

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA EMPRESA DE PRODUCTOS DE ACERO EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA

NANDER ACOSTA OYARCE

Callao, 2021

PERÚ

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Nander Acosta Oyarce'.

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

INFORMACION BÁSICA

- **FACULTAD:**
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y DE ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA
- **UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:**
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y DE ENERGÍA
- **TÍTULO:**
“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR
PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA EMPRESA DE
PRODUCTOS DE ACERO EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL
CALLAO”
- **AUTOR:**
NANDER ACOSTA OYARCE
- **ASESOR:**
DR. FÉLIX ALFREDO GUERRERO ROLDAN
- **LUGAR DE EJECUCIÓN:**
CALLAO – PERÚ
- **TIPO DE INVESTIGACIÓN:**
INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA
- **UNIDAD DE ANÁLISIS:**
HORNOS DE FUNDICIÓN Y CALDERA

Dedicatoria

Dedico de manera especial esta tesis a mi familia, que es un soporte muy importante en mi vida, siendo mi mayor motivación para ser un profesional competente.

A Susan, mi gran compañera quien me alentó a seguir esforzándome desde mi época universitaria.

Agradecimiento

Agradezco a Dios, por iluminar mis pasos.

Gracias a la Universidad Nacional del Callao y a sus buenos docentes por las enseñanzas brindadas.

Al Dr. Félix Guerrero, por compartir sus amplios conocimientos en el desarrollo de la tesis.

Al ing. Rafael Calle y al ing. Jaime Segura, que contribuyeron de manera significativa en mi crecimiento profesional.

Al ing. Luis Córdova y al ing. Fernando Martínez, cuyos consejos fueron valiosos al iniciar mi vida laboral.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
INTRODUCCIÓN	9
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema general	13
1.2.2. Problemas específicos	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Limitantes de la investigación	15
1.4.1. Limitante espacial.....	15
1.4.2. Limitante temporal	15
II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes	16
2.1.1. Antecedentes internacionales	16
2.1.2. Antecedentes nacionales	18
2.2. Bases teóricas.....	20
2.2.1. Combustión.....	20
2.2.2. Energía térmica	23
2.2.3. Calor	23
2.2.4. Formas de transferencia de calor	24
2.2.5. Calor residual.....	28
2.2.6. Ecuaciones básicas de transferencia de calor	28
2.2.7. Vapor de agua	30
2.2.8. Sistemas de generación de vapor.....	31
2.2.9. Componentes de un sistema de vapor	33
2.2.10. Eficiencia térmica	42
2.3. Bases conceptuales	44
2.3.1. Sistema de recuperación de calor.....	44
2.3.2. Hornos de fundición.....	46
2.3.3. Distribución de calor	48
2.3.4. Método de procesamiento de carga.....	50

2.3.5. Tipos de hornos	53
2.4. Definición de términos básicos	56
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	57
3.1. Hipótesis.....	57
3.1.1. Hipótesis general.....	57
3.1.2. Hipótesis específicas.....	57
3.2. Definición conceptual de variables	58
3.3. Operacionalización de variables.....	59
IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	61
4.1. Tipo y diseño de investigación.....	61
4.2. Método de investigación	61
4.3. Población y muestra.....	63
4.4. Lugar de estudio.....	63
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	63
4.5.1. Técnica documental	63
4.5.2. Técnica empírica	64
4.6. Análisis y procesamiento de datos	67
4.6.1. Definición del problema.....	69
4.6.2. Diseño conceptual	70
4.6.3. Diseño categorial.....	72
4.6.4. Prototipado	89
V. RESULTADOS	91
5.1. Resultados descriptivos	91
5.2. Resultados inferenciales.....	98
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	99
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	101
6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes	103
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Presión en la caldera de recuperación de calor.....	91
Gráfica 2. Presión de la bomba	92
Gráfica 3. Presión de operación de los hornos	94
Gráfica 4. Comparativo del consumo de gas natural en la caldera	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema simplificado de la combustión industrial.	21
Figura 2.	Esquema del flujo de calor.	24
Figura 3.	Flujo de calor a través de una pared.	25
Figura 4.	Convección natural y convección forzada.	26
Figura 5.	Radiación.	27
Figura 6.	Ejemplo de diagrama Sankey.	28
Figura 7.	Ciclo del vapor.	31
Figura 8.	Diagrama PI&D de un sistema de generación de vapor.	33
Figura 9.	Esquema simplificado de una caldera de vapor.	34
Figura 10.	Tanque de condensado.	36
Figura 11.	Sistema de bombeo típico a caldera.	38
Figura 12.	Tubería de distribución de vapor.	40
Figura 13.	Nomograma para diámetro de tubería de condensado.	42
Figura 14.	Caldera de recuperación de calor pirotubular.	45
Figura 15.	Caldera de recuperación de calor acuotubular.	46
Figura 16.	Vista de elevación de un horno de calentamiento directo.	47
Figura 17.	Vista de elevación de un horno de calentamiento indirecto.	48
Figura 18.	Horno rotatorio.	49
Figura 19.	Horno de fusión de vidrio.	49
Figura 20.	Disposición de quemadores en hornos.	50
Figura 21.	Horno de reverbero.	53
Figura 22.	Horno de eje vertical.	54
Figura 23.	Horno rotatorio.	55
Figura 24.	Componentes de un sistema.	62
Figura 25.	Representación esquemática del trabajo de investigación.	62
Figura 26.	Analizador de gases marca TESTO 350N.	64
Figura 27.	Cámara termográfica FLIR i60.	64
Figura 28.	Cámara fotográfica SAMSUNG ST72.	65
Figura 29.	PanelView Plus 600 Allen Bradley.	65
Figura 30.	Medidor de flujo de gas tipo rotatorio.	66
Figura 31.	Manómetro tipo Bourdon.	66
Figura 32.	Termómetro tipo bimetálico.	67
Figura 33.	Diagrama de bloques del sistema de hornos y calderas.	69
Figura 34.	Diagrama de bloques del sistema de recuperación de calor.	70
Figura 35.	Diagrama del sistema de recuperación de calor.	71
Figura 36.	Vista isométrica del soplador.	78
Figura 37.	Diseño de chimenea y tobera.	79
Figura 38.	Diseño de tobera.	80
Figura 39.	Vista isométrica de chimenea y tobera simulada.	81
Figura 40.	Vista lateral de chimenea y tobera simuladas.	82

Figura 41. Gradiente de velocidad de la simulación realizada.	82
Figura 42. Plataforma de ubicación de la caldera.	84
Figura 43. Herramienta de dimensionamiento de bombas.	85
Figura 44. Resultado del dimensionamiento de la bomba.	85
Figura 45. Especificaciones técnicas de la bomba CR 1-5.	86
Figura 46. Dimensiones de la bomba CR 1-5.	86
Figura 47. Diseño del ducto de alimentación de gases a la caldera.	87
Figura 48. Nomograma para selección de la tubería de condensado.	89
Figura 49. Vista isométrica del sistema de recuperación de calor.	90
Figura 50. Curva de operación de la bomba CR1-5.	92
Figura 51. Gradiente de la velocidad de los gases en el ducto.	93
Figura 52. Gradiente de la presión de los gases en el ducto.	93
Figura 53. Correlación de Pearson.	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Poder calorífico para hidrocarburos comunes.	21
Tabla 2. Temperatura de ignición para hidrocarburos comunes.....	23
Tabla 3. Velocidades recomendadas de vapor y caídas de presión.....	41
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	60
Tabla 5. Datos de operación de los hornos de Zinc y Bezinal.	72
Tabla 6. Especificaciones de caldera pirotubular.	73
Tabla 7. Consumo de gas natural en la caldera de 200 BHP.	73
Tabla 8. Temperatura de los gases residuales.....	74
Tabla 9. Temperatura de los gases residuales.....	74
Tabla 10. Consumo de G.N. después de implementado el HRSG.....	95
Tabla 11. Comparativo del consumo de gas natural en la caldera.....	95
Tabla 12. Ahorro de energía.....	96
Tabla 13. Ahorro económico.....	96
Tabla 14. Eficiencia energética.....	97

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en una planta de productos de acero en la provincia constitucional del Callao, donde se tenían emisiones de gases de combustión al medio ambiente con altas temperaturas y un desaprovechamiento del calor residual contenido en estos gases. El principal objetivo de la investigación fue implementar un sistema de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta industrial. Como objetivos secundarios se tuvieron el dimensionamiento de los componentes que conforman el sistema de recuperación de calor.

El diseño metodológico de la investigación emplea el método sistémico, el tipo de investigación es tecnológica, con un nivel aplicado, siendo la población y muestra de la investigación los equipos térmicos de la planta industrial, el lugar de estudio de la investigación fue la zona de hornos de fundición y la sala de calderas. Es importante indicar que las técnicas para la recolección de la información que se emplearon fueron la técnica documental y la técnica empírica, para el análisis de datos se realizaron mediciones de los parámetros de operación del sistema, los cuales forman parte de los resultados obtenidos.

Resultado de la implementación del sistema de recuperación de calor se obtuvo una reducción en el consumo de gas natural de 33.90 m³/h en la sala de calderas, mejorando la eficiencia térmica de la planta en un 9% y reduciendo los costos de operación.

La principal conclusión de la investigación realizada es que la recuperación de calor presente en gases residuales provenientes de hornos de fundición aporta el calor requerido para generar un flujo de vapor saturado aprovechable en otros procesos de calentamiento en la planta de aceros y con ello se mejora la eficiencia energética de la planta.

Palabras clave: recuperación de calor, eficiencia energética, transferencia de calor.

ABSTRACT

This research was developed in a steel products plant in the constitutional province of Callao, where combustion gas emissions to the environment were present at high temperatures and a waste of the residual heat contained in these gases. The main objective of the research was to implement a heat recovery system to improve the energy efficiency of the industrial plant. Secondary objectives were the sizing of the components that make up the heat recovery system.

The methodological design of the research uses the systemic method, the type of research is technological, with an applied level, the population and research sample being the thermal equipment of the industrial plant, the place of study of the research was the area of foundry furnaces and the boiler room. It is important to indicate that the techniques for the collection of information that were used were the documentary technique and the empirical technique, for data analysis measurements of the operating parameters of the system were made, which are part of the results obtained.

The implementation of the heat recovery system resulted in a reduction in natural gas consumption of 33.90 m³/h in the boiler room, improving the thermal efficiency of the plant by 9% and reducing operating costs.

The main conclusion of the research carried out is that the heat recovery present in waste gases from smelting furnaces provides the heat required to generate a saturated steam flow usable in other heating processes in the steel plant and thus improves the energy efficiency of the plant.

Keywords: heat recovery, energy efficiency, heat transfer.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumo de energía en cualquier planta industrial es una parte importante de los costos de operación. Las plantas industriales requieren energía térmica y energía eléctrica para poder operar, la energía térmica se puede obtener directamente mediante la combustión de combustibles, siendo los hornos y calderas una parte integrante de la mayoría de industrias que utilizan el calor generado por estos equipos en sus procesos. Es por ello que la recuperación de calor resulta importante en términos de eficiencia energética como parte de un correcto aprovechamiento de los recursos energéticos.

Los hornos se utilizan comúnmente desde procesos de fundición de metales, hasta la cocción y secado de alimentos. Las calderas, por el contrario, se utilizan para producir solo vapor o agua caliente. En muchas plantas de proceso, el proceso de combustión en hornos y calderas es la mayor entrada de energía individual; estos equipos consumen mucha energía y, por lo tanto, es importante diseñar y operar estas unidades con la mejor eficiencia energética posible. Si bien muchas calderas funcionan en condiciones casi constantes, el funcionamiento de los hornos suele ser muy dinámico.

La recuperación de calor en la industria peruana tiene muy baja aplicación, ello por el poco conocimiento de los beneficios que puede traer, en muchas plantas industriales que tienen hornos y calderas la operación de estos equipos implica un alto costo, que puede ser mejorado si se evalúan oportunidades de ahorro energético como es el caso de la recuperación de calor. Esta oportunidad de ahorro energético representa una alternativa para las plantas que tienen emisiones de gases a altas temperaturas como es el caso de la planta de productos de acero, cuyas temperaturas de salida de los gases superaban los 400 °C y 300 °C en los hornos de Zinc y Bezinal (aleación de Zinc y Aluminio) respectivamente.

Es así que se planteó el trabajo de investigación titulado: “Implementación de un sistema de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética en una empresa de productos de acero en la provincia constitucional del Callao”, que tiene como propósito implementar un sistema de recuperación de calor de las

chimeneas de los hornos de fundición de Zinc y Bezinal, con la finalidad de mejorar la eficiencia energética de la planta.

Se busca aprovechar el calor residual en el funcionamiento de una caldera para generar vapor; la caldera forma parte del sistema de recuperación de calor, cuya operación depende de los gases emitidos por las chimeneas de los hornos; además determinar los beneficios económicos y ambientales de la implementación de un sistema de recuperación de calor.

El presente proyecto de investigación comprende los siguientes capítulos:

En el Capítulo I se tiene el planteamiento del problema, se describe la realidad problemática, la formulación del problema, objetivos, justificación y limitantes de la investigación.

En el Capítulo II se mencionan los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, las bases conceptuales y los términos básicos.

En el Capítulo III se plantean las hipótesis y variables, también se define conceptualmente las variables y se realiza la operacionalización de ellas.

El Capítulo IV aborda el diseño metodológico de la investigación, tipo y diseño de investigación, método, lugar de estudio, técnicas e instrumentos, análisis y procesamiento de datos.

El Capítulo V muestra los resultados obtenidos de la investigación.

El Capítulo VI se plantea la discusión de los resultados obtenidos.

Finalmente se muestran las conclusiones de la investigación y recomendaciones realizadas, así como la bibliografía y los anexos que contribuyeron al desarrollo de la investigación.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Descripción de la realidad problemática a nivel mundial

En el sector industrial el uso de energía térmica es fundamental para llevar a cabo los procesos de producción industrial. Dichos procesos tienen como punto de partida el uso de equipos térmicos, tales como hornos y calderas. Es bastante amplio el uso de hornos para los procesos de fundición de metales, donde se tienen focos de calor residual, es decir pérdidas de calor por mal aislamiento o en forma de gases residuales del proceso de combustión.

Si se observa a nivel mundial, existen pocas inversiones en sistemas de mejoramiento de eficiencia energética en el sector, comparado con otros sectores como el de construcción de edificios o sistemas de iluminación y alumbrado, como lo viene publicando la Agencia Internacional de Energía en sus reportes de inversiones de capital en eficiencia energética por región (1).

Descripción de la realidad problemática a nivel nacional

En el sector industrial peruano son muy pocas las industrias que tienen implementadas mejoras de eficiencia energética en los sistemas que operan con energía térmica, tales como sistemas de recuperación de calor de procesos, es deficiente la recuperación de energía de los equipos industriales (hornos y calderas) que para su funcionamiento requieren quemar combustibles fósiles como el gas natural, gas licuado de petróleo (G.L.P.), petróleo diésel, etcétera y así llevar a cabo los procesos de calentamiento para conseguir la vaporización o fundición de metales. Dichos equipos son parte fundamental de las plantas de proceso, si no se tienen implementados mecanismos de recuperación de calor, la eficiencia energética del sistema es baja, por lo que se incrementan los costos de operación. En otras plantas, específicamente generadoras de energía eléctrica, como las centrales termoeléctricas, también se tienen gases de

combustión con altas temperaturas, cuyo calor si es aprovechado en sistemas de recuperación de calor, estos sistemas tienen calderas de recuperación de calor cuya función es generar vapor de agua sobrecalentado a partir del calor entregado por esos gases de combustión para el accionamiento de turbinas.

Descripción de la realidad problemática a nivel local

En la planta industrial de productos de acero, los hornos de fundición de Zinc y Bezinal cumplen un rol importante, ya que parte del proceso de producción de alambres se desarrolla en ellos, los alambres ingresan al horno de fundición donde son bañados en el Zinc y Bezinal, la operación de estos equipos requiere quemar gas natural para aportar el calor necesario para la fundición del Zinc y Bezinal y los gases de combustión resultantes son expulsados por las chimeneas al medio ambiente con altas temperaturas, con los valores de 456.7 °C y 344.4 °C, y con flujos de 65 m³/h y 45 m³/h, respectivamente para cada chimenea.

Estos gases desechados son una emisión contaminante al ambiente ya que contribuyen con el calentamiento global. También son una fuente de calor residual aprovechable, por la alta temperatura que presentan, su desecho genera pérdidas de ahorro energético en la operación del sistema.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la implementación de un sistema de recuperación de calor mejora la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo dimensionar la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao?
- ¿Cómo seleccionar la bomba de alimentación de agua para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao?
- ¿Cómo diseñar el ducto que permita alimentar de gases a la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao?
- ¿Cómo dimensionar el soplador de aire que permita impulsar aire en la chimenea de la caldera de recuperación de calor y así mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Implementar un sistema de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao.

1.3.2. Objetivos específicos

- Dimensionar la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao.
- Seleccionar la bomba de alimentación de agua para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao.
- Diseñar el ducto que permita alimentar de gases a la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao.
- Dimensionar el soplador de aire que permita impulsar aire en la chimenea de la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero en la provincia constitucional del Callao.

1.4. Limitantes de la investigación

1.4.1. Limitante espacial

Las limitantes de la investigación en cuanto al tiempo y el espacio, son las referidas a situar el problema en un contexto definido y homogéneo.

La limitación espacial de la investigación, está dada por el sistema de vapor y hornos de la empresa de productos de acero en la provincia constitucional del Callao.

1.4.2. Limitante temporal

Una limitante temporal es aquella que esta referida al periodo de tiempo que se toma en cuenta con relación a hechos, fenómenos y sujetos de la realidad.

Con ello se establece que la limitante temporal de la investigación está comprendida en el periodo de realización de la misma, desde agosto hasta diciembre del año 2021.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Existen diversos trabajos de investigación cuyo objeto de investigación son las variables estudiadas en esta tesis, dichos trabajos sirvieron como una importante fuente teórica para llevar a cabo el estudio, y serán mencionados a continuación.

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Ugalde Barrales (2018) en su tesis titulada “Aprovechamiento de calor de gases de combustión en una planta acerera”, tuvo como objetivo principal analizar un caso real de aprovechamiento de calor residual presente en los gases de combustión de una de las chimeneas de una planta acerera, aplicando una tecnología comercial de WHR (waste heat recovery). En esta investigación el autor realizó un análisis técnico y económico de tres tecnologías para la recuperación de calor residual que pudiesen recuperar parte del calor residual no aprovechado de los gases de combustión en diferentes equipos que utilizan la combustión de gas natural como fuente de energía, en una planta acerera situada en San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. El autor concluye que la recuperación de calor puede aumentar la eficiencia de la planta industrial, mediante el precalentamiento de aire de combustión y la generación de vapor para cubrir parte de la demanda de vapor de los equipos consumidores.

Esta tesis se relaciona con la investigación planteada proporcionando la metodología para la implementación de un sistema de recuperación de calor en una planta industrial de productos de acero.

- Moreno Beltrán (2019) en su tesis titulada “Diseño de sistema de recuperación de calor de aire caliente de desecho para calentamiento y vaporización de agua en la Compañía Vidrio Andino S.A.” cuyo objetivo fue diseñar un sistema de recuperación de calor de aire caliente de desecho para ser usado en el calentamiento y vaporización de agua en

la compañía Vidrio Andino S.A., Bogotá, Colombia, realiza una investigación y análisis del proceso productivo donde encontró pérdidas de calor aprovechables.

Como resultado de la investigación elabora el diseño de un sistema de recuperación de calor cuya implementación puede ser realizada a futuro.

Concluye que el diseño y aplicación de un sistema de recuperación de calor optimizaría los procesos productivos de la planta.

Este proyecto tiene un vínculo con la presente investigación porque aporta una metodología de cálculo de los diferentes parámetros involucrados en un sistema de recuperación de calor, así como el dimensionamiento de los componentes necesarios para su funcionamiento y operación, también aporta pautas para la evaluación económica requerida para implementar un proyecto de esta naturaleza.

- Robledo Gómez (2019) en su tesis titulada “Estudio de factibilidad técnico – económica del uso de un sistema de cogeneración para la recuperación de calor en una planta cementera en Colombia”, planteó como objetivo fundamental desarrollar y aplicar una metodología para estimar el potencial de cogeneración aprovechando la energía térmica que se desperdicia en una planta cementera en Colombia. Con ello el autor analiza y evalúa las tecnologías más adecuadas para dicho fin. También realiza un análisis energético y balance de masa de la planta cementera y como resultado obtiene la caracterización del entorno geográfico y operacional.

La principal conclusión es que la implementación de un sistema de cogeneración tiene viabilidad técnica y económica, realizando de manera adecuada la evaluación del estado energético y operacional de la planta.

La investigación presentada brinda aspectos metodológicos para poder realizar el análisis técnico y económico más adecuado para la implementación de un sistema de recuperación de calor.

- Cánovas Pujalte (2019) en su trabajo de fin de grado titulado “Estudio de la implantación de sistemas de cogeneración y trigeneración basados en recuperación del calor residual de los gases de la combustión procedentes de MCI A”, tuvo como objetivo desarrollar el balance energético y exergético del ciclo de producción de potencia del motor de un buque. En este estudio el autor define y describe los sistemas de recuperación de calor y el aprovechamiento que puede realizar de los gases de escape de motores de combustión interna alternativa de barcos, con ello analiza el rendimiento de los ciclos de producción de potencia. Como resultado de esta investigación obtiene diversos parámetros técnicos, producto de los cálculos desarrollados. El autor concluye que, los gases de escape del motor del buque pueden ser aprovechados en una caldera de recuperación de calor.

Esta tesis aporta importantes aspectos técnicos para el desarrollo del proyecto de investigación que servirán para tener un mejor entendimiento de las variables estudiadas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Tena Jacinto (2019) en su tesis titulada “Optimización topológica de un sistema de cogeneración de energía en ciclo combinado y su influencia en la eficiencia de una planta productora de fibras acrílicas de hilado en seco, período 2016 - 2017” señala como objetivo principal determinar la optimización topológica del sistema de cogeneración de energía en ciclo combinado y la influencia que este tiene en la eficiencia de la planta industrial. El autor en el estudio desarrolla un análisis termo económico que permite la optimización de la eficiencia de la planta productora de fibras acrílicas de hilado en seco. Como resultado determina que la reutilización de los gases residuales optimiza de manera notable la eficiencia de la planta de producción, ello se manifiesta en la comparación de resultados obtenidos del análisis termo económico realizado.

También concluye que la optimización topológica del sistema de cogeneración de energía en ciclo combinado en la planta conlleva a una mejora en la eficiencia del 64% al 75%.

Este estudio tiene relación con la investigación planteada ya que contribuye al mejor entendimiento de los parámetros requeridos para el dimensionamiento de un sistema de recuperación de calor, así como los beneficios obtenidos por este tipo de sistema, al ser aplicado en plantas industriales.

- Pacheco Monzón y Vargas Santiago (2021) en su tesis titulada “Recuperación de gases de caldera 500 BHP para calentamiento de agua en una máquina removedora de piel de pescado – Empresa Conservera la Chimbotana S.A.C.” cuyo objetivo primordial fue recuperar los gases de combustión emitidos por una caldera de 500 BHP para aprovechar su energía y calentar agua en una máquina removedora de piel de pescado. Los autores realizaron un procedimiento sistemático de análisis de los parámetros de energía y calor del sistema. Como resultado obtienen indicadores energéticos, que contribuyen al diseño del recuperador de calor.

De esta investigación, los autores, concluyen que la implementación de un recuperador de calor tiene viabilidad técnica y económica, según los resultados obtenidos en la investigación.

La investigación resulta importante porque aporta la metodología del diseño de un equipo recuperador de calor, así como los indicadores energéticos necesarios para tal fin.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Combustión

La combustión es una reacción química que libera energía, se requieren tres elementos para que pueda desarrollarse: combustible, oxígeno (también llamado comburente) y calor. En un proceso elemental de combustión, el oxígeno presente en el aire se mezcla con elementos combustibles como el carbono, hidrógeno, azufre, generándose una oxidación.

Para tener un proceso de combustión también es fundamental la proporción entre oxígeno y combustible, como se demuestra en las ecuaciones químicas, así como la temperatura de ignición para que el proceso de combustión continúe.

En la industria se usan diferentes combustibles, tales como el gas natural, gas licuado de petróleo, diésel, etanol, etc. Su aplicación depende de la disponibilidad del recurso, el costo y el poder calorífico que presenta.

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor que posee y es capaz de liberar por cada unidad de masa o volumen considerado. Se encuentra en laboratorio mediante métodos experimentales, en un equipo llamado bomba calorimétrica, donde los productos de la combustión quedan a temperatura ambiente, condensándose y cediendo su calor latente de condensación el vapor de agua (597,2 kcal/kg de agua formada). Este valor es llamado Poder Calorífico Superior o Bruto (4).

En los procesos de combustión industrial el vapor de agua presente en los gases de combustión no llega a condensarse y el contenido de calor escapa por la chimenea, dando lugar al Poder Calorífico Inferior o Neto (4).

Veamos una tabla con los valores del poder calorífico de algunos de los combustibles más empleados en la industria:

Tabla 1. Poder calorífico para hidrocarburos comunes.

Combustible	Análisis % en peso				Poder Calorífico Inferior BTU/lb
	C	H	S	Cenizas	
Gas natural	75	25	-	-	21,492.00
GLP	82.5	17.5	-	-	19,737.00
Diesel N°2	86	13.4	0.1	-	19,378.00
Diesel residual N°4	87	12.5	0.7	0.02	19,224.00
Diesel residual N°5	87	12.0	1.0	0.03	19,098.00
Diesel residual N°6	86	11.5	2.5	0.08	18,640.00
Carbón mineral	80	5.5	1.5	13	13,590.00

Nota: Tomada de "Manual Práctico de la Combustión Industrial" por Castillo, N., 1990, p. 128.

Los procesos de combustión en las industrias tienen un esquema simple, tal como se puede observar en la figura 1:

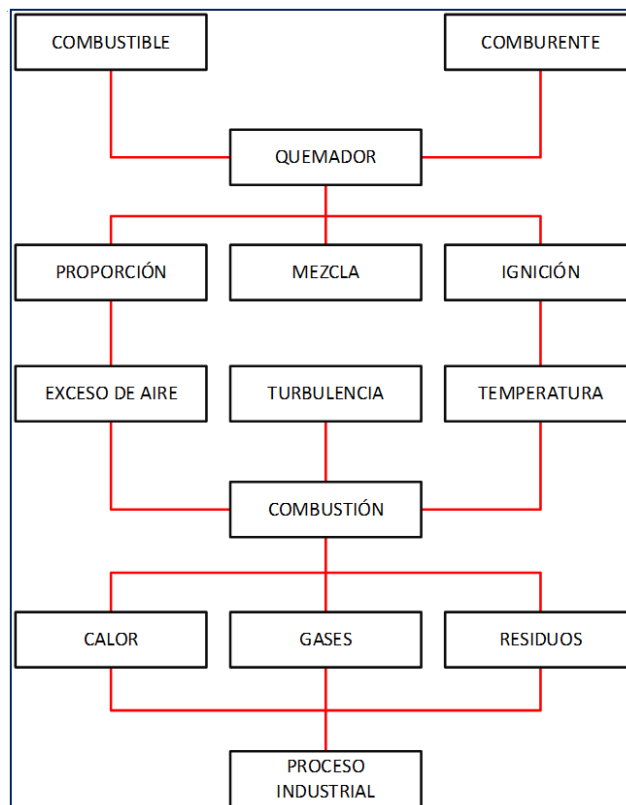


Figura 1. Esquema simplificado de la combustión industrial.

Fuente: "Manual Práctico de la Combustión Industrial" por Castillo, N., 1990.

En el esquema mostrado se tiene lo siguiente: combustible y comburente ingresan en el quemador, donde se lleva a cabo la combustión, con la ignición de la mezcla, que a su vez tiene una adecuada proporción, el exceso de aire necesario, la turbulencia y temperatura alcanzadas son

condiciones que deben ser manejadas correctamente para así lograr una combustión autosostenida, y obtener el calor requerido en el proceso industrial. Con gases como residuos producto de este proceso.

Proporción adecuada de aire/combustible

Es necesario que el quemador, que es el equipo encargado de llevar a cabo el proceso de combustión cuente con un diseño apropiado, de tal forma que garantice el flujo adecuado de aire y combustible en el sistema, con límites de regulación para ambos. Una combustión completa requiere un exceso de aire, que debe ser mínimo, para conocer de manera real los ajustes en las variables de operación es necesario un análisis de los gases de combustión, en función a ese análisis se pueden realizar ajustes pertinentes a las variables del proceso de combustión.

Mezcla apropiada de aire/combustible

La mezcla de aire y combustible en el quemador debe ser uniforme y estable para lograr el máximo contacto superficial entre oxígeno y combustible. El estado físico del combustible determina las condiciones de operación para el proceso de combustión, siendo estas la pulverización en el caso de combustibles sólidos y la atomización o vaporización en el caso de los combustibles líquidos (4).

Ignición inicial y continua de la mezcla

La ignición inicial o chispa requiere el aporte de calor de una fuente externa, para que la mezcla de aire y combustible pueda encenderse tiene que alcanzar la temperatura mínima de ignición, cuyos valores para los componentes de los combustibles se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Temperatura de ignición para hidrocarburos comunes.

Hidrocarburo	Fórmula	Temperatura de ignición (°F)
Metano	CH ₄	1301
Etano	C ₂ H ₆	968 – 1166
Propano	C ₃ H ₈	871
Etileno	C ₂ H ₄	914
Acetileno	C ₂ H ₂	763 – 824

Nota: Tomada de "Industrial Burners Handbook" por Baukal, C., 2004, p. 39.

Lograr los tres aspectos mencionados permite obtener el máximo aprovechamiento del poder calorífico del combustible y también contribuir con el calor requerido por el sistema con el menor consumo de combustible y las condiciones operativas técnicas y económicamente más apropiadas (4).

2.2.2. Energía térmica

Como resultado del proceso de combustión la energía química del combustible se convierte en energía térmica, la definición más simple de energía indica lo siguiente: capacidad que tiene una sustancia u objeto para producir un efecto, los efectos más pequeños, casi imperceptibles como la producción de una onda o un ruido muy tenue requieren energía, la energía puede aparecer en diversas formas, es inherente a la materia, siendo la energía térmica una de las más empleadas en los procesos industriales.

Las unidades de energía comúnmente empleadas en ingeniería son el Kilojoule y la Unidad Térmica Británica (BTU), cuya equivalencia es $1 \text{ kJ} = 0.94782 \text{ BTU}$.

2.2.3. Calor

La energía que fluye cuando existe una diferencia de temperatura es denominada calor. Cuando dos cuerpos de diferente temperatura; uno caliente y otro frío son ubicados próximos entre sí, sin alguna barrera de aislamiento entre ellos, el calor fluye desde el cuerpo caliente hacia el cuerpo frío por la diferencia de temperatura existente (Figura 2). El calor solamente existe cuando fluye o se encuentra en movimiento, es energía

en tránsito, fluyendo de un punto de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

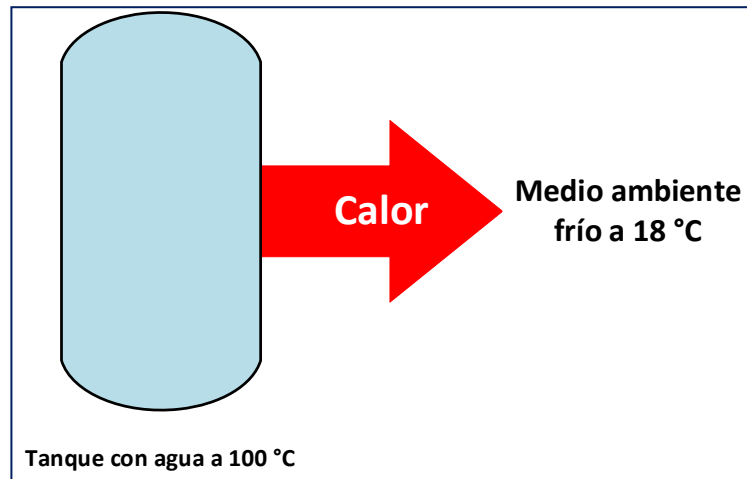


Figura 2. Esquema del flujo de calor.

2.2.4. Formas de transferencia de calor

Existen tres formas fundamentales de transferencia de calor en la naturaleza, muchos de los procesos industriales se desarrollan mediante combinaciones de estos mecanismos. Estas formas son: conducción, convección y radiación (5).

Conducción

La conducción es la transferencia de calor por medio de un material fijo, como el mostrado en la figura 3, la dirección del flujo del calor será normal a la pared si las superficies son isotérmicas y el cuerpo presenta homogeneidad.

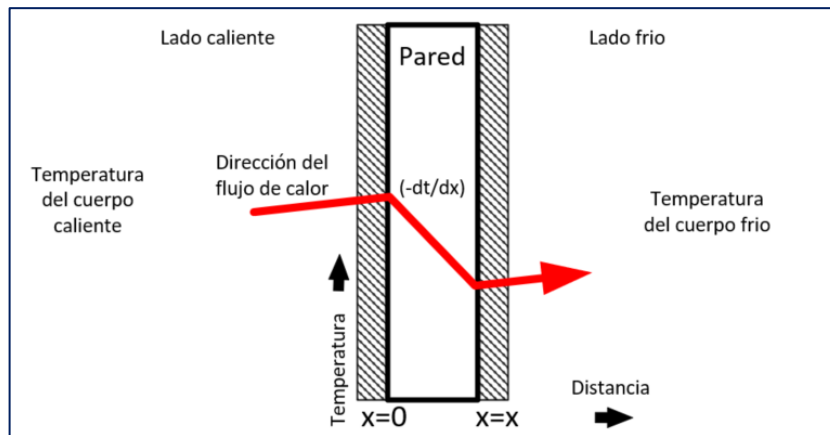


Figura 3. Flujo de calor a través de una pared.

Fuente: "Procesos de transferencia de calor" por Kern, D., 1999.

Si se tiene una fuente de calor al lado izquierdo y al lado derecho una menor temperatura, entonces el flujo de calor por hora es proporcional a la variación de temperatura a través de la pared y al área de la pared A . Si t es la temperatura en algún punto de la pared y x es el espesor de la pared en el sentido del flujo de calor, se tiene que la cantidad de flujo de calor dQ está dada por:

$$dQ = k * A * \left(-\frac{dt}{dx}\right) \frac{BTU}{h} \quad (1)$$

El término $-dt/dx$ es denominado gradiente de temperatura y el signo negativo corresponde a si se supuso una temperatura mayor en la cara de la pared en donde $x = 0$ y menor en la cara donde $x = x$. Entonces la cantidad instantánea de transferencia de calor es proporcional al área y al diferencial de temperatura dt que desarrolla el calor por la pared de espesor dx . El valor de k es la constante de conductividad, propio de cada material sólido, se evalúa de forma experimental. Los valores que adopta definen si un material es un conductor o un aislante (5).

Convección

La convección es la transferencia de calor entre una superficie sólida y un líquido o gas circundante a esta superficie, como ejemplo de ello se tiene un recipiente con algún líquido, sobre una hornilla, en el fondo del recipiente el líquido se calienta y su densidad disminuye, por la expansión

térmica que sufre, el líquido contiguo al fondo también es menos denso que la parte superior de líquido en el recipiente y transmite el calor a través de la mezcla conforme asciende (5).

Si este proceso se lleva a cabo sin la intervención de otro elemento se denomina convección natural, pero si se tiene un elemento como un agitador que mezcla el líquido es una convección forzada (Figura 4).

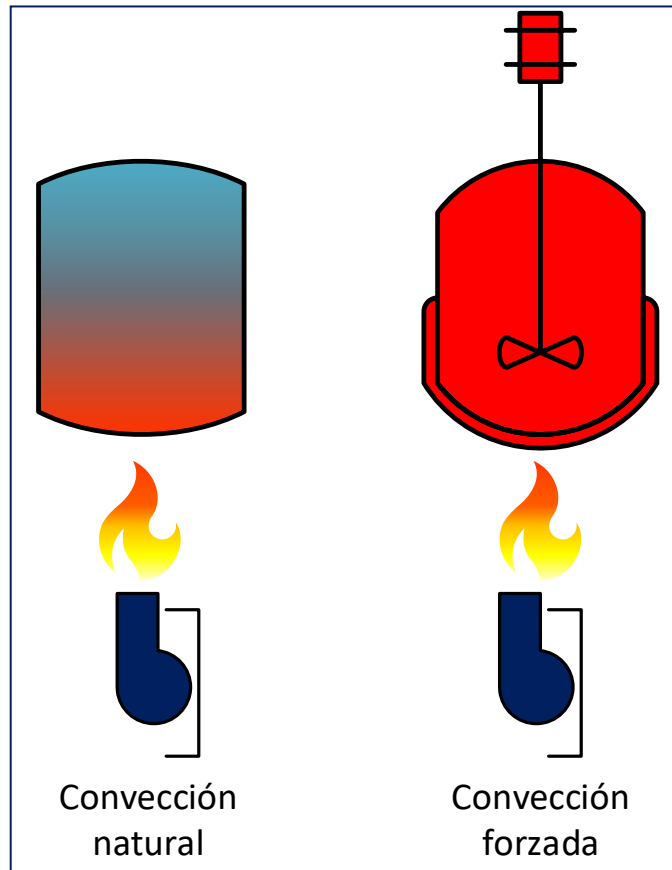


Figura 4. Convección natural y convección forzada.

Se puede describir la convección con la siguiente ecuación, de forma similar a la conducción:

$$dQ = h * A * dt \frac{BTU}{h} \quad (2)$$

El valor de h dependerá de la naturaleza del fluido y la manera de agitación, esa constante es evaluada de forma experimental.

Radiación

La radiación es el proceso en el que la materia emite energía en forma de ondas electromagnéticas, como producto de cambios en las estructuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. Difiere de la conducción y convección ya que no necesita la presencia de un medio, es la forma de transferencia de calor más rápida y no sufre ninguna mitigación en el vacío. Este proceso es el que hace que la energía del sol llegue a la tierra (5).

Boltzmann estableció que la tasa máxima de radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura absoluta T_s se determina mediante la ecuación N°3:

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \sigma * A * T_s^4 \text{ W} \quad (3)$$

Siendo A el área superficial, T la temperatura absoluta y $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/m² es la constante de Stefan-Boltzmann.

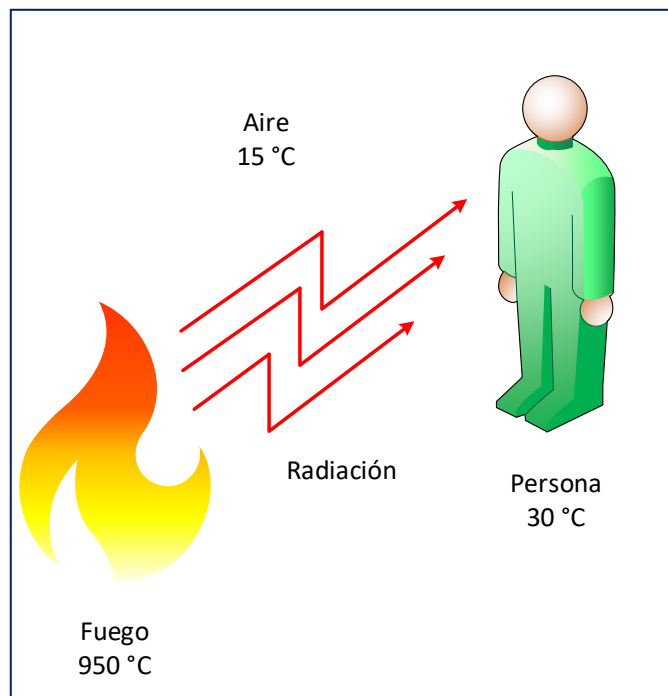


Figura 5. Radiación.

2.2.5. Calor residual

El calor disponible de un combustible a la entrada de un proceso de combustión menos la energía extraída del proceso de combustión da como resultado el calor residual, es decir; el calor residual son las diferentes pérdidas que se tienen en el proceso de combustión; como el calor que se disipa por las paredes de un horno, el calor presente en los gases de combustión, etcétera (6). Es usual representarlo de manera grafica en un diagrama Sankey, este diagrama muestra a donde se va la energía de un proceso de combustión, como se puede ver en la figura 6:

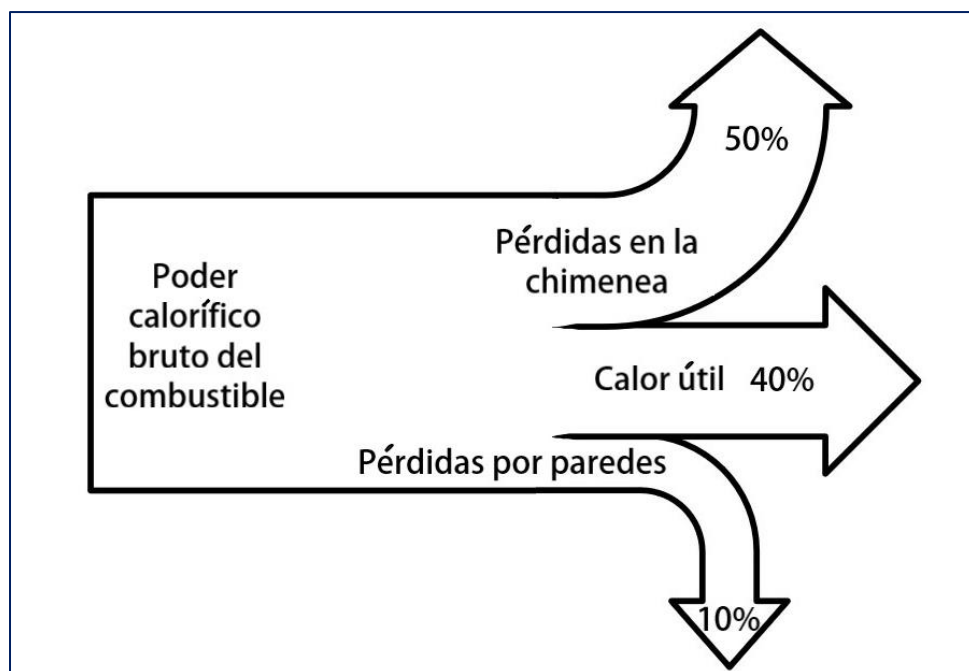


Figura 6. Ejemplo de diagrama Sankey.

2.2.6. Ecuaciones básicas de transferencia de calor

Para el diseño y dimensionamiento de equipos térmicos, o cálculo de flujo de calor se requieren ecuaciones, derivadas de las expresiones antes mostradas. La cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de una sustancia se puede determinar a partir de:

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_p * \Delta T \quad (4)$$

Donde:

\dot{Q} es la cantidad de calor en kW

\dot{m} es el flujo masico de la sustancia en kg/s

c_p es el calor específico de la sustancia en kJ/kg°C

ΔT es la diferencia de la temperatura final y la temperatura inicial de la sustancia en °C

Este calor también puede ser expresado en función del área de transferencia de calor, con la ecuación N°5:

$$\dot{Q} = U * A * \Delta T \quad (5)$$

Donde:

\dot{Q} es la cantidad de calor en kW

U es el coeficiente de transferencia de calor en kW/m² °C

A es el área de transferencia de calor en m²

ΔT es la diferencia de la temperatura entre el fluido primario y secundario °C

El calor proporcionado por la condensación del vapor se puede determinar con la ecuación N°6:

$$\dot{Q} = \dot{m}_s * h_{fg} \quad (6)$$

Donde:

\dot{Q} es la cantidad de calor en kW

\dot{m}_s es el flujo de vapor en kg/s

h_{fg} es la entalpía específica de evaporación del agua en kJ/kg, a la presión de operación del vapor.

Estas ecuaciones se emplean para determinar valores de diseño y dimensionamiento, se pueden relacionar entre sí, dependiendo de los valores que se desea obtener.

2.2.7. Vapor de agua

El vapor es la forma gaseosa del agua, es un medio para transportar energía desde el equipo generador de vapor hasta el punto de uso. Es ampliamente utilizado en una gama de actividades que van desde la generación de electricidad hasta procesos de calentamiento industrial. La capacidad que tiene el vapor de retener una gran cantidad de energía por peso hace que su uso sea ideal como medio de transporte de energía. Como la mayor parte de la energía térmica contenida en el vapor está presente en forma de calor latente, se pueden transferir grandes cantidades de energía de manera eficiente a temperatura constante, esto es muy útil en aplicaciones de calentamiento (7).

El vapor se obtiene cuando se agrega energía térmica al agua, que alcanza una temperatura en la que ya no puede existir como un líquido. Este es el llamado punto de saturación. Al añadir una mayor cantidad de energía esta agua hierve y genera vapor. Esta evaporación requiere cantidades relativamente grandes de energía y mientras se agrega, el agua y el vapor están a la misma temperatura. A medida que el vapor se genera en un recipiente cerrado (como una caldera) su presión aumenta, lo que le permite fluir a cualquier lugar a una presión más baja, es decir, a través de tuberías. Si dejamos que el vapor se enfríe, liberará la energía que se le agregó para evaporarlo. Estos eventos de ebullición, transferencia y condensación proporcionan un mecanismo simple para transferir energía de un lugar a otro. Teniendo el ciclo de vapor que se muestra en la figura 7:

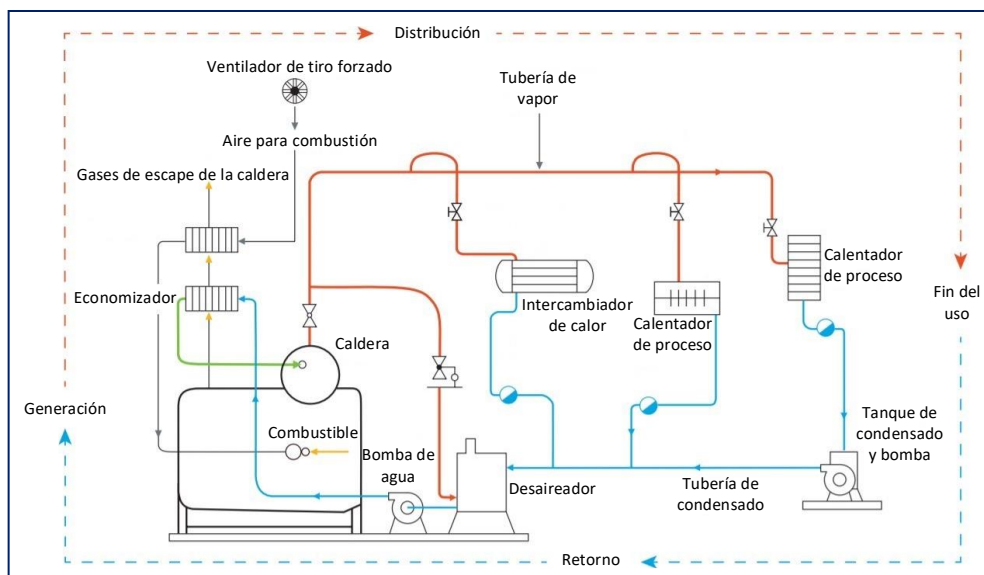


Figura 7. Ciclo del vapor.

Fuente: "Process Steam Systems" por Merritt, C., 2016.

2.2.8. Sistemas de generación de vapor

Un sistema de generación de vapor es el conjunto de elementos relacionados entre sí, con el objetivo de generar vapor, se pueden clasificar en tres grupos:

- Sistemas de generación de vapor para calefacción
- Sistemas de generación de vapor para producción de energía
- Sistemas de generación de vapor para procesos

Sistemas de generación de vapor para calefacción

Los sistemas de generación de vapor para calefacción son generalmente sistemas de circuito cerrado que trabajan a baja presión, se encuentran en edificios de vivienda. El grado de control y eficiencia suele ser mucho menor que el que se encuentra en aplicaciones de proceso o generación de energía. Los sistemas de vapor de calefacción tienden a ser de mayor tamaño y menos sofisticados que los sistemas de producción de energía o sistemas de vapor para procesos (8).

Muchos de estos sistemas de calentamiento de vapor de baja presión están siendo reemplazados por sistemas de calentamiento de agua caliente más eficientes.

Sistemas de generación de vapor para producción de energía

Este tipo de sistema de generación de vapor tiene dimensiones muy grandes. Como ejemplo se tienen los sistemas de vapor de alta presión que impulsan turbinas para generación eléctrica. Las centrales termoeléctricas y otros sistemas de cogeneración de ciclo combinado entran en esta categoría. Este tipo de sistema requiere vapor limpio y seco para prolongar la vida útil de la turbina. Los controles suelen ser bastante sofisticados.

La cogeneración puede utilizar sistemas HRSG (Heat recovery steam generator o generador de vapor por recuperación de calor) para capturar el calor residual y convertir la energía en vapor útil.

Sistemas de generación de vapor para procesos

Los sistemas de generación de vapor para procesos son los más empleados en la industria en general. Estos sistemas pueden variar en tamaño desde 30 BHP hasta 4000 BHP. Las condiciones de cantidad y calidad de vapor influyen en el diseño del sistema. Estos sistemas tienden a tener controles muy automatizados en su operación, como se puede observar en el diagrama P&ID (diagrama de instrumentación y proceso) de un caldero, en la figura 8:

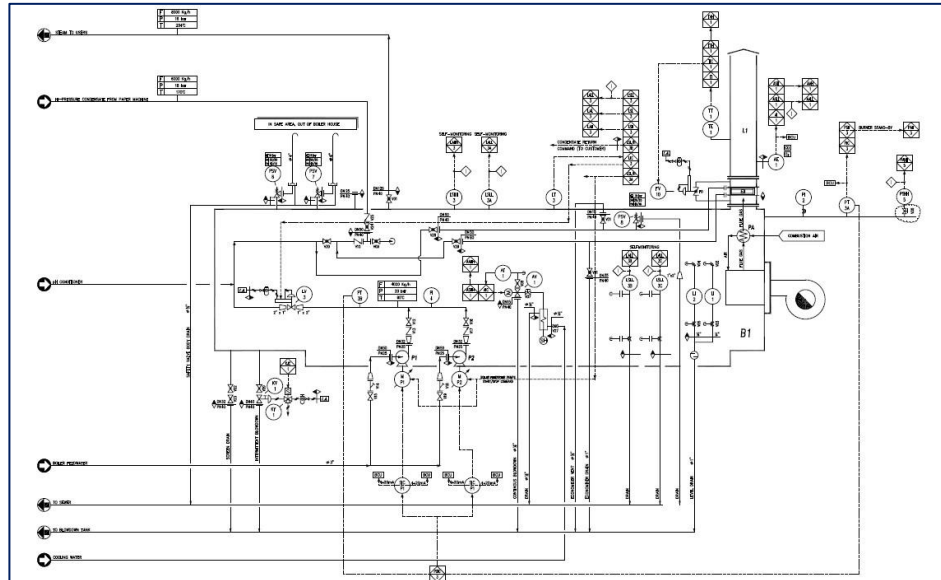


Figura 8. Diagrama PI&D de un sistema de generación de vapor.

2.2.9. Componentes de un sistema de vapor

Un sistema de generación de vapor se compone de varias partes que en conjunto trabajan en la generación de vapor, dichos componentes se describen a continuación (7).

- Caldera de vapor

La caldera de vapor es el corazón de un sistema de generación de vapor. Esta es la máquina que transfiere la energía del combustible desde el sistema de combustión (quemador) al agua; en un recipiente a presión para producir vapor. Las calderas de vapor vienen en una variedad de tamaños y configuraciones. Siendo las calderas pirotubulares (tubos de fuego) las más utilizadas en la industria. La unidad de potencia de una caldera es el BHP, dicha unidad fue definida por primera vez en una exposición en Filadelfia en 1876: “Un BHP puede producir 34.5 libras de vapor saturado seco por hora desde y hasta 212 °F o 15.65 kg de vapor saturado seco por hora desde y hasta 100 °C”. Un BHP también es equivalente a 33,475 BTU/h (9).

