fijada a ella, en sitio visible, una placa que contenga el nombre del fabricante, serial de la caldera, año de fabricación, presión de trabajo máximo permisible (PSI), temperatura máxima de trabajo (grados centígrados), rata máxima de evaporación (Hp), superficie de transferencia de calor (pie²) y fecha de instalación y número de registro del Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral. **(El Inpsasel deberá acordar que sistema de unidad se va a implementar).**

Tuberías de alimentación

Artículo 32. Todas las tuberías de alimentación, gas y purga que vayan por el piso, deberán ser colocadas en canales cubiertos con material resistente y no combustible.

CAPÍTULO III

Inspección Externa de la Sala de Caldera

Identificación de las tuberías

Artículo 33. Las tuberías dispuestas en la sala de calderas deberán estar identificadas, de acuerdo al fluido que conduzcan, de conformidad a lo establecido en la legislación venezolana vigente en materia de seguridad y salud.

Salidas de emergencia

Artículo 34. Las salidas de emergencia o medió de escape deberán ser apropiadas tomando en cuenta el número de trabajadores del área y se conservarán libres de obstrucciones, de acuerdo a lo establecido en legislación venezolana vigente en materia de seguridad y salud.

Iluminación de área de caldera

Artículo 35. La sala de caldera deberá contar con iluminación natural o artificial en cantidad y calidad suficiente (300 Lux), distribuida de manera uniforme para que se eviten sombras

intensas, contrastes y deslumbramientos a fin de que el trabajador realice sus labores con mayor seguridad sin perjuicio a su vista, de acuerdo a lo establecido en la legislación venezolana vigente en materia de seguridad y salud.

Las estructuras

Artículo 36. Las estructuras, pisos, paredes y otras partes de la Sala de Caldera, deberán estar contruidos con material resistentes a la combustión; el techo ser liviano y que no presente resistencia a las ondas de explosión en caso de accidente.

Espacio entre las estructuras

Artículo 37. Las áreas de las calderas deberán tener como mínimo un espacio libre de 1 metro entre el techo y las válvulas o accesorios más altos y 1.80 metros sobre el pasillo más elevado, que permita facilitar las inspecciones, control, mantenimiento y operación de los aparatos de seguridad que la integran.

Ventilación

Artículo 38. El empleador o empleadora deberá garantizar un diseño de ingeniería del sistema de ventilación que garantice el cálculo de calor sensible, este deberá incluir la carga térmica de la sala de caldera por:

1. Incidencia solar
2. Numero de personas que ocupan la sala
3. Iluminación
4. Equipos y otras fuentes identificables de calor

Orden y limpieza

Artículo 39. Se deberá mantener el orden, limpieza dentro y fuera de la sala de Caldera.

Sistemas de protección contra incendios

Artículo 40. Deberá poseer un sistema de prevención y control de incendios, adecuado de acuerdo a la naturaleza del riesgo, de conformidad a lo establecido en la legislación venezolana vigente en materia de seguridad y salud.

Chimenea

Artículo 41. La chimenea deberá tener la capacidad necesaria para dar salida a todos los gases producidos por la combustión por los tanto se considerará en la inspección como mínimo:

1. Que posea la altura adecuada que garantice para una buena combustión, además deberá tener una altura mínima de tres (03) metros que sobresalga al techo más alto que se encuentre en un radio de diez metros alrededor de ella.
2. Verificar que la chimenea se encuentra en buenas condiciones en su estructura (sin corrosiones y daños)

Inspección de las tuberías de vapor

Artículo 42. Toda la tubería de vapor, combustible, aire o agua deberá ser evaluada para detectar posibles fugas o deterioro; en caso de existir, deberán realizarse las recomendaciones necesarias para su reparación.

CAPÍTULO VII

Válvulas de Seguridad

Condiciones de las válvulas

Artículo 43. La caldera deberá estar provistas de una o más válvulas de seguridad y que éstas sean de presión apropiada para la presión de carga máxima de trabajo.

