

**DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DE UN SISTEMA
RECUPERADOR DE ENERGÍA TÉRMICA PRESENTE EN LOS GASES DE
COMBUSTIÓN PROCEDENTES DE LAS CALDERAS UTILIZADAS EN LA
PLANTA DE BENEFICIO DE AVIDESA MACPOLLO S.A.**

**JUAN DIEGO ESCOBAR RUGELES
DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ MERCHÁN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

**DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DE UN SISTEMA
RECUPERADOR DE ENERGÍA TÉRMICA PRESENTE EN LOS GASES DE
COMBUSTIÓN PROCEDENTES DE LAS CALDERAS UTILIZADAS EN LA
PLANTA DE BENEFICIO DE AVIDESA MACPOLLO S.A.**

**JUAN DIEGO ESCOBAR RUGELES
DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ MERCHÁN**

**Trabajo de grado para optar por el título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR ARMANDO GÉLVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

Le quiero dedicar este trabajo de grado a mi mama a quien le debo todo.

A mi papa, que es mi mayor orgullo.

A mis hermanas y mi tatica quienes nunca me han dejado de ayudar.

A Nati Camargo, la más linda del mundo, quien siempre me inspiró a tratar de ser mi mejor versión.

Juan Diego Escobar Rugeles

DEDICATORIA

A la virgencita de la O de Morcá por acompañarme en todo momento y darme tantas oportunidades.

A mi madre, la persona más importante en mi vida

A mi familia y amigos por estar ahí siempre que los necesité.

A los profesores de la escuela de ingeniería mecánica por mi formación profesional y personal

Diego Andrés Pongutá Merchán

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a nuestro director de proyecto el ingeniero Omar Gélvez Arocha, por su continua colaboración, apoyo, compromiso y conocimiento, también al ingeniero David Fuentes Palomino por su tiempo y asesorías como director del proyecto en AVIDESA MACPOLLO

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	23
2. JUSTIFICACIÓN	27
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA	31
3.1 Subsistema de intercambio de calor	32
3.1.1 Configuración de los flujos de agua a calentar	35
3.2 Subsistema de almacenamiento	37
3.3 Subsistema de monitoreo de temperatura y nivel de agua en el tanque de almacenamiento.....	39
3.4 Subsistema de control	40
3.5 Subsistema de transporte y distribución de agua	42
4. ANÁLISIS DETALLADO DEL SISTEMA.....	44
4.1 SUBSISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR – ANÁLISIS DETALLADO.....	44
4.1.1 Datos del proceso	45
4.1.2 Parámetros geométricos de la tubería aleteada	46
4.1.2 Dimensionamiento interior y exterior.....	47
4.1.2.1 Suposiciones iniciales	47
4.1.2.2 Calculo de la geometría restante	49
4.1.3 Diseño térmico	50
4.1.3.1 Cálculos previos.....	50
4.1.3.2 Cálculo de la eficiencia del intercambiador	53
4.1.4 Análisis de la resistencia mecánica del intercambiador	61
4.1.5 Estado transitorio del sistema	63

4.1.5.1 Pérdida de calor con el ambiente.....	64
4.1.5.2 Balances de energía sobre el gas (fluido caliente)	67
4.1.5.3 Balance de energía sobre el agua (fluido frío)	68
4.1.5.4 Balance de energía del intercambiador (recipiente metálico)	69
4.2 SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO-ANÁLISIS DETALLADO.....	71
4.2.1 Materiales	72
4.2.2 Diseño del casco principal cilíndrico	73
4.2.3 Diseño de la placa plana para la base circular.....	76
4.2.4 Diseño del techo del tanque.....	76
4.2.5 Diseño de Manhole (agujero para limpieza).....	77
4.2.6 Diseño del agujero para la salida del agua.	79
4.2.7 Especificación de las soldaduras	80
4.2.7.1 Soldaduras verticales del casco.....	80
4.2.7.2 Soldaduras horizontales del casco	81
4.2.7.3 Soldaduras para la base soldada a tope.....	81
4.2.7.4 Soldadura entre el casco y la base del tanque	83
4.3 SUBSISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO-ANÁLISIS DETALLADO.....	84
4.3.1 Monitoreo de la temperatura	84
4.3.2 Monitoreo del nivel de agua	84
4.4 SUBSISTEMA DE CONTROL-ANÁLISIS DETALLADO.....	85
4.4.1 Calculo de la temperatura de punto de rocío	86
4.4.2 Control del flujo de agua que circula por los intercambiadores.....	89
4.4.2.1 Control ON-OFF del flujo de agua	91

4.4.2.2 Independencia de funcionamiento para ambos intercambiadores	95
4.4.2.3 Control de apagado del sistema	99
4.4.2.4 Control de descarga del tanque	99
4.4.2.5 Selección del sensor de presión	102
4.4.2.6 Selección del controlador	104
4.4.2.5 Programación del controlador	105
4.5 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN – ANÁLISIS DETALLADO.....	106
4.5.1 Distribución	107
4.5.2 Transporte.....	108
4.5.3 Selección de bombas.....	113
5. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	119
5.1 PROGRAMA REALIZADO EN SIMULINK.....	119
5.1.1 Bloque de diseño térmico y mecánico del intercambiador	122
5.1.2 Bloque de balances energéticos sobre los fluidos	123
5.1.3 Bloque de balances energéticos sobre el recipiente.....	125
5.1.4 Bloque de propiedades termodinámicas de los fluidos y materiales del intercambiador	127
5.1.5 Bloque de cálculo de la LMTD	128
5.1.6 Bloque de consumo de combustible	129
5.2 Simulaciones con consumos reales	131
5.2.1 Simulaciones con consumo 50/50	132
5.2.2 Simulaciones con consumo 70/30 para las calderas colmaquinas y continental respectivamente	133

5.2.3 Simulaciones con consumo 30/70 para las calderas colmaquinas y continental respectivamente	135
5.2.4 Simulación térmica del taque de almacenamiento	137
5.2.4.1 Pérdida de calor despreciable con el ambiente	137
5.2.4.2 Variación de la temperatura al interior del tanque.....	141
6. ANÁLISIS FINANCIERO.....	144
6.1 ASPECTOS GENERALES.....	144
6.2 FACTORES PRINCIPALES DEL ANALISIS ECONÓMICO	145
6.2.1 Inversión inicial.	145
6.2.1.1 Tanque almacenamiento.....	145
6.2.1.2 Bombas.....	146
6.2.1.3 Tuberías y accesorios	147
6.2.1.4 Sistema de Control	147
6.2.1.5 Intercambiadores de calor.....	148
6.2.2 Egresos anuales	148
6.2.3 Ingresos anuales.....	149
6.3 Flujo de caja.....	153
7. CONCLUSIONES.....	156
BIBLIOGRAFIA	158

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de escaldado	24
Figura 2. Calderas pirotubulares de la planta de beneficio	25
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de escaldado	26
Figura 4. Diagrama de flujo proceso de escaldado mejorado	28
Figura 5. Termografías de las 2 calderas utilizadas en la planta	29
Figura 6. Comparación grafica entre el sistema actual y el nuevo sistema	30
Figura 7. Esquema general del sistema recuperador de energía	32
Figura 8. Intercambiador de calor diseñado por los autores	33
Figura 9. Intercambiador con aletas de placas planas.....	34
Figura 10. Intercambiador con aletas circulares	34
Figura 11. Intercambiadores de calor en serie.....	35
Figura 12. Intercambiadores de calor en paralelo.....	36
Figura 13. Tanque de 15 metros cúbicos litros aislado térmicamente	38
Figura 14. Indicador de nivel para el tanque de almacenamiento.....	40
Figura 15. Termómetro bimetálico para medir la temperatura del agua en el tanque	40
Figura 16. Vista de la ruta óptima para la tubería	43
Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de diseño del intercambiador	45
Figura 18. Tubería aleteada.....	46
Figura 19. Medidas exteriores del intercambiador	47
Figura 20. Medidas interiores del intercambiador	48
Figura 21. Datos iniciales para el diseño térmico.....	53
Figura 22. Simulación de resistencia mecánica del intercambiador.....	62

Figura 23. Interacciones energéticas en el intercambiador.....	64
Figura 24. Resistencias térmicas del intercambiador.....	66
Figura 25. Perdida de calor con el ambiente en función del espesor del aislante .	67
Figura 26. Temperatura de salida del agua en modelo transitorio en operación estable	70
Figura 27. Tanque de almacenamiento metálico aislado térmicamente (vista de corte).....	72
Figura 28. Propiedades mecánicas acero inoxidable tipo 304	73
Figura 29. Condiciones mínimas para tanques verticales.....	75
Figura 30. Plano general para el diseño del Manhole.....	78
Figura 31. Plano general para el diseño de la salida del agua	79
Figura 32. Soldadura dobles con total penetración y total fusión.....	80
Figura 33. Soldaduras horizontales con penetración y fusión completa	81
Figura 34. Soldadura de la placa del fondo con platina de respaldo.....	82
Figura 35. Ranura cuadrada para soldadura a tope	82
Figura 36. Soldadura entre el casco y la placa del fondo	83
Figura 37. Representación gráfica de la composición química de los humos.....	88
Figura 38. Influencia del caudal de agua sobre la temperatura de salida de los humos	90
Figura 39. Control ON-OFF, controlando temperatura únicamente	91
Figura 40. Control ON-OFF, controlando temperatura y flujo másico	92
Figura 41. Funcionamiento del tubo Pitot	93
Figura 42. Sensor de presión diferencial DPATA-20-P1	94
Figura 43. Válvulas controladoras de flujo	96
Figura 44. Flujo pasando por los dos intercambiadores	96

Figura 45. Flujo pasando únicamente por el segundo intercambiador (Continental)	97
Figura 46. Flujo pasando únicamente por el primer intercambiador (colmaquinas)	97
Figura 47. Flujo evitando los dos intercambiadores.	98
Figura 48. Niveles máximo y mínimo para el control de la descarga total	100
Figura 49. Niveles para el funcionamiento de la descarga continua	101
Figura 50. Alternativas de sensores para control de nivel	103
Figura 51. Imagen de apoyo para analizar el circuito hidráulico	107
Figura 52. Detalle de tubería en las calderas	109
Figura 53. Detalle de tubería en el almacenamiento.	110
Figura 54. Curva del sistema para la bomba de carga	114
Figura 55. Curva del sistema para la bomba de descarga.	115
Figura 57. Selección de la bomba de descarga	117
Figura 58. Modelo general para simulación total del sistema	120
Figura 59. Modelo realizado para la simulación de los intercambiadores	121
Figura 60. Bloque 1 del modelo en Simulink.	122
Figura 61. Bloque 2 del modelo en Simulink.	123
Figura 62. Bloque 3 del modelo en Simulink.	125
Figura 63. Bloque 4 del modelo en Simulink.	127
Figura 64. Ecuaciones para calcular las propiedades termodinámicas obtenidas con EES	128
Figura 65. Bloque 5 del modelo en Simulink.	128
Figura 66. Bloque 6 del modelo en Simulink.	130
Figura 67. Signal Builder con los consumos reales de las calderas	131

Figura 68. Propiedades termodinámicas del INSUL QUICK.....	137
Figura 69. Circuito térmico de las paredes del tanque.....	139
Figura 70. Modelo de pérdida de calor transitoria en el tanque.	140
Figura 71. Variación de la temperatura del agua al interior del tanque en función del tiempo.	140
Figura 72. Modelamiento para el tanque de almacenamiento	142
Figura 73. Variación de la temperatura y la altura en el interior del tanque	143
Figura 74. Tanque similar en proceso de fabricacion.	146
Figura 74. Bomba de 5.5 hp seleccionada para este sistema	147
Figura 76. Flujo de caja proyectado a 5 años	154

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Masas moleculares	52
Tabla 2. Espesores requeridos para cada anillo del tanque	75
Tabla 3. Porcentajes molares de los componentes en la mezcla.	87
Tabla 4. Criterios de velocidad según el servicio de la tubería	108
Tabla 5. Caudales en cada una de las tuberías.....	110
Tabla 6. Diámetros de las tuberías según su servicio.....	111
Tabla 7. Accesorios para la línea 1	111
Tabla 8. Accesorios para la línea 2.....	112
Tabla 9. Accesorios para la línea 3.....	112
Tabla 10. Accesorios para la línea 4.....	112
Tabla 11. Datos principales de las tuberías	113
Tabla 12. Resumen de la instalación hidráulica.....	118
Tabla 13. Resumen costos del proyecto.....	153

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. ESTUDIOS REALIZADOS	159
ANEXO B. ARCHIVOS FORMATRO EES.....	166
ANEXO C. PLANOS	167
ANEXO D. ARCHIVOS FORMATO MATLAB	174
ANEXO E. CATALOGOS SENSORES.....	175
ANEXO F. CALCULOS HIDRAULICOS	184
ANEXO G. PROGRAMACIÓN CONTROLADOR.....	191
ANEXO H. RESULTADOS SIMULACIONES.....	198
ANEXO I. COTIZACIONES	204

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DE UN SISTEMA RECUPERADOR DE ENERGÍA TÉRMICA PRESENTE EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN PROCEDENTES DE LAS CALDERAS UTILIZADAS EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE AVIDESA MACPOLLO S.A. *

AUTORES:

Juan Diego Escobar Rugeles
Diego Andrés Pongutá Merchán **

PALABRAS CLAVES:

Recuperador de energía, economizador, intercambiador de calor, tanque de almacenamiento

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es diseñar un sistema recuperador de calor proveniente de los gases exosto de las calderas pirotubulares de 150 BHP utilizadas en la planta de beneficio de AVIDESA MACPOLLO S.A.

El calor se recuperará por medio de 2 intercambiadores de calor de tubos aleteados los que se ubicarán en las chimeneas de las calderas y por los cuales circulara un flujo de agua de 35 [LPM] para ser calentada desde la temperatura ambiente hasta 50 [°C] aproximadamente.

Una vez que el flujo de agua ha pasado por los dos intercambiadores se almacenará en un tanque metálico de 15000 litros, el cual se fabricara en acero inoxidable y estará aislado térmicamente para evitar perder la energía recuperada.

El agua almacenada en el tanque será utilizada para el proceso de escaldado de los pollos, el cual consiste en sumergir los animales en agua a 60 [°C] para facilitar su posterior desplume.

Gracias a la implementación de este proyecto de reducirá el consumo de gas natural que se utiliza para generar el vapor con el calientan el agua en las escaldadoras y además se disminuirá la contaminación térmica al disminuir la temperatura de salida de los gases exosto de las calderas.

*Trabajo de grado

**Facultad de ingenierías físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director de proyecto Ing. Omar Armando Gélvez Arocha

ABSTRACT

TITLE:

DESIGN AND TECHNICAL-FINANCIAL ANALYSIS OF A THERMAL ENERGY RECOVERY SYSTEM PRESENT IN COMBUSTION GASES FROM BOILERS USED IN THE AVIDESA MACPOLLO S.A. BENEFIT PLANT.*

AUTHORS:

Juan Diego Escobar Rugeles
Diego Andrés Pongutá Merchán**

KEYWORDS:

Energy recovery, economizer, heat exchanger, storage tank

DESCRIPTION:

The objective of this project is to design a heat recovery system present in the exhaust gases from the two 150 [BHP] fire-tube boilers used in the AVIDESA MACPOLO benefit plant.

The heat will be recuperated using two finned tube heat exchangers which will be located in the boilers chimney, whereby 35 [LPM] of water will flow, to be heated from room temperature to approximately 50 Celsius degrees.

Once water flow has passed through the two heat exchangers would be stored in a metallic tank with 15000 liters capacity, which will be manufactured in stainless steel and will be thermally isolated to avoid losing the recovered energy. The stored water will be used in the chicken blanching process, which consist of immersing the animals in water at approximated 60 [°C] to facilitate further plucking.

Thanks to the implementation of this project will reduce the consumption of natural gas used to generate steam to heat the water in the scalding and thermal pollution also be reduced by lowering the outlet temperature of the exhaust gases.

This project generate economic savings to the AVIDESA MAC POLLO benefit plant around 50 million pesos per year so that's a really great benefit to the company.

*Thesis

** Faculty of Physic-Mechanics Engineering School of Mechanical Engineering. Project director Omar Armando Gélvez Arocha

INTRODUCCIÓN

En la actualidad gran parte de los avances científicos y tecnológicos van orientados hacia el desarrollo de soluciones para contribuir con la nueva conciencia verde que se viene implementando con fuerza en la industria mundial. Parte de esta revolución ambiental consiste en buscar fuentes de energía alternativas como son la solar o la eólica en la mayoría de los casos, pero también se está buscando desarrollar sistemas que aumenten la eficiencia energética de las industrias recuperando energías que durante toda la historia han sido desperdiciadas por ser consideradas poco rentables financieramente.

Es en ese campo de sistemas que buscan mejorar la eficiencia energética, es en donde se centra este proyecto de grado el cual se titula: **“DISEÑO Y ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DE UN SISTEMA RECUPERADOR DE ENERGÍA TÉRMICA PRESENTE EN LOS GASES DE COMBUSTIÓN PROCEDENTES DE LAS CALDERAS UTILIZADAS EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE AVIDESA MACPOLLO S.A.”**

Este proyecto surge de la necesidad que tiene AVIDESA MAC POLLO de reducir sus gastos de gas natural los cuales representan una parte importante para la empresa, adicionalmente se busca disminuir los tiempos de puesta a punto de la línea de producción, y reducir la contaminación térmica producida por los gases exosto de las calderas utilizadas en la planta de beneficio.

Los capítulos 1 y 2 presentan el planteamiento del problema y la justificación para solucionarlo respectivamente

El capítulo 3 muestra algunas generalidades y una descripción global del sistema que se diseñó para recuperar la energía desaprovechada presente en los gases exosto de las calderas utilizadas en la planta de beneficio de MAC POLLO.

El capítulo 4 presenta la descripción detallada de cada uno de los componentes que hacen parte del sistema con sus respectivos fundamentos, cálculos y criterios de selección.

El capítulo 5 presenta las simulaciones que se realizaron para la configuración seleccionada del sistema y las posibles situaciones críticas que pueden ocurrir durante el funcionamiento del sistema. Adicionalmente se analizan los resultados obtenidos en todas las simulaciones.

El capítulo 6 explica el análisis financiero de todo el sistema en donde se incluye desde el diseño pasando por la fabricación para finalizar con los gastos de operación y mantenimiento, y se calcula el tiempo en el cual se recuperará la inversión realizada.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

AVIDESAS MAC POLLO S.A. es la empresa más importante del sector avícola en Colombia, esto lo ha venido logrando con un mejoramiento continuo de sus procesos mediante la investigación e implementación de tecnologías que contribuyen a elevar la efectividad de sus plantas de producción, apoyando el desarrollo económico y social de la comunidad santandereana.

MAC POLLO cuenta con la planta de beneficio ubicada en el Km 7 vía Piedecuesta donde se realiza el procesamiento de los pollos desde la recepción en camiones provenientes de las granjas, hasta la obtención del producto listo para su distribución a los puntos de venta. En esta planta se realizan varios procesos entre los cuales se encuentra el escaldado de los pollos (ver figura 1), este proceso consiste en sumergir los pollos en unos depósitos (escaldadoras) con agua a 60°C para facilitar el posterior desplume del animal. Uno de los principales problemas es que durante el escaldado se pierde agua debido a las siguientes razones:

- ✓ Salpicaduras de agua
- ✓ Líquido absorbido por el pollo
- ✓ Vaporización del agua caliente
- ✓ Agua arrastrada por el pollo a la salida

La pérdida de agua durante el escaldado genera la necesidad de reponerla para mantener un nivel mínimo en las escaldadoras y éstas puedan funcionar correctamente. Actualmente el agua perdida se repone a temperatura ambiente causando una disminución temporal en la temperatura del sistema obligando a aumentarla nuevamente hasta los 60°C requeridos, este aumento en la

temperatura se realiza mediante la inyección de vapor directamente al agua en la escaldadora.

La inyección de vapor necesaria causada por la caída de la temperatura durante la reposición del agua perdida genera un consumo energético adicional en las calderas (ver figura 2), incrementando los gastos económicos en la empresa.

Figura 1. Proceso de escaldado



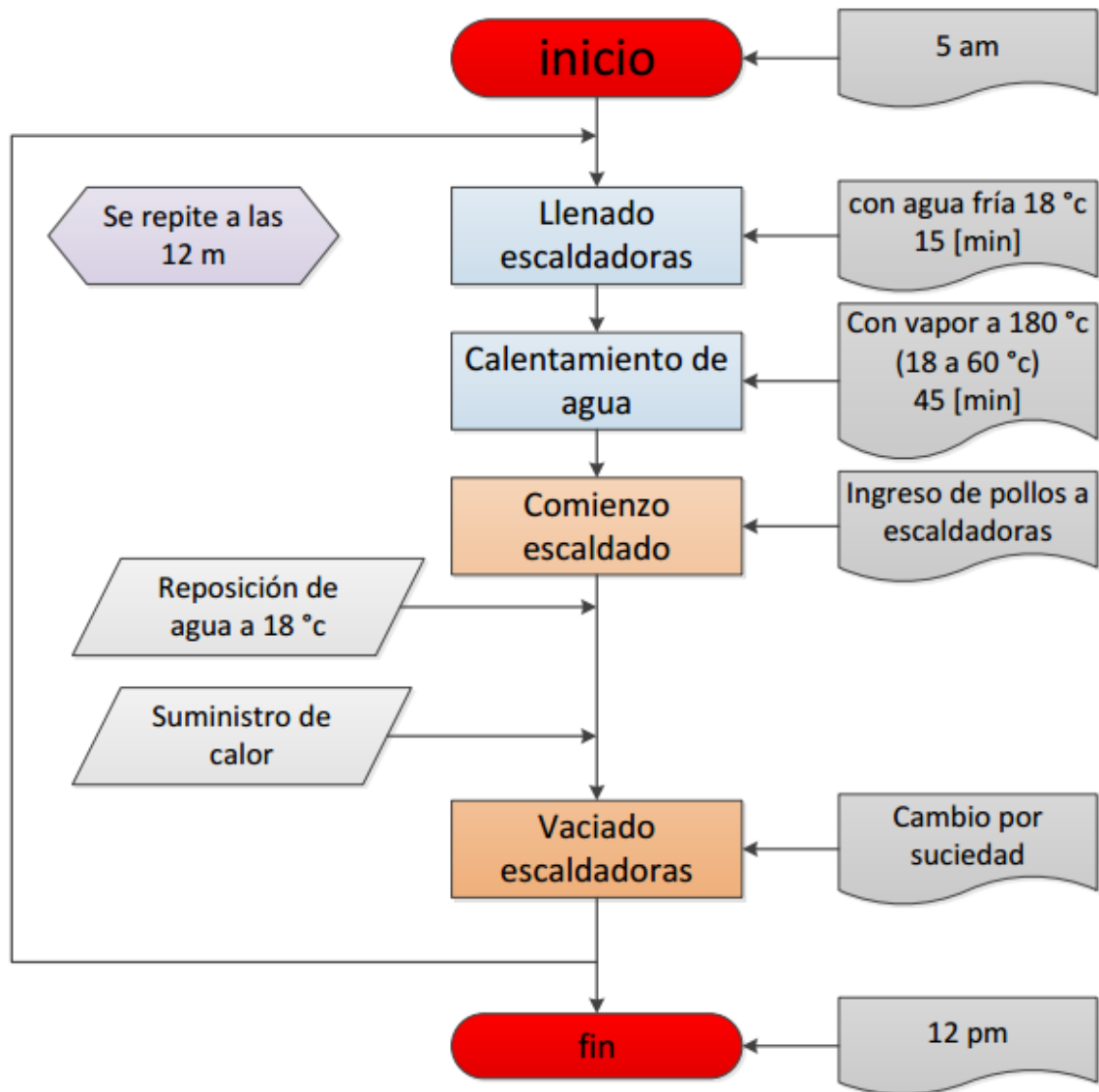
Figura 2. Calderas pirotubulares de la planta de beneficio



Por otra parte el proceso de escaldado necesita un cambio total del agua 2 veces al día debido a que esta se contamina con la suciedad que trae el animal, el cambio se realiza con agua a temperatura ambiente causando una pérdida de tiempo y energía necesaria para calentar nuevamente el agua limpia hasta los 60°C.

Complementando la información anteriormente dada, el siguiente diagrama conceptualiza el proceso actual de escaldado:

Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de escaldado



2. JUSTIFICACIÓN

Consciente de estos problemas AVIDESA MAC POLLO S.A. ha solicitado a la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, específicamente a la escuela de ingeniería mecánica, el diseño y análisis financiero de un sistema que disminuya el consumo energético durante el proceso de escaldado y reduzca la contaminación térmica emitida por las calderas.

Para lograr el ahorro energético es necesario crear un depósito de agua caliente para sustituir el agua fría que se usa en la reposición continua y el cambio total del agua de las escaldadoras. Para calentar esta agua es posible utilizar la energía disponible en los gases calientes de combustión de las calderas pirotubulares usadas en la planta, para así recuperar energía que no se está utilizando y también disminuir la temperatura de emisión de los gases al ambiente.

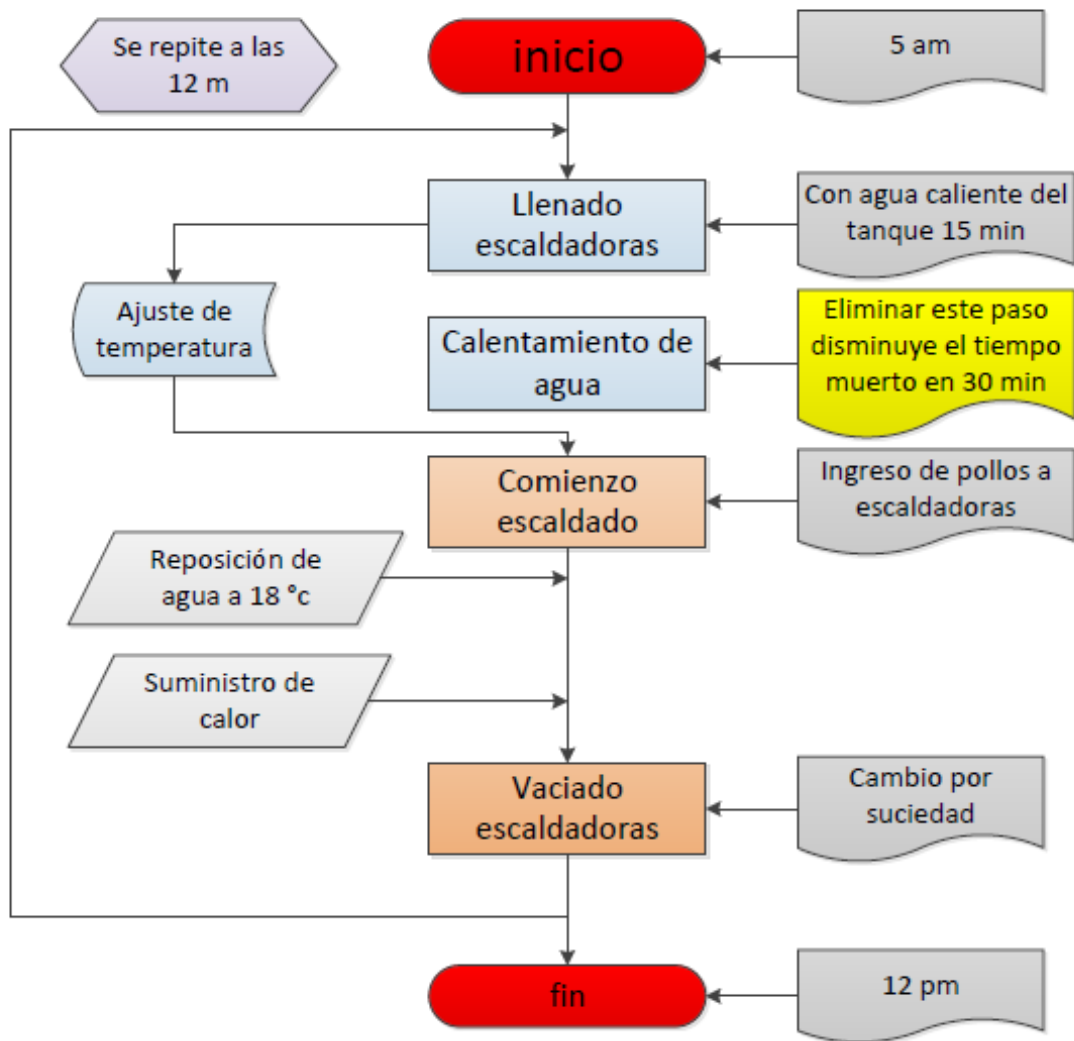
A continuación se enlistarán las principales ventajas que se obtienen con el diseño pensado para solucionar los problemas anteriormente mencionados:

- ✓ Disminución de gastos económicos
- ✓ Reducción de contaminación térmica emitida por las calderas
- ✓ Ahorro de tiempo durante el proceso de escaldado
- ✓ Recuperación de energía perdida

Adicionalmente la implementación de un sistema que abastezca las escaldadoras con agua caliente disminuirá el tiempo que emplea el operario en ajustar la temperatura del sistema, debido a que las fluctuaciones térmicas serán menores y más rápidas de estabilizar.

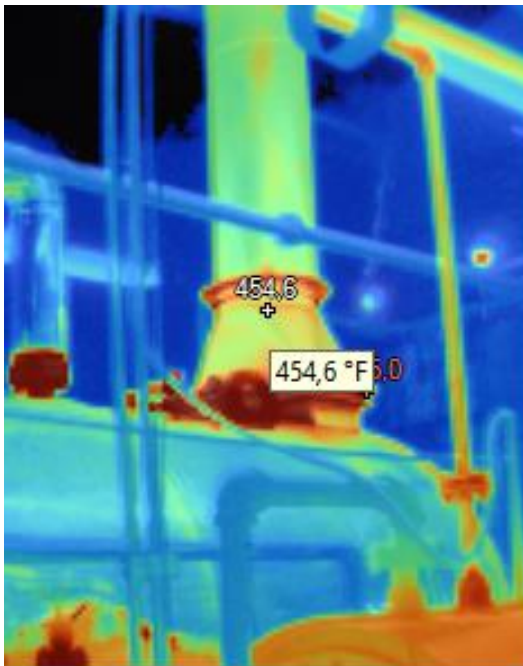
En la figuras 4 se presenta el nuevo diagrama para el proceso de escaldado con la implementación del sistema recuperador en el que se enfatiza el ahorro de tiempo durante el proceso.

Figura 4. Diagrama de flujo proceso de escaldado mejorado

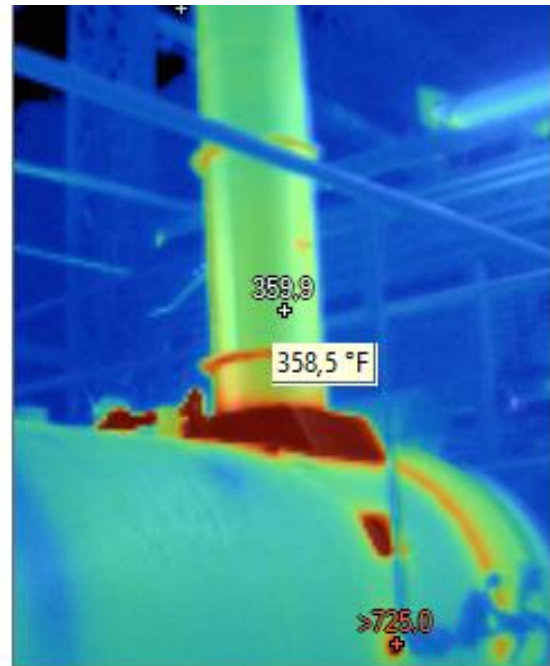


Adicional al ahorro energético también se busca disminuir la temperatura de salida de los gases que actualmente están alrededor de los 230 y 180 °C (ver figura 5) para las calderas Colmaquinas y Continental respectivamente, una vez instalado el sistema diseñado se logrará reducir estas temperaturas considerablemente para de esta forma disminuir la contaminación térmica producida por la empresa.

Figura 5. Termografías de las 2 calderas utilizadas en la planta



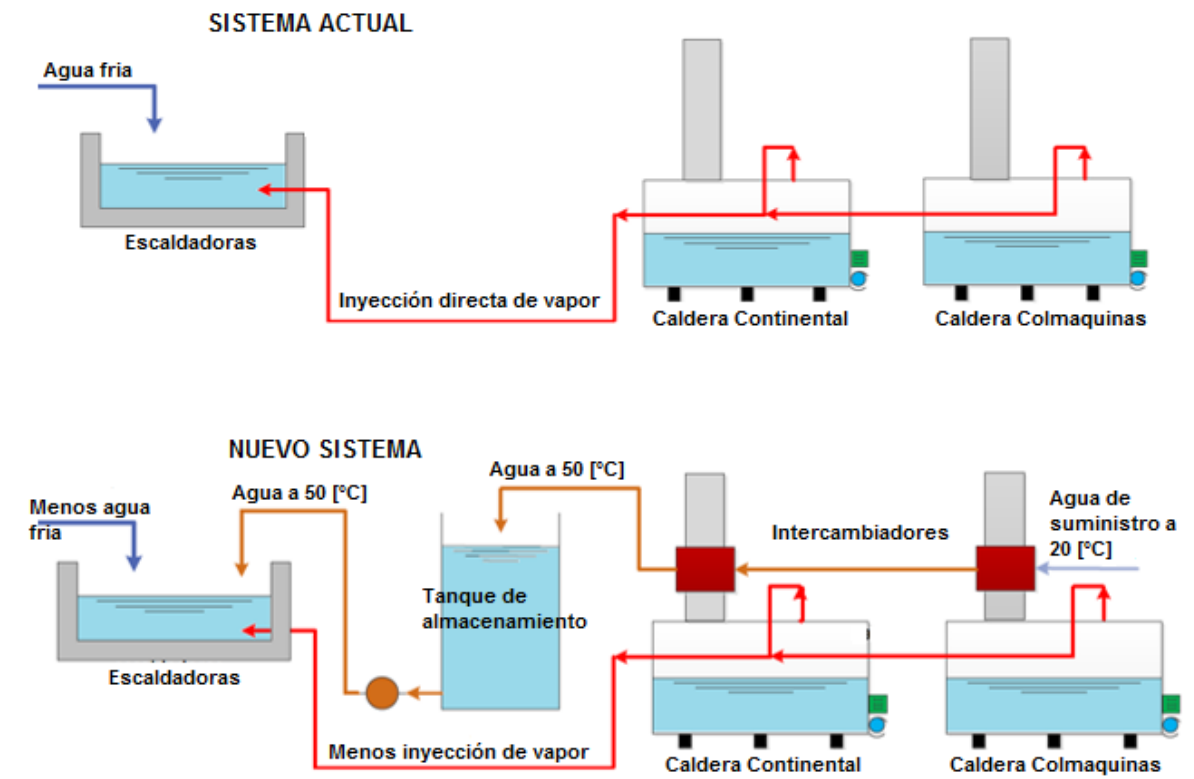
Caldera Colmaquinas



Caldera Continental

Finalmente se presenta la comparación grafica (ver figura 6) entre la situación actual del sistema de calentamiento con el nuevo sistema que se implementará.

Figura 6. Comparación grafica entre el sistema actual y el nuevo sistema

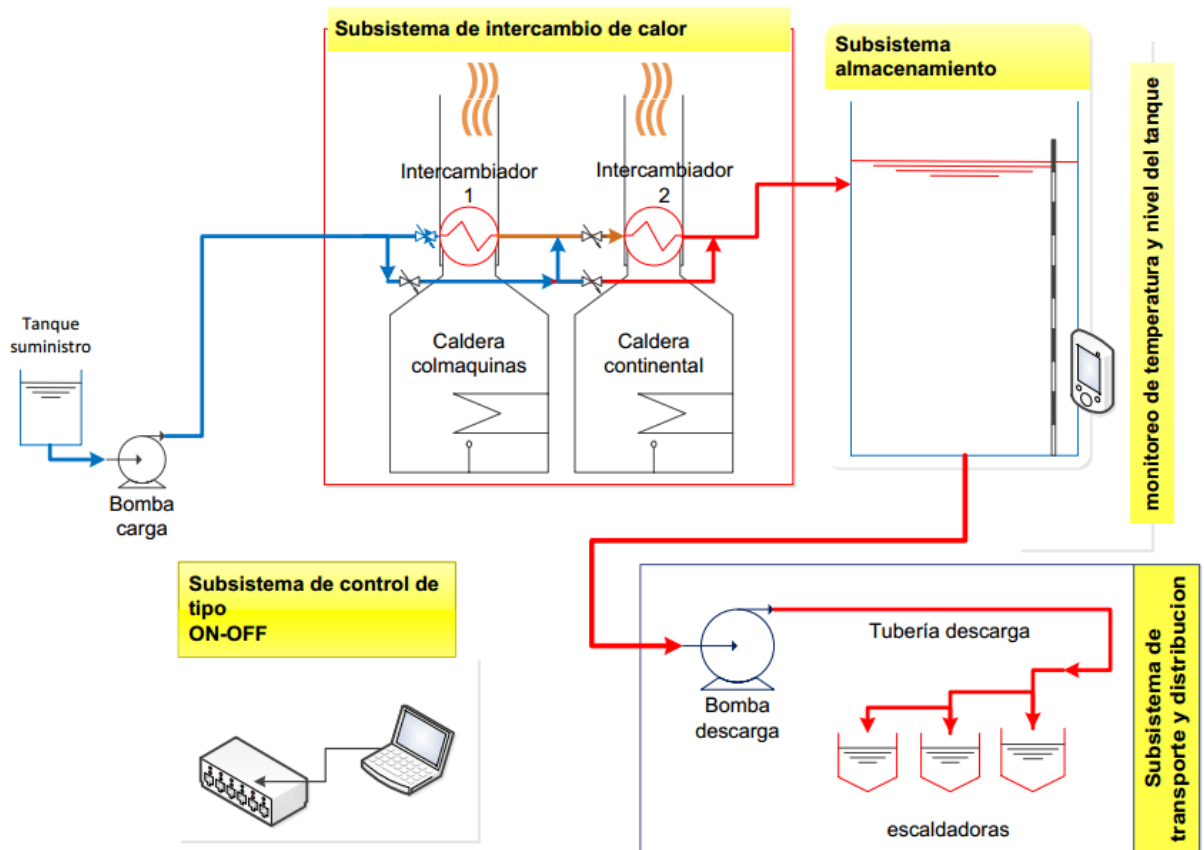


3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

Para reducir los consumos de gas natural y de tiempos de producción en la planta de beneficio de AVIDESA MAC POLLO, se ha diseñado un sistema recuperador de energía (ver figura 7) el cual está constituido por los siguientes componentes:

- ✓ Subsistema de intercambio de calor compuesto por dos intercambiadores de calor (gases-agua) para calentar un flujo de agua promedio de 35 LPM desde la temperatura ambiente hasta 50°C con los gases provenientes de las calderas a 200°C aproximadamente.
- ✓ Subsistema de almacenamiento conformado por un tanque aislado térmicamente con 15 metros cúbicos de capacidad para el cambio total y la reposición continúa durante el proceso de escaldado.
- ✓ Subsistema de monitoreo de temperatura y nivel de agua en el tanque de almacenamiento.
- ✓ Subsistema de control para bombas y válvulas.
- ✓ Subsistema de transporte y distribución de agua.