La producción de vapor real de una caldera de vapor se puede calcular con la fórmula N°7:

$$\dot{m}_{vapor\ real} = \frac{(34.5*BHP*h_{fg@100^{\circ}C})}{(h_g-4.187*T_e)} \quad (7)$$

Donde:

$\dot{m}_{vapor\ real}$ es el flujo de vapor en lb/h

BHP es la potencia de la caldera

T_e es la temperatura del agua de alimentación en °C

$h_{fg@100^{\circ}C}$ es la entalpía de vaporización o calor latente a 100 °C, siendo 2,257 kJ/kg

h_g es la entalpía total del vapor saturado a la presión de operación de la caldera, obtenido de tablas termodinámicas

La caldera de vapor es un equipo térmico, que requiere calor para generar vapor a presión, un esquema simplificado se muestra en la figura 9.

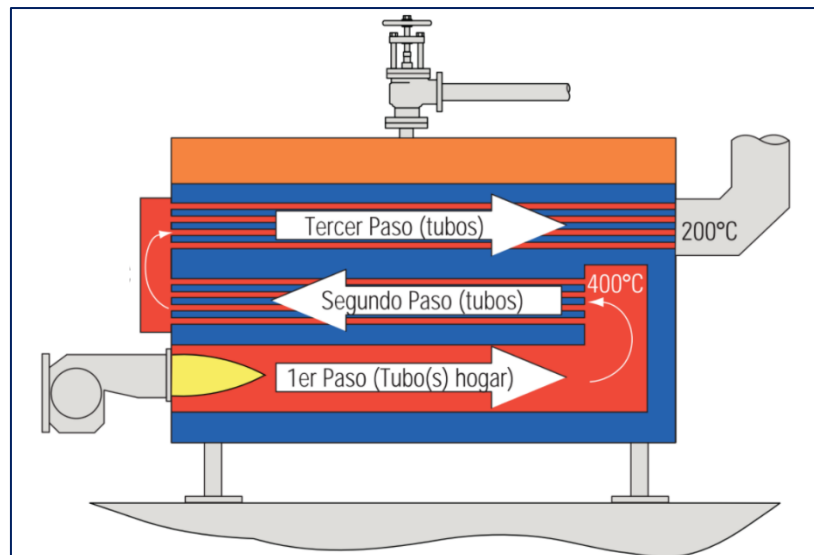


Figura 9. Esquema simplificado de una caldera de vapor.

Fuente: "The Steam and Condensate Loop Book" por Spirax, S., 2004.

Se deben tener en cuenta cuatro aspectos al seleccionar una caldera para satisfacer las necesidades de una aplicación (7). Estos aspectos son los siguientes:

1. Códigos y requisitos de estándares: existen muchos de códigos y normas, leyes y reglamentos que abarcan calderas y recipientes a presión, que deben tenerse en cuenta al diseñar un sistema. Los requisitos reglamentarios están dictados por una variedad de fuentes y se centran principalmente en la seguridad.

2. Carga de vapor y perfil de demanda: el perfil de carga del sistema es una medida de la demanda de vapor (a una presión y temperatura específicas) en un período de tiempo determinado en el que se necesita vapor. El perfil de carga se define como la demanda de vapor de arranque del sistema, la demanda de vapor de estado estable máxima y mínima y cualquier nivel de demanda de vapor entre estas condiciones.

3. Consideraciones sobre el rendimiento del sistema de vapor: por lo general, la capacidad total del sistema de vapor es la principal consideración de rendimiento en un sistema de vapor. Otras consideraciones incluyen el control automático, el uso de economizadores, el uso de combustibles que sean económicos. Todas estas consideraciones deben ser verificadas durante la fase de diseño de la sala de calderas.

4. Consideraciones ambientales: las calderas de vapor usarán combustibles fósiles, irradiarán calor y crearán gases de combustión y tendrán purgas de agua caliente. Una sala de calderas debe estar diseñada para asegurar que todos estos parámetros estén controlados.

- Tanque de condensado

Sirve para almacenar el condensado proveniente de las líneas del sistema de distribución de vapor y también agua tratada del sistema de ablandamiento, existen tanque presurizados y tanques a presión atmosférica. En sistemas de vapor de tamaño pequeño es frecuente el uso de tanques de condensado del tipo atmosférico. Esta mezcla de agua blanda y condensado es llevada desde el tanque de condensado hasta la

caldera, mediante un sistema de bombeo (7). En la figura 10 se observa un tanque de condensado del tipo atmosférico.

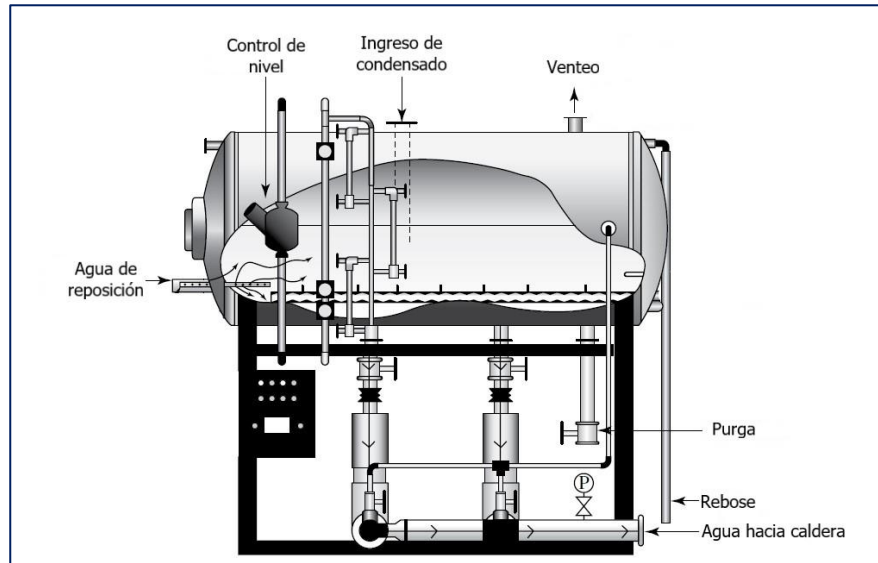


Figura 10. Tanque de condensado.

Fuente: "Process Steam Systems" por Merritt, C., 2016.

El dimensionamiento del tanque de condensado se realiza de la siguiente manera:

El volumen de almacenamiento del tanque de condensado debe tener 10 minutos de capacidad en función al flujo masico de salida máximo de la caldera. Como una potencia de un BHP produce 34.5 lb/h de vapor en condiciones ideales, la densidad del agua de 8.34 lb/galón. Se tiene:

$$\frac{34.5 \frac{\text{lb}}{\text{h}}}{8.34 \frac{\text{lb}}{\text{galón}}} = 4.14 \frac{\text{galón}}{\text{h}} \text{ de agua o } 0.069 \text{ gpm} \quad (8)$$

Con este valor se puede calcular cuánta agua usará una caldera de cualquier tamaño en un minuto simplemente multiplicando el BHP por 0.069 gpm (galones por minuto). Un tanque de alimentación de agua debe tener un volumen de trabajo con una autonomía de tiempo igual o superior a 10 minutos del volumen requerido de agua de la caldera consumida al 100% de la salida de la caldera.

- Chimenea de gases

Se encarga de evacuar los gases hasta el exterior de la instalación donde se ubica la caldera (10). Es un ducto vertical, su diámetro por lo general está determinado por el diseño de la brida de salida de la caldera. Se pueden clasificar en:

- Chimeneas de tiro natural

La diferencia de presión es generada por la diferencia de densidad entre el aire del ambiente y los gases de combustión.

Para el cálculo del tiro de la chimenea se tiene la formula N°9:

$$P_h = H * g * (\rho_a - \rho_g) \quad (9)$$

Donde:

P_h es la presión estática o tiro natural expresado en Pascal

H es la altura de la chimenea en metros

g es la aceleración de la gravedad en m/s^2

ρ_a es la densidad del aire del ambiente en kg/m^3

ρ_g es la densidad de los gases de combustión en kg/m^3

Para el cálculo de la densidad de los gases de combustión se puede emplear la formula N°10:

$$\rho_g = \rho_a * \left(\frac{273}{273+T} \right) \quad (10)$$

Donde:

ρ_g es la densidad de los gases de combustión en kg/m^3

ρ_a es la densidad del aire del ambiente en kg/m^3

T es la temperatura de los gases de combustión en °K

➤ Chimeneas de tiro artificial

La diferencia de presión es generada por medios mecánicos, a su vez pueden ser:

- a) Chimeneas de tiro forzado; cuando los gases de combustión son expulsados con un ventilador que los impulsa desde la parte baja de la chimenea o con un extractor ubicado en la parte superior.
- b) Chimeneas de tiro inducido; cuando los gases de combustión son acelerados mediante una tobera que inyecta aire, con un ventilador, generando un efecto Venturi.

• Bomba de alimentación de agua a caldera

El sistema de bombeo de agua de alimentación debe poder bombear el agua pretratada caliente desde el tanque de condensado a la caldera cuando la caldera necesita agua. La bomba de agua de alimentación arranca para impulsar el fluido a la caldera cuando el sistema de control de nivel de la caldera detecta un nivel de agua bajo en funcionamiento (7). En la figura 11 se muestra un sistema de bombeo típico de agua a caldera.

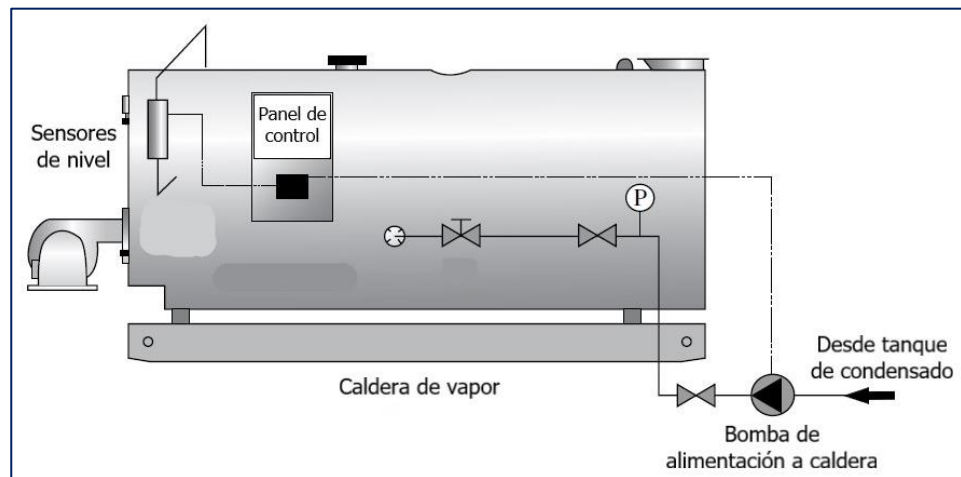


Figura 11. Sistema de bombeo típico a caldera.

Fuente: "Process Steam Systems" por Merritt, C., 2016.

Es importante señalar que la bomba de alimentación de agua a la caldera debe ser capaz de operar a altas temperaturas ya que el condensado de retorno está por encima de los 80 °C.

La potencia de la bomba se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$P_H = 2.72 * \dot{Q} * H \text{ (W)} \quad (11)$$

Donde:

P_H es la potencia hidráulica en Watts

\dot{Q} es el flujo de agua de en m³/h

H es la altura de bombeo en metros

También se requiere una presión mínima de aspiración a fin de evitar que se produzca cavitación en la bomba durante su operación. La cavitación es el efecto que se produce cuando la presión es inferior a la presión de vapor del líquido, se forman pequeñas burbujas de vapor que al colapsar liberan ondas de choque dañando el impulsor de la bomba (11). Este valor puede encontrarse mediante la siguiente fórmula:

$$H = p_b * 10.2 - NPSH - H_f - H_v - H_s \quad (12)$$

Donde:

H es la presión mínima de aspiración en m.c.a. (metro columna de agua)

p_b es la presión barométrica en bar. Puede considerarse como 1 bar.

$NPSH$ es la altura de aspiración neta positiva en m.c.a. Se puede consultar en las curvas de NPSH propias de las bombas.

H_f es la pérdida por rozamiento en la tubería de aspiración en m.c.a.

H_v es la presión de vapor en m.c.a.

H_s es el margen de seguridad, 0.5 m.c.a.

Si el valor calculado de H es positivo, significa que la bomba podrá operar con una altura máxima de aspiración de H m.c.a.

Si el valor calculado de H es negativo, se necesitará una altura mínima de aspiración de H m.c.a. durante la operación para evitar la cavitación.

- Tubería de distribución de vapor

El suministro del flujo de vapor se realiza por medio de la tubería de distribución de vapor. El vapor generado en la caldera debe trasladarse a través de tuberías hasta los puntos donde se requiera su energía. Desde la caldera, habrá una troncal de vapor hacia un colector o manifold de vapor, desde ahí se derivan tuberías a los equipos consumidores de vapor (9). En la figura 12 se muestra un diagrama típico de la tubería de distribución de vapor.

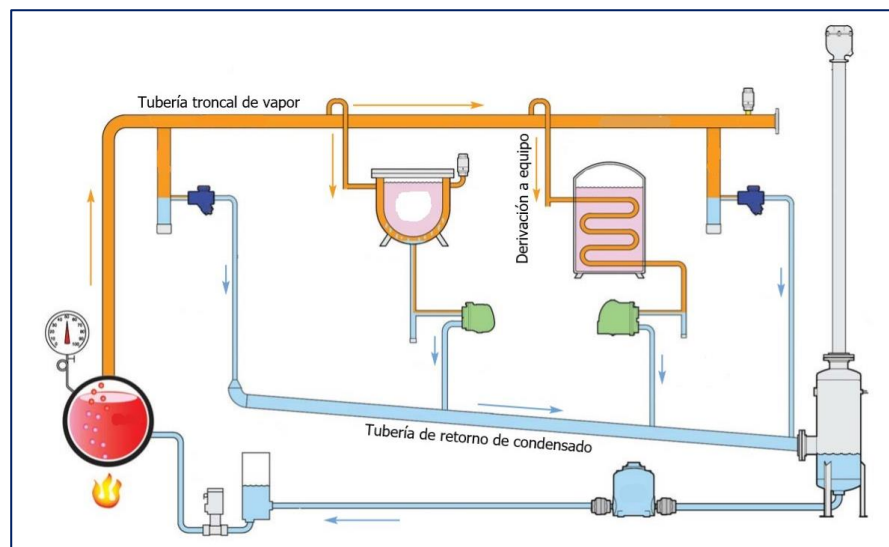


Figura 12. Tubería de distribución de vapor.

Fuente: “Catálogo de producto” por Watson, M., 2015.

El tamaño y la orientación correctos de la tubería son importantes para la adecuada operación de todo el sistema de distribución de vapor. Resulta bastante provechoso hacer funcionar vapor de alta presión en toda la planta y reducir la presión en puntos específicos de consumo, solo si es necesario. Se pueden obtener diferentes valores de temperatura a lo largo del proceso regulando la presión del vapor en cualquier punto.

El correcto dimensionamiento del diámetro de las tuberías de vapor es importante ya que una tubería mal dimensionada puede provocar caídas de presión y velocidades elevadas, ruidos y erosión (12). Tuberías demasiado grandes generan mayor gasto de instalación, aislamiento y

mayores pérdidas de calor. Generalmente se dimensionan teniendo en cuenta las velocidades de la tabla 3:

Tabla 3. Velocidades recomendadas de vapor y caídas de presión.

Servicio	Rango de velocidad	Caída de presión (por cada 100 ft)
Vapor saturado		
0 – 15 psig	1,500 – 1,800 ft/min	0.25 – 0.5 psi
15 – 100 psig	1,800 – 2,000 ft/min	0.5 – 1.5 psi
>100 psig	2,000 – 9,000 ft/min	0.5 – 2.0 psi

Nota: Tomada de “Process Steam Systems” por Carey, M., 2016, p. 111

El tamaño del diámetro la tubería de vapor se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{2.4 * \dot{Q} * V_s}{V} \quad (13)$$

Donde:

A es el área interna de la tubería en in²

V es la velocidad del flujo de vapor en ft/min

V_s es el volumen específico del vapor a la presión de operación en ft³/lb

\dot{Q} es el flujo de vapor en lb/h

- Tubería de retorno de condensado

El vapor después de ceder su energía pasa a fase líquida, dicho estado es denominado condensado de vapor, este flujo debe retornar por medio de tuberías al tanque de condensado (13). La figura 13 muestra los factores a tener en cuenta al dimensionar el diámetro de la línea de condensado, considerando tubería cédula 40.

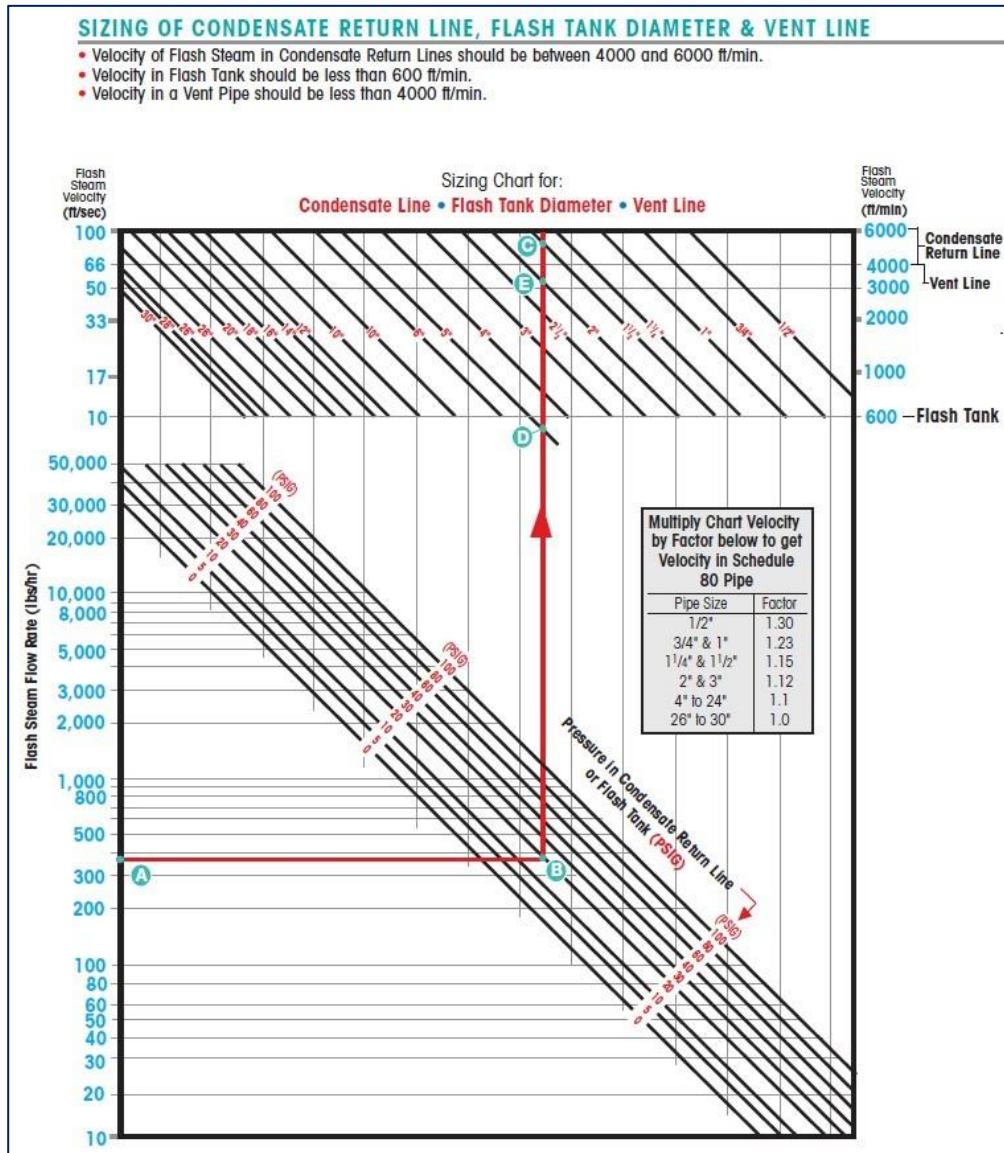


Figura 13. Nomograma para diámetro de tubería de condensado.

Fuente: "Catálogo de producto" por Watson, M., 2015.

2.2.10. Eficiencia térmica

Se define como la relación entre el calor absorbido y el calor de combustión, expresado en porcentaje, es determinado por el método directo e indirecto (14).

➤ Método directo

Este método relaciona el ingreso y el aprovechamiento del calor, según la ecuación:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_c} * 100 \quad (14)$$

Donde:

η es la eficiencia térmica

\dot{Q}_a es el calor absorbido en kW

\dot{Q}_c es el calor de combustión en kW

El calor absorbido por el fluido de trabajo se calcula con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_f * (h_2 - h_1) \quad (15)$$

Donde:

\dot{m}_f es el flujo másico del vapor en kg/s

h_2 es la entalpía del vapor a la salida de la caldera en kJ/kg

h_1 es la entalpía del vapor a la salida de la caldera en kJ/kg

O:

$$\dot{Q}_a = \left(\frac{\eta}{100}\right) * \dot{m}_c * PCS \quad (16)$$

Donde:

\dot{m}_c es el flujo másico de combustible en kg/s

PCS es el poder calorífico superior de combustible en kJ/kg

➤ Método indirecto

Este método relaciona el ingreso y la pérdida del calor, según la ecuación:

$$\eta = \left(1 - \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_c}\right) * 100 \quad (17)$$

Donde:

η es la eficiencia térmica

\dot{Q}_p es el calor perdido en kW

\dot{Q}_c es el calor de combustión en kW

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Sistema de recuperación de calor

Un sistema de recuperación de calor es un conjunto de equipos relacionados entre sí, con el objetivo de aprovechar el calor residual presente en un flujo de gases. Este proceso es muy común en centrales termoeléctricas, donde los equipos denominados calderas de vapor de recuperación de calor HRSG (Heat recovery steam generator) son parte fundamental de este tipo de instalaciones (15).

El término caldera de vapor recuperadora de calor abarca un amplio abanico de calderas y sistemas de calderas que recuperan energía de diversas fuentes de calor. Los gases de estas fuentes varían en flujo, temperatura, presión, composición y pureza del gas, todos estos parámetros son fundamentales para el correcto diseño de este tipo de sistemas.

Tipos de calderas de recuperación de calor

El flujo de gas en una caldera de vapor recuperadora de calor puede pasar por el interior de los tubos o por el exterior, cuando el flujo de gases ingresa por el interior de los tubos se denomina caldera de recuperación de calor pirotubular y cuando los gases fluyen por el exterior de los tubos se denominan caldera de recuperación de calor acuotubular.

Las calderas de recuperación de calor del tipo pirotubular (Figura 14), han sido empleadas en industrias de procesos desde hace buen tiempo en países industrializados con bastante éxito, siendo poco conocidas en países con bajo desarrollo industrial (15).

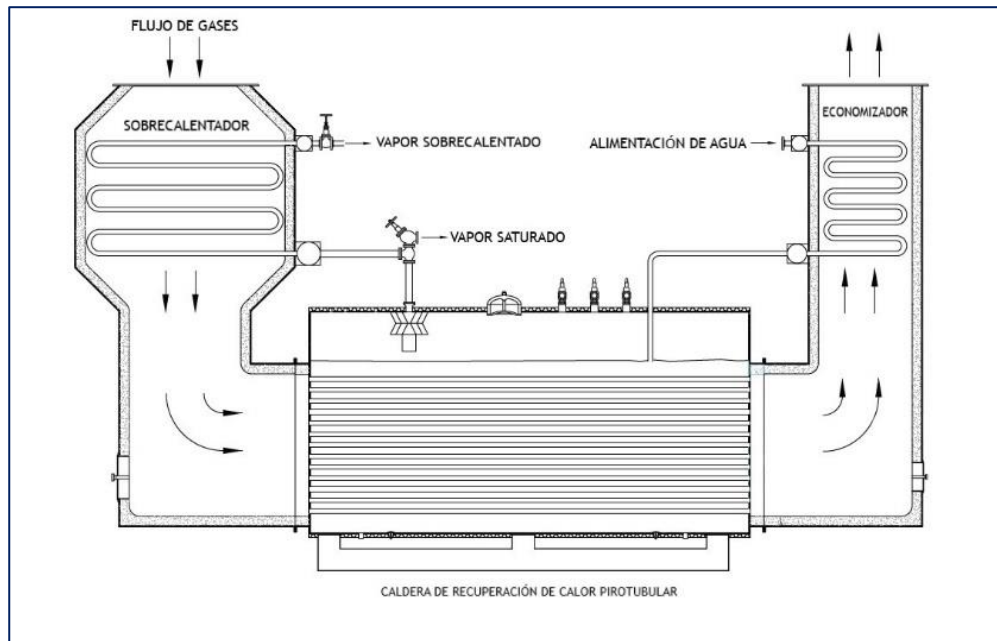


Figura 14. Caldera de recuperación de calor pirotubular.

Fuente: "Heat Recovery Steam Generator Technology" por Vernon, E., 2017.

Las calderas de recuperación de calor del tipo acuotubular (Figura 15), son parte de una categoría más grande, debido al gran tamaño que poseen y su aplicación en grandes centrales termoeléctricas. Este tipo de equipos tienen muchas similitudes con las calderas convencionales, como el uso de economizadores, evaporadores y sobrecalentadores. También emplean tubos redondos, cabezales y tambores, su construcción obedece a un estricto diseño, según el código ASME Sección I – Reglas para la construcción de calderas de energía (15).

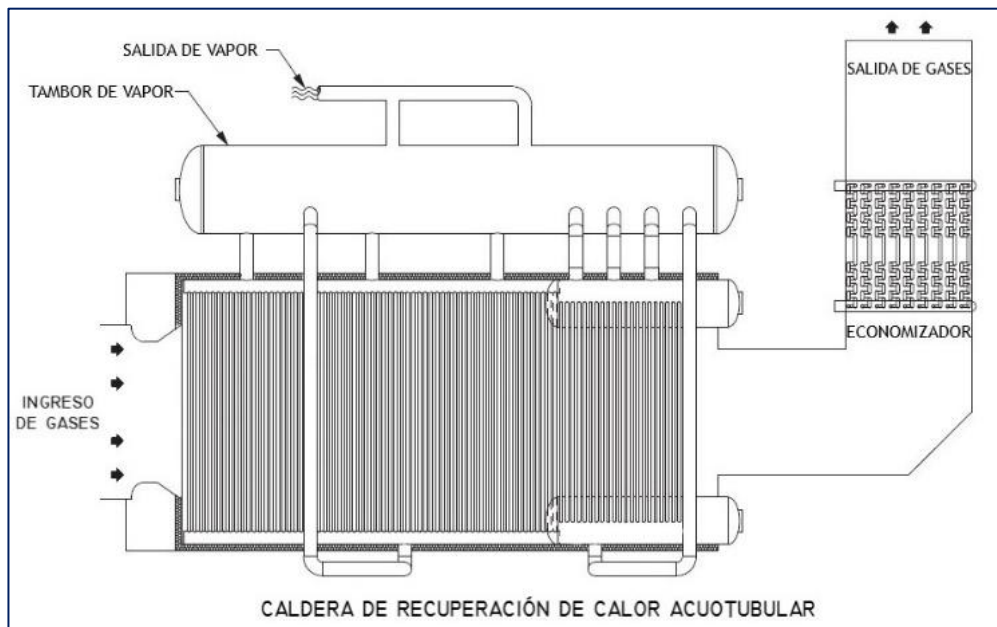


Figura 15. Caldera de recuperación de calor acuotubular.

Fuente: "Heat Recovery Steam Generator Technology" por Vernon, E., 2017.

2.3.2. Hornos de fundición

Un horno es un tipo de cámara de combustión, provisto de revestimiento refractario que se emplean para calentar y fundir sólidos. La elección del tipo de horno a emplear depende de la aplicación específica. Es importante el método de procesamiento y si los materiales se procesaran en lotes o en modo continuo, también se debe considerar el combustible a emplear, así como la geometría del horno y el rango de temperatura requerido.

Métodos de calentamiento

Existen dos métodos principales empleados para calentar productos, que generalmente se conocen como calentamiento directo y calentamiento indirecto. El método elegido normalmente viene determinado por los requisitos del proceso. Si el producto que se está procesando no debe entrar en contacto con los productos de combustión, se emplea el calentamiento indirecto. Si no existen tal necesidad, se prefiere el calentamiento directo, ya que normalmente es más eficiente y sencillo (16).

Calentamiento directo

En un horno de calentamiento directo, no hay nada entre los productos de combustión generados por los quemadores y la carga de producto, como se observa en la figura 16. Este es el tipo predominante empleado en la mayoría de las aplicaciones de calentamiento industrial y procesos de alta temperatura. Por una parte, el análisis de transferencia de calor de los hornos de combustión directa es más sencillo en comparación con los hornos de combustión indirecta, ya que no hay una superficie de intercambio de calor intermedia entre las llamas y la carga. Pero por otra parte el análisis de la transferencia de calor a la carga es más complicado ya que debe incluirse la transferencia de calor por convección entre los gases de llama y la carga, por lo tanto, el flujo de gases.

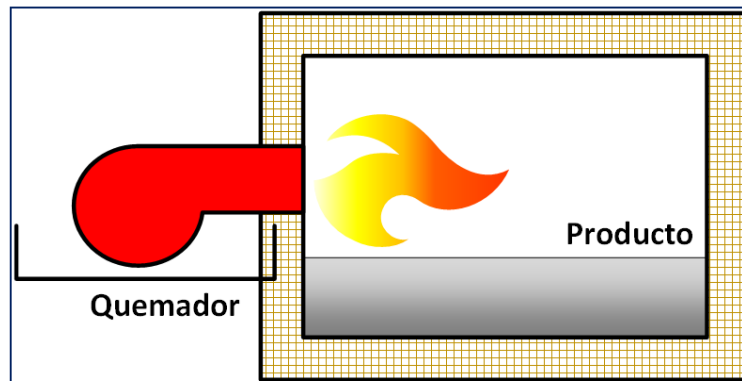


Figura 16. Vista de elevación de un horno de calentamiento directo.

Calentamiento indirecto

En un horno de calentamiento indirecto, hay una superficie intermedia de intercambio de calor entre los productos de combustión generados por los quemadores y la carga de producto, como se observa en la figura 17. Esa superficie suele ser algún tipo de cerámica refractario debido a las altas temperaturas, en algunos casos se emplean metales.

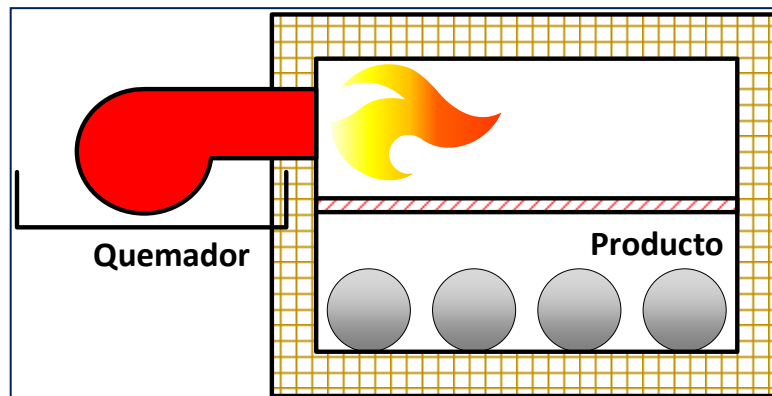


Figura 17. Vista de elevación de un horno de calentamiento indirecto.

La superficie está diseñada para prevenir que los productos de la combustión entren en contacto con la carga y disminuyan la calidad del producto terminado. Esa calidad se puede reducir de dos formas:

- Alterando químicamente el producto: como ejemplo de ello en muchos procesos metalúrgicos, en específico el tratamiento térmico, donde el producto metálico se debe calentar en una atmósfera protectora que contenga H_2 , N_2 y CO , con cantidades insignificantes de O_2 y H_2O , que son nocivos para el metal.
- Cambiando físicamente la superficie: como ejemplo de ello se tiene el secado de un recubrimiento o una pintura sobre la superficie de un producto en un secador donde los gases de combustión podrían alterar la superficie antes de que el recubrimiento esté seco o se fija la pintura.

2.3.3. Distribución de calor

La distribución de los quemadores dentro de un horno tiene un impacto significativo en cómo se transfiere el calor.

Es importante la geometría del horno, ya que es un factor determinante sobre el punto donde se colocarán los quemadores. Por ejemplo, en un horno rotatorio (ver figura 18), que a menudo es largo y de diámetro relativamente estrecho, un solo quemador centrado en un extremo del horno y encendido hacia el otro extremo es la geometría preferida para

obtener una distribución adecuada del calor. La longitud de llama deseada es una fracción específica (por ejemplo, la mitad) de la longitud del cilindro. En un horno de forma rectangular, a menudo se utilizan varios quemadores y se distribuyen en una o más paredes. En un horno de fusión de vidrio con puerta lateral (ver figura 19), los quemadores generalmente se ubican en dos paredes laterales opuestas y directamente opuestas entre sí (16).

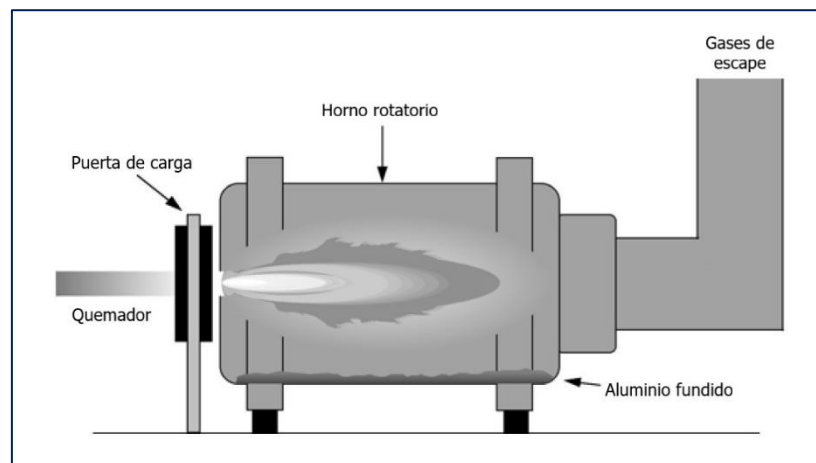


Figura 18. Horno rotatorio.

Fuente: "Heat Transfer in Industrial Combustion" por Baukal, C., 2000.

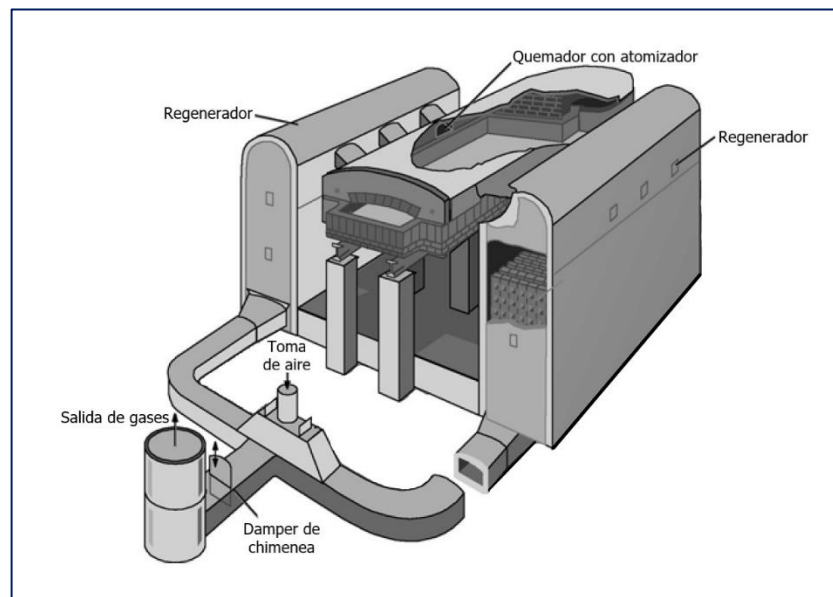


Figura 19. Horno de fusión de vidrio.

Fuente: "Heat Transfer in Industrial Combustion" por Baukal, C., 2000.

Otro punto a tener en cuenta es la distribución de la transferencia de calor dentro de la cámara de combustión. Varios quemadores más pequeños tienen un patrón de distribución de calor más uniforme que los quemadores individuales más grandes, como se aprecia en la figura 20, donde el tamaño de la llama es proporcional a la velocidad de encendido. En ambos casos, la cantidad promedio de energía liberada por unidad de volumen de espacio de combustión es la misma; solo la distribución de la energía liberada es diferente. Como puede verse en este ejemplo, normalmente se consigue un calentamiento más uniforme con más quemadores pequeños, a comparación que con un único quemador más grande (17).

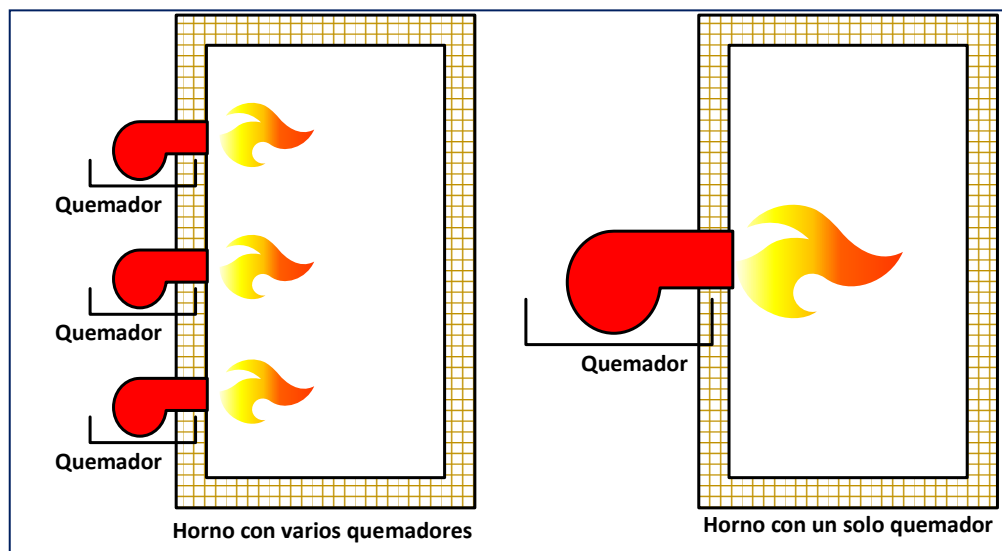


Figura 20. Disposición de quemadores en hornos.

2.3.4. Método de procesamiento de carga

El procesamiento de la carga en los hornos industriales puede ser continuo o por lotes. El método específico tiene una fuerte influencia en los mecanismos de transferencia de calor que serán importantes para cada tipo de sistema (17).

También hay algunos procesos híbridos que son una combinación de proceso continuo y por lotes.

➤ Proceso por lotes

En un proceso por lotes, los materiales se cargan en una cámara de combustión, luego se aplica calor y los materiales se retiran de la cámara de combustión al finalizar el ciclo de calentamiento. Un ejemplo es un horno de arco eléctrico donde la chatarra se carga en el horno, se funde y luego se extrae para su colada.

Los procesos por lotes suelen ser sistemas más complicados de analizar debido a su naturaleza dependiente del tiempo. Dado que el material cargado inicialmente suele ser mucho más frío que la cámara de combustión, la convección y la radiación son modos importantes de transferencia de calor al comienzo del ciclo de calentamiento. La temperatura dentro de la cámara de combustión también es transitoria, donde hay temperaturas más frías cerca de la puerta de carga abierta, y las temperaturas más altas prevalecen más lejos de la puerta porque se han visto menos afectadas por la pérdida de calor a través de la puerta abierta. Durante el ciclo de calentamiento, la distribución de temperatura dentro de la cámara de combustión y en la carga cambian dinámicamente. Más adelante en el ciclo de calentamiento, a medida que la temperatura de carga se acerca a la de la cámara de combustión, la radiación a menudo se convierte en el mecanismo de transferencia de calor predominante.

➤ Proceso continuo

En un proceso de calentamiento continuo, el material se alimenta constantemente a través de la cámara de combustión, se calienta y se retira de la cámara de combustión. Durante las operaciones normales, la cámara de combustión está en condiciones de estado estacionario con poca variación, por ejemplo, en las temperaturas de la pared, excepto en el arranque, apagado, durante cambios de producto o cuando hay problemas de proceso. Un ejemplo de un proceso continuo es la producción de vidrio, donde la materia prima se alimenta continuamente a la entrada del horno y el vidrio fundido se retira a la salida del horno. Un

proceso de calentamiento continuo es a menudo más sencillo de analizar y modelar debido a la naturaleza de estado estable del sistema. Sin embargo, esto no significa necesariamente que el análisis sea simple, simplemente que se puede excluir la dependencia del tiempo. Los procesos de calentamiento continuo pueden tener una distribución de temperatura más complicada en la cámara de combustión para adaptarse al calentamiento de la carga. Cuando un proceso de combustión por lotes puede tener temperaturas de pared del horno bastante uniformes dentro de la cámara de combustión, los hornos continuos pueden tener un rango más amplio de temperaturas de pared correspondientes a las amplias diferencias de temperatura espacial en la carga, que generalmente es mucho más fría en el extremo de alimentación que en la descarga final.

➤ Proceso híbrido

Algunos procesos, como los hornos de reverbero (ver figura 21), son híbridos porque tienen algunas características de los procesos en lote y continuo. Las reverberaciones de pozos laterales a menudo tienen una provisión para alimentar continuamente nueva chatarra en un pozo en el costado del horno, fuera de la cámara de combustión, de modo que la puerta de esa cámara no necesita abrirse para cargar nuevos materiales.

Los procesos híbridos pueden ser más complicados de modelar y analizar que los procesos por lotes y continuos, ya que el híbrido tiene características de ambos. Una estrategia que se utiliza a menudo es dividir el ciclo en varios subciclos que pueden aproximarse mediante un análisis de estado cuasi estacionario (16).

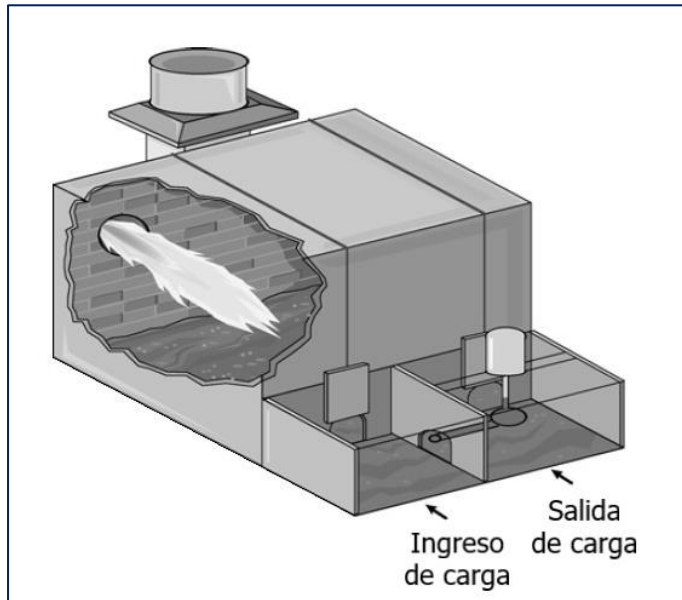


Figura 21. Horno de reverbero.

Fuente: "Heat Transfer in Industrial Combustion" por Baukal, C., 2000.

2.3.5. Tipos de hornos

Existe una gran variedad de tipos de hornos, se describirán los principales, así como las diferencias en la transferencia de calor del proceso.

➤ Horno de reverbero

Un horno de reverbero es una caja rectangular revestida de refractario que se usa típicamente para procesar metales no ferrosos. Los quemadores se encuentran en una pared o en el techo. El escape puede estar en el techo o en una de las paredes, a menudo entre los quemadores. Los hornos de reverberación funcionan como procesos semicontinuos, como se discutió anteriormente. Los quemadores se utilizan principalmente para calentar las paredes refractarias de la reverberación. Las paredes calientes luego re-irradian o reverberan la energía a la carga dentro del horno.

➤ Horno de eje vertical

Un horno de eje vertical (figura 22) es un tipo de horno que opera como un intercambiador de calor a contracorriente, donde los productos de

escape calientes de los quemadores ubicados en la parte inferior fluyen hacia arriba mientras que los materiales fríos entrantes fluyen hacia abajo. Estos hornos de eje vertical se han utilizado durante años para calcinar piedra caliza fabricar cemento. La transferencia de calor es bastante única en comparación con otros procesos de calentamiento industrial debido al contraflujo vertical de materiales que descienden y los productos de escape suben. La convección juega un papel más importante y la radiación de la pared es mucho menos importante, en comparación con muchos otros procesos. La conducción térmica también es más importante debido al contacto directo entre las capas de materiales en movimiento. La alimentación de materiales sólidos desde la parte superior del horno es un aspecto único de esta configuración de horno (16).

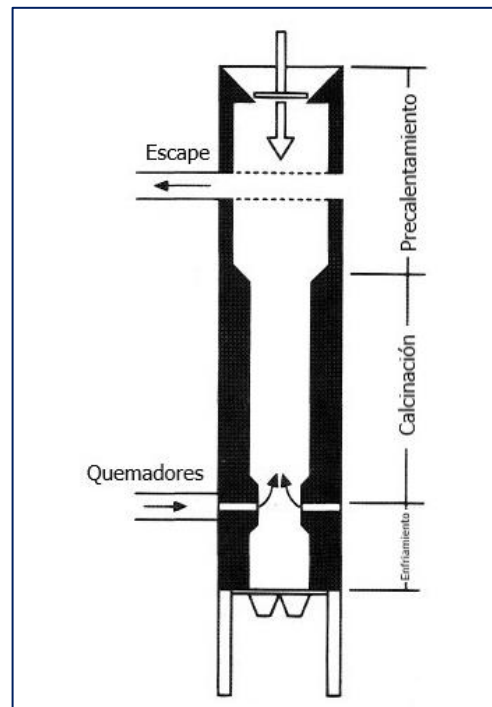


Figura 22. Horno de eje vertical.

Fuente: "Heat Transfer in Industrial Combustion" por Baukal, C., 2000.

➤ Horno rotatorio

En la figura 23 se muestra un horno rotatorio. Las materias primas se alimentan por la parte superior del cilindro inclinado que gira lentamente y salen por el extremo opuesto. Suelen ser procesos continuos en los que la materia prima se alimenta continuamente por un extremo y los materiales tratados salen por el otro. Las materias primas son materiales sólidos que a menudo tienen una composición granular para que puedan fluir fácilmente a través del horno. Estos hornos también funcionan normalmente como intercambiadores de calor a contracorriente con el quemador en el extremo de descarga y la alimentación de entrada en el extremo opuesto. Sin embargo, también existen versiones de co-flujo de este tipo de horno. Los hornos rotatorios se utilizan para procesar materiales a granel como cemento, cal y otros minerales. Los hornos de cemento grandes pueden tener hasta 20 pies (6 m) de diámetro y 500 pies (160 m) de largo (17).

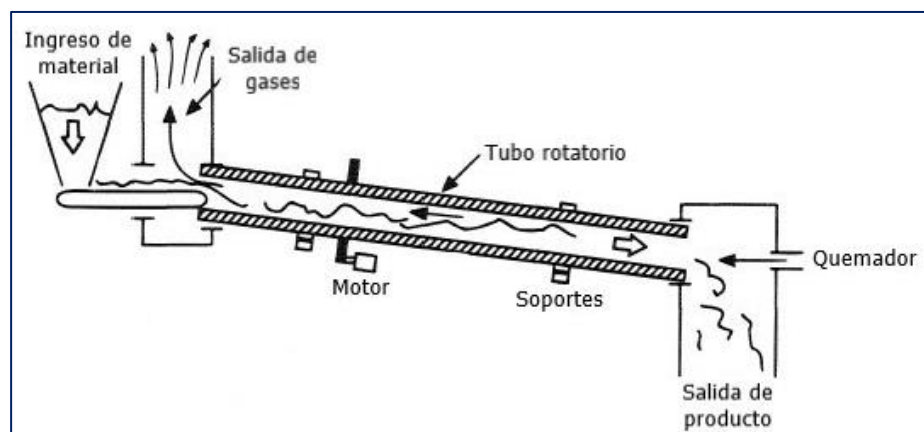


Figura 23. Horno rotatorio.

Fuente: "Heat Transfer in Industrial Combustion" por Baukal, C., 2000.

2.4. Definición de términos básicos

- Atomización: Es el proceso previo a la combustión de un combustible líquido, consiste en pulverizar éste en partículas de diámetro lo más pequeñas posible.
- Cogeneración: Es el proceso de producción conjunta, de forma secuencial de energía mecánica y/o eléctrica y energía térmica útil.
- Optimización: En el sector industrial es el proceso por el cual se reducen costos de operación, y se aumenta la productividad, entre otros objetivos.
- Reverbero: Es el reflejo del calor producido en un horno, hacia el producto que se está fundiendo en una zona aledaña del mismo.
- Temperatura: Es una propiedad intensiva, es decir independiente de la masa de un sistema, se puede definir como una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo.
- WHR: Son las siglas de Waste Heat Recovery o recuperación de calor residual, es el proceso de reutilización de la energía térmica que de manera convencional es eliminada o desechada a la atmósfera.
- Recuperación de calor: Consiste en los procedimientos para el aprovechamiento del calor residual, recuperando la energía térmica para otros procesos de calentamiento.
- Eficiencia energética: Es un concepto bastante amplio, pero en la forma más simplificada se puede definir como reducir el consumo de energía sin disminuir la producción, logrando ahorros energéticos y económicos.
- Transferencia de calor: Es la manera en la que la energía se transfiere de un cuerpo a otro, producto de la diferencia de temperatura.

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

El funcionamiento del sistema de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de combustión de los hornos de Zinc y Bezinal para mejorar la eficiencia energética en la planta de productos de acero.

3.1.2. Hipótesis específicas

- La operación de la caldera de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de las chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal para generar vapor saturado mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero.
- El funcionamiento de la bomba de alimentación de agua que impulsa el fluido de trabajo a la caldera de recuperación de calor a un nivel adecuado mejora la eficiencia energética en la planta de productos de acero.
- El diseño del ducto que une las chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal permite alimentar de gases de combustión a la caldera de recuperación de calor mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero.
- El funcionamiento del soplador que inyecta aire a la chimenea de la caldera de recuperación de calor genera un efecto Venturi mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero.

3.2. Definición conceptual de variables

Según Santa Paella (2004), definir conceptualmente las variables de la investigación consiste en explicar el significado de la variable empleando términos entendibles. Esto consiste en definir las variables considerando la etimología de las palabras; a partir del origen etimológico del término con el cual se ha identificado la variable.

Ahora daremos la definición conceptual de las variables del trabajo de investigación:

- Variable Independiente - Sistema de recuperación de calor

Un sistema de recuperación de calor es aquel que cubre una amplia gama de calderas y sistemas de calderas que recuperan energía de una variedad de diferentes fuentes de calor para generar vapor. Los gases de estas fuentes varían ampliamente en flujo, presión, temperatura, composición y limpieza del gas (15).

Es así que la definición conceptual de “Sistema de recuperación de calor” corresponde a un conjunto de elementos que están interrelacionados entre sí para llevar a cabo el proceso de recuperación de calor de una corriente de gases de combustión para la generación de vapor aprovechable en otros procesos.