Calibración

Artículo 44. Dicha la válvula de seguridad deberá graduarse de manera que, se inicie la evacuación de vapor a una presión igual a la presión máxima de trabajo de la caldera, sin elevar la presión en más del 6% sobre la presión mayor a la cual está graduada.

Modificaciones

Artículo 45. En caso de realizar modificaciones o reemplazos estas las deberán mantener las condiciones originales de diseño. Las válvulas de seguridad deberán de ser del mismo tipo y capacidad de evacuación.

Conexión

Artículo 46. Las válvulas de seguridad estarán conectadas directamente a la cámara de vapor de la caldera, independiente de toda otra conexión o toma de vapor y sin interposición de ninguna otra válvula, llave, grifo u obstrucción.

Identificación

Artículo 47. Las válvulas de seguridad deberán estar claramente identificadas con: nombre del fabricante ó empresa que realiza la reparación y mantenimiento, números de serial, mode-

lo, tamaño en milímetros del tubo que alimenta la válvula, presión en Lb/pulg² del punto de disparo y diferencia de presión entre el punto de apertura y cierre de la última calibración en Lb/pulg². **(El Inpsasel deberá acordar que sistema de unidad se va a implementar).**

Escape de las válvulas

Artículo 48. Se deberá garantizar que el escape de la o de las válvulas se efectúe por medio de tubos de descarga. Éstos deberán poseer una sección transversal igual o superior al área de escape de la válvula y estarán dotados de desagües apropiados, a fin de evitar la acumulación de agua de condensación en la parte superior de la válvula o en el tubo.

Artículo 49. Se deberá garantizar que los escapes de descarga de las válvulas de seguridad estén, colocados o entubados de manera que lleven dicha descarga a distancia de los pasajes y las plataformas, fuera de la sala de caldera.

Presión de cierre

Artículo 50. La válvula de seguridad deberá cerrarse cuando la presión haya disminuido, no más de 4% por debajo de la presión de disparo.

De la abertura o conexión

Artículo 51. Se deberá garantizar que la abertura o conexión entre la caldera y la válvula de seguridad cuente con un área por lo menos igual a la entrada de la válvula. Cuando una caldera esté provista de dos o más válvulas de seguridad en una sola conexión, ésta tendrá un área transversal no menor que la suma de las áreas de los tubos de entrada de todas las válvulas de seguridad.

Periodicidad de la inspección

Artículo 52. Las válvulas de seguridad deben ser inspeccionadas periódicamente por lo menos una vez al mes, mediante el accionamiento manual o mediante otra forma la inspección visual de acuerdo a los criterios:

1. Revisará Fugas o Sello Inapropiado.
2. Revisará que no exista bloqueos o Restricciones y Mordazas colocadas.
3. Revisará toda la Tortillería.
4. Revisará presencia de Depósitos o Materiales que puedan Obstruir.
5. Revisará evidencias de oxido y corrosión.
6. Revisará Daños o Falta de Partes.

7. Revisará si hay algún Drenaje.
8. Se revisará y verificará que no esté Obstruido.

Presión de disparo

Artículo 53. Para determinar la presión de disparo de la válvula de seguridad, se deberá considerar la presión de operación y la máxima presión permisible de trabajo de cada unidad establecida por el fabricante, por tanto, se deberá garantizar que la presión no exceda la máxima presión permisible de trabajo.

Máxima presión permisible

Artículo 54. Si se instalan varias válvulas en una caldera, aquella que dispare a la más alta presión no debe exceder la máxima presión permisible de trabajo en un 3 % y el rango de las presiones de disparo de todo el conjunto de válvulas no debe exceder el 10 % de la presión de disparo de la válvula ajustada a la más alta presión.