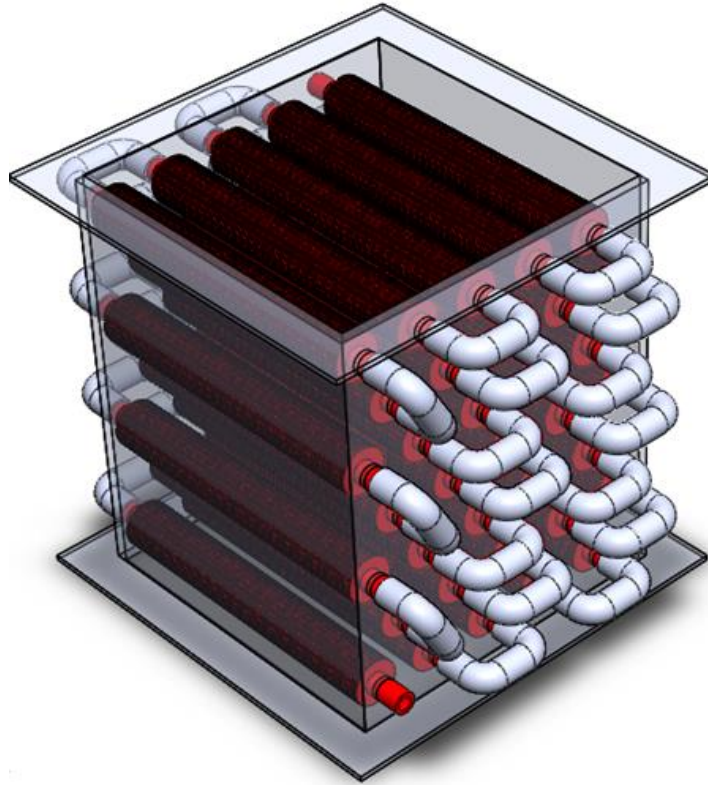
Figura 7. Esquema general del sistema recuperador de energía



3.1 Subsistema de intercambio de calor

Este subsistema está compuesto por 2 intercambiadores de calor de tubos aleteados (ver figura 8), que serán utilizados para el calentamiento del agua que se utilizará en el proceso de escaldado, estos intercambiadores fueron diseñados siguiendo el método del libro *Fundamentals of Heat Exchanger Design*.

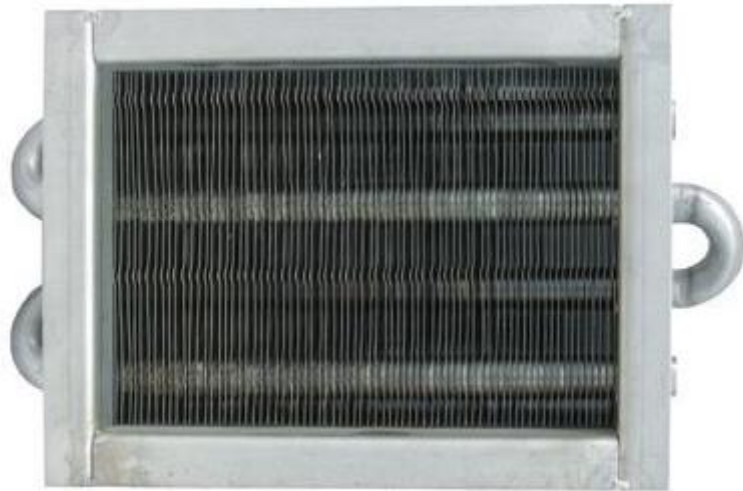
Figura 8. Intercambiador de calor diseñado por los autores



Para la selección del tipo de intercambiador de calor se tenían dos opciones principales las cuales son las más utilizadas y recomendadas para el intercambio de calor entre gases y agua, las cuales son:

- ✓ Banco de tubos aleteados con aletas de placas planas (ver figura 9)
- ✓ Banco de tubos aleteados con aletas circulares (ver figura 10)

Figura 9. Intercambiador con aletas de placas planas



Fuente: www.termia.cl

Figura 10. Intercambiador con aletas circulares



Fuente: www.termia.cl

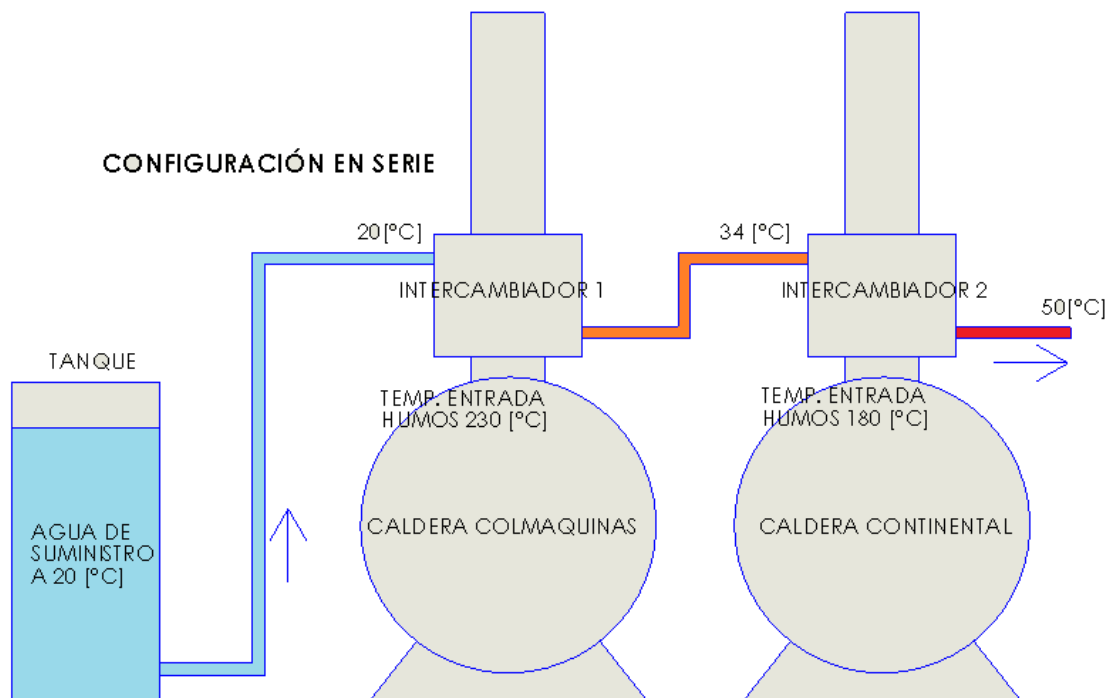
De las dos opciones anteriores se seleccionó el intercambiador con aletas circulares de acuerdo a los siguientes criterios:

- ✓ Mayor eficiencia en la transferencia del calor al estar el gas perfectamente mezclado.
- ✓ Menor pérdida de presión del lado de los gases para afectar lo menos posible el tiro actual en las chimeneas de las calderas.
- ✓ Mejor robustez mecánica de las aletas.
- ✓ Menor precio del intercambiador debido a que los tubos aleteados ya se producen en serie en la industria colombiana.

3.1.1 Configuración de los flujos de agua a calentar

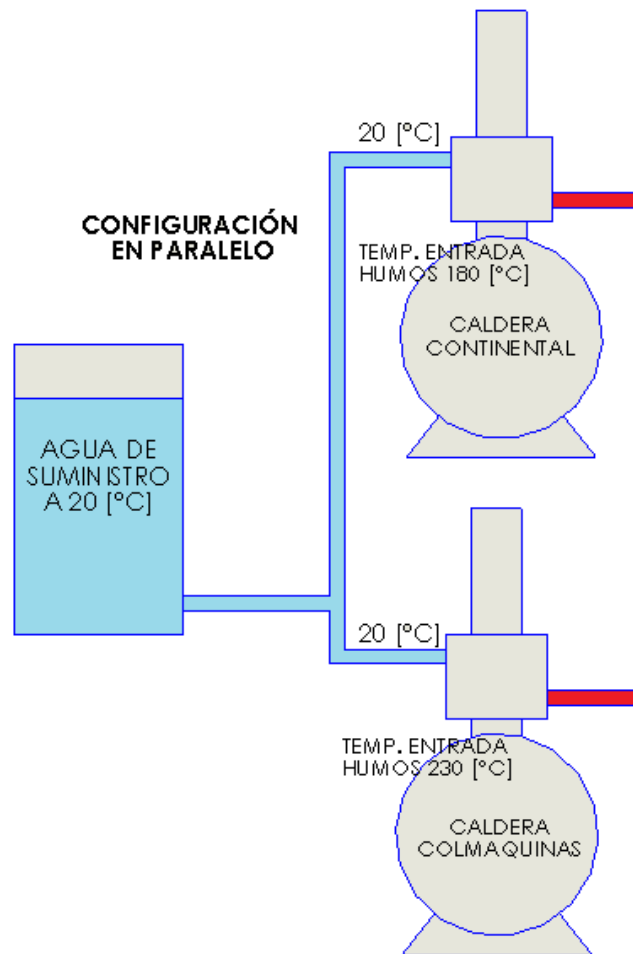
Cuando se habla de la configuración de los flujos de agua se hace referencia al orden de entrada que tendrá este flujo en los intercambiadores, para esto se tienen 2 opciones (serie o paralelo) que se pueden analizar en las siguientes figuras:

Figura 11. Intercambiadores de calor en serie.



En la figura anterior se aprecia cómo sería la distribución del circuito del agua pasando inicialmente por el intercambiador de la caldera colmaquinas que tiene una temperatura de salida de gases de 230 [°C] la cual al ser más alta tiene menor probabilidad de sufrir condensación en sus humos, además de esto el agua al salir de este primer intercambiador aumenta su temperatura hasta aproximadamente 34 [°C] que al ser más caliente, disminuye las probabilidades de condensaciones en los humos del segundo intercambiador al cual los gases de combustión le entran a una temperatura menor de 180 [°C] aproximadamente.

Figura 12. Intercambiadores de calor en paralelo.



En la anterior imagen se presentó la distribución del flujo en paralelo, esta distribución tiene la desventaja que el agua entra en ambas calderas a temperatura ambiente lo cual aumenta las probabilidades de condensación de los humos en la caldera continental que es crítica por tener la menor temperatura de salida de sus gases exosto. También se podría decir que al reducirse en la mitad el flujo de agua por estar en paralelo los intercambiadores, se reduciría el riesgo de condensación en los intercambiadores, pero esto como se comprobará más adelante es un factor que no influye con mucha importancia en el proceso de condensación.

Por lo anteriormente expuesto se ha escogido la configuración en **serie** para el flujo de agua a calentar el cual al aumentar la temperatura de entrada al intercambiador más crítico, disminuye con esto las probabilidades de condensación de los humos que serían corrosivos tanto para el intercambiador como para el interior de las calderas.

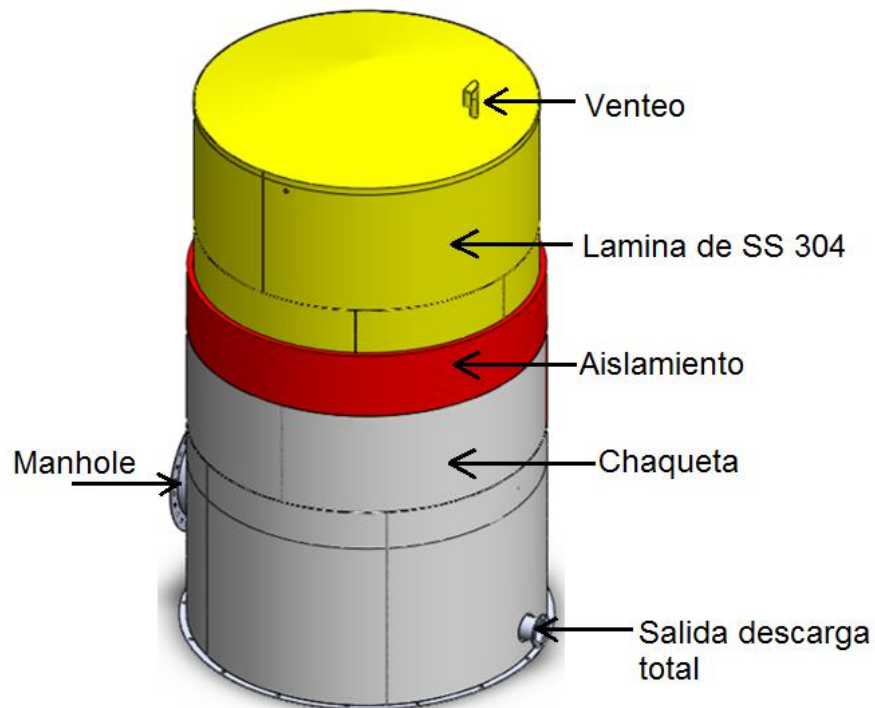
3.2 Subsistema de almacenamiento

Este subsistema tiene como función almacenar el agua necesaria para el cambio total y la reposición continua necesaria para el proceso de escaldado, además de eso debe retener el calor obtenido anteriormente por los intercambiadores puesto que su descarga total puede demorar hasta 12 horas en realizarse y se debe mantener la temperatura interna aproximadamente en 50 [°C].

El subsistema está compuesto por un tanque aislado térmicamente (ver figura 13) con 15 metros cúbicos de capacidad, volumen establecido debido a que este es el mismo requerido para llenar las 3 escaldadoras en la planta de beneficio de MAC POLLO.

Este tanque fue diseñado bajo la norma API 650 la cual es internacionalmente aceptada para este tipo de depósitos, se fabricará en acero inoxidable 304 y tendrá como aislamiento una capa de fibra sintética conocida comercialmente como INSUL QUICK lo que permitirá mantener una temperatura constante en el interior del tanque. Todas las recomendaciones de fabricación serán dadas posteriormente en el diseño detallado del mismo.

Figura 13. Tanque de 15 metros cúbicos litros aislado térmicamente



El tanque tendrá un sistema de control el cual verificará constantemente el volumen interno, cuando este llegue a los 15000 litros necesarios para el cambio total, el flujo de agua proveniente de los intercambiadores se dirigirá directamente a las escaldadoras, agua que servirá para la reposición continua necesaria en el escaldado. Durante el tiempo de almacenamiento de los 15000 litros la reposición

continúa se seguirá haciendo con agua a temperatura ambiente ya que este flujo de reposición es demasiado alto y la energía presente en los gases exosto no es suficiente para lograr satisfacer toda la demanda, y la prioridad del sistema siempre será tener disponibles los 15000 litros para el llenado o cambio total del agua en las escaldadoras.

Adicional a esto, el tanque estará provisto de un sistema de evacuación rápida para llenar en el menor tiempo posible las escaldadoras y poder dar inicio a la producción de la planta, aumentando su capacidad de producción.

3.3 Subsistema de monitoreo de temperatura y nivel de agua en el tanque de almacenamiento

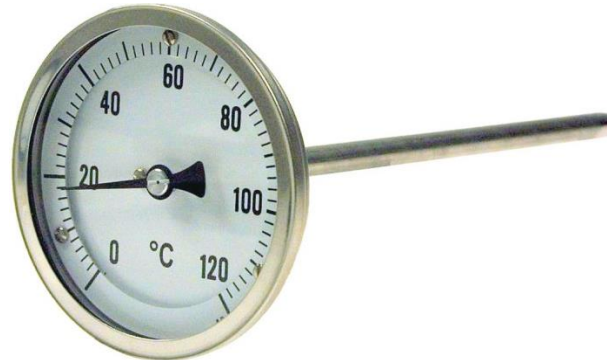
Este subsistema está pensado para que los empleados de la planta puedan revisar en cualquier momento la temperatura y el nivel dentro del tanque para así evitar algún error en el funcionamiento del sistema, para realizar esta labor se utilizara un manómetro (ver figura 14) que mide la presión producida por la columna de agua y sobre este se marcarán los puntos de operación del tanque, debido a que el operario no necesita saber exactamente la cantidad de agua sino que tan lleno está el tanque, este sistema es práctico y aceptable; para monitorear la temperatura del agua al interior se hará uso de un termómetro bimetálico (ver figura 15) que tiene una resolución de 2 [°C] la cual es suficiente para que los operarios de la planta puedan verificar la temperatura interna.

Figura 14. Indicador de nivel para el tanque de almacenamiento



Fuente: <http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/manometro.html>

Figura 15. Termómetro bimetálico para medir la temperatura del agua en el tanque



Fuente: <http://spanish.bimetal-thermostats.com/>

3.4 Subsistema de control

Este subsistema tiene como funciones principales las siguientes operaciones:

- ✓ Control de temperatura y de flujo de los gases exosto de las calderas
- ✓ Control del flujo de agua que circula por los intercambiadores

- ✓ Control de la descarga de agua en el tanque de almacenamiento hacia las escaldadoras

Los anteriores son los aspectos generales que se deben controlar para que se obtenga un buen funcionamiento del sistema diseñado.

Además de lo anterior es importante resaltar que uno de los objetivos del sistema de control para el sistema recuperador de energía es evitar la condensación de los gases de combustión ya sea anulando o disminuyendo el flujo de agua que está pasando por los intercambiadores de calor de tal forma que no exista suficiente flujo másico de agua capaz de causar la condensación en la corriente de gases.

Para lograr lo anterior se analizaron dos alternativas para realizar dicho control sobre las bombas y válvulas encargadas de la circulación del agua en los intercambiadores:

- ✓ **Control proporcional:**

Este es un estilo de control conocido por su alta eficiencia debido a que ofrece una respuesta proporcional a cada situación que se presente en el sistema a controlar, sin embargo no es el mejor para ser aplicado a este sistema debido a que el objetivo del control es evitar la condensación y para lograr esto se requeriría una reducción drástica del caudal de agua cuando las calderas producen un flujo másico de gases exosto demasiado bajo, siendo mínima la energía que se recuperaría durante estos periodos, los cuales no son muy frecuentes.

Por otra parte cuando se trata de configurar las constantes proporcional e integral de este control funcionaran tan solo para un estado estable en los intercambiadores, tan pronto como ocurran cambios en la operación de las calderas y por lo tanto en las temperaturas y propiedades de los fluidos, las constantes previamente establecidas dejaran de funcionar correctamente y el

sistema de control no operaria de manera adecuada. Para solucionar esta desconfiguración de las constantes de control es necesario utilizar un sistema M.I.M.O (múltiples entradas con múltiples salidas) el cual requiere una programación más compleja para su funcionamiento y además equipos como válvulas proporcionales de alto valor económico que no se verá retribuido en la cantidad de energía recuperada.

✓ **Control ON-OFF:**

Siendo un estilo de control mucho más sencillo de implementar que el proporcional, este brinda inmunidad frente a los cambios de estado en el funcionamiento de la caldera ya que no requiere sino de condiciones puntuales para el encendido y el apagado del motor encargado de accionar la bomba y de las válvulas que direccionaran el caudal.

Además de lo anterior como este control trabaja todo o nada el sistema deja de enviar flujo de agua a los intercambiadores, por lo tanto los riesgos de condensación son eliminados completamente y no es necesario adquirir equipos variadores de velocidad para el motor que pueden incrementar los costos del proyecto, por estas ventajas es que se ha decidido instalar este tipo de control al sistema que en el siguiente capítulo se explicara con detalle su funcionamiento.

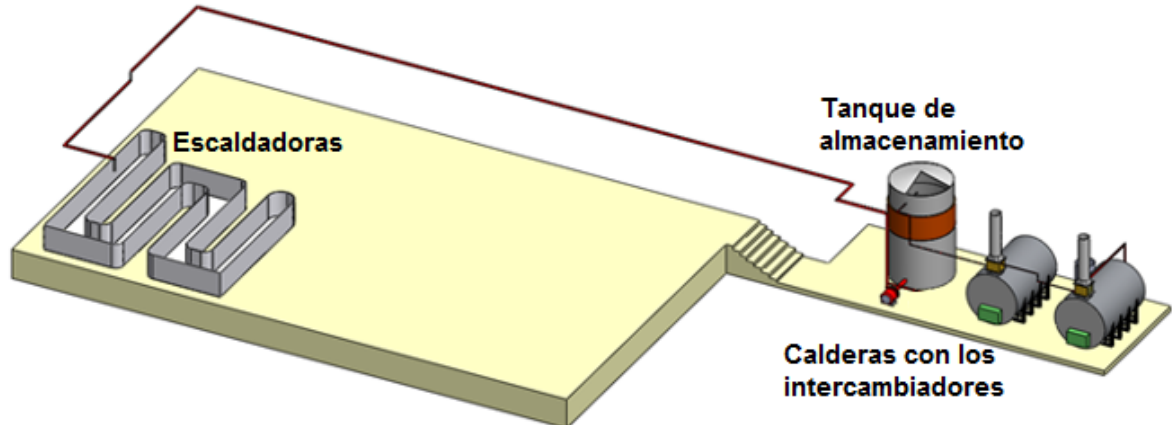
3.5 Subsistema de transporte y distribución de agua

En este subsistema se trataran todos los aspectos involucrados en el sistema necesario para transportar el agua desde el tanque de abastecimiento pasando por los intercambiadores hacia el tanque de almacenamiento, para finalmente enviar el agua almacenada a las escaldadoras. Para lograr todo este trazado que debe recorrer el agua se dispondrán de los siguientes elementos que se describirán con detalle en el siguiente capítulo:

- ✓ Tubería de transporte necesaria para todo el sistema
- ✓ Bomba de carga para impulsar el agua por los intercambiadores hasta el tanque de almacenamiento
- ✓ Bomba de descarga encargada de evacuar el agua almacenada en el tanque hacia las escaldadoras

Adicional a lo anterior para poder entrar a los diseños más detallados fue necesario inicialmente establecer la ruta óptima (ver figura 16) para la instalación de toda la tubería necesaria de transporte desde la fuente inicial de agua hasta su destino final en las escaldadoras, este fue un proceso complejo debido a que la planta de beneficio está muy saturada de tubería y redes eléctricas, lo cual obligó a realizar el planteamiento de la red de transporte por la zona exterior del edificio ocasionando una ruta más larga con más pérdidas hidráulicas por las tuberías.

Figura 16. Vista de la ruta óptima para la tubería



Una vez establecidos todos los trayectos se dio paso a la selección de accesorios necesarios para lograr todo el recorrido y así calcular todas las pérdidas menores de presión que estos generan. Finalmente se realizó el cálculo de las pérdidas que se presentan al interior de los intercambiadores de calor por el lado agua y con

estos y otros datos adicionales se dio paso a la selección de las bombas adecuadas para el funcionamiento del sistema.

4. ANÁLISIS DETALLADO DEL SISTEMA

4.1 SUBSISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR – ANÁLISIS DETALLADO

Complementando la información global que se presentó en el capítulo anterior se tratarán en este numeral aspectos específicos de los intercambiadores de calor como son:

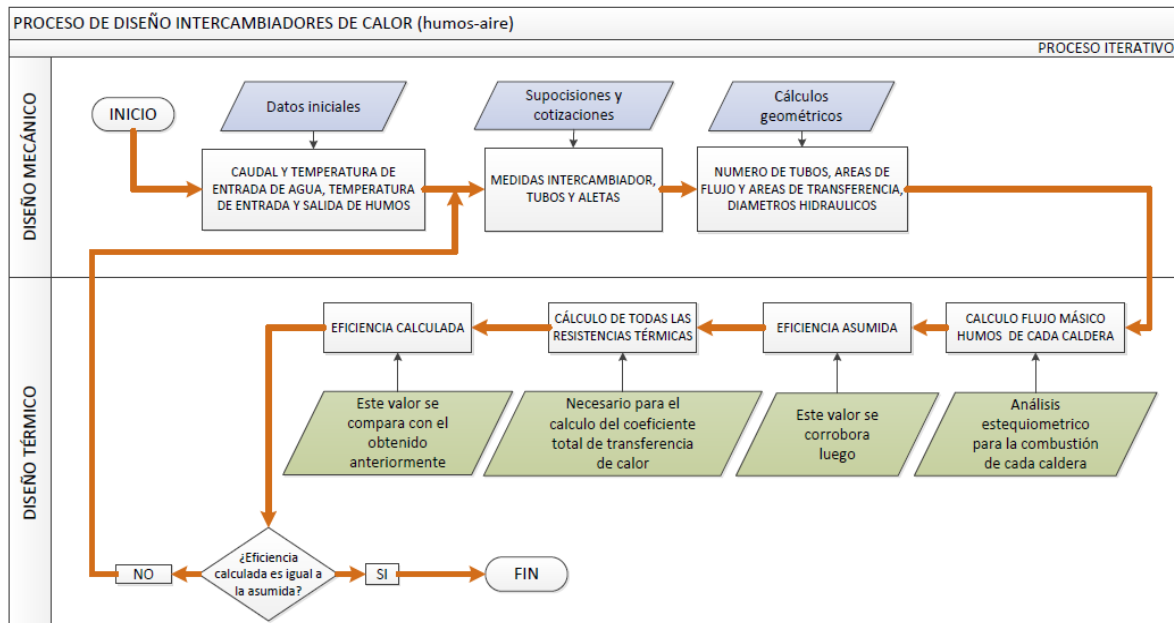
- ✓ Datos del proceso
- ✓ Parámetros geométricos de la tubería aleteada
- ✓ Dimensionamiento de los intercambiadores
- ✓ Diseño térmico del intercambiador
- ✓ Verificación del proceso de diseño

Para integrar los componentes listados anteriormente se basó el diseño de los intercambiadores de calor de tubos aleteados con aletas circulares en el libro *Fundamentals of Heat Exchanger Design*, el cual divide todo el proceso en dos secciones: el dimensionamiento general y el diseño térmico. Ambos procesos trabajan en retroalimentación constante y es necesario comenzar con una suposición para poder calcular los demás aspectos que definen al intercambiador, y finalmente comprobar que la suposición asumida era correcta corroborando su valor con el calculado al final del proceso.

En la figura 17 se puede apreciar el proceso de diseño que se siguió en este proyecto. En esta presentación del proceso de diseño se mostraran los cálculos para el intercambiador que irá ubicado en la chimenea de la primera caldera del trayecto (caldera colmaquinas), este diseño es también valido para el segundo

intercambiador ya que gracias al estudio realizado (ver anexo A) de los consumos individuales de cada caldera se concluyó que estas trabajan con desbalances entre el 70% y el 30% como máximo del consumo global para una u otra caldera dependiendo de las condiciones internas que varían continuamente durante el día.

Figura 17. Diagrama de flujo del proceso de diseño del intercambiador



4.1.1 Datos del proceso

Es necesario establecer algunos datos que representarán las características y capacidades que debe tener el sistema, las cuales deben cumplir con los requerimientos establecidos por MAC POLLO. A continuación se presentarán todos los datos con los que se contó antes de comenzar el proceso de diseño:

- ✓ Temperatura entrada humos: 230°C
- ✓ Temperatura salida de los humos (esperada): 70°C

- ✓ Temperatura de entrada del agua = 20°C
- ✓ Caudal de agua = 35 LPM

4.1.2 Parámetros geométricos de la tubería aleteada

Adicional a lo anterior, fue necesario buscar cuales materiales se encontraban disponibles para la manufactura del intercambiador, el resultado de esta búsqueda fue el tubo en acero inoxidable 304 con aletas de aluminio (ver figura 18) con las siguientes dimensiones:

- ✓ $D_{nominal} = \frac{3}{4}$ [pulg.] "Diámetro nominal"
- ✓ $D_{ext} = 26,7$ [mm] "Diámetro externo"
- ✓ $D_{int} = 20,9$ [mm] "Diámetro interno"
- ✓ $D_{fin} = 56$ [mm] "Diámetro de la aleta"
- ✓ $N_f = 393$ "Numero de aletas por metro de tubería"
- ✓ $\delta = 0,4$ [mm] "espesor de las aletas"

Figura 18. Tubería aleteada



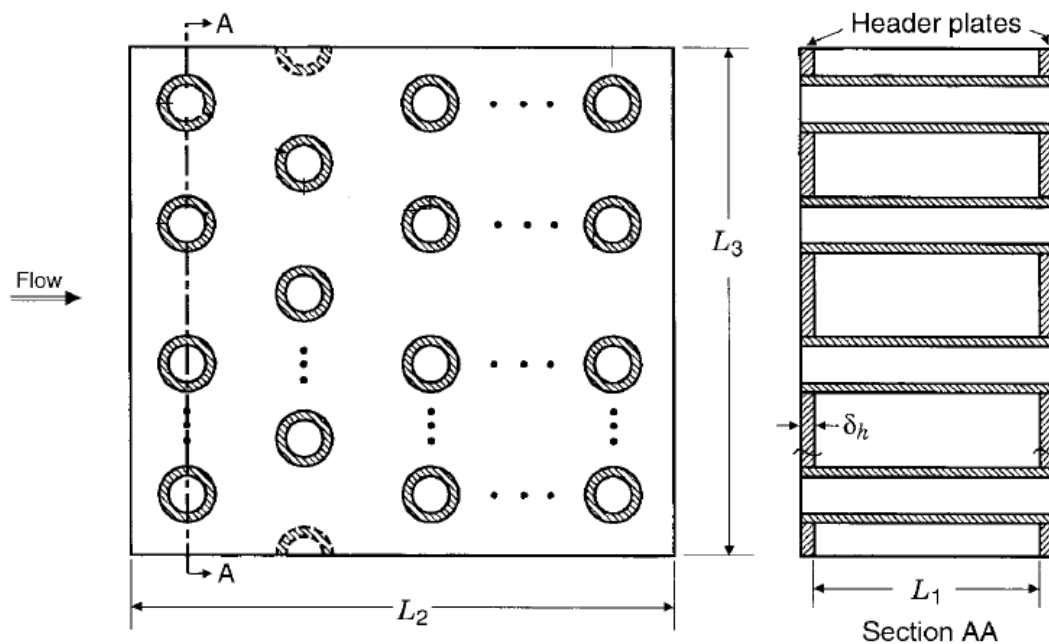
Fuente: Tosin Ltda.

4.1.2 Dimensionamiento interior y exterior

4.1.2.1 Suposiciones iniciales

Este diseño se inicia suponiendo algunas dimensiones geométricas del intercambiador que deben ser proporcionales con respecto a las dimensiones actuales de las chimeneas, estas tienen un diámetro de 40 cm, por lo tanto se decidió suponer las medidas que se observan en la siguiente figura:

Figura 19. Medidas exteriores del intercambiador



Fuente: RAMESH K. SHAH AND DUSAN P. SEKULIC. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

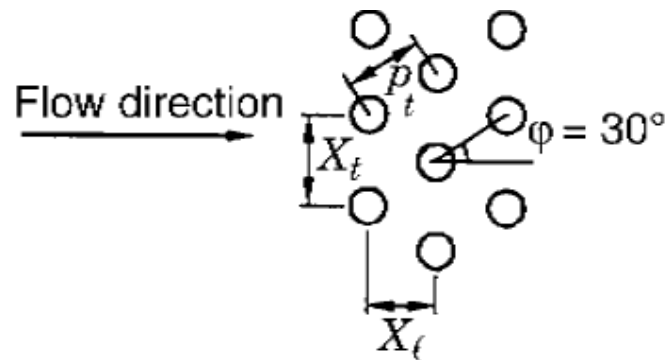
Donde:

- ✓ $L_1 = 0.4 [m]$ "Longitud de los tubos"
- ✓ $L_2 = 0.4 [m]$ "Ancho"

✓ $L3 = 0.5 [m]$ "Alto"

Para escoger el tipo de arreglo interno de los tubos se utilizó el criterio de mayor efectividad en la transferencia de calor, arrojando como resultado un arreglo escalonado con un ángulo entre tubos de 30° . Esto se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 20. Medidas interiores del intercambiador



Fuente: RAMESH K. SHAH AND DUSAN P. SEKULIC. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

Donde:

✓ $X_t = 80 [mm]$

✓ $X_l = 70 [mm]$

✓ $p_t = 80 [mm]$

Una vez establecidas las dimensiones externas e internas necesarias del intercambiador se procede a iniciar los cálculos de la geometría restante requerida para abordar el diseño térmico.

4.1.2.2 Calculo de la geometría restante

- ✓ Numero de tubos

$$N_t = \frac{L_2}{X_t} \left[\frac{\frac{L_2}{X_t} + 1}{2} \right] + \left[\frac{L_3}{X_t} - 1 \right] \left[\frac{\frac{L_2}{X_t} - 1}{2} \right]$$

- ✓ Área mínima de flujo

$$A_0 = L_1 \left[\left(\frac{L_3}{X_t} - 1 \right) c' + X_t - D_{ext} - (D_{fin} - D_{ext}) \delta N_f \right]$$

$$c' = X_t - D_{ext}$$

- ✓ Área principal de transferencia

$$A_p = \pi D_{ext} [L_1 - \delta N_f L_1] N_t$$

- ✓ Área de las aletas

$$A_{fin} = \left[2\pi \left(\frac{D_{fin}^2 - D_{ext}^2}{4} \right) + \pi D_{fin} \delta \right] N_f L_1 N_t$$

- ✓ Área total de transferencia

$$A = A_p + A_{fin}$$

- ✓ Área frontal del intercambiador

$$A_{fr} = L_1 L_3$$

- ✓ Relación del área mínima de flujo respecto al área frontal del intercambiador.

Sigma

$$\sigma = \frac{A_0}{A_{fr}}$$

- ✓ Diámetro hidráulico

$$D_{hidraulico} = \frac{4 A_0 L_2}{A}$$

Una vez calculados toda la geometría restante de los intercambiadores se dio paso al diseño térmico del mismo.

4.1.3 Diseño térmico

Este diseño se realizó asumiendo un estado estable con un consumo de combustible medio-bajo en las calderas de **50 m³/h**, esto con el fin de evitar que en el momento que estos consumos se presenten no ocurra la condensación de los gases de combustión, ya que si se hiciera el diseño suponiendo un consumo de combustible medio-alto o alto las probabilidades de condensación aumentarían considerablemente.

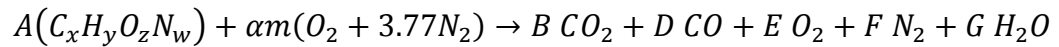
4.1.3.1 Cálculos previos

Para poder adentrarse en el diseño térmico es necesario primero realizar los cálculos necesarios para establecer la relación másica humos/combustible de las calderas, para esto se utilizaron los datos de la composición química de los gases exosto que se pueden apreciar en el anexo A y la composición del gas natural que fue suministrada por Metrogas empresa proveedora de este servicio para MAC POLLO. Esta relación humos/combustible es fundamental para poder establecer el

flujo másico de humos en función del consumo de gas en la planta y poder realizar todo el diseño térmico.

✓ Estequiometría de la combustión en las calderas

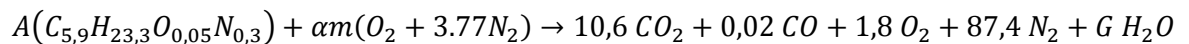
Para 100 moles de humos y con los valores de la muestra tomada se obtuvo los siguientes valores:



Dónde:

$$X = 5,96, \quad Y = 23,3, \quad Z = 0,05625, \quad W = 0,307$$
$$B = 10,675, \quad D = 0,02733, \quad E = 1,825, \quad F = 87,472$$

✓ Reemplazando:



✓ Balanceando se encuentra:

Carbonos: $A=1,79$

Hidrógenos: $G=20,9$

Nitrógenos: $\alpha m=23,1$

Oxígenos: $\alpha m=22,9$

Se observa que el valor de αm tiene dos valores, pero son similares, por lo que se decidió tomar el valor de 23, con este valor se obtiene el siguiente resultado:

$$(\alpha - 1)m = 1.825$$

$$\alpha = 1,086$$

Es decir, un 8,6% de exceso de aire, cuyo valor es aceptable ya que se encuentra en los valores usados industrialmente en la combustión de calderas que funcionan a gas natural.

Para hallar la relación gases/combustible en forma másica debemos tener en cuenta los valores de las masas molares de los diferentes elementos y compuestos presentes en la combustión, los cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Masas moleculares

Compuesto o Elemento	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	H ₂ O	C	H
Masa Molecular [g/mol]	44	28	32	28	18	12	1

$$REL_{gases/fuel} = \frac{B M_{CO_2} + D M_{CO} + E M_{O_2} + F M_{N_2} + G M_{H_2O}}{X M_C + Y M_H + Z M_O + W M_N}$$

$$REL_{gases/fuel} = 18,9$$

Con lo anterior y el flujo de combustible que se asumió anteriormente se tienen los datos suficientes para poder calcular el flujo másico de gases.

✓ Flujo másico de gases

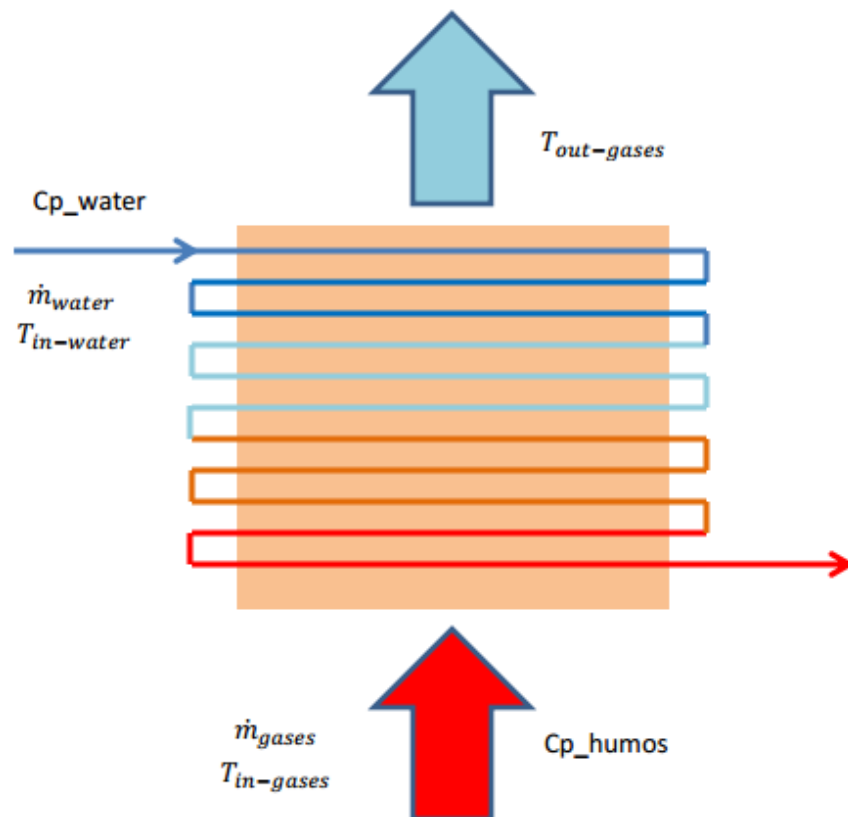
$$\dot{m}_{gases} = \dot{m}_{combustible} * Rel\left(\frac{gases}{combustible}\right)$$

Una vez se consigue este dato se puede dar paso al proceso iterativo que conlleva el diseño total del intercambiador para establecer un balance entre las dimensiones físicas y la comprobación de los datos asumidos mediante el método de las eficiencias.