- Variable Dependiente – Eficiencia energética

La eficiencia energética es reducir las pérdidas que se producen en toda transformación o proceso, reduciendo el consumo de energía, incorporando mejores hábitos de uso y mejores tecnologías (18).

De lo anterior definimos la variable “Eficiencia energética del sistema” como la reducción del consumo de energía en el sistema, aprovechando de mejor manera los recursos energéticos de la planta.

3.3. Operacionalización de variables

Operacionalizar las variables es el método mediante el cual se determinan los indicadores que caracterizan o tipifican a las variables de una investigación, con el objetivo de hacerlas observables y medibles con cierta precisión y facilidad (19).

Las dimensiones de la variable constituyen un referente para establecer los indicadores. Los indicadores son elementos, factores, rasgos o componentes más representativos que caracterizan o tipifican las variables que intervienen en un estudio determinado.

Ahora se procede a operacionalizar las variables de la investigación, en la siguiente tabla:

Tabla 4. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	ÍNDICE	INSTRUMENTOS
Variable independiente Sistema de recuperación de calor	Caldera de recuperación de calor.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia. - Flujo de gases. - Temperatura de salida de los gases. - Presión de operación. 	Expresados mediante cálculos y medición de las magnitudes físicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara termográfica. - Termómetro. - Analizador de gases. - Manómetro.
	Bomba de alimentación a caldera.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia. - Flujo de agua. - Presión de agua. - Temperatura de agua. 	Expresados mediante cálculos y medición de las magnitudes físicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Termómetro. - Manómetro. - Curva de operación.
	Ducto de alimentación de gases.	<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro. - Longitud. - Variación de la presión y velocidad del flujo interno. 	Expresado mediante medición de las magnitudes físicas y simulación y observación de parámetros de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - Cintra métrica. - Software de dinámica de fluidos computacional. - Interfaz máquina hombre del horno.
	Soplador de aire.	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de aire. - Potencia. - Variación de la presión y velocidad del flujo interno. 	Expresado mediante simulación de parámetros operativos y observación de parámetros de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha técnica del equipo. - Software de dinámica de fluidos computacional. - Interfaz máquina hombre del horno.
Variable dependiente Eficiencia energética	Ahorro de energía.	<ul style="list-style-type: none"> - Variación del consumo de gas natural. - Variación del consumo de energía. 	Expresado mediante medición de las magnitudes físicas y cálculos matemáticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Medidor de flujo.
	Ahorro económico.	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantificación monetaria de la variación del consumo de gas natural. 	Expresado en dólares americanos.	<ul style="list-style-type: none"> - Valor monetario del gas natural.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

Referente al diseño de la investigación, Espinoza Montes (2014) indica que debe explicar el tipo y nivel de investigación a desarrollar, el método y diseño de la investigación elegido y las técnicas empleadas para la recolección y análisis de datos a utilizar de acuerdo al problema planteado.

El mencionado autor define dos tipos de investigación: básica y tecnológica. Respecto a la investigación tecnológica indica que su objetivo es aplicar el conocimiento científico para solucionar los diferentes problemas que benefician a la sociedad. Y los niveles que presenta este tipo de investigación son experimental y aplicada.

El tipo de investigación desarrollada es tecnológica, ya que presenta similares características a las mencionadas por el autor. El nivel de investigación es aplicada, ya que se emplea una tecnología para mejorar la eficiencia de un sistema.

También señala que el diseño de la investigación es una organización esquematizada para relacionar y controlar las variables de la investigación. Al tener una investigación aplicada, el diseño correspondiente es experimental.

4.2. Método de investigación

Espinoza Montes (2014) menciona el método de investigación sistémico, cuyo enfoque enfrenta el problema en su complejidad a través de un pensamiento basado en la totalidad, en el estudio de la relación entre las partes y de las propiedades emergentes resultantes. Y también se refiere al objeto de la investigación, es decir existen entradas y salidas del sistema, tal como el autor esquematiza en la figura 24:

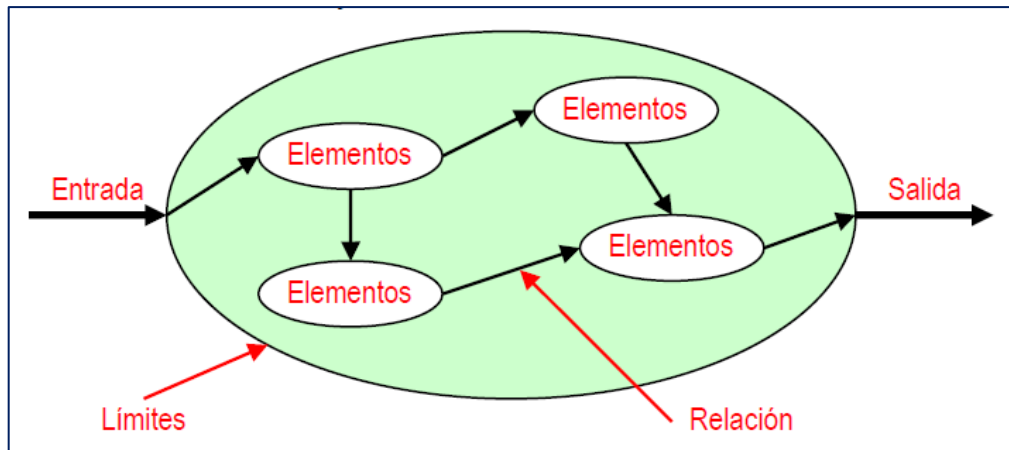


Figura 24. Componentes de un sistema.

Fuente: "Metodología de la investigación tecnológica" por Espinoza, M., 2014, p. 22.

En esta investigación se abordará el enfoque sistémico descrito por el autor, por las similitudes que presenta la definición con las variables de estudio.

Se tiene la figura 25, para bosquejar el enfoque sistémico aplicado a la presente investigación:

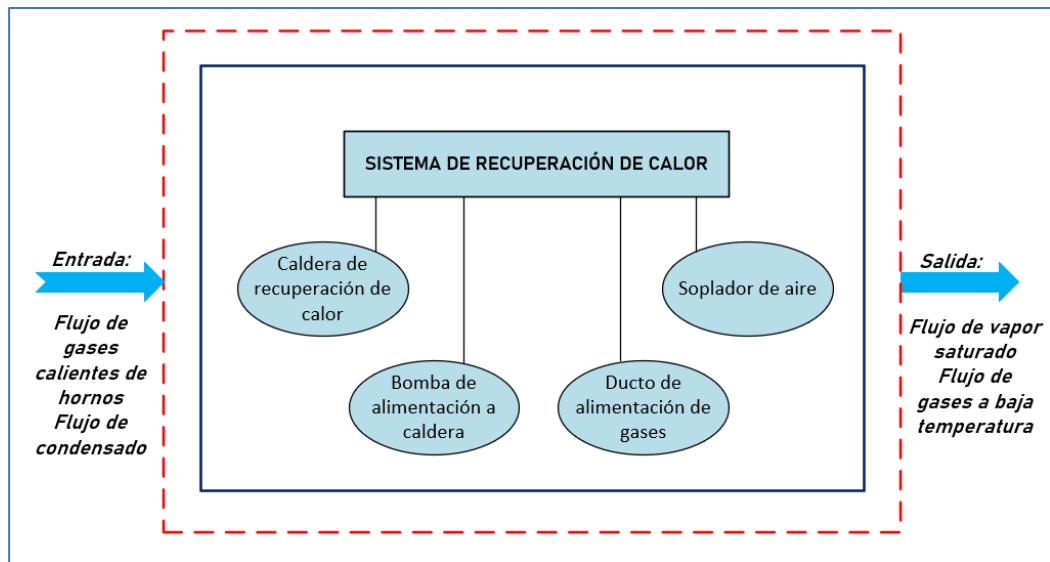


Figura 25. Representación esquemática del trabajo de investigación.

4.3. Población y muestra

La población y muestra de la investigación corresponde a los equipos térmicos de la planta de productos de acero, ubicada en la provincia constitucional del Callao, Perú.

4.4. Lugar de estudio

El lugar de estudio de este proyecto de investigación es la zona de hornos de fundición y la sala de calderas de la planta de productos de acero, durante el año 2020.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

Espinoza Montes (2014) menciona dos técnicas generales de recopilación de información:

- Técnica documental, recopilar evidencias para demostrar la hipótesis de investigación.
- Técnica empírica, permite la observación en contacto directo con el objeto de estudio, mediante observación, encuestas, entrevistas.

Por lo que esta investigación empleó las técnicas documental y empírica:

4.5.1. Técnica documental

Se recopiló documentación proporcionada por la planta de productos de acero:

- Informe de emisiones.
- Plano Layout de planta.
- Registro de equipos consumidores de vapor.
- Registro de consumos de gas natural de la caldera.

4.5.2. Técnica empírica

Se recopilaron datos de observaciones realizadas en la planta de productos de acero, como instrumentos se emplearon:

- Analizador de gases, de la marca TESTO modelo 350N, figura 26:



Figura 26. Analizador de gases marca TESTO 350N.

Fuente: <https://www.testo.com/es-ES/>, 2021.

- Cámara termográfica, de la marca FLIR modelo i60, figura 27:



Figura 27. Cámara termográfica FLIR i60.

Fuente: <https://www.instrumart.com/>, 2021.

- Cámara fotográfica, de la marca SAMSUNG modelo ST72, figura 28:



Figura 28. Cámara fotográfica SAMSUNG ST72.

Fuente: <https://www.samsung.com/>, 2021.

- Interfaz operador-máquina de los hornos de fundición, de la marca ALLEN BRADLEY modelo PanelView Plus 600, figura 29:



Figura 29. PanelView Plus 600 Allen Bradley.

Fuente: <https://www.rockwellautomation.com/>, 2021.

- Medidor de flujo de gas, de la marca PIETRO FIORENTINI modelo IM-RM G160, figura 30:



Figura 30. Medidor de flujo de gas tipo rotatorio.

Fuente: <https://www.fiorentini.com/>, 2021.

- Manómetro, de la marca HURST, figura 31:



Figura 31. Manómetro tipo Bourdon.

- Termómetro, de la marca MESSEN, figura 32:



Figura 32. Termómetro tipo bimetálico.

4.6. Análisis y procesamiento de datos

Espinoza Montes (2014) refiere que para analizar e interpretar los datos se requieren de las siguientes etapas:

- Definición de las variables de análisis
- Obtención de datos
- Organización de datos
- Validación de datos
- Análisis de datos
- Interpretación de resultados

También es importante indicar que para analizar e interpretar datos del sistema de recuperación de calor se debe tener dicho sistema construido, dicha actividad se puede desarrollar si se aplica el diseño mecánico. Al

respecto Espinoza Montes (2014) señala que el método de diseño en ingeniería mecánica es el proceso de generación morfológica de objetos nuevos que transforma las necesidades en soluciones documentadas para su construcción. Y se tienen cuatro etapas interactivas:

- Definición del problema

Es realizada identificando inicialmente la necesidad, el levantamiento de datos cualitativos y cuantitativos. También con la condición actual en la que se sitúa el problema para plantear el requerimiento de características que debe tener la solución.

- Diseño conceptual

Se desarrolla mediante la caracterización del objeto y sus componentes, así como las funciones que estos tendrán, para así especificar el concepto de solución.

- Diseño categorial

Esta etapa comprende la selección de materiales, dimensionamiento mediante cálculos y simulaciones para desarrollar planos de fabricación, planos de ensamble, planos de montaje, etcétera.

- Prototipado

Se desarrolla mediante la construcción del objeto de diseño para evaluar su funcionamiento centrado en los requerimientos iniciales. Con ello se obtienen datos de funcionamiento para el análisis o comparación requerido.

4.6.1. Definición del problema

Para definir el problema recurrimos al capítulo I, donde se plantea lo siguiente:

¿De qué manera la implementación de un sistema de recuperación de calor mejora la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero?

Para un mejor entendimiento del sistema térmico de la planta se representan en un diagrama de bloques, los sistemas y los flujos de energía que ingresan y salen del sistema (Figura 33).

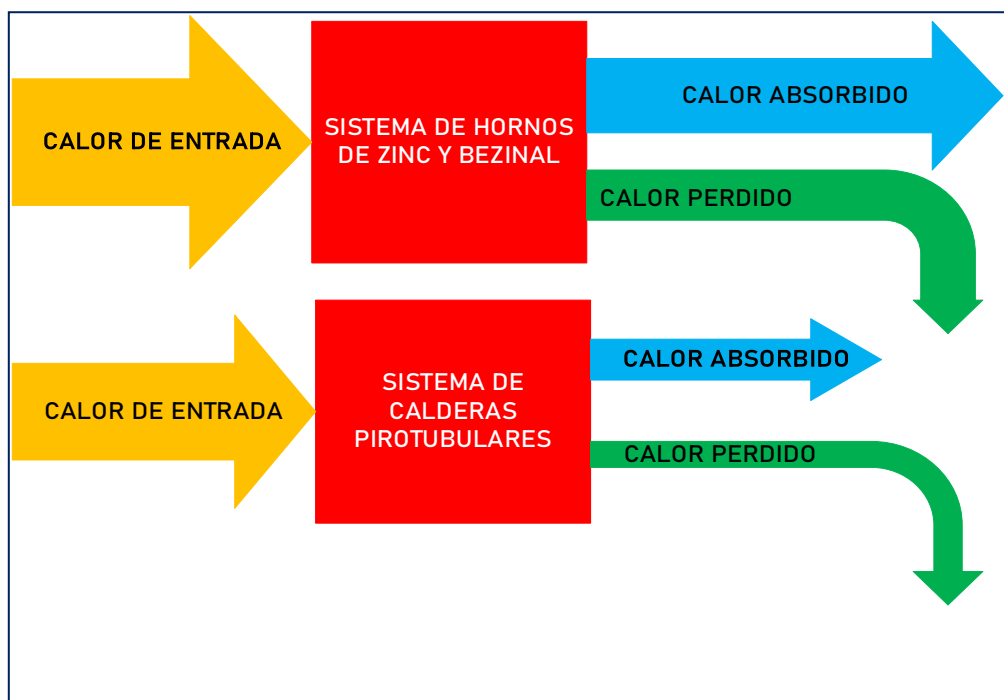


Figura 33. Diagrama de bloques del sistema de hornos y calderas.

En el diagrama de bloques del sistema de hornos y calderas se pueden observar flujos de calor de entrada, que al salir de los bloques que representan los sistemas de hornos y calderas salen como calor absorbido y calor perdido. El calor absorbido es el requerido por el Zinc y Bezinal que se funde y el agua que se vaporiza. El calor perdido es el calor que se llevan los gases producto de la combustión.

Preliminarmente se tiene un calor residual no aprovechado, el requerimiento que la planta de aceros menciona es la recuperación de ese calor para el calentamiento de agua y con ello generar vapor saturado para procesos de calentamiento. Lo mencionado se puede observar en la figura 34:

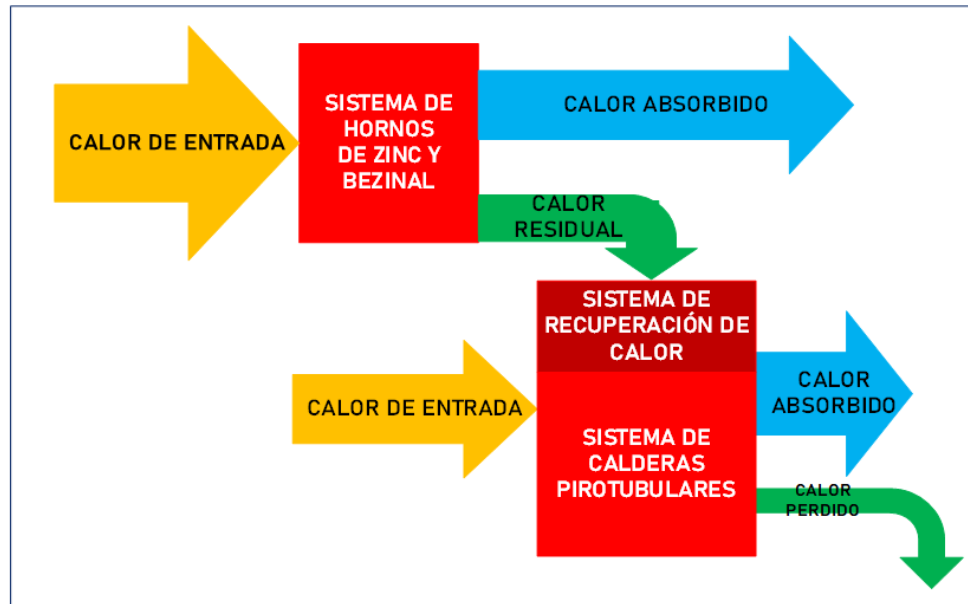


Figura 34. Diagrama de bloques del sistema de recuperación de calor.

4.6.2. Diseño conceptual

El diseño conceptual de un sistema de recuperación de calor (Figura 35) está conformado por los componentes que permiten su operación:

- Caldera de recuperación de calor, cuya función es generar vapor saturado a partir del calor residual de los gases de combustión.
- Tanque de condensado, almacena el agua de alimentación a la caldera de recuperación de calor.
- Bomba de alimentación a caldera, impulsa el agua de alimentación a la caldera de recuperación de calor.

- Ducto de alimentación de gases a caldera, permiten el paso de los gases de combustión desde los hornos hasta la caldera de recuperación de calor.
- Soplador de aire, impulsa un flujo de aire en la chimenea de la caldera de recuperación de calor para acelerar los gases en la salida.

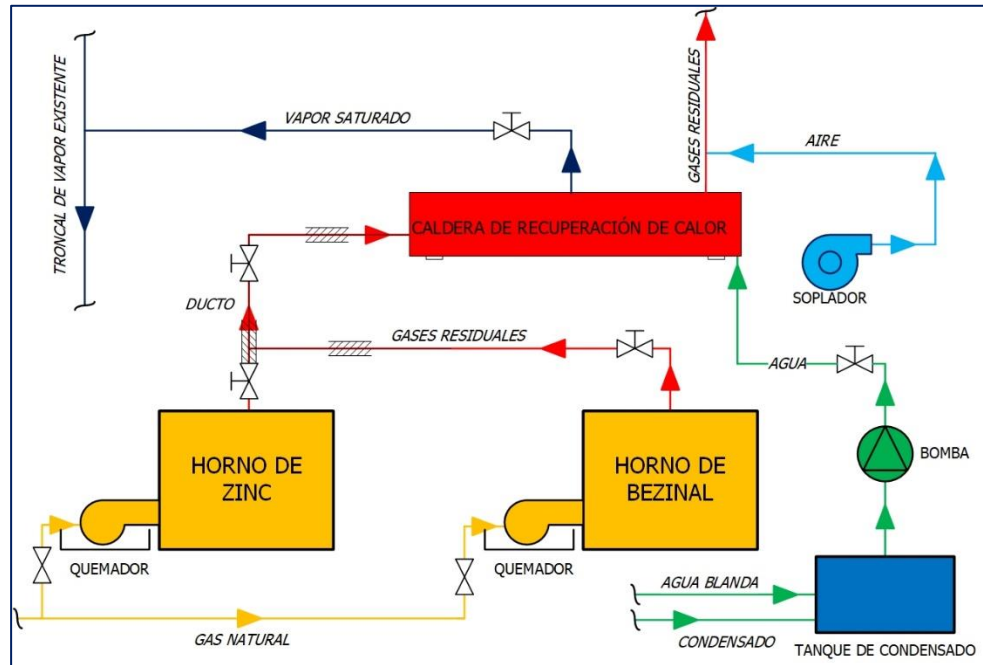


Figura 35. Diagrama del sistema de recuperación de calor.

4.6.3. Diseño categorial

4.6.3.1. Dimensionamiento de la caldera de recuperación de calor

Para el dimensionamiento de la caldera de recuperación de calor se recopilieron datos de operación de los hornos de Zinc y Bezinal, también se analizaron los datos de la caldera pirotubular principal de planta. Se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Datos de operación de los hornos de Zinc y Bezinal.

Horno de Zinc (Galvanizado 31 H)				
Fecha	Hora	Flujo m ³ /h	Temperatura gases °C	Poder calorífico MJ/kg
28/01/2019	1:22:58 p.m.	65	426.5	8.4
28/01/2019	1:25:11 p.m.	65	456.7	8.4
28/01/2019	1:28:19 p.m.	65	487.1	8.4
Altura chimenea				18 m
Diámetro				400 mm
Eficiencia del horno				60%

Horno de Bezinal (Galvanizado 31 H)				
Fecha	Hora	Flujo m ³ /h	Temperatura gases °C	Poder calorífico MJ/kg
28/01/2019	1:33:13 p.m.	45	343.7	8.4
28/01/2019	1:35:42 p.m.	45	344.4	8.4
28/01/2019	1:38:30 p.m.	45	345.4	8.4
Altura chimenea				18 m
Diámetro				400 mm
Eficiencia del horno				60%

La generación de vapor se realiza en la sala de calderas de planta, para lo cual se cuenta con una caldera pirotubular de 200 BHP de potencia, cuyas características y registro de consumos de gas natural se muestran en las tablas 6 y 7, respectivamente:

Tabla 6. Especificaciones de caldera pirotubular.

Especificaciones Caldera	
Marca	INTESA
Tipo	Pirotubular
Norma de fabricación	ASME SECCION I
Hogar	Corrugado tipo Morrison
Potencia	200 BHP
Producción de vapor @ 212 °F	6900 lb/h
Tipo de combustible	Gas Natural/G.L.P.
Consumo de combustible	7840 MBH Max.
Presión de diseño	150 psi
Presión de prueba hidrostática	225 psi
Año de fabricación	2014
N° de serie	013590514

Tabla 7. Consumo de gas natural en la caldera de 200 BHP.

Consumo de gas natural en m ³ /h de la caldera de 200 BHP							
Fecha Hora	02/12/19	03/12/19	04/12/19	05/12/19	06/12/19	07/12/19	08/12/19
8:00 a.m.	214.59	214.29	210.40	210.36	213.38	214.80	212.16
9:00 a.m.	213.52	211.35	210.62	213.02	214.88	211.41	210.28
10:00 a.m.	214.70	212.56	210.49	211.49	211.28	213.18	210.98
11:00 a.m.	212.42	210.02	213.38	213.68	214.41	214.20	211.77
12:00 p.m.	214.01	210.59	211.08	213.28	213.94	214.04	212.08
1:00 p.m.	212.31	214.55	213.65	213.85	213.57	210.54	211.15
2:00 p.m.	214.76	210.57	211.02	211.78	212.33	214.25	211.72
3:00 p.m.	210.95	211.21	213.57	212.63	212.84	212.70	214.03
4:00 p.m.	212.85	211.78	210.45	212.60	211.10	212.88	212.28
5:00 p.m.	211.28	212.93	212.80	212.87	214.90	213.35	210.60
6:00 p.m.	214.85	210.58	212.00	212.89	212.82	213.24	214.17
7:00 p.m.	210.59	211.92	210.62	211.60	212.91	213.59	211.19
8:00 p.m.	211.03	214.45	211.57	212.61	213.58	213.26	212.97

Estos valores fueron proporcionados por la empresa de productos de acero. Se realizaron mediciones, tal como se muestra en la tabla 8:

Tabla 8. Temperatura de los gases residuales.

Mediciones realizadas a la temperatura de los gases			
Hora	Temp. gases Zinc (°C)	Temp. gases Bezinal (°C)	Temp. promedio (°C)
10:00 a.m.	457.13	361.70	409.42
10:30 a.m.	440.61	356.92	398.77
11:00 a.m.	454.40	357.00	405.70
11:30 a.m.	468.95	362.46	415.71
12:00 p.m.	451.01	354.84	402.93
12:30 p.m.	440.43	345.54	392.99
1:00 p.m.	486.01	364.30	425.16
1:30 p.m.	471.71	356.66	414.19
2:00 p.m.	484.19	347.65	415.92
2:30 p.m.	436.36	349.47	392.92
3:00 p.m.	474.03	355.28	414.66
3:30 p.m.	444.23	361.43	402.83
4:00 p.m.	464.36	351.15	407.76
4:30 p.m.	471.64	361.91	416.78
5:00 p.m.	459.35	360.11	409.73
5:30 p.m.	455.34	356.94	406.14
6:00 p.m.	450.18	348.89	399.54
6:30 p.m.	485.33	350.74	418.04

También se realizaron mediciones de la temperatura superficial de las chimeneas, ya que en algunas zonas no presentaban aislamiento térmico. Los valores registrados se muestran en la tabla 9:

Tabla 9. Temperatura de los gases residuales.

Medición	Hora	Temp. superficial (°C)
1	8:00 a.m.	71.2
2	9:00 a.m.	129
3	10:00 a.m.	150
4	11:00 a.m.	150
5	12:00 p.m.	150
6	1:00 p.m.	150
7	2:00 p.m.	150
8	3:00 p.m.	99.7
9	4:00 p.m.	93.9
10	5:00 p.m.	144

Para el cálculo del calor proporcionado por el flujo de gas natural, se usa el Poder Calorífico de este: 35,310.00 BTU/m³ (ver anexos). Y se reordena la ecuación N°17:

$$\eta = \left(1 - \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_c}\right) * 100$$

$$\dot{Q}_{r1} = \left(1 - \frac{n}{100}\right) * \dot{Q}_c$$

$$\dot{Q}_{r1} = \left(1 - \frac{n}{100}\right) * \dot{v} * PC$$

Reemplazando se tiene:

$$\dot{Q}_{r1} = \left(1 - \frac{60}{100}\right) * 65 \frac{m^3}{h} * 35,310.00 \frac{BTU}{m^3}$$

$$\dot{Q}_{r1} = 918,060.00 \frac{BTU}{h}$$

El flujo de calor residual del horno de Zinc es 918,060.00 BTU/h

$$\dot{Q}_{r2} = \left(1 - \frac{60}{100}\right) * 45 \frac{m^3}{h} * 35,310.00 \frac{BTU}{m^3}$$

$$\dot{Q}_{r2} = \left(1 - \frac{60}{100}\right) * 45 \frac{m^3}{h} * 35,310.00 \frac{BTU}{m^3}$$

$$\dot{Q}_{r2} = 635,580.00 \frac{BTU}{h}$$

El flujo de calor residual del horno de Bezinal es 635,580.00 BTU/h

El calor total residual aprovechable es:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{r1} + \dot{Q}_{r2} \left(\frac{BTU}{h}\right)$$

$$\dot{Q}_{total} = 918,060.00 \frac{BTU}{h} + 635,580.00 \frac{BTU}{h}$$

$$\dot{Q}_{total} = 1,553,640.00 \frac{BTU}{h}$$

Considerando la eficiencia de la caldera de recuperación del 60%, se calcula la potencia del equipo:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_c} * 100$$

$$60 = \frac{\dot{Q}_a}{1,553,640.00 \frac{BTU}{h}} * 100$$

$$\dot{Q}_a = 932,184.00 \frac{BTU}{h}$$

Para calcular los BHP de la caldera hacemos la conversión: 1 BHP = 33,475.00 BTU/h

$$\dot{Q}_a = 932,184.00 \frac{BTU}{h} * \frac{1 BHP}{33,475.00 \frac{BTU}{h}}$$

$$\dot{Q}_a = 27.84 BHP$$

La caldera de recuperación de calor debe tener una potencia de 27.84 BHP, como dicha potencia no es comercial se redondea a 30 BHP. El equipo dimensionado será de la marca Hurst Boiler (ver anexos), por requerimiento de la planta de productos de acero. Ahora se calculará de manera teórica la producción de vapor de la caldera, considerando una presión de operación de 70 psi:

$$\dot{m}_{\text{vapor teórico}} = \frac{(34.5 * BHP * h_{fg@100^\circ C})}{(h_g - 4.187 * T_e)} \frac{lb}{h}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor teórico}} = \frac{(34.5 * 30 * 2,257 kJ/kg)}{(2753.96 kJ/kg - 4.187 * 95)} \frac{lb}{h}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor teórico}} = 987.03 \frac{lb}{h} * \frac{1 kg}{2.2 lb}$$

$$\dot{m}_{\text{vapor teórico}} = 448.65 \frac{kg}{h}$$

4.6.3.2. Dimensionamiento del tanque de condensado

El dimensionamiento del tanque de condensado se realiza de la siguiente manera:

$$\text{Volumen del tanque} = 30 BHP * 34.5 \frac{\frac{lb}{h}}{BHP} = 1,035.00 \frac{lb}{h}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 1,035.00 \frac{lb}{h} * \frac{1 h}{60 min} * \frac{1 gal}{8.34 lb} = 2.06 \frac{gal}{min}$$

$$\text{Volumen del tanque} = 2.06 \frac{gal}{min} * 10 min$$

$$\text{Volumen del tanque} = 20.6 \text{ gal} = 77.97 \text{ litros}$$

Ese es el volumen de operación del tanque de condensado, para determinar el volumen total del tanque se multiplicará por un factor de 1.5:

$$\text{Volumen total del tanque} = 20.6 \text{ gal} * 1.5 \approx 30 \text{ gal}$$

4.6.3.3. Dimensionamiento de la chimenea de la caldera

El diámetro de la chimenea está determinado por el diámetro de la caldera de recuperación de calor. El tiro o altura es calculado a partir de la ecuación N°9:

$$P_h = H * g * (\rho_a - \rho_g)$$

La temperatura de salida de los gases de una caldera tiene una temperatura mínima de 140 °C, la densidad del aire obtenida de tablas es 1.20 kg/m³

$$\rho_g = \rho_a * \left(\frac{273}{273 + T} \right)$$

$$\rho_g = 1.20 * \left(\frac{273}{273 + 140} \right) \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_g = 0.79 \frac{kg}{m^3}$$

Reemplazando:

$$P_h = H * g * (\rho_a - \rho_g)$$

$$H = \frac{P_h}{g * (\rho_a - \rho_g)}$$

$$H = \frac{59}{9.81 * (1.20 - 0.79)} m$$

$$H = 14.66 m$$

Como el lugar de la instalación dificulta instalar una chimenea de esa altura se inducirá el tiro de la chimenea mediante un soplador. La

chimenea tendrá una altura reducida a 6 m por requerimiento propio de planta.

Asimismo, la potencia disponible por planta para la instalación de un soplador de aire es de 1 HP. Se selecciona un soplador modelo Caracol marca Roli, cuyas características se indican:

- Marca: Roli
- Modelo: Caracol
- Flujo impulsado: 5,000.00 m³/h
- Presión estática: 3"

El soplador seleccionado tiene una descarga horizontal hacia abajo con salida cuadrada de 4" y base trapezoidal, cuyo diseño se muestra en la figura 36:

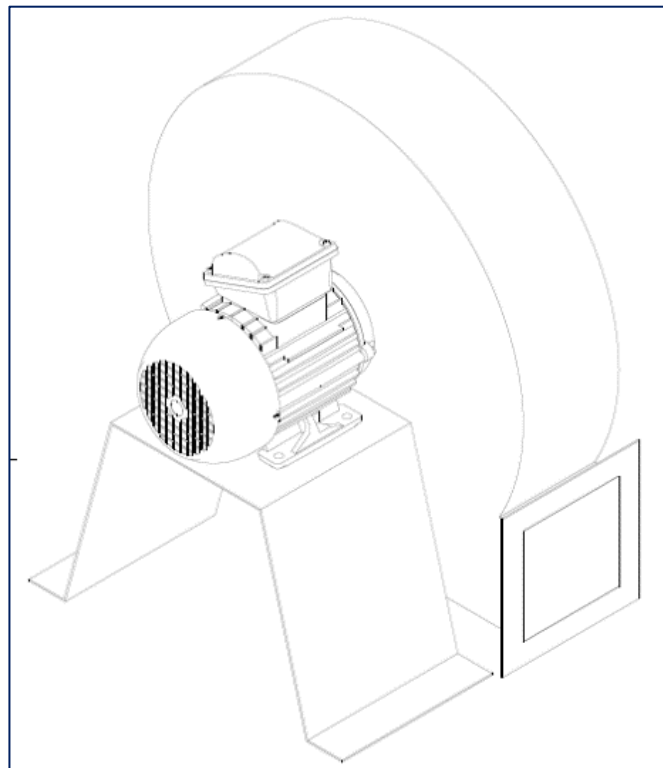


Figura 36. Vista isométrica del soplador.

Con el diámetro de la salida de gases de la caldera de recuperación de calor y el tamaño de la brida del soplador se realiza el diseño mecánico de la chimenea y la tobera para inducir el tiro en la chimenea.

Datos:

- Altura de la chimenea: 6 m
- Diámetro de la chimenea: 12"
- Diámetro sugerido de tobera: 3" x 1"

Se muestra el ensamble del diseño realizado en la figura 37 y figura 38:

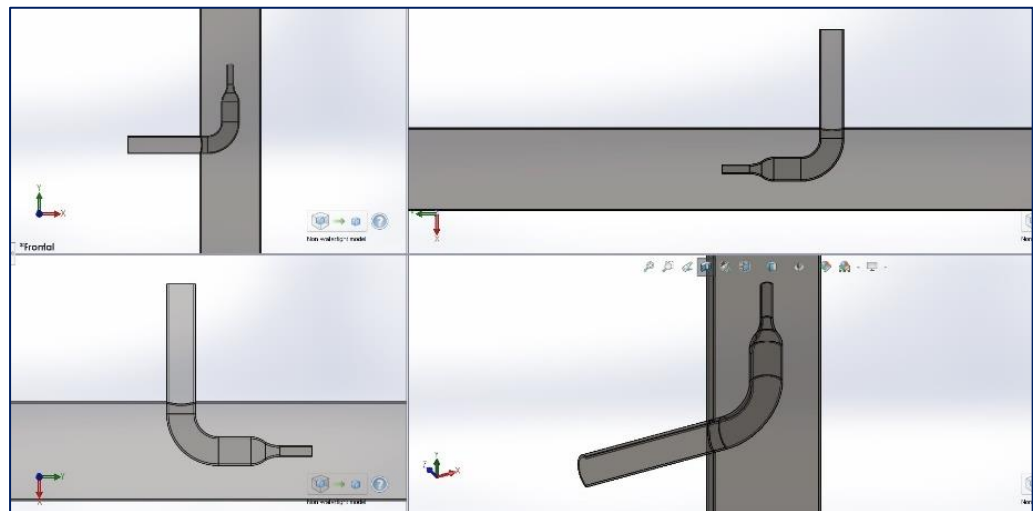


Figura 37. Diseño de chimenea y tobera.

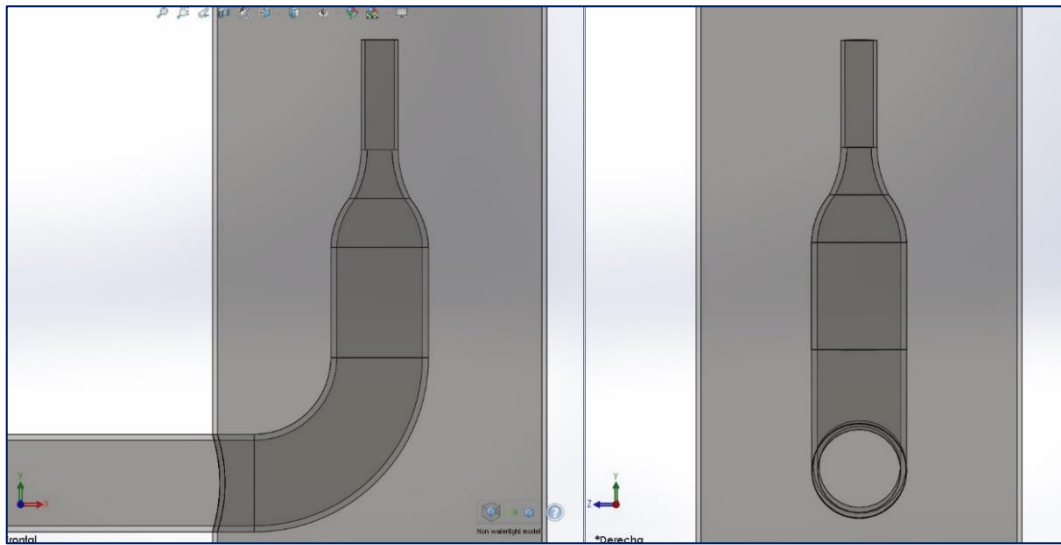


Figura 38. Diseño de tobera.

La tobera tendrá la función de inyectar aire en la chimenea de la caldera para así acelerar los gases de combustión y evitar sobrepresiones en el ducto de alimentación. Es decir, inducirá el tiro de la chimenea, con ello se reduce la altura que esta tiene, ya que el espacio para su instalación es reducido.

Para hacer la simulación del comportamiento de los gases y el aire en la chimenea se recurre al módulo de simulación de fluidos de SolidWorks. Se valida la aceleración de los gases, tal como se puede observar en las figuras 39, 40 y 41:

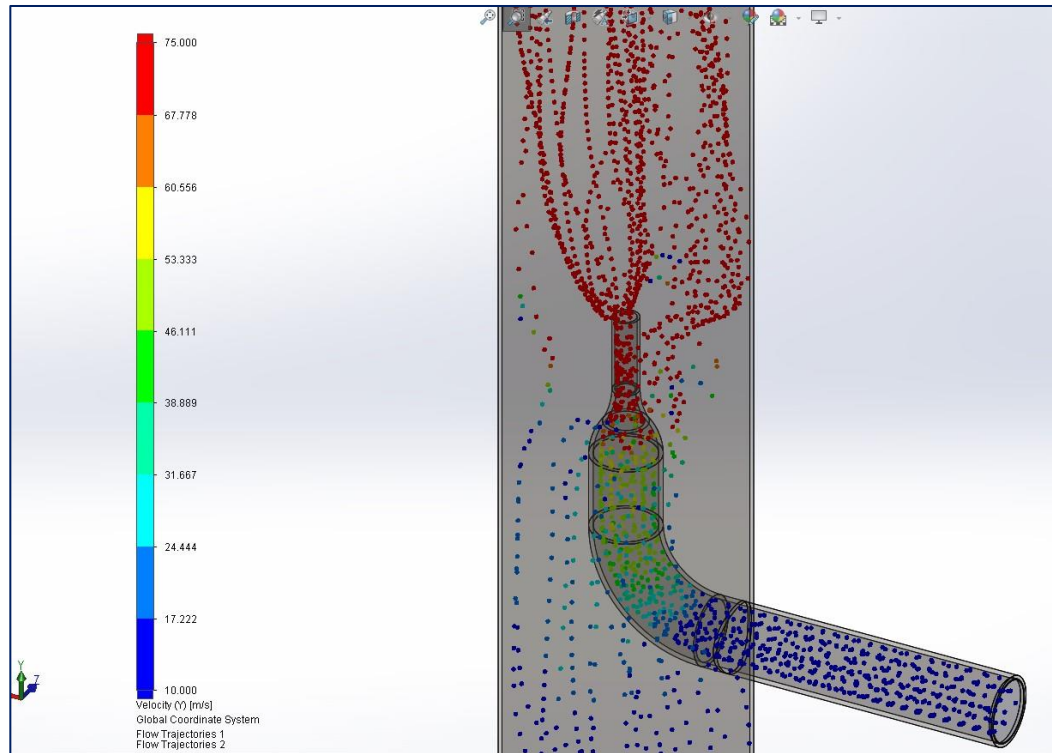


Figura 39. Vista isométrica de chimenea y tobera simulada.

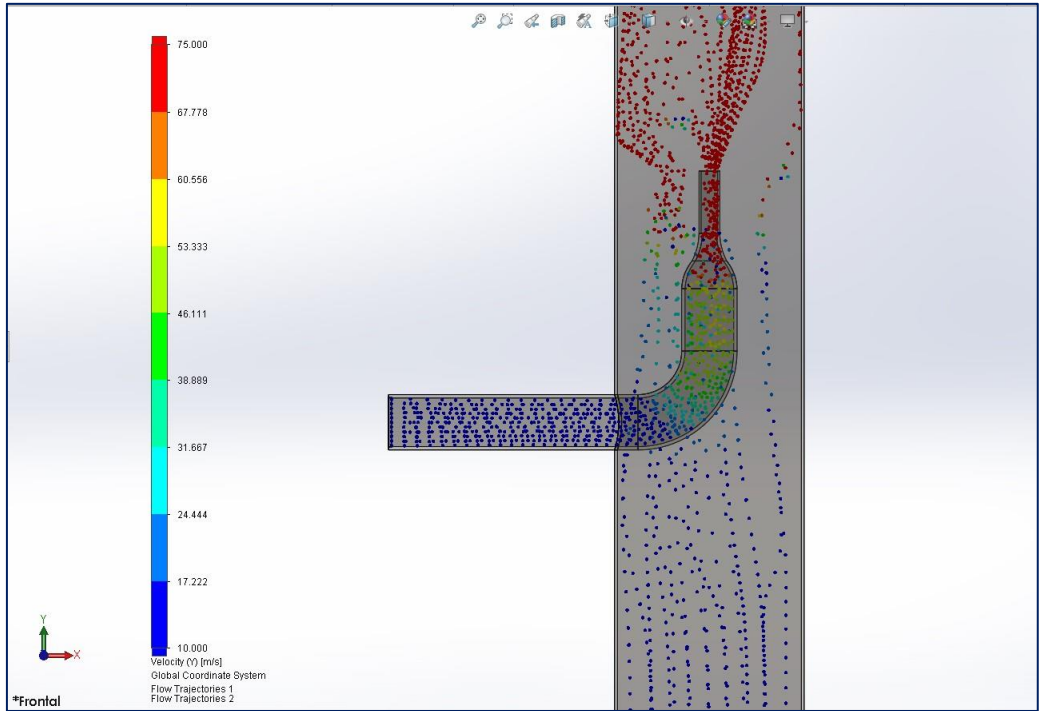


Figura 40. Vista lateral de chimenea y tobera simuladas.

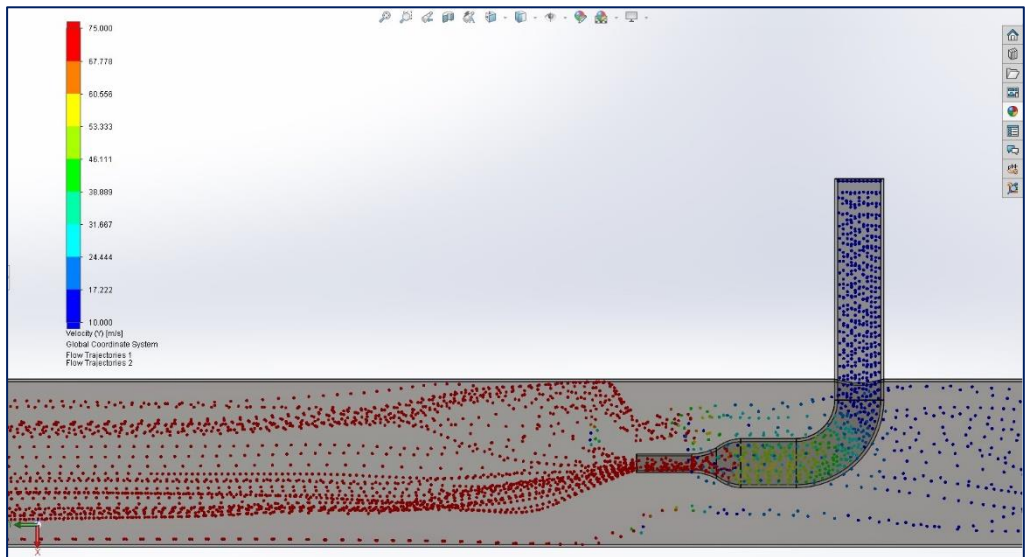


Figura 41. Gradiente de velocidad de la simulación realizada.

4.6.3.4. Dimensionamiento de la bomba de alimentación de agua a caldera

El dimensionamiento de la bomba de alimentación de agua depende de la potencia de la caldera, para lo cual se recurre al flujo de vapor calculado:

$$\dot{m}_{\text{vapor te\u00f3rico}} = 448.65 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

El flujo de agua a ser impulsado por la caldera es el mismo flujo que produce la caldera, multiplicado por un factor de seguridad de 1.5:

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 448.65 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 1.5$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 672.97 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Llevando a flujo volum\u00e9trico, se divide entre la densidad del agua: 1000 kg/m³

$$\dot{v}_{\text{agua}} = \frac{672.97 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\dot{v}_{\text{agua}} = 0.67 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Se tiene una altura de bombeo medida de 10 m, desde el nivel del piso donde se ubicar\u00e1 la bomba hasta la plataforma donde se instalar\u00e1 la caldera, tal como se observa en la figura 42:



Figura 42. Plataforma de ubicación de la caldera.

Con los valores de flujo y altura se usa el seleccionador de bombas de la marca Grundfos (Figura 43):

Figura 43. Herramienta de dimensionamiento de bombas.

Fuente: <https://www.grundfos.com/>, 2021.

La herramienta de selección solicita parámetros de operación de la bomba, con dichos parámetros nos da la mejor opción para la aplicación requerida, como se puede observar en la figura 44:

Mejor coincidencia

(1) [Download] [Print]

Curva	Producto n.º	Sistema	Inf.	Nombre de producto	MPG	Coste del ciclo de vida [EUR/15 años]	Orient. de bomba	Fases
<input checked="" type="checkbox"/>	96516173 +..	X		CR 1-5	51	3573	Vertical	3

Figura 44. Resultado del dimensionamiento de la bomba.

Fuente: <https://www.grundfos.com/>, 2021.

Las especificaciones técnicas del equipo dimensionado, se muestran en la figura 45:

Resultado del dimensionamiento		Perfil carga					
Tipo	CR 1-5						
Cantidad	1						
Motor	0.37 kW						
Caud	0.67 m ³ /h	1	2	3	4		
Alt.	15 m						
Entrad presión mín	-0.07 bar (95 °C, contra la atmosfera)						
Pot. P1	0.121 kW						
Pot. P2 requerida en el punto de trabajo	0.068 kW						
BombaEta	39.1 %						
Motor Eta	55.7 %						
Bomb+motor Eta	21.8 % =Bomba Eta *motor Eta						
Total Eta	21.8 % =Eta relativa punto de						
		Caud	100	75	50	25	%
		Alt.	100	56	25	13	%
		P1	0.121	0.068	0.035	0.023	kW
		Total Eta	21.8	16.3	9.4	3.8	%
		Time	410	1026	2394	3010	h/a
		Consumo energia	50	70	84	68	kWh/Año
		Cantidad	1	1	1	1	

Figura 45. Especificaciones técnicas de la bomba CR 1-5.

Fuente: <https://www.grundfos.com/>, 2021.

Las dimensiones de la bomba se muestran en la figura 46:

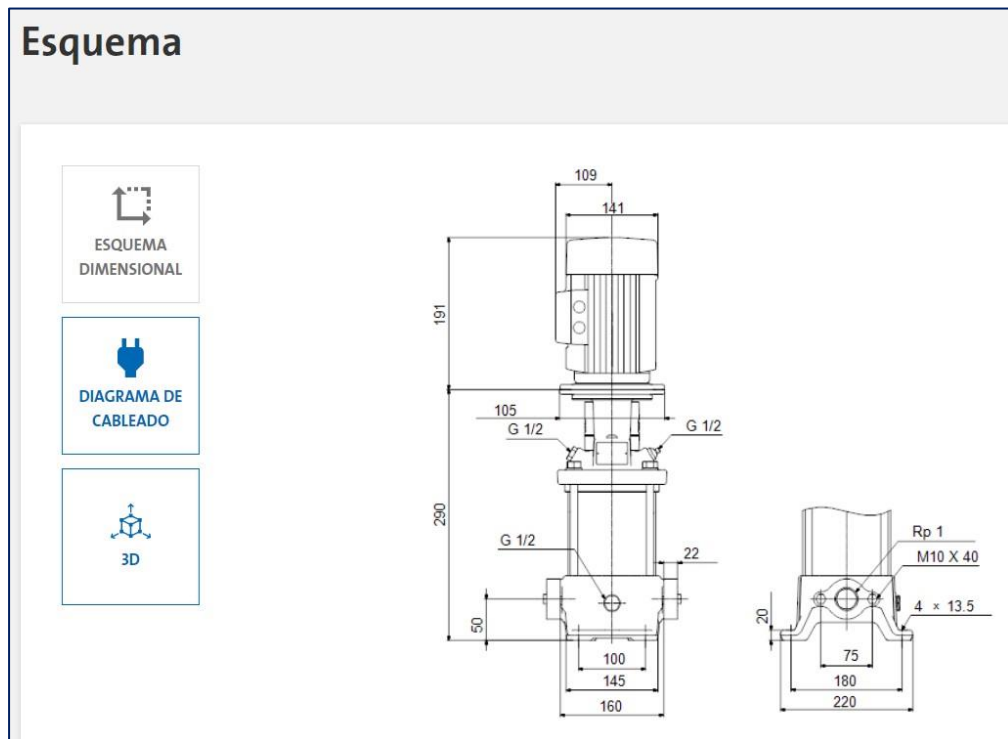


Figura 46. Dimensiones de la bomba CR 1-5.

Fuente: <https://www.grundfos.com/>, 2021.

4.6.3.5. Dimensionamiento del ducto de alimentación de gases a la caldera

El dimensionamiento del ducto de alimentación de gases considera el diámetro y la forma geométrica que debe tener para unir las dos chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal evitando la caída de presión y también manteniendo el mismo diámetro de las chimeneas.

Las chimeneas tienen un diámetro de 400 mm, por lo que el ducto mantendrá ese diámetro en todas las secciones (Figura 47), de tal forma que no se restrinja el paso de los gases hacia la caldera de recuperación de calor.

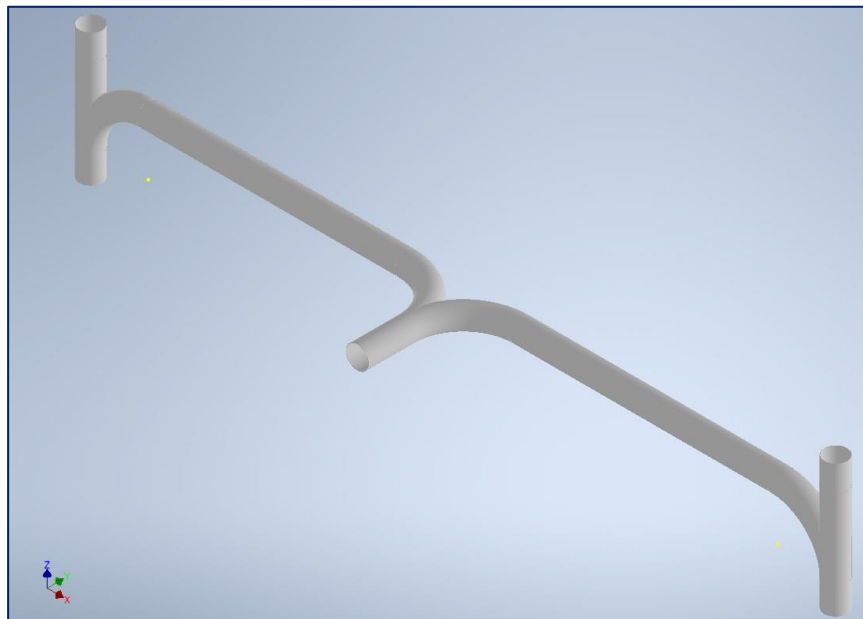


Figura 47. Diseño del ducto de alimentación de gases a la caldera.

Para poder disminuir las caídas de presión se diseñan transiciones tipo pantalón, evitando ángulos de 90° (20). Con ello se realiza una simulación para evaluar la velocidad y presión de los flujos de gases de las chimeneas.