Condición física de la válvula

Artículo 55. Se deberá garantizar la condición física de la Válvula de seguridad para ello se revisará:

1. Revisará Fugas o Sello Inapropiado.
2. Revisará que no exista bloqueos o Restricciones y Mordazas colocadas.
3. Revisará toda la Tortillería.
4. Revisará presencia de Depósitos o Materiales que puedan Obstruir.
5. Revisará evidencias de oxido y corrosión.
6. Revisará Daños o Falta de Partes.
7. Revisará si hay algún Drenaje.
8. Se revisará y verificará que no esté Obstruido.
9. Se deberá garantizar que las pruebas se hagan con un manómetro recientemente calibrado. En tal sentido la empresa prestadora de servicio solicitará El certificado.

CAPÍTULO V

Manómetros

Conexión

Artículo 56. Se verificará que toda caldera deberá estar provista de uno o más manómetros, que se conectarán a la cámara de vapor de la caldera mediante un tubo que forme un amortiguador, cuyo diámetro nominal interior mínimo de este tubo será de 6 milímetros (1/4”).

Capacidad

Artículo 57. El manómetro de la cámara de vapor tendrá capacidad para indicar, a lo menos, una y media vez la presión máxima del generador y no más del doble, procurando que dicha presión se encuentre en el tercio central de la graduación del rango de la escala (1.0 a 1.6 ASME .B40.1)

Dial de manómetro

Artículo 58. El dial del manómetro de la cámara de vapor debe ser tal que permita su fácil lectura y acceso desde la ubicación habitual del operador de la caldera, no siendo, en todo caso, inferior a 150 milímetros.

Presión máxima de la caldera

Artículo 59. En la escala del manómetro deberá marcarse con una línea roja indeleble la presión máxima de la caldera.

Ubicación

Artículo 60. El manómetro estará lo más cercano a la caldera, libre de vibraciones y protegido de las altas temperaturas del vapor.

Válvula de paso

Artículo 61. Deberá colocarse una válvula de paso para facilitar el cambio del manómetro.

Manómetro patrón

Artículo 62. Para los efectos del control periódico del manómetro se dispondrá de una toma adicional para la colocación de un manómetro patrón, con un diámetro interior como mínimo de 6 milímetros (1/4”), con válvula de paso que permita la fácil colocación del manómetro patrón.



Margen de error

Artículo 63. Al compararse el manómetro con el manómetro patrón, no se aceptará un margen de error superior al 2 %.

Manómetros de calibración

Artículo 64. Los manómetros que se utilicen en la calibración de las válvulas de seguridad deben ser de disco, con una escala lo suficientemente grande para poder apreciar fácilmente variaciones de presión al menos 1,0 libras por pulgada cuadrada manométrica y con un rango de presión que cubra cómodamente las necesidades de ajuste de las válvulas de seguridad.

Rango de alcance

Artículo 65. El rango de alcance de la escala sea preferiblemente el doble de la presión de trabajo de la presión de ajuste de la válvula de seguridad calibrada más alta y en ningún caso menor de 1,5 veces ese valor.

Calibración

Artículo 66. Los manómetros deben ser previamente calibrados y certificados, preferiblemente dentro de un lapso treinta días antes de efectuarse la prueba de calibración de las válvulas de seguridad.

CAPÍTULO VI

Sistema de Alimentación de Agua de la Caldera

Ubicación

Artículo 67. El Sistema de alimentación de agua de la Caldera en Servicio, no deberá estar conectado directamente del servicio público de agua potable.

Válvula de retención

Artículo 68. Se verificará que la tubería de alimentación esté provista de una válvula de retención ubicada cerca de la caldera.

Válvula de paso

Artículo 69. Se verificará que la tubería de alimentación esté provista de una válvula de paso de cierre manual, ubicada entre la caldera y la válvula de retención.

Calidad de agua

Artículo 70. En los sistemas de alimentación de agua se deberá garantizar, la calidad de agua de alimentación y los parámetros a evaluar, dependiendo de la presión de operación de la caldera y el tipo de diseño (Acuatubular-Pirutubular).