4.1.3.2 Cálculo de la eficiencia del intercambiador

Siguiendo el proceso de diseño, a continuación se muestran los datos iniciales con los cuales se comienza el diseño térmico (ver figura 21), teniendo como objetivo encontrar la “eficiencia calculada” del intercambiador y poderla comparar con la “eficiencia asumida” y así poder validar el proceso de diseño.

Figura 21. Datos iniciales para el diseño térmico.



Donde:

$$\dot{m}_{gases} = 0,1708 \text{ [kg/s]}$$

$$C_{p_{gases}} = 1203 \left[\frac{J}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{in-gases} = 230 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$T_{out-gases} = 70 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ (Supuesta)}$$

$$\dot{m}_{water} = 0,58 \text{ [kg/s]}$$

$$C_{p_{water}} = 4,18 \left[\frac{J}{Kg * ^\circ C} \right]$$

$$T_{in-water} = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Con los datos anteriores se verificó cuál de los dos fluidos tiene el menor $\dot{m} * C_p$ (el mismo que sufre el mayor cambio de temperatura entre ambos) y con este calcular la efectividad esperada del intercambiador.

✓ Cálculo del $(\dot{m} * C_p)_{minimo}$

$$(\dot{m} * C_p)_{gases} = 0,2055$$

$$(\dot{m} * C_p)_{water} = 2,4244$$

Por lo tanto el fluido con el $(\dot{m} * C_p)_{minimo}$ son los gases exosto

✓ Efectividad asumida

$$\varepsilon_{asumida} = \frac{\Delta T_{gases}}{\Delta T_{maximo\ posible}}$$

$$\varepsilon_{asumida} = \frac{230 - 70}{230 - 20}$$

$$\varepsilon_{asumida} = 0,76 = 76 \%$$

Este valor será el punto de comparación con la eficiencia calculada que arrojará el proceso de diseño que se realiza a continuación.

✓ Cálculo de la resistencia de convección interna lado agua

Para realizar este cálculo es necesario hacer uso de los datos iniciales del caudal de agua deseado (35 LPM) y el área interna de los tubos de diámetro nominal $\frac{3}{4}$.

$$vel_{water} = \frac{\dot{V}_{water}}{A_{water}} \quad \text{“Velocidad del agua”}$$

$$A_{water} = \frac{\pi}{4} D_{int}^2 \quad \text{“Área de flujo del agua”}$$

$$Re_{water} = \frac{D_{int} vel_{water}}{\vartheta_{water}} \quad \text{“Numero de Reynolds”}$$

$$Nusselt = 0,023 Re_{water}^{0,8} Pr_{water}^{0,4} \quad \text{“Numero de Nusselt”}$$

$$Nusselt = \frac{h_{int} D_{int}}{K_{water}} \quad \text{“Relación Nusselt con coeficiente de transferencia”}$$

$$A_{int\ sup} = \pi D_{int} L_1 N_t \quad \text{“Superficie transferencia de calor para agua”}$$

$$resistencia_{water} = \frac{1}{h_{int} A_{int\ sup}} \quad \text{“Resistencia térmica agua”}$$

✓ Cálculo de la resistencia de la pared del tubo

$$r_{int} = \frac{D_{int}}{2} \quad \text{“Radio interno”}$$

$$r_{ext} = \frac{D_{ext}}{2} \quad \text{“Radio externo”}$$

$$Resistencia_{tubo} = \frac{\ln\left[\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right]}{2\pi L_1 N_t K_{inox}} \quad \text{“Resistencia térmica del tubo”}$$

- ✓ Cálculo de la resistencia de contacto entre la aleta y el tubo

A pesar de que la empresa fabricante de los tubos aleteados asegura que esta resistencia es despreciable debido a la sólida unión a presión que existe entre la aleta y el tubo, es más conservador tener en cuenta una resistencia por posibles defectos en la fabricación de la tubería, por esto se ha tomado como dato un valor de coeficiente de transferencia de calor por contacto de la literatura (*transferencia de calor de Cengel*, tercera edición capítulo 3)

$$Resistencia_{contacto} = \frac{1}{h_{contacto} A_{contacto}} \quad \text{“Resistencia térmica contacto”}$$

$$h_{contacto} = 16400 \left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C} \right] \quad \text{“Coeficiente transferencia contacto”}$$

$$A_{contacto} = \pi D_{ext} \delta N_f L_1 N_t \quad \text{“Área de contacto”}$$

- ✓ Cálculo de la resistencia de convección lado humos

$$h_{humos} = j G C p_{humos} \frac{1000}{Pr_{humos}^{2/3}} \quad \text{“Coeficiente transferencia lado humos”}$$

$$G = \frac{\dot{m}_{humos}}{A_0} \quad \text{“Relación flujo másico respecto área mínima”}$$

$$j = 0,134 Re_d^{-0,319} \left[\frac{s}{l} \right]^{0,2} \left[\frac{s}{\delta} \right]^{0,11}$$

$$s = p_f - \delta$$

$$l = \frac{D_{fin} - D_{ext}}{2}$$

$$Re_d = \rho_{humos} u_m \frac{D_{ext}}{\mu_{humos}} \quad \text{“Reynolds lado humos”}$$

$$u_m = \frac{G}{\rho_{humos}} \quad \text{“Velocidad humos”}$$

✓ Análisis de la aleta

$$\eta_{fin} = \frac{D_{ext} B_1}{m \left[\left(\frac{D_{fin}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{ext}}{2} \right)^2 \right]} \quad \text{“Eficiencia aleta”}$$

$$B_1 = \frac{num}{den} \quad \text{“Relación funciones de Bessel”}$$

$$num = I_1(m r_{fin}) K_1(m r_{ext}) - I_1(m r_{ext}) K_1(m r_{fin})$$

$$den = I_0(m r_{ext}) K_1(m r_{fin}) - I_1(m r_{fin}) K_0(m r_{ext})$$

$$\eta_0 = 1 - \frac{A_{fin}}{A} [1 - \eta_{fin}] \quad \text{“Eficiencia de la superficie aleteada”}$$

$$Resistencia_{humos} = \frac{1}{h_{humos} A \eta_0} \quad \text{“Resistencia térmica humos”}$$

✓ Calculo de del producto U*A con referencia al lado de los humos

$$\frac{1}{UA} = Resistencia_{water} + Resistencia_{tubo} + Resistencia_{contacto} + Resistencia_{humos}$$

✓ Calculo de la NTU

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}}$$

$$C_{min} = \dot{m}_{humos} C_{p_{humos}}$$

$$C_{max} = \dot{m}_{water} C_{p_{water}}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{1 - \exp(-NTU)} + \frac{1}{1 - \exp(-NTU * C)} - \frac{1}{NTU}} \quad \text{“Eficiencia térmica calculada”}$$

$$\varepsilon = 0,7624 = \mathbf{76,24 \%}$$

Una vez obtenido este valor se verificó que es muy cercano al asumido, por lo tanto el proceso de diseño es válido. Cabe resaltar que este fue un proceso iterativo en el cual fue necesario ir variando las dimensiones internas y externas hasta llegar a un resultado correcto, también se determinó que la dimensión que más afecta la efectividad del intercambiador es la distancia entre tubos, y fue esta con la que se logró un ajuste fino para que la eficiencia calculada fuera igual a la asumida.

Por otra parte es necesario verificar también este dato de las eficiencias asumidas y calculadas para el segundo intercambiador el cual es diseñado con las mismas medidas que el primero pero teniendo el inconveniente de que las temperaturas de entrada de agua (~34 [°C] gracias al precalentamiento del primero) y de humos (~180 [°C]) las cuales son diferentes que en el primero. Con estos datos se llegó a los siguientes resultados para las eficiencias del segundo intercambiador:

$$\varepsilon_{asumido} = 75\%$$

$$\varepsilon_{calculado} = 77\%$$

Esa diferencia de solo 2 puntos porcentuales no amerita variar la geometría del segundo intercambiador teniendo en cuenta que los costos de manufactura se incrementarían si se construyen con diferentes dimensiones.

Con esta efectividad se da paso a verificar la temperatura de salida del agua la cual será la temperatura a la que entra el agua en el segundo intercambiador.

✓ Cálculo de la temperatura de salida del agua

$$T_{out\ water} = T_{in\ water} + \varepsilon C (T_{in\ humos} - T_{in\ water})$$

$$T_{out-water} = 33,5 [^{\circ}C]$$

Gracias a este aumento en la temperatura del agua se disminuye la probabilidad que en el segundo intercambiador (caldera continental) exista condensación.

Una vez finalizado el diseño térmico del intercambiador se da paso al diseño hidráulico.

✓ Cálculo del delta de presión del intercambiador en el lado de los humos

$$\frac{\Delta P}{P_i} = \frac{G^2}{2g \rho_i P_i} \left[f \frac{L_3}{r_{hidraulico}} \frac{\rho_i}{\rho_{humos}} + 2 \left(\frac{\rho_i}{\rho_o} - 1 \right) \right] \text{ "Cambio de presión"}$$

$$r_{hidraulico} = \frac{D_{hidraulico}}{4} \text{ "Radio hidráulico"}$$

$$f = 9,465 Re_d^{-0,316} \left[\frac{X_t}{D_{ext}} \right]^{-0,927} \left[\frac{X_t}{X_d} \right]^{0,515} \text{ "Coeficiente de fricción"}$$

$$X_d = (X_t^2 + X_l^2)^{0,5} \text{ "Distancia diagonal entre tubos"}$$

De lo anterior se obtuvo el siguiente valor

$$\Delta P = 71,7 [Pa]$$

Como se aprecia el valor anterior es muy bajo y el uso de ventiladores para vencer este delta de presión no se considera necesario ya que al consultar con los fabricantes de las calderas estos aseguraron que la mismas serán capaces de ajustar su funcionamiento ante esta situación, esta observación se hace también en base a la existencia de un sistema similar que se instaló unos años atrás en otra planta de MAC POLLO, y de igual forma no fue necesario la instalación de ventiladores para compensar esta pérdida de presión, pero se le hará énfasis a MAC POLLO sobre esta situación y gracias a que se tiene este dato de presión, en caso de que después de instalado el sistema el funcionamiento de las calderas no sea el correcto, se podrá fácilmente solucionar este inconveniente.

- ✓ Velocidad del agua dentro del tubo

Para poder validar la correcta selección de la tubería con relación al caudal es necesario basarse en el criterio de la velocidad óptima al interior de los tubos, este según el libro *Mecánica de fluidos*, Robert L. Mott dice en el capítulo 6 que la velocidad óptima de un fluido al interior de un tubo debe oscilar entre los 1.5 y 4 [m/s] para así evitar ensuciamiento o vibraciones indeseadas.

$$vel_{water} = \frac{\dot{V}_{water}}{A_{water}}$$

$$A_{water} = \frac{\pi}{4} D_{int}^2$$

Obteniendo como resultado:

$$vel_{water} = 1,7 \text{ [m/s]}$$

Finalmente se calculó las pérdidas hidráulicas para 35 [lpm] de agua, este se realizó analizando la longitud de la tubería y teniendo en cuenta la cantidad de accesorios necesarios para lograr el trayecto deseado

- ✓ Calculo del cambio de presión por el lado del agua

$$K_u = 50 F_T \quad \text{“Coeficiente de resistencia dada por la U conectora entre tubos”}$$

$$F_T = 0,025 \quad \text{“Factor de fricción tubería de ¾ acero comercial”}$$

$$h_{L u} = K_u \frac{vel_{water}^2}{2g} \quad \text{“Altura perdida por la U conectora entre tubos”}$$

- ✓ Pérdida debido a la fricción correspondiente a un solo paso, en función solamente de la longitud

$$\varepsilon_{acero} = 0,000046 \text{ [m2]} \quad \text{“Rugosidad acero comercial”}$$

$$fricc = \frac{0,25}{\log^2 \left[\frac{1}{3,7 \frac{D_{int}}{\varepsilon_{acero}}} + \frac{5,74}{Re_{water}^{0,9}} \right]} \quad \text{“Factor de fricción de la tubería”}$$

$$h_{L \text{ fricción}} = fricc \frac{L_1}{D_{int}} \frac{vel_{water}^2}{2g} \quad \text{“Altura perdida por la fricción”}$$

✓ Pérdida de presión total

$$h_{L \text{ paso}} = h_{L \text{ fricción}} + h_{L u} \quad \text{“Altura perdida por paso”}$$

$$h_{L \text{ tubería}} = h_{L \text{ paso}} N_t \quad \text{“Altura perdida tubería”}$$

$$\Delta P_{agua} = \rho_{water} g \frac{h_{L \text{ tubería}}}{1000} \quad \text{“Pérdida de presión agua”}$$

Para obtener finalmente:

$$\Delta P_{agua} = 83,65 \text{ [kPa]}$$

Con esto se finaliza el diseño total del intercambiador, este proceso se realizó utilizando el software EES, el código completo se puede apreciar en el anexo B en donde se pueden corroborar todos los valores obtenidos en este diseño.

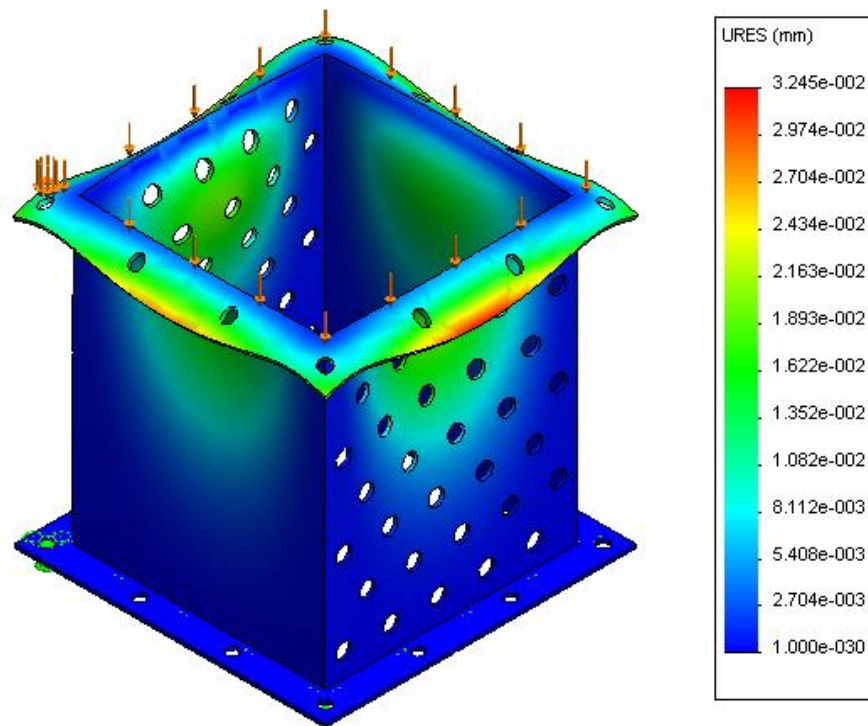
4.1.4 Análisis de la resistencia mecánica del intercambiador

El diseño de la carcasa del intercambiador se puede revisar el anexo C, en donde se encuentran los planos detallados de todo el elemento, para escoger el espesor de la lámina con la cual se fabricara el intercambiador se consultó con los diferentes fabricantes con los que cuenta MAC POLLO, estos sugirieron que se debe utilizar lamina de acero 1020 con un espesor mínimo de ¼ de pulgada el cual facilita su soldadura y brinda un soporte robusto para resistir el peso del tramo restante de la chimenea.

Para justificar esta selección del material se realizó un estudio estructural de la carcasa en Solidworks, este estudio tiene como objeto comprobar la resistencia del material bajo una carga aproximada de 350 [kg] correspondientes al peso estimado del tramo restante de chimenea después del intercambiador.

En la siguiente figura se muestran los resultados de la simulación:

Figura 22. Simulación de resistencia mecánica del intercambiador



En la figura anterior se aprecia una ilustración didáctica que exagera la deformación para poder apreciar los resultados del estudio, ya que la deformación real se puede verificar en la escala al lado derecho de la imagen en donde se tiene que la deformación máxima del material es de 32 micras, lo cual sería imposible de apreciar en una escala real en la anterior figura. Con esta deformación

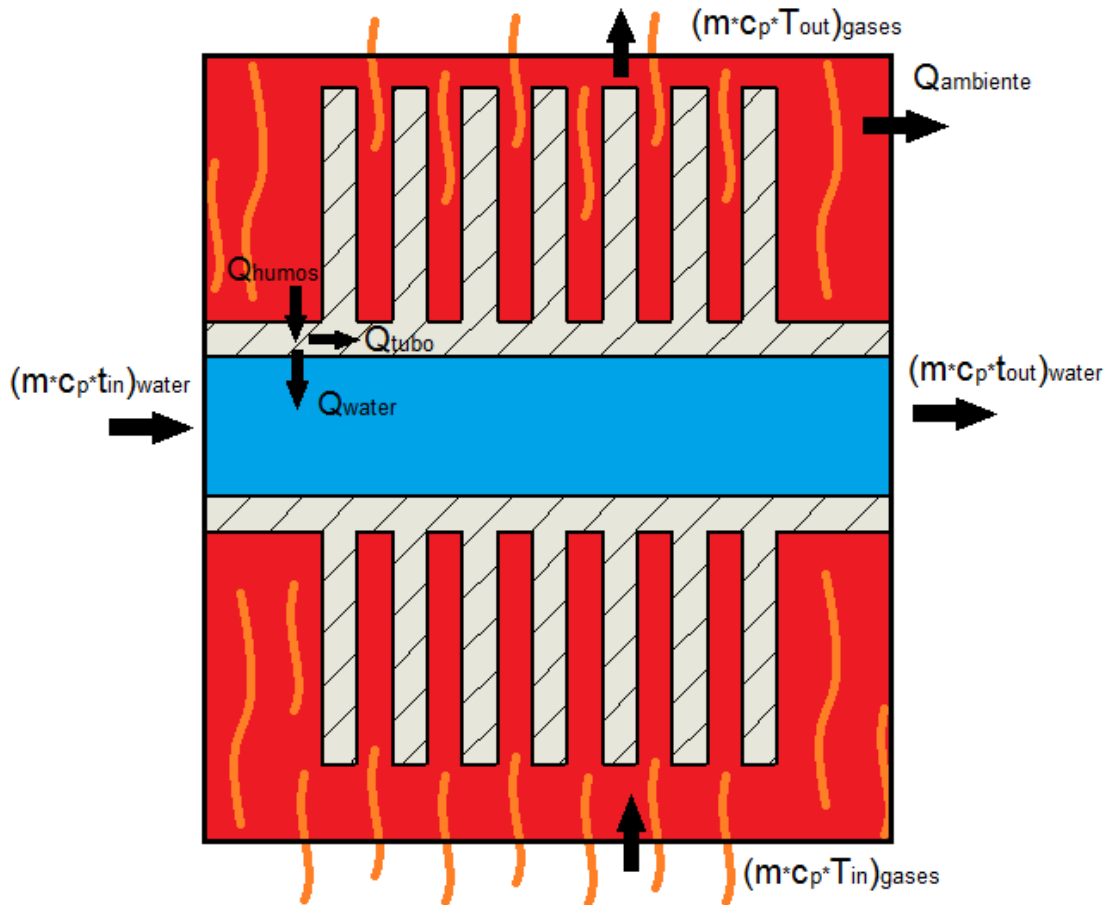
despreciable se obtiene un factor de seguridad de 40, con lo cual se tiene plena confianza que el intercambiador resistirá las cargas a las que estará sometido.

Después de finalizar el diseño en estado estable se dio paso a analizar el comportamiento en estado transitorio del sistema, ya que el estado transitorio es al que estará expuesto debido a la modulación proporcional con la que se controlan las calderas.

4.1.5 Estado transitorio del sistema

Para poder asegurar el buen funcionamiento de este diseño, es necesario tener en cuenta la transición entre los diferentes estados de funcionamiento que tendrán las calderas a lo largo de su operación. En la figura 23 se puede apreciar las interacciones energéticas entre los fluidos involucrados, el recipiente contenedor y el ambiente. En los siguientes numerales se analizará cada uno de los componentes anteriormente nombrados.

Figura 23. Interacciones energéticas en el intercambiador



4.1.5.1 Pérdida de calor con el ambiente

Inicialmente se analizó cuanta energía se pierde desde los gases calientes en el intercambiador hacia el ambiente a una temperatura promedio de 18°C

- ✓ Cálculo del coeficiente de transferencia de calor h ambiental

Para realizar este cálculo se analizó el fenómeno de transferencia de calor por convección natural, para esto se calcularon las propiedades termodinámicas del aire asumiendo la temperatura ambiente promedio de 18 [°C], a continuación se

mostrará el procedimiento que se realizó y en el anexo B se puede ver con detalles sus resultados:

$$Gr = \frac{g b L \Delta T}{\nu^2} \quad \text{“Numero de Grashof”}$$

Donde:

g: gravedad

B: coeficiente de expansión volumétrica

L: longitud característica

ν: viscosidad

Pr: número de Prandtl

$$Ra = Gr Pr \quad \text{“Numero Rayleigh”}$$

$$Nusselt = \left[0,825 + \frac{0,387 * Ra^{0,1666}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{0,5625} \right]^{0,2963}} \right]^2$$

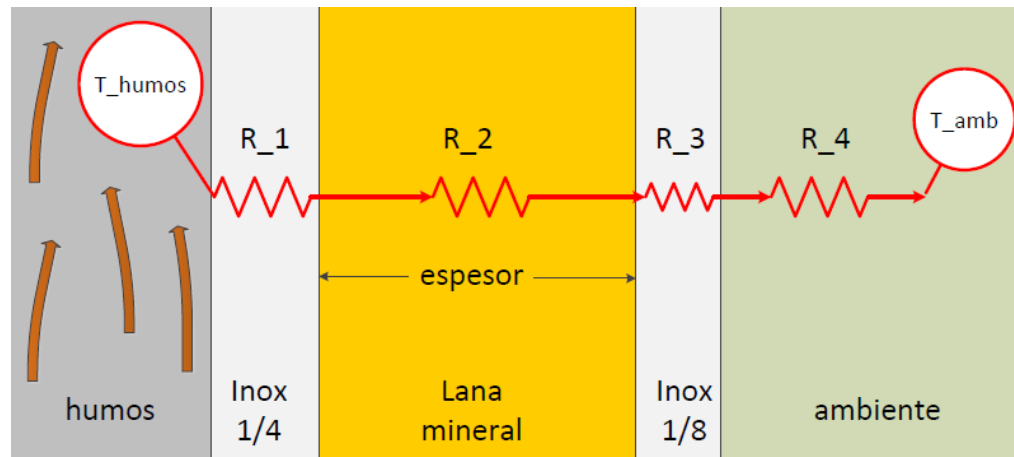
$$h = \frac{Nusselt * k}{L}$$

$$h = 6,97 \left[\frac{w}{m^2 K} \right] \quad \text{“Coeficiente de transferencia de calor ambiental”}$$

Una vez calculado el h exterior, se realiza el cálculo del calor perdido de acuerdo a la figura 24 donde la temperatura de humos es aproximadamente 230 [°C] y la ambiente es 18 [°C], adicionalmente en el anexo B se observa el código con el cual se obtuvo la gráfica de calor perdido en función al espesor del aislante, mostrada en la figura 25 donde el aislante es lana mineral y comercialmente se encuentra en 1 o 2 [in] de espesor, por lo tanto para una medida de 5 [mm]

obtenemos un calor de pérdida de 177 [W] que es una cantidad insignificante respecto a los 32 [KW] que se transfieren en promedio durante el proceso.

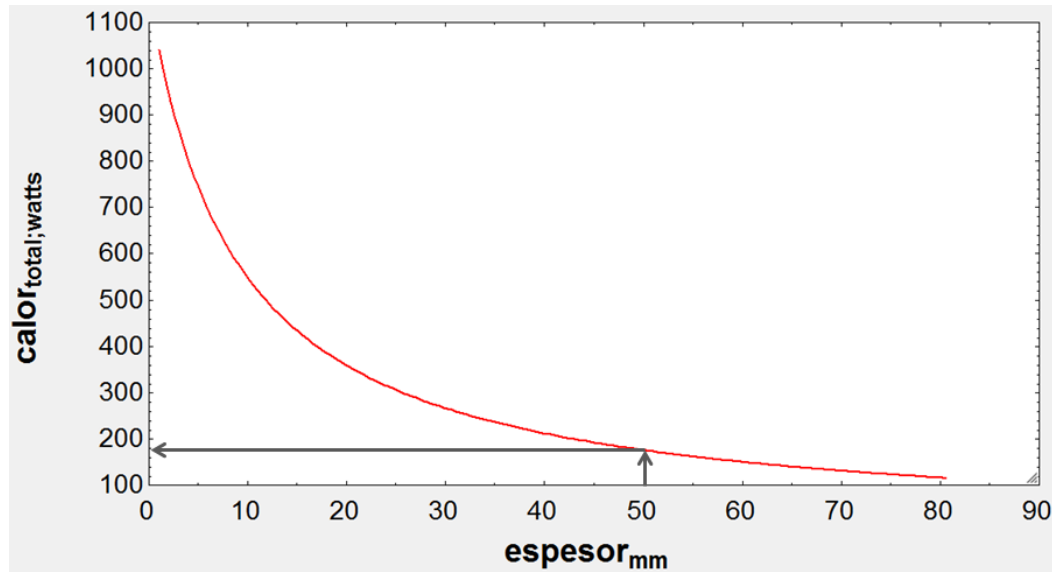
Figura 24. Resistencias térmicas del intercambiador



Y finalmente para calcular el calor perdido por las paredes se utiliza la siguiente ecuación:

$$calor_{total;watts} = \frac{230 - 20}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

Figura 25. Pérdida de calor con el ambiente en función del espesor del aislante



Una vez comprobado que el calor perdido con el ambiente es despreciable se dará paso a los siguientes balances de energía sin tener en cuenta este término.

4.1.5.2 Balances de energía sobre el gas (fluido caliente)

Los gases exosto son el fluido que cede energía hacia el agua para lograr que esta aumente de temperatura a medida que avanza por el intercambiador, durante esta transferencia de calor desde el fluido caliente hacia el frío también interviene el calentamiento del recipiente que divide a los dos fluidos (tubo aleteado). Basándose de la figura 23 se deduce la siguiente ecuación de balance para el fluido caliente:

$$\dot{m}_{humos} C p_{humos} (230 - t_{out_{humos}}) - \dot{Q}_{humos} = M_{humos} C p_{humos} \frac{dT_{humos}}{dt}$$

Despejando la variación de la temperatura media de los humos en función del tiempo queda:

$$\frac{dTm_{humos}}{dt} = \frac{\dot{m}_{humos} Cp_{humos} (230 - t_{out_{humos}}) - \dot{Q}_{humos}}{M_{humos} Cp_{humos}}$$

Esta ecuación fue la utilizada en el modelo transitorio que se puede ver en el anexo D realizada en Simulink, la que se analizará en detalle en el siguiente capítulo

4.1.5.3 Balance de energía sobre el agua (fluido frío)

De igual forma que en el numeral anterior la deducción de este balance se realiza a partir de la figura 23 y se obtiene como resultado la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{water} Cp_{water} (20 - t_{out_{water}}) + \dot{Q}_{water} - \dot{Q}_{tubo} = M_{water} Cp_{water} \frac{dTm_{water}}{dt}$$

Donde:

$$\dot{Q}_{water} = \dot{Q}_{humos}$$

Despejando la variación de la temperatura media del agua con respecto al tiempo queda:

$$\frac{dTm_{water}}{dt} = \frac{\dot{m}_{water} Cp_{water} (20 - t_{out_{water}}) + \dot{Q}_{water} - \dot{Q}_{tubo}}{M_{water} Cp_{water}}$$

De igual forma se utilizó esta ecuación para realizar el modelo transitorio en Simulink. Para definir el término \dot{Q}_{tubo} el cuál es el calor absorbido por el intercambiador se hará este balance en el siguiente numeral.

4.1.5.4 Balance de energía del intercambiador (recipiente metálico)

En este análisis se tiene en cuenta la energía necesaria para calentar hasta estabilizar los tubos aleteados que sirven como separación entre los dos fluidos, esta energía puede ser grande o pequeña dependiendo de la masa y las propiedades termodinámicas de los materiales, por eso es necesario tenerlo en cuenta ya que finalmente será energía que no se transmitirá al agua y se caería en una sobre-estimación de la energía transferida al fluido frío de no hacerlo.

Para poder hacer este análisis es necesario hacer uso de datos que se obtuvieron en el diseño del intercambiador como lo son, áreas de transferencia para ambos fluidos, también es necesario los coeficientes de transferencia por convección h que varían según el consumo de combustible de las calderas. Teniendo todo lo anterior en cuenta, se llega a las siguientes ecuaciones:

$$\dot{Q}_{tubo_{humos}} = h_{humos} A (Tm_{humos} - Tm_r)$$

$$\dot{Q}_{tubo_{water}} = h_{int} A_{int\ sup} (Tm_r - Tm_{water})$$

$$\dot{Q}_{tubo_{humos}} - \dot{Q}_{tubo_{water}} = M_r C p_r \frac{dTm_r}{dt}$$

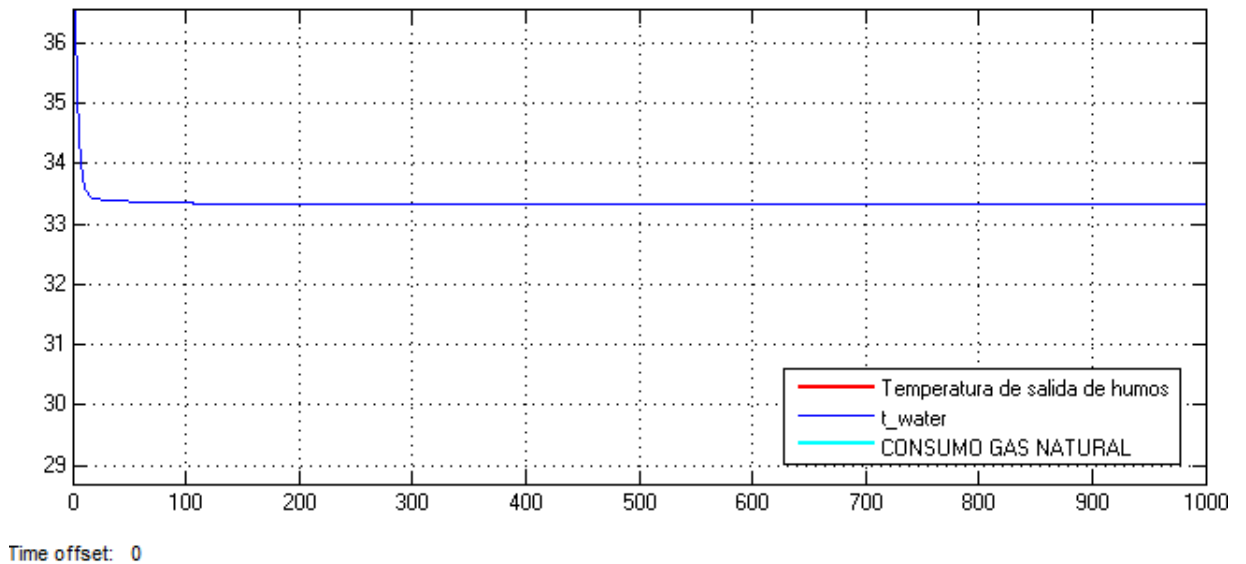
Despejando el diferencial se obtiene:

$$\frac{dTm_r}{dt} = \frac{\dot{Q}_{tubo_{humos}} - \dot{Q}_{tubo_{water}}}{M_r C p_r}$$

Con este último balance se le da fin al análisis de estado transitorio del sistema, el cual para probar su funcionamiento se integraron todas las ecuaciones de balance en el modelo realizado en Simulink que se revisará en el siguiente capítulo.

Con este modelo transitorio se comprobaron las temperaturas de salidas del agua para las mismas condiciones del análisis anterior en estado estable, lo que corrobora la validez de todos los procesos de diseño que se han realizado hasta el momento.

Figura 26. Temperatura de salida del agua en modelo transitorio en operación estable



En la figura anterior se aprecia la temperatura de salida del agua después de pasar por el primer intercambiador con las mismas condiciones de operación que en el diseño estable. Se puede ver que las temperaturas en el modelo estable y el transitorio son las mismas lo que ratifica que ambos cálculos han sido correctamente desarrollados.

4.2 SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO-ANÁLISIS DETALLADO

Adicional al concepto global presentado en el capítulo primero, se continúa con la descripción específica de este subsistema donde se abordarán varios parámetros importantes que definen totalmente el almacenamiento, a continuación se enlistan los temas que se desarrollaran en el presente numeral:

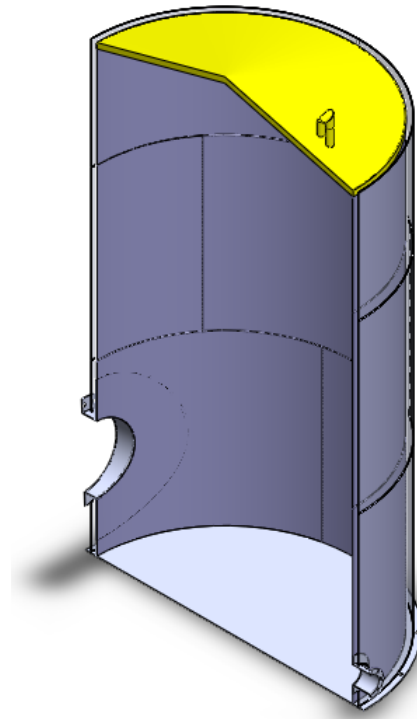
- ✓ Materiales seleccionados
- ✓ Calculo de espesores de los componentes principales
- ✓ Selección de dimensiones para agujeros de salida y limpieza
- ✓ Especificación de los métodos de soldadura

Antes de abordar lo anteriormente listado se recordara que este subsistema está compuesto por un tanque metálico de 15 metros cúbicos de capacidad para almacenar el agua que se calentó tras pasar por los dos intercambiadores en serie del subsistema anterior, este tanque está aislado térmicamente para evitar pérdidas con el ambiente y además se fabricará en acero inoxidable 304 debido a que el agua que almacenará será puesta en contacto con productos alimenticios que no pueden admitir ningún grado de contaminación.

En la figura 27 se observa el resultado del diseño del tanque que se realizó bajo la norma API 650, y en el anexo C se pueden ver los planos detallados del mismo, los cuales fueron revisados y aprobados por los fabricantes.

En esta sección se presentará una explicación detallada de los procedimientos que se implementaron para obtener el diseño final de todas las partes que componen el tanque en general. Para revisar los valores obtenidos mediante cálculos y las tablas de selección de la norma se puede remitir al anexo B.

Figura 27. Tanque de almacenamiento metálico aislado térmicamente (vista de corte)



4.2.1 Materiales

El tanque se realizará en acero inoxidable por la necesidad de tener un alto nivel de higiene durante toda la operación. Para lograr esto se hizo uso del apéndice S de la norma API 650 en donde se enlistan los aceros inoxidables admitidos y sus propiedades mecánicas (ver figura 28).

Figura 28. Propiedades mecánicas acero inoxidable tipo 304

Table S-2—Allowable Stresses for Tank Shells

Type	Min. Yield MPa (psi)	Min. Tensile MPa (psi)	Allowable Stress [in MPa (psi)] for Design Temperature Not Exceeding (S_d)					S_t Ambient
			40°C (100°F)	90°C (200°F)	150°C (300°F)	200°C (400°F)	260°C (500°F)	
304	205 (30,000)	515 (75,000)	155 (22,500)	155 (22,500)	140 (20,300)	128 (18,600)	121 (17,500)	186 (27,000)
304L	170 (25,000)	485 (70,000)	145 (21,000)	132 (19,200)	119 (17,200)	109 (15,800)	101 (14,700)	155 (22,500)
316	205 (30,000)	515 (75,000)	155 (22,500)	155 (22,500)	145 (21,000)	133 (19,300)	123 (17,900)	186 (27,000)
316L	170 (25,000)	485 (70,000)	145 (21,000)	131 (19,000)	117 (17,000)	107 (15,500)	99 (14,300)	155 (22,500)
317	205 (30,000)	515 (75,000)	155 (22,500)	155 (22,500)	145 (21,000)	133 (19,300)	123 (17,900)	186 (27,000)
317L	205 (30,000)	515 (75,000)	155 (22,500)	155 (22,500)	145 (21,000)	133 (19,300)	123 (17,900)	186 (27,000)

Fuente: Norma API 650, 2002

De la imagen anterior se obtienen los valores fundamentales para diseñar el tanque:

- ✓ $S_d = 155$ [Mpa] “esfuerzo admisible de diseño”
- ✓ $S_t = 186$ [Mpa] “esfuerzo admisible por prueba hidrostática”

Una vez obtenidas las propiedades del acero inoxidable, se dio paso a buscar el aislante térmico adecuado para utilizar en esta situación. Esta decisión se tomó basada en la experiencia de los fabricantes que recomendaron como material aislante la fibra sintética y se comprobó su desempeño investigando sus propiedades termodinámicas.

4.2.2 Diseño del casco principal cilíndrico

Para iniciar este diseño, lo primero que se hace es establecer las dimensiones aproximadas que debe tener el tanque para cumplir con el volumen deseado de 15 metros cúbicos. Para lograr este volumen mediante un tanque cilíndrico primero se

realizó la medición del espacio disponible en la planta de beneficio que se encuentra junto a las calderas, la cual es de 5 [m] x 3.4 [m], verticalmente se dispone de 8 [m] de altura. Teniendo en cuenta todas las medidas anteriores se ha tomado la decisión de diseñar un tanque vertical con las siguientes dimensiones:

✓ *Diámetro = 2,3 [m]*

✓ *Altura = 4 [m]*

Con estas dimensiones se da paso al cálculo teórico de los espesores necesarios para soportar las presiones hidrostáticas que genera el agua almacenada, para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones de diseño según el método del primer pie descrito en la norma:

$$t_d = \frac{4,9 D (H - 0,3)G}{(s_d)(E)}$$

$$t_t = \frac{4,9 D (H - 0,3)}{(s_t)(E)}$$

Donde:

D = Diámetro Interior

H = Altura máxima de columna de agua que soporta el anillo

G = Gravedad específica del fluido almacenado

E = Efectividad de las juntas (se tomó las más crítica de 0,7)

Estas ecuaciones se deben aplicar a cada anillo de láminas que sean necesarios para alcanzar la altura deseada. Consultando con los fabricantes se llegó a la conclusión que la lámina más adecuada para fabricar este tanque es la de 1.5 m de ancho x 3.05 metros de largo, por lo que se necesitaran al menos 3 anillos para lograr los 4 metros de altura deseados. Aplicando las ecuaciones de diseño para

calcular el espesor de las láminas en los tres anillos obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 2. Espesores requeridos para cada anillo del tanque

Anillo No.	t_d [mm]	t_t [mm]
1	0,3843	0,3203
2	0,2285	0,1904
3	0,07271	0,06059

Para esta situación siempre será más crítico el espesor calculado en base al esfuerzo de diseño S_d , pero como se aprecia en la tabla anterior estos espesores son demasiado pequeños y sería imposible conseguirlos comercialmente, además de esto la norma establece espesores mínimos para los tanques que tienen dimensiones pequeñas como ocurre en este caso, en la siguiente imagen se puede ver las recomendaciones que presenta la norma para tanques pequeños:

Figura 29. Condiciones mínimas para tanques verticales

Nominal Tank Diameter (See Note 1)		Nominal Plate Thickness (See Note 2)	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	$\frac{3}{16}$
15 to < 36	50 to < 120	6	$\frac{1}{4}$
36 to 60	120 to 200	8	$\frac{5}{16}$
> 60	> 200	10	$\frac{3}{8}$

Fuente: Norma API 650, 2002

Como el tanque que se diseñó tiene un diámetro menor a los 15 metros el espesor mínimo para las placas debe ser de 5mm ($\frac{3}{16}$ [in.]), que es una lámina comercialmente sencilla de conseguir. Gracias a esta recomendación se tiene un gran margen de seguridad ya que el espesor de 5 mm es más de 10 veces el

necesario para soportar la carga hidrostática en la sección más crítica del primer anillo.