4.6.3.6. Dimensionamiento del diámetro de la tubería de vapor

Para el dimensionamiento del diámetro de la tubería de vapor recurrimos al valor máximo de la velocidad del flujo de vapor saturado de la tabla N°3: 7,500 ft/min. Como la caldera tiene una presión de operación de 70 psi, de lectura de tablas termodinámicas obtenemos el volumen específico del vapor: 6.2075 ft³/lb, reemplazando en la fórmula N°13:

$$A = \frac{2.4 * \dot{Q} * V_s}{V}$$
$$A = \frac{2.4 * 989.10 * 6.2075}{2,000.00}$$
$$A = \frac{2.4 * 989.10 * 6.2075}{2,000.00}$$
$$A = 7.36 \text{ in}^2$$

Con el área de la sección de la tubería encontrado se calcula el diámetro de la tubería de vapor:

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2 \tag{18}$$

Donde:

A es el área interna de la tubería en in²

d es el diámetro interno de la tubería en in

Reordenando la ecuación N°18:

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$
$$d = \sqrt{\frac{4 * 7.36}{\pi}}$$

$$d = 3.06 \text{ in} = 77.72 \text{ mm}$$

Se selecciona tubería de diámetro 3" para el tramo que unirá la salida de la caldera con la red de vapor existente. Adicional a ello se verifica que el diámetro de salida de vapor de la caldera de recuperación de calor es de 3".

4.6.3.7. Dimensionamiento del diámetro de la tubería de condensado

Para el dimensionamiento del diámetro de la tubería de condensado se usa el nomograma de la figura 48, con el valor del flujo de condensado de 989.10 lb/h (equivalente al flujo de vapor producido por la caldera) y la presión de retorno de la línea de condensado de 60 psi.

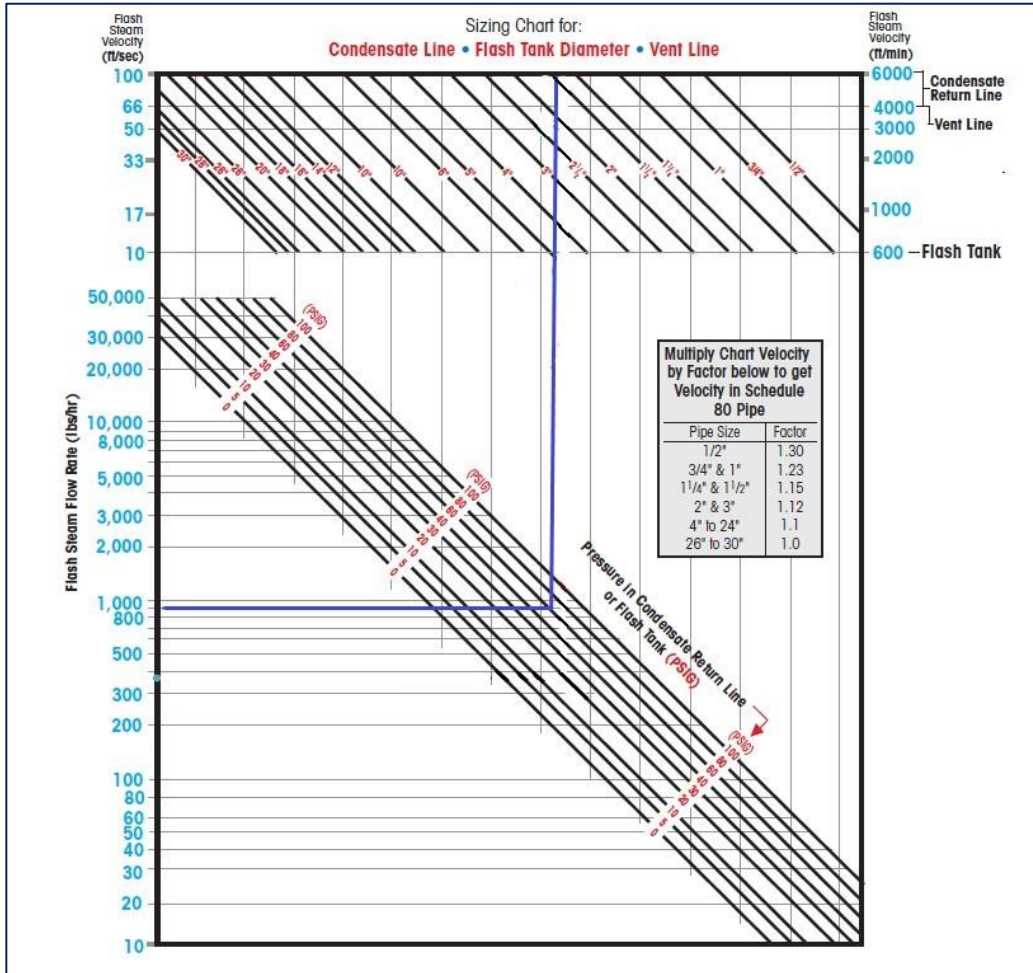


Figura 48. Nomograma para selección de la tubería de condensado.

Fuente: "Catálogo de producto" por Watson, M., 2015.

4.6.4. Prototipado

Espinoza Montes (2014) menciona que el prototipado consiste en la construcción del modelo del objeto de diseño para evaluar su funcionamiento. Esta investigación no requirió construir un prototipo del sistema, debido al alto costo que representaba. El uso de herramientas

de software para la simulación de la dinámica de fluidos computacional aporta la validez para la construcción del sistema a escala real.

Esta investigación evalúa los parámetros de operación del sistema de recuperación de calor implementado, para lo cual se han dimensionado y diseñado los equipos que lo componen, también se desarrollaron planos de fabricación, planos de montaje, planos eléctricos, diagrama de instrumentación y proceso y filosofía de control (ver anexos).

En la figura 49 se muestra una vista isométrica del sistema de recuperación de calor.

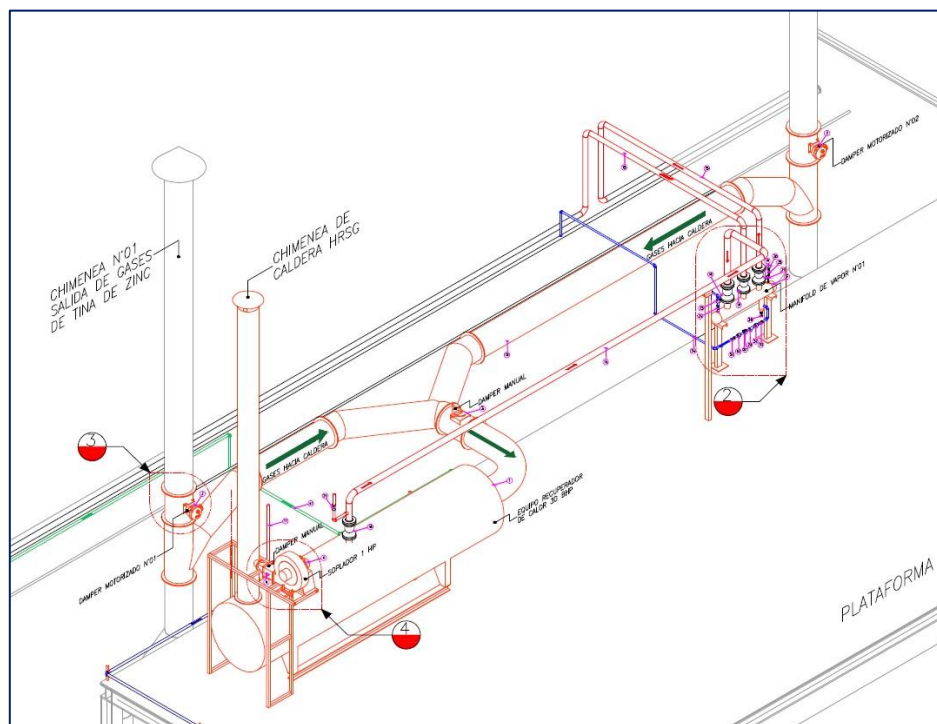


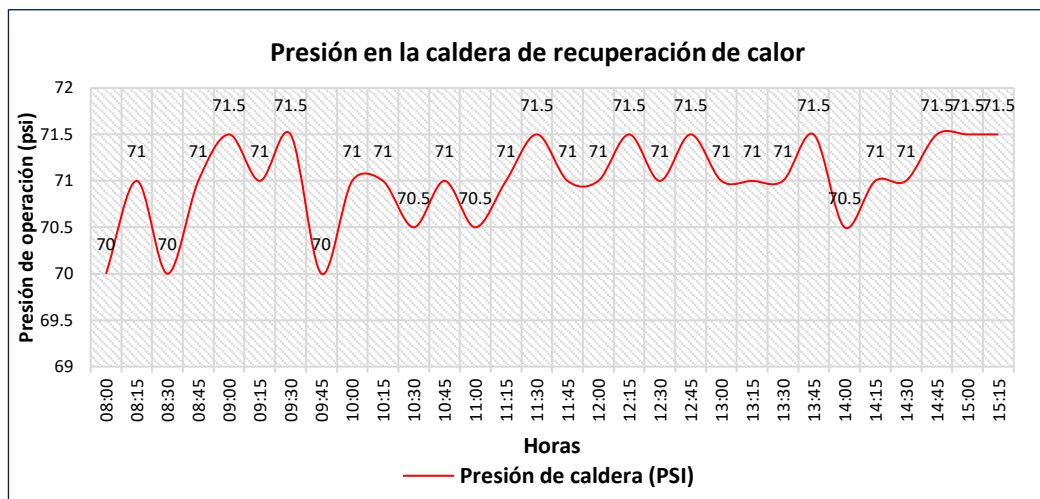
Figura 49. Vista isométrica del sistema de recuperación de calor.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

- La caldera de recuperación de calor esta dimensionada adecuadamente para operar a la presión requerida por planta (presión leída en el manómetro de la caldera, (Gráfica 1), aprovechando el calor residual de los gases de los hornos de Zinc y Bezinal.

Gráfica 1. Presión en la caldera de recuperación de calor



- El resultado del dimensionamiento de la bomba de alimentación de agua a la caldera mediante el software de dimensionamiento de Grundfos permite seleccionar el modelo de bomba adecuado para operar con el flujo y la presión requerida, como se observa en las curvas de operación del equipo seleccionado, figura 50:

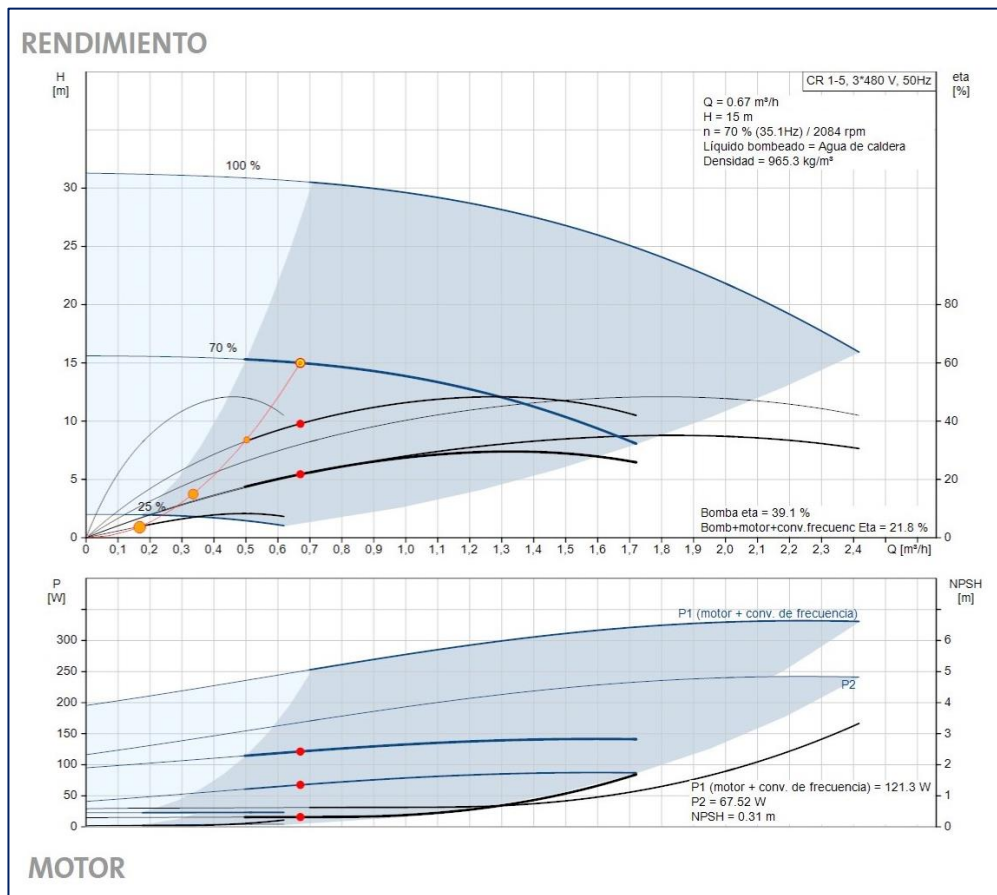
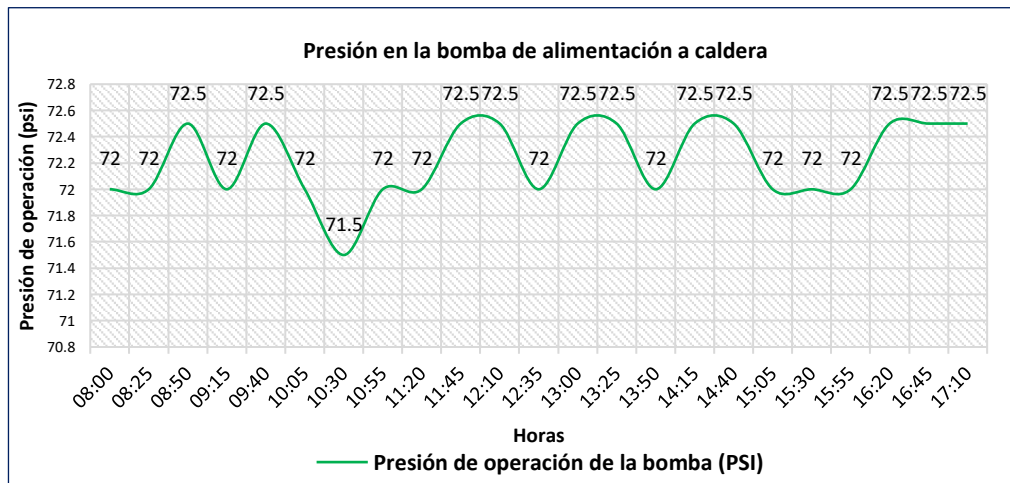


Figura 50. Curva de operación de la bomba CR1-5.

Fuente: <https://www.grundfos.com/>, 2021.

Se tiene la gráfica 2 que indica los valores de la presión de la bomba registrados durante su operación.

Gráfica 2. Presión de la bomba



- El ducto diseñado minimiza las caídas de presión, (Figura 51 y 52), a su vez permite el ingreso de los gases de las chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal a la caldera de recuperación de calor.

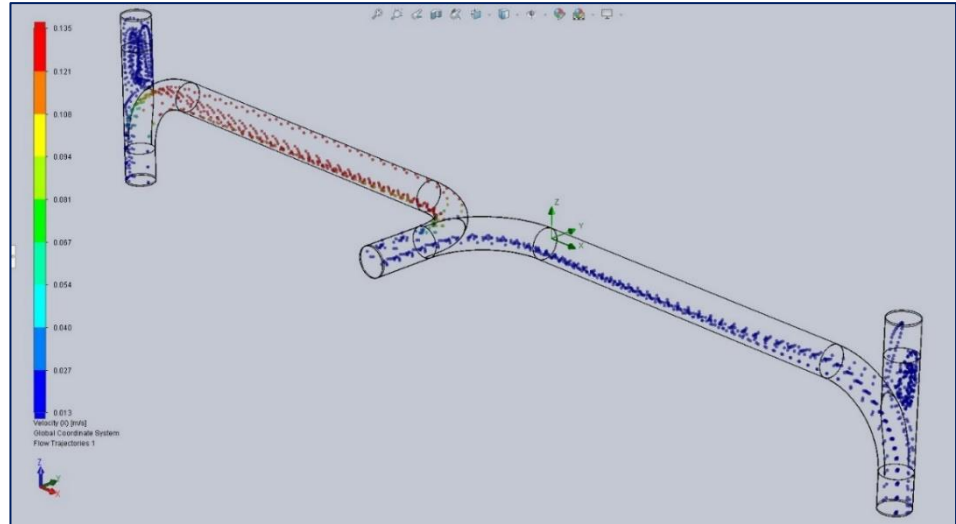


Figura 51. Gradiente de la velocidad de los gases en el ducto.

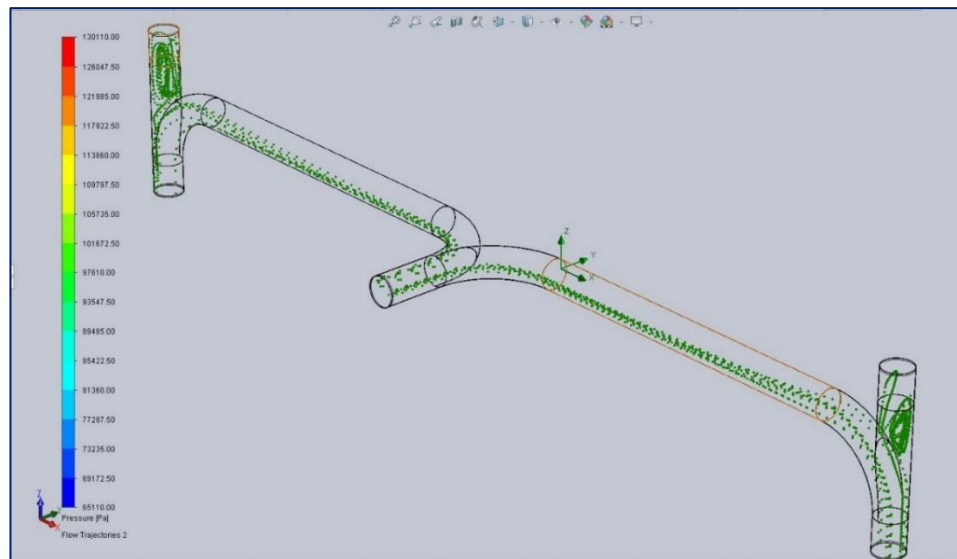
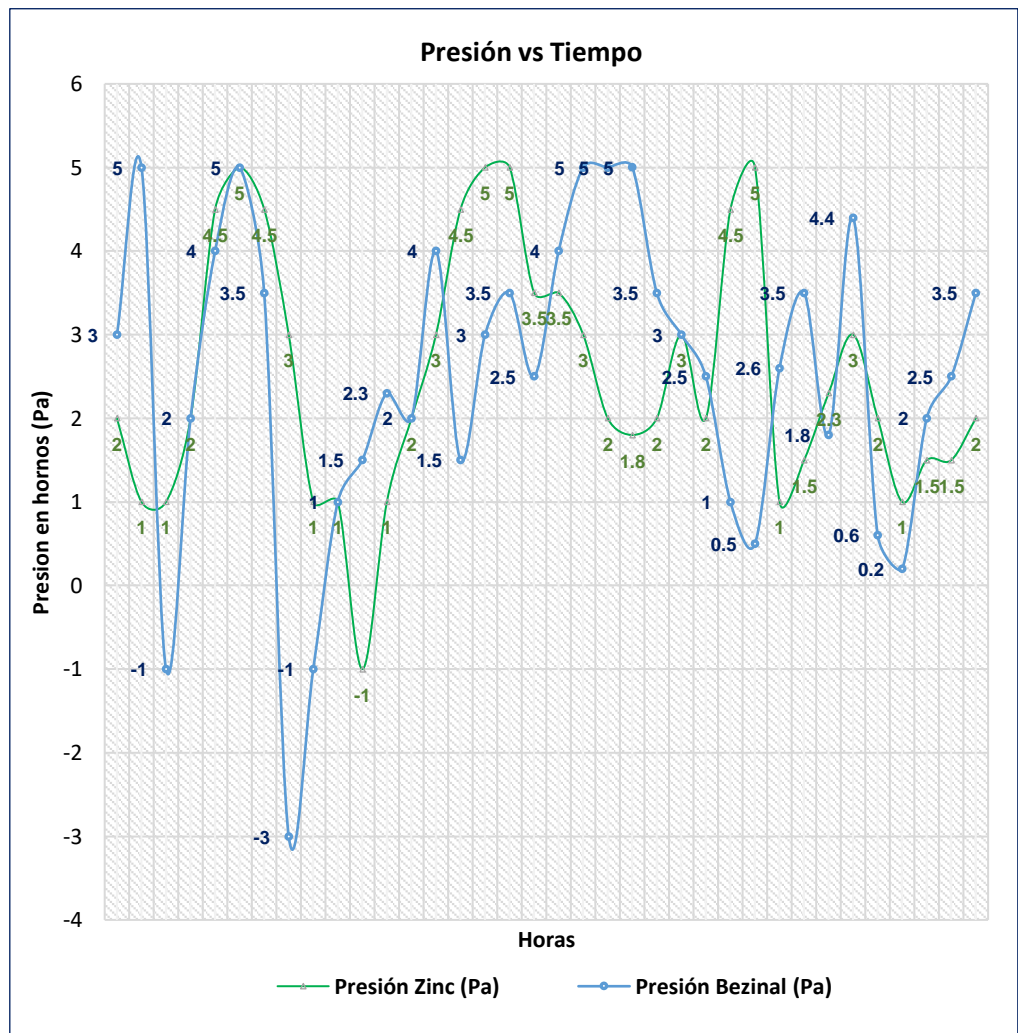


Figura 52. Gradiente de la presión de los gases en el ducto.

- El soplador de aire permite la inyección de un flujo de aire en la chimenea de la caldera de recuperación, generando un tiro inducido que permite mantener la presión de los gases de los hornos en sus niveles normales de operación, se muestra la gráfica 3 de la presión en los hornos:

Gráfica 3. Presión de operación de los hornos



- De la implementación del sistema de recuperación de calor se obtiene como resultado la disminución en el consumo de gas natural de la caldera de 200 BHP. El flujo de gas consumido por la caldera de 200 BHP se puede observar en la tabla 10:

Tabla 10. Consumo de G.N. después de implementado el HRSG.

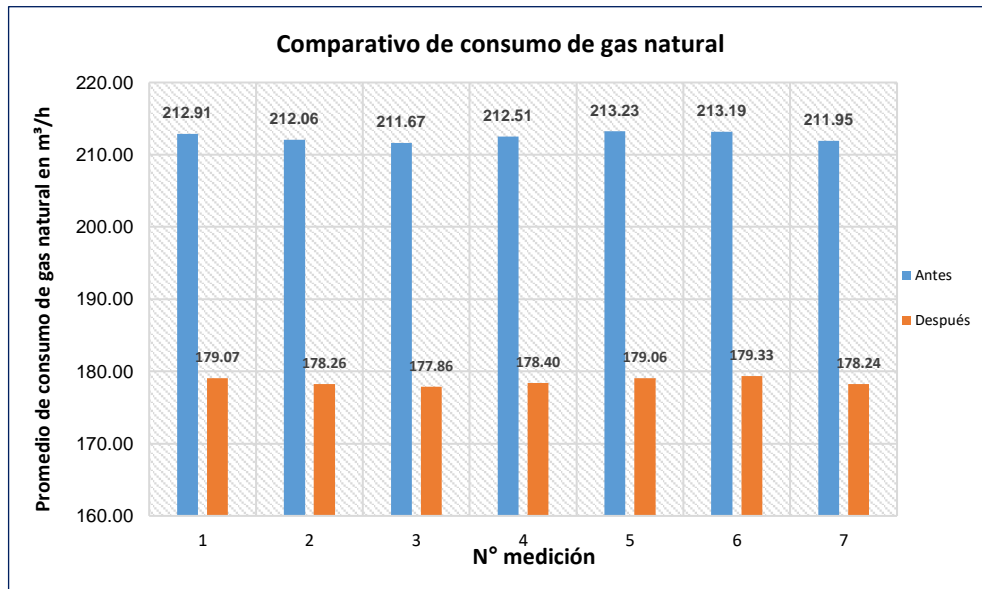
Consumo de gas natural en m ³ /h de la caldera de 200 BHP después de implementar HRSG							
N° medición	1	2	3	4	5	6	7
Fecha	05/10/20	06/10/20	07/10/20	08/10/20	09/10/20	10/10/20	11/10/20
Hora							
8:00 a.m.	181.25	180.54	176.55	174.81	180.17	179.03	179.43
9:00 a.m.	178.28	177.17	175.59	180.39	182.47	175.81	175.78
10:00 a.m.	182.18	178.54	175.57	178.59	179.20	180.87	178.67
11:00 a.m.	177.25	176.99	180.61	178.18	179.44	181.26	179.21
12:00 p.m.	179.59	175.87	178.63	178.85	178.03	181.63	178.95
1:00 p.m.	179.07	180.87	181.56	180.55	179.39	177.72	178.73
2:00 p.m.	181.14	175.07	175.47	176.66	177.83	178.63	179.23
3:00 p.m.	175.65	177.84	177.74	179.21	180.14	177.78	178.16
4:00 p.m.	179.11	176.76	177.69	179.85	176.76	180.01	178.59
5:00 p.m.	178.28	180.64	178.05	179.37	180.36	179.59	175.61
6:00 p.m.	181.80	176.67	179.03	177.33	177.62	181.14	179.36
7:00 p.m.	177.59	179.17	176.84	176.43	177.88	177.60	175.62
8:00 p.m.	176.69	181.25	178.89	179.02	178.51	180.26	179.79

Se tiene la tabla 11 y la gráfica 4 con los valores promedio de los consumos de gas natural antes y después de implementado el sistema de recuperación de calor:

Tabla 11. Comparativo del consumo de gas natural en la caldera.

	Caldera antes del sistema HRSG	Caldera después del sistema HRSG	Variación (Ahorro)
Valor promedio mínimo (m ³ /h)	210.02	174.81	35.21
Valor promedio máximo (m ³ /h)	214.90	182.47	32.43
Valor promedio (m ³ /h)	212.50	178.60	33.90

Gráfica 4. Comparativo del consumo de gas natural en la caldera



Ahora se muestra el comparativo de la energía consumida y los costos de operación de la caldera de 200 BHP, antes y después de implementado el sistema de recuperación de calor, en las tablas 12 y 13:

Tabla 12. Ahorro de energía.

	Caldera antes del sistema HRSG	Caldera después del sistema HRSG	Variación (Ahorro)
MMBTU/h	7.50	6.31	1.19
MMBTU/día	180.08	151.35	28.73
MMBTU/mes	5,402.43	4,540.58	861.85
MMBTU/año	64,829.16	54,487.00	10,342.16

Tabla 13. Ahorro económico.

	Caldera antes del sistema HRSG	Caldera después del sistema HRSG	Variación (Ahorro)
\$/h	38.25	32.15	6.10
\$/día	918.00	771.55	146.45
\$/mes	27,540.00	23,146.56	4,393.44
\$/año	330,480.00	277,758.72	52,721.28

Se tiene el comparativo de la eficiencia energética de la planta antes y después de la implementación del sistema de recuperación de calor, en la tabla 14:

Tabla 14. Eficiencia energética.

Eficiencia antes de implementar sistema de recuperación de calor		
Energía de entrada a hornos y caldera	11.38	MMBTU
Energía consumida por los hornos y caldera	8.70	MMBTU
Eficiencia		76%
Eficiencia después de implementar sistema de recuperación de calor		
Energía de entrada a hornos y caldera	10.19	MMBTU
Energía consumida por los hornos y caldera	8.70	MMBTU
Eficiencia		85%

5.2. Resultados inferenciales

Se realiza la contrastación de la hipótesis general:

H_g : El funcionamiento del sistema de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de combustión de los hornos de Zinc y Bezinal para mejorar la eficiencia energética en la planta de productos de acero.

H_o : El funcionamiento del sistema de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de combustión de los hornos de Zinc y Bezinal no mejora la eficiencia energética en la planta de productos de acero.

Se tiene el grado de correlación y nivel de significancia entre el funcionamiento del sistema de recuperación de calor y la eficiencia energética en la planta de productos de acero, en la figura 53:

Correlaciones			
		Implementación_de_un_HRSG	Eficiencia_energética
Implementación_de_un_HRSG	Correlación de Pearson	1	,908**
	Sig. (bilateral)		,005
	N	7	7
Eficiencia_energética	Correlación de Pearson	,908**	1
	Sig. (bilateral)	,005	
	N	7	7

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 53. Correlación de Pearson.

Se observa en la imagen el estadístico de correlación de Pearson con un valor de 0.908, lo que indica una relación directa bastante alta entre las variables, con un grado de significación estadística de 0.005, por lo cual se rechaza la hipótesis nula H_o y se acepta la hipótesis general H_g .

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

- Contrastación y demostración de la hipótesis general con los resultados

De la correlación de Pearson realizada con el software SPSS (Figura 53, pág. 98) se valida la relación directa y significativa que existe entre la implementación de un sistema de recuperación de calor y la eficiencia energética de la planta de productos de acero.

La hipótesis general de la investigación plantea que la operación del sistema de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de combustión de los hornos de Zinc y Bezinal para mejorar la eficiencia energética en la planta de productos de acero. El resultado descriptivo e inferencial concuerdan con lo planteado por la hipótesis general, tal como se indica en la tabla 14, pág. 97 donde se expresa el aumento de la eficiencia energética del 76% hasta 85%.

Por tanto, luego del análisis e interpretación de los datos obtenidos se puede afirmar que existe una estrecha relación entre la hipótesis general y el resultado obtenido.

- Contrastación y demostración de las hipótesis específicas con los resultados.
- La hipótesis específica N°1 indica que la operación de la caldera aprovecha el calor de los gases para generar vapor saturado mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero. Ello es contrastado con la presión de operación del equipo de la gráfica 1, (pág. 91) y el valor obtenido de la eficiencia energética de la tabla 14, (pág. 97). La observación del funcionamiento de la caldera, así como los valores de presión monitoreados y el resultado del cálculo de la eficiencia ponen de manifiesto la dependencia existente entre ambos parámetros.

- La hipótesis específica N°2 señala que el funcionamiento de la bomba de agua que impulsa el agua a la caldera a un nivel adecuado mejora la eficiencia energética en la planta de productos de acero. El nivel observado de agua en la caldera, así como los valores de presión de la bomba (Gráfica 2, pág. 92) ponen de manifiesto que existe una dependencia entre la hipótesis y los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, por lo tanto, se afirma la validez de la hipótesis.
- La hipótesis específica N°3 plantea que el diseño del ducto que une las chimeneas de los hornos para alimentar de gases a la caldera de recuperación de calor mejora la eficiencia energética. Resultado del diseño y simulación realizada se obtiene el gradiente de velocidades y presiones en el ducto, también se indican las presiones de operación en los hornos, (Gráfica 3, pág. 94), lo cual evidencia la correcta alimentación de gases al equipo, de manera que existe una mejora de la eficiencia en un 85%. Por lo tanto, se afirma la correlación entre la hipótesis propuesta y los resultados logrados.
- La hipótesis específica N°4 indica que el soplador que inyecta aire a la chimenea de la caldera genera un efecto Venturi mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero. La simulación desarrollada (Figura 40, pág. 82) muestra la aceleración de los gases a la salida de la chimenea generada al inyectar un flujo de aire en la tobera. La operación del soplador de manera conjunta con la caldera de recuperación de calor tiene un efecto positivo en la presión de operación de los hornos (Gráfica 3, pág. 94). Por lo tanto, es válida la vinculación establecida entre la hipótesis y los resultados obtenidos.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

- Esta investigación tuvo como principal propósito mejorar la eficiencia energética mediante la recuperación del calor residual, como resultado de la implementación del sistema de recuperación de calor se obtuvo un aumento de la eficiencia del 9% en la planta de aceros, Tena Jacinto (2019) en su tesis titulada “Optimización Topológica de un Sistema de Cogeneración de Energía en Ciclo Combinado y su Influencia en la Eficiencia de una Planta Productora de Fibras Acrílicas de Hilado en Seco, Período 2016 - 2017”, planteo como objetivo principal la optimización de la eficiencia de la planta, obteniendo como resultado una mejora de la eficiencia energética de la planta del 11%. Este valor está bastante próximo al obtenido en la investigación, siendo el objetivo y resultado del citado autor un referente bastante similar para la investigación desarrollada. Por lo tanto, se da validez al resultado obtenido.
- Robledo Gómez (2019) en su tesis “Estudio de Factibilidad Técnico – Económica del Uso de un Sistema de Cogeneración para la Recuperación de Calor en una Planta Cementera en Colombia”, (cuyo objetivo principal fue analizar y cuantificar el calor recuperable de los gases de los hornos de cemento), obtiene como resultado 16.70% de recuperación de energía. Siendo el resultado de recuperación de energía en la investigación del 25.86%. La diferencia entre los resultados radica principalmente en que las plantas de estudio son de diferentes rubros, con diferentes configuraciones de los equipos térmicos, lo que implica una variación respecto a consumos de energía y otros factores como regímenes de operación.
- Moreno Beltrán (2019) en su tesis titulada “Diseño de Sistema de Recuperación de Calor de Aire Caliente de Desecho para Calentamiento y Vaporización de Agua en la Compañía Vidrio Andino S.A.” tuvo como objetivos secundarios el diseño y dimensionamiento de los componentes del sistema de recuperación de calor. Como

resultado obtiene el diseño de los componentes, validando los parámetros de operación mediante el uso de software de ingeniería. Esta investigación guarda relación con los objetivos del citado autor, ya que se evaluaron los parámetros de operación de los componentes del sistema de recuperación de calor y la influencia que estos tienen en la eficiencia de la planta.

- Ugalde Barrales (2018), en su tesis “Aprovechamiento de Calor de Gases de Combustión en una Planta Acerera”, tuvo como objetivo evaluar las diferentes tecnologías existentes para recuperar calor residual y analizar la más adecuada para su implementación, producto de dicho análisis obtiene la estimación del flujo de vapor producido por el calor residual en 400 kg/h, lo cual se aproxima al valor calculado de 448.65 kg/h en la investigación. Es importante mencionar que existe similitud en los resultados obtenidos, lo cual da seguridad al análisis empleado para la investigación.
- Cánovas Pujalte (2019) en su trabajo de fin de grado titulado “Estudio de la Implantación de Sistemas de Cogeneración y Trigeneración basados en Recuperación del Calor Residual de los Gases de la Combustión procedentes de MCIA”, cuyo principal objetivo fue evaluar la cogeneración y trigeneración recuperando gases calientes de motores de buques, obtiene como resultado una mejora del 10% en la eficiencia energética, en esta investigación se obtiene como resultado un valor de 9%, bastante cerca a lo obtenido por el autor, por ello se puede establecer que existe un vínculo muy cercano entre los resultados de ambas investigaciones, lo que da validez a la investigación.

6.3. Responsabilidad ética de acuerdo a los reglamentos vigentes

Yo, Nander Acosta Oyarce identificado con DNI N° 48490809, declaro que el presente trabajo de investigación titulado: “Implementación de un Sistema de Recuperación de Calor para Mejorar la Eficiencia Energética en una Empresa de Productos de Acero en la Provincia Constitucional del Callao.”, es de mi autoría, y que he referido todas las fuentes utilizadas en su redacción citándolas de acuerdo a las normas establecidas para la elaboración de trabajos académicos. Soy consciente de que mi investigación puede ser revisada electrónicamente en búsqueda de plagios, de hallar uso de material ajeno sin el apropiado reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el procedimiento disciplinario.

CONCLUSIONES

- El resultado de la disminución en el consumo de gas natural por la caldera de 200 BHP, así como la cuantificación del ahorro energético y económico de dicha variación, son importantes, ya que con ello se concluye que la implementación de un sistema de recuperación de calor, que aprovecha el calor de los gases residuales de las chimeneas de los hornos mejora la eficiencia energética de la planta.
- El correcto dimensionamiento de la caldera de recuperación de calor del tipo pirotubular permite el funcionamiento del sistema implementado con los parámetros de operación adecuados, sin alterar la operación de los hornos. Por ello se concluye que la caldera de recuperación de calor opera funciona eficientemente, contribuyendo con aumentar la eficiencia energética de la planta.
- El adecuado dimensionamiento y selección de la bomba de alimentación de agua a la caldera de recuperación de calor permite el suministro de agua a la presión adecuada, con ello el sistema funciona a la presión requerida. Se concluye que la operación bomba con los parámetros técnicos necesarios contribuye a mantener un nivel adecuado de agua en el sistema de recuperación de calor.
- De la simulación realizada del ducto de alimentación de gases desde las chimeneas a la caldera de recuperación de calor, se valida la geometría adecuada para su diseño, con la mínima caída de presión, en la operación de los hornos se verifica que la presión en las chimeneas se encuentra

dentro del rango normal de operación. Con ende se concluye que el correcto diseño del ducto permite la operación de manera eficiente del sistema de recuperación de calor.

- La adecuada selección del soplador de aire, así como el diseño de la tobera y la simulación del flujo de aire y gases en la chimenea de la caldera, permiten validar la caída de presión en el sistema. La operación de dicho equipo no altera el rango de presión en los hornos, con ello se concluye que el soplador contribuye al correcto funcionamiento del sistema de recuperación de calor, mejorando la eficiencia energética de la planta.

RECOMENDACIONES

- Para la implementación de este tipo de sistema de recuperación de calor, se recomienda hacer un análisis y monitoreo de todos los parámetros de operación de las fuentes de calor, (presión, temperatura, flujo y otros) ya que es importante el estudio preliminar de dichos factores para la correcta determinación del tipo de equipos a implementar.
- El uso de herramientas de software de dimensionamiento para la selección de componentes como bombas, es recomendado, ya que permiten un mejor dimensionamiento a fin de seleccionar el equipo con las especificaciones técnicas que mejor cumplan lo requerido.
- La aplicación de la dinámica de fluidos computacional, con el uso de software para corroborar los parámetros de operación de componentes como ductos, es recomendado, porque con ello se puede tener un diseño adecuado que permite la construcción e implementación del equipo en el sistema de recuperación de calor.
- Es importante evaluar el tiro de la chimenea del sistema de recuperación de calor, ya que influye el tipo de tiro para la aplicación de un soplador, por ello se recomienda evaluar la presión de operación del flujo de gases de alimentación de la caldera de recuperación de calor.
- La implementación de medidas de ahorro energético en la industria nacional, específicamente en sistemas térmicos, es recomendable ya que con ello se pueden lograr resultados positivos respecto al aumento de la eficiencia energética en la operación de los equipos de proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. International Energy Agency. *World Energy Investment*. International Energy Agency. s.l. : IEA Publications, 2021.
2. CASTILLO NEIRA, Percy. *Manual práctico de la combustión industrial*. [Documento] Lima : s.n., 1990. S/N.
3. DONALD Q., Kern. *Procesos de Transferencia de Calor*. Mexico D.F. : Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., 1999. 968-26-1040-0.
4. V. GANAPATHY. *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators*. New York : Marcel Dekker, Inc., 2003. 0-8247-0814-8.
5. MERRITT, Carey. *Process Steam Systems A Practical Guide for Operators, Maintainers, and Designers*. Pondicherry : John Wiley & Sons, Inc., 2016. 978-1-118-87718-0.
6. V. GANAPATHY. *Steam generators and waste heat boilers for process and plant engineers*. Florida : Taylor & Francis Group, LLC, 2015. 978-1-4822-4714-5.
7. CALLE PÉREZ, Rafael Arnaldo. *Diseño, selección de componentes y aplicación de sistemas de vapor en la industria*. [Documento] Lima : IDIA, 2016. S/N.
8. PACO AGUILAR, Merardo. *Diseño térmico del generador de vapor y equipos recuperativos de calor*. [Documento] Potosí : Universidad Autónoma Tomas Frias, 2020. 3312020.
9. Grundfos. *GRUNDFOS DATA BOOKLET*. s.l. : Grundfos Company, 2018. S/N.
10. Spirax Sarco. *Design of fluid systems*. 12. Blythewood : Spirax Sarco, 2004. B07QH3CCY4.
11. Watson McDaniel. *Watson Mcdaniel Product Catalog*. Pottstown : Watson McDaniel, 2015. pág. 489.
12. Comité Técnico Permanente de Uso Racional de Energía y Eficiencia Energética. *CALDERAS INDUSTRIALES. Procedimiento para la Determinación de la Eficiencia Térmica de Calderas Industriales*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales, INDECOPI. Lima : s.n., 2001. pág. 32, Proyecto de Norma Técnica Peruana.
13. VERNON L., Eriksen. *Heat recovery steam generator technology*. Chennai : Book Aid International, 2017. pág. 425. 978-0-08-101941-2.
14. CHARLES E., Baukal. *Heat transfer in industrial combustion*. Florida : CRC Press LLC, 2000. 0-8493-1699-5.
15. —. *Industrial Burners Handbook*. Florida : CRC Press LLC, 2004. 0-8493-1386-4.
16. MENTOR POVEDA. *Eficiencia energética - Recurso no aprovechado*. 2007. S/N.
17. PALELLA STRACUZZI, Santa y MARTINS PESTANA, Feliberto. *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas : Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, 2004. 9802734454.

18. CHARLES, Lobjois. *Trazado de planchistería y calderería 2: Desarrollo de piezas complejas e intersecciones*. Barcelona : CEAC, 2004. 9788432934162.
19. JAKHAR, O.P. y MADAN SINGH, Kavia. CFD Analysis of Waste Heat Boiler Duct for Maximum and Even Flow Distribution of Hot Gases. *International Journal of Thermal Technologies*. Rajasthan : INPRESSCO, 2017. Vol. 7, 4. 2277 – 4114.
20. W. Trinks, y otros. *Industrial Furnaces*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2004. 0-471-38706-1.
21. CENGEL, Yunus A. y CIMBALA, John M. *Mecánica de Fluidos*. Mexico D.F. : McGraw-Hill, 2006. 970-10-5612-4.
22. MORENO BELTRÁN, Julián David. *Diseño de Sistema de Recuperación de Calor de Aire Caliente de Desecho para Calentamiento y Vaporización de Agua en la Compañía Vidrio Andino S.A.* FACULTAD DE INGENIERÍAS, FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Bogotá : s.n., 2019. pág. 274, Tesis de grado.
23. UGALDE BARRALES, Francisco Javier. *Aprovechamiento de Calor de Gases de Combustión en una Planta Acerera*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey : s.n., 2018. pág. 76, Tesis de maestría.
24. ROBLEDO GÓMEZ, Andrés Felipe. *Estudio de Factibilidad Técnico – Económica del Uso de un Sistema de Cogeneración para la Recuperación de Calor en una Planta Cementera en Colombia*. Facultad de Ingenierías, Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín : s.n., 2019. pág. 150, Tesis de maestría.
25. CÁNOVAS PUJALTE, Victor Alfonso. *Estudio de la Implantación de Sistemas de Cogeneración y Trigeneración basados en Recuperación del Calor Residual de los Gases de la Combustión procedentes de MCI*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica, Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena : s.n., 2019. pág. 239, Tesis de grado.
26. TENA JACINTO, Enio Elías. *Optimización Topológica de un Sistema de Cogeneración de Energía en Ciclo Combinado y su Influencia en la Eficiencia de una Planta Productora de Fibras Acrílicas de Hilado en Seco, Período 2016 - 2017*. FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA - ENERGÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO. Bellavista : s.n., 2019. pág. 140, Tesis de grado.
27. PACHECO MONZÓN, Ricardo Arturo y VARGAS SANTIAGO, Diego Glenn. *Recuperación de Gases de Caldera 500 BHP para Calentamiento de Agua en una Máquina Removedora de Piel de Pescado – Empresa Conservera la Chimbotana S.A.C.* FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA. Chimbote : s.n., 2021. pág. 98, Tesis de grado.
28. SABINO, Carlos. *El proceso de investigación*. Buenos Aires : Editorial Humanitas, 1986. 9789505822362.
29. ALFARO RODRIGUEZ, Carlos Humberto. *METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA APLICADO A LA INGENIERÍA*. FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO. Callao : s.n., 2012. Informe Final del Proyecto de Investigación.

ANEXOS

- Anexo N°01 - Matriz de consistencia
- Anexo N°02 - Informe de emisiones de planta
- Anexo N°03 - Filosofía de control del sistema de recuperación de calor
- Anexo N°04 - Memoria descriptiva del sistema de recuperación de calor
- Anexo N°05 - Plano isométrico del sistema de recuperación de calor
- Anexo N°06 - Plano layout del sistema de recuperación de calor
- Anexo N°07 - Diagrama de instrumentación y proceso del sistema de recuperación de calor
- Anexo N°08 - Ficha de especificaciones técnicas de caldera Hurst
- Anexo N°09 - Plano dimensional de caldera Hurst
- Anexo N°10 - Hoja técnica de medidor de gas
- Anexo N°11 - Certificado de calibración de medidor de gas
- Anexo N°12 - Tabla de vapor
- Anexo N°13 - Tabla de precios y poder calorífico de combustibles
- Anexo N°14 – Reporte de inversiones de la Agencia Internacional de Energía
- Anexo N°15 – Evaluación económica del proyecto
- Anexo N°16 – Programación en MSP del proyecto
- Anexo N°17 – Manual de operación del sistema
- Anexo N°18 – Manual de mantenimiento del sistema

➤ MATRIZ DE CONSISTENCIA

"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA EMPRESA DE PRODUCTOS DE ACERO EN LA PROVINCIA CONSTITUCIONAL DEL CALLAO."						
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DIMENSIÓN	INDICADOR	INDICE	INSTRUMENTO
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera la implementación de un sistema de recuperación de calor mejora la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Implementar un sistema de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de una empresa que fabrica productos de acero.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El funcionamiento del sistema de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de combustión de los hornos de Zinc y Bezinal para mejorar la eficiencia energética en la planta de productos de acero.</p>	- Caldera de recuperación de calor.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia. - Flujo de gases. - Temperatura de salida de los gases. - Presión de operación. 	Expresados mediante cálculos y medición de las magnitudes físicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Cámara termográfica. - Termómetro. - Analizador de gases. - Manómetro.
			- Bomba de alimentación a caldera.	<ul style="list-style-type: none"> - Potencia. - Flujo de agua. - Presión de agua. - Temperatura de agua. 	Expresados mediante cálculos y medición de las magnitudes físicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Termómetro. - Manómetro. - Curva de operación.
			- Ducto de alimentación de gases.	<ul style="list-style-type: none"> - Diámetro. - Longitud. - Variación de la presión y velocidad del flujo interno. 	Expresado mediante medición de las magnitudes físicas y simulación y observación de parámetros de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - Cintra métrica. - Software de dinámica de fluidos computacional. - Interfaz máquina hombre del horno.
			- Soplador de aire.	<ul style="list-style-type: none"> - Flujo de aire. - Potencia. - Variación de la presión y velocidad del flujo interno. 	Expresado mediante simulación de parámetros operativos y observación de parámetros de operación.	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha técnica del equipo. - Software de dinámica de fluidos computacional. - Interfaz máquina hombre del horno.
<p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo dimensionar la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta? • ¿Cómo seleccionar las bombas de alimentación de agua para mejorar la eficiencia energética de la planta? • ¿Cómo diseñar el ducto que permita alimentar de gases a la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta? • ¿Cómo dimensionar el soplador de aire que permita impulsar aire en la chimenea de la caldera de recuperación de calor y así mejorar la eficiencia energética de la planta? 	<p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionar la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta. • Seleccionar las bombas de alimentación de agua para mejorar la eficiencia energética de la planta. • Diseñar el ducto que permita alimentar de gases a la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta. • Dimensionar el soplador de aire que permita impulsar aire en la chimenea de la caldera de recuperación de calor para mejorar la eficiencia energética de la planta. 	<p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La operación de la caldera de recuperación de calor aprovecha el calor residual de los gases de las chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal para generar vapor saturado mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero. • El funcionamiento de la bomba de alimentación de agua que impulsa el fluido de trabajo a la caldera de recuperación de calor a un nivel adecuado mejora la eficiencia energética en la planta de productos de acero. • El diseño del ducto que une las chimeneas de los hornos de Zinc y Bezinal permite alimentar de gases de combustión a la caldera de recuperación de calor mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero. • El funcionamiento del soplador que inyecta aire a la chimenea de la caldera de recuperación de calor genera un efecto Venturi mejorando la eficiencia energética en la planta de productos de acero. 	- Ahorro de energía.	<ul style="list-style-type: none"> - Variación del consumo de gas natural. - Variación del consumo de energía. 	Expresado mediante medición de las magnitudes físicas y cálculos matemáticos.	- Medidor de flujo.
			- Ahorro económico.	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantificación monetaria de la variación del consumo de gas natural. 	Expresado en dólares americanos.	- Valor monetario del gas natural.

**INFORME DE
EMISIONES ATMOSFERICAS**

CHIMENEA DE TINA DE ZINC 31H
CHIMENEA DE TINA DE BEZINAL 31 H

PRODUCTOS DE ACERO CASSADO S.A.

ELABORADO POR: ECO-MAPPING S.A.C.

INFORME DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

1. ANTECEDENTES

Productos de Acero Cassado S.A. (PRODAC) requiere la medición de gases, para la determinación de los siguientes parámetros:

- Caudal (m³/hora)
- Temperatura (°C)
- Poder Calorífico

En la chimenea de:

- Tina de Zinc 31H (EG-01)
- Tina de Bezinal (EG-02)

2. DATOS SOLICITADOS

Eco-Mapping S.A.C. solicito la siguiente información para el cálculo de los parámetros solicitados:

Tina de Zinc 31H (EG-01)

- Diámetro interno = 400 mm
- Tipo de combustible = Gas natural
- Consumo de la fuente de energía = 1560 m³/día

Tina de Bezinal 31H (EG-02)

- Diámetro interno = 400 mm
- Tipo de combustible = Gas natural
- Consumo de la fuente de energía = 1080 m³/día

3. TRABAJOS DE CAMPO

Eco-Mapping S.A.C. en coordinación con PRODAC, establecieron las siguientes fechas para la ejecución del monitoreo de acuerdo a las condiciones solicitadas en las siguientes fechas:

- EG-01 28 de Enero del 2019
- EG-02 28 de Enero del 2019

INFORME DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

La medición en la chimenea se ejecutó con un equipo automático, Testo 350, las winchas del monitoreo se presentan a continuación:

Wincha – EG-01

Fecha : 28.01.2019

Hora : 13:28

testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS	testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS	testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS
PRODACC EG 1 Start: 01/28/19 13:22:58 2.07 % Oxygen 11.14 % CO2 451 ppm CO 0 ppm SO2 48 ppm NO 50 ppm NOx 9.0 m/s Velocity 426.5 °C T stack 35.2 °C Ambient temp 35.1 °C Instr. temp. 0.92 l/min Pump flow 74.0 % EFF 9.7 % ExAir 74 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F	PRODACC EG 1 Start: 01/28/19 13:25:11 1.92 % Oxygen 11.22 % CO2 568 ppm CO 0 ppm SO2 40 ppm NO 42 ppm NOx 9.4 m/s Velocity 456.7 °C T stack 35.9 °C Ambient temp 35.8 °C Instr. temp. 0.93 l/min Pump flow 76.7 % EFF 8.9 % ExAir 71 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F	PRODACC EG 1 Start: 01/28/19 13:28:19 1.80 % Oxygen 11.31 % CO2 410 ppm CO 0 ppm SO2 44 ppm NO 46 ppm NOx 10.9 m/s Velocity 487.1 °C T stack 35.9 °C Ambient temp 36.7 °C Instr. temp. 0.95 l/min Pump flow 75.9 % EFF 8.4 % ExAir 63 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F

Wincha – EG-02

Fecha : 28.01.2019

Hora : 13:38

testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS	testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS	testo 340 V1.06 01862541/USA IGEM INGENIEROS
PRODACC EG 2 Start: 01/28/19 13:33:13 12.84 % Oxygen 4.81 % CO2 81 ppm CO 0 ppm SO2 21 ppm NO 22 ppm NOx 4.6 m/s Velocity 343.7 °C T stack 33.7 °C Ambient temp 37.8 °C Instr. temp. 1.02 l/min Pump flow 67.5 % EFF 141.8 % ExAir 10 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F	PRODACC EG 2 Start: 01/28/19 13:35:42 12.81 % Oxygen 4.83 % CO2 79 ppm CO 0 ppm SO2 20 ppm NO 21 ppm NOx 5.0 m/s Velocity 344.4 °C T stack 35.5 °C Ambient temp 38.2 °C Instr. temp. 1.00 l/min Pump flow 67.6 % EFF 141.0 % ExAir 8 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F	PRODACC EG 2 Start: 01/28/19 13:38:30 12.78 % Oxygen 4.85 % CO2 73 ppm CO 0 ppm SO2 20 ppm NO 21 ppm NOx 5.3 m/s Velocity 345.4 °C T stack 35.7 °C Ambient temp 38.6 °C Instr. temp. 1.00 l/min Pump flow 67.7 % EFF 140.1 % ExAir 8 ppm H2 Fuel: Natural gas O2ref.: 3.0% CO2max: 12.4% Heat transf.*F: *F

INFORME DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

4. CALCULOS

- a. Para el cálculo de la **Temperatura**, se determinó como el promedio de las 3 mediciones realizadas por cada condición:

Condición	1° Corrida (°C)	2 ° Corrida (°C)	3° Corrida (°C)	Promedio (°C)
EG-01	426.5	456.7	487.1	456.8
EG-02	343.7	344.4	345.4	344.5

- b. Para el cálculo de **Caudal en m³/s**, se realizó la multiplicación de la velocidad por el área de ducto.