CAPÍTULO VII

Indicadores de Nivel de Agua

Cantidad de indicadores

Artículo 71. Toda caldera deberá estar provista, a lo menos, de dos indicadores de nivel de agua, independientes entre sí. Uno de ellos deberá ser de observación directa del nivel de agua, del tipo visual, pudiendo ser el otro de cualquier tipo.

Iluminación de los indicadores

Artículo 72. Los indicadores de nivel deberán contar con iluminación adecuada, libres de reflejos, destellos y fugas de vapor de manera tal, que puedan ser vistos fácilmente por el operador, desde cualquier sitio de su operación usual.

Visores del nivel

Artículo 73. Los visores de nivel estarán provistos de las válvulas o llaves necesarias para proceder al recambio de tubos o vidrios quebrados, como igualmente de una válvula en el nivel más bajo, que permita la purga de sedimentos acumulados en el visor o en sus conexiones.

Purga

Artículo 74. El agua de esta purga será captada por un embudo y llevada por cañería al desagüe de las calderas. Estas válvulas serán del tipo cono y estarán construidas de tal forma que su mango indique inequívocamente, la posición de "abierto", esto es, paralelo al tubo.

Nivel mínimo de agua

Artículo 75. El nivel mínimo de de agua de operación de la caldera estará a un porcentaje de 10 % de la altura del vidrio de nivel, de manera que pueda ser observado por los operadores.

Visores de nivel

Artículo 76. Los visores de nivel deberán disponer de protecciones adecuadas contra accidentes por roturas, colocados en forma que permitan la iluminación y observación.

Grifos de nivel

Artículo 77. Los grifos de nivel colocados más allá del alcance normal del piso o nivel de trabajo, deberán estar provistos de cadenas o varillas permanentes a fin de que puedan ser accionadas desde el piso, por medios apropiados para evitar descargas.

CAPÍTULO VIII

Tuberías

Protección térmica

Artículo 78. Las tuberías que conduzcan fluidos con temperaturas mayores a 60°C estarán cubiertas con material aislante, con el fin de evitar quemaduras al personal e incremento de temperatura en el área de trabajo.

Esfuerzos

Artículo 79. Las tuberías principales de vapor, deberán tener las formas necesarias y ser mantenidas en buenas condiciones, los dispositivos especiales para compensar las expansiones por temperatura, de tal manera que no se transmitan esfuerzos a las calderas, ni a los otros equipos que usen el vapor.

Trampas y colectores de condensado

Artículo 80. Las tuberías y colectores de vapor deberán estar provista de trampas y colectores de condensado, para evitar golpes de ariete y pulsaciones fuertes. Garantizar su buen funcionamiento.

Tubos de drenajes

Artículo 81. Se deberá considerar para la inspección de los tubos de drenaje lo siguiente:

1. Cada tubo de drenaje de fondo de una caldera, estará equipado de una válvula de apertura rápida lo más cerca posible de la caldera y después debe instalarse una válvula de cierre lento.
2. Las tuberías de drenaje, deberán descargar en una fosa, tanquilla o tanque de purgas, situado en lugar que no presente peligro para el personal, evitando su descarga a la red de sistema de cloacas.

Disposición de las conexiones

Artículo 82. La disposición de las conexiones de las líneas individuales de suministro de las

calderas al colector, deberán observarse especialmente para ver cualquier cambio de posición con respecto a la caldera, debido a asentamientos y otras causas localizadas por esfuerzos inconvenientes en la tubería.

CAPÍTULO IX

De los Sistemas de Control

Pruebas de control

Artículo 83. Toda caldera antes de la puesta en servicio y durante las respectivas pruebas de control y seguridad, deberán contar obligatoriamente con sistemas de indicación y control (automático – manual) para garantizar la operatividad de la misma, en condiciones seguras de trabajo; se considera primordial el control de todas las variables que intervienen en el proceso: presión, flujo, temperatura, nivel, velocidad de turbinas, combustión, otras.