4.2.3 Diseño de la placa plana para la base circular

Debido a las 15 toneladas de peso que generan los 15 mil litros de agua cuando el tanque se encuentre lleno, este debe ser soportado en una superficie plana que será fabricada en el mismo material que se seleccionó para el casco. Esta base debe ser circular y según la norma debe sobresalir al menos 1 pulgada a partir del diámetro exterior del casco.

Para calcular el espesor de la placa que se usara para fabricar la base se hizo uso de la información que se puede encontrar en la sección S.3.1 donde dice que el espesor mínimo a utilizar en la base debe ser de 6 [mm] o $\frac{1}{4}$ de pulgada. Como ninguno de los espesores calculados es mayor que el valor mínimo recomendado se utilizaran placas de $\frac{1}{4}$ de pulgada de espesor para la fabricación de la base del tanque.

4.2.4 Diseño del techo del tanque.

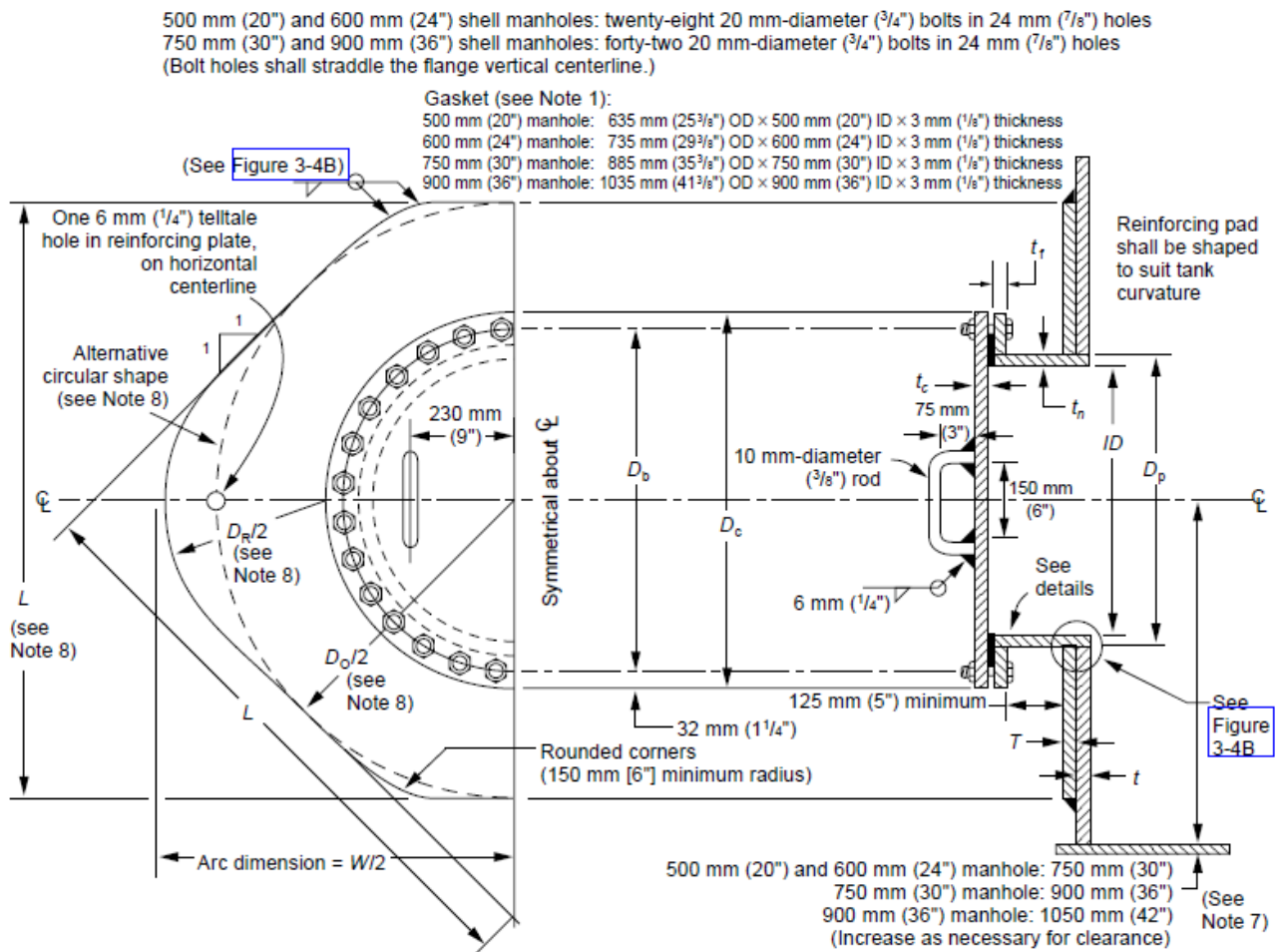
Para finalizar con los diseños de las estructuras principales se realizó este diseño de la cubierta superior del recipiente como un techo auto soportado, es decir que no necesita estructuras adicionales al cuerpo del tanque para soportar su peso. Se realizó esta cubierta en forma cónica y su espesor no requiere ningún tipo de cálculo debido a que no soporta ninguna carga externa, únicamente debe ser lo suficientemente resistente para no colapsar bajo su propio peso, además debe tener un espesor mínimo que permita el trabajo de soldadura a su alrededor para unirlo firmemente al casco. Para cumplir con esos requisitos los fabricantes recomiendan fabricar el cono en una lámina de 6mm.

Una vez se especificaron las medidas de las estructuras principales del tanque, se da paso al diseño de los agujeros de limpieza, entrada y salida del agua.

4.2.5 Diseño de Manhole (agujero para limpieza)

Como este será un tanque para almacenar agua que se utilizará en procesos donde se involucran productos alimenticios, es necesario tener acceso a su interior para poder realizar limpiezas periódicas que aseguren la buena higiene en el interior de este depósito. Para esto se ha diseñado un Manhole, el cual se ubicará en la parte frontal inferior del casco del tanque. Los criterios de diseño que se siguieron están consignados en la sección 3.7 de la norma en donde se encuentran todas las tablas de selección de donde se obtuvieron las medidas para aplicarlas al diseño general de Manhole que se aprecia en la siguiente figura:

Figura 30. Plano general para el diseño del Manhole



Fuente: Norma API 650, 2002

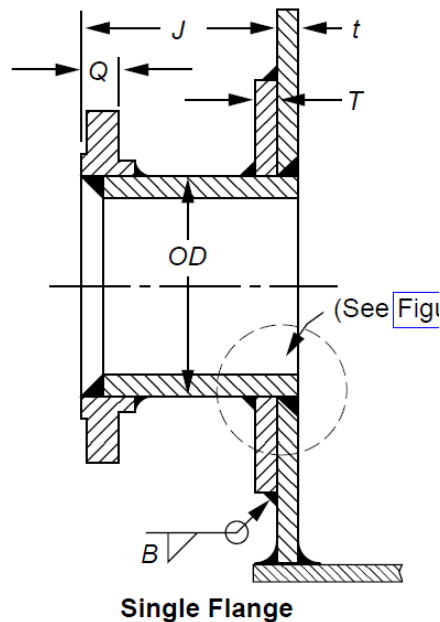
Para iniciar con la selección de las medidas descritas en la figura anterior se estableció el diámetro interno $ID = 600$ [mm] medida que fue tomada por recomendación de los fabricantes, otra decisión que se debe tomar antes de ir a las tablas es la geometría que tendrá la placa de refuerzo alrededor del manhole, para este caso se ha decidido que el refuerzo se hará con una placa completamente circular la cual se ve referenciada en la línea punteada de la anterior figura.

4.2.6 Diseño del agujero para la salida del agua.

Para el diseño de esta salida de agua es importante tener en cuenta que se necesitara vaciar los 15 mil litros de agua en un tiempo aproximado de 15 minutos o menos. además se debe tener presente que después de esta salida irá instalada una bomba que debe impulsar el fluido desde ese lugar hasta las escaldadoras, por esto y según el criterio de máxima velocidad permitida en la succión de una bomba centrífuga (1,2 [m/s]) se debe instalar una tubería de 6 pulgadas de diámetro nominal (NPS = 6 para ingresar a las tablas) la cual brinda la suficiente área para evacuar los 15 metros cúbicos en 15 minutos sin verse sometida esta operación a altas velocidades del fluido.

Una vez establecido el diámetro nominal de la tubería se continúa el proceso remitiéndose a la siguiente figura en donde se especifican todas las medidas restantes del montaje:

Figura 31. Plano general para el diseño de la salida del agua



Fuente: Norma API 650, 2002

Con esto se da por terminado todo el dimensionamiento el cual se puede revisar en el anexo C, donde todas las medidas han sido tomadas de las diferentes tablas de selección que tiene la norma en sección 3.7.

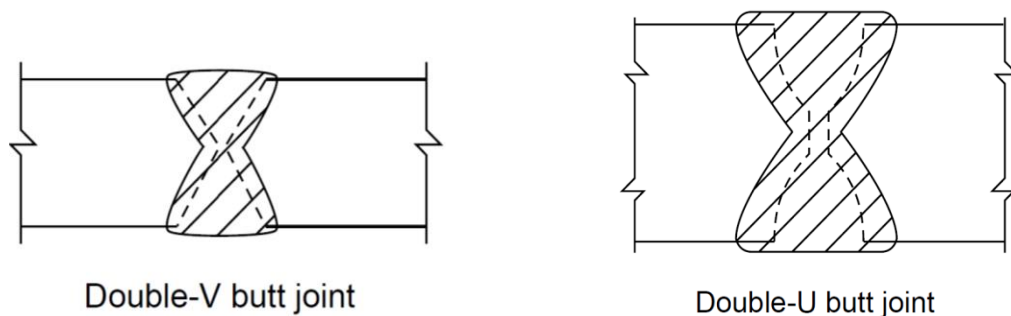
4.2.7 Especificación de las soldaduras

Una etapa crítica del proceso de fabricación del tanque es la aplicación de soldaduras entre diferentes láminas para lograr las formas deseadas y poder construir el tanque.

4.2.7.1 Soldaduras verticales del casco

Las soldaduras verticales del casco deberán ser uniones a tope con penetración completa y fusión completa como la conseguida por la soldadura doble que se puede ver en la siguiente figura:

Figura 32. Soldadura dobles con total penetración y total fusión



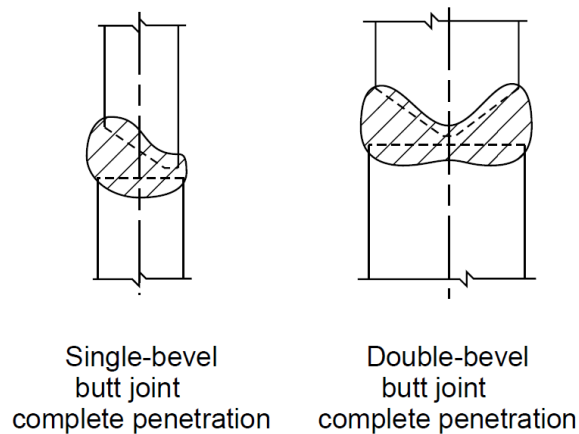
Fuente: Norma API 650, 2002

Estas soldaduras no pueden estar alineadas unas con otras en los diferentes anillos que componen el tanque, de hecho, deben estar separadas al menos 5 veces el espesor de las láminas.

4.2.7.2 Soldaduras horizontales del casco

Las soldaduras horizontales en el casco deben tener penetración y fusión completa, es decir, la soldadura debe ser aplicada desde ambos lados de las placas hasta lograr un cordón macizo sin material de las placas en su interior.

Figura 33. Soldaduras horizontales con penetración y fusión completa

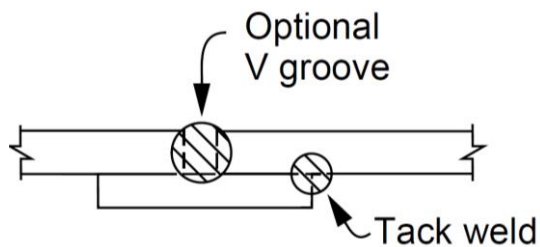


Fuente: Norma API 650, 2002

4.2.7.3 Soldaduras para la base soldada a tope

Las placas para la fabricación del fondo del tanque deben ser soldadas a tope con su respectiva muesca para recibir la soldadura ya sea en V, en U o cuadradas, además de esto sus bordes deben ser perfectamente paralelos entre las dos placas a soldar, el estilo de soldadura para este caso puede ser el mismo que se observa en la figura 32 en donde se obtiene total penetración y fusión de la soldadura, un método alternativo puede usarse en caso de que el fabricante o el cliente lo sugieran es la soldadura con platina inferior de respaldo (ver figura 34), en este caso el espesor mínimo de las platinas debe ser de 3 mm (1/8 [in].).

Figura 34. Soldadura de la placa del fondo con platina de respaldo



Fuente: Fuente: Norma API 650, 2002

Finalmente si se utiliza una ranura cuadrada (ver figura 35) en las placas a unir, el espacio entre estas debe ser mínimo de 6 mm (1/4 [in.]) para que se pueda acumular el suficiente material de soldadura.

Figura 35. Ranura cuadrada para soldadura a tope



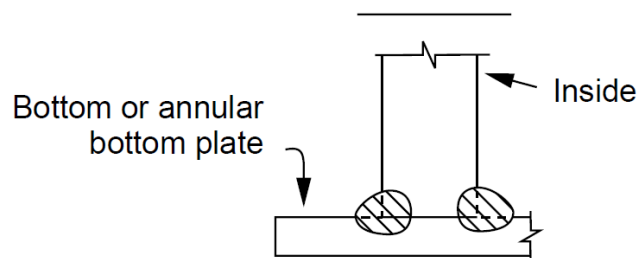
Square-groove
butt joint
complete penetration

Fuente: Norma API 650, 2002

4.2.7.4 Soldadura entre el casco y la base del tanque

Para realizar las uniones entre el casco y la base del tanque es necesario realizar una soldadura con total penetración de ambas placas pero sin total fusión entre ambos lados del tanque (interior y exterior), adicionalmente según la norma, para espesores de lámina menores o iguales a 12.5 [mm] se debe realizar un cordón continuo de soldadura ubicado en la junta de ambas placas tanto en el interior como en el exterior, dicho cordón no puede ser más ancho de 12.5 [mm] ni tampoco más delgado que la placa más delgada entre la placa del casco o la placa de la base a utilizar.

Figura 36. Soldadura entre el casco y la placa del fondo



BOTTOM-TO-SHELL JOINT

Fuente: Norma API 650, 2002

4.3 SUBSISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA Y NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO-ANÁLISIS DETALLADO

4.3.1 Monitoreo de la temperatura

El monitoreo de la temperatura en el tanque es importante ya que muestra de manera real, confiable y a tiempo el cumplimiento de los requerimientos de la empresa por parte del sistema.

Recordando que el objetivo es obtener un almacenamiento de agua a una temperatura cercana a los 50 grados centígrados, se hace necesario entonces, medir y hacer visible este parámetro importante, para esto se usara un termómetro bimetalico con extremo roscado que se ubicará en la parte inferior cerca a la boquilla de salida manteniendo una medida real de la temperatura que puede ofrecer el sistema. Para realizar esta medición se utilizara como se dijo en el capítulo anterior un termómetro bimetalico que tiene una resolución y confiabilidad suficientes para realizar esta operación.

4.3.2 Monitoreo del nivel de agua

Como se presentó en el capítulo anterior este monitoreo se hará con la instalación de un manómetro que se instalara en el tanque cerca a la salida del agua para establecer una equivalencia entre la presión manométrica medida causada por la columna de agua y el volumen de agua disponible al interior del tanque, este manómetro se buscó específicamente que tuviera una medición máxima de 1 [bar] para que se obtenga la suficiente resolución en la medición y la equivalencia al volumen sea fácil de interpretar por los operarios.

4.4 SUBSISTEMA DE CONTROL-ANÁLISIS DETALLADO

Teniendo claro que este subsistema tiene como funciones controlar la temperatura y flujo de los gases exosto de las calderas, el flujo de agua por los intercambiadores y el accionamiento de la bomba de descarga de agua desde el tanque de almacenamiento hasta las escaldadoras, se listaran las consideraciones que se tuvieron durante el análisis de todo el sistema de control, y que se explicarán en detalle en el desarrollo de esta sección:

✓ Consideraciones para el control de flujo de agua

1. Temperatura de punto de rocío de los humos de las calderas, la cual será el criterio inicial y más importante para controlar el paso o no de agua por los intercambiadores.
2. Análisis del control del flujo de agua por los intercambiadores, una vez determinada la temperatura de rocío se dará paso al análisis de si es suficiente este dato para decidir el paso o no de agua por los intercambiadores.
3. Justificación de la elección del tipo de control que se aplicara al proceso anterior, en este paso se justificara en detalle porque la mejor opción para el control es un estilo ON-OFF, debido a la poca influencia del flujo másico de agua en la temperatura final en los humos de combustión.
4. Datos adicionales para el buen funcionamiento del control ON-OFF, en este paso se comprobara que también se necesita información sobre el flujo de gases que pasan por el intercambiador.
5. Instrumentación necesaria para medir y controlar el nuevo criterio necesario del flujo másico de humos.

6. Independencia de funcionamiento para cada intercambiador, esto es necesario debido a que las calderas siempre tendrán condiciones de operación diferentes por lo tanto los criterios anteriormente nombrados serán diferentes para cada caldera y se debe asegurar un funcionamiento individual de cada intercambiador en lo que se refiere a controlar el paso o no de flujo de agua de manera independiente.

✓ Consideraciones para el control de descarga del tanque

7. Control de descarga total del tanque, esta descarga total del tanque se realizará cuando sea requerida por el proceso y la bomba de descarga será accionada manualmente por el operario encargado.

8. Selección del sensor de presión a utilizar para los procedimientos de control en el tanque anteriormente presentados.

9. Selección del PLC para integrar todos los sensores seleccionados y su debida programación.

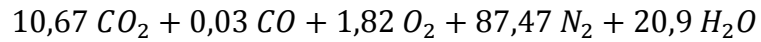
En los 9 puntos anteriores se dio una contextualización del orden general del contenido en los siguientes numerales para facilitar su comprensión.

4.4.1 Calculo de la temperatura de punto de rocío

El punto de rocío de los humos es indiferente de su flujo másico y es únicamente función de la composición química del gas. En humos de calderas que funcionan con gas natural se encuentra por experiencia cerca de los 50 a 60 [°C], a continuación se muestra el cálculo de dicha temperatura para la composición de humos suministrada por las mediciones hechas en las calderas de AVIDESA MACPOLLO utilizadas en la planta beneficio (ver anexo A).

- ✓ Calculo de punto de rocío de los humos

Retomando los cálculos hechos en el subsistema de intercambio de calor sección 4.1.3.1, donde se obtuvo la siguiente composición de humos, obtenemos que:

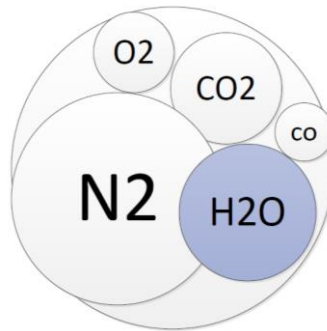


A partir de la composición anterior se crea la tabla 3 donde muestra el porcentaje molar de cada componente presente en los humos, este porcentaje molar es proporcional a las presiones parciales de esa mezcla.

Tabla 3. Porcentajes molares de los componentes en la mezcla.

Compuesto	Numero de moles	Porcentaje
CO ₂	10,67	8,83
CO	0,03	0,02
O ₂	1,82	1,51
N ₂	87,47	72,36
H ₂ O	20,90	17,29
total	120,89	100,00

Figura 37. Representación gráfica de la composición química de los humos



La proporcionalidad entre el número de moles de cada compuesto y su presión parcial en la mezcla, permite obtener la presión parcial del agua presente en los humos de la siguiente forma:

$$\frac{N_{H_2O}}{N_{HUMOS}} = \frac{P_{AGUA}}{P_{HUMOS}}$$

Dónde:

N_{H_2O} Son las moles de agua presentes en los humos

N_{HUMOS} Son las moles totales de humos

P_{AGUA} Es la presión parcial del agua en la mezcla

P_{HUMOS} Es la presión total de los humos

De la ecuación anterior se conocen las cantidades de moles y la relación entre ellas, también la presión de la mezcla (humos), se despeja la presión parcial del agua y con esta presión se busca la correspondiente temperatura de saturación.

$$P_{AGUA} = 15,68 \text{ [KPa]}$$

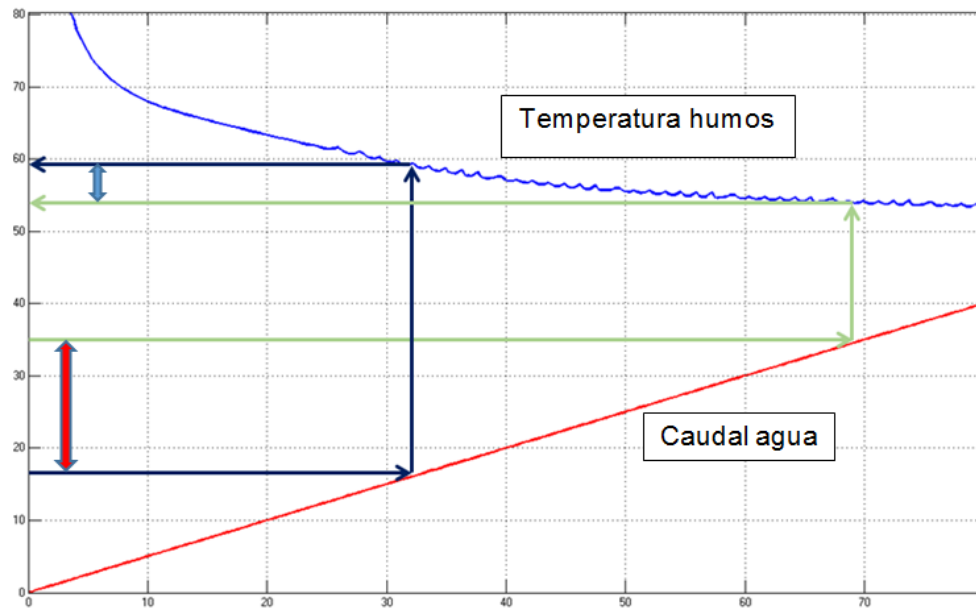
$$T_{saturacion@P_{agua}} = 55 [^{\circ}C]$$

Esta temperatura es la temperatura de saturación del vapor de agua que está presente en los humos (punto de rocío), la cual es la temperatura crítica para evitar la corrosión por oxidación.

4.4.2 Control del flujo de agua que circula por los intercambiadores

Una vez obtenido el criterio fundamental para el control que es la temperatura de rocío de los humos, se busca no llegar a esta temperatura controlando el flujo de agua que pasa por el intercambiador, disminuyéndolo para así aumentar la temperatura de los humos evitando su condensación. Haciendo diferentes pruebas de respuesta de la temperatura de los humos respecto a el cambio de flujo de agua, encontramos que un cambio significativo de la temperatura de humos solamente se logra con grandes cambios de caudal de agua, es decir, para poder aumentar la temperatura de los humos a un nivel seguro se debe disminuir casi en su totalidad el caudal de agua que pasa por el intercambiador.

Figura 38. Influencia del caudal de agua sobre la temperatura de salida de los humos



En la figura anterior (eje X como tiempo) se muestra que al disminuir el caudal de agua a la mitad (pasar de 35 a 17,5 [lpm]) el cambio de temperatura es de 54 [°C] a 59 [°C].

Por lo tanto con los resultados anteriores se determinó que un control proporcional del caudal de agua no satisface de manera económica los requerimientos de control, debido a que aumentaría de manera significativa el costo de implementos como válvulas proporcionales o variadores de velocidad para el motor de la bomba.

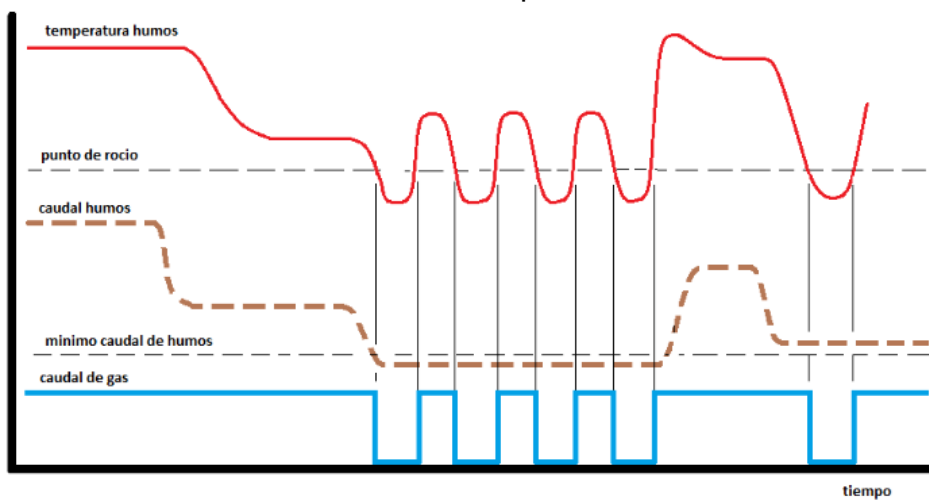
Por todo lo anterior, un control ON-OFF permite realizar cambios rápidos y significativos con implementos más económicos y sin un código de controlador complejo.

4.4.2.1 Control ON-OFF del flujo de agua

Para lograr el funcionamiento de este control se requiere un dato adicional a la temperatura de los gases (comparándola con la temperatura de rocío), debido a que en el caso que llegue a disminuir el consumo de gas natural por parte de las calderas, también disminuye proporcionalmente la expulsión de humos exosto, por consiguiente disminuye la temperatura de los humos rápidamente hasta cruzar el límite y detenerse el flujo de agua, pero ¿Cuándo se debe reactivar el caudal de agua?

Entonces sería necesario estar haciendo un censado de temperatura en intervalos de tiempo, y comenzar a circular agua por el intercambiador al detectar una temperatura suficientemente alta. El problema con este tipo de control es que aunque la temperatura de los humos sea alta, no garantiza para nada que el flujo másico de humos sea considerable para lograr un trabajo relativamente continuo del sistema, ya que si este flujo no es grande, la caída de la temperatura de los humos será rápida y nuevamente se tendrá que cerrar el flujo de agua por el intercambiador. Esta situación se refleja en la siguiente figura:

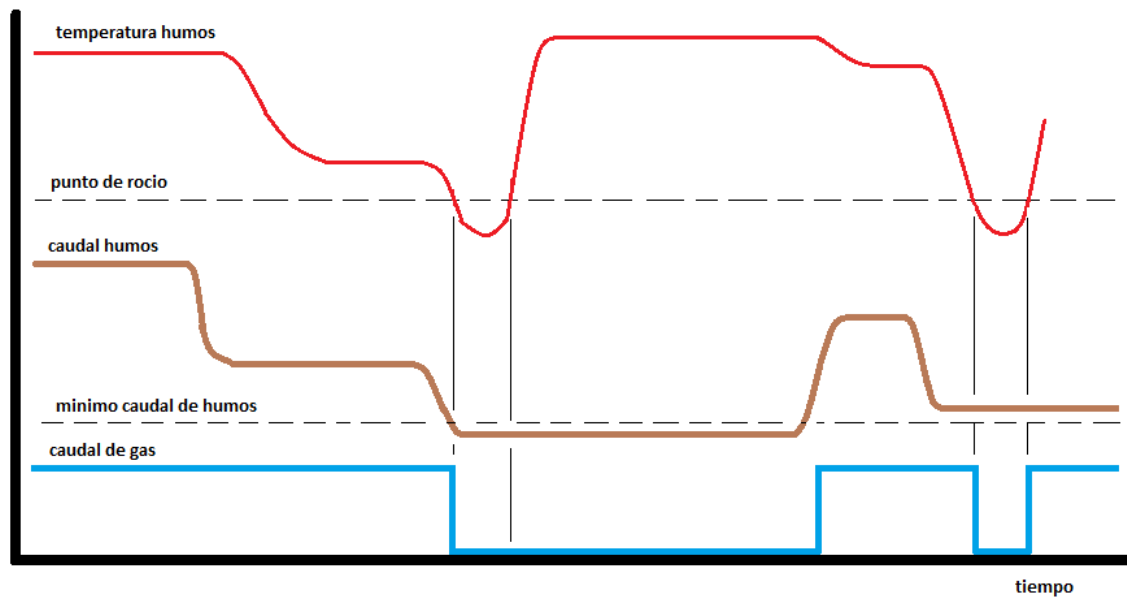
Figura 39. Control ON-OFF, controlando temperatura únicamente



Por lo anterior se evidencia que no se tendría un control confiable, sería un control a prueba y error. Es aquí donde se requiere del dato de flujo másico de gases que circulan por la chimenea, para poder reactivar el sistema en una situación que permita un trabajo más continuo.

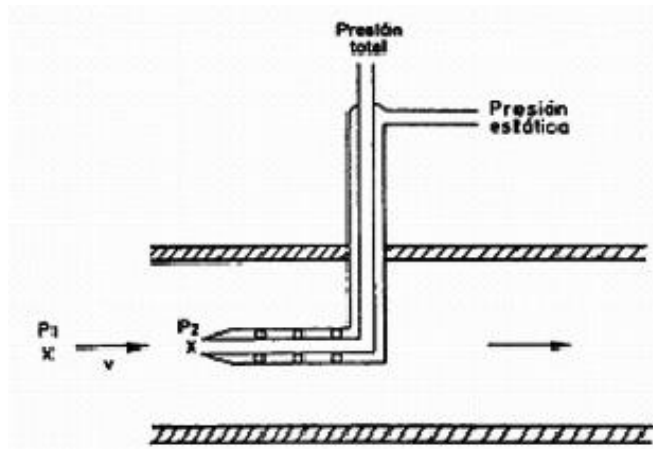
Una vez establecido que son necesarios dos datos (temperatura y flujo másico) para poder hacer el control de circulación de agua por los intercambiadores y así evitar corrosión en los mismo, se presenta la siguiente grafica en donde se evidencia el buen funcionamiento del sistema de control.

Figura 40. Control ON-OFF, controlando temperatura y flujo másico



Para lograr el control anterior la temperatura se mide con el sensor PT-100 (ver anexo E) y el flujo másico de humos se mide con un sensor de presión diferencial, que funciona debido a los cambios de presión en un tubo pitot (ver figura 41)

Figura 41. Funcionamiento del tubo Pitot



Fuente: <http://www.tecnoficio.com/docs/doc17a.php>

Con esto se puede obtener su caudal y con la densidad de los humos se obtiene el flujo másico, la ecuación que permite esta aproximación es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Donde:

$Z_1 = Z_2$ Ambos puntos se encuentran a la misma altura

$V_2 = 0$ Debido a que es el punto de estancamiento.

Con las simplificaciones pertinentes, obtenemos:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\rho}}$$

Donde delta P es la diferencia de presión entre el punto 2 y el punto 1

Con este valor y el área por donde van a circular los humos, obtenemos el caudal, y con este el flujo másico al multiplicarlo por la densidad, obteniendo finalmente:

$$\dot{m}_{humos} = \sqrt{2 \Delta P \rho} * A$$

El sensor que permite obtener la presión diferencial es el DPTA-20-P1 el cual se muestra en la figura 42, todas sus especificaciones se presentan en el anexo E. La selección se realizó de acuerdo a los niveles de presión que se tratan en las chimeneas, estos datos se obtienen de las mediciones de velocidad hechas en la planta de AVIDESA MACPOLLO, en las cuales se especifican los caudales promedio, tomando valores de velocidad máximos obtenemos los valores máximos de presión en los ductos.

Figura 42. Sensor de presión diferencial DPATA-20-P1



Fuente: www.automationdirect.com/pressure-sensors

El dispositivo tiene una carga mínima de cero y la carga máxima que puede censar de manera óptima es de 0,25 [in H2O] dando una velocidad máxima en el ducto de:

$$v_{\max \text{ sensor}} = 0,35 [m/s]$$

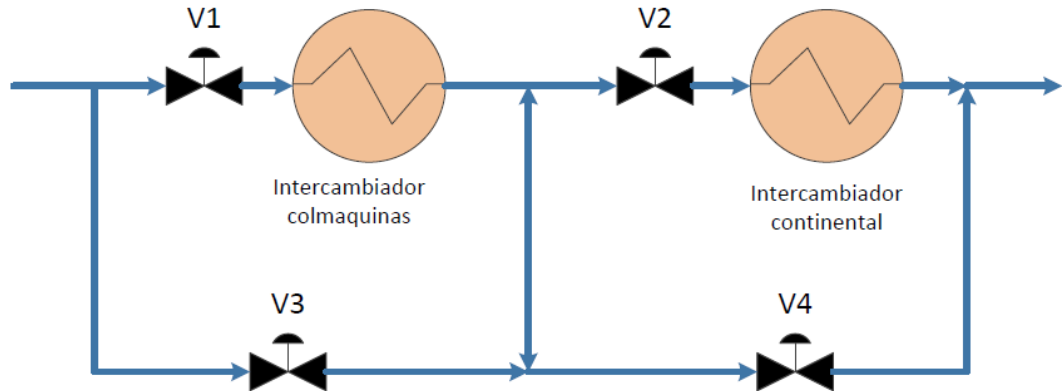
El caudal máximo registrado es de 120 [m³/h] en un ducto de 40 cm de diámetro, esto equivale a tener una velocidad máxima real de 0,26 [m/s], la cual cumple con no exceder la velocidad máxima calculada anteriormente. Aunque existen diversos sensores de presión, este se seleccionó ya que el rango de operación no necesitaba medir presiones menores a la atmosférica ni con grandes variaciones.

Así, con esta presión diferencial y parámetros relativamente constantes como el área del ducto de la chimenea y la densidad de los humos obtenemos el flujo másico.

4.4.2.2 Independencia de funcionamiento para ambos intercambiadores

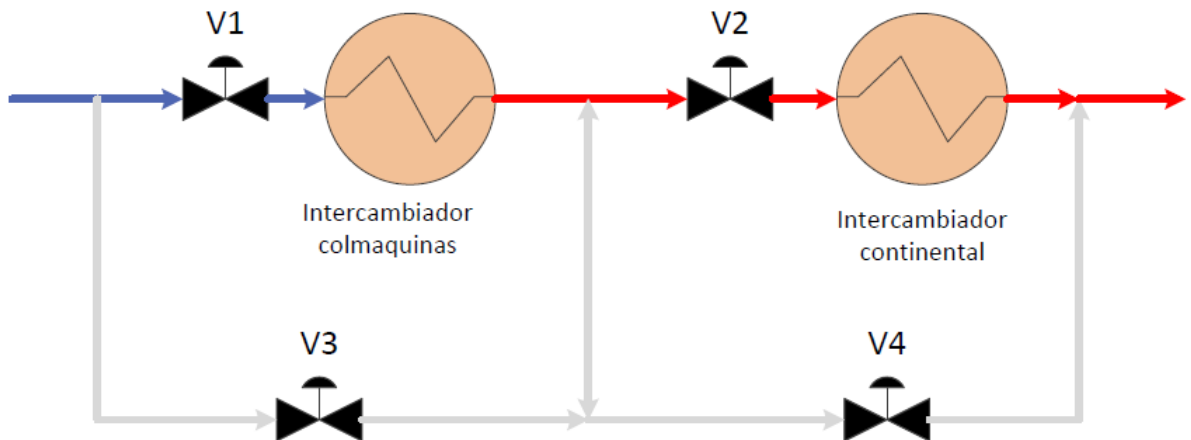
Cuando se cuenta con una señal confiable de en qué momento activar o no el caudal por un intercambiador, sería un desperdicio de energía no hacer pasar el flujo de agua por el otro intercambiador que posiblemente esté funcionando con normalidad, y teniendo en cuenta que el propósito del proyecto es recuperar la mayor cantidad de energía perdida en los humos calientes de combustión, entonces se debe disponer de válvulas que operen de acuerdo con las señales de temperatura y flujo másico de humos de ambas calderas, y permitan dirigir el caudal de agua por el o los intercambiadores correspondientes. La figura 43 muestra la disposición de las válvulas TODO O NADA para la adecuada circulación del agua por el sistema.

Figura 43. Válvulas controladoras de flujo



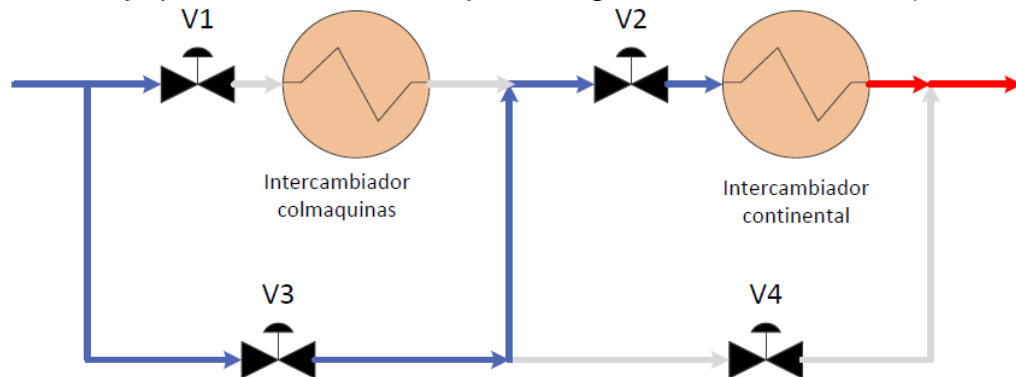
Esta disposición de válvulas garantiza el funcionamiento del sistema cuando cualquiera de los dos intercambiadores deje de recibir gases, las figuras 44, 45, 46 y 47 muestran las diferentes posibilidades que existen para las diferentes situaciones que se puedan presentar.