EG-01

Área transversal = 0.1256 m²

Velocidad = 0.1433 m/s

EG-02

Área transversal = 0.1256 m²

Velocidad = 0.0995 m/s

Condición	Área Transversal (m ²)	Velocidad (m/s)	Caudal m ³ /s
EG-01	0.1256	0.1433	0.018
EG-02	0.1256	0.0995	0.0125

INFORME DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

c. Para el cálculo del Poder calorífico, se emplearon las propiedades del gas natural.

Condición	Poder Calorífico del CO MJ/kg
EG-01	8.4
EG-02	8.4

MJ: Mega Jules (unidades de energía)

kg: kilogramos

ANEXO N°1

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE MONITOREO

**CERTIFICADO DE CALIBRACION
N° CAL-151018**

Cliente	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L
Instrumento	: ELECTROQUIMICO
Marca	: TESTO
Modelo	: 350N
Serie	: 60532782
Código Interno	: EM-OPE-17
Condición	: Nuevo
Alcance	: O2 0.....25% NO 0.....4000 ppm NO2 0.....500 ppm SO2 0.....5000 ppm CO 0.....10000 ppm
Lugar de Calibración	: ENVIRONMENTAL GROUP TECHNOLOGY S.R.L
Fecha de Calibración	: 15 de Octubre del 2018
Próxima Calibración	: 15 de Octubre del 2019

Condiciones Ambientales

Temperatura: 24.9-25.2 °C **Humedad relativa:** 67-69% **Presión:** 999-1004 mbar

Procedimientos Utilizados

De La verificación de la calibración se ha realizado siguiendo el procedimiento del manual del equipo testo 350 combustión & Emission Analyzer.

Patrones Utilizados:

Descripción	Marca/Modelo	Serie o Lote	Vencimiento
Termo higrómetro	Control Company	150393324	14-Jul-19
Barómetro	Control Company/ 1204N55	140634663	20-May-19
Gas patrón mixto CO	Air gas/ epa protocol	82-124625938-1/CC504604	03-Jul-25
Gas patrón mixto SO2	Air gas/ epa protocol	82-124625938-1/CC504604	03-Jul-25
Gas patrón mixto NO	Air gas/ epa protocol	82-124625938-1/CC504604	03-Jul-25
Gas Patrón NO2	Air gas/ epa standard	82-124533758-1/D 233158	15-Mar-19
Gas patrón O2	Air gas/ epa protocolo	82-124420699-1/B52014	04-Mar-22

Tipo de gas en ppm	Referencia	Indicador	Corrección	Incertidumbre
CO	500	502	-2	5.797
NO	50	51	-1	0.589
NO2	100	100	0	1.155
SO2	50	50	0	0.577
O3 %	3	3	0	0.035

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la Medición". Generalmente, el valor de la magnitud esta dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Observaciones

-Los resultados del presente documento, son validos únicamente para el objeto calibrado y se refiere al momento y a las condiciones en que fueron ejecutadas las mediciones, al solicitante le corresponde definir la frecuencia de calibración en funcional al uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición.

-Con fines de identificación de condición de calibrado se ha colocado una etiqueta autoadhesiva

(*)Indicado en el manual de instrucciones del fabricante.

Realizado por:


Eduardo Miranda N.
Jefe de Mantenimiento



Fecha: 15/10/2017

Calle las guabas 4125 - Urb. El Naranjal - Los Olivos
Mail logistica@envirogrouptech.com / web: www.envirogrouptech.com / Cel: RPC: 961768828



Proyecto:

**INGENIERÍA DE DETALLE: SISTEMA DE RECUPERACIÓN
DE CALOR**



TERMODINAMICA S.A.
Ingeniería - Proyectos - Servicios

FILOSOFÍA DE CONTROL

Documento:

21AIID001-FCPRO01

Revisión:

0

Página:



1 de 7

Rev.	Descripción	Fecha	Proyectó	Ejecutó	Revisó	Aprobó
A	FILOSOFÍA DE CONTROL	26/01/21	N. Acosta	N. Acosta	Rafael Calle	Rafael Calle

Lista de Revisiones



© TERMODINAMICA S.A. Este documento y la información contenida en él son propiedad de TERMODINAMICA S.A. y no pueden ser difundidas sin aprobación previa.

Termodinámica S.A. – Jr. Víctor Reynel 1045 - Lima – Perú

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 2 de 7

ÍNDICE

1. OBJETIVO.	3
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.	3
3. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.	4
4. FILOSOFÍA DE CONTROL DEL SISTEMA.	5

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 3 de 7

1. OBJETIVO.



Definir la lógica de control, funcionamiento, parámetros de trabajo y límites de seguridad del sistema de recuperación de calor.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El sistema de recuperación de calor (caldera HRSG) aprovecha el calor de los gases de combustión que son conducidos mediante un ducto de alimentación a la caldera para la generación de vapor saturado, para ello se tienen dos dâmpers motorizados y un dâmpers manual. El proceso para la operación del caldero es descrito a continuación:

1. Verificación de nivel de agua en el caldero. Con el tablero energizado se selecciona la bomba (bomba 1 o bomba 2) que alimentará al caldero, la bomba arranca para el llenado del caldero hasta su nivel de operación. Se verifica que el dâmpers manual este en posición abierta.
2. Arranque de dampers (Off). Se cierran los dampers motorizados (dâmpers 1 y dâmpers 2), los gases calientes ingresan al caldero, la caldera debe operar a 70 – 75 psi.
3. Arranque o parada de bomba (LW). Si disminuye el nivel de agua en el caldero la bomba debe arrancar para subir el nivel de agua.
4. Ante falla.
 - 4.1 Por nivel de agua (LWCO y ALWCO), si el nivel de agua llega a medianamente bajo o extremadamente bajo abren los dampers 1 y 2, de tal forma que no se siga ingresando gases al caldero.
 - 4.2 Por vapor (Pv1 y Pv2), si la presión de vapor excede la presión de seteo, se debe abrir el dâmpers 2, para la modulación del flujo de gases que ingresan. En caso de que la presión siga subiendo, se debe abrir el dâmpers 1.

LWCO Tanque de condensado, de manera independiente, si el tanque se queda sin agua, se apaga la bomba evitando operación en vacío.

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 4 de 7

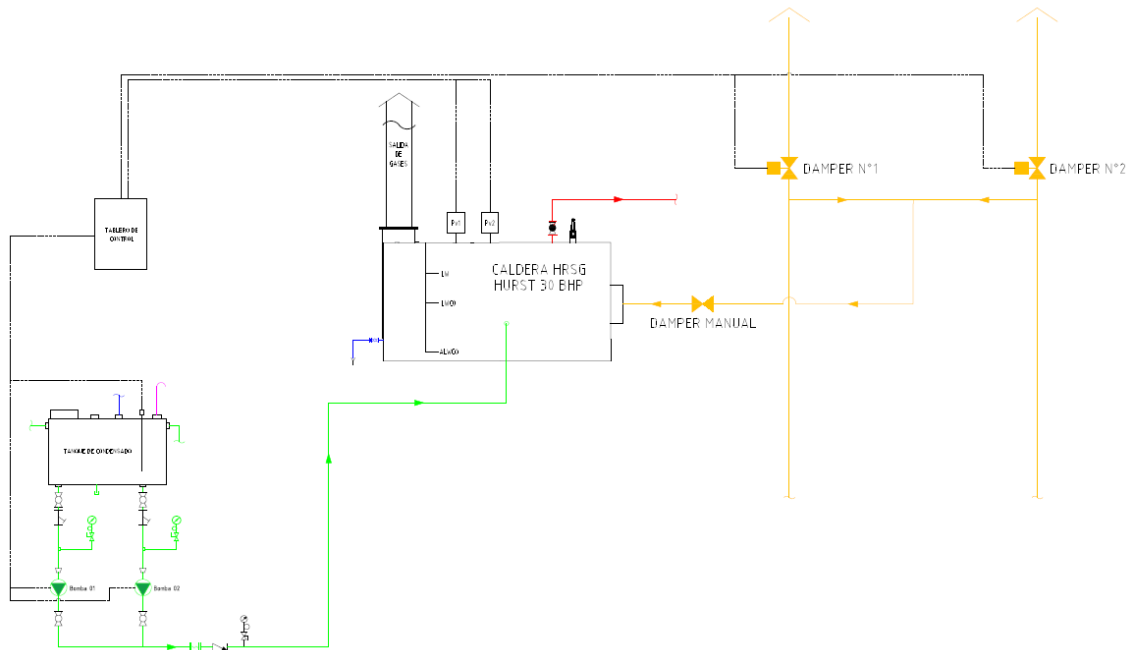


Figura N°01 – Esquema de principio del sistema de recuperación de calor

3. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES.

3.1 Caldera HRSG



Equipo donde se realiza el intercambio de calor (gases-agua) para la generación de vapor saturado.

3.2 Dámper motorizado

Equipo que se utiliza para el accionamiento compuerta de apertura/cierre para ingreso de gases a caldera.

3.3 Interfase hombre maquina (HMI)

Pantalla visual donde se supervisa los datos de control.

 TERMODINAMICA S.A. Ingenieria - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 5 de 7

3.4 Tablero de Control

El tablero de control centralizara las señales eléctricas de manera tal que este pueda supervisar y comandar de manera eficiente el funcionamiento de todo el sistema.

4. FILOSOFÍA DE CONTROL DEL SISTEMA.

Entradas:

Logo

- Encendido general (I1)
- Modo manual (I2)
- Modo automático (I3)
- Bomba 1 (I4)
- Bomba 2 (I5)
- Control de nivel de agua (I6)
- Reset de alarma (I7)

DM8



- Nivel de agua bajo (I1)
- Nivel extremadamente bajo (I2)
- Control de presión ON-OFF (I3)
- Presostato de corte por alta presión (I4)

Salidas:

Logo

- Bomba 1 ON-OFF (Q1)
- Bomba 2 ON-OFF (Q2)
- Dámper 1 ON-OFF (Q3)
- Dámper 2 ON-OFF (Q4)

DM8

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 6 de 7



- Nivel de agua muy bajo ON-OFF (Q1)
- Alta presión de vapor ON-OFF (Q2)
- Alarma general (Q3)

Interlocks:

- Nivel muy bajo de agua (DM8-I1): El nivel muy bajo deberá estar activado para que las bombas N°01 o N°02 (dependiendo de cual bomba este operando) pueda arrancar si la caldera requiere restablecer su nivel de agua de operación.
- Encendido general (Logo – I1): Deberá estar accionado para que el sistema funcione. Energiza el tablero de control y permite energizar el blower.
- Presostato de corte (DM8-I3): Debe estar cerrado para que el sistema opere. Si está abierto, en la pantalla se debe mostrar el aviso de que se debe presionar el botón de reset del presostato, así como el accionamiento de la alarma general (Sirena). Se podrá desactivar la alarma con el pulsador de reset del tablero (Logo – I7).

Modo automático:

- Se acciona el encendido general (Logo-I1), el sistema verifica los interlocks y el nivel de agua de la caldera (Logo-I6).
- Se acciona el selector de modo en automático (I3).
- Se acciona el selector del blower.
- Si el nivel de agua de la caldera es bajo, se prenderá la bomba, que debe haber sido seleccionada previamente, en caso no sea así el sistema deberá mostrar en la pantalla el aviso para que se seleccione una de las bombas.
- En caso aún con las bombas funcionando el nivel del caldero caiga por debajo del nivel de control se abrirá el contacto de nivel de agua muy bajo (DM8-I2) lo que deberá activar la salida (DM8-Q1) para el piloto de alarma en el tablero, la salida de alarma (DM8-Q3)

 TERMODINAMICA S.A. Ingenieria - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-FCPRO01-0 Página 7 de 7

para la sirena y desactivar las salidas (Logo-Q3 y Logo-Q4) con el fin de abrir los dampers hacía las chimeneas.

- En paralelo, se deberán cerrar hacia la caldera ambos dampers 1 y 2 (Logo-Q3 y Logo-Q4) mientras que el control de presión esté por debajo de la presión de seteo.
- Cuando la presión alcance el límite de seteo, control de presión (DM8-I2), el dámper 2 (Logo-Q4) deberá abrirse hacia la chimenea, cuando vuelva a caer la presión por debajo de la presión de seteo, control de presión (DM8-I2), volverá a cerrarse hacía la caldera. De esta forma se modulará la presión de la caldera.
- En caso de que aún con el dámper 2 abierto hacía la chimenea la presión aumente por encima del set point entonces el presostato de corte por alta presión (DM8-I3) se abrirá, se activará la salida (DM8-Q2) para el piloto de alarma en el tablero y la salida de alarma (DM8-Q3) para la sirena. El reset manual en el presostato deberá presionarse para habilitar nuevamente el sistema.

Modo manual:

- Se acciona el encendido general (Logo-I1), el sistema verifica los interlocks y el nivel de agua de la caldera (Logo-I6).
- Se selecciona el selector de modo en manual (I2).
- Se deberá seleccionar la bomba a encender, bomba 1 (I4) o bomba 2 (I5).

Nota: El modo manual solo está contemplado para hacer pruebas y mantenimiento.



Proyecto:

**INGENIERÍA DE DETALLE: SISTEMA DE RECUPERACIÓN
DE CALOR**



TERMODINAMICA S.A.
Ingeniería - Proyectos - Servicios

MEMORIA DESCRIPTIVA

Documento:

21AIID001-MDPRO01

Revisión:

0

Página:



1 de 12

Rev.	Descripción	Fecha	Proyectó	Ejecutó	Revisó	Aprobó
A	MEMORIA DESCRIPTIVA	26/01/21	N. Acosta	N. Acosta	Rafael Calle	Rafael Calle

Lista de Revisiones



© TERMODINAMICA S.A. Este documento y la información contenida en él son propiedad de TERMODINAMICA S.A. y no pueden ser difundidas sin aprobación previa.

Termodinámica S.A. – Jr. Víctor Reynel 1045 - Lima – Perú

 TERMODINAMICA S.A. Ingenieria - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 2 de 12

ÍNDICE



1. ANTECEDENTES.....	4
2. OBJETIVO.	4
3. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LUGAR.....	4
4. NORMAS, ESTANDARES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	4
5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA RECUPERADOR DE CALOR.....	4
6. EQUIPOS PRINCIPALES.	5

 TERMODINAMICA S.A. Ingenieria - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 3 de 12

RESUMEN EJECUTIVO

Prodac S.A con la finalidad de implementar un sistema recuperador de calor que aproveche la energía residual de los gases de combustión de las tinas de Zinc y Bezinal, contrató a Termodinamica S.A para el suministro y montaje de los equipos que conforman el sistema. El equipo recuperador de calor fue instalado en la plataforma sobre los hornos de Zinc y Bezinal y los equipos auxiliares del sistema fueron instalados en el primer nivel, adyacentes al horno de Zinc. También se instaló un sistema de control de presión en la zona alledaña a una tina de ácido.

El presente documento describe los principales componentes principales del sistema, así como sus principales características.

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 4 de 12

1. ANTECEDENTES.

La presente memoria descriptiva refiere la ingeniería de detalle del nuevo sistema recuperador de calor en la planta de Prodac S.A.

2. OBJETIVO.

Suministro, montaje, pruebas y puesta en marcha del sistema recuperador de calor y del sistema de control de presión en la planta de Prodac S.A.

3. CONDICIONES AMBIENTALES DEL LUGAR.

Altura sobre el nivel del mar: 45 m.s.n.m.

Presión atmosférica: 1 barg

Humedad relativa: 69/90%

4. NORMAS, ESTANDARES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA.

En la ejecución de los trabajos de instalación se tuvieron en consideración las siguientes normas y códigos:

4.1 NORMAS Y ESTÁNDARES.



- Ref. [1]: Asme B31.3 Process piping systems.

4.2 DOCUMENTOS Y DATOS DE REFERENCIA.

- Ref. [1]: Plano layout de la planta.
- Ref. [2]: INFORME DE EMISIONES - PRODAC v.2

5. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA RECUPERADOR DE CALOR.

El sistema de recuperación de calor aprovecha el calor de los gases de combustión emitidos por los hornos de Zinc y Bezinal, dichos gases salen a una temperatura de 430 °C aproximadamente y son conducidos mediante un ducto de alimentación a la caldera para la generación de vapor saturado, para ello se tienen dos dampers motorizados y un dámper

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 5 de 12

manual, cuya función es desviar los gases que antes eran desechados a la atmosfera, al equipo recuperador de calor. La caldera es de tipo pirotubular de un solo paso, teniendo como temperatura de salida de 165 °C después de haber realizado la transferencia de calor al agua.

6. EQUIPOS PRINCIPALES.

El nuevo sistema de recuperación de calor esta formado por los siguientes equipos:

6.1 Caldera recuperadora de calor; 01 UND.

Equipo del tipo pirotubular con una potencia de 30 BHP, encargado de la generación de vapor saturado en el sistema.



Figura N° 1 – Equipo recuperador de calor

6.2 Tanque de condensado; 01 UND.

Tanque fabricado con acero al carbono encargado de recibir y almacenar el condensado para alimentación a la caldera.



 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 6 de 12



Figura N° 2 – Tanque de condensado

6.3 Manifold de distribución de vapor; 02 UND.

También conocido como colector de vapor, es un tubo de diámetro mayor a la línea troncal provisto de válvulas de tipo globo para apertura y cierre de las líneas de distribución, así como la regulación del flujo a los equipos consumidores.



 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 7 de 12



Figura N° 3 – Manifold de vapor

6.4 Dampers motorizados; 02 UND.

Equipos encargados de la apertura cierre del disco interno en las chimeneas de Zinc y Bezinal, sirven para desviar el flujo de gases calientes hacia el equipo recuperador de calor.



 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 8 de 12



Figura N° 4 – Dámper motorizado

6.5 Bomba vertical multietapa; 02 UND

Dos equipos de bombeo del tipo multietapa vertical, encargados de impulsar el condensado hacia la caldera.



 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 9 de 12



Figura N° 5 – Bomba multietapa vertical

6.6 Blower; 01 UND

Soplador de 1 HP de potencia, encargado de inducir el tiro en la chimenea de la caldera.



 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 10 de 12



Figura N° 6 – Blower

6.7 Bypass de control de presión; 01 UND

Bypass provisto de válvulas tipo bola y una válvula reguladora de presión con actuador eléctrico.





 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 11 de 12



Figura N° 7 – Bypass regulador de presión

 TERMODINAMICA S.A. Ingeniería - Proyectos - Servicios	<i>Ciente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC S.A.</p>	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 26/01/21 Realizado por: N. Acosta. Revisado por: R. Calle. 21AIID001-MDPRO01-0 Página 12 de 12

6.8 Gabinete de control del sistema recuperador de calor; 01 UND.

Centraliza las señales del caldero y controla bombas, actuadores y blower.



Figura N° 8 – Tablero de control del sistema recuperador de calor

6.9 Gabinete de control del sistema de control de presión; 01 UND.

Recibe la señal del transmisor de presión, para poder regular la presión en el manifold N°02.

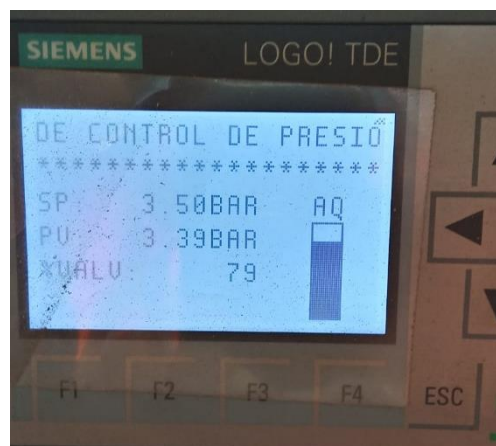
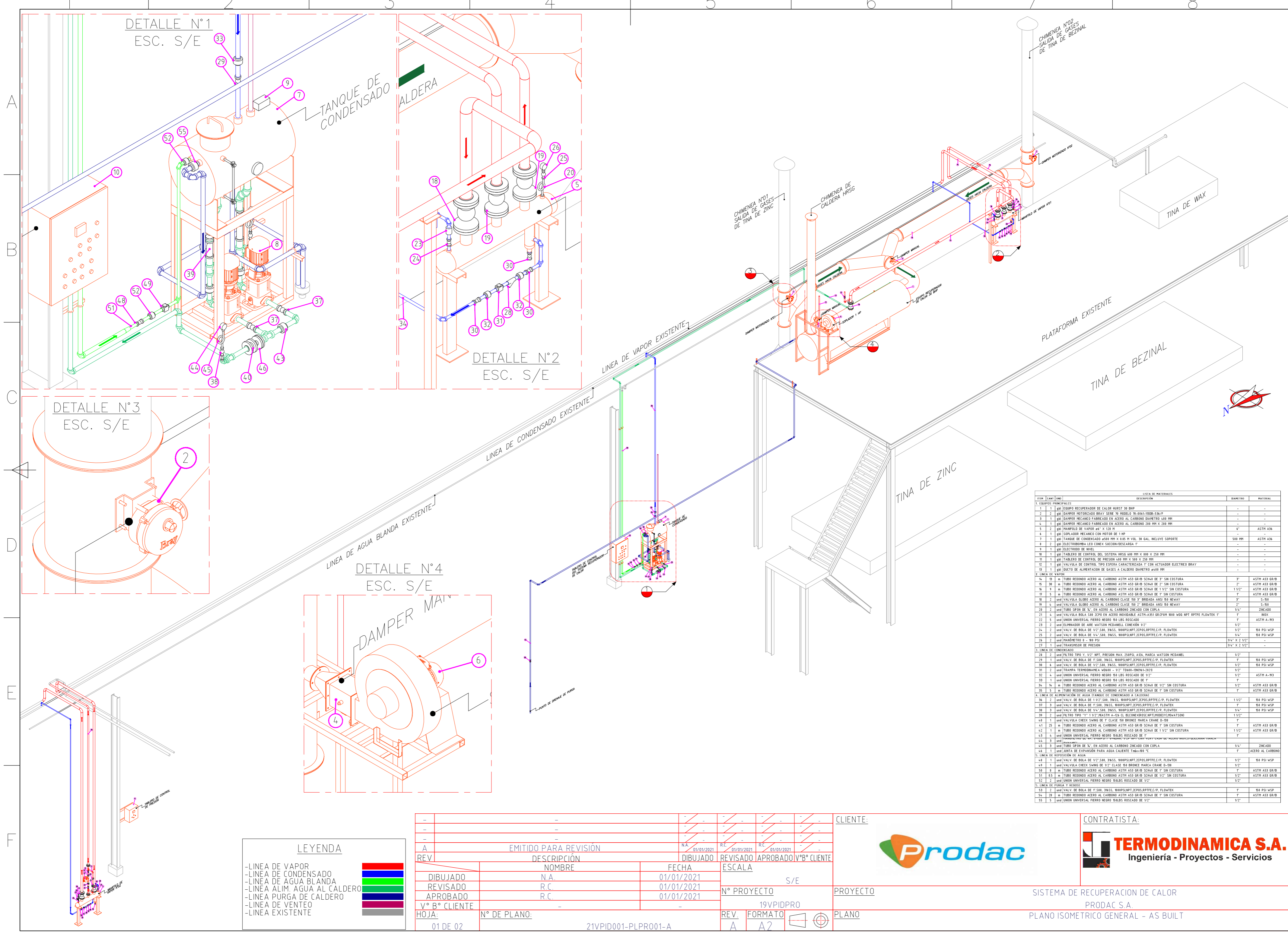


Figura N° 9 – Panel táctil del tablero del sistema de control de presión

EL PRESENTE PLANO Y SUS ESPECIFICACIONES SON DE USO EXCLUSIVO DE TERMODINAMICA S.A. SU REPRODUCCION, DIFUSION Y/O UTILIZACION SIN AUTORIZACION EXPRESA ESTÁ PROHIBIDA Y DARÁ LUGAR A ACCIONES LEGALES



ITEM	CANT.	UNID.	DESCRIPCION	DIAMETRO	MATERIAL
1	1	ggs	EQUIPO RECUPERADOR DE CALOR HURST 30 BHP	-	-
2	1	ggs	DAMPER MECANICO BRAY SERIE 7610000-2000	-	-
3	1	ggs	DAMPER MECANICO FABRICADO EN ACERO AL CARBONO DIAMETRO 400 MM	-	-
4	1	ggs	DAMPER MECANICO FABRICADO EN ACERO AL CARBONO 200 MM X 200 MM	-	-
5	2	ggs	MANIFOLD DE VAPOR 6" X 120 H"	-	ASTH A36
6	1	ggs	TANQUE DE CONDENSADO 450 MM X 635 H VOL 30 GAL INCLUIVE SOPORTE	540 MM	ASTH A36
7	1	ggs	ELECTROBOMBA LEO CONEX/DESCARGA 1"	-	-
8	1	ggs	ELECTROBOMBA LEO CONEX/DESCARGA 1"	-	-
9	1	ggs	ELECTROBOMBA LEO CONEX/DESCARGA 1"	-	-
10	1	ggs	TABlero DE CONTROL DEL SISTEMA HRSG 600 MM X 800 X 250 MM	-	-
11	1	ggs	TABlero DE CONTROL DE PRESION 400 MM X 500 X 250 MM	-	-
12	1	ggs	VALVULA DE CONTROL TIPO ESFERA CARACTERIZADA Y CON ACTUADOR ELECTRICO BRAY	-	-
13	1	ggs	DUCTO DE ALIMENTACION DE GASES A CALDERO DIAMETRO 400 MM	-	-
2. LINEA DE VAPOR					
14	19	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 2" SIN COSTURA	2"	ASTH A33 GR/B
15	1	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 2" SIN COSTURA	2"	ASTH A33 GR/B
16	9	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1 1/2" SIN COSTURA	1 1/2"	ASTH A33 GR/B
17	5	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1" SIN COSTURA	1"	ASTH A33 GR/B
18	2	uno	VALVULA GLOBO ACERO AL CARBONO CLASE 50 T" BRIDGEMAN ANG B NEWAY	2"	5-B2
19	4	uno	VALVULA GLOBO ACERO AL CARBONO CLASE 50 T" BRIDGEMAN ANG B NEWAY	2"	5-B2
20	2	uno	TUBO SPON DE N. EN ACERO AL CARBONO ZINCADO CON COPLA	1/4"	ZINCADO
21	4	uno	VALVULA BOLA 200 LB PUNZO MOVILIZABLE ASTH-A301 GRAFITE 900 WOG NPT RP/FLOWTEK 1"	1"	80 PSI WSP
22	5	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO	1"	ASTH A-93
23	2	uno	ELIMINADOR DE AIRE WATSON MCDANELL CONEXION 1/2"	1/2"	80 PSI WSP
24	2	uno	VALV. DE BOLA DE 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1/2"	80 PSI WSP
25	2	uno	VALV. DE BOLA DE 1/4" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1/4"	80 PSI WSP
26	2	uno	MANIFOLDO B - 90 PSI	1/4" X 2 1/2"	-
27	1	uno	TRANSMISOR DE PRESION	1/4" X 2 1/2"	-
3. LINEA DE CONDENSADO					
28	2	uno	FILTRO TIPO Y 1/2" NPT. PRESION MAX. 250PSI. AIDA. MARCA WATSON MCDANELL	1/2"	80 PSI WSP
29	1	uno	VALV. DE BOLA DE 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1"	80 PSI WSP
30	5	uno	VALV. DE BOLA DE 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1/2"	80 PSI WSP
31	2	uno	TRAMPA TERMODINAMICA W0405 - 1/2" TD405-01041-1020	1/2"	80 PSI WSP
32	4	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE 1/2"	1/2"	ASTH A-93
33	1	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE 1"	1"	ASTH A-93
34	1	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE 1/2"	1/2"	ASTH A33 GR/B
35	5	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1" SIN COSTURA	1"	ASTH A33 GR/B
4. LINEA DE ALIMENTACION DE AGUA (TANQUE DE CONDENSADO X CALDERO)					
36	1	uno	VALV. DE BOLA DE 1 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1 1/2"	80 PSI WSP
37	3	uno	VALV. DE BOLA DE 1" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1"	80 PSI WSP
38	3	uno	VALV. DE BOLA DE 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1/2"	80 PSI WSP
39	2	uno	FILTRO TIPO T 1 1/2" M&HTH-A-100 CL CL BRONZE BRAY/BRAY/WATSON	1 1/2"	80 PSI WSP
40	1	uno	VALVULA CHECK SWING DE T. CLASE 90 BRONZE MARCA CRANE D-93	1"	80 PSI WSP
41	25	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1" SIN COSTURA	1"	ASTH A33 GR/B
42	1	uno	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1 1/2" SIN COSTURA	1 1/2"	ASTH A33 GR/B
43	4	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE T	1"	ASTH A33 GR/B
44	3	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE T	1"	ASTH A33 GR/B
45	3	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE T	1"	ASTH A33 GR/B
46	1	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE T	1"	ASTH A33 GR/B
47	1	uno	JUNTA DE EXPANSION PARA AGUA CALIENTE T4x6x1/2"	1/4"	ZINCADO
48	1	uno	VALV. DE BOLA DE 1/2" S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1/2"	80 PSI WSP
49	1	uno	VALVULA CHECK SWING DE 1/2" CLASE 90 BRONZE MARCA CRANE D-93	1/2"	80 PSI WSP
50	8	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1" SIN COSTURA	1"	ASTH A33 GR/B
51	85	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1/2" SIN COSTURA	1/2"	ASTH A33 GR/B
52	2	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE 1/2"	1/2"	80 PSI WSP
5. LINEA DE PURGA Y VENTEO					
53	2	uno	VALV. DE BOLA DE T S&W 300SS. WSP&NPT JEROS/APPE/C.P. FLOWTEK	1"	80 PSI WSP
54	28	m	TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTH A33 GR/B SEALDO DE 1" SIN COSTURA	1"	ASTH A33 GR/B
55	5	uno	UNION UNIVERSAL FIERRO NEGRO 90 LBS ROSCADO DE 1/2"	1/2"	80 PSI WSP

LEYENDA

- LINEA DE VAPOR	---
- LINEA DE CONDENSADO	---
- LINEA DE AGUA BLANDA	---
- LINEA ALIM. AGUA AL CALDERO	---
- LINEA PURGA DE CALDERO	---
- LINEA DE VENTEO	---
- LINEA EXISTENTE	---

REV	DESCRIPCION	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	Vº Bº CLIENTE
A	EMITIDO PARA REVISION	N.A.	R.C.	R.C.	
		01/01/2021	01/01/2021	01/01/2021	
NOMBRE		FECHA	ESCALA		
DIBUJADO N.A.		01/01/2021	S/E		
REVISADO R.C.		01/01/2021	Nº PROYECTO		
APROBADO R.C.		01/01/2021	19VPIDPRO		
Vº Bº CLIENTE			PLANO		
HOJA:	Nº DE PLANO:	REV.	FORMATO	PLANO	
01 DE 02	21VPID001-PLPRO01-A	A	A2	A	

CLIENTE: **Prodac**

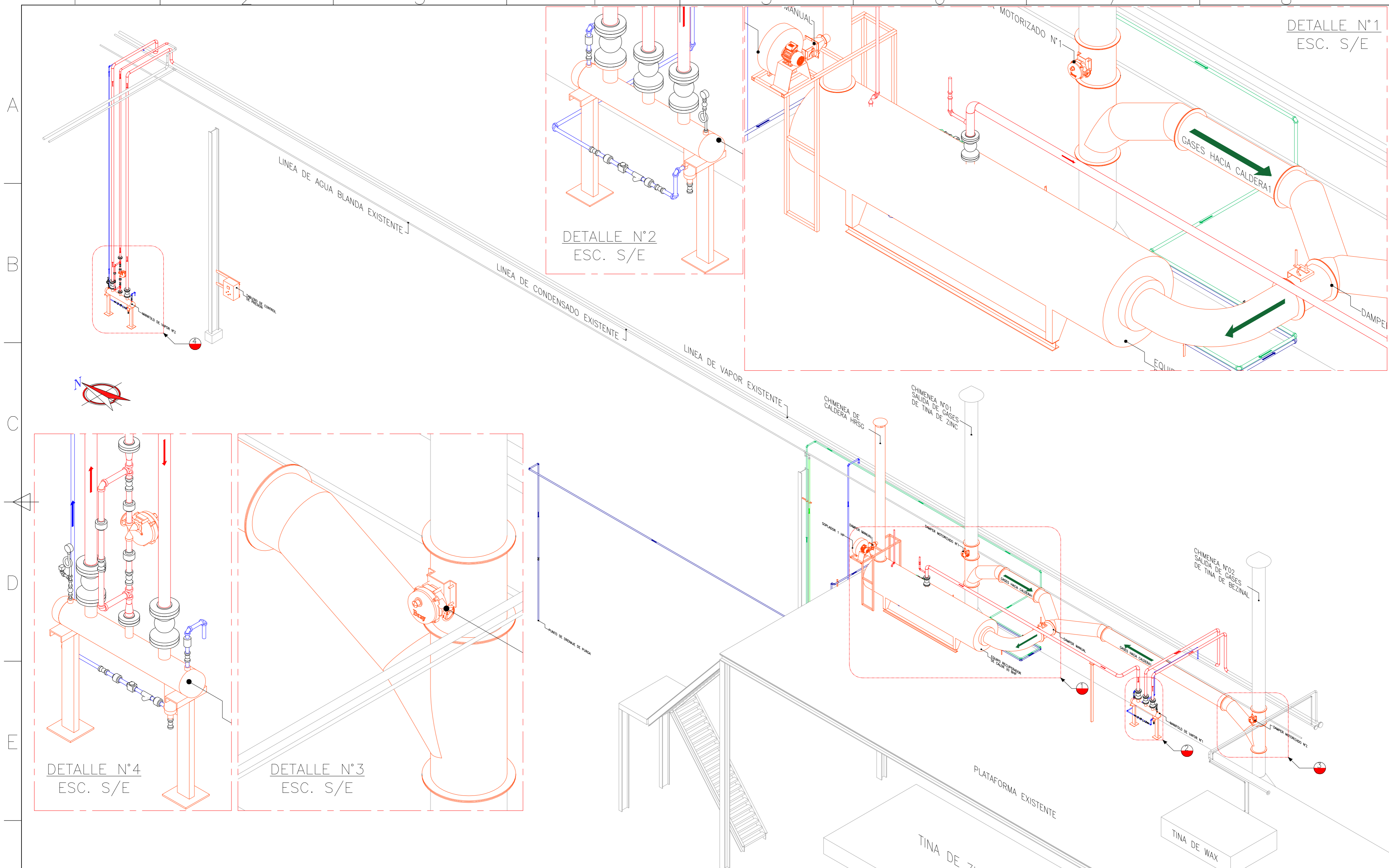
CONTRATISTA: **TERMODINAMICA S.A.**
Ingeniería - Proyectos - Servicios

PROYECTO: SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR

PLANO: PLANO ISOMETRICO GENERAL - AS BUILT

EL PRESENTE PLANO Y SUS ESPECIFICACIONES SON DE USO EXCLUSIVO DE TERMODINAMICA S.A. SU REPRODUCCION, DIFUSION Y/O UTILIZACION SIN AUTORIZACION EXPRESA ESTÁ PROHIBIDA Y DARÁ LUGAR A ACCIONES LEGALES

DETALLE N°1
ESC. S/E



DETALLE N°2
ESC. S/E

DETALLE N°4
ESC. S/E

DETALLE N°3
ESC. S/E

LEYENDA

-LINEA DE VAPOR	
-LINEA DE CONDENSADO	
-LINEA DE AGUA BLANDA	
-LINEA ALIM. AGUA AL CALDERO	
-LINEA PURGA DE CALDERO	
-LINEA DE VENTEO	
-LINEA EXISTENTE	

REV	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	V°B° CLIENTE
A	EMITIDO PARA REVISIÓN	N.A.	R.C.	R.C.	
	NOMBRE	FECHA	ESCALA		
	DIBUJADO	01/01/2021	S/E		
	REVISADO	01/01/2021	N° PROYECTO		
	APROBADO	01/01/2021	19VPIDPRO		
	V° B° CLIENTE		PROYECTO		
HOJA:	N° DE PLANO:	REV.	FORMATO	PLANO	
02 DE 02	21VPID001-PLPRO01-A	A	A2	PLANO	

CLIENTE:

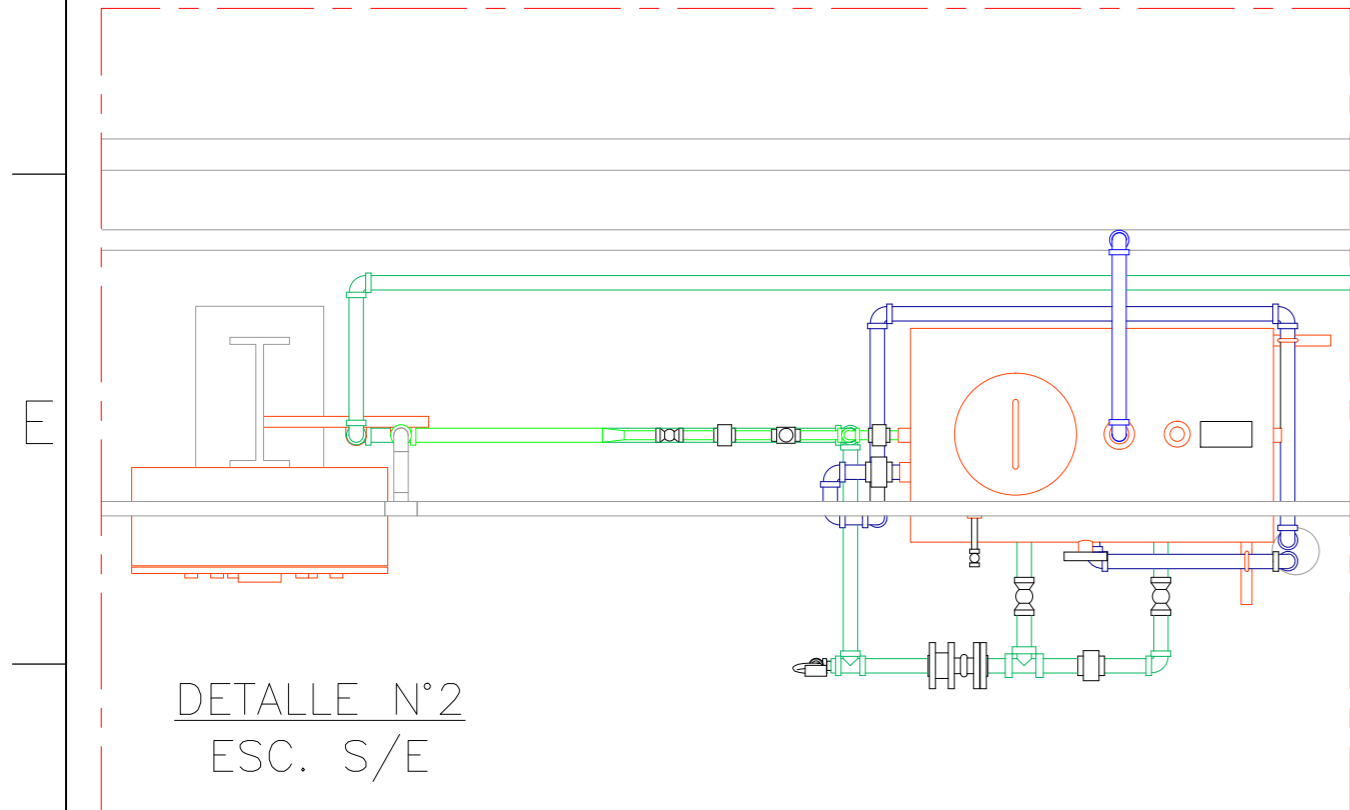
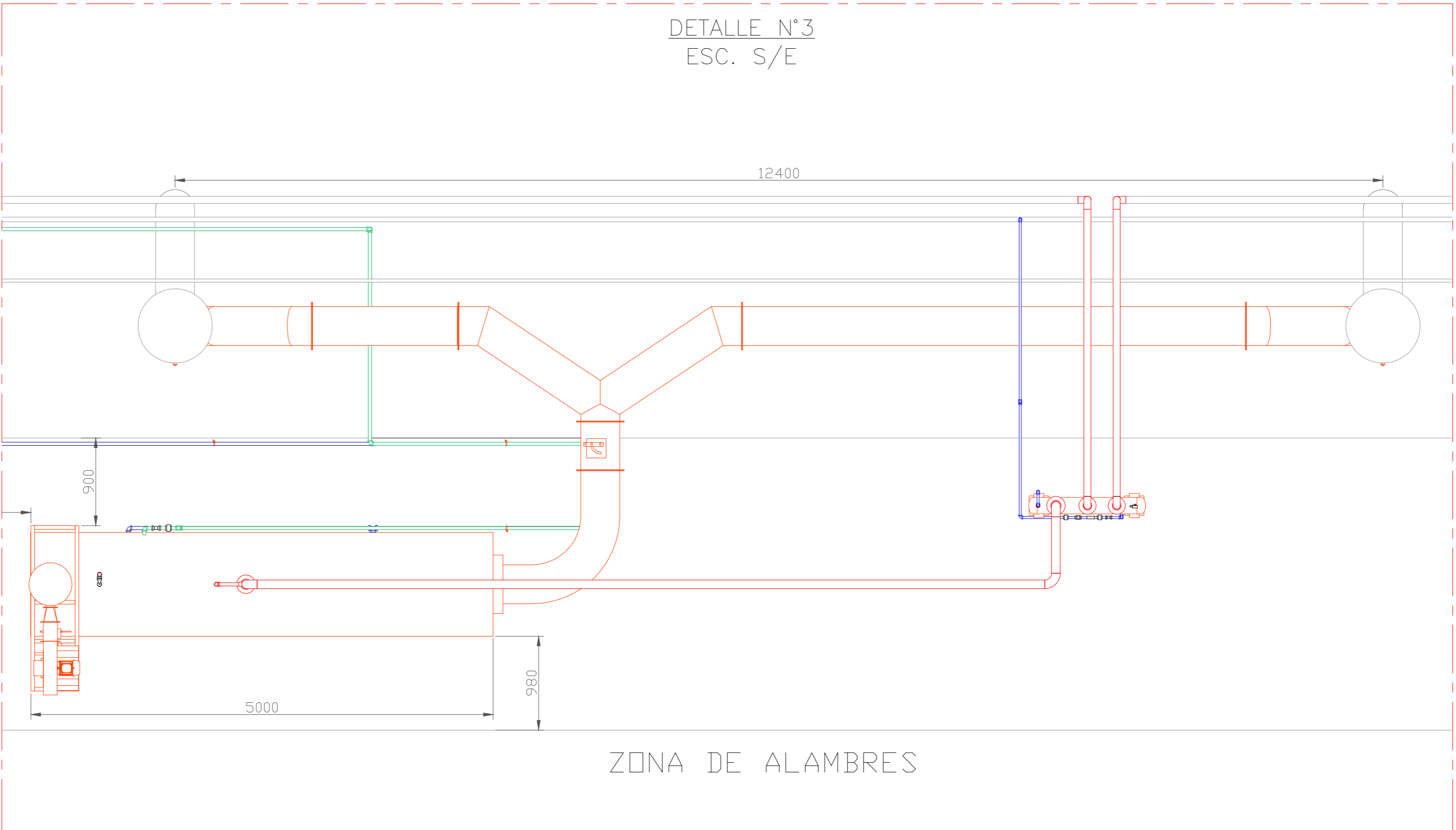
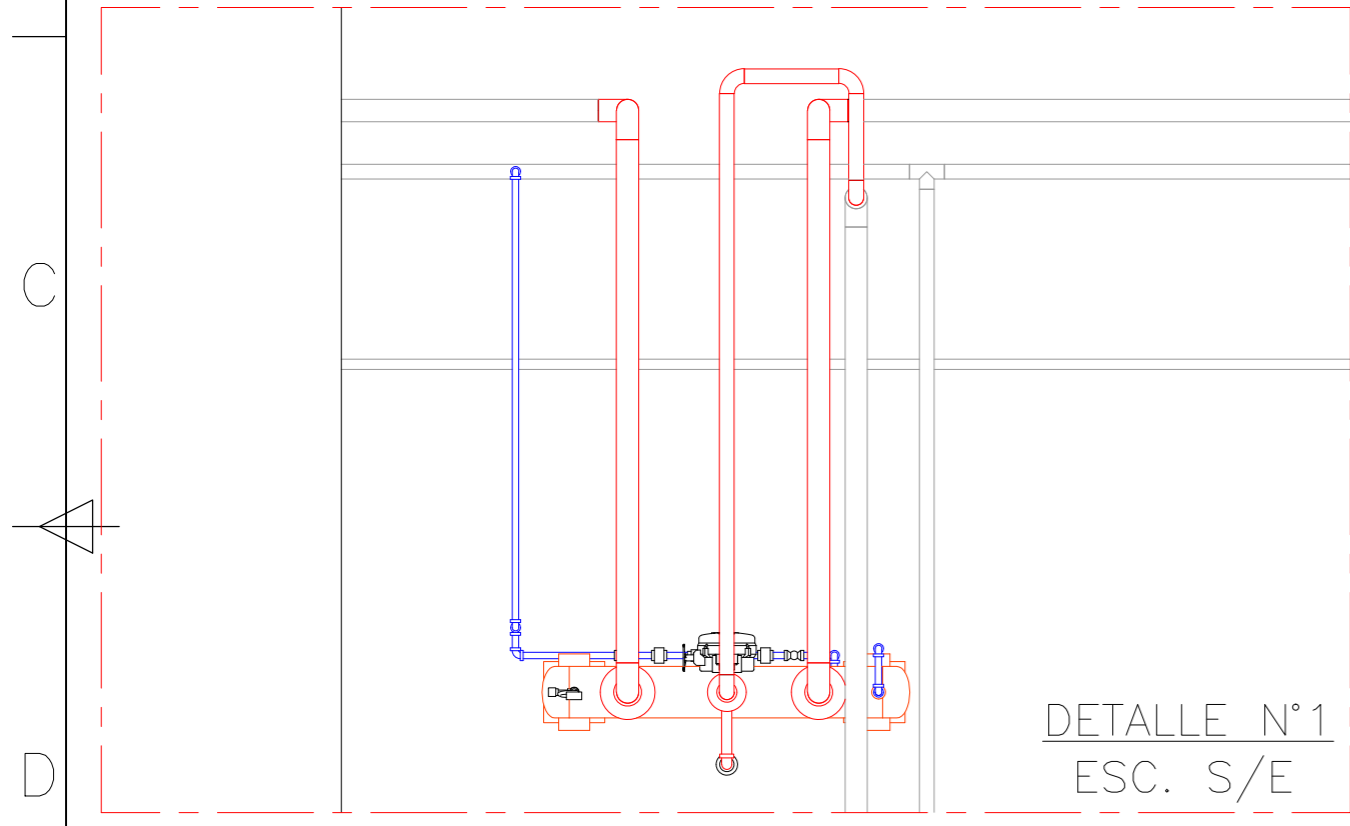
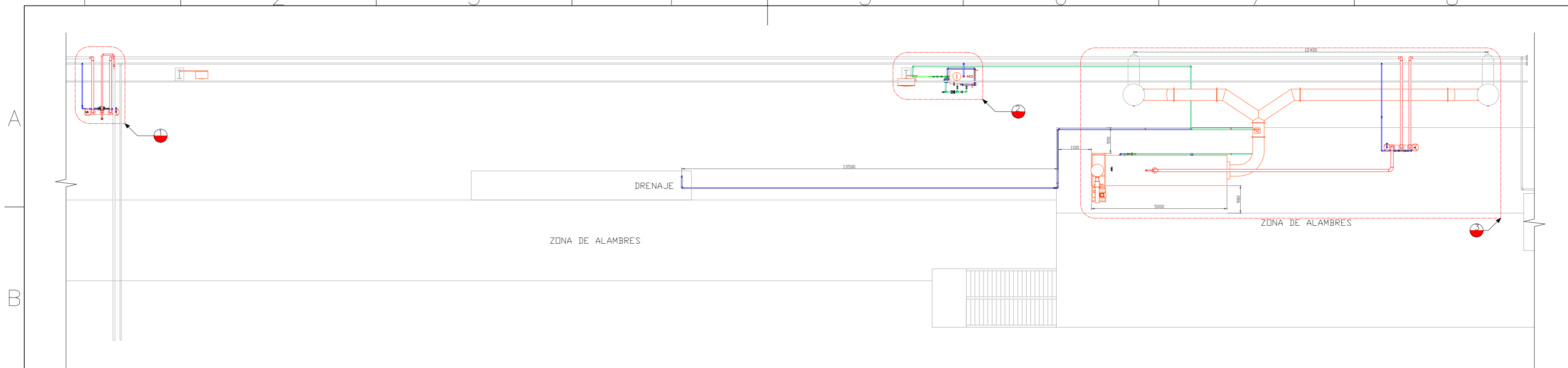
PROYECTO

CONTRATISTA:

TERMODINAMICA S.A.
Ingeniería - Proyectos - Servicios

SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR
PRODAC S.A.
PLANO ISOMETRICO GENERAL - AS BUILT

EL PRESENTE PLANO Y SUS ESPECIFICACIONES SON DE USO EXCLUSIVO DE TERMODINAMICA S.A. SU REPRODUCCIÓN, DIFUSIÓN Y/O UTILIZACIÓN SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA ESTÁ PROHIBIDA Y DARÁ LUGAR A ACCIONES LEGALES



LEYENDA

- LINEA DE VAPOR
- LINEA DE CONDENSADO
- LINEA DE AGUA BLANDA
- LINEA ALIM. AGUA AL CALDERO
- LINEA PURGA DE CALDERO
- LINEA DE VENDEO
- LINEA EXISTENTE