Identificación del instrumento de control

Artículo 84. Todo instrumento de medición y control que intervienen en el proceso de generación de vapor, deberá estar identificado claramente con una placa de acero inoxidable en la que éste grabada en forma permanente, donde se exprese el número de identificación o etiqueta del instrumento. Esta placa debe fijarse cerca del instrumento y deberá ser de fácil acceso para la inspección o sujetarse en un lugar visible del instrumento (no se acepta el uso de Adhesivos).

Registro de los instrumentos

Artículo 85. La información sobre los instrumentos de medición y control deberá estar reflejada en registro auditable y accesible, que permita identificar:

1. Control al cual pertenece
2. Variable
3. Escala de la operatividad
4. Fabricantes
5. Fecha de la calibración
6. Método
7. Responsable de dicha calibración (empresa prestadora de servicio ó departamento de la empresa).

Registros de las variables

Artículo 86. Toda caldera deberá contar con el registro de las diversas variables que intervienen en el proceso, dichos registros deberán identificarse claramente con:

1. variable registrada
2. lazo de control al cual pertenece
3. fecha y hora (si se realiza de forma manual)

Frecuencia de registro

Artículo 87. El registro de las variables deberá llevarse durante las 24 horas en intervalos no mayores a 60 minutos entre intervalos. Estos registros deberán estar disponibles al momento de cualquier inspección.

Ubicación de los sistemas de control de agua

Artículo 88. Los sistemas de control de indicadores de nivel de agua de las calderas de mediana y alta presión, estarán colocados de manera que, cuando el nivel de agua visible esté en la marca más baja, exista aún suficiente agua en la caldera para evitar un accidente.

Sistema de control de purga

Artículo 89. Los Sistema de control de purgas se inspeccionaran considerando las especificaciones del equipo.

CAPÍTULO X

De los Sistemas de Seguridad

Sistemas de seguridad

Artículo 90. La caldera deberá contar con sistemas de seguridad que permitan restablecer, las variables del control de proceso a sus valores seguros de operación; en todo caso dichos sistemas de seguridad deberán ser capaces de detener parcial o totalmente la generación de vapor o funcionamiento de la caldera, cuando el proceso de control no sea seguro y ponga en riesgo la integridad física del personal que labora en dicho recinto o de los equipos e instrumentos.

Tipos de sistemas

Artículo 91. Las calderas deberán tener como mínimo los siguientes sistemas de seguridad (sonoros y visibles):

1. Válvulas de seguridad que permitan el desalojo de vapor por alta presión
2. Alarma sonora por bajo nivel de agua.
3. Alarma y corte de llama por extra bajo nivel de agua.
4. Corte de alimentación de agua por alto nivel.
5. Barrido de gases en el hogar antes de la ignición de la caldera por acumulación de gases.
6. Disparo por falla de flujo de aire forzado.
7. Fococelda por falla de llama.
8. Alarma y corte de llama por alta y baja presión de combustible (líquidos y gases).

Registro de activación

Artículo 92. Todo sistema de seguridad deberá contar con un registro de activación donde se indique claramente la falla ocurrida, adicionalmente; se deberá anexar la respectiva indicación de falla a través pilotos luminosos y/o alarmas sonoras, tomando en cuenta las especificaciones técnicas del fabricante, las características del centro de trabajo y que las mismas sea captada por el trabajador o trabajadora del área y bajo los límites permisibles en la legislación nacional vigente.

TÍTULO IV

DE LAS PRUEBAS DE CONTROL Y SEGURIDAD

CAPÍTULO I

Prueba Hidrostática

Frecuencia

Artículo 93. A los fines de comprobar la integridad y hermeticidad de la caldera, ésta será sometida a una prueba hidrostática en los casos que se señalan a continuación:

1. Después de la instalación
2. Después de cada reparación o reconstrucción que involucre el cuerpo de la
3. caldera / de alguno de los elementos sometidos a presión.
4. Periódicamente a intervalos no mayores de trece (13) meses.
5. En aquellos casos en los cuales el Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo de la empresa los considere necesario.