Figura 44. Flujo pasando por los dos intercambiadores



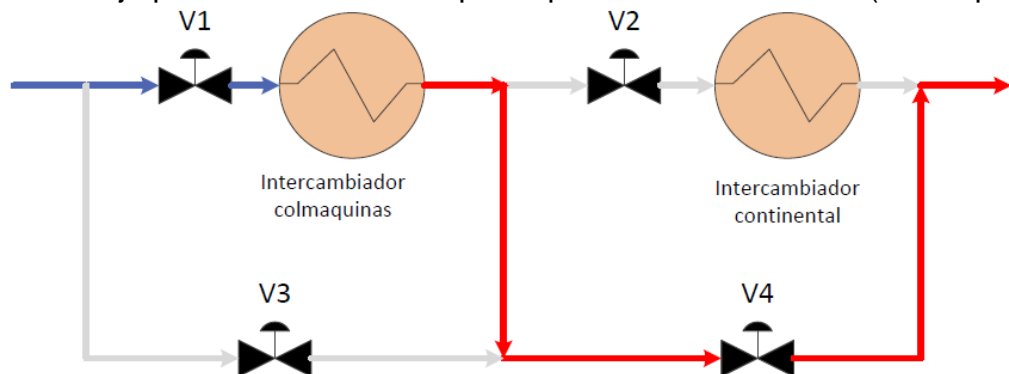
En la figura anterior se observa el funcionamiento del sistema, pasando todo el caudal por los dos intercambiadores de calor, esto se realiza dejando fluir el agua por las válvulas 1 y 2 únicamente.

Figura 45. Flujo pasando únicamente por el segundo intercambiador (Continental)



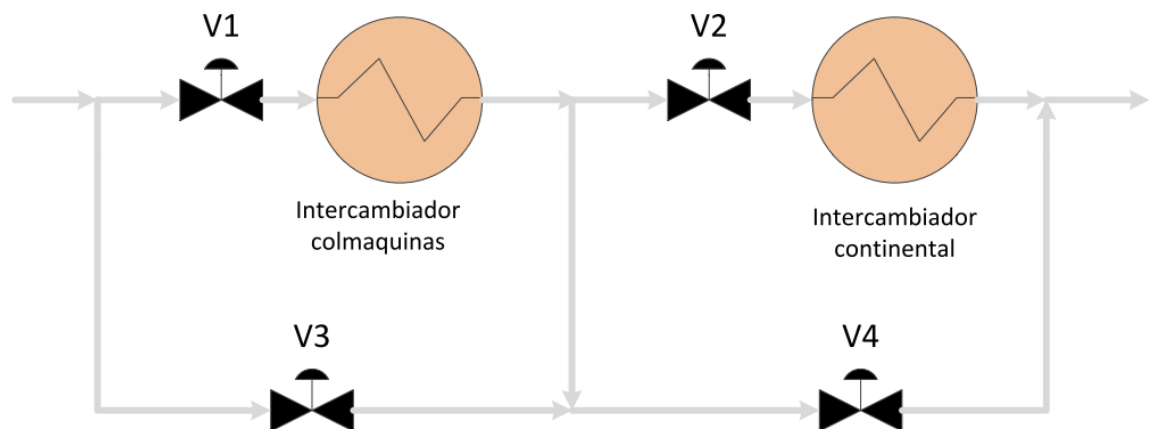
En la figura anterior se observa el funcionamiento del sistema con solo la caldera continental cumpliendo los requisitos para permitir el paso de agua por su intercambiador, cerrando el flujo por la válvula 1, habilitando la válvula 3 y haciendo pasar todo el caudal por el intercambiador 2 con las válvulas 2 y 4 habilitada y deshabilitada respectivamente.

Figura 46. Flujo pasando únicamente por el primer intercambiador (colmaquinas)



En la figura anterior se observa el control sobre el sistema cuando el intercambiador continental no cumple con los requerimientos, por esto se modifica el trayecto habilitando la válvula 1 y 4, y deshabilitando las 2 y 3, y con esto lograr que el caudal circule solamente por el intercambiador de la caldera colmaquinas

Figura 47. Flujo evitando los dos intercambiadores.



Esta figura representa la falta de caudal y temperatura suficiente en los humos para el funcionamiento de los dos intercambiadores, por esta razón se deshabilitan las válvulas 1, 2, 3 y 4 bloqueando el paso de agua por el sistema, además de lo anterior cuando se presente esta situación la bomba de carga se apagará.

Adicionalmente se debe plantear mecanismos para las paradas del sistema ya sean por mantenimiento o por alguna emergencia, en el siguiente numeral se abordaran estos casos

4.4.2.3 Control de apagado del sistema

Circunstancias para apagar el sistema recuperador de energía:

- ✓ Mantenimiento general de la planta
- ✓ Muy baja producción
- ✓ Mantenimiento del sistema recuperador de energía
- ✓ Parada de emergencia

Cuando alguna de estas circunstancias se presenta, es necesario deshabilitar el sistema recuperador de energía apagando la bomba de carga de agua. Para esto se contará con un pulsador de parada y otro de parada de emergencia.

4.4.2.4 Control de descarga del tanque

La descarga de agua desde el tanque de almacenamiento hacia las escaldadoras se realiza de dos formas:

- ✓ Descarga total

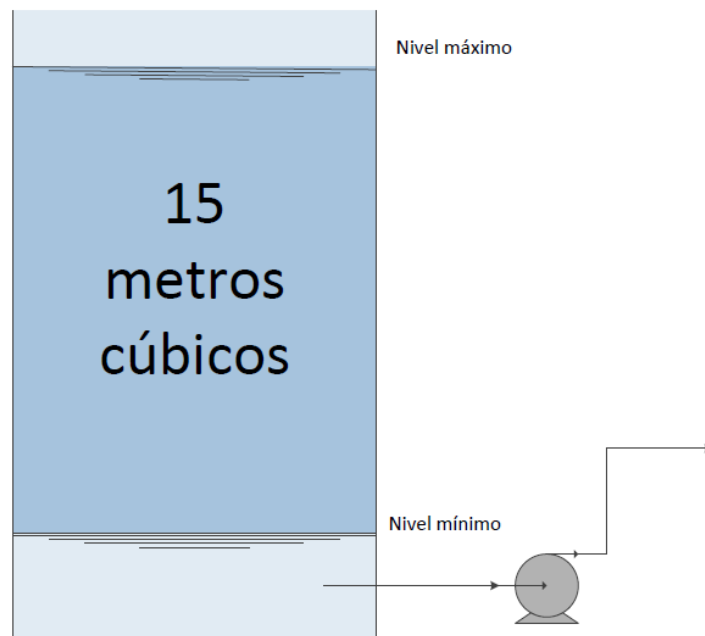
Esta descarga se realiza cuando el operario necesite cambiar el agua de las escaldadoras que normalmente se realiza a las 5 de la mañana y a las 12 del mediodía, pero no tienen un horario completamente definido, por tanto el operario mismo dispondrá del control de esta descarga, cuando se necesite llenar las escaldadoras él pulsará y vaciará el tanque.

El control del nivel mínimo del tanque se realiza por medio del PLC, es decir que cuando el nivel del agua llegue a un nivel crítico (aproximadamente 15 centímetros arriba de la boquilla de salida de agua) el controlador detendrá el funcionamiento de la bomba y dejará de enviar agua hacia las escaldadoras, evitando un daño en

la bomba por succión de aire. En la figura 48 se observan los niveles críticos para el funcionamiento de la bomba.

Como control adicional, se implementó un sensor de continuidad a 5 [cm] bajo el nivel mínimo, esto para evitar que en cualquier situación como el daño del sensor de nivel, el aire circule por la tubería de salida.

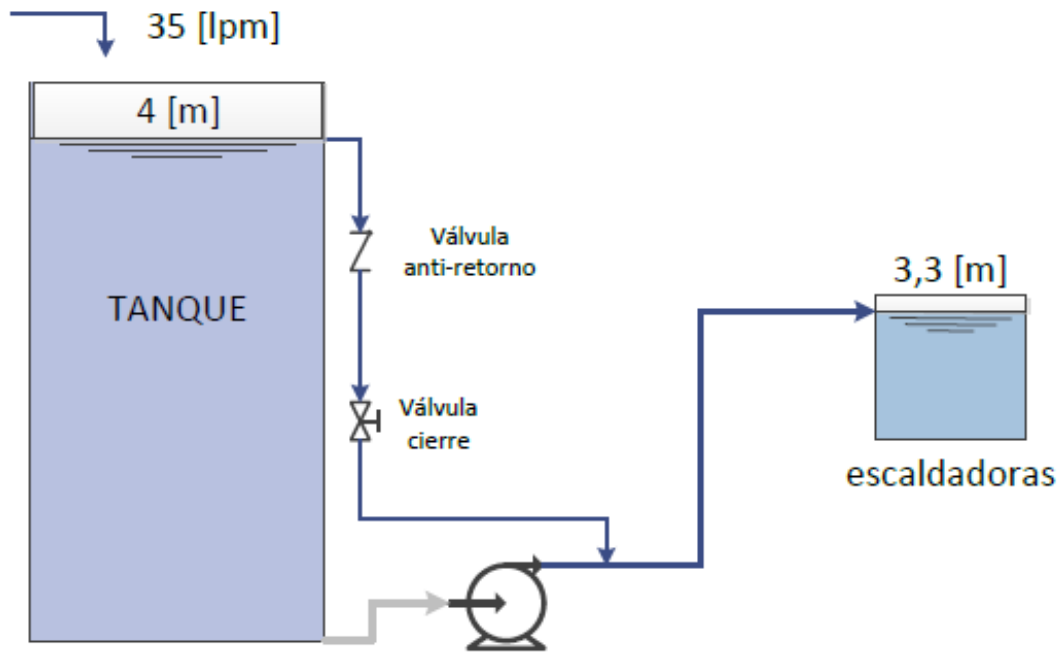
Figura 48. Niveles máximo y mínimo para el control de la descarga total



✓ Descarga Continua

Esta descarga se realiza solo y únicamente cuando el nivel del agua sea tal que existan en el tanque los 15 metros cúbicos necesarios para la descarga total. Esto se cumple cuando el tanque tenga un nivel de agua de 4 metros, en este nivel se tiene un orificio lateral que conduce el agua al punto de salida de la bomba de descarga total, como lo muestra la figura 49

Figura 49. Niveles para el funcionamiento de la descarga continua



Este sistema cuenta con dos válvulas, la válvula de cierre se usa en caso de emergencia o de mantenimiento y la válvula anti retorno se usa para evitar que al accionar la bomba de descarga total se devuelva parte del agua hacia el mismo tanque.

La tubería que se conecta a la línea principal y por la cual se realiza la descarga es de 1 [in] de diámetro en acero inoxidable para la cual se calcularon las pérdidas correspondientes a los 35 [lpm] y aun se tienen 57 [cm] de presión a favor, este cálculo se puede detallar en el anexo F.

4.4.2.5 Selección del sensor de presión

Una vez especificadas las diferentes operaciones de control de nivel en el tanque es necesario establecer que sensor se instalara para poder llevar a cabo todo lo anteriormente descrito

Las diferentes posibilidades de medición de nivel de agua en un tanque no presurizado son diversas y difieren tanto en el método de medición como en la precisión que se desee obtener, ya que este dato es fundamental para saber la cantidad de agua real con la que se cuenta en el proceso y para realizar el control de las bombas, se hace indispensable contar con un sistema confiable y capaz, por esta razón se tomaron en consideración las siguientes características:

- ✓ Señal eléctrica de salida.
- ✓ Montaje sencillo.
- ✓ Alta precisión.
- ✓ Linealidad de salida eléctrica respecto al nivel de agua.
- ✓ Fácil mantenimiento

Estas características principales que definen al sensor de nivel son relativamente sencillas de conseguir hoy en día, y existen diferentes formas de obtener esto, por eso se hace necesario realizar una elección entre los tipos de sensores que se encuentran en el mercado, en la siguiente figura se aprecian algunos de los sensores comercialmente disponibles:

Figura 50. Alternativas de sensores para control de nivel



Fuente: <http://mediciondenivelesantech.blogspot.com/>

Todas las anteriores alternativas tienen la posibilidad de señal de salida eléctrica, pero no todas ofrecen una señal continua del nivel de agua, la cual es importante para el control de las bombas.

Por lo tanto teniendo en cuenta la continuidad en la medición y la respuesta eléctrica, el sensor de presión hidrostática es la mejor opción, la simpleza de su funcionamiento y las ventajas sobre los demás sensores electrónicos como la baja sensibilidad a factores como la suciedad, superficies no homogéneas o confinamientos y lo más importante su precisión hacen de este la mejor alternativa.

Este sensor cuenta con una salida en forma de amperaje que oscila entre los 4 y los 20 [mA] la cual es perfectamente aceptada por los PLC comerciales, el cual se

encarga de recibir esas señales y tomar las decisiones pertinentes en función del nivel del tanque.

4.4.2.6 Selección del controlador

La selección del controlador se realizó en base a la aplicación, ya que se necesita un PLC que tenga capacidad de manejar señales tanto analógicas como digitales, además de la posibilidad de anexar módulos y puertos de conexión para visualización de respuesta y fácil acceso para realizar las modificaciones pertinentes. El mercado ofrece diferentes tipos de PLC pero con las especificaciones anteriores y además su fácil adquisición y cambio por alguna eventualidad sobresalen marcas como Siemens de los cuales la familia 1200 es ampliamente conocida y capaz de sobrellevar un control de este tipo.

La cantidad de señales que ingresan al controlador son ocho, cinco de ellas análogas y tres digitales. El control se realizará con un PLC 1200 SIEMENS SIMATIC S7-1200, junto al MODULO SIMATIC S7-1200, de 4 entradas analógicas cuyas especificaciones se pueden observar en el anexo E, las entradas disponibles son catorce digitales y dos análogas propias del PLC y cuatro análogas anexas por el modulo. Las salidas a usar son seis todas digitales, por lo que se cuenta con suficientes puertos de entrada y salida e incluso quedan puertos extra en caso de que se necesite ampliaciones en el sistema.

Las cinco señales de entrada analógicas y las dos digitales que se manejarán son:

Analógicas:

1. Temperatura salida intercambiador caldera colmaquinas.
2. Temperatura salida intercambiador caldera continental.
3. Caudal humos caldera colmaquinas.
4. Caudal humos caldera continental.

5. Nivel de agua en tanque almacenamiento.

Digitales

1. Piloto caldera colmaquinas.
2. Piloto caldera continental.
3. Sensor de continuidad, protección para bomba descarga.

Las salidas que maneja el PLC son todas digitales y son respuesta a las señales de entrada analógicas, estas señales de salida controlarán válvulas y bombas para hacer más eficiente el proceso.

Las señales de salida del PLC controlarán los siguientes componentes del sistema:

1. Bomba de carga.
2. Bomba de descarga.
3. Válvula 1.
4. Válvula 2.
5. Válvula 3.
6. Válvula 4.

4.4.2.5 Programación del controlador

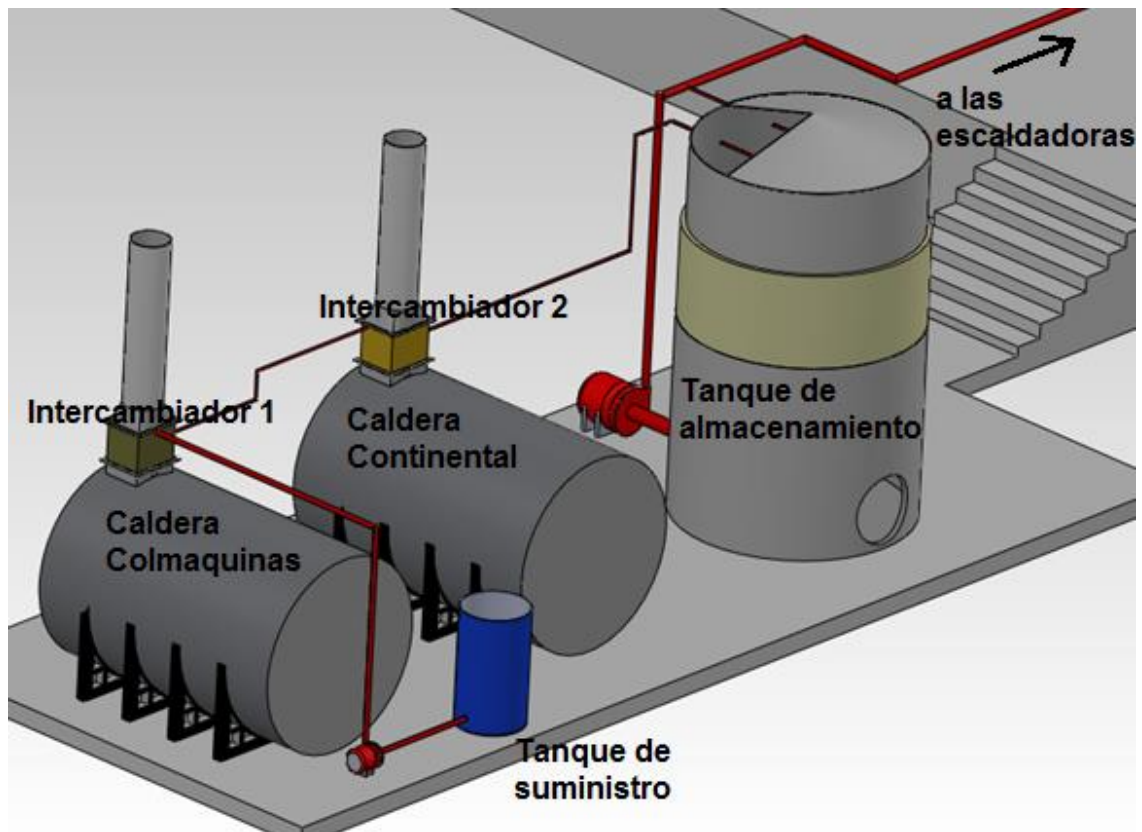
En el anexo G se presenta el código de programación realizado para el sistema, detallando en cada segmento las variables a usar y el propósito de cada una, esta programación se realizó utilizando el software **TIA PORTAL V11 - STEP 7** configurado para la familia de PLC 1200.

4.5 SUBSISTEMA DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN – ANÁLISIS DETALLADO

Como se explicó en la presentación global del subsistema la función principal de este es transportar el agua desde el tanque de abastecimiento hasta su destino final en las escaldadoras, a continuación se enlistara el recorrido que tendrá este trayecto para dar una idea clara de todos los componentes involucrados en este subsistema (ver figura 51):

1. El recorrido inicia con el transporte del agua desde el tanque de abastecimiento (ubicado muy cerca de las dos calderas) hacia el primer intercambiador ubicado en la caldera Colmaquinas.
2. Una vez pasa por los 35 tubos del primer intercambiador sigue su trayecto hacia el segundo intercambiador ubicado en la chimenea de la caldera Continental a una distancia no mayor a 3 metros.
3. Posteriormente sale del segundo intercambiador ya a los 50 [°C] deseados y es transportada hasta el tanque de almacenamiento, también muy cerca de la segunda caldera.
4. Para impulsar el agua a través de todo el recorrido descrito en los puntos anteriores es necesario la instalación de una bomba de carga que impulse el fluido y logre llegar hasta el final de este trayecto.
5. Finalmente desde el tanque de almacenamiento, se enviará el agua caliente a las escaldadoras en los momentos requeridos por el proceso. Este es el trayecto más largo que atraviesa el agua y se puede revisar las figuras 16 y 51 todo el camino anteriormente descrito. Para completar esta última operación se deberá instalar una bomba para la descarga rápida de todo el contenido del tanque.

Figura 51. Imagen de apoyo para analizar el circuito hidráulico



4.5.1 Distribución

El trazado de la tubería se rige fundamentalmente por la localización de los elementos del sistema tales como intercambiadores, bombas y tanques, también se debe tener en cuenta los puntos de apoyo como paredes, vigas o estructuras ya existentes, y finalmente conocer el espacio o zonas habilitadas posibles a utilizar para la instalación de la tubería.

En la planta de beneficio de AVIDESA MACPOLLO se cuenta con espacio limitado para el tránsito de los tubos necesarios, ya que las diferentes máquinas y procesos absorbieron el espacio transitable, es por esta razón que se optó por

dirigir la tubería fuera de la planta rodeándola e ingresando por la pared trasera directamente al cuarto de escaldado como se mostró en la figura 16.

4.5.2 Transporte

En esta subsección se presentarán los criterios para el dimensionamiento de las tuberías a utilizar, datos que serán requeridos para la posterior selección de las bombas que impulsarán el agua a través de todo el sistema

La selección de la tubería para el transporte del agua se realizó de acuerdo a criterios de velocidad óptima para transporte según el libro *Mecánica de fluidos*, Robert L. Mott, que en el capítulo 6 sugiere los criterios presentados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Criterios de velocidad según el servicio de la tubería

tipo de servicio	rango recomendado de velocidad	
	pie/s	m/s
líneas de succión	2 a 4	0,6 a 1,2
líneas de retorno	4 a 13	1,5 a 4
líneas de descarga	7 a 18	2 a 5,5

Para los caudales ya establecidos con los que trabaja el sistema, obtenemos los pertinentes diámetros con el siguiente cálculo tipo:

$$\dot{Q}_{trabajo} = 35 [lpm] = 5,833 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

$$\dot{Q}_{trabajo} = vel_{recom} \frac{\pi}{4} diam^2 \quad diam = \sqrt{\frac{4 \dot{Q}_{trabajo}}{\pi vel_{recom}}}$$

$$diam_{succion_{B1}} = \sqrt{\frac{4 * (5,833 \times 10^{-4}) [m^3/s]}{\pi * 1,2 [m/s]}} = 24,8 [mm] \approx 1 [in]$$

Las tablas 5 y 6 muestran las características principales para el cálculo de los diámetros de cada línea, además las figuras 52 y 53 muestran la disposición de estas líneas en la planta de AVIDESA MACPOLLO.

Figura 52. Detalle de tubería en las calderas

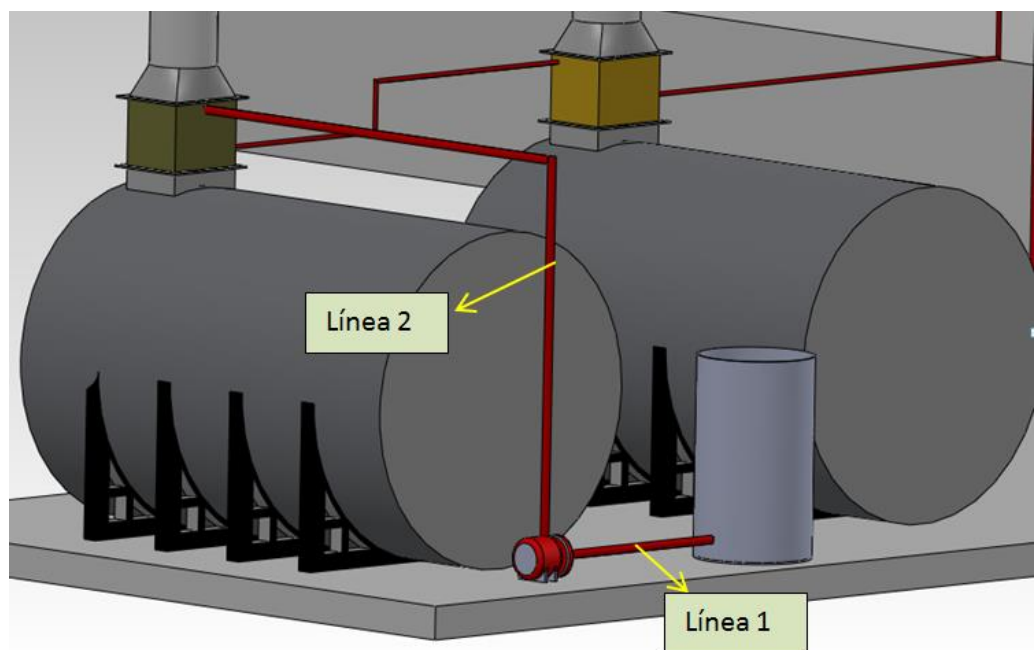


Figura 53. Detalle de tubería en el almacenamiento

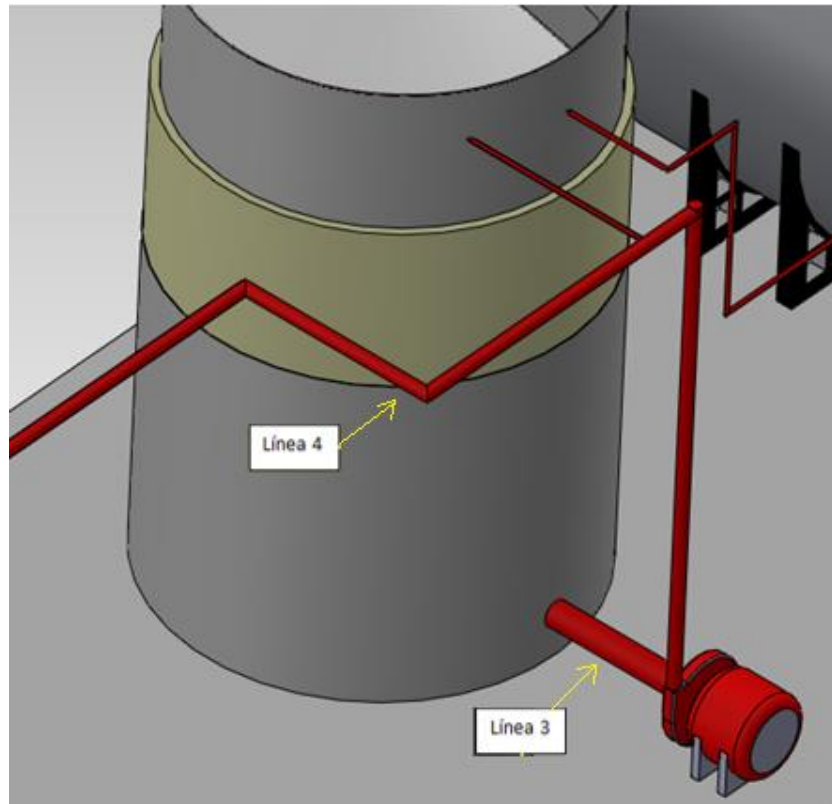


Tabla 5. Caudales en cada una de las tuberías

Línea	Caudal [LPM]	Caudal [GPM]	Caudal [m3/s]
1	35	9,246021305	0,000583333
2	35	9,246021305	0,000583333
3	1500	396,2580559	0,025
4	1500	396,2580559	0,025

Tabla 6. Diámetros de las tuberías según su servicio

Línea	Tipo	Caudal [m ³ /s]	Diámetro calculado [mm]	Diámetro estándar [in]
1	Succión	0,000583333	24,88	1
2	Descarga	0,000583333	19,27	1
3	Succión	0,025	162,87	6
4	Descarga	0,025	103,01	4

Una vez estandarizados los diámetros y los materiales es posible realizar la adquisición de los accesorios necesarios para el montaje de la tubería, estos accesorios como codos, tees, uniones, reducciones, filtros y demás están enlistados en las siguientes tablas:

Tabla 7. Accesorios para la línea 1

LINEA 1	
ACCESORIOS	CANTIDAD
CODO	4
VALV. GLOBO	1
FILTRO	1

Tabla 8. Accesorios para la línea 2

LINEA 2	
ACCESORIOS	CANTIDAD
CODO	8
VALVULA CHEK	1
INTERCAMBIADOR	2
REDUCCION 1" 3/4"	2
EXPANSION 3/4" 1"	2
VALV. CONTROL	2
TEE	4
VALV. REGULADORA	1

Tabla 9. Accesorios para la línea 3

LINEA 3	
ACCESORIOS	CANTIDAD
CODO	4
VALV. AJUSTE	1
REDUCCION 6"-4"	1

Tabla 10. Accesorios para la línea 4

LINEA 4	
ACCESORIOS	CANTIDAD
CODO	15
TEE	3
UNIONES	6
VALV. CHECK	1

Las longitudes de cada línea se especifican en la tabla 11, estas medidas fueron tomadas directamente en la planta y se adecuaron al uso de los accesorios y los puntos de apoyo. Además de las longitudes también se definen los diámetros y caudales en cada línea como resumen de los cálculos previos.

Tabla 11. Datos principales de las tuberías

LÍNEA	LONGITUD [m]	DIAMETRO [in]	CAUDAL [LPM]	velocidad [m/s]
1	3	1	35	1
2	17	1	35	1
3	3	6	1500	1,3
4	45	4	1500	3

Con las especificaciones anteriores se procede a calcular las pérdidas hidráulicas por longitud y por accesorios, así se determinan las cabezas de presión que deben vencer las bombas para poder enviar el caudal necesario a los destinos deseados.

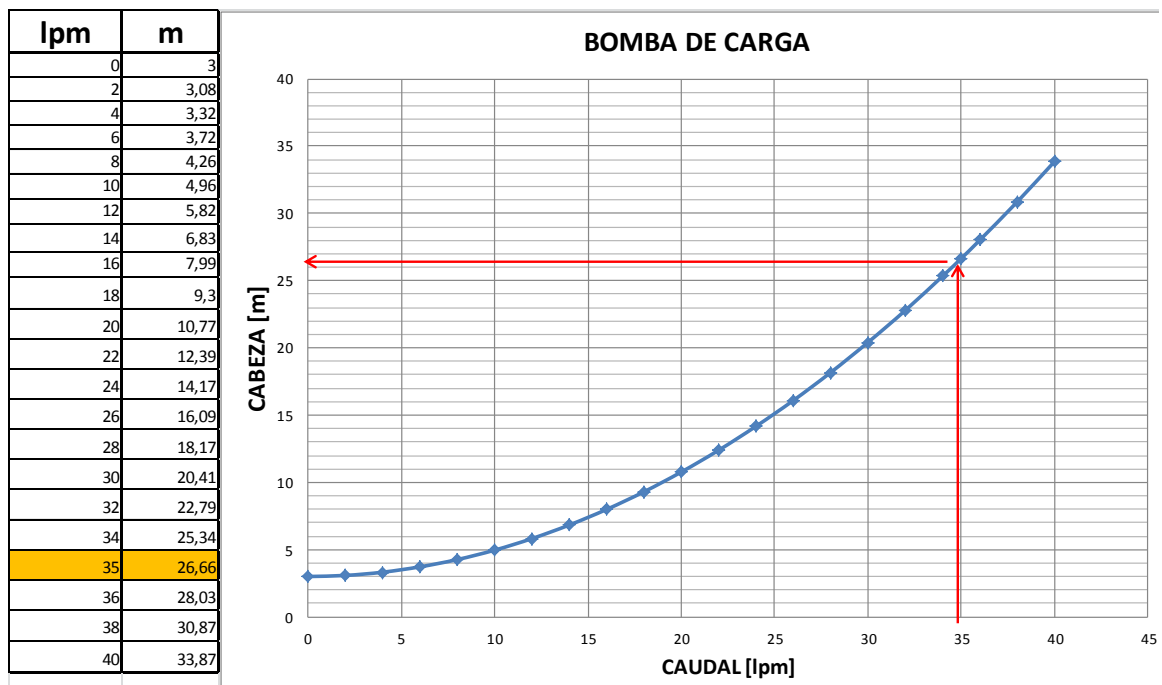
4.5.3 Selección de bombas

Para realizar adecuadamente la selección de las bombas se creó una tabla (ver anexo F) que organiza todos los factores necesarios para determinar la cabeza de presión sobre cada bomba, en esta tabla se especifican las condiciones del punto inicial y final del agua en cada caso, luego con los parámetros anteriormente explicados se determinó la carga total, en el anexo F se encuentran las tablas que detallan las especificaciones para cada bomba y adicionalmente se generaron las curvas de los sistemas y se graficaron.

En las figuras 54 y 55 se pueden observar las curvas de los sistemas, en ellas se detalla el punto de operación o rango de operación de las bombas usadas en el proyecto.

En la figura 54 la curva es simple debido a que el nivel en el tanque de donde se obtiene el agua es constante, de esta gráfica se entiende que para poder enviar un caudal de 35 [LPM] por esta tubería y sus accesorios es necesario vencer una presión de pérdidas equivalente aproximadamente a 27 metros de columna de agua, este valor es elevado ya que los intercambiadores de calor presentan gran pérdida hidráulica debido a su configuración y diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Figura 54. Curva del sistema para la bomba de carga

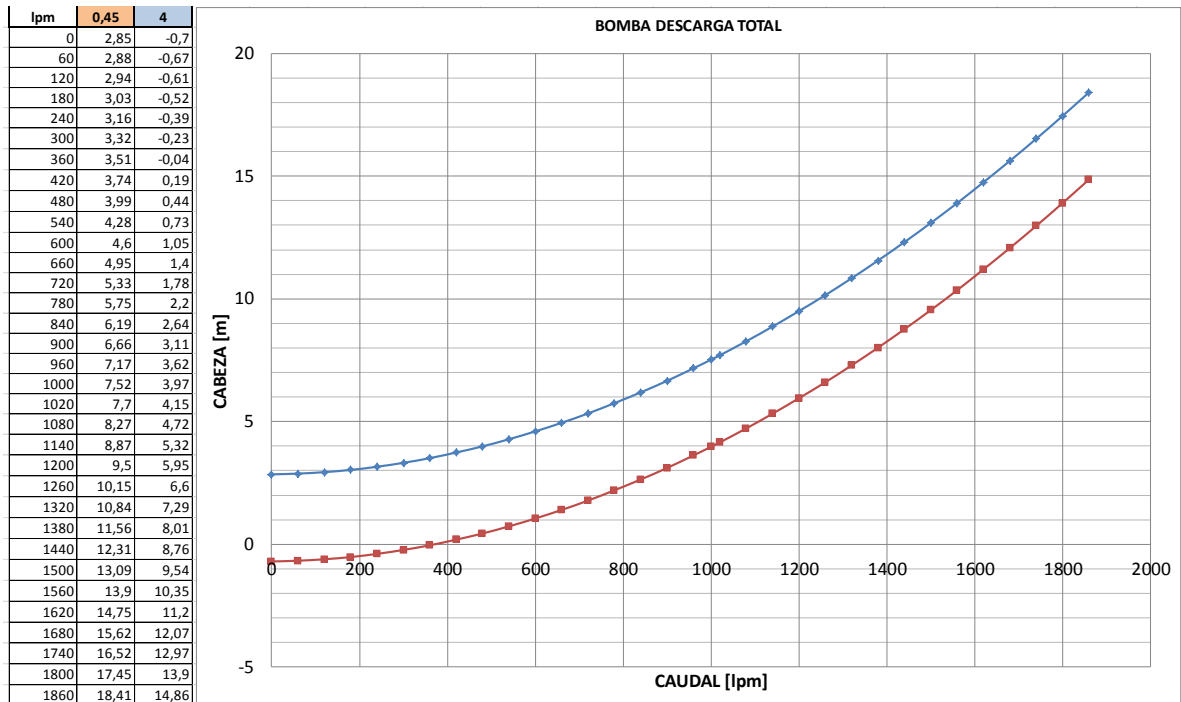


La figura 55 pertenece al sistema de descarga del tanque, en el cual la bomba 2 realiza el cambio total del agua de las escaldadoras desocupando el tanque casi

de manera completa en un tiempo de 15 minutos aproximadamente, el rango de operación de altura del tanque está entre los 4 metros cuando está completamente lleno hasta los 45 centímetros cuando deja de funcionar para evitar succión de aire en la tubería de salida del tanque.

La curva de color rojo representa el sistema con nivel en el tanque constante de 4 metros. La curva de color azul representa el sistema con nivel en el tanque constante de 45 centímetros.

Figura 55. Curva del sistema para la bomba de descarga



Para cumplir con los valores exigidos por los sistemas se deben seleccionar bombas que operen en el rango de presiones que ofrecen los caudales en cuestión, para esto los fabricantes y el mercado ofrecen varias opciones, la selección de las bombas tiene en cuenta las siguientes características:

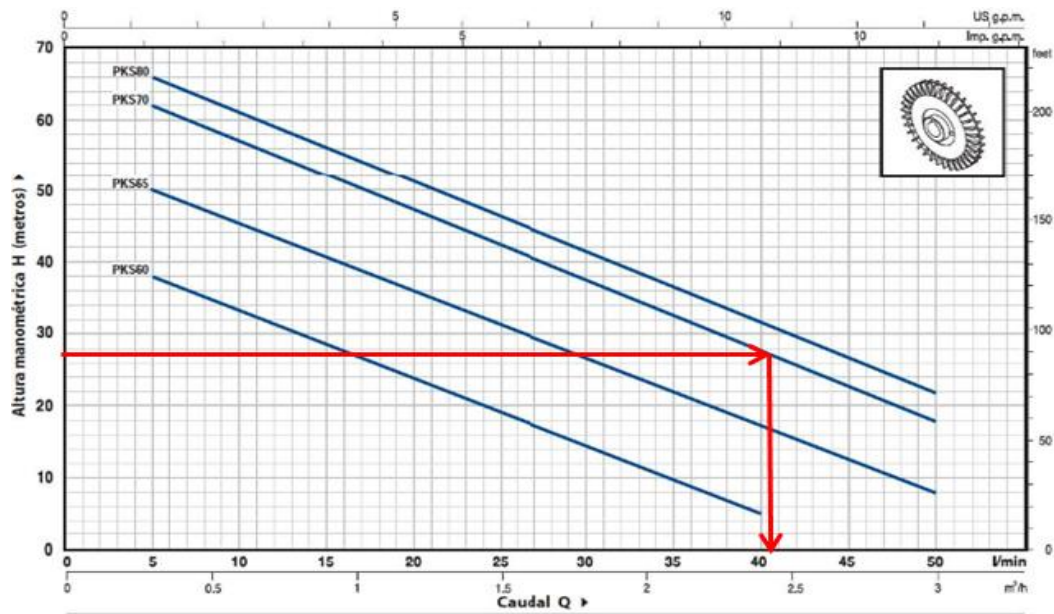
- ✓ Consumo de potencia
- ✓ Costo
- ✓ Tamaño
- ✓ Requerimientos para instalación
- ✓ Mantenimiento

Una vez realizada la investigación se encontraron las siguientes alternativas:

- ✓ Bomba de carga:

En la siguiente figura se presenta la curva de la bomba seleccionada para la carga del agua en el sistema:

Figura 56. Selección de la bomba de carga



MODELO		POTENCIA		Q	H (metros)											
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
PKSm 60	PKS 60	0.37	0.50		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5			
PKSm 65	PKS 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	12.5	8	
PKSm 70	PKS 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	22	18	
PKSm 80	PKS 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	27	22	

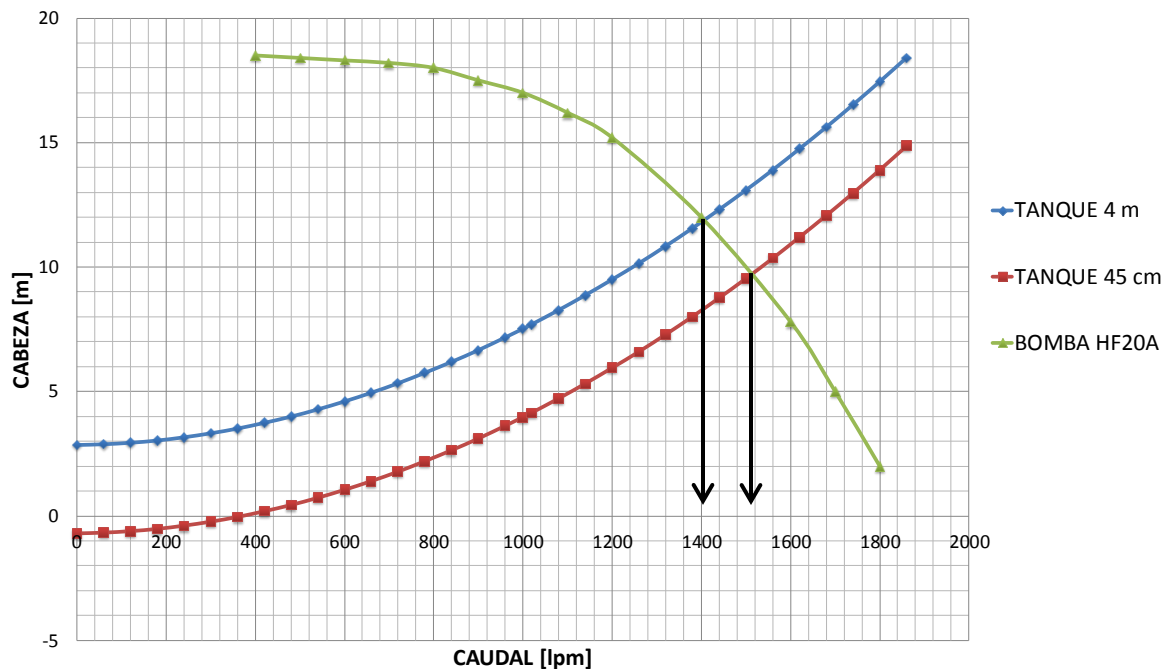
Fuente: <http://www.pedrollo.com.mx/Catalogo>

En la figura anterior se observa un exceso de caudal de 6 [lpm], por lo tanto hay que aumentar la carga del sistema con una válvula reguladora hasta que llegue a los 32 [mca], en este punto la presión será la necesaria para lograr el caudal deseado. Por lo tanto la bomba PEDROLLO PKS 70 cumple los requerimientos para el proceso.