REV	DESCRIPCIÓN	FECHA	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	V°B° CLIENTE
A	EMITIDO PARA REVISIÓN	01/01/2021	N.A.	R.C.	R.C.	
	NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN			
	DIBUJADO	01/01/2021	N.A.			
	REVISADO	01/01/2021	R.C.			
	APROBADO	01/01/2021	R.C.			
	V° B° CLIENTE					
HOJA:	N° DE PLANO:		REV.	FORMATO	PLANO	
01 DE 02	21VPID001-PLPRO02-A		A	A2	S/E	

CLIENTE:

PROYECTO

19VPIDPRO

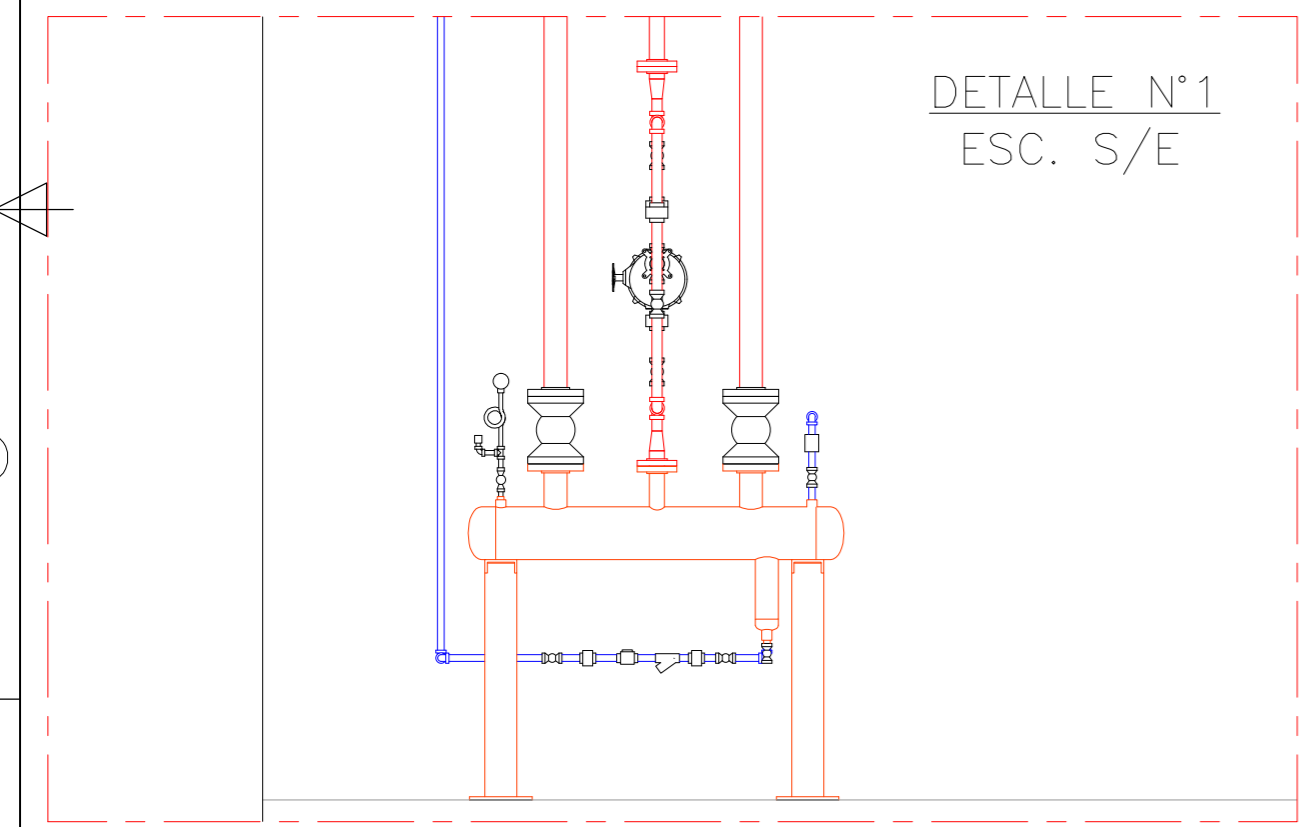
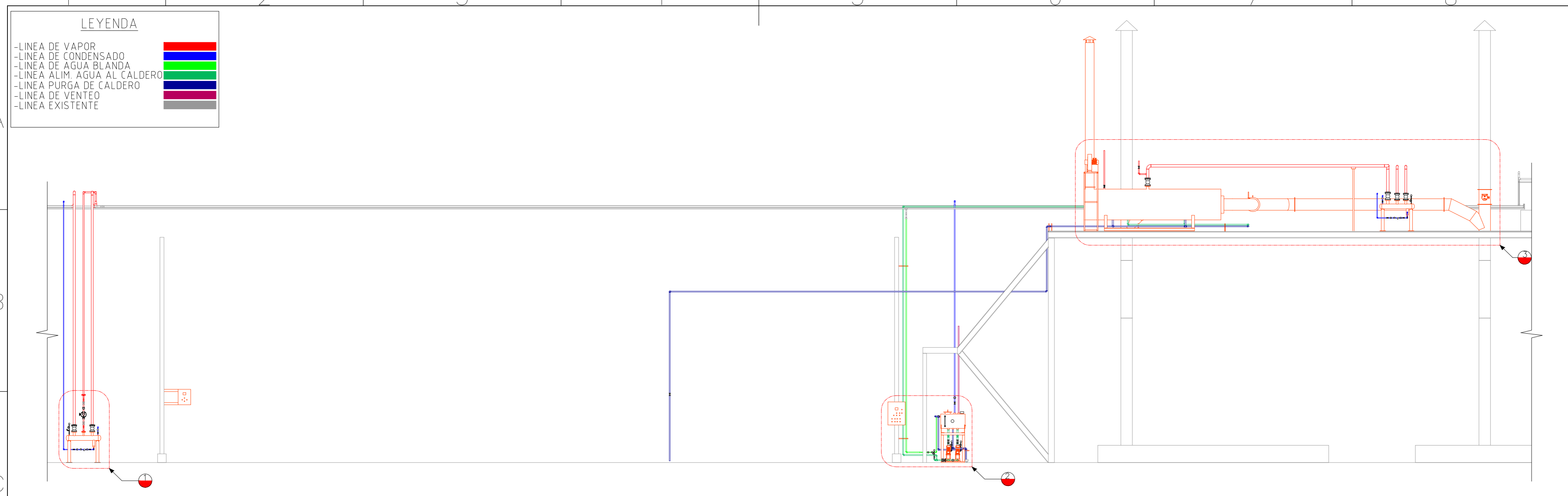
PLANO

CONTRATISTA:

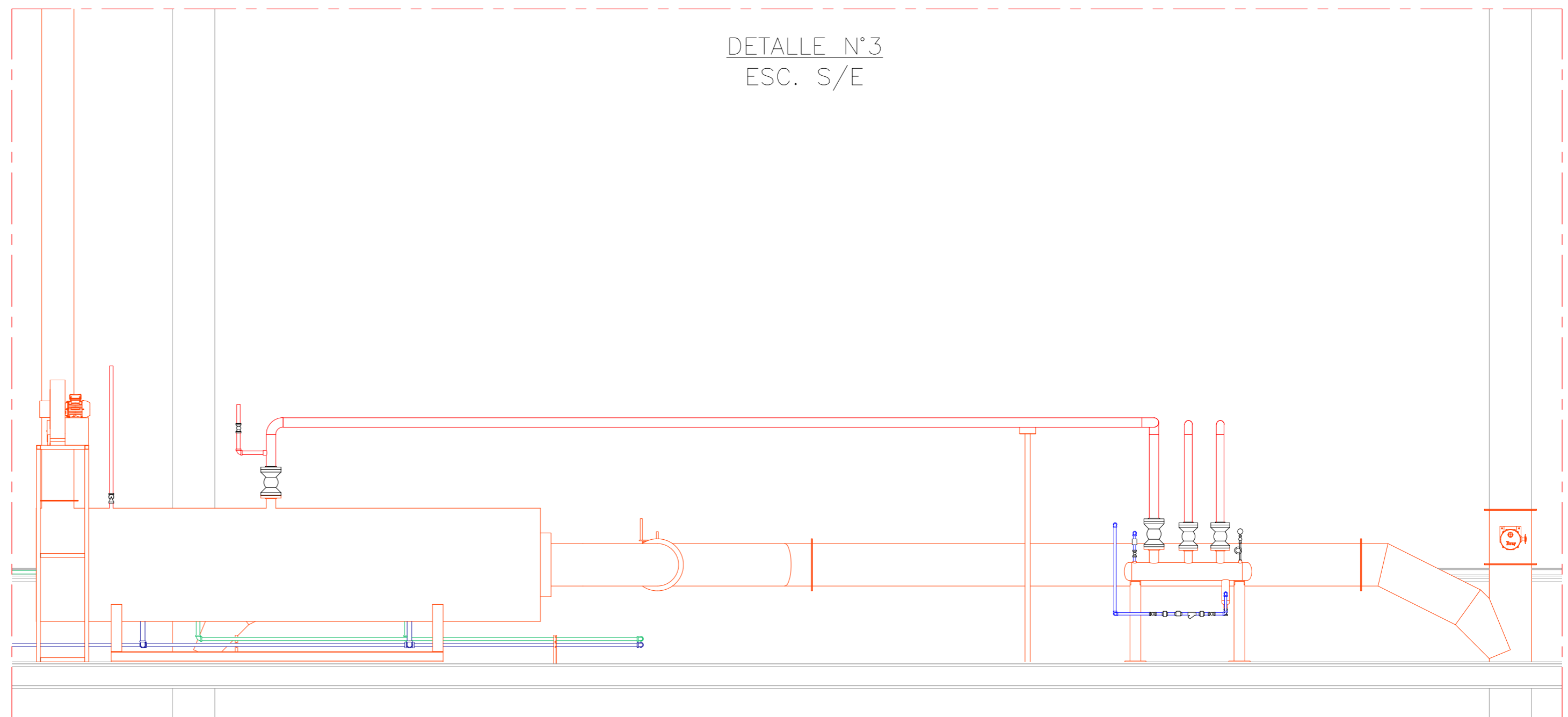
TERMODINAMICA S.A.
Ingeniería - Proyectos - Servicios

SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR
PRODAC S.A.
PLANO LAYOUT GENERAL - AS BUILT

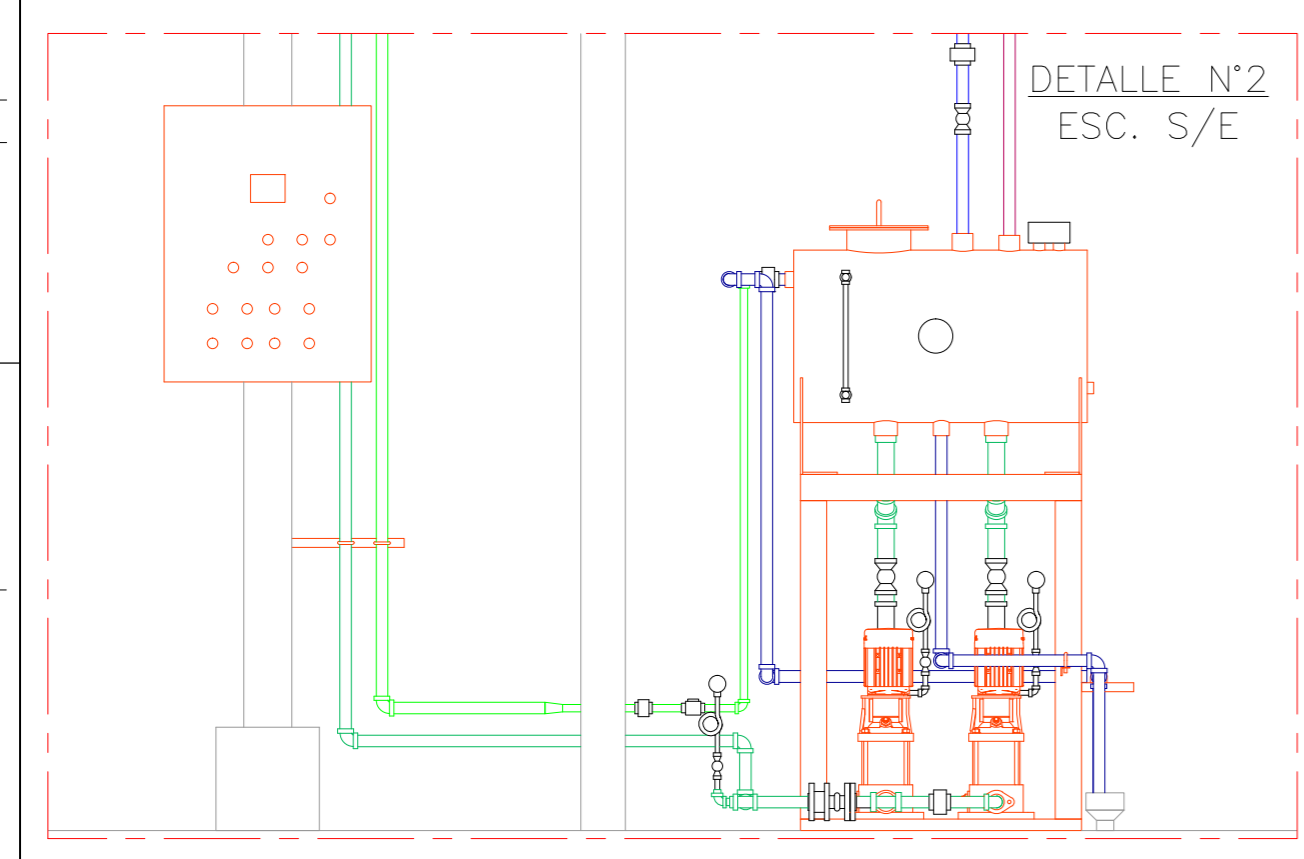
EL PRESENTE PLANO Y SUS ESPECIFICACIONES SON DE USO EXCLUSIVO DE TERMODINAMICA S.A. SU REPRODUCCIÓN, DIFUSIÓN Y/O UTILIZACIÓN SIN AUTORIZACIÓN EXPRESA ESTÁ PROHIBIDA Y DARÁ LUGAR A ACCIONES LEGALES



DETALLE N°1
ESC. S/E



DETALLE N°3
ESC. S/E



DETALLE N°2
ESC. S/E

REV	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	REVISADO	APROBADO	V°B° CLIENTE
A	EMITIDO PARA REVISIÓN	N.A.	R.C.	R.C.	
	NOMBRE	FECHA	ESCALA		
	DIBUJADO	N.A.	S/E		
	REVISADO	R.C.	N° PROYECTO		
	APROBADO	R.C.	19VPIDPRO		
	V° B° CLIENTE		PROYECTO		
HOJA:	N° DE PLANO:	REV.	FORMATO	PLANO	
02 DE 02	21VPID001-PLPRO02-A	A	A2		

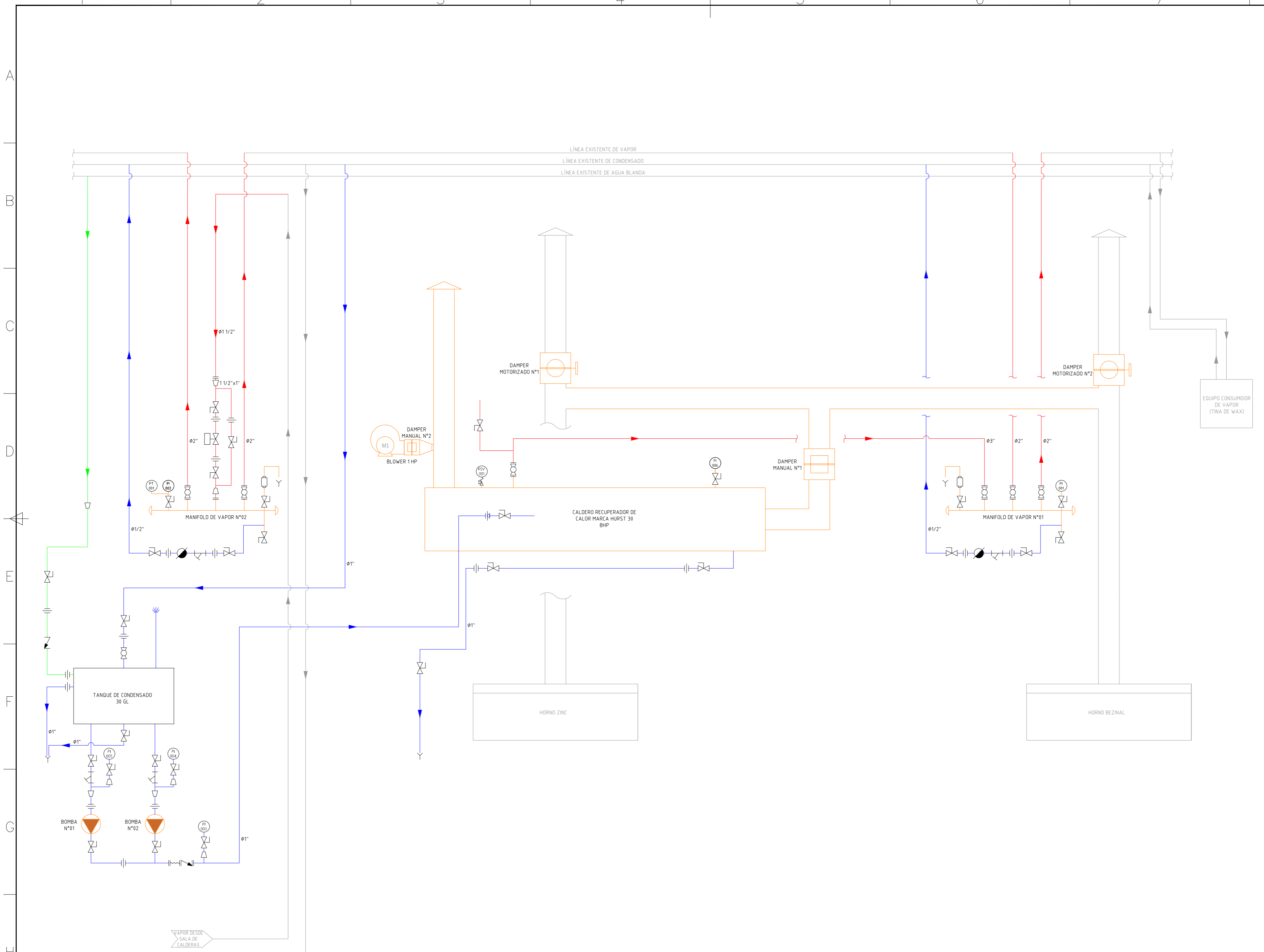
CLIENTE:

CONTRATISTA:

TERMODINAMICA S.A.
Ingeniería - Proyectos - Servicios

PROYECTO: SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR
 PRODAC S.A.
 PLANO LAYOUT GENERAL - AS BUILT

EL PRESENTE PLANO Y SUS ESPECIFICACIONES SON DE USO EXCLUSIVO DE TERMODINAMICA S.A. SU REPRODUCCION, DIFUSION Y/O UTILIZACION SIN AUTORIZACION EXPRESA ESTA PROHIBIDA Y DARA LUGAR A ACCIONES LEGALES.



LEYENDA

- ▶— LÍNEA DE VAPOR
- ▶— LÍNEA DE CONDENSADO
- ▶— LÍNEA DE AGUA
- ▶— LÍNEA EXISTENTE (NO ES ALCANCE DE TERMODINAMICA)
- ▶— NUEVOS EQUIPOS

SIMBOLOGÍA

	ROSC	SOLD	BRID
FILTRO TIPO Y			
MANÓMETRO			
REDUCCIÓN CONCÉNTRICA			
UNIÓN UNIVERSAL			
VÁLVULA BOLA			
VÁLVULA GLOBO			
VÁLVULA DE CONTROL			
VÁLVULA SOLENOIDE			
VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN			
VÁLVULA MODULANTE			
VÁLVULA CHECK			
VENTEO			
SENTIDO DE FLUJO			
ELIMINADOR DE AIRE			
TRAMPA DE VAPOR			

VAPOR DESDE SALA DE CALDERAS
 RETORNO DE CONDENSADO

 TERMODINAMICA S.A. Ingenieria-Proyectos-Servicios	REV:	FECHA:	DESCRIPCION:	DIB.	DIS.	REV.	VL.	CUENTE:	PRODUCTOS DE ACERO CASSADO S.A. PRDAC S.A.	
	A	03/01/21		N A	N A	N A	R C	PROYECTO:	SISTEMA DE RECUPERACION DE CALOR	
	B							PLANO:	PLANO P&ID	
	C								SISTEMA DE VAPOR	
	E							ESCALA:	FORM:	N° DE PLANO:



N° PROYECTO:
 OSP-VP19-0010
 TAG:
 REV:
 A

1-PASS HEAT RECOVERY STEAM BOILER WITH XID TUBES

Internal Economizer- No

External Economizer-No

Request: DD-06-25-19

Reference: WASTE RECOVERY SYSTEM

Date: 05/01/20

2.204586

Description	Variable	US value	SI Value
Waste gas temperature @ boiler inlet, F (C)	TIN*	788	420
Operating pressure, psig (barg)	SSP*	45.0	3.1
Carbonic Oxide content, %	CO2	8.1	8.1
Water Vapor volumetric content, %	H2O	17.1	17.1
Sulphuric Oxide volumetric content, %	SO2	0.0	0.0
Oxygen volumetric content, %	OX2	3.2	3.2
Nitrogen volumetric content, %	NIT	71.7	71.7
Carbonic Monoxide volumetric content, %	CO	0	0
Methane volumetric content, %	CH4	0	0
Hydrogen volumetric content, %	H2	0	0
Waste gas static pressure, psia (bar-a)	GPR*	14.5	1.0
Altitude, ft (m)	ALT*	100	30.5
Gas-side Fouling Factor, ft ² *F*hr/ Btu	FFG*	0.01	0.01
Tube's Type HTC Factor	XID1*	1.85	1.85
Tube's quantity	NT*	92	92
Tube's O.D., inch (m)	DT*	2	0.051
Tube's wall thickness, inch (m)	DW*	0.105	0.003
Tube's length, inch (m)	LO*	144	3.658
Internal Baffle- Rear Endplate distance, inch (m)	LE*	0	0.000
Tube insert wall thickness, inch (m)	Dins*	0	0.000
Boiler's shell I.D., inch (m)	DISH*	38	0.965
Boiler's shell wall thickness, inch (m)	DTR	0.375	0.010
Steam Desing. segment height, inch (m)	HWL*	6	0.152
Waste gas inlet opening effective diameter, inch (m)	DOP*	18	0.457
Waste gas outlet opening effective diameter, inch (m)	DOS*	12	0.305

Heat input, million Btu/h (kw)	QINP	1.49	436
Boiler's output, million Btu/h (kw)	QOUT	0.91	268
Economizer output, million Btu/h (kw)	QECO	0	0
Boiler-Economizer System's total Horsepower, BHP (kw)	QTOT	27	268
Heat lost, million Btu/h (kw)	QLOST	0.01	2.9
Boiler's thermal efficiency, %	BEF	61.4	61.4
Boiler-Economizer system's thermal efficiency, %	SEF	61.4	61.4
Pressure drop through Boiler, inch W.C. (pa)	PTOT	1.3	312
Pressure loss on inlet box, inch W.C. (pa)	PINL	0.0	12
Pressure loss on outlet box, inch W.C. (pa)	POUT	0.2	59
Pressure loss on tube section, inch W.C. (pa)	R1T	1.0	241
Waste gas temperature at boiler's outlet, F (C)	TP3	333	167
Waste gas temperature at External Economizer's outlet, F (C)	TST	333	167
Tube's wall maximum temperature, F (C)	TW1max	319	159
Water temperature at External Economizer inlet, F (C)	TWEC*	212	100
Water temperature at Boiler inlet, F (C)	TWAT*	212	100
Water temperature at Internal Economizer outlet, F (C)	TWO	212	100
Saturation temperature, F (C)	TSAT	294	146
Saturated Steam produced, lb/hr (kg/hr)	GSAT	918	416
Boiler's Total Heat Transfer Surface Area, sqf (m^2)	STOT	530	49
Steam Disengagement Surface Area, sqf (m^2)	Aboil	27.6	2.6
Steam Diseng. vertical velocity (<=0.45), ft/sec (m/s)	SDV	0.07	0.02
Steam Diseng. horizontal (<=5.0), ft/sec (m/s)	SDH	1.15	0.35
Allowable pressure in the Shell, psig (bar-g)	PASH	389	26.8
Waste gas velocity at boiler's inlet duct, ft/min (m/s)	V11	2191	11.1
Waste gas velocity at boiler's outlet duct, ft/min (m/s)	V12	3099	15.7
Boiler's insulation total weight, lb (kg)	MBins	911	413
Boiler's total weight, lb (kg)	Mboil	7882	3575



HURST

BOILER & WELDING CO., INC.

HURST

WASTE HEAT

RECOVERY BOILERS

Capacities from 5,000 to 50,000 PPH

Used in conjunction with a combined heat and power source

Practical Thermal Energy

WHR Series boilers recover valuable waste heat generated from a high temperature production process and converts it to hot water or steam.



Steam & Hot Water

Hurst Heat Recovery boilers are flexible for steam or hot water applications and are custom designed for operating with a diverse range of heat generating equipment, such as gas turbines, reciprocating engines, incinerators, gasifiers and other process heat sources.

48
YEARS

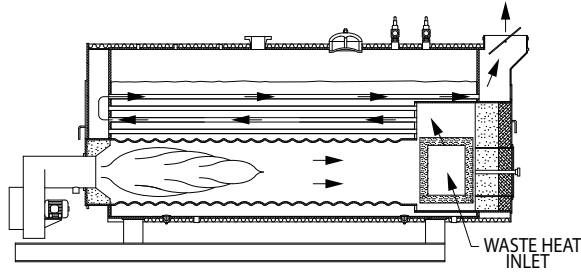
PURPOSE DESIGNED

Integrated Energy Solutions

HURST PERFORMANCE SERIES BOILERS

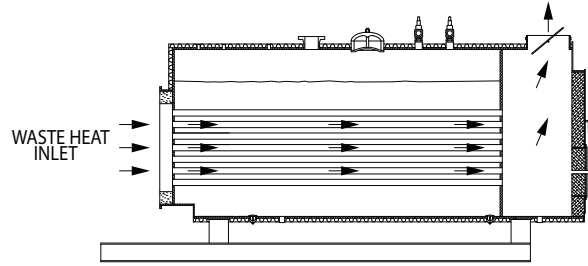
The Consulting Engineers First Choice

WASTE HEAT RECOVERY BOILERS



TWO PASS HEAT RECOVERY

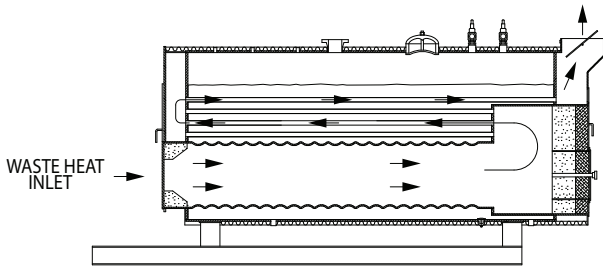
WITH THREE PASS SUPPLEMENT FIRING
DESIGN PRESSURE UP TO 300 PSI
WATER WALL BAFFLES



SINGLE PASS HEAT RECOVERY

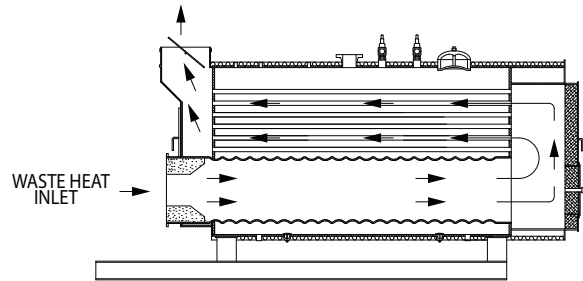
DESIGN PRESSURE UP TO 700 PSI

Other Configurations Available



THREE PASS HEAT RECOVERY

WATER WALL BAFFLES/FRONT & REAR FULL ACCESS
SEMI-WET BACK OR FULL WET BACK

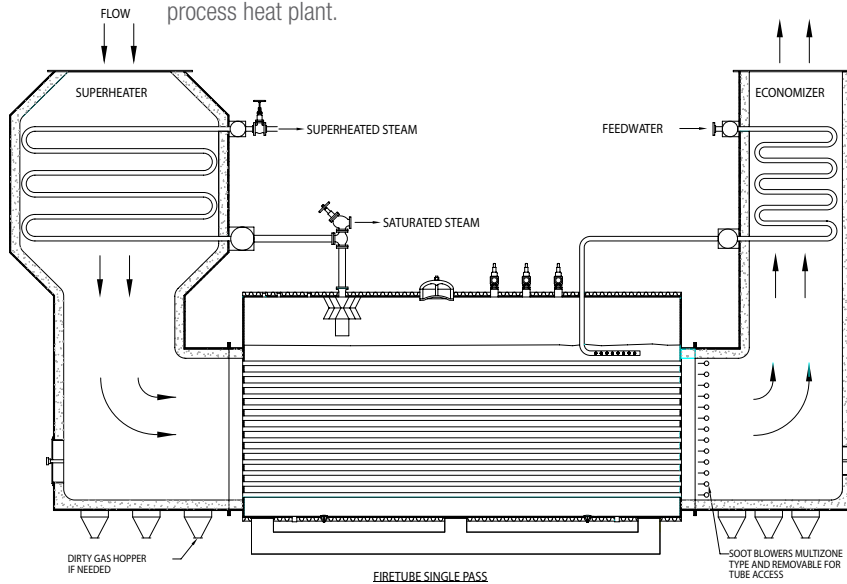


TWO PASS HEAT RECOVERY

Steam / Hot Water

Hurst Heat Recovery boilers are flexible for steam or hot water applications and are custom designed for operating with a diverse range of heat generating equipment, such as gas turbines, reciprocating engines, incinerators, gasifiers and other process heat plant.

**SKID MOUNTED
MODULAR PACKAGED**



Compact Quickly Installed

Boiler systems are custom designed and engineered for each customer's specific needs by providing packaged modules that are factory attached to steel skids, pre-piped and wired.

Join the Conversation

Dirty gas applications
equipped with soot blowers
and or hoppers

HBC-09538
01/2015



hurstboiler.com

HURST BOILER & Welding Co., Inc.

100 Boilermaker Lane • Coolidge, GA 31738-0530

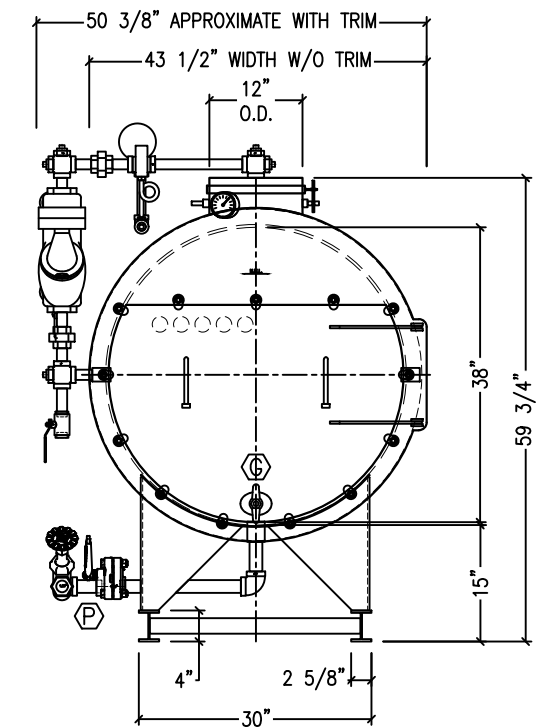
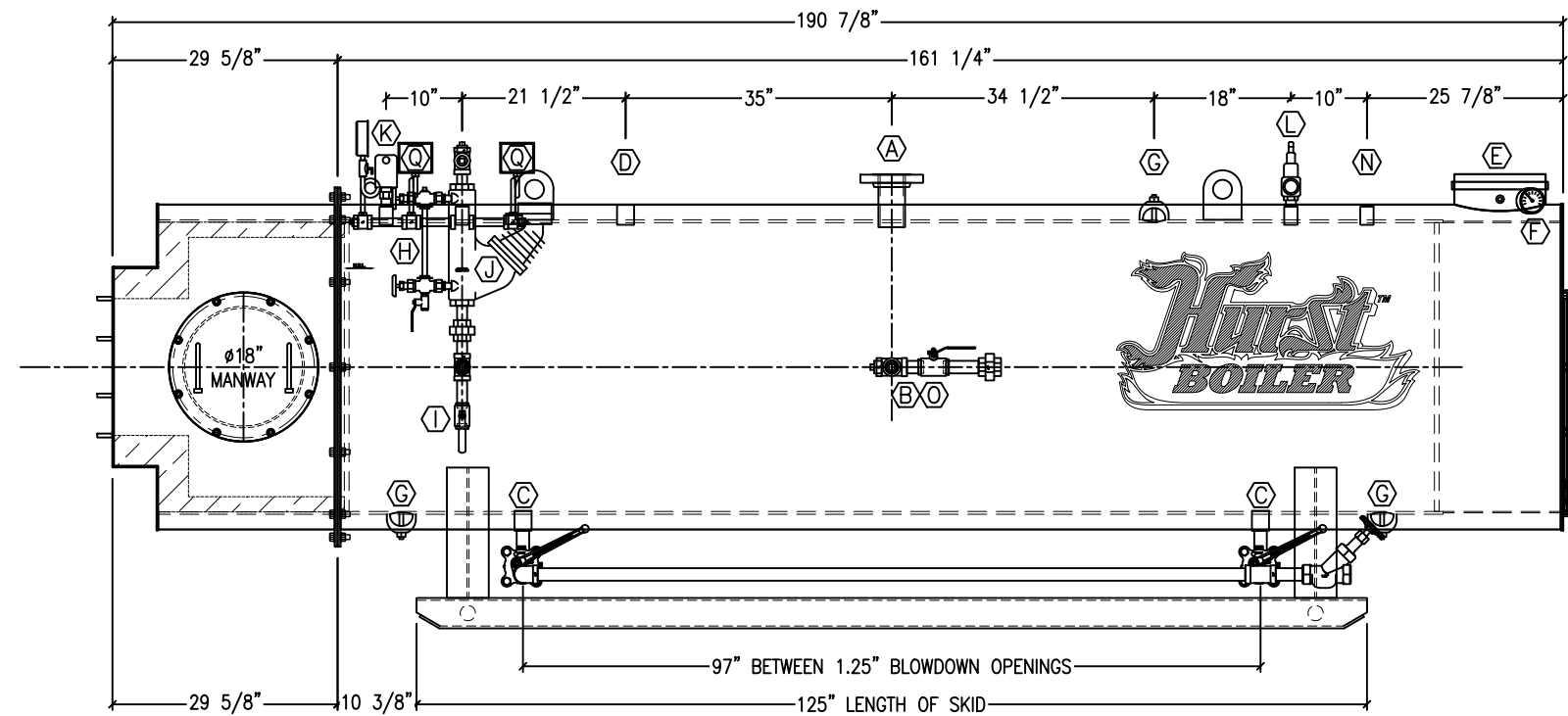
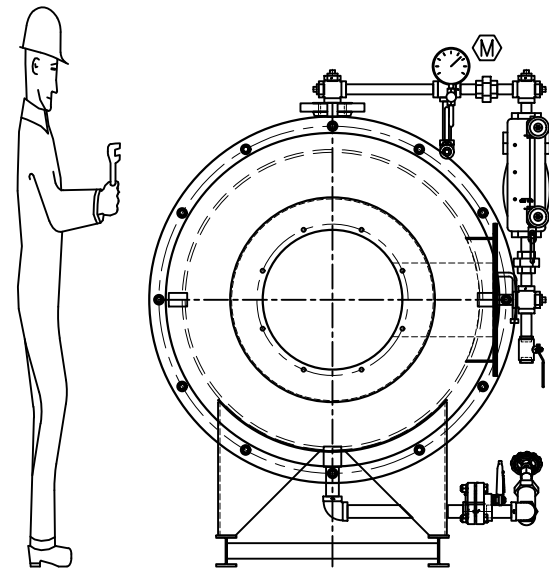
Tel: (229) 346-3545 • Fax: (229) 346-3874

email: info@hurstboiler.com

LOCATION/DESCRIPTION OF COMPONENTS

(A) MAIN STEAM OUTLET - 3", 300# FLANGE	(K) AUXILIARY LOW WATER CUT OFF - M&M 750-MT-120/PROBE
(B) FEEDWATER CONNECTION - 1" NPT	(L) SAFETY RELIEF VALVE - (1) KUNKLE #6010 - SHIPS LOOSE
(C) BOTTOM BLOWDOWN CONNECTION, DRAIN - 1.25" NPT	(M) PRESSURE GAUGE - 4.5", 0-300psi
(D) SURFACE BLOWDOWN CONNECTION - 1.25" NPT	(N) SPARE COUPLING - 1" NPT
(E) STACK OUTLET - 12" VERTICAL W/MANUAL DAMPER	(O) FEEDWATER VALVES - 1.25", 250psi STOP, APOLLO 70-140 CHECK-CHECK-ALL 316SS IN A UNION
(F) STACK THERMOMETER - 3", SERIES"B" 0-750°F	(P) BLOWDOWN VALVES - 2 QUICK OPENING, VP-250T-Q0-125 (SHIPS LOOSE) 1 SLOW OPENING, VP-250T-S0-125 (SHIPS LOOSE)
(G) 3"x4" HAND HOLE - QTY. (4)	(Q) PRESSURE/TEMPERATURE CONTROLS - HONEYWELL (1) OPERATING L404F 110 (1) HI LIMIT L4079B 1041
(H) GAUGE GLASS SET - UNITED BRASS #34015, 250psi	
(I) WATER COLUMN DRAIN VALVE - APOLLO 70-140	
(J) PRIMARY LOW WATER CUT OFF - M&M 157S	

NOTES:
 * XID TUBES WELD ON HOT PASS
 * INLET REFRACTORY TO BE DONE IN FIELD



PRELIMINARY DRAWING
 DIMENSIONS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE.
 CONSULT FACTORY FOR CERTIFIED DRAWINGS

REV	BY	DATE	CHK'D	REASON FOR CHANGE
THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF HURST BOILER AND WELDING CO., INC. AND MAY NOT BE COPIED OR REPRODUCED IN ANY WAY UNLESS AUTHORIZED IN WRITING BY HURST BOILER AND WELDING CO., INC. AND MUST BE RETURNED UPON REQUEST.				

HURST BOILER & WELDING CO., INC.

100 BOILERMAKER LANE, COOLIDGE, GA. 31738
 PHONE: 229-346-3545 FAX: 229-356-3874

**THERMODIMANICA
 PRODAC, PERU**

SINGLE PASS, HEAT RECOVERY BOILER,
 530 SQ. FT. 150 PSI.

SCALE:	DWN_BY	DWN_DATE	CKD_BY	CKD_DATE	LAST_SAVED	REV
N.T.S.	J.E.H.	9/24/2019	J.W.T.	9/24/2019	JAMES	0
SHT# 1.1 OF:	---	DWG NO:	1900349 THERMODINAMICA			



ES



Serie C

Medidor de gas rotatorio



Alta precisión
Alta rangeabilidad
Altas prestaciones
¡El mejor!

Las empresas de gas natural de todo el mundo usan los medidores rotativos **Pietro Fiorentini** para aplicaciones comerciales e industriales de medición del gas natural. Nuestros medidores rotativos se utilizan tanto en aplicaciones residenciales de flujo alto y en aplicaciones de transmisión de volumen bajo. Los medidores rotativos de la Serie C de **Pietro Fiorentini** se usan en los colectores de cabeza de pozo, en las estaciones de compresión, en los sistemas de distribución de gas y en los usuarios finales como plantas químicas y de procesamiento.

Los medidores de construcción estándar se usan para la medición de una variedad de gases filtrados y secos no corrosivos, incluidos los gases especiales.

Los medidores rotativos **Pietro Fiorentini** están aprobados para aplicaciones de transferencia de custodia y son usados por empresas de transmisión y distribución de gas natural.

Algunos tamaños de medidores están disponibles en la versión HTR (resistente a las altas temperaturas) de conformidad con la norma EN12480 - Anexo C

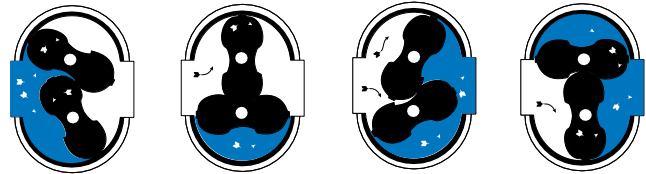
Característica de diseño del medidor rotativo de la Serie C

- Tamaño compacto y menos peso
- Perfil de rotor (impulsor) de alto rendimiento para mayor rangeabilidad
- Su resistencia superior asegura una sensibilidad reducida a la tensión de la tubería
- Reducida sensibilidad a los daños que derivan de los golpes de presión
- Mantenimiento y reparación simplificados
- Índice multifuncional
- Pérdida de presión baja
- Clasificación de presión nominal: ANSI150 o PN10/16
- Diámetro nominal: de DN40 a DN150 (de 1 ½" a 6")
- Rango de medición: De 1:30 a 1:160 de acuerdo con la norma EN12480
- Caudal: De 0,5 m³/h a 1000 m³/h
- Repetibilidad: Mejor que 0,1 %
- Precisión de medición: De conformidad con la norma EN12480
- Rango de temperatura: -25 °C a +55 °C
- Aprobación: EN12480, OIML R137 1&2, MID, ATEX, PED

Principio de medición de los medidores rotativos

Los medidores rotativos Pietro Fiorentini están diseñados para medir el volumen de los gases y las mezclas de gases con un alto grado de precisión. El principio de funcionamiento de desplazamiento positivo de tipo rotativo garantiza una precisión permanente y no regulable mediante el uso de dos impulsores de dos lóbulos mecanizados de precisión recubiertos con una cámara de medición rígida.

A diferencia de otros tipos de medidores, la precisión de medición no se ve afectada por cambios en la gravedad específica del gas, la presión o el flujo fluctuante. Los medidores rotativos Pietro Fiorentini pueden utilizarse desde la presión atmosférica hasta 20 bar con una medición de gran precisión en un amplio rango de funcionamiento.



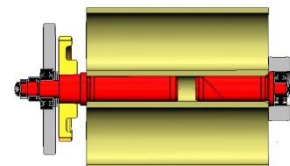
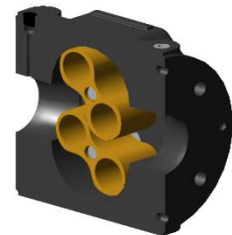
Como se muestra en la imagen, dos impulsores contrarrotativos de dos lóbulos con forma de 8 están recubiertos con una cámara de medición rígida, con conexiones de entrada y de salida en lados opuestos. Los engranajes de distribución de precisión mecánica mantienen los impulsores en la posición relativa correcta. Las distancias de funcionamiento óptimas entre los impulsores, el cilindro y las placas de cabezal proporcionan un sellado continuo y sin contacto.

Dos impulsores de dos lóbulos mecanizados de precisión recubiertos con una cámara de medición rígida.

Principales características de diseño de la Serie C

Rotores

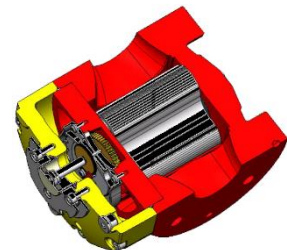
Los rotores mecanizados de precisión y alto rendimiento se mantienen en su lugar con los cuatro rodamientos del eje principal situados fuera de los engranajes de distribución. Esta ubicación de los rodamientos refuerza la conexión entre los rotores y los engranajes de distribución. Los sofisticados impulsores con perfil cuadrado mejoran no solo la precisión, sino también la rangeabilidad del medidor minimizando las fugas entre los rotores y el cuerpo. Este diseño también reduce la deflexión de los ejes principales del rotor a un alto caudal y una presión elevada donde la carga dinámica es más prevalente. Esta característica hace que el medidor sea menos vulnerable a los daños durante la puesta en marcha y el funcionamiento.



Diseño robusto

El diseño robusto del medidor rotativo de la Serie C de Pietro Fiorentini es menos sensible a la tensión de las tuberías desalineadas o de las conexiones con bridas. Nuestro medidor con cuerpo compacto, conexiones de brida gruesas y anillos de soporte de rodamientos de acero inoxidable ofrecen una fácil instalación y un sólido rendimiento en las instalaciones más exigentes. Los rotores cuadrados con ejes principales rígidos también son menos susceptibles a daños resultantes de una rápida presurización del medidor.

Los técnicos de reparación pueden sustituir todas las piezas principales sin necesidad de herramientas especiales. Este innovador cartucho de medición Pietro Fiorentini simplifica las principales actividades de mantenimiento y reparación. Los técnicos pueden retirar todo el mecanismo de medición (rotores, engranajes de distribución y rodamientos) del cuerpo del medidor en una sola pieza. Ya sea que solo deba limpiar el cartucho y reinstalarlo, o que deba sustituirlo, las reparaciones principales son rápidas y fáciles. Si las regulaciones lo permiten, los usuarios también pueden instalar un cartucho nuevo certificado.



Índice multifuncional

Los medidores rotativos de la Serie C **Pietro Fiorentini** usan un índice acoplado magnéticamente. Un imán de «accionamiento» se acopla al imán «seguidor» del índice, que a su vez acciona el odómetro del índice del medidor.

El índice de la Serie C utiliza un odómetro de 8 cifras y proporciona lecturas directas en metros cúbicos. El índice es IP67 100 % sellado y aprobado.

El índice puede quitarse o instalarse con solo «un giro y un clic». El acoplamiento magnético permite una orientación ajustable de 355° o un cambio sin poner desmontar el medidor. Un solo índice puede adaptarse a todos los tamaños del medidor de la Serie C gracias a la reducción de engranajes situada dentro del cuerpo del medidor. La reducción de engranajes se usa para colocar el imán de accionamiento a una relación de salida común para todos los medidores de la Serie C. Mediante el uso de un índice común, el diseño habilita la estandarización, reduce el inventario y maximiza la flexibilidad modular. El índice de la Serie C también tiene una bolsa que puede contener diferentes tipos de dispositivos de impulsos de baja frecuencia, como interruptores reed o dispositivos de detección de fraude o de indicación de alteraciones.

Para aplicaciones que requieren una comunicación en serie, el índice de la Serie C se suministra con un codificador. El codificador usa tres sensores ópticos para detectar el paso de la luz a través de un disco ranurado específicamente diseñado, que gira dentro del índice. La luz detectada que pasa a través del disco se transforma en un valor numérico mediante el Código Gray. El sistema ofrece una alta resolución y permite efectuar el cálculo de flujo instantáneo.



Versión HTR

Algunos tamaños del medidor rotativo de la Serie C **Pietro Fiorentini** también están disponibles en la versión HTR (resistente a las altas temperaturas).

La versión HTR cumple con la norma EN12480 - Anexo C
Informe de prueba DVGW 17-134-4703-082

Material del cuerpo: Hierro fundido EN-GJS-400-15 o EN-GJS-400-18LT

Conexión con brida: cara plana PN10/16

Presión de trabajo máxima: 16 bar/5 bar HTR

Tratamiento de la superficie: pintada - amarillo RAL1004

Rango de temperatura de diseño: -25 °C a +55 °C

Rango de temperatura operativa: -25 °C a +55 °C

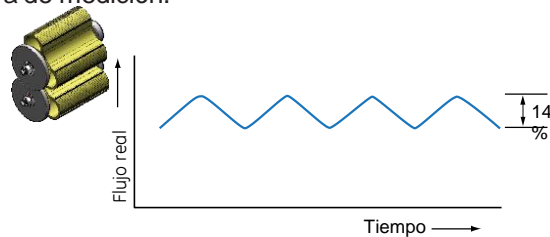


Versiones Twin

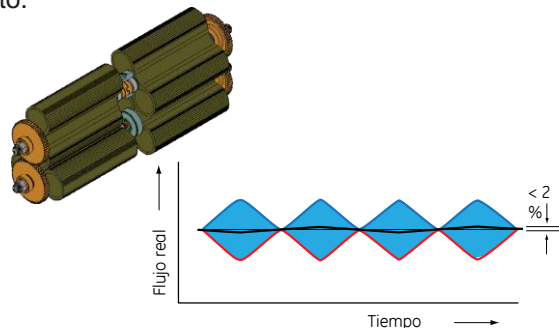
El diseño del impulsor doble reduce los impulsos y el ruido aguas abajo.

El diseño del medidor rotativo con impulsor de 8 lóbulos de la figura crea impulsos como flujos de gas a través de la cámara de medición. Este es un fenómeno común y típico de los medidores rotativos. La resonancia puede afectar la linealidad de la curva de calibración. El efecto de dichos impulsos aumenta con la presión y la resonancia resultante puede afectar a componentes como los reguladores de presión en la estación de medición.

Los armónicos, o el cambio de frecuencia creado por los impulsos, pueden limitar el Q_{máx.} alcanzable cuando cambia la presión de la cámara de medición.



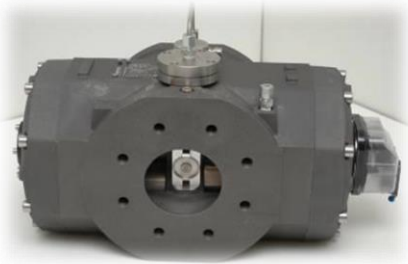
Los armónicos son simplemente una columna de aire que resuena a su frecuencia fundamental o más baja. El pequeño impulso producido por el medidor rotativo se produce cuando el medio de flujo cambia rápidamente la presión cuando gira el elemento de medición (impulsores). La amplitud del impulso de la cavidad de edición es directamente proporcional a la pérdida de presión a través del medidor y a la velocidad del dispositivo rotativo. Estos puntos de flujo de resonancia tienden a mostrarse como superiores al valor nominal esperado en la curva de rendimiento.



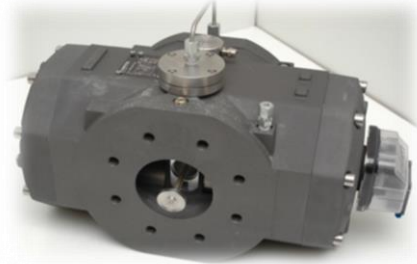
El principio del impulsor Twin, proporcionado en el tamaño más grande del medidor rotativo, divide el flujo en dos cámaras de medición. La fase de cada par de impulsores se desplaza a 45 grados (180 grados en términos de onda sinusoidal) para que los impulsos sean opuestos e insignificantes o se eliminen. Los medidores rotativos Twin de **Pietro Fiorentini** proporcionan una precisión significativamente mejorada con respecto a la rangeabilidad convencional, lo que los hace la opción ideal para aplicaciones de medidores de referencia o principales. Los impulsos reducidos también reducen significativamente los ruidos ambientales, lo que hace que los medidores rotativos Twin sean ideales para aplicaciones sensibles al sonido.



La versión Twin puede tener un by-pass interno como funcionalidad adicional para garantizar el suministro de gas en caso de que se produzca una emergencia cuando los rotores están bloqueados. El by-pass se activa automáticamente al superar un valor de caída de presión configurado en la fábrica. El valor de presión deseado puede comunicarse a la empresa en el momento en que se realiza el pedido. El dispositivo de by-pass garantiza al usuario final que el gas estará disponible también en caso de que el medidor se dañe. Este dispositivo no puede ser activado por el usuario, se activa cuando se supera la caída de presión configurada. El dispositivo de by-pass puede restablecerse solamente quitando el instrumento de la tubería y solo después de romper los sellos metrológicos.