Desconexión del cuerpo de la caldera

Artículo 94. Para evitar posibles daños o fugas y antes del sometimiento de la caldera a la respectiva prueba hidrostática, se deberá desconectar, aislar o bloquear del cuerpo de la caldera (en caso de que la presión de la prueba exceda la presión máxima de trabajo), los siguientes accesorios:

1. Válvula principal de vapor.
2. Válvula de seguridad.
3. Grifos de columna hidrométrica.
4. Válvula de paso y retención de las líneas de alimentación de agua.
5. Instrumentos de medición y control.
6. Válvulas auxiliares de control.

Presión de prueba

Artículo 95. Para el caso de las calderas nuevas, la presión a la cual se realizará la prueba hidrostática será de 1.5 veces la presión máxima de diseño o presión máxima permisible de trabajo.

Pruebas para calderas instaladas

Artículo 96. Para el caso de las calderas con más de un año instalada, la presión a la cual se realizará la prueba hidrostática será de 1.5 veces la presión de trabajo, en ningún caso superando 1.5 veces la presión máxima de diseño.

Duración de la prueba

Artículo 97. Una vez alcanzada la presión de prueba, el tiempo mínimo de duración de la prueba hidrostática será de 30 minutos, pudiendo extenderse el tiempo requerido por el inspector para llevar a cabo la revisión.

Requisitos para la prueba

Artículo 98. Para el llenado y la realización de la respectiva prueba hidrostática, deberá cumplirse lo siguiente:

1. Una vez desconectadas las partes señaladas en el artículo relacionado con la desconexión de la caldera, se procederá al llenado de agua de la caldera, asegurándose el completo desalojo del aire interno.
2. Por medio de un bomba (eléctrica, manual, o cualquier otro medio) se elevará la presión hasta alcanzar el valor de prueba. Una vez alcanzada está, se bloquea la alimentación de agua. Se tendrá sumo cuidado que la elevación de la presión sea paulatina para cerciorarse a medida de que se eleva, no exista fugas, deformaciones o cualquier otro defecto.
3. La caída de presión máxima permisible en la caldera será hasta el 3 % de la presión de prueba. De presentarse la caída de presión permisible, la causa de la misma deberá registrarse en el informe.

CAPÍTULO II

Prueba de Sistema de Control y Seguridad

Frecuencia

Artículo 99. A los fines de comprobar la integridad de los sistemas de control y seguridad de las calderas, estas serán sometidas a una prueba hidrostática en los casos que se señalan a continuación:

1. Después de la instalación.
2. Después de cada reparación, sustitución o reconstrucción que involucre los sistema de seguridad y control.

3. Periódicamente a intervalos no mayores de 13 meses.
4. En aquellos casos en los cuales el Comité de Seguridad y Salud Laboral lo considere necesario.

Pruebas simuladas

Artículo 100. Todo Sistema de Control y Seguridad que a continuación se menciona, deben someterse a las pruebas simuladas respectivas de su funcionamiento, antes de la puesta en servicio de la caldera:

1. Alarma sonora por debajo del nivel de agua.
2. Alarma y corte de llama por estar bajo nivel de agua.
3. Corte de alimentación de agua por alto nivel.
4. Barrido de gases en el hogar antes de la ignición de la caldera por acumulación de gases.
5. Disparo por falla de flujo de aire forzado.
6. Fococelda por falla de llama.
7. Alarma y corte de llama por alta y baja presión de combustible (líquidos y gases).
8. Sistemas de purga de fondo en caso de ser automático.

Pruebas en operación

Artículo 101. Posterior a estas simulaciones, deberán realizarse las correspondientes pruebas en caliente (en operación) a los sistemas de control y seguridad. Los resultados de estas pruebas deberán presentarse ante el Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laboral, donde se refleje la garantía de funcionamiento de los mismos.

CAPÍTULO III

Pruebas de Válvulas de Seguridad

Calibración

Artículo 102. Se deberá garantizar la calibración de las válvulas de seguridad, bajo condiciones reales de trabajo, para que las calderas puedan trabajar sin peligro alguno para los operadores y las otras instalaciones de la planta.