✓ Bomba de descarga total

El rango de operación (ver figura 55) que ofrece las condiciones de nivel en el tanque permite estimar un tiempo de 15 minutos para el llenado de las escaldadoras con agua caliente, en la figura 57 observamos los puntos de operación del sistema y la bomba unidos:

Figura 57. Selección de la bomba de descarga



Las flechas negras en la figura anterior muestran los puntos de operación. Para este caso la bomba PEDROLLO HF20A arroja unos caudales satisfactorios para los requerimientos del proyecto.

Todos los catálogos de las bombas seleccionadas se encuentran en el anexo F.

Para finalizar esta sección se presenta a continuación una tabla en donde se resumen las principales características de todas las líneas que componen el trazado hidráulico en el sistema:

Tabla 12. Resumen de la instalación hidráulica

LINEA	DIAMETRO 1 [in]	CAUDAL [lpm]	ACCESORIOS	CANTIDAD	PÉRDIDA [m]
1	1	35	Codo	4	0,16
			Valv. Cierre	1	0,44
			Filtro	1	0,1
			Entrada	1	0,06
				Pérdida total	0,76
2	1	35	Codo	8	0,31
			Valv. Regulación	1	9,35
			Valv. Check	1	0,13
			Reducción 1-3/4	2	0,02
			Expansión 3/4-1	2	0,02
			Valv. control	2	0,39
			Tee	4	0,31
			Intercambiadores	2	20,5
				Pérdida total	31,03
3	4	1420-1580	Codo	4	0,027
			Valv. cierre	1	0,075
			Reducción 6-4	1	0,003
			Entrada	1	0,04
				Pérdida total	0,145
4	6	1420-1580	Codo	15	1,6
			Tee	3	0,64
			Valv. Check	1	0,35
			Uniones	6	0,1
			Valv. salida	1	1,21
				Pérdida total	3,9

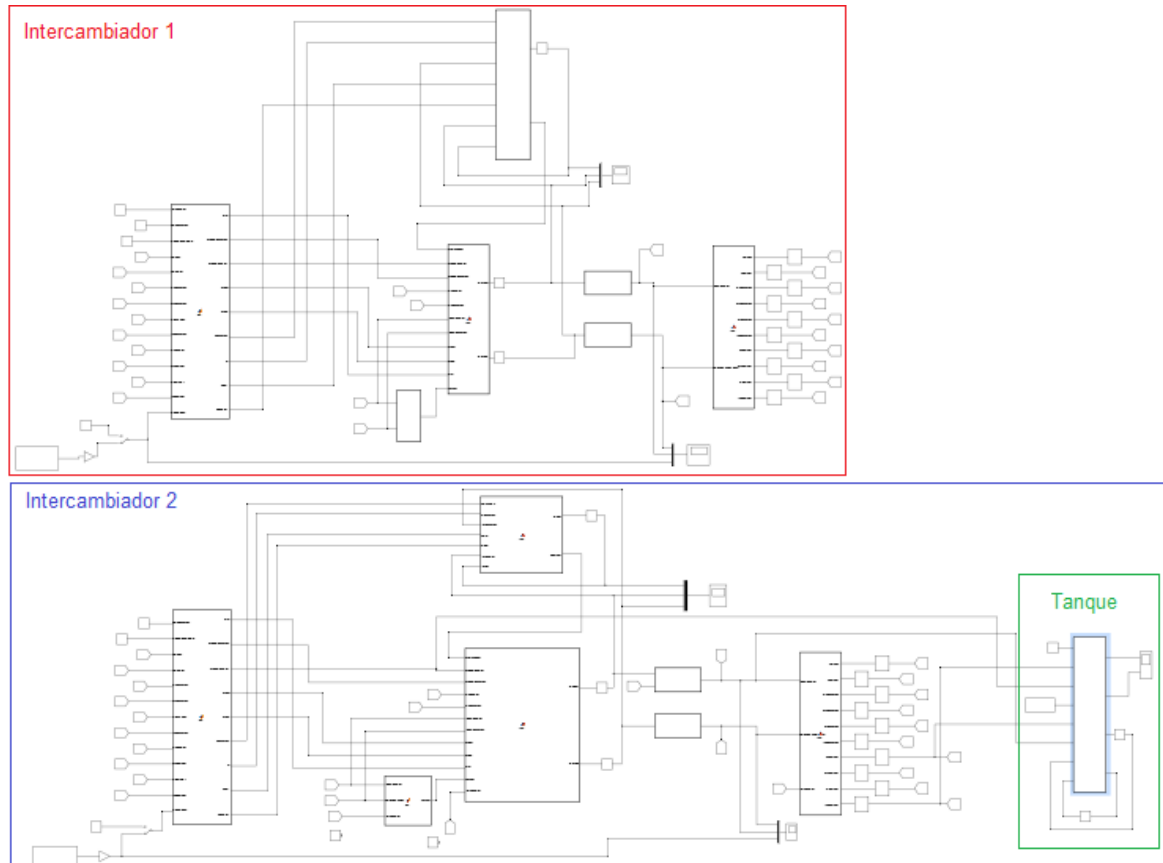
5. SIMULACIONES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentaran los programas que se hicieron para simular el estado transitorio del sistema y se analizarán los resultados que estos modelos arrojan en situaciones reales de funcionamiento de las calderas. También se presentan los resultados obtenidos para las situaciones más extremas que puedan ocurrir durante todo el proceso, para tener la certeza que el sistema soportara las condiciones más críticas de funcionamiento sin presentar errores.

5.1 PROGRAMA REALIZADO EN SIMULINK

Para modelar un sistema transitorio en función del tiempo la extensión Simulink del software Matlab es una eficaz herramienta para los fenómenos de transferencia de calor, a continuación se presenta una vista general del modelo creado para la simulación del sistema y posteriormente se explicará en detalle cada uno de sus componentes:

Figura 58. Modelo general para simulación total del sistema

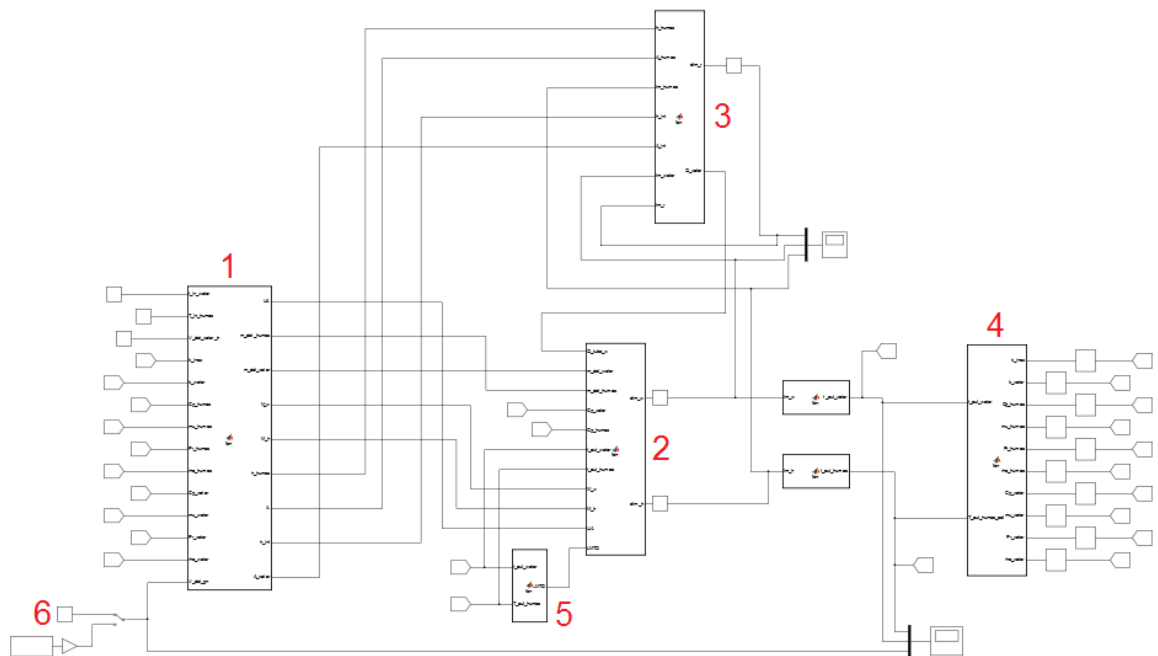


En la figura anterior se aprecia todo el modelo que se realizó en Simulink para las simulaciones del sistema, el esquema global consta con 2 componentes principales (azul y rojo) los cuales corresponden a cada uno de los intercambiadores y se conectan entre sí mediante conectores inalámbricos que no generan líneas negras de conexión. Estas conexiones entre intercambiadores permiten que la temperatura de salida del primer intercambiador sea la de entrada en el segundo y el sistema este correctamente conectado en serie. Entre los 2 componentes principales del sistema la única diferencia en construcción es un

módulo adicional (en verde) que se aprecia a la derecha del intercambiador inferior, en dicho modulo se encuentra el modelamiento del tanque de almacenamiento que posteriormente se utilizará para analizar la variación de la temperatura y el nivel de agua al interior del tanque en función del tiempo.

A continuación se presentará una vista detallada del modelamiento para un solo intercambiador y de esta forma especificar con más facilidad sus componentes

Figura 59. Modelo realizado para la simulación de los intercambiadores

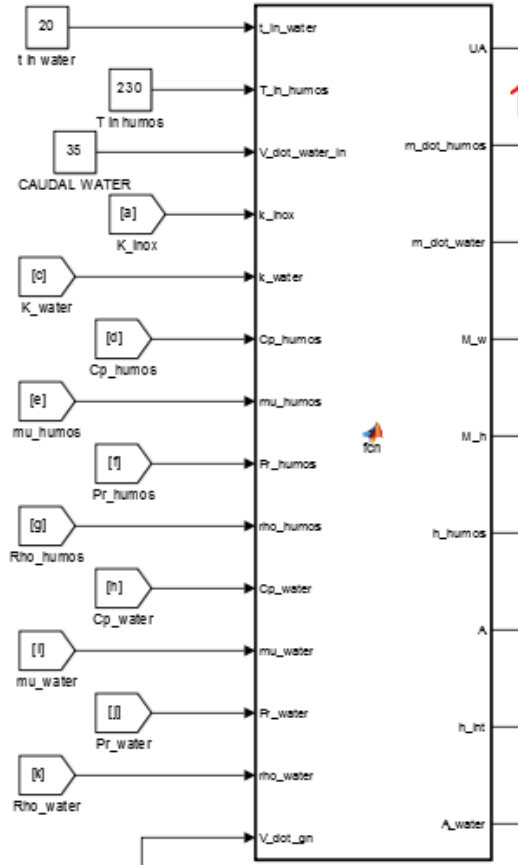


Como se observa en la figura anterior el modelamiento transitorio para los intercambiadores está compuesto por 6 componentes que serán llamados “bloques” y serán descritos en los numerales siguientes. El funcionamiento detallado del modelo completo se puede revisar en el anexo D.

5.1.1 Bloque de diseño térmico y mecánico del intercambiador

En la siguiente figura se aprecia el bloque en el cual se introducen todas las ecuaciones de diseño térmico y mecánico que se revisaron en el capítulo anterior, necesarias para determinar las dimensiones, áreas de transferencia y coeficientes de transferencia propios del intercambiador diseñado.

Figura 60. Bloque 1 del modelo en Simulink



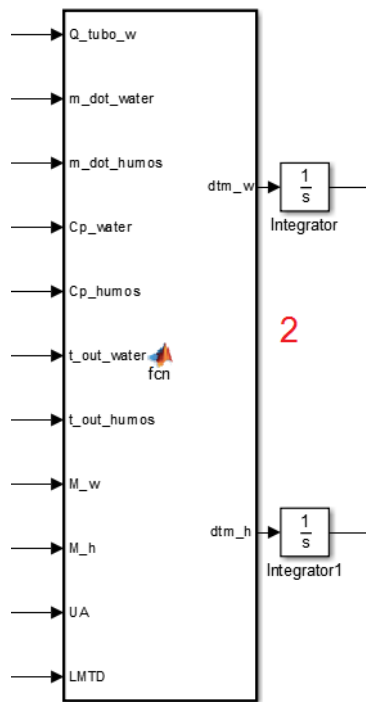
En este bloque se aprecia una serie de entradas al lado izquierdo del mismo entre las cuales se distinguen las temperaturas de entrada del agua y de los humos para

este intercambiador (caldera colmaquinas) y también las propiedades termodinámicas de los fluidos y materiales que están presentes en el intercambio energético, las cuales son tomadas de un bloque posterior con un valor inicial promedio según los datos obtenidos en los análisis realizados previamente. Al lado derecho del bloque se pueden ver las salidas de este entre las cuales se destacan el producto $U \cdot A$ necesario para los balances de energía que se realizan en el siguiente bloque, también se aprecian los coeficientes de transferencia de calor interno y externo, y valores de los flujos máxicos de agua y de humos que serán utilizados posteriormente.

5.1.2 Bloque de balances energéticos sobre los fluidos

En la figura 61 se presenta el bloque en donde se introdujeron las ecuaciones establecidas anteriormente de los balances de energía para los fluidos caliente y frío (humos y agua).

Figura 61. Bloque 2 del modelo en Simulink



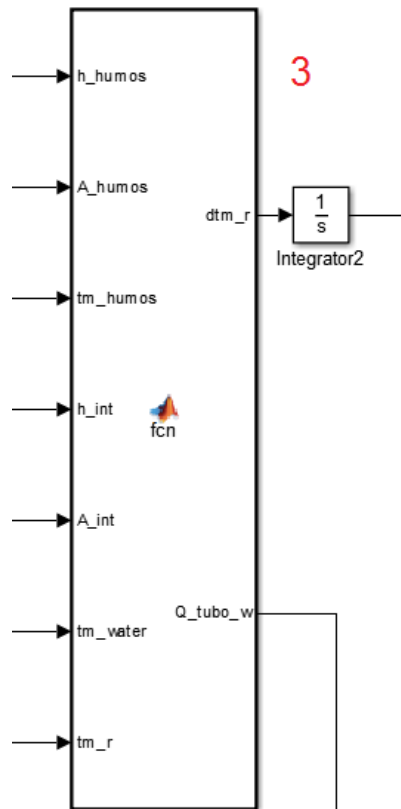
En este bloque lo que se busca es calcular la variación de las temperaturas medias de ambos fluidos en función del tiempo, para luego integrarlos y conocer las temperaturas medias de los fluidos, después se calcula la temperatura de salida de estos conociendo a que temperatura ingresaron al intercambiador. Para lograr obtener estos datos fue necesario establecer como entradas los datos de salida del bloque 1 los cuales fueron resultado del diseño térmico y dimensionamiento explicado en el capítulo anterior.

Adicionalmente se necesitó calcular el calor que absorbe el recipiente metálico antes de estabilizarse para conocer el calor real que le llega al agua durante los diferentes periodos de transición en el funcionamiento de las calderas, este calor se calcula en el bloque 3 realizando un balance de energía sobre el recipiente metálico (intercambiador), también fue necesario calcular la LMTD que es el dato de salida del bloque 5 que se explicará más adelante.

Finalmente para poder establecer la siguiente variación de temperatura es necesario realizar una retroalimentación de la temperatura de salida calculada en el primer intervalo del tiempo, en el cual se utilizó la condición inicial de los integradores para poder dar un punto de partida al modelo

5.1.3 Bloque de balances energéticos sobre el recipiente

Figura 62. Bloque 3 del modelo en Simulink

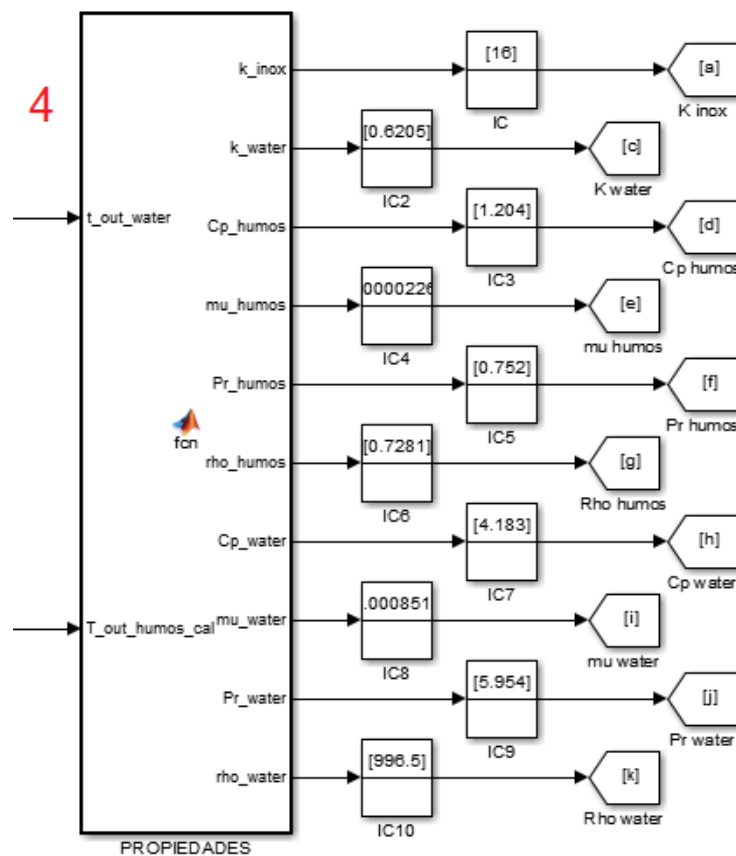


En la figura anterior se observa el bloque en donde se programaron las ecuaciones de balance energético para el recipiente obtenidas en el capítulo 2. Buscando obtener el diferencial de temperatura media del recipiente metálico y el calor absorbido por éste durante los procesos transitorios, fue necesario disponer de entradas como los coeficientes de convección internos y externos obtenidos del bloque 1 con sus respectivas áreas de transferencia de calor, adicional a esto se necesitó los valores de temperatura media de ambos fluidos obtenidos después de las integraciones en el bloque 2, y finalmente se realiza una retroalimentación de la temperatura media del recipiente para lograr obtener las variaciones en los estados posteriores en función del tiempo.

De igual forma como se realizó en el bloque 2, las condiciones iniciales del integrador sirven como punto de partida para la primera ronda de cálculos y de esta forma el modelo queda con datos suficientes para inicializar la simulación.

5.1.4 Bloque de propiedades termodinámicas de los fluidos y materiales del intercambiador

Figura 63. Bloque 4 del modelo en Simulink



En la anterior figura se presenta el bloque correspondiente a las propiedades termodinámicas de todos los participantes en el intercambio de energía que ocurre durante el funcionamiento del sistema, estas propiedades son obtenidas gracias a las ecuaciones que se construyeron con el software EES, el cual permite crear

tablas de las propiedades de los fluidos en función de la temperatura, y seguido a eso obtener el comportamiento matemático de las propiedades en función de la temperatura (ver figura 64).

Figura 64. Ecuaciones para calcular las propiedades termodinámicas obtenidas con EES

```
T_humos=(T_out_humos_cal+230)/2;
T_water=(t_out_water+20)/2;

% densidad humos respecto a temperatura media.
rho_humos=1.22646489E+00-4.46243851E-03*T_humos+1.49821731E-05*T_humos^2-4.09009126E-08

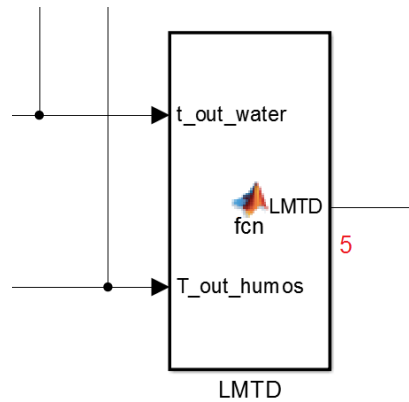
% viscosidad humos respecto a temperatura media
mu_humos=1.49135386E-05+4.51330172E-08*T_humos-1.44230037E-11*T_humos^2-1.50928217E-14

% calor especifico humos respecto a temperatura media
Cp_humos=(1.33691522E+03-3.02204591E+00*T_humos+2.51712284E-02*T_humos^2-1.08518912E-04

% prandtl humos respecto a temperatura media
Pr_humos=8.14552952E-01-1.07390193E-03*T_humos+7.85291106E-06*T_humos^2-3.28343496E-08
```

5.1.5 Bloque de cálculo de la LMTD

Figura 65. Bloque 5 del modelo en Simulink



En la figura 65 se presenta el bloque encargado de calcular la diferencia de temperatura media logarítmica LMTD necesaria para realizar los balances de energía realizados en el bloque 2. Esta LMTD se calculó teniendo en cuenta que el intercambiador funciona en contra corriente general y por esto obedece a la siguiente ecuación:

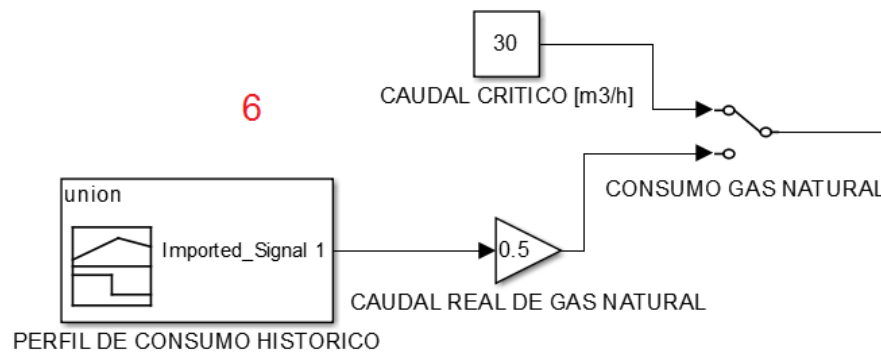
$$LMTD = \frac{(T_{in-humos} - t_{out-water}) - (T_{out-humos} - t_{in-water})}{\ln \frac{T_{in-humos} - t_{out-water}}{T_{out-humos} - t_{in-water}}}$$

Para poder utilizar la ecuación anterior es necesario definir como entradas las temperaturas de salida de ambos fluidos, las cuales alimentan este bloque inicialmente con el valor establecido en los integradores del bloque 2.

5.1.6 Bloque de consumo de combustible

En este bloque se creó el perfil de consumo de combustible que se presentó en las calderas durante 2 días seguidos, La figura 66 muestra que adicional al perfil de consumo variable real de la planta se creó una constante para evaluar los consumos fijos durante operaciones críticas de la caldera.

Figura 66. Bloque 6 del modelo en Simulink



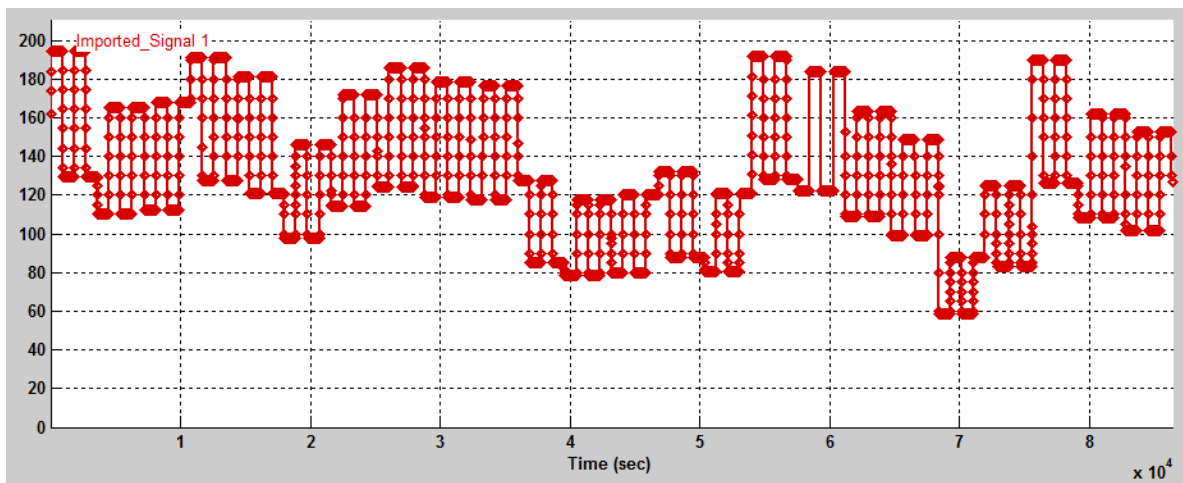
En la figura anterior el triángulo que se encuentra después del perfil de consumo histórico tiene la función de dividir el consumo global en el porcentaje a simular para cada caldera, esto ofrece una ventaja en el momento de simular situaciones críticas de desbalance en el consumo que se presentaran en los siguientes numerales.

Una vez explicados cada uno de los componentes del modelo realizado en Simulink se dará paso a utilizar este modelo para realizar todas las simulaciones necesarias para probar el sistema en todas las situaciones que puedan ocurrir en la realidad.

5.2 Simulaciones con consumos reales

Para realizar estas simulaciones fue necesario crear un archivo Excel que pudiera ser leído por Simulink, se utilizó Excel debido a la gran cantidad de datos que maneja la simulación de 2 días continuos segundo a segundo. Este archivo Excel fue cargado en un componente que llama Signal Builder y el resultado se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 67. Signal Builder con los consumos reales de las calderas



5.2.1 Simulaciones con consumo 50/50

Con los perfiles de consumo real cargados en el Signal Builder se puede observar los niveles máximos alrededor de los 200 [m³/h] de consumo global, y un mínimo de 60 [m³/h]. Para distribuir estos consumos entre las dos calderas se tiene una ganancia que se presentó anteriormente la cual disminuye en un porcentaje el consumo global de la planta, inicialmente se hicieron las pruebas para un consumo 50/50 en ambas calderas el cual debería ser el funcionamiento óptimo si las dos calderas se encuentran en buen estado, ya que al estar conectadas en paralelo al suministro de vapor y por ser de la misma potencia deberían tener un comportamiento balanceado.

Para evaluar los resultados de las simulaciones se crearon graficas en donde se ve la variación de la temperatura de salida del agua en los dos intercambiadores en función del consumo de gas natural de las calderas, adicional a esto también se presenta la temperatura de salida de los humos nuevamente en función del combustible consumido. En el anexo H se presentan los resultados de las simulaciones.

En la figura 1 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera Colmaquinas, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 42 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 96 [m³/h] en la caldera.
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 28 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 29 [m³/h].

- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 53 grados centígrados (ocurre condensación) y esta se presenta cuando la caldera consume 29 [m³/h] de gas natural.

Por lo tanto se concluye que el flujo másico crítico de humos ocurre cuando la caldera consume 30 [m³/h] de gas natural, este será el valor que se tomará para realizar el control sobre el flujo de agua que pasa por los intercambiadores.

En la figura 2 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera Continental, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 56 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 96 [m³/h] en la caldera
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 35 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 29 [m³/h]
- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 54 grados centígrados (ocurre condensación) y esta se presenta cuando la caldera consume 29 [m³/h] de gas natural

5.2.2 Simulaciones con consumo 70/30 para las calderas colmaquinas y continental respectivamente

Además de los resultados anteriores se aprecia que la decisión de establecer el sistema de intercambiadores en serie y lograr un precalentamiento del agua antes de ingresar al intercambiador de la caldera continental, logró su objetivo de evitar la condensación en muchos momentos y se presentó únicamente cuando el consumo de gas natural fue demasiado bajo y este consumo rara vez ocurre.

Ahora como las calderas a medida que pasa el tiempo se van acumulando deficiencias por falta de mantenimiento y otros factores que las afectan, es necesario también realizar simulaciones para situaciones de desbalance drásticos en el consumo de gas natural global. Para esto se realizaron simulaciones con desbalances 30/70 y 70/30, a continuación se analizarán los resultados:

En la figura 3 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera Colmaquinas, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 47 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 136 [m³/h] en la caldera, como se aprecia existe casi un aumento de 5 [°C] con respecto a la situación balanceada de las dos calderas esto es debido a que en esta grafica la caldera colmaquinas tiene un 20% adicional de consumo con respecto a la situación balanceada.
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 31 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 41 [m³/h]
- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 65 grados centígrados (NO ocurre condensación) y esta temperatura ocurre cuando la caldera consume 41 [m³/h] de gas natural, como se ve a diferencia de la situación anterior gracias al aumento en el consumo en esta caldera se evitó la condensación lo que justifica el sistema de control independiente para cada caldera.

En la figura 4 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera continental, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 57 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 58 [m³/h] en la caldera, este dato de temperatura es muy cercano que en la situación balanceada de las dos calderas analizada en las figuras 1 y 2, como conclusión se puede decir que a pesar de sufrir un desbalance la energía transmitida finalmente será la misma, y por lo tanto las temperaturas logradas por el agua al final es muy similar.
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 36 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 18 [m³/h].
- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 46 grados centígrados (ocurre condensación) y esta temperatura ocurre cuando la caldera consume 17 [m³/h], adicional a esto ocurre condensación en varios sectores de la gráfica en donde se tiene como factor común consumos menores a las 30 [m³/h] el cual fue el valor crítico adoptado para permitir o no el flujo de agua por los intercambiadores.

5.2.3 Simulaciones con consumo 30/70 para las calderas colmaquinas y continental respectivamente

En la figura 5 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera Colmaquinas, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 35 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 58 [m³/h] en la caldera.
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 26 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 18 [m³/h].

- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 40 grados centígrados (ocurre condensación), esta temperatura ocurre cuando la caldera consume 17 [m³/h], adicional a esto ocurre condensación en varios sectores de la gráfica en donde se tiene como factor común consumos menores a las 30 [m³/h], en esta grafica se aprecian las temperaturas de gases más bajas que se han presentado en todas las simulaciones, debido al poco caudal que recibe el primer intercambiador al que le entra el agua a menor temperatura.

En la figura 6 del anexo H se ven los resultados para el intercambiador ubicado en la caldera Continental, en esta imagen se observan los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de salida máxima del agua es de 54 grados centígrados y se alcanza con un consumo de combustible de 136 [m³/h] en la caldera, nuevamente se comprueba una salida de agua a una temperatura sin importar la distribución de consumos en las calderas.
- ✓ La temperatura de salida mínima del agua es de 34 grados centígrados y es alcanzada con un consumo de combustible de 41 [m³/h], es necesario resaltar que estas temperaturas realmente no se presentaran ya que en estos consumos mínimos las válvulas y la bomba actuaran para evitar que pase el agua por los intercambiadores ya que en estos casos habría condensación, por esto, la temperatura global en el tanque no se verá disminuida en ocasiones como esta.
- ✓ La temperatura de salida mínima en los humos es de 61 grados centígrados (NO ocurre condensación).

Ya que se ha terminado las simulaciones y análisis de los intercambiadores se da paso a la simulación del tanque de almacenamiento para comprobar que la temperatura en su interior sea cercana a los 50 grados deseados.

5.2.4 Simulación térmica del taque de almacenamiento

Una vez comprobado que la distribución de los consumos en las calderas no afecta considerablemente la temperatura de salida del agua después de pasar por los dos intercambiadores se analizara el resultado de la simulación transitoria de la temperatura al interior del tanque. Para poder realizar esta simulación primero se debe comprobar que la perdida de calor con el ambiente es despreciable gracias al aislante que se seleccionó para este propósito.

5.2.4.1 Pérdida de calor despreciable con el ambiente

Buscando simplificar la simulación y poder despreciar la perdida de energía hacia los alrededores, se presenta el análisis del calor perdido (despreciable) con el ambiente utilizando un aislante en las paredes del tanque, el cual se aplica entre el casco y la chaqueta del tanque cubriendo toda la superficie lateral del mismo, las características térmicas del aislante se muestran en la siguiente figura:

Figura 68. Propiedades termodinámicas del INSUL QUICK

CARACTERISTICAS Y BENEFICIOS:

- **Alta eficiencia térmica**

Su factor $K = 0.0346 \text{ w/m}^{\circ}\text{C}$ ($0.24 \text{ BTU.in/hr.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}$) a 24°C de temperatura media ayuda a aumentar la conservación de energía. Genera bajos costos de pérdida de calor y contribuye a condiciones de trabajo más confortables en los recintos de donde se encuentren los equipos.

"Líderes en ahorro y conservación de energía".



Fuente: <http://www.insulquick.com/>

Donde la conductividad térmica es el dato de mayor interés, y se toma como $0,0346 \text{ [W/m-k]}$ para mayor seguridad en el diseño.

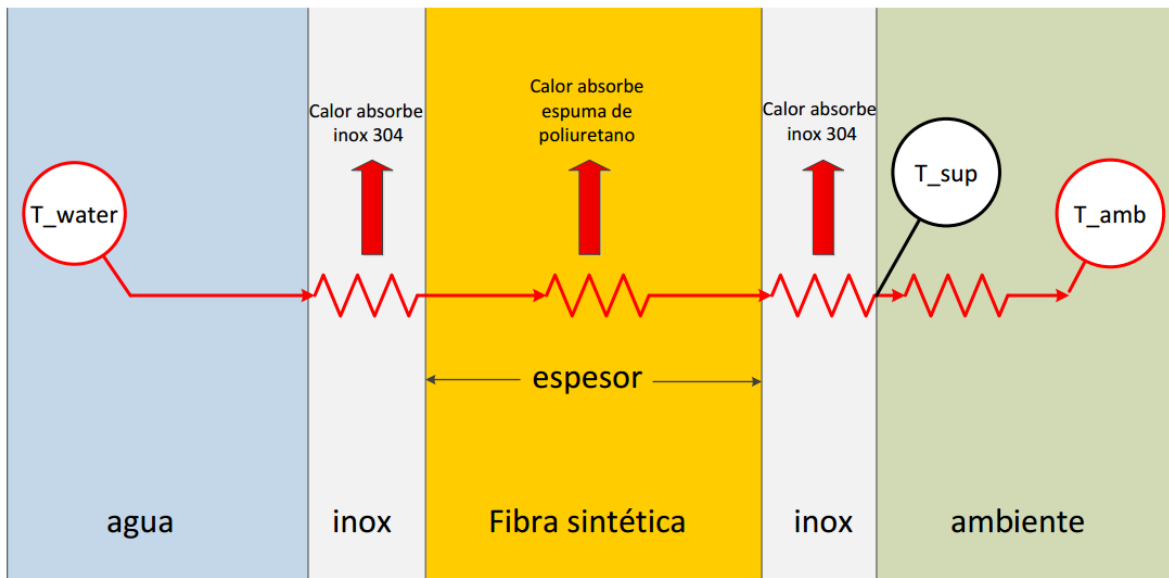
Con todas las variables que se han mencionado anteriormente se hace necesario hacer simplificaciones pertinentes pero prácticas para obtener un espesor que

limite en gran cantidad las pérdidas térmicas. Un diseño para situaciones críticas permite un campo amplio de funcionamiento que garantiza la buena operación del tanque, en este caso el espesor de la capa de aislante es la variable más significativa para poder despreñar la pérdida energética con el ambiente, para calcular este espesor se supondrán las siguientes hipótesis:

- ✓ El tanque estará completamente lleno para ampliar la superficie de transferencia de calor.
- ✓ La separación entre el aislante y las láminas de acero inoxidable es despreciable, disminuyendo la resistencia térmica total.
- ✓ La temperatura ambiente es de 18 grados centígrados, esto se presenta en las noches y aumenta la diferencia de temperaturas haciendo más rápida la transferencia de calor.
- ✓ No existe ningún caudal de agua que ingrese o que salga del tanque.

Para determinar el espesor de la capa de aislante que se debe usar es necesario desarrollar el circuito térmico del tanque, el cual se muestra en siguiente figura:

Figura 69. Circuito térmico de las paredes del tanque



En la figura anterior se muestra la red de resistencias y diferentes variables que se tienen en cuenta para el cálculo del espesor de la capa de fibra sintética, este cálculo se hizo asumiendo una temperatura superficial de 40 [°C] debido a que las normas de seguridad industrial así lo establecen.

El cálculo anterior se realizó en el software EES el cual está en el anexo B y arrojó un espesor óptimo de 50 [mm]

Es necesario saber con este valor de espesor, cuánto tiempo se conserva el agua a una temperatura cercana a los 50 [°C], para esto se modeló en Simulink el proceso transitorio de la pérdida de calor con el ambiente, que también se puede revisar en el anexo D, la figura 70 muestra los bloques del modelo transitorio de pérdida de calor en el tanque, y la figura 71 muestra la variación de la temperatura en el agua en el de tiempo.

Figura 70. Modelo de pérdida de calor transitoria en el tanque.