By-pass cerrado



By-pass abierto

Datos técnicos del medidor rotativo de la Serie C

Materiales:	Cuerpo y rotores: Aleación de aluminio anodizado Eje y cojinete: Acero inoxidable Engranajes de distribución: Acero de alto grado Soportes de rodamientos: Acero inoxidable AISI 430
Clasificación de presión nominal:	ANSI150 y PN10/16
Diámetros nominales:	de DN40 a DN150 (de 1 1/2" a 6")
Rango de medición:	De 1:30 a 1:160 de acuerdo con la norma EN12480
Caudales:	De 0,5 m ³ /h a 1000 m ³ /h
Repetibilidad:	Mejor que 0,1 %
Precisión de medición:	De conformidad con la norma EN12480
Rango de temperatura:	-25 °C a +55 °C
Impulso de baja frecuencia:	2 contactos NO reed de baja frecuencia y 1 contacto NC reed antifraude
Impulso de alta frecuencia:	Opcional en tamaño 171-241. No disponible en tamaño 121.
Punto de presión y temperatura:	1/4" NPT hembra (otros a petición)
Aprobación:	EN12480 OIML R137 1&2: 2012 2014/32/EU MID 2014/34/EU ATEX 2014/68/EU PED

Nuestras instalaciones cuentan con un sistema de calidad ISO 9001 certificado por Lloyd's Register

Cada uno de los medidores de la Serie C **Pietro Fiorentini** se suministra con un certificado de calibración. La comprobación y la calibración iniciales se realizan en la fábrica en un banco de pruebas aprobado por VSL.

Tamaños disponibles/condiciones de funcionamiento nominales

Modelo	Q _{máx.}	Q _{mín.}	Rango	DN	Volumen cíclico	Distancia entre bridas	Peso Alum./HTR	Impulsos de baja frecuencia	Disponibilidad de la versión HTR
	m ³ /h	m ³ /h	máx.	métrico (imperial)	dm ³	mm	kg	Imp./m ³	Sí/No
G10	16	0,5	1:30	40 (G1½ o 1 ½ NPT)	0,18	121	3,5	10	✗
G16	25	0,5	1:50	40 (G1½ o 1 ½ NPT)	0,18		3,5	10	✗
G25	40	0,65	1:65	40 (G1½ o 1 ½ NPT)	0,26		4	10	✗
G16	25	0,50	1:50	40/50 (1½"/2")	0,69	171	10/23	10	✓ Solamente DN50
G25	40	0,65	1:65	40/50 (1½"/2")	0,69		10/23	10	✓ Solamente DN50
G40	65	0,65	1:100	40/50 (1½"/2")	0,69		10/23	10	✓ Solamente DN50
G65	100	0,65	1:160	50 (2")	0,69		10/23	10	✓
G100	160	1	1:160	50 (2")	1,11		12/30	1	✗
G100	160	1	1:160	80 (3")	1,11		12/30	1	✓
G100-Twin	160	1,6	1:100	80 (3")	1,73		20,5	1	✗
G160-Twin	250	1,6	1:160	80 (3")	1,73		20,5	1	✗
G100	160	1,6	1:100	80 (3")	2,31	241	22,5/56	1	✓
G160	250	1,6	1:160	80 (3")	2,31		22,5/56	1	✓
G100	160	2,5	1:65	100 (4")	2,98		27,5/62	1	✓
G160	250	1,6	1:160	100 (4")	2,98		27,5/62	1	✓
G250	400	2,5	1:160	100 (4")	2,98		27,5/62	1	✓
G250-Twin	400	4,0	1:100	100 (4")	3,88		45	1	✗
G400-Twin	650	4,0	1:160	100 (4")	3,88		45	1	✗
G400-Twin	650	4,0	1:160	150 (6")	3,88		45	1	✗
G400-Twin	650	6,5	1:100	150 (6")	5,97		56	1	✗
G650-Twin	1000	6,5	1:160	150 (6")	5,97		56	1	✗

www.florentini.com

Aviso legal: la información presente en este documento no es vinculante y puede estar sujeta a modificaciones sin previo aviso.



Customer: SUMARIN INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC
 Avenida Javier Prado Oeste 757, Oficina 1004.
 Magdalena del Mar
 PERU

Device: Rotary Gas Meter type IM-RM G160 ANSI150 DN 80
 Manufacturer: Pietro Fiorentini S.p.A.
 Serial Number / Year: 21901663 / 2019 S/N - Barcode: 21901663
 Volume [dm³]: 2.31
 Gear wheels: 0107
 Qmax / Qmin [m³/h]: 250 / 1.6
 Pmax: 16 bar
 Seals: QA
 High Frequency pulse values [imp/m³]: ---
 Low Frequency pulse values [imp/m³]: 1
 1 tr./index [m³]: 1

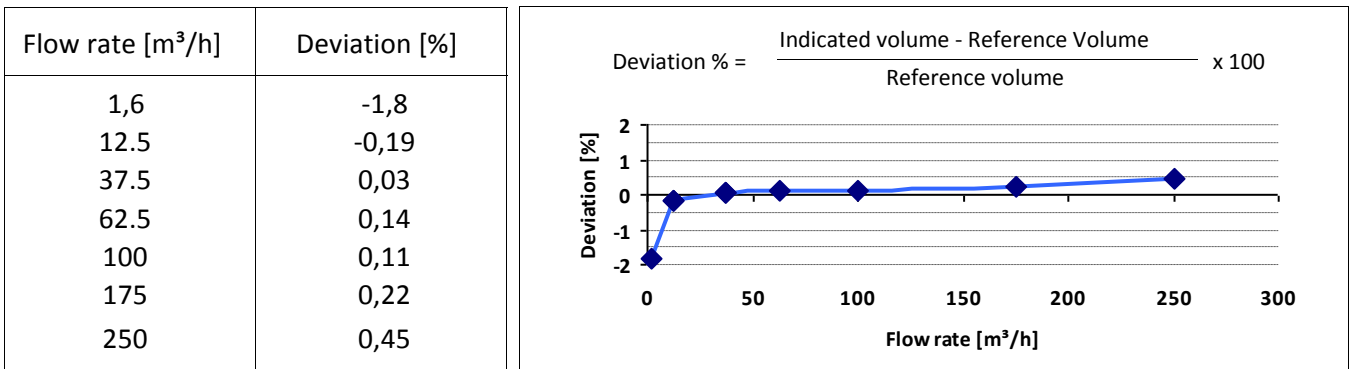


Date of calibration: 07-May-19

Calibration method: The deviation of the device under test is established with the master meter method. The reference that are used are traceable to the National standard of gas measurement.

Conditions: The conditions at the device under test are converted to conditions at the references using the pressure and temperature measurements at the device under test and the references. In the determination of the flow, the pressure measurement point noted as pm(r) is used.

Results: Results of the calibration are the followings



The total uncertainty in determination is smaller than 0.25%

The total uncertainty in determination of the deviation rate is based upon 2 x the standard deviation (K=2)

The medium is air at a pressure of about 100 kPa (abs) and the temperature of about 21 ± 5°C

Test bench is located at Pietro Fiorentini S.p.A., Talamona (SO) - Italy

Final Index reading [m³]: 27

WME: 0.2027

Traceability: The result of the calibration services of Pietro Fiorentini S.p.A. are traceable to primary and / or (inter)nationally accepted measurement standards.

Pietro Fiorentini S.p.A. is certified according to ANNEX D of the 2014/32/EU directive relating to gas meters (MID; MI-002) under certificate number 0407-MID-145 (IG-114-2017).

Arcugnano (VI), 07-May-19

Pietro Fiorentini S.p.A. - Value Stream Leader

Fabio Baggio



Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de presiones

Presión	Temp.	Volumen específico		Energía interna		Entalpía			Entropía	
		m ³ / kg		kJ / kg		kJ / kg			kJ / kg, K	
		Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor vaporiz,	Vapor sat,	Líquido sat,	Vapor sat,
bar	°C	v _f x 10 ³	v _g	u _f	U _g	h _f	h _{fg}	h _g	s _f	s _g
0,04	28,96	1,0040	34,800	121,45	2415,2	121,46	2432,9	2554,4	0,4226	8,4746
0,06	36,16	1,0064	23,739	151,53	2425,0	151,53	2415,9	2567,4	0,5210	8,3304
0,08	41,51	1,0084	18,103	173,87	2432,2	173,88	2403,1	2577,0	0,5926	8,2287
0,10	45,81	1,0102	14,674	191,82	2437,9	191,83	2392,8	2584,7	0,6493	8,1502
0,20	60,06	1,0172	7,649	251,38	2456,7	251,40	2358,3	2609,7	0,8320	7,9085
0,30	69,10	1,0223	5,229	289,20	2468,4	289,23	2336,1	2625,3	0,9439	7,7686
0,40	75,87	1,0265	3,993	317,53	2477,0	317,58	2319,2	2636,8	1,0259	7,6700
0,50	81,33	1,0300	3,240	340,44	2483,9	340,49	2305,4	2645,9	1,0910	7,5939
0,60	85,94	1,0331	2,732	359,79	2489,6	359,86	2293,6	2653,5	1,1453	7,5320
0,70	89,95	1,0360	2,365	376,63	2494,5	376,70	2283,3	2660,0	1,1919	7,4797
0,80	93,50	1,0380	2,087	391,58	2498,8	391,66	2274,1	2665,8	1,2329	7,4346
0,90	96,71	1,0410	1,869	405,06	2502,6	405,15	2265,7	2670,9	1,2695	7,3949
1,00	99,63	1,0432	1,694	417,36	2506,1	417,46	2258,0	2675,5	1,3026	7,3594
1,50	111,4	1,0528	1,159	466,94	2519,7	467,11	2226,5	2693,6	1,4336	7,2233
2,00	120,2	1,0605	0,8857	504,49	2529,5	504,70	2201,9	2706,7	1,5301	7,1271
2,50	127,4	1,0672	0,7187	535,10	2537,2	535,37	2181,5	2716,9	1,6072	7,0527
3,00	133,6	1,0732	0,6058	561,15	2543,6	561,47	2163,8	2725,3	1,6718	6,9919
3,50	138,9	1,0786	0,5243	583,95	2546,9	584,33	2148,1	2732,4	1,7275	6,9405
4,00	143,6	1,0836	0,4625	604,31	2553,6	604,74	2133,8	2738,6	1,7766	6,8959
4,50	147,9	1,0882	0,4140	622,25	2557,6	623,25	2120,7	2743,9	1,8207	6,8565
5,00	151,9	1,0926	0,3749	639,68	2561,2	640,23	2108,5	2748,7	1,8607	6,8212
6,00	158,9	1,1006	0,3157	669,90	2567,4	670,56	2086,3	2756,8	1,9312	6,7600
7,00	165,0	1,1080	0,2729	696,44	2572,5	697,22	2066,3	2763,5	1,9922	6,7080
8,00	170,4	1,1148	0,2404	720,22	2576,8	721,11	2048,0	2769,1	2,0462	6,6628
9,00	175,4	1,1212	0,2150	741,83	2580,5	742,83	2031,1	2773,9	2,0946	6,6226
10,0	179,9	1,1273	0,1944	761,68	2583,6	762,81	2015,3	2778,1	2,1387	6,5863
15,0	198,3	1,1539	0,1318	843,16	2594,5	844,84	1947,3	2792,2	2,3150	6,4448
20,0	212,4	1,1767	0,09963	906,44	2600,3	908,79	1890,7	2799,5	2,4474	6,3409
25,0	224,0	1,1973	0,07998	959,11	2603,1	962,11	1841,0	2803,1	2,5547	6,2575
30,0	233,9	1,2165	0,06668	1004,8	2604,1	1008,4	1795,7	2804,2	2,6457	6,1869
35,0	242,6	1,2347	0,05707	1045,4	2603,7	1049,8	1753,7	2803,4	2,7253	6,1253
40,0	250,4	1,2522	0,04978	1082,3	2602,3	1087,3	1714,1	2801,4	2,7964	6,0701
45,0	257,5	1,2692	0,04406	1116,2	2600,1	1121,9	1676,4	2798,3	2,8610	6,0199
50,0	264,0	1,2859	0,03944	1147,8	2597,1	1154,2	1640,1	2794,3	2,9202	5,9734
60,0	275,6	1,3187	0,03244	1205,4	2589,7	1213,4	1571,0	2784,3	3,0267	5,8892
70,0	285,9	1,3513	0,02737	1257,6	2580,5	1267,0	1505,1	2772,1	3,1211	5,8133
80,0	295,1	1,3842	0,02352	1305,6	2569,8	1316,6	1441,3	2758,0	3,2068	5,7432
90,0	303,4	1,4178	0,02048	1350,5	2557,8	1363,3	1378,9	2742,1	3,2858	5,6772
100	311,1	1,4524	0,01803	1393,0	2544,4	1407,6	1317,1	2724,7	3,3596	5,6141
110	318,2	1,4886	0,01599	1433,7	2529,8	1450,1	1255,5	2705,6	3,4295	5,5527
120	324,8	1,5267	0,01426	1473,0	2513,7	1491,3	1193,6	2684,9	3,4962	5,4924
130	330,9	1,5671	0,01278	1511,1	2496,1	1531,5	1130,7	2662,2	3,5606	5,4323
140	336,8	1,6107	0,01149	1548,6	2476,8	1571,1	1066,5	2637,6	3,6232	5,3717
150	342,2	1,6581	0,01034	1585,6	2455,5	1610,5	1000,0	2610,5	3,6848	5,3098
160	347,4	1,7107	0,009306	1622,7	2431,7	1650,1	930,6	2580,6	3,7461	5,2455
170	352,4	1,7702	0,008364	1660,2	2405,0	1690,3	856,9	2547,2	3,8079	5,1777
180	357,1	1,8397	0,007489	1698,9	2374,3	1732,0	777,1	2509,1	3,8715	5,1044
190	361,5	1,9243	0,006657	1739,9	2338,1	1776,5	688,0	2464,5	3,9388	5,0228
200	365,8	2,036	0,005834	1785,6	2293,0	1826,3	583,4	2409,7	4,0139	4,9269
220,9	374,1	3,155	0,003155	2029,6	2029,6	2099,3		2099,3	4,4298	4,4298

Poder Calorífico y Costos de combustibles en PERU

	BTU/Galon	Gal/MM BTU	US\$/Galon	US\$/MMBTU
GLP	95877	10.43	2.41	25.11
D-2	131061	7.63	3.87	29.52
R-6	151200	6.61	1.93	12.77
R-500	151600	6.60	1.85	12.23

	Btu/m3	m3/MMBtu	US\$/m3	US\$/MMBTU
Gas Natural	35310	28.32	0.18	5.15

OTROS

CARBON MINERAL P Calorif
 COSTO
 US\$ MMBTU

33813 BTU/kg
 US\$ 0.07/kg
 2.5 + FLETE

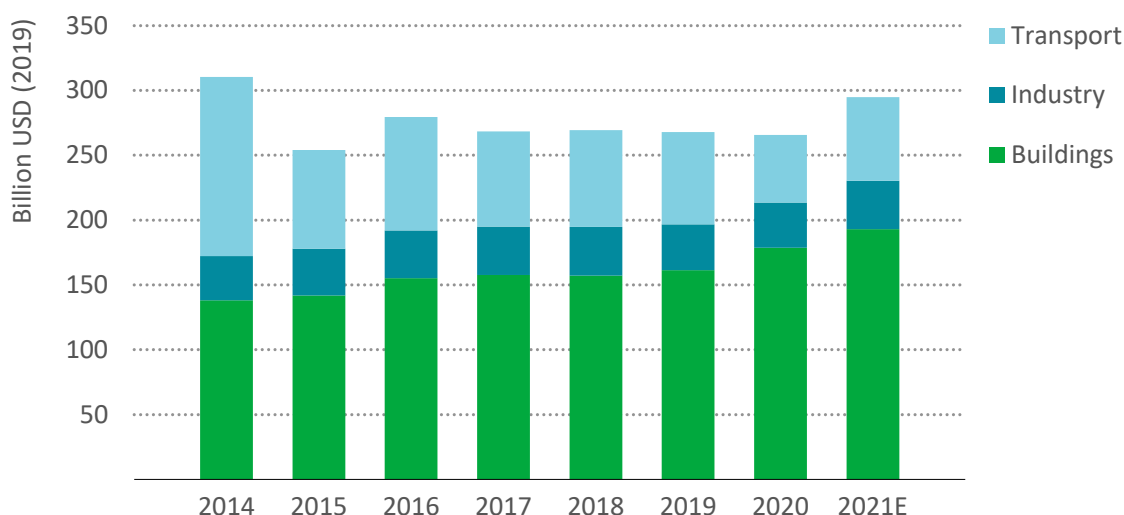
Energy end-use and efficiency

Overview

Energy efficiency investment has faced a difficult environment due to the pandemic. Strains on corporate and household budgets, uncertainty about the pace of recovery, and lower fuel prices create the risk of delay in spending on more efficient buildings, appliances, industrial equipment and vehicles. With weaker economic incentives, government policies and the design of stimulus packages play critical roles in determining the pace of investment.

Trends in efficiency investment in 2020 bear witness to the importance of these policy drivers, as energy efficiency investment in buildings received a boost from existing emissions reduction policies and some stimulus-related government programmes, mostly in Europe. In other regions, however, spending on efficiency has fallen, or grown more slowly, due to a downturn of construction activity. Transport-related efficiency investment fell in 2020, while estimated spending in the industry sector remained stable.

Global investment in energy efficiency by sector

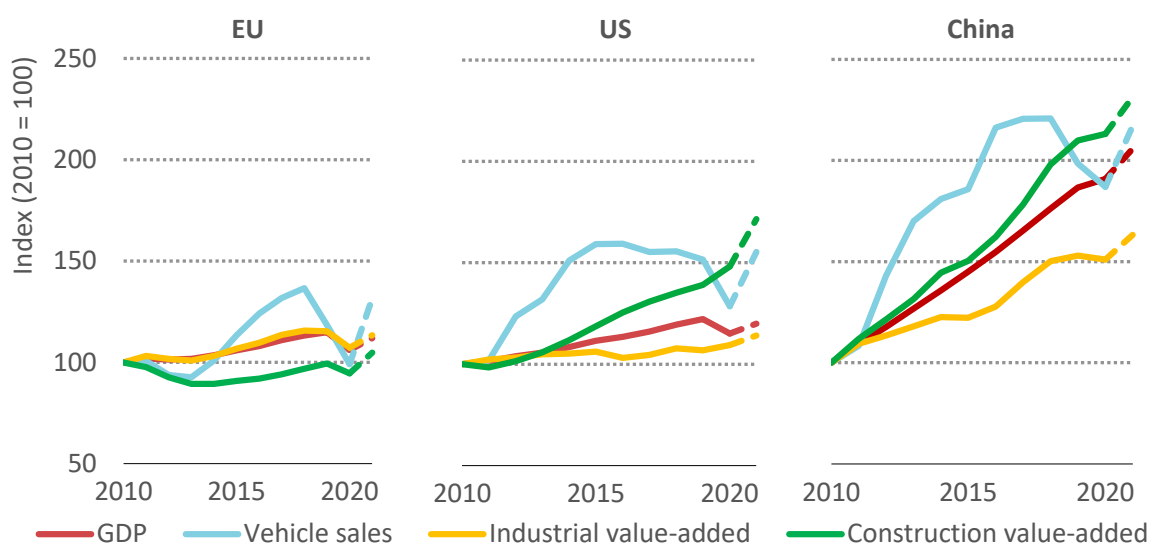


IEA. All rights reserved.

Notes: An energy efficiency investment is defined as the incremental spending on new energy-efficient equipment or the full cost of refurbishments that reduce energy use. The intention is to capture spending that leads to reduced energy consumption. Under conventional accounting, part of this is categorised as consumption rather than investment. For more information, see methodology document.

Trends for efficiency spending in 2021 remain highly uncertain and will depend on the pace of economic recovery – which will shape consumer and corporate demand – as well as on government support and the inclusion of efficiency measures in recovery packages. Based on current expectations, a number of key indicators that shape efficiency spending in China, the United States and Europe are set to rise: vehicle sales in particular, as well as indicators of construction and industrial activity.

Selected indicators influencing efficiency investment in three major economies, 2010-2021E



IEA. All rights reserved.

Notes: GDP = gross domestic product. GDP and value-added are in constant currency units. Sources: IEA calculations based on BEA (2021); Eurostat (2021); NBS (2021).

Buildings

Policies and stimulus spending have put a floor under investment in more efficient buildings

Energy efficiency investment in buildings has caught some policy momentum, allowing the headline global figure to remain robust through the pandemic. Our estimate rose by an unprecedented 11% to almost USD 180 billion in 2020 from over USD 160 billion in 2019. Despite the negative impact of the pandemic on the global building construction sector, which is estimated to have fallen by around 2% to USD 6 trillion in 2020, a ramp-up of investments in Europe was strong enough to accelerate global investments in this area.

PARA: PRODAC SA

Atención : Ing. Franz Álvarez / Ing. German Páez / Ing. José Ibañez
De : Fernando Martínez
Fecha : 30 julio del 2019
Referencia : Sistema de Recuperación de Calor
Presupuesto : **TE19-FM-0047-F**

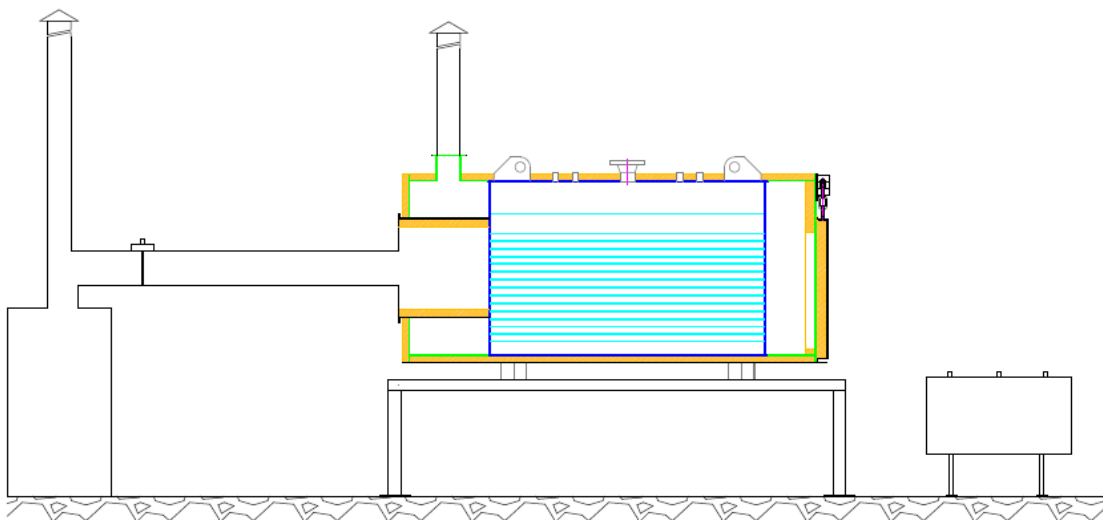


Imagen Referencial

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR

I. ALCANCE:

La presente oferta Técnica – Económica abarca a todas actividades a realizar para la fabricación e instalación de un “Sistema de Recuperación de Calor”, el sistema de recuperación de calor está dimensionado para abastecer de vapor a los siguientes equipos:

Ítem	Estaciones	Ø vapor (pulg)	Ø condensado (pulg)	Consumo máx. vapor (kg/h)	Presión Vapor (barg)	Largo de Tina (mm)	Ancho de tina (mm)	Profund. (mm)	Temp. Deseada (°C)	Temp. Máxima (°C)	Tiempo de Recup. (h)
1	Degrasing	1	1/2	87	3	3,200	1,800.00	550	90	90	3
2	WAP	1 1/4	3/4	150	3	9,100	1,800.00	550	90	95	3
3	Pickling	1/2	1/2	30.6	3	5,000	1,800.00	550	60	70	3
4	Pickling	1/2	1/2	30.6	3	5,000	1,800.00	550	60	70	3
5	Pickling	1/2	1/2	30.6	3	5,000	1,800.00	550	60	70	3
6	Flux	1/2	1/2	30.6	3	2,600	1,800.00	550	80	80	3
7	Wax (Independiente)	1/2	1/2	30.6	3	1,200	1,800.00	550	70	70	3
8	Conditioner	1	1/2	87	3				95	95	3

A continuación, se detalla las actividades a realizar en los siguientes entregables:

- **Suministro de sistema de recuperación de calor**
 - Generador de vapor de 30 BHP de capacidad
 - Estructura de soporte de generador de vapor
 - Tanque de condensado + 2 bombas de recirculación
 - Tablero de control, Sensores y damper motorizado
 - Chimenea de caldera
 - 02 und Manifold de vapor
- **Instalación de sistema de recuperación de calor**
 - Instalación de equipos
 - Paquete de purgas de condensado
 - 02 Ductos de alimentación de gases calientes hacia la caldera de recuperación
 - Línea de distribución de vapor.
 - Línea de retorno de condensado
- **Ingeniería**
 - Desarrollo de ingeniería del sistema de recuperación de calor

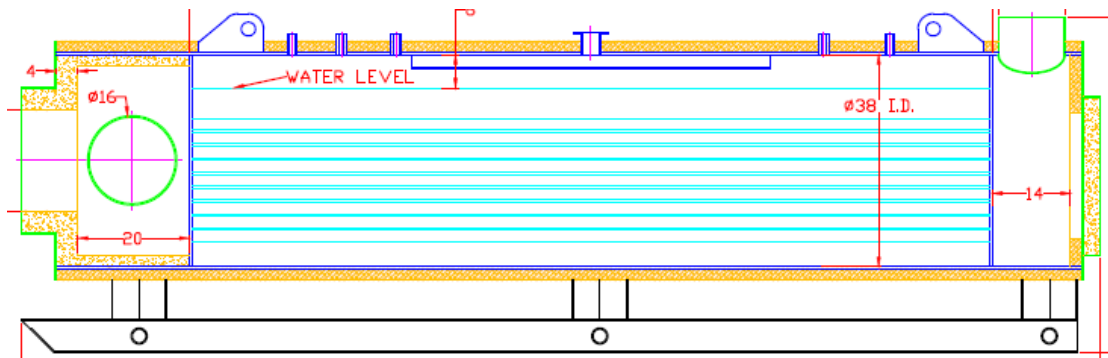
1. SUMINISTRO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR
1.1. GENERADOR DE VAPOR

Suministro de 01 Generador de vapor Pirotubular Horizontal con **estampa ASME**, que se detalla a continuación:

Características Generales

- Marca : HURST
- Procedencia : USA
- Potencia diseño : 30 BHP
- Potencia generada : 27 BHP (Netos)
- Número de pasos : Uno (1)
- Tipo : Pirotubular Horizontal
- Caudal másico del gas residual : 3187.5 Kg/h
- Temperatura de ingreso del gas: 420 °C

- Temperatura de salida del gas : 167 °C
- Capacidad de prod. de vapor : **932 lb/h** a 212 °F (Estándar)
- Presión de operación : **45PSIG.**
- Presión de Prueba Hidrostática : Según **Norma ASME.**
- Eficiencia Térmica : 61.5%.
- Suministro Eléctrico :
 - Fuerza: 380VAC /3ϕ /60 Hz,
 - Mando: 120VAC /1ϕ /60Hz
- Certificaciones : ASME, UL CSD-1, DEP
 - (Controls and Safety devices for automatically)
 - La caldera cuenta con **Estampa ASME.**
- Normas de Diseño : Bajo las Normas ASME
 - Sección I: Calderas de Potencia
 - Sección II: Especificación de Materiales
 - Sección VIII: Recipientes a Presión
 - Sección IX: Calificación de Soldadura
- Funcionamiento y Operación : Automático.
- Estructura del caldero : Tubos, Casco, Flue y Placas según Norma ASME.
- Válvula de Seguridad: Presión Trabajo Caldero 50- 55 PSI.
- Accesorios de control de nivel de agua.
- **Aislamiento**
 - Aislamiento térmico con manta de Fibra Mineral de 2" de espesor.
 - Acabado superficial con Plancha Metálica de aluminio de 0.6mm de espesor.
 - Fabricado bajo los estándares ASME.



1.2. ESTRUCTURA DE SOPORTE GENERADOR DE VAPOR

Estructura de Soporte:

- Estructura de soporte fabricado de acero al carbono ASTM A-36.
- Placa de anclaje a piso fabricado con plancha ASTM A-36 de ½" de espesor.

Recubrimiento Superficial de estructuras:

- Preparación de superficie: Granallado de toda la estructura.
- Pintura: pintura base epoxica a 3 mils EPS y pintura de acabado a 2 mils EPS.

* No se considera trabajos civiles.

1.3. TANQUE DE CONDESANDO + BOMBAS DE RECIRCULACIÓN

Fabricación de Tanque de Condensado para alimentación de agua al caldero de vapor, que se detalla a continuación:

- Tipo : Cilíndrico horizontal
- Capacidad : 30 galones.
- Presión de operación : Atmosférica.
- Presión de diseño : 50 Psi (3.5 Kg/cm²).
- Temperatura de operación : 100° C (212° F.)
- Material : Pl. de acero ASTM A36.
- Accesorios : Soporte de ángulo de fierro de 2½" x ¼".



Contará con:

- Válvula de flotador de bronce para roscar, clase 150 Lbs vapor con boya de cobre.
- Tubo de nivel con válvulas angulares de bronce de ½"φ clase 150 Lbs vapor.
- Tapa de registro de 450 mm φ interior.
- Conexiones para derivaciones con coplas de acero forjado roscado de 3,000 Lbs.
- Termómetro de 0 a 150 °C.
- Acabado: Pintura exterior de anticorrosivo y de acabado.
- Norma de fabricación y pruebas: Código ASME

Aislamiento Térmico:

- Aislamiento con lana mineral según norma ASTM C-547 tipo I y ASTM C-795 con factor de conductividad térmica de 0.043 W/m²K a 100°C.
- Cubierta o enchaquetado con plancha de aluminio de 0.4 mm de espesor, la chaqueta será rolada, pestañeada y traslapada.

Estación de bombeo de alimentación a la caldera:

- **02** Bombas de alimentación Marca: Grundfos, una bomba en operación y una de respaldo.
- Manómetro.

1.4. TABLERO DE CONTROL Y SENSORES

Tablero de control:

Suministro de tablero de control de Dámper de chimenea.

- Tablero mural metálico de 400x300x200mm, Grado protección: IP66, Color: RAL-7035.
- Display de control de sensores.
- Selector de 03 posiciones fijas 2NA, IP66.
- Interruptor termomagnético
- Luces indicadoras de operación, IP66 (Pilotos luminosos).
- Tablero ensamblado de acuerdo con las normas internacionales y nacionales:
 - Sistema de borneras unitarias estructuradas.
 - Alambrado y conectores completos en interior de canaletas

Sensor de presión para control motorizado de dámper ingreso caldero recuperador:

- Sensor de presión.
- 2 Dámper motorizado.

1.5. CHIMENEA DE CALDERA

Fabricación de chimeneas con plancha ASTM A-36, con las siguientes características:

- Altura : 5.0 m.
- Diámetro : 20"

- Material : Acero al carbono ASTM A-36.
- Tipo de juntas : Soldado a tope.
- Unión : Con bridas empernadas.
- Fabricación de sombrero chino para la chimenea.
- Soldado de copla de $\varnothing \frac{1}{2}$ " a 300 mm de la brida de salida de la caldera para prueba de emisión de gases de combustión.
- Pintado con pintura resistente a alta temperatura de color aluminio.

1.6. MANIFOLD DE VAPOR (2 UND)

Fabricación de **02** Manifold para salida de vapor y llegada de vapor, que se detalla a continuación:

Características generales:

- Tipo : Horizontal.
- Diámetro : 5" ϕ
- Presión de operación : 120 PSI.
- Material : ASTM A-53.
- Espesor : SCH-40.
- Norma Fabricación y Pruebas: Código ASME.

Cuerpo y base:

- Cuerpo fabricado con Tubo ASTM A-53 SCH-40 de 5" ϕ .
- Estructura de soporte fabricado con perfiles y planchas ASTM A-36.
- Placas de anclaje a piso con plancha ASTM A-36.
- Granallado, pintado base epoxico y pintado de acabado epoxico a un espesor final de 6 mils EPS, color negro RAL a confirmar.

Conexiones de ingreso y salida:

- 01 entrada de 2 1/2 " ϕ con tubería SCH-40, terminación Brida tipo anillo acero ASTM A105 ANSI B16.5 150 lb, incluye suministro de válvula.
- 01 entrada de 3" ϕ con tubería SCH-40, terminación Brida tipo anillo acero ASTM A105 ANSI B16.5 150 lb, incluye suministro de válvula.
- 01 salida de 3" ϕ con tubería SCH-40, terminación Brida tipo anillo acero ASTM A105 ANSI B16.5 150 lb, incluye suministro de válvula.
- Granallado y pintado a una mano con pintura resistente a alta temperatura, color aluminio.

Aislamiento Térmico:

- Aislamiento con lana mineral según norma ASTM C-547 tipo I y ASTM C-795 con factor de conductividad térmica de 0.043 W/m²K a 100°C.
- Cubierta o enchaquetado con plancha de aluminio de 0.4 mm de espesor, la chaqueta será rolada, pestañeada y traslapada.

2. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR

2.1. INSTALACIÓN DE EQUIPOS

Instalación de Sistema de recuperación de calor que se detalla a continuación:

- **Montaje de Generador de Vapor:**
 - ✓ Transporte de equipos y accesorios.
 - ✓ Montaje de Soporte.
 - ✓ Montaje de generador de vapor.
 - ✓ Montaje de tanque de condensado.
 - ✓ Montaje de la Chimenea.
 - No se considera resane y/o trabajos civiles sobre la base existente.

- **Instalación de línea de alimentación de agua:**
Instalación de la línea de alimentación de agua desde la acometida de agua existente hasta el ingreso de agua de la caldera de vapor aproximadamente 2 metros lineales:
 - ✓ Suministro e instalación de línea de tubería de alimentación con tubería ASTM A-53 SCH-40 de $\varnothing 1''$, conexiones industriales (Codos, tee, etc.) de $\varnothing 1 \frac{1}{4}''$ de 150 Lbs., etc.
 - ✓ Instalación de accesorios de control:
 - Válvulas Check tipo Disco.
 - Manómetro.
 - Válvula de bola.
 - Filtro tipo Y, etc.

 - **Instalación de línea de control de Nivel**
Instalación del sistema de control de nivel principal y auxiliar:
 - ✓ Suministro e instalación de tubería ASTM A-53 SCH-40 de $\varnothing 1''$, conexiones industriales (Codos, tee, etc.) de $\varnothing 1''$ de 150 Lbs., etc.
 - ✓ Instalación de accesorios de control:
 - Columna de Nivel
 - Válvulas de bola, etc.
 - ✓ Granallado y pintado de las tuberías.

 - **Instalación de sistema de purgas:**
Instalación de las líneas de purga de fondo, de columna de nivel y superficie longitud no mayor a 6 metros:
 - ✓ Instalación de purgas de Columna de Nivel:
 - Suministro de tubería ASTM A-53 SCH-40 de $\varnothing 1''$ y conexiones industriales (Tee, codo, etc.) de $\varnothing 1'' \times 150$ lbs.
 - Instalación de línea de purga.
 - Instalación de válvula de bola.
 - ✓ Instalación de purgas de Fondo:
 - Suministro de tubería ASTM A-53 SCH-40 de $\varnothing 1''$ y conexiones industriales (Tee, codo, etc.) de $\varnothing 1'' \times 150$ lbs.
 - Instalación de línea de purga de fondo.
 - Instalación de accesorios:
 - ✓ Granallado y pintado de las tuberías.

 - **Instalación de sistema de control**
Instalación de todo el sistema de control y mando de la caldera de vapor que incluye:
 - ✓ Instalación de la acometida eléctrica al caldero al caldero (Ubicada cerca al Caldero) y acometida al tablero de bomba de agua.
 - ✓ Cableado y canalización interna de control entre el caldero y sus accesorios:
 - Interconexión con los tableros de mando.
 - Interconexión de columna de nivel.
 - Interconexión de Presostatos
 - Interconexión de la bomba de agua.
 - Interconexión del sistema de control de ingreso de gases calientes.
 - ✓ Cableado y canalización interna de fuerza entre el caldero y sus accesorios:
 - Interconexión con los tableros de mando.
 - Interconexión de la bomba de agua.
 - Interconexión del quemador.
- * No se considera aterramiento de los equipos, ni tableros.

- **Pruebas de operatividad de los sistemas de control:**

- ✓ Pruebas del Sistema de control de nivel:
 - Arranque de bombas de agua por bajo nivel de agua.
 - Parada de bomba de agua cuando llega a su nivel.
 - Arranque y parada del Quemador de acuerdo con la presión de la caldera.
- ✓ Pruebas del sistema de alimentación de gases calientes.

2.2. DUCTO DE ALIMENTACIÓN DE GASES CALIENTES A LA CALDERA DE RECUPERACIÓN

Fabricación e instalación de ducto de alimentación de gases calientes, fabricado con plancha de acero al carbono ASTM A-36:

- Longitud : 2 m.
 - Diámetro : 25"
 - Material : Acero al carbono ASTM A-36.
 - Tipo de juntas : Soldado a tope.
- Fabricación de brida de amarre a generador de vapor.
- Pintado con pintura resistente a alta temperatura de color aluminio.
- Aislamiento térmico del ducto de alimentación de gases calientes.

2.3. LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

Suministro e instalación de líneas de distribución desde la válvula de salida de vapor hasta las líneas de distribución de vapor existentes, que se detalla a continuación:

- 06 metros de Línea de Vapor de 2 1/2" Ø aproximadamente.

Ítem	Descripción	Und.	Cant.
1	LÍNEA DE VAPOR CON TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTM A53 GR/B SCH40 DE 3"	MTS	6.00

Red de Distribución:

- Suministro e instalación de red con tubería acero al carbono ASTM A-53 SCH-40 de 2 1/2" Ø Conexiones industriales soldables (Codo, Tee, etc.) SCH-40, según ASME B16.9 ASTM A-234.
- Conexiones industriales roscables (Codos, Bushing, etc.) rosca NPT, clase 150, A-197.
- Pintura resistente a alta temperatura, color aluminio.

Soportes:

- Soportes tipo brazo fabricado con perfiles ASTM A-36.
- Placas de anclaje a piso con plancha ASTM A-36.
- Granallado, pintado base epoxico y pintado de acabado epoxico a un espesor final de 6 mils EPS, color negro RAL a confirmar.

Aislamiento Térmico:

- Aislamiento térmico con cañuela de lana mineral ASTM C-547 Tipo I, densidad 80 kg/m³. Enchaquetado con aluminio liso de 0.5 mm, sujetos con autoroscantes y sus respectivas señalizaciones.

Diámetro Tubería	Espesor Aislamiento
Ø 2 1/2"	2"

2.4. INTERCONEXIÓN DE LÍNEAS Y VÁLVULA BACK PRESSURE

Suministro e instalación de líneas de vapor hasta los ingresos hacia los manifolds para la interconexión:

- 03 metros de Línea de Vapor de 1" Ø aproximadamente.
- 03 metros de Línea de Vapor de 1 1/2" Ø aproximadamente

Ítem	Descripción	Und.	Cant.
1	LÍNEA DE VAPOR CON TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTM A53 GR/B SCH40 DE 1"	MTS	3.00
1	LÍNEA DE VAPOR CON TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTM A53 GR/B SCH40 DE 1 1/2"	MTS	3.00

Soportes:

- Soportes tipo brazo fabricado con perfiles ASTM A-36.
- Placas de anclaje a piso con plancha ASTM A-36.
- Granallado, pintado base epoxico y pintado de acabado epoxico a un espesor final de 6 mils EPS, color negro RAL a confirmar.

Aislamiento Térmico:

- Aislamiento térmico con cañuela de lana mineral ASTM C-547 Tipo I, densidad 80 kg/m³. Enchaquetado con aluminio liso de 0.5 mm, sujetos con autoroscantes y sus respectivas señalizaciones.

Diámetro Tubería	Espesor Aislamiento
Ø 1"	2"
Ø 1 1/2"	2"

Suministro e instalación de válvula reguladora de presión Back Pressure:

- Se montará una válvula reguladora de presión pilotada Back pressure de 1" Watson Mc Daniel.

2.5. LÍNEA DE RETORNO DE CONDENSADO

Suministro e instalación de línea de retorno de condensado desde los puntos de retorno de condensado existentes, que se detalla a continuación.

- 02 metro de línea de vapor de 1" Ø aproximadamente.

Ítem	Descripción	Und.	Cant.
1	LÍNEA DE VAPOR CON TUBO REDONDO ACERO AL CARBONO ASTM A53 GR/B SCH40 DE 1"	MTS	2.00

Red de retorno:

- Suministro e instalación de red con tubería acero al carbono ASTM A-53 SCH-40 de 1" Ø
- Conexiones industriales soldables (Codo, Tee, etc.) SCH-40, según ASME B16.9 ASTM A-234.
- Conexiones industriales roscables (Codos, Bushing, etc.) rosca NPT, clase 150, A-197.
- Pintura resistente a alta temperatura, color aluminio.

Soportes:

- Soportes tipo brazo fabricado con perfiles ASTM A-36.
- Placas de anclaje a piso con plancha ASTM A-36.
- Granallado, pintado base epoxico y pintado de acabado epoxico a un espesor final de 6 mils EPS, color negro RAL a confirmar.

Aislamiento Térmico:

- Aislamiento térmico con cañuela de lana mineral ASTM C-547 Tipo I, densidad 80 kg/m³. Enchaquetado con aluminio liso de 0.5 mm, sujetos con autorroscantes y sus respectivas señalizaciones.

Diámetro Tubería	Espesor Aislamiento
Ø 1"	1"

3.- INGENIERÍA

Ingeniería del Sistema de Recuperación de calor, que se detalla a continuación:

- Dimensionamiento y Selección del Equipo de Recuperación de calor.
- Dimensionamiento y Selección del Sistema de vapor y condensado.
- Diseño del tablero del control del Sistema de Recuperación de Calor.
- Balance de masa y energía del Sistema de Recuperación de calor.
- Selección de equipos y accesorios de instrumentación y control.
- Elaboración de planos P&D.
- Elaboración de planos de fabricación de equipos auxiliares.
- Memoria descriptiva del Sistema.
- Filosofía de control del Sistema.

3. CONDICIONES GENERALES:

Condiciones Técnicas:

- Prueba de Hermeticidad de la Red de Tuberías.

Condiciones Generales:

- La propuesta incluye solo entregables mencionados.
- Los trabajos se realizarán bajo supervisión de un 01 Técnico Supervisor especializado de nuestra división de Proyectos, Vapor y Fluidos Térmicos, instalaciones Industriales y procesos afines.
- Los costos de SCTR, EPP, etc. es por cuenta de TERMODINAMICA S.A.
- No se considera costos por examen médico de ingreso a obra.
- TERMODINAMICA SA solicita las facilidades necesarias para realizar el trabajo como liberación de área, permisos, etc. en caso de generar retraso en la ejecución del servicio por parte del cliente, se cotizará las horas hombre perdidas como adicional.
- El Cliente proporcionara espacio para el almacenamiento de equipos y herramientas.
- El Cliente suministrará el punto eléctrico, y punto de agua para los trabajos y pruebas.
- Los SSHH para el personal de Termodinámica S.A, serán suministrados por el Cliente.
- Acarreo de equipos, materiales y Herramientas a cuenta de TERMODINAMICA S.A.

Excepciones:

- Obras civiles, pases, canaletas, etc.
- Seguros no considerados en la propuesta, como responsabilidad Civil, TREC, Equipos, SOAT, etc.
- Seguridad de los equipos y herramientas después de las horas del trabajo.

4. PROPUESTA ECONOMICA:

PRESUPUESTO EN DOLARES					
ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	SUBTOTAL
1.0	SUMINISTRO DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR				
1.1	GENERADOR DE VAPOR DE 30 BHP – 1 PASO (ESTAMPA ASME)	PZA	1.00	\$48,500.00	\$48,500.00
1.2	ESTRUCTURA DE SOPORTE DE GENERADOR DE VAPOR	PZA	1.00	\$1,091.60	\$1,091.60
1.3	TANQUE DE CONDENSADO + 2 BOMBAS DE RECIRCULACIÓN	GLB	1.00	\$6,219.39	\$6,219.39
1.4	TABLERO DE CONTROL Y SENSORES DE TEMPERATURA	GLB	1.00	\$4,926.21	\$4,926.21
1.5	CHIMENEA DE CALDERA	PZA	1.00	\$1,462.87	\$1,462.87
1.6	MANIFOLD DE VAPOR Y VÁLVULAS DE CONEXIÓN	PZA	2.00	\$3,018.26	\$6,036.52
2.0	INSTALACIÓN DE SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR				
2.1	INSTALACIÓN DE EQUIPOS	GLB	1.00	\$4,313.54	\$4,313.54
2.2	DUCTO DE ALIMENTACIÓN DE GASES CALIENTES A LA CALDERA DE RECUPERACIÓN	PZA	2.00	\$3,444.70	\$6,889.40
2.3	LINEA DE DISTRIBUCIÓN DE VAPOR	GLB	1.00	\$2,825.70	\$2,825.70
2.4	INTERCONEXIÓN DE LÍNEAS Y VÁLVULA BACK PRESSURE	GLB	1.00	\$2,487.63	\$2,487.63
2.5	LINEA DE RETORNO DE CONDENSADO	GLB	1.00	\$1,810.56	\$1,810.56
3.0	INGENIERÍA				
3.1	DESARROLLO DE INGENIERÍA DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	GLB	1.00	\$3,035.78	\$3,035.78
SUMA SUBTOTAL					\$89,599.20
DESCUENTO TOTAL					\$3,099.20
PRECIO TOTAL FINAL SIN IGV					\$86,500.00

5. CONDICIONES COMERCIALES:

- **Moneda: Dólares Americanos**
- **Tiempo de entrega:**
 - Importación de equipo: 12 a 14 semanas.
 - Instalación: 02 semanas.
- **Forma de pago: 30% de adelanto, 60% valorización y 10% contra entrega.**
- **Inicio de Trabajos:** Previa OC recibida y/o Coordinación.
- **Validez de la oferta:** 30 días.
- **La presente cotización no incluye el impuesto general a las ventas (IGV)**
- Si nuestra cotización es aceptada favor enviar la orden de servicio a:
 - TERMODINÁMICA S.A.
 - RUC 20504638422

Sin otro particular por el momento, quedamos a su disposición para cualquier consulta.

Atentamente,



Fernando Martínez

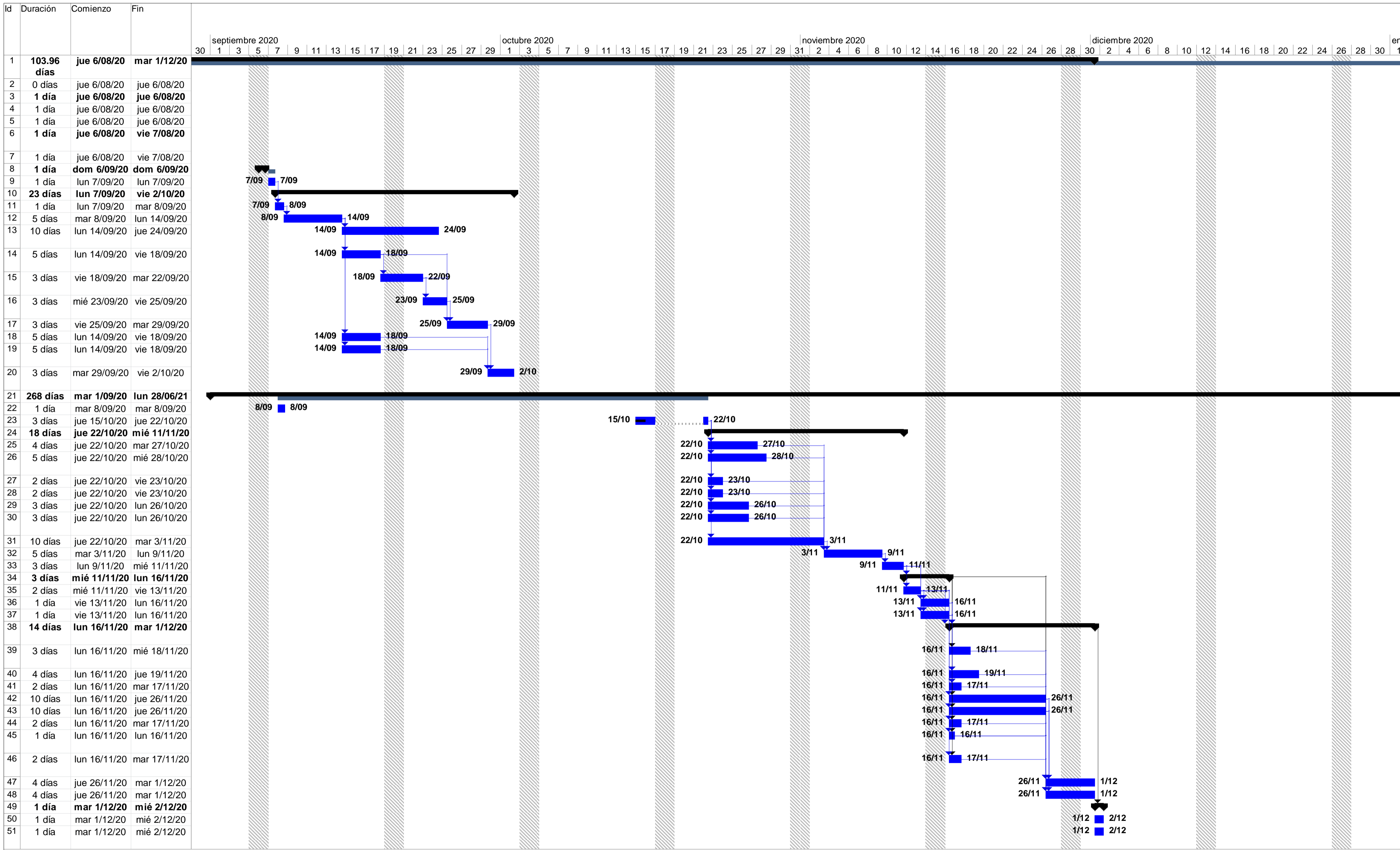
Ingeniero de Proyectos

Calle Víctor Reynel 1045 Lima 01, Perú

Telf. (51) 336-6850 Anexo: 235

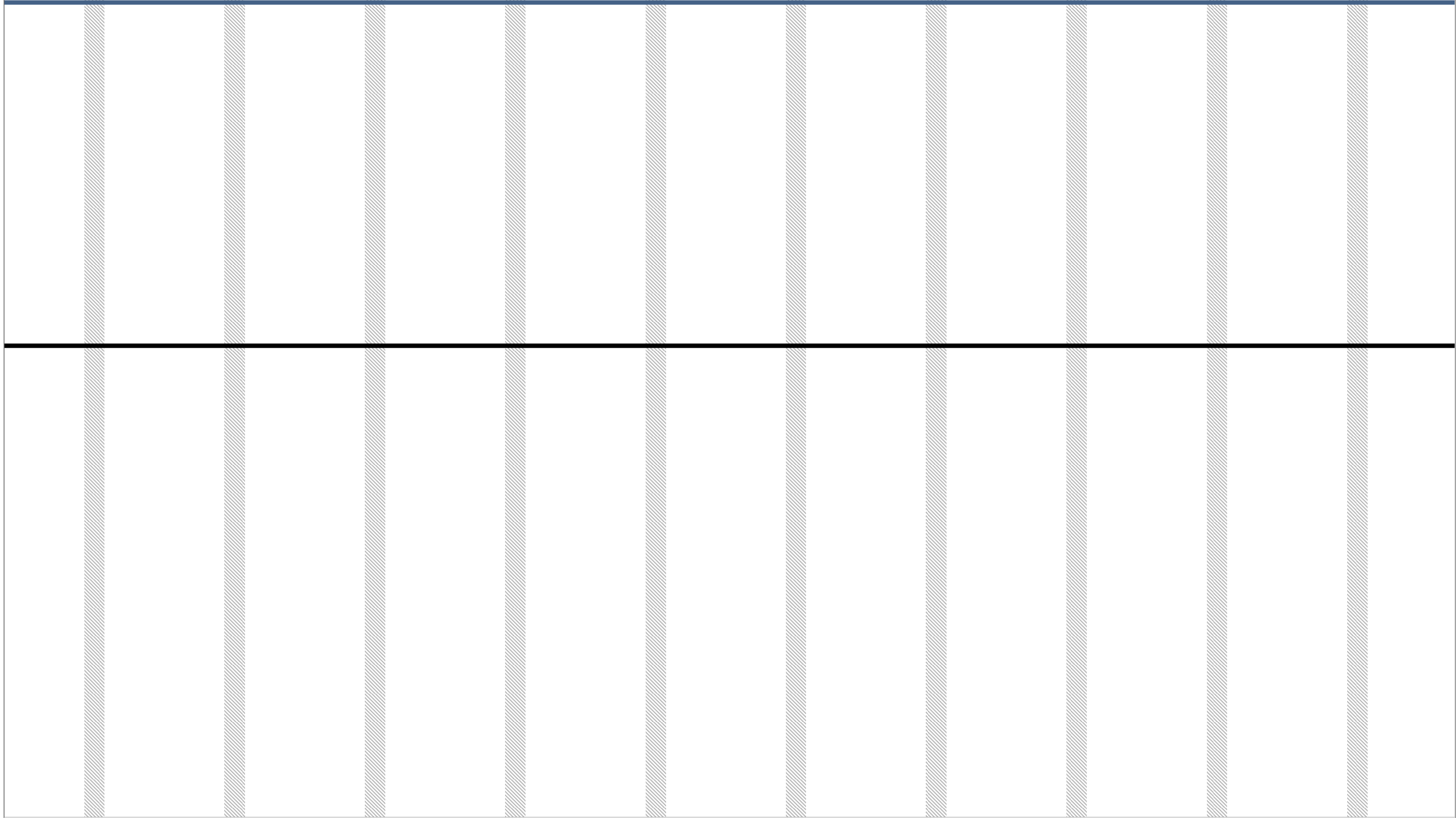
Cel. 921633686 / 932985268

www.termodinamica.com.pe - Síguenos en 



Proyecto: msproj11 Fecha: jue 13/01/22	Tarea	Agrupar por síntesis	Tareas externas	Tarea manual	solo fin	Progreso
	División	Tarea resumida	Hito externo	solo duración	Fecha límite	Progreso
	Hito	Tarea crítica resumida	Tarea inactiva	Informe de resumen manual	Tarea crítica	Progreso
	Resumen	Hito resumido	Hito inactivo	Resumen manual	Tareas críticas	Progreso
	Resumen del proyecto	Progreso resumido	Resumen inactivo	solo el comienzo	División crítica	Progreso

enero 2021 | febrero 2021 | marzo 2021 | abril 2021 | mayo 2021



Proyecto: msproj11 Fecha: jue 13/01/22	Tarea		Agrupar por síntesis		Tareas externas		Tarea manual		solo fin		Progreso	
	División		Tarea resumida		Hito externo		solo duración		Fecha límite			
	Hito		Tarea crítica resumida		Tarea inactiva		Informe de resumen manual		Tarea crítica			
	Resumen		Hito resumido		Hito inactivo		Resumen manual		Tareas críticas			
	Resumen del proyecto		Progreso resumido		Resumen inactivo		solo el comienzo		División crítica			



PROYECTO:

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR



MANUAL DE OPERACIÓN

Documento:

21VPST001-MOPRO01-A

Revisión:

A

Página:



1 de 9

Rev.	Descripción	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
0	MANUAL DE OPERACIÓN	19-01-21	Nander Acosta	Rafael Calle	Rafael Calle

Lista de Revisiones



© TERMODINAMICA S.A. Este documento y la información contenida en él son propiedad de TERMODINAMICA S.A. y no pueden ser difundidas sin aprobación previa.