Ubicación de manómetro

Artículo 103. El manómetro que registra la presión de disparo de la válvula, deberá estar conectado directamente y ubicado cerca del domo superior de las calderas acuotubulares y en tambor envolvente de las piro-tubulares.

Presión de disparo

Artículo 104. La presión de disparo no será superior a la presión permisible de trabajo o presión de diseño, determinada por el fabricante según cada caldera en particular.

Rango de calibración

Artículo 105. Las válvulas deberán estar calibradas bajo las siguientes consideraciones:

1. Las presiones de disparo de las válvulas de seguridad deben ser ajustadas, de manera tal que no permita que la presión de la caldera, con todas las válvulas de seguridad abiertas suba por arriba del 6 % de la llamada presión de diseño, o máxima presión permisible de trabajo.
2. Para la prueba de disparo de la válvula el porcentaje de caída de presión, debe estar en un rango base, tal que sea mayor que el 2% y menor que el 4%.
3. Para las pruebas de disparo de válvulas calibradas por encima de 400 psi se podrán utilizar dispositivos neumáticos o hidráulicos mediante la simulación de apertura, tomando esto como fundamento para la certificación.

CAPITULO IV

Calidad del agua

De la calidad de agua

Artículo 106. El empleador o empleadora, dueño de la caldera deberá garantizar el análisis, seguimiento y control de la calidad del agua de alimentación de la caldera, así como el empleo de tratamientos químicos para prevenir las incrustaciones o corrosión en una caldera, presencia de elementos contaminantes (Aceite, cloruros, petróleo, soda cáustica, ácidos, azúcar, materia orgánica, entre otros) considerando las especificaciones del fabricante y de la empresa prestadora de servicio, que permitan el óptimo funcionamiento u operación de la caldera.

Bitácora diaria

Artículo 107. Se deberá llevar en la bitácora diaria un resumen mensual de los resultados analizados por día, indicando los valores de referencia establecidos por el fabricante de la caldera, por el suplidor de tratamiento de agua de alimentación y los parámetros empleados para la



recolección de dichas muestras de conformidad a lo establecido en las normativas nacionales o internacionales sobre la calidad de agua para alimentación de las calderas.

Toma de muestras

Artículo 108. Las toma de muestras deberán estar asociadas a la línea de purga continua, para que la muestra sea lo más representativa posible de todo el agua de contenido de la caldera.

La muestra de agua debe estar acondicionada para asegurar que sea 100% condensada a temperaturas inferiores a 30 grados centígrados. La muestra debe ser analizada por un personal capacitado y sus resultados deben registrarse en el formato de análisis de agua e informar de los mismos al operador de la caldera y de requerirse, tomar acciones correctivas.

Sistema de dosificación

Artículo 109. Cada caldera deberá estar equipada con un sistema independiente que permita la dosificación por producto químico, según lo establecido por la empresa suplidora del tratamiento.

Presión de operación

Artículo 110. La toma y análisis de la muestra se realizarán considerando la presión de operación y criticidad de su potencial de contaminación, considerando las características de funcionamiento de la caldera.

CAPITULO IV

Instrumentos de Medición

Mediciones

Artículo 111. El empleador o empleadora, deberá garantizar la medición de las condiciones físicas y químicas de acuerdo a las especificaciones del fabricante, de la caldera en servicio, en tal sentido, la misma deberá contar con los respectivos instrumentos de medición que permitan controlar como mínimo: Temperatura, presión, salida de los gases, vapor de salida, combustible líquido y agua de alimentación,

Calibración

Artículo 112. El empleador o empleadora, deberá garantizar que estos instrumentos cumplan con los requerimientos de calibración y funcionamiento.



Rego® High Pressure Industrial Regulators

597 Series

597 Series

Application

Designed to reduce LP-Gas container pressure down to between 0.1 bar and 7,0 bar. Ideal for liquid or vapour service, they can be used in a variety of applications including salamander heaters, weed burning torches, fish cookers, tar pot heaters, and other industrial type services.