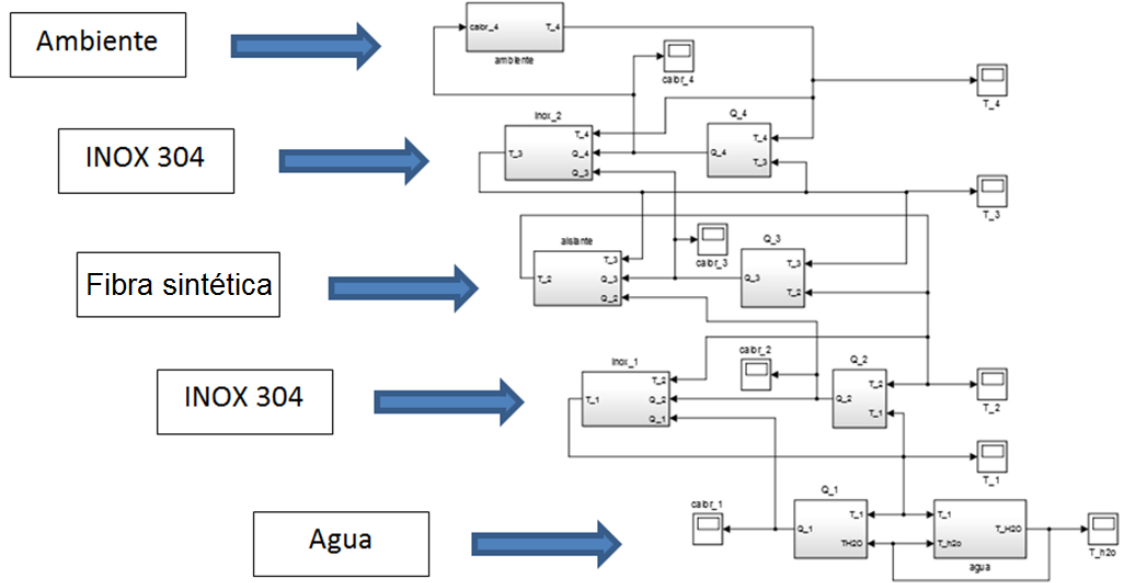
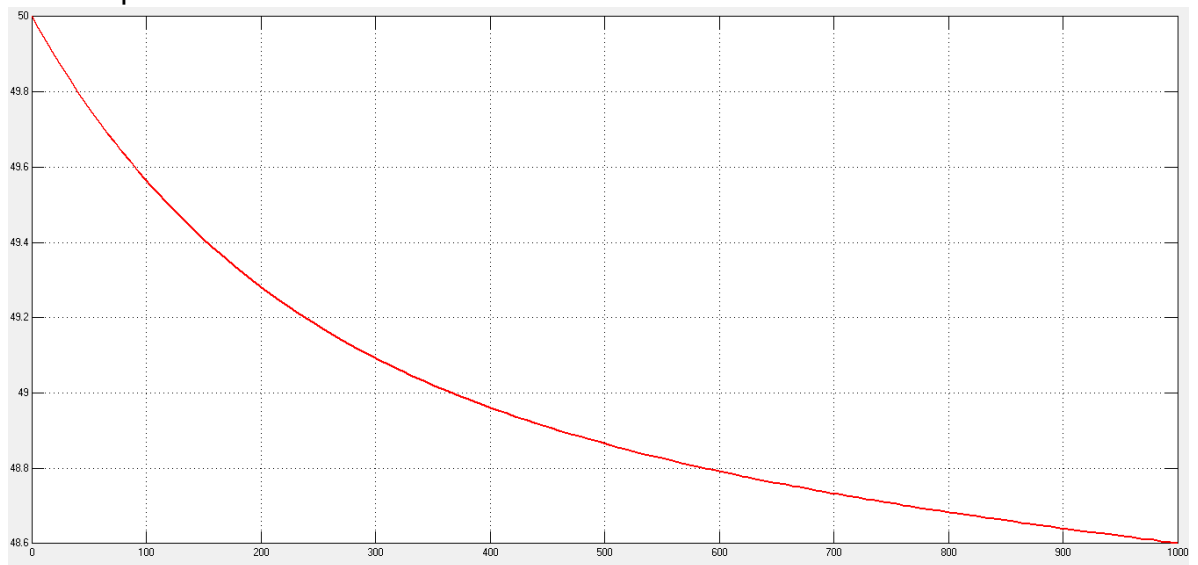


Figura 71. Variación de la temperatura del agua al interior del tanque en función del tiempo.



Con la gráfica anterior se concluye que una temperatura de 40 [°C] se obtiene en aproximadamente 2 días de almacenamiento, hay que tener en cuenta que es una

cantidad considerable de agua y el aislante es de muy baja conductividad. Por todo lo anterior se puede despreciar el calor perdido desde el tanque de almacenamiento con el ambiente.

5.2.4.2 Variación de la temperatura al interior del tanque

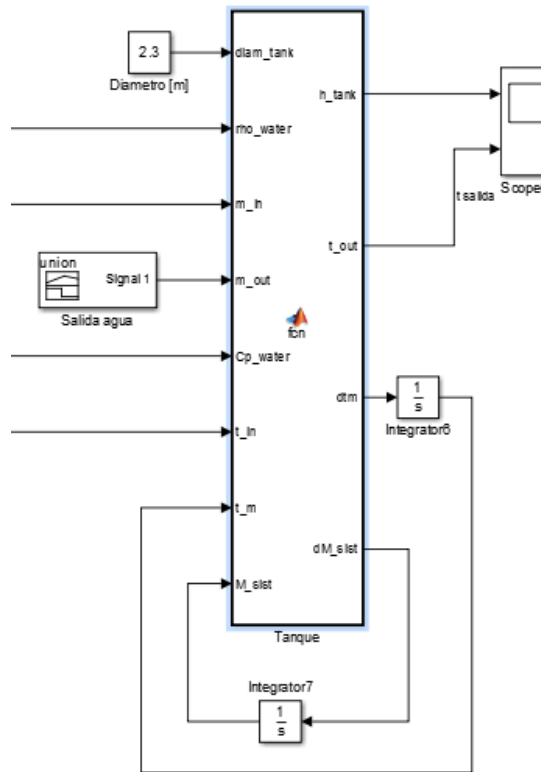
En este numeral se explica el comportamiento térmico del agua en el tanque de almacenamiento despreciando las pérdidas de calor con el ambiente, este comportamiento es transitorio y se analiza como un recipiente al cual le ingresa un caudal constante de 35 [lpm] con temperatura variable cercana a los 50 grados centígrados que depende del consumo de gas natural en las calderas, con un nivel máximo de 4 metros de agua y un nivel mínimo de 45 centímetros, el tanque se desocupara de manera esporádica cuando sea necesario hacer el cambio total de agua en las escaldadoras.

Para realizar la simulación se cuentan con los siguientes datos provenientes de los demás procesos del sistema y de condiciones geométricas ya explicadas:

- ✓ Diámetro del tanque
- ✓ Densidad del agua
- ✓ Flujo másico de entrada
- ✓ Flujo másico de salida
- ✓ Calor específico del agua
- ✓ Temperatura de entrada del agua

Con estos datos se creó el subsistema en Simulink como muestra la figura 72.

Figura 72. Modelamiento para el tanque de almacenamiento



Este subsistema contiene las siguientes ecuaciones:

$$U = -0,02407 + 4,2163 T_m - 0,00216 T_m^2 + (6,8427E - 5) T_m^3 \quad \text{"Energía interna"}$$

$$dM_{sist} = m_{in} - m_{out} \quad \text{"variación de la masa de agua en el tanque"}$$

$$t_{out} = t_m \quad \text{"la temperatura de salida es la temperatura media"}$$

$$dtm = \frac{(\dot{m}_{in} Cp_{water} t_{in}) - (\dot{m}_{out} Cp_{water} t_m) - (U dM_{sist})}{M_{sist} Cp_{water}}$$

En la ecuación anterior se aprecia la variación de la temperatura media del agua en el tanque como función de la energía que ingresa, la energía que sale, el

cambio interno de su energía debido al cambio de temperatura y también función de su masa y propiedades propias.

Finalmente se calculan parámetros geométricos necesarios para el resto de la simulación

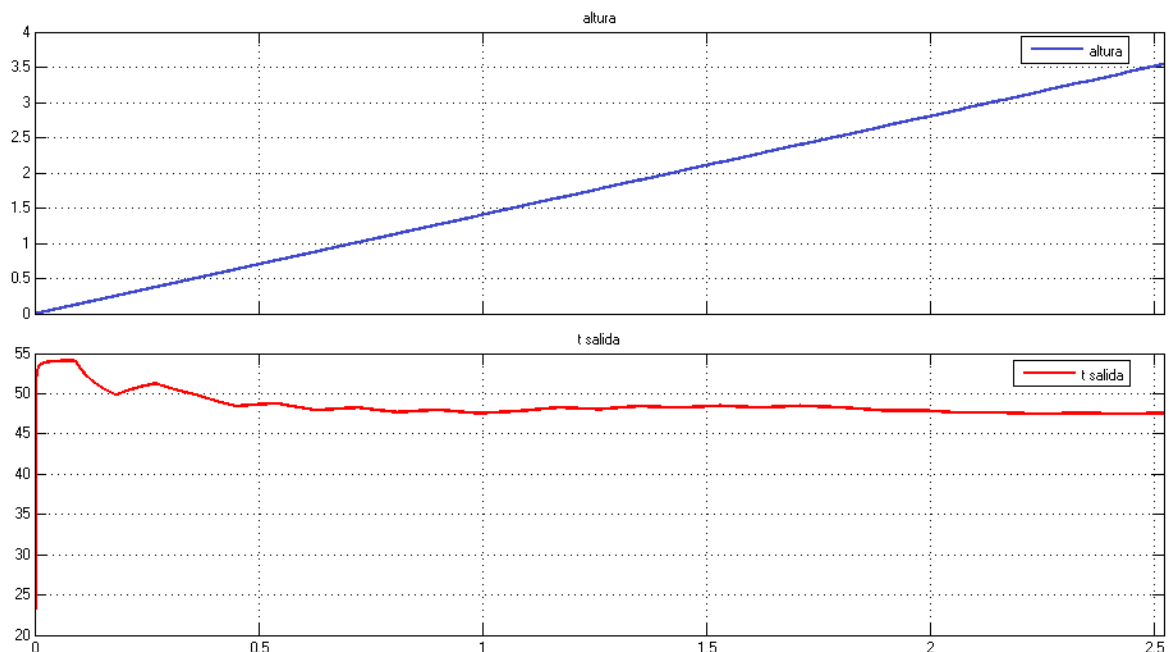
$$Vol_{tank} = \frac{M_{sist}}{\rho_{water}} \text{ "Volumen ocupado por el agua que ha ingresado al tanque"}$$

$$area_{tank} = \frac{\pi}{4} diam_{tank}^2 \text{ "Área ocupada por el tanque"}$$

$$h_{tank} = \frac{vol_{tank}}{area_{tank}} \text{ "Altura del agua en el tanque"}$$

Con todo lo anterior se realizó la simulación de la variación de la temperatura del agua durante las 7 horas disponibles antes de la descarga total al medio día. Adicionalmente en la siguiente grafica se puede ver como se logran los 3.6 metros de altura en el tanque necesarios para acumular los 15000 litros para el cambio de agua en las escaladoras.

Figura 73. Variación de la temperatura y la altura en el interior del tanque



6. ANÁLISIS FINANCIERO

6.1 ASPECTOS GENERALES

Para iniciar este análisis se identifican aspectos de importancia económica como:

- ✓ Aumento en la producción de pollo procesado por día
- ✓ Ahorro en el consumo de gas,
- ✓ Inversión inicial de todos los componentes del sistema
- ✓ Costos de funcionamiento y mantenimiento de los nuevos equipos

Además en el análisis de la viabilidad económica del presente proyecto se tendrán en cuenta aquellos cuyo impacto en los costos sea relevante.

Para determinar la viabilidad del proyecto existen diferentes métodos de evaluación de proyectos, entre los cuales se tiene:

- ✓ Periodo de recuperación del efectivo (PR)
- ✓ Tasa interna de retorno (TIR)
- ✓ Valor presente neto (VPN)
- ✓ Índice de rentabilidad

El modelo a usar en un proyecto como este es el de **Valor presente neto (VPN)**, ya que es el más claro y directo al momento de sacar conclusiones.

Aunque se tienen en cuenta las variaciones de los costos de las materias primas como el gas y del producto como el pollo en los anteriores periodos de tiempo, sus cambios no son muy significativos.

Los factores principales con los cuales se determina el VPN son:

- ✓ Inversión inicial
- ✓ Egresos anuales
- ✓ Ingresos anuales

- ✓ Tasa interna de retorno

En los siguientes numerales se presenta en detalle cada uno de los aspectos anteriores.

6.2 FACTORES PRINCIPALES DEL ANALISIS ECONÓMICO

6.2.1 Inversión inicial.

Los componentes más relevantes en la inversión inicial son:

- ✓ Tanque de almacenamiento
- ✓ Bomba de carga
- ✓ Bomba descarga para el tanque
- ✓ Tubería y accesorios
- ✓ Sistema de Control
- ✓ Intercambiadores

El valor de cada uno de estos componentes se puede observar en el anexo I donde se encuentran las cotizaciones correspondientes. Los detalles de todos lo listado anteriormente se presentará a continuación.

6.2.1.1 Tanque almacenamiento

Para determinar el costo del tanque de almacenamiento se consultaron 3 diferentes fabricantes, los cuales tienen en cuenta el material (láminas 1.5 * 3 metros de acero inoxidable), el trabajo de soldadura, el tiempo de trabajo, la mano de obra necesaria, aislamiento, entre otros.

Algo importante de este componente es el montaje e instalación, ya que eso influye de manera significativa en el costo, las vías de acceso y la movilidad en el espacio a ocupar se deben tener en un estado óptimo, ya que el peso aproximado del tanque es de 1600 kilogramos.

El valor promedio entre las diferentes cotizaciones fue de **\$40.000.000** de pesos.

Figura 74. Tanque similar en proceso de fabricacion.



6.2.1.2 Bombas

En el costo de las bombas se encuentra también incluida su instalación, existen diferentes proveedores en Bucaramanga que facilitaron estas cotizaciones, los cuales tienen experiencia en montajes de este tipo. Estas bombas cuentan con sellos mecánicos usados para fluidos calientes.

El Costo promedio de las bombas seleccionadas es de **\$5.000.000** millones de pesos

Figura 74. Bomba de 5.5 hp seleccionada para este sistema



Fuente: <http://www.pedrollo.com.mx/Catalogo/hf1.htm>

6.2.1.3 Tuberías y accesorios

Todos los tipos diferentes de tuberías, válvulas, sistemas de apoyo y accesorios en general, se han unificado en este componente el cual también incluye el costo de instalación de todo lo necesario para lograr el trazado del sistema.

El costo total de todo el conjunto descrito anteriormente es de **\$5.000.000** de pesos

6.2.1.4 Sistema de Control

El costo del sistema de control tiene en consideración los equipos como sensores de temperatura, de nivel y de caudal, controladores (PLC con modulo extra) e instalación de equipos en la planta y tienen un costo promedio de **\$8.500.000** pesos.

6.2.1.5 Intercambiadores de calor

El costo de cada intercambiador tiene en cuenta el valor de los tubos aleteados que se tienen que traer de Bogotá, también la carcasa metálica para la instalación de los tubos, el ensamblaje del intercambiador propiamente y la instalación en las chimeneas.

El conjunto de lo anterior tiene un valor de **\$10.000.000** de pesos.

6.2.2 Egresos anuales

Existen dos gastos principales en el proyecto, el gasto por mantenimiento y el consumo de energía de los equipos, cada uno de ellos se explicará a continuación:

✓ Gasto por mantenimiento:

Este egreso anual es determinado por la empresa MAC POLLO con ayuda de sus registros de gastos por mantenimiento, no se debe incluir los equipos electrónicos ya que estos no requieren un mantenimiento preventivo sino correctivo total por falla, es decir, cuando se presenta una falla en estos equipos sencillamente se reemplaza debido a su complejidad o bajo costo. Por ende los equipos principales son las dos bombas centrífugas que transportan el agua desde el suministro hasta las escaldadoras.

Entonces:

$$costo_{mant/mes} = \$80\,000 \text{ [pesos]}$$

Éste valor equivale al mantenimiento de las dos bombas durante 1 mes de operación, y es debido a cambio de sellos y rodamientos.

Por lo tanto:

$$costo_{mant/año} = \$960\,000 \text{ [pesos]}$$

✓ Consumo de energía

Para analizar este consumo se tienen de catálogo las potencias nominales de las bombas, con las eficiencias especificadas se obtiene la potencia consumida así:

$$\dot{W}_{bomba} = \frac{\dot{W}_{nominal}}{eficiencia}$$

La energía que consumen las bombas es la potencia anteriormente calculada por el tiempo de operación, estos tiempos son:

$$tiempo_{bomba\ carga} = 24 [horas/dia]$$

$$tiempo_{bomba\ descarga} = 0,5 [horas/dia]$$

Estas energías consumidas calculadas corresponden a un día de operación común de la planta, durante el año se trabajan aproximadamente 320 días al año con lo cual se obtiene el valor de la energía consumida por las bombas en todo un año de operación, este valor es:

$$costo_{operación\ bombas} = 3\ 000\ 000 [pesos/año]$$

Este costo de operación de las bombas es calculado en base al valor del kW/h que para MACPOLLO es aproximadamente de \$300 pesos.

6.2.3 Ingresos anuales

En este proyecto existen dos ingresos principalmente, son:

✓ Ingreso por aumento de la capacidad de producción:

Economizar tiempo al realizar el cambio del agua de escaldado es el parámetro más importante en el análisis económico debido a su impacto en la capacidad de producción; teniendo en cuenta datos de producción de la planta de Beneficio de MAC POLLO como la cantidad de pollos procesados por hora de trabajo y la ganancia monetaria por pollo en el proceso de escaldado, se puede calcular

entonces la cantidad de pollos que se producirían de más en el tiempo que se recupera y por ende su valor económico.

Esos datos son:

$$pollos.procesados_{hora} = 9000 [pollos/hora]$$

La ganancia económica que representa el proceso de escaldado en cada pollo procesado es proporcional a la ganancia neta de cada pollo de la siguiente forma:

$$ganancia_{pollo\ escaldado} = ganancia\ neta_{pollo} * \frac{costo\ etapa\ escaldado}{costo\ total\ planta}$$

$$ganancia_{pollo\ escaldado} = 1200 * 1.5\%$$

$$ganancia_{pollo\ escaldado} = 18 [pesos_{pollo\ escaldado}]$$

El cálculo del dinero que puede percibir MAC POLLO con una mejora de tiempo de 30 minutos al día es el siguiente:

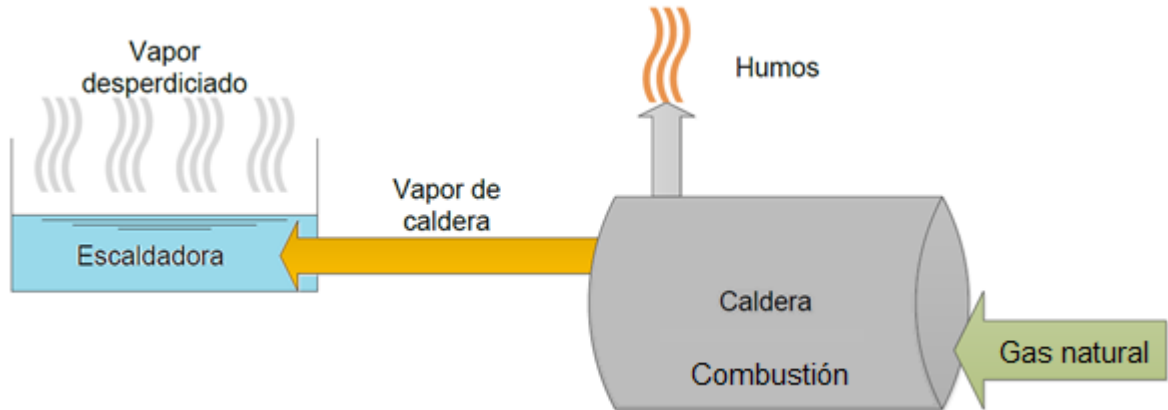
$$dinero_{año} = pollos.por_{hora} * horas.ganadas_{dia} * ganancia_{pollo\ escaldado} * 320_{dias.año}$$

$$dinero_{año} = 25,9 [millones\ de\ pesos/año]$$

✓ Ingreso por ahorro de combustible

Para calcular este ahorro de capital se requiere hacer un análisis de la energía desde la combustión del gas natural hasta la entregada en las escaldadoras, como se observa en la siguiente figura:

Figura 75. Análisis energético del proceso



La energía que finalmente llega a las escaladoras es el resultado de una serie de procesos, comenzando por la combustión del gas natural, parte de esa energía se pierde en los humos de combustión y pérdidas ambientales de la caldera y el resto se aprovecha para producir vapor, este vapor es llevado a las escaladoras donde existen pérdidas hacia el ambiente. El siguiente es el análisis termodinámico del proceso:

La energía que realmente le llega al agua es:

$$Energía_{agua} = energía_{combustión} * \eta_{caldera} * \eta_{escaladora}$$

La eficiencia de la caldera está determinada por la siguiente ecuación:

$$\eta_{caldera} = 1 - \frac{\Sigma energía_{perdida}}{energía_{combustión}}$$

$$\Sigma energía_{perdida} = Energía_{humos} + Perdida_{convección} + Perdida_{purgas}$$

$$Energía_{humos} = M_{humos} * Cp_{humos} * T_{humos.out}$$

$$Perdida_{convección} = 1,5\% energía_{combustible}$$

$$Perdida_{purgas} = 3,5\% energía_{combustible}$$

$$Energía_{combustión} = PCI \text{ del gas natural} * M_{fuel} = 37259 * M_{fuel} [kJ]$$

Estas ecuaciones se usarán en función a 1 kilogramo de combustible, y en base a la relación másica entre el gas natural y los humos de la sección (2.1.3.1) se obtiene una eficiencia de caldera del **80.6 %**.

La eficiencia de las escaldadoras se determinó como **90%** debido a las pérdidas de calor por convección y demás irregularidades que pueda tener el proceso.

Continuando con los cálculos económicos de ahorro de combustible, la energía que se debe suministrar al agua se determina así:

$$Energia_{agua} = M_{agua} * Cp_{agua} * \Delta T_{agua}$$

Dónde:

$$M_{agua} = 15000 [Kg]$$

$$Cp_{agua} = 4,18 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right]$$

$$\Delta T_{agua} = 50 - 20 = 30[^\circ C]$$

Obteniendo así;

$$Energia_{agua} = 1,88 E6 [KJ]$$

Esta energía es equivalente a la que tendría que producir cierta cantidad de combustible para calentar el volumen de agua requerido de 20 grados a 50 grados centígrados.

Igualando la energía necesaria con la ecuación de energía del proceso, se obtiene que:

$$Energía_{agua} = energía_{combustión} * \eta_{caldera} * \eta_{escaldadora}$$

$$Energia_{agua} = 1,88 E6 [KJ]$$

$$Energía_{combustion} = PCI_{gas\ natural} * M_{fuel}$$

$$M_{fuel} = \mathbf{60,87 [Kg_{gas\ natural}]}$$

Esta cantidad de combustible corresponde a 85,73 [m³] de gas natural

Con este dato y el del costo de metro cubico de gas natural que paga MACPOLLO \$ 850 [m³ GN] se encuentra el valor en pesos del ahorro económico en gas natural por cada cambio de agua de las escaldadoras, que es:

\$72.870 pesos por cada cambio de agua.

Como se realizan dos cambios de agua por día, por consiguiente durante un año de trabajo se ahorra en combustible aproximadamente:

46 millones de pesos al año

6.3 Flujo de caja

La siguiente tabla presenta los valores a tener en cuenta en el análisis económico:

Tabla 13. Resumen costos del proyecto

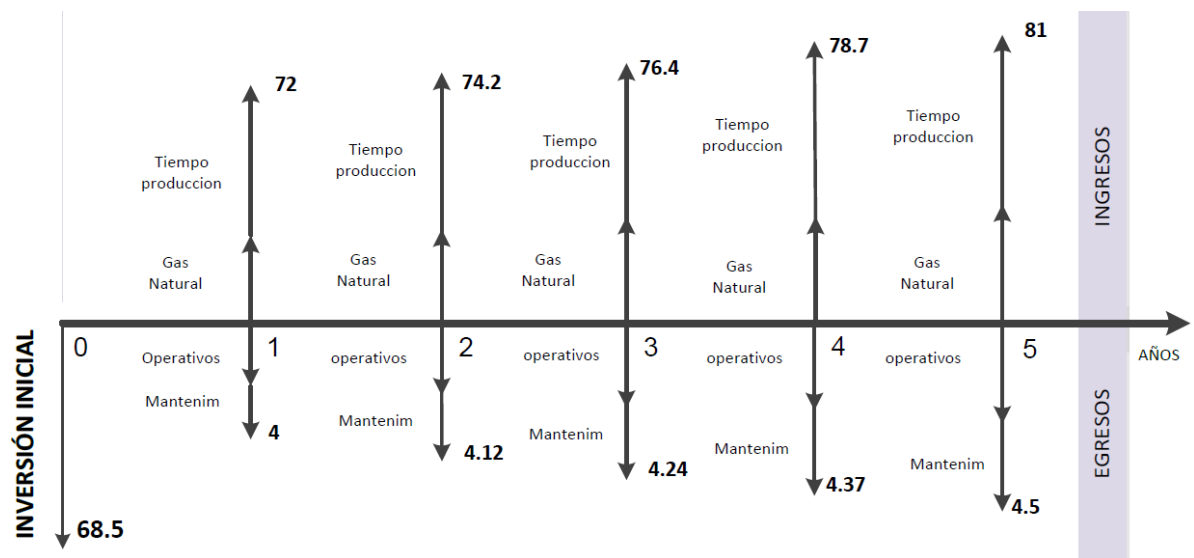
COSTO INVERSION INICIAL	
FACTOR	COSTO [millones de pesos]
Tanque almacenamiento	40
Bombas	5
Tuberías y accesorios	5
Control	8.5
Intercambiadores	10
TOTAL	68.5

Con estos valores podemos realizar el flujo de caja proyectado a 5 años, donde se estima que los costos de mantenimiento tendrán un aumento año a año, del 3 por ciento, valor correspondiente a la tasa de inflación pronosticada por el Banco de la Republica para este horizonte de tiempo; además, no se consideran las

proyecciones de cambio del precio del pollo y respecto al costo del metro cubico de gas natural, este valor es tan variante y poco predecible que no era práctico tomarlo ya que induciría en un error.

El flujo de caja es el siguiente

Figura 76. Flujo de caja proyectado a 5 años



Se observa, que durante el primer año se presentan ingresos por valor de 72 millones de pesos, esto debido principalmente al aumento en la capacidad de producción que se adquiere y el ahorro económico de gas en la planta.

El análisis de valor presente neto considera la tasa interna de retorno de capital que espera Mac Pollo, haciendo una consulta interna se determinó que la empresa considera este valor como el 15%.

TIR=15%

La determinación del periodo de recuperación se determina de la siguiente manera:

$$Inversion_{inicial} = \sum_{i=1}^n \frac{Fet}{(1 + TIR)^n}$$

$$Fet = (ingresos - egessos)_{por\ año}$$

$$n = \text{numero de años}$$

Entonces:

$$\frac{68000000}{(1 + 15\%)^1} = 59\ 130\ 000 \text{ [pesos}_{\text{primer año}}]$$

$$\frac{70080000}{(1 + 15\%)^2} = 52\ 990\ 000 \text{ [pesos}_{\text{segundo año}}]$$

Es decir que entre el primer y el segundo año la inversión inicial se recupera de manera satisfactoria, haciendo el proyecto de alta rentabilidad.

Una ventaja de implementar el análisis económico anual es que la incertidumbre durante este periodo favorece un análisis más general y no tan detallado, por ejemplo, si se tuviera un análisis mensual tendríamos que anticipar que la instalación de todos los equipos demorará aproximadamente 2 meses.

7. CONCLUSIONES

1. Se diseñó un sistema recuperador de energía térmica presente en los gases exosto de las calderas, para ser utilizada en el proceso de escaldado disminuyendo el consumo energético del mismo, utilizando intercambiadores de calor de tubos aleteados para transferir dicha energía a un flujo de agua, aumentando su temperatura hasta la requerida por el proceso.
2. Se logró determinar la viabilidad financiera del proyecto gracias al estudio económico que se realizó, el cual arroja un tiempo de recuperación de la inversión aproximado de 1 año, lo cual llama la atención de la empresa para implementar más proyectos de este tipo al resto de sus plantas de procesamiento.
3. Se determinó que factores como las distancias entre los tubos del intercambiador y la temperatura de entrada del agua son unos de los factores más determinantes en su proceso de diseño y control.
4. Gracias a la comparación entre los resultados obtenidos en los análisis estacionarios y transitorios, se demuestra que para situaciones en donde los flujos máxicos de los fluidos involucrados son pequeños, la transitoriedad no representa un factor crítico ya que se consiguen estabilizaciones en pocos segundos.
5. Se comprobó que el tipo de intercambiador escogido (tubos con aletas circulares) presenta un delta de presión en el lado de los humos despreciable favorable para este tipo de sistemas, adicionalmente su fabricación e instalación van a resultar rápidas y sencillas.

6. Gracias a la instalación de este sistema se logrará una disminución del 4% en el consumo total de gas natural de la planta, lo que equivale monetariamente a 46 millones de pesos anuales de ahorros.
7. Se ayudará a reducir la contaminación térmica causada por los gases exosto de las calderas reduciendo aproximadamente su temperatura en 100 [°C].
8. Se concluye que la energía consumida para el transporte de los fluidos involucrados es relativamente baja en comparación con la energía recuperada, lo que demuestra la alta eficiencia del sistema.
9. El desarrollo de proyectos de grado a nivel industrial nos llevó a utilizar diversos conceptos académicos en una situación práctica y real, en donde se aprendió del valor que tienen los conocimientos de ingenieros y técnicos experimentados que ayudaron constantemente en el desarrollo de este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE STANDARD 650. Welded Steel Tanks for Oil Storage, Tenth edition, Washington, 1998.

FRANK P. INCROPERA, DAVID P. DEWITT. Fundamentos de Transferencia de Calor. Cuarta Edición, México: Prentice Hall, 1999 – 854 páginas.

MARADEY, JUAN. Termodinámica Aplicada. Bucaramanga, Colombia Ediciones UIS – 560 páginas.

RAMESH K. SHAH AND DUSAN P. SEKULIC. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

ROBERT L. MOTT. Mecánica de fluidos. Sexta Edición, México D.F., PEARSON Education, 2006 – 644 páginas.

YUNUS A. CENGEL. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico. Segunda Edición, México D.F., McGraw-Hill, 2007 - 901 páginas.

ANEXO A. ESTUDIOS REALIZADOS

En este anexo se presentan todos los estudios realizados a las calderas para la realización de este proyecto

Composición química de los gases y temperaturas



MUESTREO ISOCINETICO EN LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA AVIDESA
MACPOLLO S.A., UBICADA EN LA AUTOPISTA FLORIDABLANCA – PIEDECUESTA, SANTANDER



INFORME ESTUDIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

MUESTREO ISOCINÉTICO EN UNA (1) FUENTE FIJA EN LA PLANTA DE
BENEFICIO DE LA EMPRESA AVIDESA MACPOLLO S.A. UBICADA EN LA
AUTOPISTA FLORIDABLANCA - PIEDECUESTA, SANTANDER.

Monitoreo

16/07/2013

PRESENTADO POR:



CONSULTOR:



BUCARAMANGA

SANTANDER

2013

En la Tabla 1.2 y Tabla 1.3, se presenta la caracterización de los gases de chimenea mediante un análisis de combustión, y las condiciones de operación de la fuente, a las cuales se encontraba durante el muestreo, respectivamente:

Tabla 1.2. Caracterización de gases de chimenea por análisis de combustión

Contaminante	Concentración	Valor
CO ₂	%	10.67500
CO	%	0.02733
O ₂	%	1.82500
N ₂	%	87.47268

Tabla 1.3. Condiciones de operación de la fuente

Característica de los gases emitidos	Unidades	Valor
Velocidad	m/s	6.47
Humedad	%	12.60
Temperatura	°C	233.67
Presión absoluta	mmHg	685.63

En la Tabla 1.4 se comparan los resultados obtenidos de los contaminantes evaluados en la fuente con el Artículo 7 “Estándares de emisión admisibles para equipos de combustión externa existentes” según la Resolución 909 de 2008 a condiciones de referencia, oxígeno de referencia del 11% y teniendo en cuenta que el combustible empleado es gas natural.

Tabla 1.4. Comparación de los resultados con los estándares de emisión admisibles

Contaminante evaluado	Concentración (mg/m ³)	Estándar de emisión admisible (mg/m ³) Res. 909 / 2008 Art. 7
NO _x	63.70	350

Durante las mediciones no se presentaron errores que alteren los resultados obtenidos.

A continuación se relaciona la fuente fija de emisión atmosférica de la planta de la empresa AVIDESA MACPOLLO S.A., a la cual se le realizó la evaluación isocinética de los contaminantes emitidos al aire. En la Tabla 4.3 se muestran las dimensiones y en la Tabla 4.4 se presentan las características.

Tabla 4.3. Dimensiones de la fuente evaluada

Característica	Unidades	Valor
Altura ducto de descarga	m	9.23
Diámetro del ducto	m	0.40
Longitud niples	m	0.10
Geometría chimenea	-	Circular
Cercanía con perturbaciones antes del punto de toma de muestras	m	6.03
Cercanía con perturbaciones después del punto de toma de muestras	m	1.93

Tabla 4.4. Descripción de la operación y funcionamiento de la fuente evaluada

Característica	Unidades	Valor
Tipo	-	Caldera
Proceso evaluado	-	Generación de vapor
Tipo de proceso	-	Físico y continuo
Horas de trabajo	h/día	24
Días de trabajo	día/semana	6
Semanas de trabajo	Semana/mes	4
Combustible utilizado	-	Gas natural
Poder calorífico	BTU/ft ³	1000
Sistema de control	-	No presenta

Fuente: Información suministrada por el cliente

4.4 SISTEMA DE CONTROL

La fuente no presenta sistema de control de emisiones atmosféricas.

4.4.1 DIAGRAMA DE LA FUENTE

En el Anexo 4, se presenta un registro fotográfico más completo de la fuente evaluada, donde se observa la chimenea o ducto en evaluación. Sin embargo, en la siguiente figura, se presenta un esquema general de la chimenea.