Termodinamica S.A. – Jr. Víctor Reynel 1045 - Lima – Perú

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 2 de 9

ÍNDICE

1.	OBJETIVO	3
2.	ALCANCE.....	3
3.	DEFINICIONES.....	4
3.1	Tablero de control del sistema recuperador de calor	4
3.2	Tablero de control de presión.....	6
4.	PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA	7
4.1	Puesta en marcha del sistema recuperador de calor	7
4.2	Puesta en marcha del sistema de control de presión.....	7
5.	RECOMENDACIONES	8

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 3 de 9

MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR Y DEL SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN

1. OBJETIVO

Describir los pasos para facilitar el uso del sistema de recuperación de calor y del sistema de control de presión, para así maximizar los beneficios del sistema.

2. ALCANCE

El manual aplica para el uso del sistema de recuperación de calor y el sistema de control de presión, adquiridos por la empresa Prodac S.A.



Figura N° 1 – Equipo recuperador de calor



	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 4 de 9





Figura N° 2 – Sistema de control de presión

3. DEFINICIONES

3.1 Tablero de control del sistema recuperador de calor

Este tablero tiene la función de controlar los modos de operación automático y manual del sistema de recuperación de calor, controla bombas de alimentación de agua a caldero, dámper motorizados, caldero y blower.

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 5 de 9

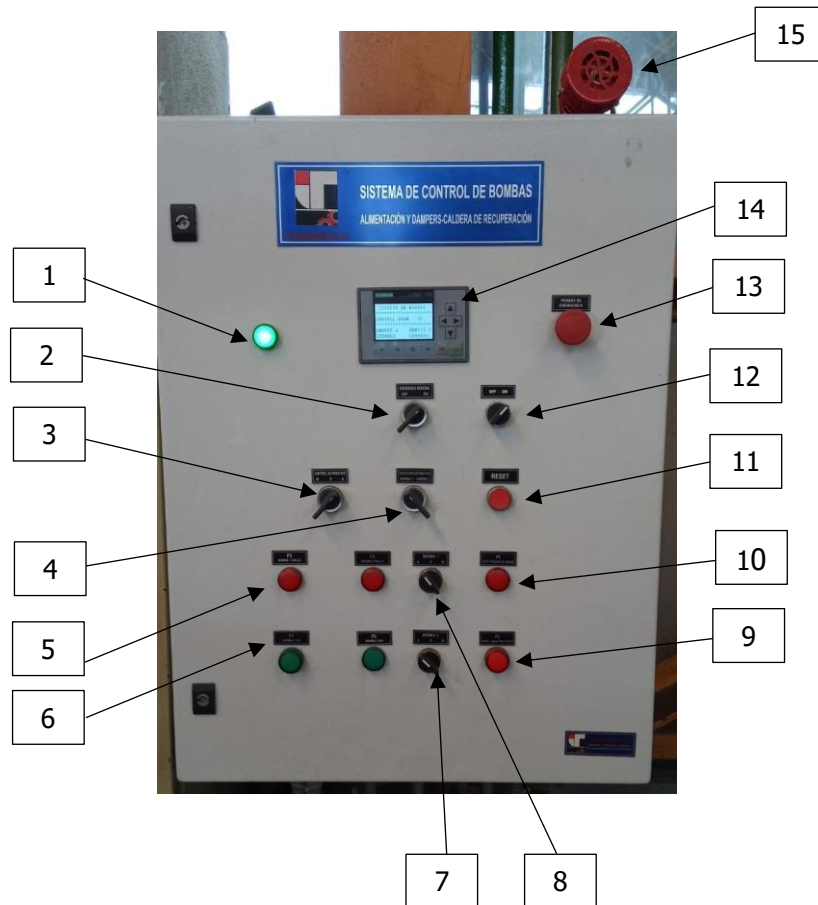




Figura N° 3 – Tablero de control del sistema recuperador de calor

- 1) Lampara de indicación de energizado del sistema, color verde.
- 2) Selector Off/On, para energizar el sistema de recuperación de calor.
- 3) Selector Manual/0/Automático del modo de operación del sistema.
- 4) Selector Bomba N°1/Bomba N°2, para selección de la bomba que alimentará al caldero.
- 5) Lampara de indicación de fallas en las bombas N°1 y N°2 respectivamente, color rojo.
- 6) Lampara de indicación de operación en las bombas N°1 y N° 2 respectivamente, color verde.
- 7) Selector Automático/0/Manual de la bomba N°2, para selección del modo de operación.
- 8) Selector Automático/0/Manual de la bomba N°1, para selección del modo de operación.
- 9) Lampara de indicación de nivel de agua muy bajo en el caldero, color rojo.
- 10) Lampara de indicación de presión muy alta en el caldero, color rojo.

	<i>Ciente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 6 de 9

- 11) Pulsador de reset.
- 12) Selector Off/On, para energizar el blower.
- 13) Pulsador de parada de emergencia.
- 14) Pantalla de interfaz máquina hombre HMI, donde se visualiza el estado de operación del sistema.
- 15) Sirena.

3.2 Tablero de control de presión

Este tablero tiene la función de controlar la válvula reguladora de presión, mediante el seteo de la presión en el manifold N°2.

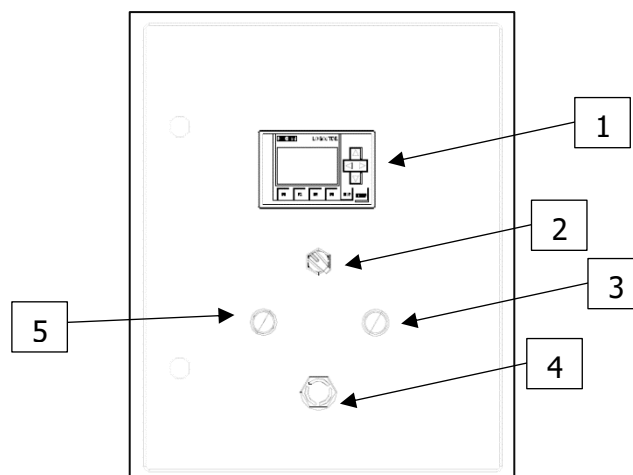




Figura N° 4 – Tablero de control de presión

- 1) Pantalla de interfaz máquina hombre HMI, donde se configura el set point de presión en el manifold.
- 2) Selector Off/On, para energizar el tablero de control de presión.
- 3) Lámpara de indicación de falla, color rojo.
- 4) Pulsador de reset.
- 5) Lámpara de indicación de operación, color verde.

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 7 de 9



4. PROCEDIMIENTO DE PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

4.1 Puesta en marcha del sistema recuperador de calor

Paso N°	Descripción detallada
1	Energizar tablero de control del sistema de recuperación de calor, con el selector N°2, la lámpara verde N°1 se mantendrá encendida mientras el tablero este energizado.
2	Encender el blower con el selector N°12, verificar que el dámper a la descarga del blower se encuentre abierto. También verificar que el dámper manual de ingreso de gases al caldero este aperturado.
3	Seleccionar el modo de operación automático con el selector N°12.
4	Seleccionar la bomba que operará, con el selector N°4, verificar que las válvulas de succión y descarga de la bomba estén completamente aperturadas, verificar que las válvulas de la bomba que no operará estén completamente cerradas.
5	Realizados los pasos anteriores procederán a cerrar los dámpers motorizados N°1 y N°2 de manera automática, correspondientes a la tina de Zinc y Bezinal respectivamente. En la pantalla del tablero se visualizará el estado de los dampers.

4.2 Puesta en marcha del sistema de control de presión.

Paso N°	Descripción detallada
1	Energizar tablero de control del sistema de recuperación de calor, con el selector N°2. Verificar que las válvulas V2 y V4 estén completamente aperturadas. (ver figura N°5)
2	En la pantalla táctil se visualizan las opciones F1, F2, F3: - F1: Subir el set point de presión - F2: Bajar el set point de presión - F3: Aceptar el set point de presión
3	Presionar F1 o F2 según la presión que se quiere establecer como set point.
4	Presionar la tecla F3 para aceptar el set point. Proceder a cerrar la válvula manual V1 (ver figura N°5) ubicada en el bypass de la válvula reguladora de presión.
5	Realizados los pasos anteriores la válvula de control de presión entrara en funcionamiento.

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 8 de 9

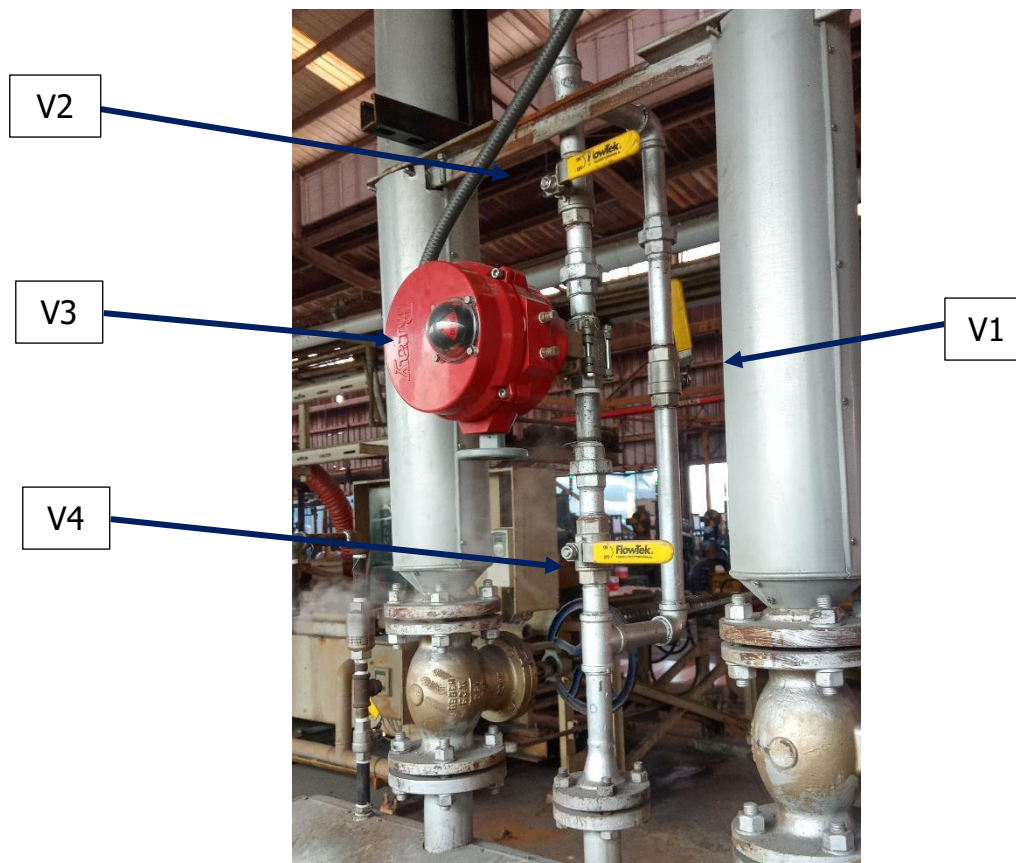




Figura N° 4 – Tablero de control de presión

5. RECOMENDACIONES

- TERMODINAMICA recomienda al personal técnico revisar el manual de operación del equipo recuperador de calor.
- TERMODINAMICA recomienda supervisión constante de los parámetros de operación del sistema: presión de vapor, temperatura de gases en la chimenea del equipo, nivel de condensando en el tanque, etc.
- TERMODINAMICA recomienda mantenimiento periódico a los diversos componentes del sistema de recuperación de calor.

	<i>Cliente:</i> PRODAC S.A.	
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	Fecha: 19/01/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MOPRO01-A Página 9 de 9

- TERMODINAMICA recomienda evitar el contacto con el ducto de gases calientes, ya que carece de aislamiento y en una medición de temperatura superficial se obtuvieron valores superiores a los 100 °C.
- TERMODINAMICA recomienda que solo personal capacitado manipule los componentes del sistema, tales como válvulas, dampers, tablero de control, etc.



Proyecto:
INGENIERÍA DE DETALLE: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR



MANUAL DE MANTENIMIENTO


Documento: 21VPST001-MMPRO01-A	Revisión: A	Página: 1 de 9
--	-----------------------	-------------------

0	MANUAL DE MANTENIMIENTO	06-04-21	N. Acosta	Rafael Calle	Rafael Calle
Rev.	Descripción	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó

Lista de Revisiones


© TERMODINAMICA S.A. Este documento y la información contenida en él son propiedad de TERMODINAMICA S.A. y no pueden ser difundidas sin aprobación previa.

Termodinamica S.A. – Jr. Víctor Reynel 1045 - Lima – Perú


	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 2 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

ÍNDICE

1.	INFORMACION GENERAL	4
1.1	Introducción.....	4
1.2	Instalación	4
1.3	Regulaciones.....	4
1.4	Recomendaciones generales	4
2.	SEGURIDAD.....	5
2.1	Generales	5
2.2	Para el operario	6
2.3	Con el suministro eléctrico	7
2.4	Durante el encendido de la caldera.....	8
2.5	Áreas de seguridad	9
2.6	Durante el mantenimiento	9
2.7	En caso de mantenimiento: Solo técnicos preparados pueden intervenir en la máquina	11
3.	COMPONENTES DE CONTROL EN EL EQUIPO	12
3.1	Columna de agua y control de bajo nivel de agua	12
3.2	Control de nivel de agua.....	12
3.3	Control de presión de vapor	12
3.4	Quemador.....	12
4.	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA	12
4.1	Calidad del agua	13
4.2	Bomba de alimentación de agua.....	13
4.3	Tanque de condensado	13
5.	LINEA DE VAPOR	14
5.1	Válvula de cierre.....	14
5.2	Aislante térmico.....	14
6.	LÍNEA DE PURGA DE LA CALDERA	14
6.1	Tubería de purga	14
6.2	Válvula de purga.....	15
6.3	Tanque de purga	15
7.	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN.....	15
7.1	Primera puesta en marcha	15
7.2	Puesta en marcha	17
7.3	Funcionamiento de la caldera.....	18

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 3 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

8. RECOMENDACIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO..... 19

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 4 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA CALDERA DE 30 BHP

1. INFORMACION GENERAL

1.1 Introducción

Este manual es una parte esencial del sistema y debe ser consignado para su uso. Estas instrucciones deben ser cuidadosamente leídas ya que proveen importante información acerca de las normas de seguridad para la instalación, uso y mantenimiento. Este manual debe ser guardado en un lugar seguro, para futuras consultas.

1.2 Instalación

La instalación de la caldera, radiadores y accesorios relacionados con el sistema de vapor deben cumplir con las normas vigentes de seguridad requeridas legalmente.

La instalación y la puesta en marcha de la caldera y del sistema de vapor debe ser realizado por personal técnico autorizado.


Personal técnico autorizado es alguien con habilidades técnicas específicas en el sector de componentes de sistemas de vapor industriales y producción de agua caliente.

1.3 Regulaciones

La instalación debe ser de acuerdo con las regulaciones vigentes del país con respecto a la sala de calderas, dispositivos de seguridad, chimenea, líneas de suministro de combustible, instalación eléctrica y cualquier otro requerimiento local importante.

1.4 Recomendaciones generales

- Antes de encender la caldera, verificar el parámetro de presión, si se excede la presión de diseño, se corre el riesgo de explosión.
- Este equipo ha sido concebido y diseñado para la generación de vapor saturado CUALQUIER OTRO USO distinto al descrito sin autorización escrita del fabricante, se considera contraindicación de uso.
- Este equipo cuenta con la Garantía de Termodinamica S.A, especificada en la oferta y/o Orden de Compra.
- Este equipo ha sido diseñado para uso exclusivo de agua blanda, el uso probado de otro fluido sin la autorización escrita del fabricante, es consecuente de la PÉRDIDA DE GARANTÍA.
- Este equipo debe ser conectado a un sistema de vapor y debe TRABAJAR DENTRO

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 5 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

de su performance y límites de salida.


- LIMPIAR periódicamente el equipo, con lo cual se evitará el desperfecto de las partes electrónicas y controles de presión, por lo que aumentará el rendimiento y se alargará la vida del mismo.
- Se recomienda el uso de un cuaderno de control, en el cual se llevará el seguimiento diario de parámetros tales como presión, consumo de combustible, purgas, etc.
- En caso de periodos largos de no utilización de la caldera, es necesario PROTEGERLA rigurosamente frente a humedades y variaciones ambientales de temperatura.
- OBSERVAR los consejos de tratamiento de uso del equipo.
- Cualquier negligencia demostrada en el uso de este equipo puede ser causa de la PÉRDIDA DE LA GARANTÍA.
- El fabricante no acepta ninguna responsabilidad por daño causado por una incorrecta instalación o uso del equipo. Las instrucciones del fabricante deben ser totalmente seguidas.
- Cualquier copia o reproducción de los manuales de instrucciones de este equipo está estrictamente prohibido sin la AUTORIZACIÓN ESCRITA de TERMODINAMICA S.A

2. SEGURIDAD

Las siguientes precauciones de seguridad deben ser estrictamente observadas y acatadas:

2.1 Generales


- Este manual de instrucción es un parte esencial e importante del equipo y debe ser entregado a todos los usuarios del equipo.
- Leer cuidadosamente lo que sigue y atenerse escrupulosamente a las instrucciones facilitadas para evitar cualquier inconveniente o accidente. Todo personal responsable de la instalación, operación, mantenimiento o reparación del equipo debe leer este manual completamente.
- El manual, y cualquier documentación adicional, deben ser guardados en un área limpia y fácilmente accesible a todo el personal de operación y mantenimiento.
- La instalación del equipo debe ser realizada de acuerdo a las regulaciones vigentes en el país, las instrucciones del fabricante y personal técnico autorizado. El espacio donde el equipo será colocado debe cumplir con las especificaciones de local y estado. Si estas especificaciones y los procedimientos de instalación recomendados no son seguidos, Termodinamica S.A no es responsable por cualquier percance ocurrido.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 6 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- La incorrecta instalación del equipo puede causar injurias a las personas y daños materiales, de los cuales Termodinamica S.A no se hace responsable.
- Al recibir el equipo verificar que no hay partes rotas o perdidas.
- Si está en duda, no use el equipo y contacte al Servicio técnico de Termodinamica S.A , al mail serviciostermicos@termodinamica.com.pe o clientes@termodinamica.com.pe
- No obstruir las rejillas de ventilación o de disipación de calor.
- Si el equipo se avería o no funciona bien, apáguelo y no trate de repararlo o intervenir en él de alguna manera. Contacte al personal técnico autorizado.
- Cualquier reparación debe ser realizada por servicio técnico autorizado por el fabricante. Solo deben ser usados repuestos originales.
- Como personal técnico autorizado se entiende a aquellos específicamente entrenados en el área de sistemas de vapor para uso industrial, en particular Servicio técnico autorizado por Termodinamica S.A
- Para garantizar la eficiencia y alta performance del sistema debe realizarse un mantenimiento anual del equipo por personal técnico autorizado. Debe seguirse las instrucciones del fabricante.
- El equipo debe ser usado para el propósito para el cual fue expresamente diseñado. Cualquier otro uso se considera inadecuado y por lo tanto peligroso.
- El fabricante no acepta la responsabilidad por daños causados por una incorrecta instalación o uso. Las instrucciones del fabricante deben ser seguidas cuidadosamente.

2.2 Para el operario


- Es peligroso e ilegal obstruir incluso parcialmente las ventilaciones de aire en la sala de calderas.
- No dejar la caldera encendida cuando esta no va ser usada por un periodo largo, en tal caso el suministro de combustible debe ser cortado y el interruptor general de alimentación apagado.
- No tocar las partes calientes de la caldera, como, puertas, placa del quemador, cámara de humos, chimenea, etc. Durante y después del funcionamiento estos están calientes y pueden causar quemaduras y escaldaduras.
- No permitir que niños o personas inexpertas estén cerca de la caldera.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 7 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- No dejar que la caldera se moje con salpicaduras de líquidos.
- No limpie la caldera con chorros de agua.
- No colocar nada encima de la caldera.
- No permitir que ninguna persona inexperta opere la caldera.
- En caso de un periodo de desuso temporal se debe seguir los siguientes pasos:
 - Cortar el suministro de electricidad, agua y combustible.
 - Vaciar el agua del sistema, si no hay anticongelante.
- Si la caldera no va ser usada por un periodo prolongado, personal técnico calificado debe realizar las operaciones necesarias, verificando que el suministro de electricidad, agua y combustible sean cortados.
- Si la producción de la caldera lo requiere, esta debe ser operada por personal especializado de acuerdo a las regulaciones vigentes.
- Antes de realizar cualquier trabajo que involucre desmontaje del quemador o inspección de puertas, cortar la electricidad y cerrar la válvula de combustible.
- Esta absolutamente prohibido manipular cualquier dispositivo de seguridad incluido en el equipo. Solo personal técnico autorizado puede hacerlo.
- El operador asignado para el uso y mantenimiento del equipo debe usar la ropa apropiada para el puesto y lugar de trabajo, todo el tiempo.
- Antes de comenzar el trabajo, el operario debe estar perfectamente consciente de la ubicación y operación de todos los controles y características del equipo. Todos los dispositivos de seguridad del equipo deben ser revisados diariamente.
- No comer en el área de trabajo.
- No fumar cerca del equipo.

2.3 Con el suministro eléctrico

- La seguridad eléctrica del sistema se asegura solo si ésta es correctamente instalada con un sistema de conexión a tierra de acuerdo a las regulaciones vigente.
- Si tiene alguna duda busque el consejo de un profesional ya que el fabricante no se hace responsable por algún daño causado por un sistema sin conexión a tierra.
- Un profesional debe verificar y asegurar que la instalación eléctrica es la adecuada para la máxima salida absorbida por el sistema.
- También es importante asegurar que la sección del cable es el apropiado para

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 8 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	


absorber la salida de la caldera.

¡PELIGRO!
POR NINGUN MOTIVO ANULAR UN MECANISMO DE PROTECCION,
SEGURIDAD O CONTROL.

- El suministro eléctrico principal no debe ser usado con adaptadores y/o enchufes múltiples.
- Algunas reglas básicas deben ser seguidas cuando se usa algún aparato eléctrico:
 - Nunca tocar el aparato con las manos húmedas o mojadas y/o con los pies descalzos.
 - No jale la instalación eléctrica.
 - No dejar el aparato expuesto a la lluvia, sol, etc.
 - No permitir que personas inexpertas lo usen.
- El cable no debe ser reemplazado por el operador. Si el cable está dañado, apagar el equipo y dejar que sea reemplazado por personal técnico autorizado.
- Si el equipo no va ser usado por algún tiempo, es recomendable cortar el suministro eléctrico de todos los componentes relevantes.

2.4 Durante el encendido de la caldera

- Para la puesta en marcha de la caldera, el instalador autorizado debe seguir los siguientes pasos:
 - Inspeccionar los sellos interiores y exteriores del sistema de alimentación de combustible.
 - Regular el flujo de combustible de acuerdo a la salida máxima indicada en la placa de características del quemador.
 - Verificar que el quemador está recibiendo el tipo de combustible apropiado.
 - Verificar que la presión de alimentación de combustible, si es gas, se encuentre entre los valores indicados en la placa del quemador.
 - Verificar que el sistema de alimentación de combustible sea del tamaño adecuado para el flujo que necesita la caldera y que este tenga todos los dispositivos de control y seguridad requeridos por ley.
- Si la caldera no va ser usada por cierto periodo, cierre la llave(s) de alimentación de combustible.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 9 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- Todas las instalaciones eléctricas, de gas, de agua blanda, condensado y vapor, DEBEN ser realizadas por Empresas Instaladoras autorizadas y siguiendo la normativa legal vigente en el país de utilización.

INDICACIONES ESPECIALES PARA EL GAS (solo se considera para calderas con quemador a gas)

El instalador autorizado debe realizar los siguientes pasos:

- Verificar que la línea de alimentación y la presión de gas están en concordancia con las regulaciones vigentes.
- Verificar que todas las conexiones de gas estén selladas.
- Verificar que las rejillas de ventilación de aire en la sala de calderas sean lo suficientemente grande para garantizar la cantidad de aire requerido por ley y la necesaria para una perfecta combustión.
- No use tuberías de gas con conexiones a tierra.


Si se percibe algún olor de gas:

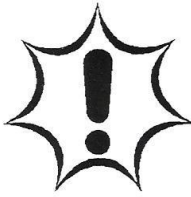
- No operar los interruptores eléctricos, teléfonos o cualquier otro objeto que pueda causar chispas.
- Abrir inmediatamente las puertas y ventanas para crear flujo de aire.
- Cerrar las llaves de gas.
- Pedir ayuda de profesionales.
- No obstruir las ventilaciones de aire en donde la caldera va ser ubicada para evitar situaciones peligrosas como mezclas tóxicas o explosivas.

2.5 Áreas de seguridad

- Delimitar áreas de peligro e IMPEDIR el acceso de las personas a las mismas con el equipo en funcionamiento.
- Recomendamos copiar y ampliar todas las PRECAUCIONES DE SEGURIDAD incluidas en el manual de operación, y colocarlas en lugar visible de la empresa.
- Todo equipo que trabaja con temperatura supone un riesgo de fuego, EXTREMAR todas las precauciones, MANTENER el entorno libre de materiales combustibles y UBICAR cerca del equipo, extintores adecuados y fácilmente accesibles.


2.6 Durante el mantenimiento

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 10 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	



Todas las operaciones que no son de normal gestión del equipo ni de proceso productivo, DEBEN ser realizadas SOLO por técnicos muy especializados encargados del mantenimiento.

- Cualquier reparación debe ser realizada solo por personal técnico autorizado por el fabricante. Solo deben ser usados repuestos originales.
- No realizar en absoluto ningún cambio a cualquier parte del equipo (caldera, tanque de condensado, bomba, tanque de purga, radiadores, ventiladores, tableros de control). Termodinamica S.A , no se hace responsable por cualquier mal funcionamiento o consecuencias resultantes de esta instalación de partes o ajustes no autorizados. Cualquier cambio que se desee realizar al equipo debe ser manejado en consulta con el área de Servicio Técnico del fabricante.
- Nadie debe intervenir en la instalación eléctrica del equipo con excepción del técnico electricista y solo tras haber cortado la alimentación eléctrica.
- Antes de realizar cualquier tipo de intervención de mantenimiento preventivo o correctivo, hay que despejar el área cercana a la zona de trabajo.
- Las operaciones de mantenimiento deben realizarse después de cortar la alimentación eléctrica al equipo (si es necesario remover los fusibles para prevenir que el quemador se encienda accidentalmente) y después de cerrar las válvulas de alimentación de combustible (especialmente cuando trabaja con gas).
- Proteger el equipo eléctrico de la caldera del polvo: el tablero de control y el quemador.
- Durante el mantenimiento, reparación o puesta en funcionamiento, es siempre necesario exhibir una señal de advertencia en la puerta de la sala de calderas e inclusive sobre el equipo.
- Usar ropa apropiada, guantes, visores, mascara y use aspiradores para remover el hollín. Este debe ser colocado en contenedores especiales brindando la información necesaria respecto al contenido de dichos contenedores.
- Si las válvulas del circuito de agua han sido cerradas, esto debe ser notificado con una señal de advertencia.
- Verificar periódicamente que el ducto de evacuación de humo este trabajando correctamente.
- No limpiar el equipo y/o partes usando líquidos fácilmente inflamables (ejem. gasolina, alcohol, etc).

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 11 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- No dejar recipientes con líquidos inflamables en la sala de calderas.
- No limpiar la sala de calderas cuando el quemador este encendido.
- Un mantenimiento cuidadoso contribuye a ahorrar dinero y garantiza la seguridad.

2.7 En caso de mantenimiento: Solo técnicos preparados pueden intervenir en la máquina

Forman parte de esta categoría operadores o encargados de mantenimiento que hayan sido instruidos o que estén vigilados por una persona instruida para evitar peligros relacionados con las operaciones arriba descritas.

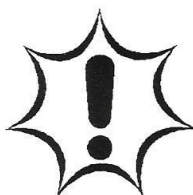
La puesta en servicio del equipo DEBERÁ ser efectuada por Servicio Técnico Autorizado.

Este equipo DEBE SER UTILIZADO por personal debidamente instruido en el uso del mismo.


Se recomienda leer con cuidado lo que sigue y atenerse escrupulosamente a las instrucciones facilitadas para evitar cualquier inconveniente o accidente. Todo personal responsable de la instalación, operación, mantenimiento o reparación del equipo debe leer este manual completamente. El manual, y cualquier documentación adicional, deben ser guardados en un área limpia y fácilmente accesible a todo el personal de operación y mantenimiento.

LEER detenidamente los Manuales de Instrucciones antes de iniciar el primer servicio. GUARDARLOS en lugar fácilmente accesible a fin de solventar cualquier duda.

El realizar operaciones y maniobras con un conocimiento limitado del funcionamiento de la maquina podría perjudicar, de hecho, la seguridad del operador además de dañar el equipo mismo.



Cualquier omisión de las indicaciones descritas en los Manuales de Instrucciones, de la normativa de seguridad e higiene en el trabajo y de las normas generales del sentido común, PUEDEN OCASIONAR daños personales al usuario.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 12 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

EL FABRICANTE DECLINA TODA RESPONSABILIDAD EN CASO DE NO SEGUIMIENTO DE LAS INSTRUCCIONES DE LOS MANUALES CORRESPONDIENTES.

3. COMPONENTES DE CONTROL EN EL EQUIPO

3.1 Columna de agua y control de bajo nivel de agua

Con conexión para ser instalado en ambos lados de la caldera, cuenta con una columna de nivel de agua, un vidrio medidor del nivel y una válvula de purga de la columna de agua, un control de corte a bajo nivel de agua con un dispositivo de reseteado manual (Mc-Dowell), formando parte integral del sistema de alimentación de agua de la caldera, conectado al control de la bomba de alimentación de agua para mantenerle nivel de agua de la caldera dentro de los límites normales y conectado al circuito de control del quemador para prevenir que la operación del quemador estando la caldera con un nivel de agua por debajo del nivel de seguridad.

3.2 Control de nivel de agua

En la parte superior de la caldera tenemos el electrodo de nivel de agua, el cual se encuentra conectado al circuito de control del quemador, bloqueando su operación en caso de que el nivel de agua de la caldera se encuentre por debajo de los niveles de seguridad.

3.3 Control de presión de vapor


La caldera cuenta con presostatos conectados al circuito de control del quemador para el accionamiento ON-OFF.

3.4 Quemador

El quemador cuenta con un programador para trabajo automático, el que controla el funcionamiento de motor modulador, regresando siempre el quemador a su posición de bajo nivel de encendido, cuando se alcanza la presión de trabajo en la caldera. El motor modulador controla el registro de aire y la válvula reguladora de combustible para regular la llama de acuerdo a la demanda de carga (producción de vapor) expresado en términos de presión. El aire de la combustión es proporcionado por un ventilador de tiro forzado proporcionado con el quemador, que obliga a los productos de la combustión a través de los pasos, extrayendo cada BTU del fuego para mejorar la eficiencia térmica y de combustión.

4. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

Las calderas de vapor requieren un sistema de agua de alimentación y de retorno de condensado.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 13 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

El circuito del agua de alimentación consta del equipo de tratamiento de agua, que por lo general es un ablandador, con su tanque dosificador de aditivos para el agua, un tanque de agua blanda, una bomba de agua de alimentación, una o dos válvulas check de ingreso de líquido, y una o dos válvulas globo al ingreso del caldero y un sistema de recuperación de agua condensada de la planta, que lleva el condensado al tanque de agua blanda para que pueda reingresar al caldero mediante la línea de succión de la bomba de agua de alimentación.

El objeto de un sistema de agua de alimentación es coleccionar el condensado de las tuberías y almacenar el agua hasta que la caldera la necesite. La bomba entonces introduce el agua dentro de la caldera. El tanque de condensado o agua blanda puede ser equipado con calentadores que controlen la temperatura de ingreso del agua al tanque. El tanque de condensado debe ser equipado con válvulas para reemplazar cualquier pérdida de agua.

4.1 Calidad del agua

Las características químicas y físicas del agua usadas para un sistema de vapor son fundamentales para el exitoso funcionamiento y seguridad de la caldera.

Entre los problemas causados por la pobre calidad del agua de alimentación, el más grave y más frecuente es la formación de incrustaciones o caliche y la corrosión de la superficie de transferencia de calor. Menos frecuente pero igualmente serio es la formación de caliche en la superficie de todo el circuito en contacto con el agua.

El caliche reduce la transferencia de calor debido a su baja conductividad. Unos pocos milímetros de caliche son suficientes para peligrosos sobrecalentamientos localizados.


El agua de alimentación a la caldera debe ser tratada (blanda). Para lo que se necesita un Tanque reactor o ablandador y un Tanque de salmuera.

4.2 Bomba de alimentación de agua

La función básica de la bomba de alimentación de agua, consiste en tomar el agua ya ablandada e introducirla a presión a la caldera, venciendo la resistencia que se opone a su flujo. La mayor resistencia que debe vencer es la contrapresión dentro del caldero, siendo necesario que la bomba descargue el agua al caldero a una presión algo superior a dicha diferencia de presiones la cual depende de la presión de trabajo del caldero. La tubería de succión debe ser vertical y del menor recorrido como sea posible, evitando curvas y codos.

4.3 Tanque de condensado

El tanque de condensado debe ser ventilado a la atmósfera para prevenir que colapse debido al aumento y cierre de vacío. Esto también protege al tanque contra el aumento excesivo de

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 14 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

la presión. La ventilación provee un medio para descargar el oxígeno liberado por el calentamiento del agua. La ventilación también provee la protección necesaria en el caso de que excesiva agua sea retornada del sistema al tanque.

5. LINEA DE VAPOR

La caldera tiene una válvula en la parte superior para la salida de vapor. Esta válvula debe estar conectada a la tubería de suministro de vapor de la planta. La tubería para vapor debe cumplir con las especificaciones para materiales de acero calidad ASTM 53.

5.1 Válvula de cierre

Muchas veces será necesario apagar una caldera y permitir que las otras permanezcan en operación, ya sea debido a la limpieza del lado de fuego o agua de la caldera, o para facilitar el normal servicio del equipo. Una válvula de cierre permitirá al equipo ser separado del sistema de vapor de la planta sin interrumpir la necesidad de que las otras calderas provean la carga de vapor. Esta válvula debe ser instalada con trampa y accesorios cuando sea necesario, tan próximo a la caldera como sea factible y conveniente.

5.2 Aislante térmico


Es recomendable que toda la tubería de vapor y retorno en la sala de calderas sea cubierto. Esta cubierta es necesaria para eliminar, lo más que se pueda, la pérdida de calor por radiación, haciendo a la planta más eficiente y también para mantener la temperatura baja en la sala de calderas.

6. LÍNEA DE PURGA DE LA CALDERA

Para una adecuada remoción de sólidos de la caldera, se proporcionan dos conexiones de purga de fondo en la parte inferior, y una conexión de purga de superficie en la parte lateral izquierda de la caldera. Estas conexiones se deben conectar a un tanque de purgas.

Hay conexiones de purga en el Control de nivel de agua el cual debe ser conectado también al tanque de purga.

6.1 Tubería de purga

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 15 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

Se debe instalar una tubería de Ø1-1/2" de Acero calidad ASTM 53 sin costura. La línea de purga debe estar provista de dos válvulas, una de funcionamiento lento y otra de funcionamiento rápido.

6.2 Válvula de purga

La válvula esférica de purga rápida es usada para jalar los productos de la purga desde la caldera misma. La válvula de purga lenta tipo Y es usada para regular el flujo de los productos de la purga desde la caldera misma. La operación de la válvula es tal que esta controla la cantidad de productos que son removidos desde la caldera a través del procedimiento de purga.

6.3 Tanque de purga

No son permisibles en ningún caso el vaciado a la red del alcantarillado, al ejecutarse la purga de la caldera, la purga del cristal del nivel, la purga de agua de condensación, la purga de espumas de superficie, ni la de los escapes de vapor, con el fin de evitar la producción de vacío o de sobrepresión en las redes.

Se recomienda la instalación de un tanque de purga para la caldera que permita una adecuada purga de todas las unidades sin afectar las conexiones del alcantarillado o drenaje. El tanque de purga debe estar ventilado a la atmósfera para prevenir la presurización del drenaje y alcantarillado. El tanque debe estar también equipado con válvulas de agua las cuales mezclan el agua fría con los productos de la purga, con un termómetro para mantener un control de la temperatura.

7. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

7.1 Primera puesta en marcha

El principal objetivo en la primera puesta en marcha es verificar que todos los dispositivos de seguridad y de control trabajen apropiadamente.

Antes de dejar el sistema, el instalador debe verificar el trabajo completo del ciclo de la caldera.


¡ATENCIÓN!

La PUESTA EN MARCHA INICIAL, debe ser realizada por SERVICIO TÉCNICO AUTORIZADO.

Seguir escrupulosamente la normativa de seguridad en el trabajo y de prevención de accidentes.

¡ATENCIÓN!

La alimentación de agua al caldero deberá tener como temperatura mínima de 60°C

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 16 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	


Antes de la puesta en marcha:

- Extraer TODOS los accesorios con los datos de la placa de características del equipo.
- Verificar:
 - La correspondiente instalación con los datos de la placa de características de la máquina.
 - La nivelación correcta de la máquina.
 - Las conexiones de vapor, agua, combustible, descarga de gases.
 - El correcto montaje de los diversos accesorios de la máquina: tuberías de vapor, tuberías de agua, tuberías de combustible, tuberías de purga.
 - Verificar las conexiones de electricidad:
 - La máquina debe ser alimentada con corriente eléctrica trifásica con tensión de 220 VAC/60Hz para el sistema de fuerza y 220VAC/60Hz MONOFASICO para el sistema de control.
 - Verificar que las tres líneas de alimentación estén correctamente aseguradas a la bornera de entrada (L1/L2/L3) en el tablero eléctrico posterior.

Inspecciones Preliminares:

Una vez que las conexiones de agua, electricidad y combustible han sido realizadas, es recomendable verificar que:


- La válvula de seguridad esta correctamente conectada y no esta obstruida de ninguna manera.
- El manómetro esté correctamente instalado y calibrado.
- Los presostatos estén correctamente instalados y regulados a la presión de trabajo.
- El sistema de agua de alimentación este lleno de agua y sin ninguna bolsa de aire.
- Las válvulas de ventilación de aire están abiertas.
- Los medidores de flujo, válvulas de seguridad, válvulas de combustible estén correctamente calibradas.
- La bomba o bombas funcionen correctamente.
- El quemador es el adecuado para el tipo de combustible (indicado en la placa de características) disponible en el lugar de instalación.
- Regular el termostato del quemador (temperatura de atomización)
- El conducto de la chimenea este correctamente instalado.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 17 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- El sistema está capacitado para absorber la cantidad de vapor que será producido por el quemador el que será encendido por primera vez durante la fase de prueba.

7.2 Puesta en marcha

- Verificar la alimentación eléctrica hacia el tablero de mando, levantar la llave de alimentación al equipo.
- Colocar el interruptor del estabilizador de corriente en la posición ON, los leds (luces) se iluminarán.
- Verificar que las válvulas de gas se encuentren abiertas.
- Verificar el nivel de agua del tanque de condensado (tanque de agua blanda). Las válvulas de alimentación a la bomba de agua siempre deben estar abierta.
- Verificar el nivel del agua de la caldera y el equipo de retorno de condensado. Las válvulas de ingreso de agua hacia la caldera siempre deben estar abiertas. El nivel de agua de la caldera se aprecia en el visor de nivel de agua y éste debe estar como máximo a 1" por arriba de la línea de regulación del control de bajo nivel de agua Mc-Donell.
- Verificar que la válvula de salida de vapor se encuentre cerrada.
- Verificar que las válvulas de purga de la caldera se encuentren cerradas.
- Colocar el interruptor de la bomba de agua en AUTOMÁTICO, si la caldera necesita agua el interruptor activará la bomba de alimentación de agua que llenará la caldera hasta que sea posible el encendido del quemador. La bomba continuará llenando hasta alcanzar el nivel máximo permisible de agua momento en que se apagará.
- Colocamos el interruptor del motor modulador MANUAL/AUTOMÁTICO en la posición automática.
- Encender el quemador con el interruptor de CONTROL ON/OFF hacia la posición ON. El motor modulador realizará el barrido por 30 segundos para eliminar los gases de la cámara de combustión y luego se realiza el pre-encendido del quemador durante 15 segundos, luego se enciende la llama principal del quemador, cuando esto sucede se ilumina la lámpara "MAIN FUEL". Si la llama piloto no es óptima la celda fotoelectrica corta el sistema, y se enciende la lámpara "FLAME FAILURE", entonces se debe resetear el programador del quemador y se reinicia la secuencia. El pre-encendido del quemador es con gas.
- Una vez que el equipo este cargado de vapor (100 PSI), se apagará automáticamente, en ese instante proceder a abrir la válvula de salida de vapor hacia la red de distribución, esta operación debe realizarse lentamente a fin de evitar golpes de ariete.


	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 18 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

- Purgar la caldera tanto en la columna de nivel de agua como del fondo de la caldera cada 4 horas, para ejecutar este paso proceder de la siguiente forma:
- Abrir la válvula de purga del fondo de la caldera durante 5 segundos luego cerrarla durante 1 minuto y volver abrirla, repetirlo 3 veces.
- Verificar diariamente la calidad del agua del ablandador, este procedimiento se debe realizar bajo el asesoramiento de un ingeniero químico, especialista en tratamiento de agua para calderas.
- En caso ocurriese que el Equipo Generador de vapor no encendiese, verificar que la tensión de corriente llegue al tablero de mando, verificar el nivel de agua y de combustible, si todo está correcto, y el problema persiste contactar con el Servicio técnico de Termodinamica S.A
- Es importante mantener el área de caldera libre de polvo y productos químicos inflamables.
- El mantenimiento o cambio de algún elemento debe ser realizado solo por personal especialista autorizado.

7.3 Funcionamiento de la caldera

El encendido del quemador nunca llegará a iniciarse en el caso de que el nivel de líquido del caldero esté por debajo del mínimo regulado en el control automático de nivel, el cual bloquea el programador para evitar un recalentamiento en el caldero por falta de agua. En este caso solamente se accionará la bomba de agua de alimentación hasta que se alcance el nivel adecuado.

Después del periodo de purga es accionado el sistema de ignición primario, siendo accionada la válvula solenoide que hace ingresar el combustible (gas) para el encendido inicial. Simultáneamente con este ingreso de combustible, son accionados el transformador elevador de voltaje, el cual da una chispa entre dos electrodos, y el pirómetro óptico con el sistema de fotocelda y el circuito amplificador de voltaje, los cuales están activados durante todas las secuencias de encendido, para detectar la existencia de la llama en el encendido primario. Comúnmente este periodo dura de 10 a 15 segundos. En caso de que la fotocelda no detecte la llama, se cerrará la válvula solenoide del combustible y el caldero volverá a su estado inicial de purgas y reintentará realizar otro encendido y accionará la lámpara de "FLAME FAILURE". Si la foto celda detectó la existencia de llama en el primario, es accionada la válvula solenoide que permite el ingreso del combustible de operación normal. El programador no permitirá el ingreso del combustible principal hasta que haya alcanzado su temperatura de operación de normal, la cual está controlada por un sistema de termostato y termómetro que miden la temperatura del combustible que es calentado en un precalentador por medio de una resistencia.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 19 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

Si el pirómetro detecto normalmente la llama en el periodo anterior, se cerrará el sistema de ingreso del combustible del sistema primario de ignición, para que inicie el calentamiento normal de todo el caldero. De allí en adelante el control automático del caldero está dirigido por los controladores de presión de vapor y de nivel de líquido. Cuando se logra la formación de la llama principal se iluminara la lámpara "MAIN FUEL".

Cuando el líquido del caldero está totalmente frío y recién empieza a calentarse toda la estructura metálica, es conveniente operar manualmente y llevar el caldero lentamente al calentamiento y a su presión nominal en el régimen de mínima llama en medida de ser ello posible. Mientras más grande el caldero, más lento debe ser el calentamiento. En calderos de menos de 200BHP es conveniente utilizar por lo menos 2 horas en el régimen de mínima llama. En calderos grandes el periodo de calentamiento del hogar debe ser por lo menos de 6 horas. Para accionar el régimen de mínima llama debe de conectarse el interruptor de modulación a su posición manual, llevando así el motor modulador a su posición de mínimo combustible.

El motor modulador controla la rejilla de ingreso de aire y la válvula reguladora de combustible para la combustión en el quemador de tiro forzado. En operación normal, con el caldero caliente, el quemador iniciará en régimen de máxima llama hasta alcanzar su presión de trabajo luego de lo cual el presostato de modulación activará en forma automática el motor modulador llevándolo a su posición de llama mínima hasta que haya alcanzado la presión limite en la cual el presostato lo apagará, hasta que la presión baje al límite inferior e inicie nuevamente la secuencia de encendido

Estando ya el quemador encendido el control de nivel bajo de agua controlará la bomba de alimentación de agua manteniendo el nivel del agua dentro de los limites normales. Además, se tiene un control auxiliar de nivel de agua que bloquea la operación del quemador en caso de que el nivel de agua este por debajo de lo permisible.

La presión de operación de la caldera puede ser regulada mediante el presostato de presión que posee dos tornillos en la parte superior. Con uno se regula la presión principal de operación y con el otro el diferencial, es decir el rango por encima o debajo de la presión de operación con la cual el caldero funcionará antes de apagarse.


8. RECOMENDACIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO



¡Peligro!

Desconectar las fuentes de alimentación en todas las operaciones de mantenimiento y reparación que sea necesaria.

Todas las operaciones mantenimiento y reparación DEBEN ser realizadas SOLO por técnicos muy especializados encargados del mantenimiento.

	<i>Cliente:</i> <p style="text-align: center;">PRODAC</p>	Fecha: 06/04/21 Realizado por: N. Acosta Revisado por: R. Calle 21VPST001-MMPRO01-A Página 20 de 20
Área de Ingeniería	Tema de ingeniería: SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE CALOR	

Las operaciones de mantenimiento deben realizarse en condiciones de seguridad, preferentemente con el caldero en frío y vacío.

- Hacer inspección completa de la sala de calderas revisando tuberías y válvulas con el fin de detectar fugas comprobar que todos los elementos (controles, motor, bombas) funcionen correctamente.
- Purgar la caldera con regularidad de acuerdo con lo requerido; la frecuencia de las purgas depende de la calidad del agua de alimentación y del tipo de servicio de la caldera y debe ser determinado de acuerdo a la concentración de sólidos que se precipitan formando lodos. El nivel de concentración de sólidos disueltos en la caldera no debe ser mayor a la 4000 p.p.m.
- Para purgar la caldera se debe abrir la válvula de purga del fondo de la caldera durante 5 segundos luego cerrarla durante 1 minuto y volver abrirla, repetirlo 3 veces. Diariamente se debe realizar este procedimiento, para reducir la formación de lodos.
- Purgar el control de nivel de agua (columna de nivel) y visor, cada 4 horas abriendo las válvulas de purga respectiva por aproximadamente 5 segundos, luego cerrarla durante 1 minuto y volver abrirla, repetir 3 veces. Esto se hace con la finalidad de mantener las conexiones de la columna de agua y visor libre de lodos que podrían ocasionar fallas de estos instrumentos.
- Hacer soplar manualmente las válvulas de seguridad y alivio de vapor (puede ser hecho cada dos días) para verificar su estado.
- Verificar el funcionamiento de las válvulas de seguridad, para lo cual se deberá subir el valor límite del control de presión haciendo funcionar la caldera hasta que la presión aumente, para verificar el disparo o apertura de las válvulas de presión no mayor que el 3% de lo establecido.