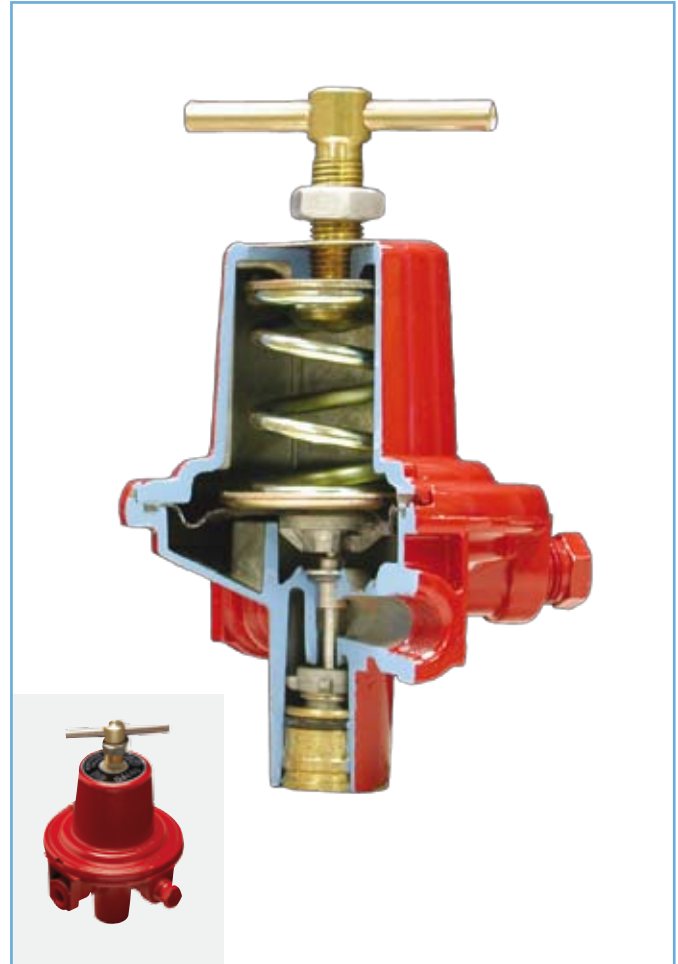


Are in accordance with the requirements of Directive 97/23/EC for pressure equipment.

But being pressure equipment equal or below the limits in section 1.1, 1.2 and 1.3 of Article 3 are stated to be designed and manufactured with the sound engineering practice of a Member State in order to ensure safe use. 597 series are UL approved

Materials

| | |
|------------------|--------------------------------------|
| Body | Zinc |
| Bonnet | Zinc |
| Springs | Steel |
| Valve Seat Discs | Resilient Rubber |
| Diaphragm | Integrated Fabric & Synthetic Rubber |
| Adjusting Screw | Brass |



Ordering Information

| Part Number | Adjustment Method | Inlet Connection | Outlet Connection | Recommended Delivery Pressure range in bar | Capacity Determined at Set pressure of bar * | Approximate Capacity Propane ** |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------|--|--|---------------------------------|
| 597FA | Tee Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 0,1 – 1,0 | 0,7 | 37 kg/h |
| 597FB | Tee Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 0,7 – 2,0 | 1,4 | 63 kg/h |
| 597FC | Tee Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 1,4 – 3,0 | 2,0 | 73 kg/h |
| 597FD | Tee Handle | 1/4" F.NPT | 1/4" F.NPT | 2,8 – 7,0 | 2,8 | 94 kg/h |

* Set pressure established at 7,0 bar inlet and a flow of 5,0 kg/h

** Capacity determined at actual delivery pressure 20% less than set pressure with inlet pressure 1,4 bar higher than the set pressure



REGO GmbH - Distribution Center Europe
 Industriestrasse 9, D-35075 Gladenbach, Germany
 Phone +49 (0)6462-9147-0, Fax -9147-29
 info@rego-europe.de · www.rego-europe.de