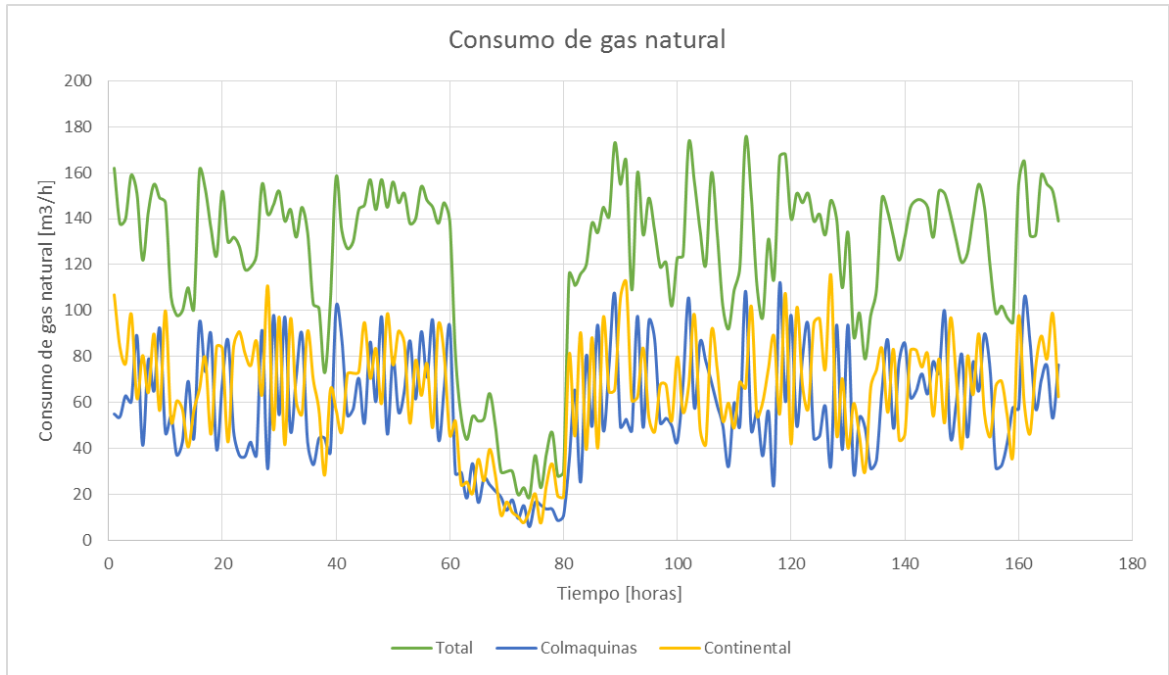
Consumos individuales de las calderas en la planta beneficio

CONSUMO TOTAL		CONSUMO CALDERA COLMAQUINAS		CONSUMO CALDERA CONTINENTAL	
Date/Time	Volumen corregido [m3]	Date/Time	Volumen corregido [m3]	Date/Time	Volumen corregido [m3]
06/02/2014 14:00	162	06/02/2014 14:00	55,08	06/02/2014 14:00	106,92
06/02/2014 15:00	138	06/02/2014 15:00	53,82	06/02/2014 15:00	84,18
06/02/2014 16:00	140	06/02/2014 16:00	63	06/02/2014 16:00	77
06/02/2014 17:00	159	06/02/2014 17:00	60,42	06/02/2014 17:00	98,58
06/02/2014 18:00	151	06/02/2014 18:00	89,09	06/02/2014 18:00	61,91
06/02/2014 19:00	122	06/02/2014 19:00	41,48	06/02/2014 19:00	80,52
06/02/2014 20:00	143	06/02/2014 20:00	78,65	06/02/2014 20:00	64,35
06/02/2014 21:00	155	06/02/2014 21:00	65,1	06/02/2014 21:00	89,9
06/02/2014 22:00	149	06/02/2014 22:00	92,38	06/02/2014 22:00	56,62
06/02/2014 23:00	147	06/02/2014 23:00	47,04	06/02/2014 23:00	99,96
07/02/2014 00:00	106	07/02/2014 00:00	54,06	07/02/2014 00:00	51,94
07/02/2014 01:00	98	07/02/2014 01:00	37,24	07/02/2014 01:00	60,76
07/02/2014 02:00	100	07/02/2014 02:00	43	07/02/2014 02:00	57
07/02/2014 03:00	110	07/02/2014 03:00	69,3	07/02/2014 03:00	40,7
07/02/2014 04:00	101	07/02/2014 04:00	44,44	07/02/2014 04:00	56,56
07/02/2014 05:00	161	07/02/2014 05:00	94,99	07/02/2014 05:00	66,01
07/02/2014 06:00	153	07/02/2014 06:00	73,44	07/02/2014 06:00	79,56
07/02/2014 07:00	136	07/02/2014 07:00	89,76	07/02/2014 07:00	46,24
07/02/2014 08:00	124	07/02/2014 08:00	39,68	07/02/2014 08:00	84,32
07/02/2014 09:00	152	07/02/2014 09:00	68,4	07/02/2014 09:00	83,6
07/02/2014 10:00	130	07/02/2014 10:00	87,1	07/02/2014 10:00	42,9
07/02/2014 11:00	132	07/02/2014 11:00	47,52	07/02/2014 11:00	84,48
07/02/2014 12:00	128	07/02/2014 12:00	37,12	07/02/2014 12:00	90,88
07/02/2014 13:00	118	07/02/2014 13:00	36,58	07/02/2014 13:00	81,42
07/02/2014 14:00	119	07/02/2014 14:00	42,84	07/02/2014 14:00	76,16
07/02/2014 15:00	124	07/02/2014 15:00	37,2	07/02/2014 15:00	86,8
07/02/2014 16:00	155	07/02/2014 16:00	91,45	07/02/2014 16:00	63,55
07/02/2014 17:00	142	07/02/2014 17:00	31,24	07/02/2014 17:00	110,76
07/02/2014 18:00	146	07/02/2014 18:00	97,82	07/02/2014 18:00	48,18
07/02/2014 19:00	152	07/02/2014 19:00	54,72	07/02/2014 19:00	97,28
07/02/2014 20:00	139	07/02/2014 20:00	97,3	07/02/2014 20:00	41,7
07/02/2014 21:00	144	07/02/2014 21:00	47,52	07/02/2014 21:00	96,48
07/02/2014 22:00	132	07/02/2014 22:00	71,28	07/02/2014 22:00	60,72
07/02/2014 23:00	145	07/02/2014 23:00	89,9	07/02/2014 23:00	55,1
08/02/2014 00:00	134	08/02/2014 00:00	42,88	08/02/2014 00:00	91,12
08/02/2014 01:00	103	08/02/2014 01:00	32,96	08/02/2014 01:00	70,04
08/02/2014 02:00	101	08/02/2014 02:00	44,44	08/02/2014 02:00	56,56
08/02/2014 03:00	73	08/02/2014 03:00	44,53	08/02/2014 03:00	28,47
08/02/2014 04:00	104	08/02/2014 04:00	38,48	08/02/2014 04:00	65,52
08/02/2014 05:00	158	08/02/2014 05:00	101,12	08/02/2014 05:00	56,88
08/02/2014 06:00	135	08/02/2014 06:00	87,75	08/02/2014 06:00	47,25
08/02/2014 07:00	127	08/02/2014 07:00	54,61	08/02/2014 07:00	72,39
08/02/2014 08:00	130	08/02/2014 08:00	57,2	08/02/2014 08:00	72,8
08/02/2014 09:00	144	08/02/2014 09:00	70,56	08/02/2014 09:00	73,44
08/02/2014 10:00	146	08/02/2014 10:00	51,1	08/02/2014 10:00	94,9
08/02/2014 11:00	157	08/02/2014 11:00	86,35	08/02/2014 11:00	70,65
08/02/2014 12:00	144	08/02/2014 12:00	60,48	08/02/2014 12:00	83,52
08/02/2014 13:00	157	08/02/2014 13:00	97,34	08/02/2014 13:00	59,66
08/02/2014 14:00	145	08/02/2014 14:00	46,4	08/02/2014 14:00	98,6
08/02/2014 15:00	156	08/02/2014 15:00	79,56	08/02/2014 15:00	76,44
08/02/2014 16:00	147	08/02/2014 16:00	55,86	08/02/2014 16:00	91,14
08/02/2014 17:00	151	08/02/2014 17:00	64,93	08/02/2014 17:00	86,07
08/02/2014 18:00	138	08/02/2014 18:00	86,94	08/02/2014 18:00	51,06

08/02/2014 19:00	140		08/02/2014 19:00	61,6		08/02/2014 19:00	78,4
08/02/2014 20:00	154		08/02/2014 20:00	90,86		08/02/2014 20:00	63,14
08/02/2014 21:00	148		08/02/2014 21:00	71,04		08/02/2014 21:00	76,96
08/02/2014 22:00	145		08/02/2014 22:00	95,7		08/02/2014 22:00	49,3
08/02/2014 23:00	138		08/02/2014 23:00	44,16		08/02/2014 23:00	93,84
09/02/2014 00:00	147		09/02/2014 00:00	66,15		09/02/2014 00:00	80,85
09/02/2014 01:00	139		09/02/2014 01:00	93,13		09/02/2014 01:00	45,87
09/02/2014 02:00	81		09/02/2014 02:00	29,16		09/02/2014 02:00	51,84
09/02/2014 03:00	54		09/02/2014 03:00	29,7		09/02/2014 03:00	24,3
09/02/2014 04:00	44		09/02/2014 04:00	18,48		09/02/2014 04:00	25,52
09/02/2014 05:00	54		09/02/2014 05:00	33,48		09/02/2014 05:00	20,52
09/02/2014 06:00	52		09/02/2014 06:00	16,64		09/02/2014 06:00	35,36
09/02/2014 07:00	53		09/02/2014 07:00	27,03		09/02/2014 07:00	25,97
09/02/2014 08:00	64		09/02/2014 08:00	24,32		09/02/2014 08:00	39,68
09/02/2014 09:00	50		09/02/2014 09:00	21,5		09/02/2014 09:00	28,5
09/02/2014 10:00	30		09/02/2014 10:00	18,9		09/02/2014 10:00	11,1
09/02/2014 11:00	30		09/02/2014 11:00	13,2		09/02/2014 11:00	16,8
09/02/2014 12:00	30		09/02/2014 12:00	17,7		09/02/2014 12:00	12,3
09/02/2014 13:00	20		09/02/2014 13:00	9,6		09/02/2014 13:00	10,4
09/02/2014 14:00	23		09/02/2014 14:00	15,18		09/02/2014 14:00	7,82
09/02/2014 15:00	19		09/02/2014 15:00	6,08		09/02/2014 15:00	12,92
09/02/2014 16:00	37		09/02/2014 16:00	16,65		09/02/2014 16:00	20,35
09/02/2014 17:00	23		09/02/2014 17:00	15,41		09/02/2014 17:00	7,59
09/02/2014 18:00	38		09/02/2014 18:00	13,68		09/02/2014 18:00	24,32
09/02/2014 19:00	47		09/02/2014 19:00	13,63		09/02/2014 19:00	33,37
09/02/2014 20:00	28		09/02/2014 20:00	8,68		09/02/2014 20:00	19,32
09/02/2014 21:00	30		09/02/2014 21:00	10,8		09/02/2014 21:00	19,2
09/02/2014 22:00	116		09/02/2014 22:00	34,8		09/02/2014 22:00	81,2
09/02/2014 23:00	111		09/02/2014 23:00	65,49		09/02/2014 23:00	45,51
10/02/2014 00:00	116		10/02/2014 00:00	25,52		10/02/2014 00:00	90,48
10/02/2014 01:00	120		10/02/2014 01:00	80,4		10/02/2014 01:00	39,6
10/02/2014 02:00	138		10/02/2014 02:00	49,68		10/02/2014 02:00	88,32
10/02/2014 03:00	134		10/02/2014 03:00	93,8		10/02/2014 03:00	40,2
10/02/2014 04:00	145		10/02/2014 04:00	47,85		10/02/2014 04:00	97,15
10/02/2014 05:00	141		10/02/2014 05:00	76,14		10/02/2014 05:00	64,86
10/02/2014 06:00	173		10/02/2014 06:00	107,26		10/02/2014 06:00	65,74
10/02/2014 07:00	155		10/02/2014 07:00	49,6		10/02/2014 07:00	105,4
10/02/2014 08:00	165		10/02/2014 08:00	52,8		10/02/2014 08:00	112,2
10/02/2014 09:00	109		10/02/2014 09:00	47,96		10/02/2014 09:00	61,04
10/02/2014 10:00	160		10/02/2014 10:00	97,6		10/02/2014 10:00	62,4
10/02/2014 11:00	133		10/02/2014 11:00	49,21		10/02/2014 11:00	83,79
10/02/2014 12:00	149		10/02/2014 12:00	95,36		10/02/2014 12:00	53,64
10/02/2014 13:00	135		10/02/2014 13:00	87,75		10/02/2014 13:00	47,25
10/02/2014 14:00	119		10/02/2014 14:00	51,17		10/02/2014 14:00	67,83
10/02/2014 15:00	121		10/02/2014 15:00	53,24		10/02/2014 15:00	67,76
10/02/2014 16:00	102		10/02/2014 16:00	49,98		10/02/2014 16:00	52,02
10/02/2014 17:00	123		10/02/2014 17:00	43,05		10/02/2014 17:00	79,95
10/02/2014 18:00	124		10/02/2014 18:00	68,2		10/02/2014 18:00	55,8
10/02/2014 19:00	173		10/02/2014 19:00	105,53		10/02/2014 19:00	67,47
10/02/2014 20:00	156		10/02/2014 20:00	57,72		10/02/2014 20:00	98,28
10/02/2014 21:00	135		10/02/2014 21:00	86,4		10/02/2014 21:00	48,6
10/02/2014 22:00	120		10/02/2014 22:00	78		10/02/2014 22:00	42
10/02/2014 23:00	160		10/02/2014 23:00	68,8		10/02/2014 23:00	91,2
11/02/2014 00:00	134		11/02/2014 00:00	58,96		11/02/2014 00:00	75,04
11/02/2014 01:00	102		11/02/2014 01:00	49,98		11/02/2014 01:00	52,02
11/02/2014 02:00	92		11/02/2014 02:00	32,2		11/02/2014 02:00	59,8
11/02/2014 03:00	109		11/02/2014 03:00	59,95		11/02/2014 03:00	49,05
11/02/2014 04:00	119		11/02/2014 04:00	49,98		11/02/2014 04:00	69,02
11/02/2014 05:00	175		11/02/2014 05:00	108,5		11/02/2014 05:00	66,5
11/02/2014 06:00	150		11/02/2014 06:00	48		11/02/2014 06:00	102

11/02/2014 07:00	111		11/02/2014 07:00	56,61		11/02/2014 07:00	54,39
11/02/2014 08:00	97		11/02/2014 08:00	36,86		11/02/2014 08:00	60,14
11/02/2014 09:00	131		11/02/2014 09:00	56,33		11/02/2014 09:00	74,67
11/02/2014 10:00	114		11/02/2014 10:00	25,08		11/02/2014 10:00	88,92
11/02/2014 11:00	167		11/02/2014 11:00	111,89		11/02/2014 11:00	55,11
11/02/2014 12:00	168		11/02/2014 12:00	60,48		11/02/2014 12:00	107,52
11/02/2014 13:00	140		11/02/2014 13:00	98		11/02/2014 13:00	42
11/02/2014 14:00	151		11/02/2014 14:00	49,83		11/02/2014 14:00	101,17
11/02/2014 15:00	147		11/02/2014 15:00	79,38		11/02/2014 15:00	67,62
11/02/2014 16:00	151		11/02/2014 16:00	93,62		11/02/2014 16:00	57,38
11/02/2014 17:00	139		11/02/2014 17:00	44,48		11/02/2014 17:00	94,52
11/02/2014 18:00	142		11/02/2014 18:00	45,44		11/02/2014 18:00	96,56
11/02/2014 19:00	133		11/02/2014 19:00	58,52		11/02/2014 19:00	74,48
11/02/2014 20:00	148		11/02/2014 20:00	32,56		11/02/2014 20:00	115,44
11/02/2014 21:00	140		11/02/2014 21:00	93,8		11/02/2014 21:00	46,2
11/02/2014 22:00	110		11/02/2014 22:00	39,6		11/02/2014 22:00	70,4
11/02/2014 23:00	134		11/02/2014 23:00	93,8		11/02/2014 23:00	40,2
12/02/2014 00:00	89		12/02/2014 00:00	29,37		12/02/2014 00:00	59,63
12/02/2014 01:00	99		12/02/2014 01:00	53,46		12/02/2014 01:00	45,54
12/02/2014 02:00	79		12/02/2014 02:00	48,98		12/02/2014 02:00	30,02
12/02/2014 03:00	98		12/02/2014 03:00	31,36		12/02/2014 03:00	66,64
12/02/2014 04:00	109		12/02/2014 04:00	34,88		12/02/2014 04:00	74,12
12/02/2014 05:00	149		12/02/2014 05:00	65,56		12/02/2014 05:00	83,44
12/02/2014 06:00	143		12/02/2014 06:00	87,23		12/02/2014 06:00	55,77
12/02/2014 07:00	132		12/02/2014 07:00	48,84		12/02/2014 07:00	83,16
12/02/2014 08:00	122		12/02/2014 08:00	78,08		12/02/2014 08:00	43,92
12/02/2014 09:00	132		12/02/2014 09:00	85,8		12/02/2014 09:00	46,2
12/02/2014 10:00	145		12/02/2014 10:00	62,35		12/02/2014 10:00	82,65
12/02/2014 11:00	148		12/02/2014 11:00	65,12		12/02/2014 11:00	82,88
12/02/2014 12:00	148		12/02/2014 12:00	72,52		12/02/2014 12:00	75,48
12/02/2014 13:00	145		12/02/2014 13:00	63,8		12/02/2014 13:00	81,2
12/02/2014 14:00	132		12/02/2014 14:00	77,88		12/02/2014 14:00	54,12
12/02/2014 15:00	152		12/02/2014 15:00	72,96		12/02/2014 15:00	79,04
12/02/2014 16:00	151		12/02/2014 16:00	99,66		12/02/2014 16:00	51,34
12/02/2014 17:00	142		12/02/2014 17:00	45,44		12/02/2014 17:00	96,56
12/02/2014 18:00	131		12/02/2014 18:00	58,95		12/02/2014 18:00	72,05
12/02/2014 19:00	121		12/02/2014 19:00	81,07		12/02/2014 19:00	39,93
12/02/2014 20:00	125		12/02/2014 20:00	45		12/02/2014 20:00	80
12/02/2014 21:00	141		12/02/2014 21:00	77,55		12/02/2014 21:00	63,45
12/02/2014 22:00	155		12/02/2014 22:00	65,1		12/02/2014 22:00	89,9
12/02/2014 23:00	145		12/02/2014 23:00	89,9		12/02/2014 23:00	55,1
13/02/2014 00:00	119		13/02/2014 00:00	73,78		13/02/2014 00:00	45,22
13/02/2014 01:00	99		13/02/2014 01:00	31,68		13/02/2014 01:00	67,32
13/02/2014 02:00	102		13/02/2014 02:00	32,64		13/02/2014 02:00	69,36
13/02/2014 03:00	97		13/02/2014 03:00	42,68		13/02/2014 03:00	54,32
13/02/2014 04:00	95		13/02/2014 04:00	57,95		13/02/2014 04:00	37,05
13/02/2014 05:00	155		13/02/2014 05:00	57,35		13/02/2014 05:00	97,65
13/02/2014 06:00	165		13/02/2014 06:00	105,6		13/02/2014 06:00	59,4
13/02/2014 07:00	133		13/02/2014 07:00	86,45		13/02/2014 07:00	46,55
13/02/2014 08:00	133		13/02/2014 08:00	57,19		13/02/2014 08:00	75,81
13/02/2014 09:00	159		13/02/2014 09:00	69,96		13/02/2014 09:00	89,04
13/02/2014 10:00	155		13/02/2014 10:00	75,95		13/02/2014 10:00	79,05
13/02/2014 11:00	152		13/02/2014 11:00	53,2		13/02/2014 11:00	98,8
13/02/2014 12:00	139		13/02/2014 12:00	76,45		13/02/2014 12:00	62,55

Grafica de los datos anteriores



ANEXO B. ARCHIVOS FORMATRO EES

En este anexo se presenta todos los archivos en formato EES que contienen cálculos detallados de los diseños realizados en el proyecto

- ✓ Diseño mecánico y térmico, intercambiador Colmaquinas, ver archivo B1.
- ✓ Diseño mecánico y térmico, intercambiador Continental, ver archivo B2.
- ✓ Diseño del tanque de almacenamiento, ver archivo B3.
- ✓ Calculo de la perdida de calor desde el intercambiador hacia el ambiente, ver archivo B4.

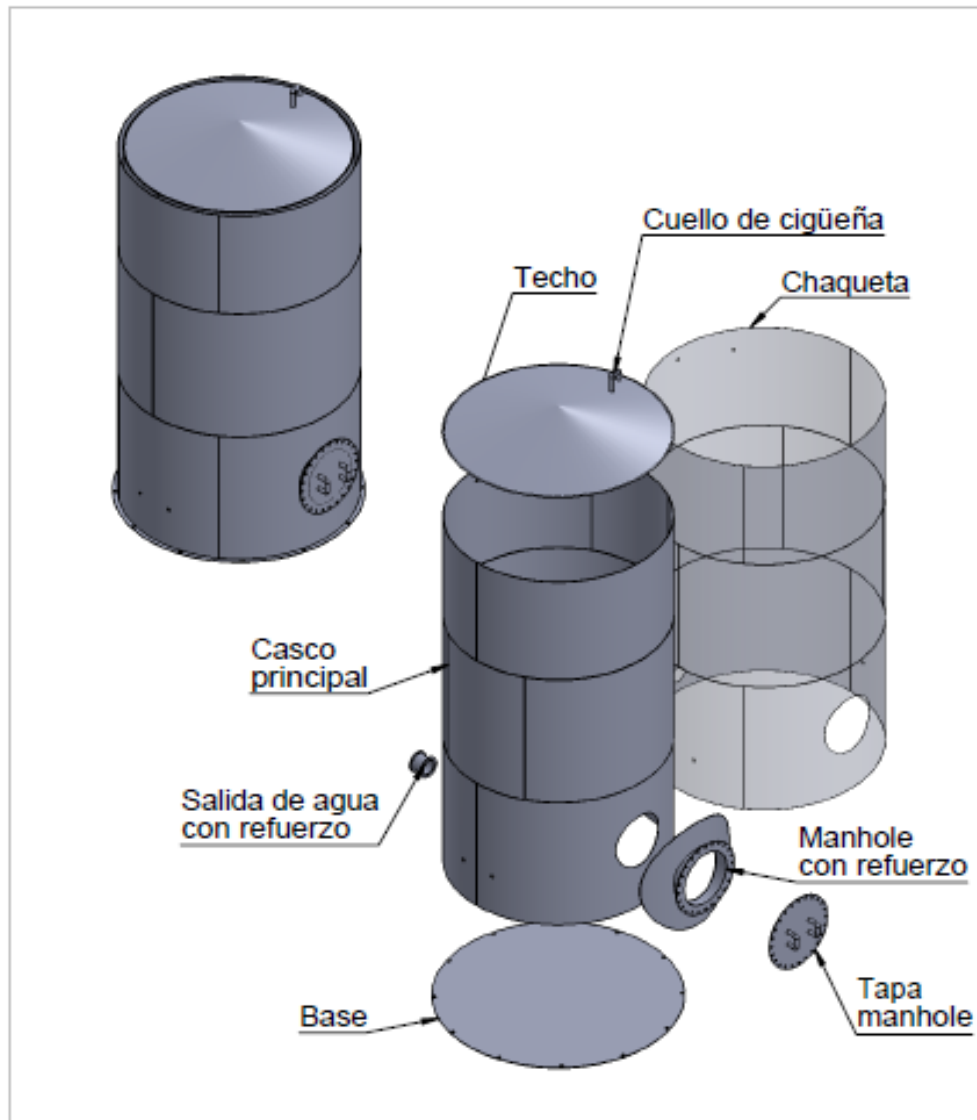
En el archivo B4 se creó una tabla donde varía el espesor y se graficó el calor perdido con cada espesor iterado, ahí se determinó un espesor de 50 [mm].

- ✓ Calculo de la perdida de calor desde el tanque hacia el ambiente, ver archivo B5.

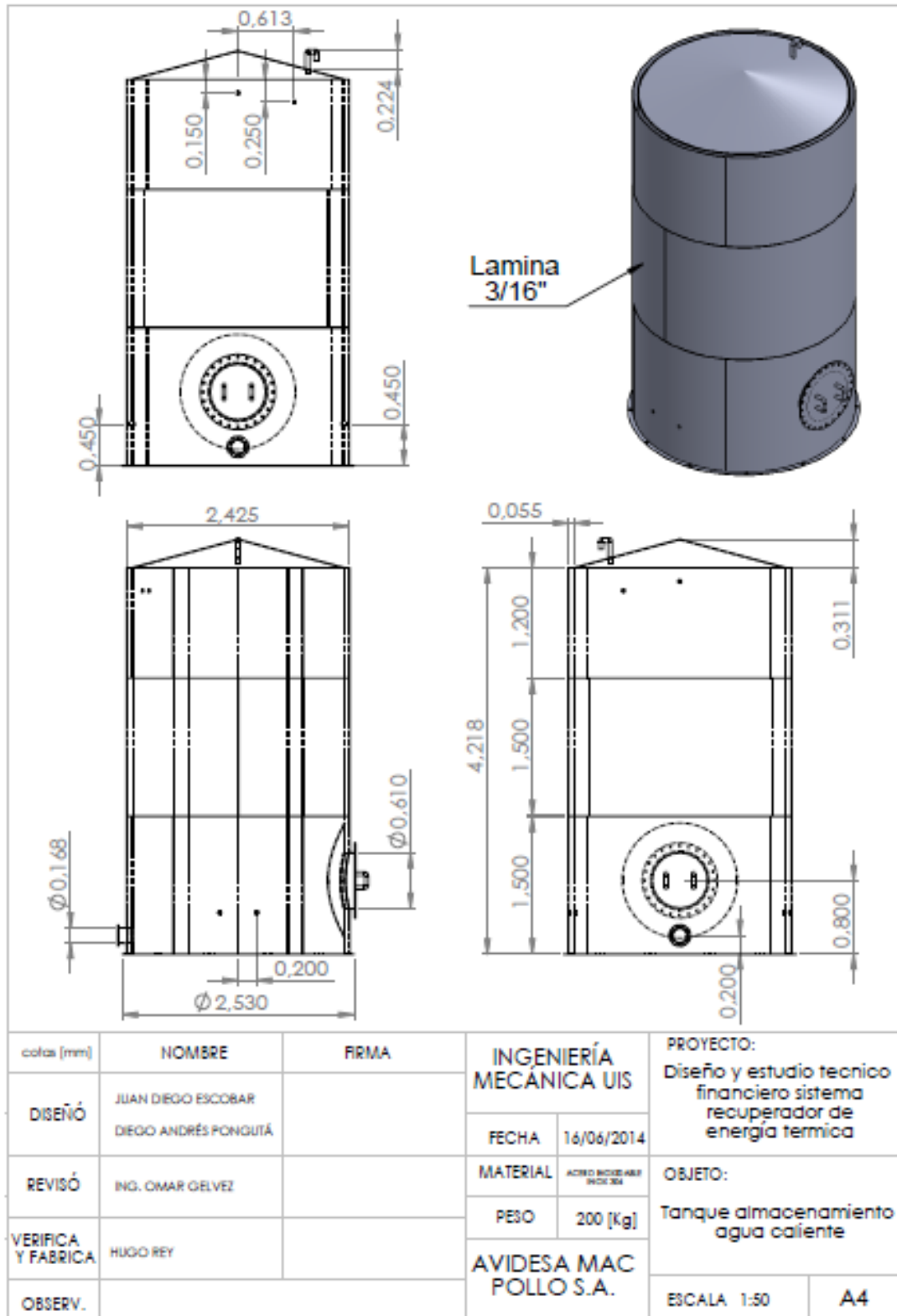
En el archivo B5 se igualaron el calor perdido hacia el ambiente con el calor perdido desde el agua hasta la superficie exterior que estaba definido por una temperatura superficial de 40[°C] por norma industrial, con esta igualación obtenemos el espesor del aislante.

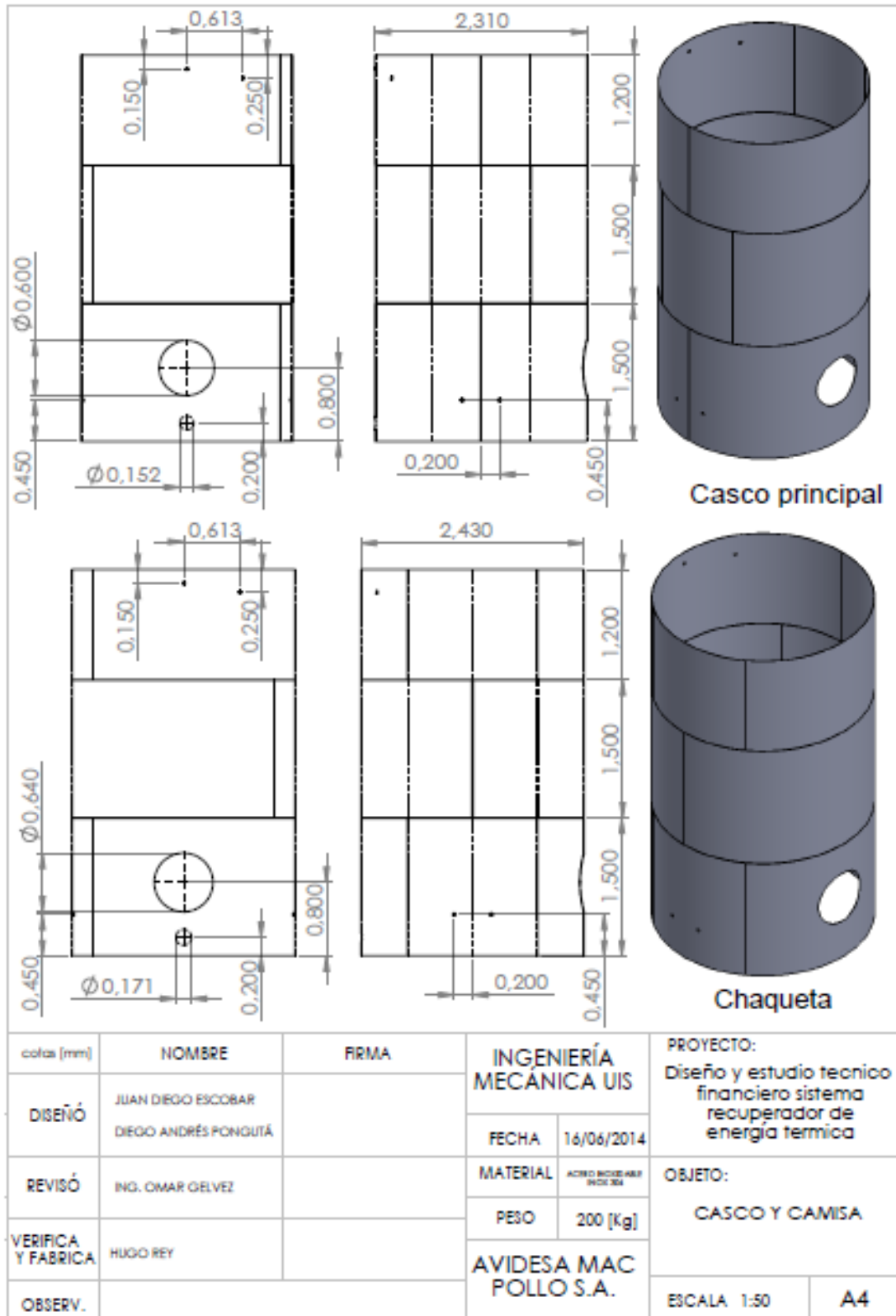
ANEXO C. PLANOS

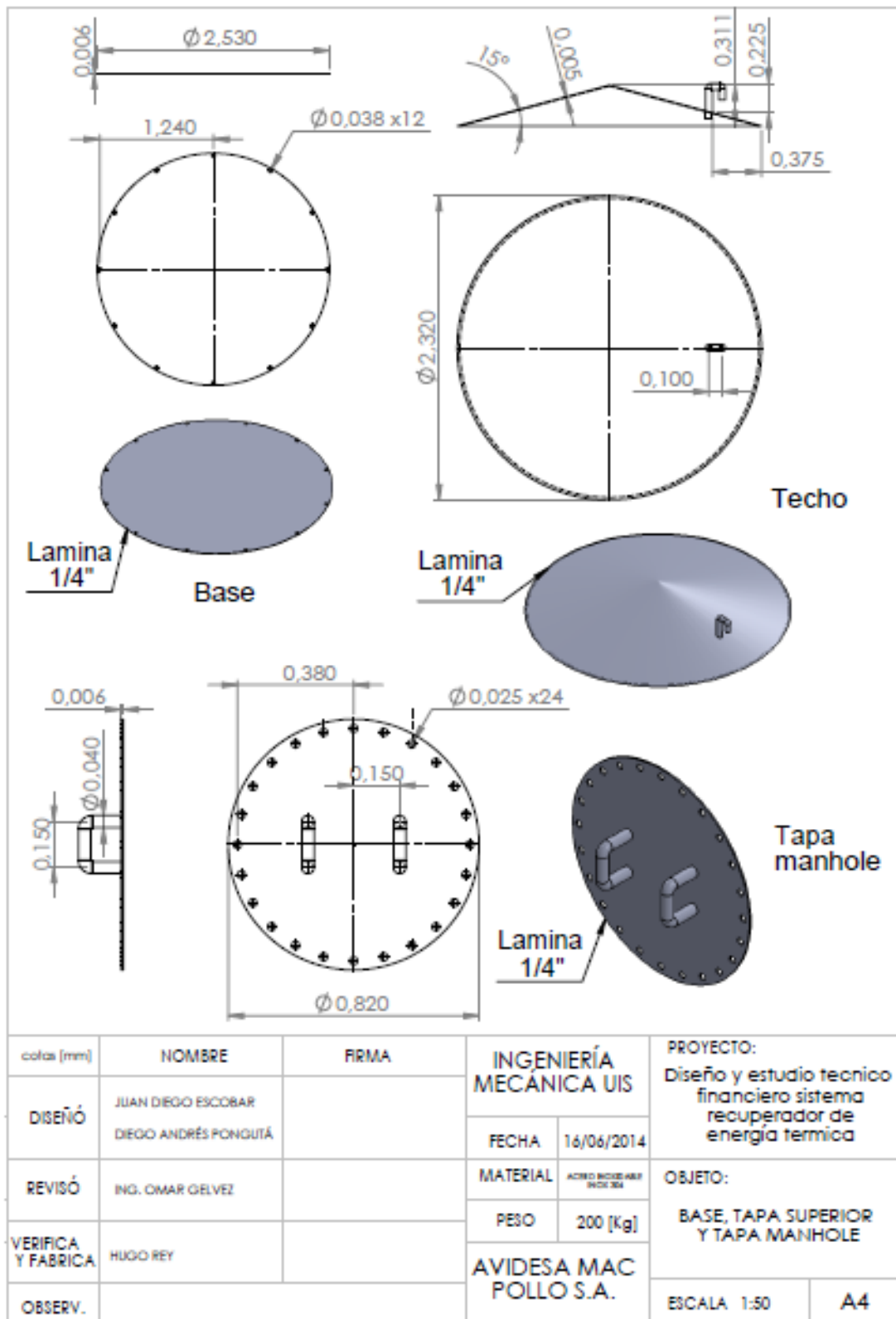
Planos del intercambiador y el tanque diseñados



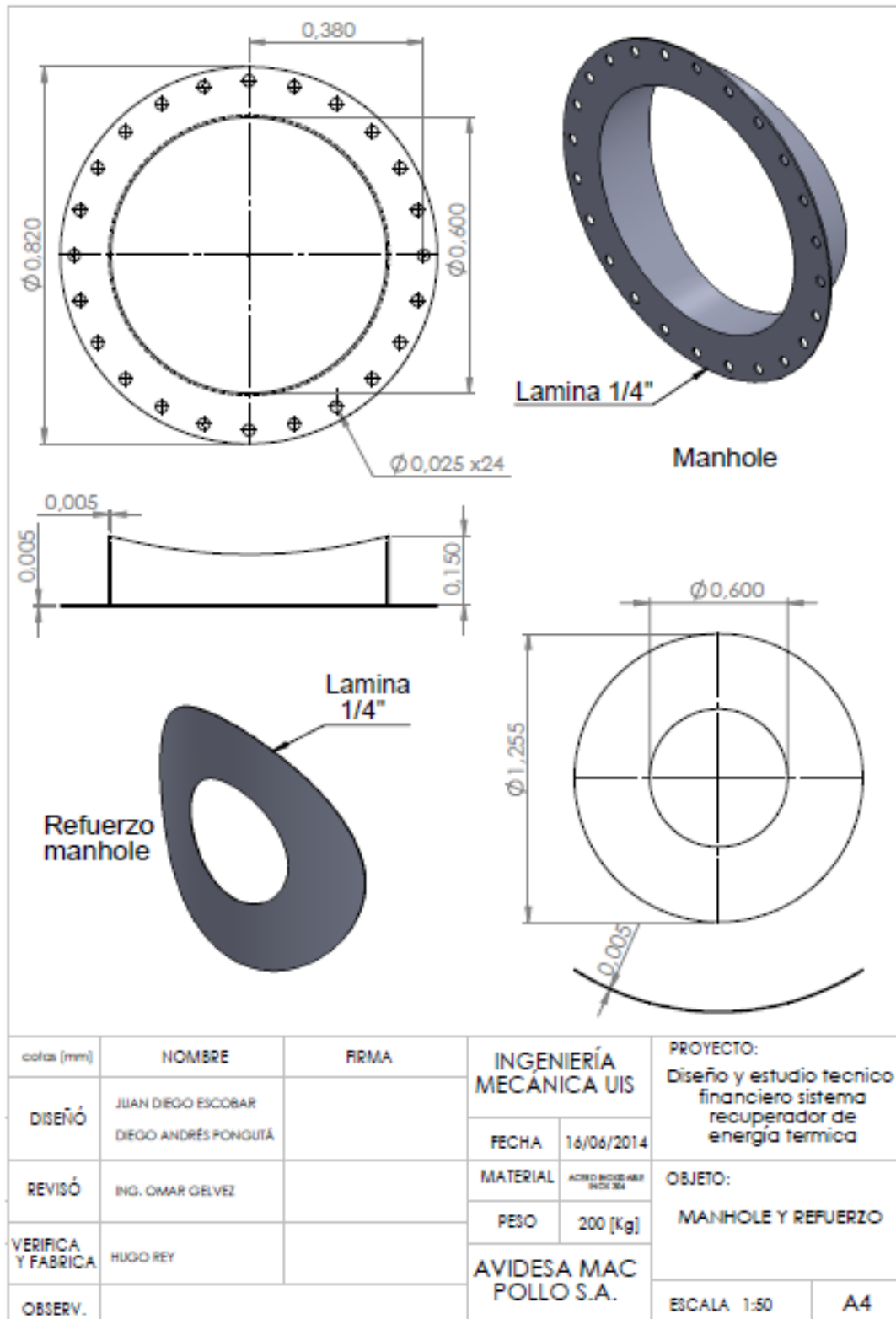
cotas [mm]		NOMBRE	FRMA	INGENIERÍA MECÁNICA UIS		PROYECTO: Diseño y estudio técnico financiero sistema recuperador de energía térmica	
DISEÑO	JUAN DIEGO ESCOBAR DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ			FECHA	14/06/2014	OBJETO: Tanque almacenamiento agua caliente	
	REVISÓ	ING. OMAR GELVEZ		MATERIAL	ACERO INOXIDABLE AISI 304		
VERIFICA Y FABRICA	HUGO REY			PESO	200 [Kg]		
OBSERV.				AVIDESA MAC POLLO S.A.		ESCALA 1:50	A4

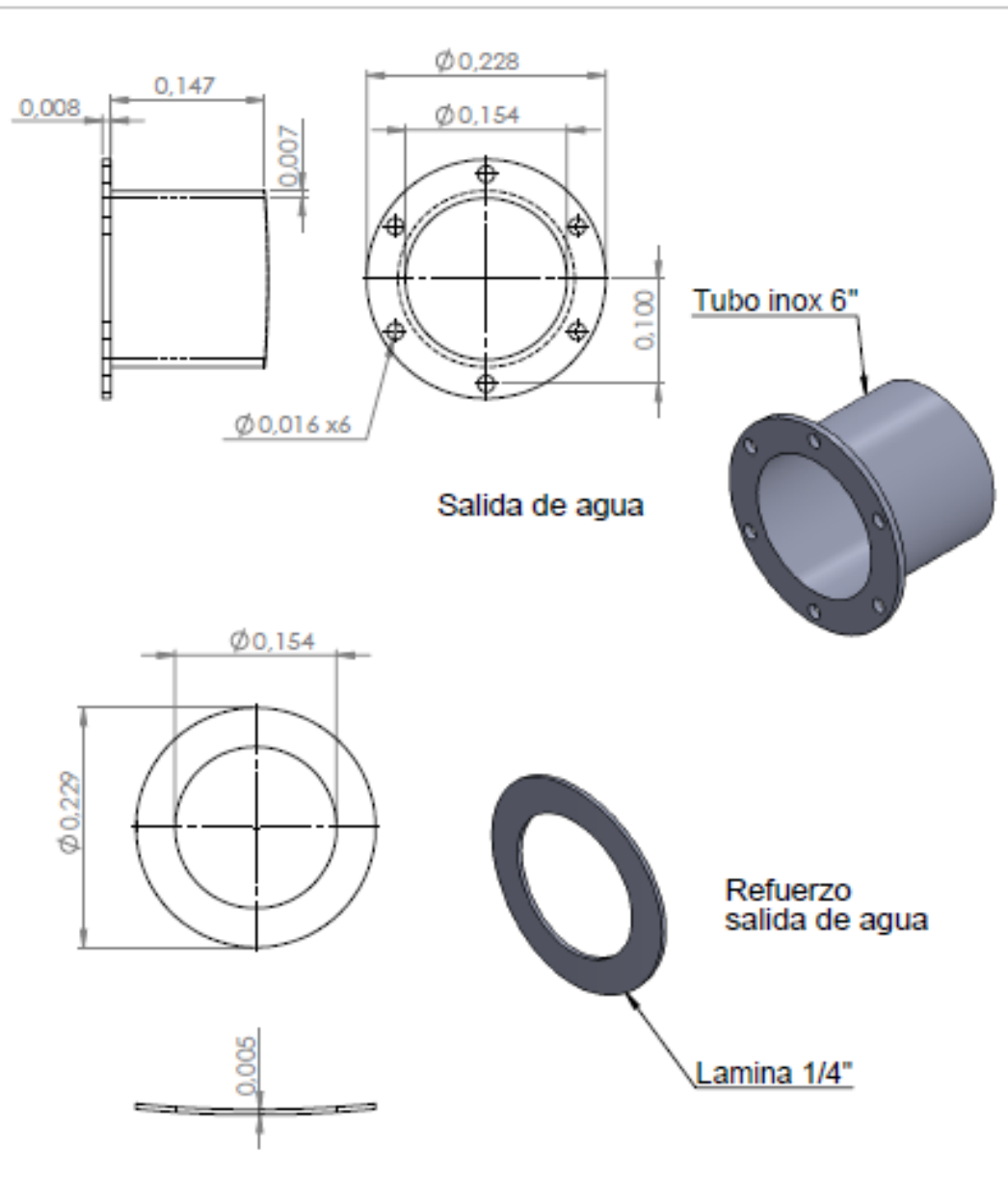




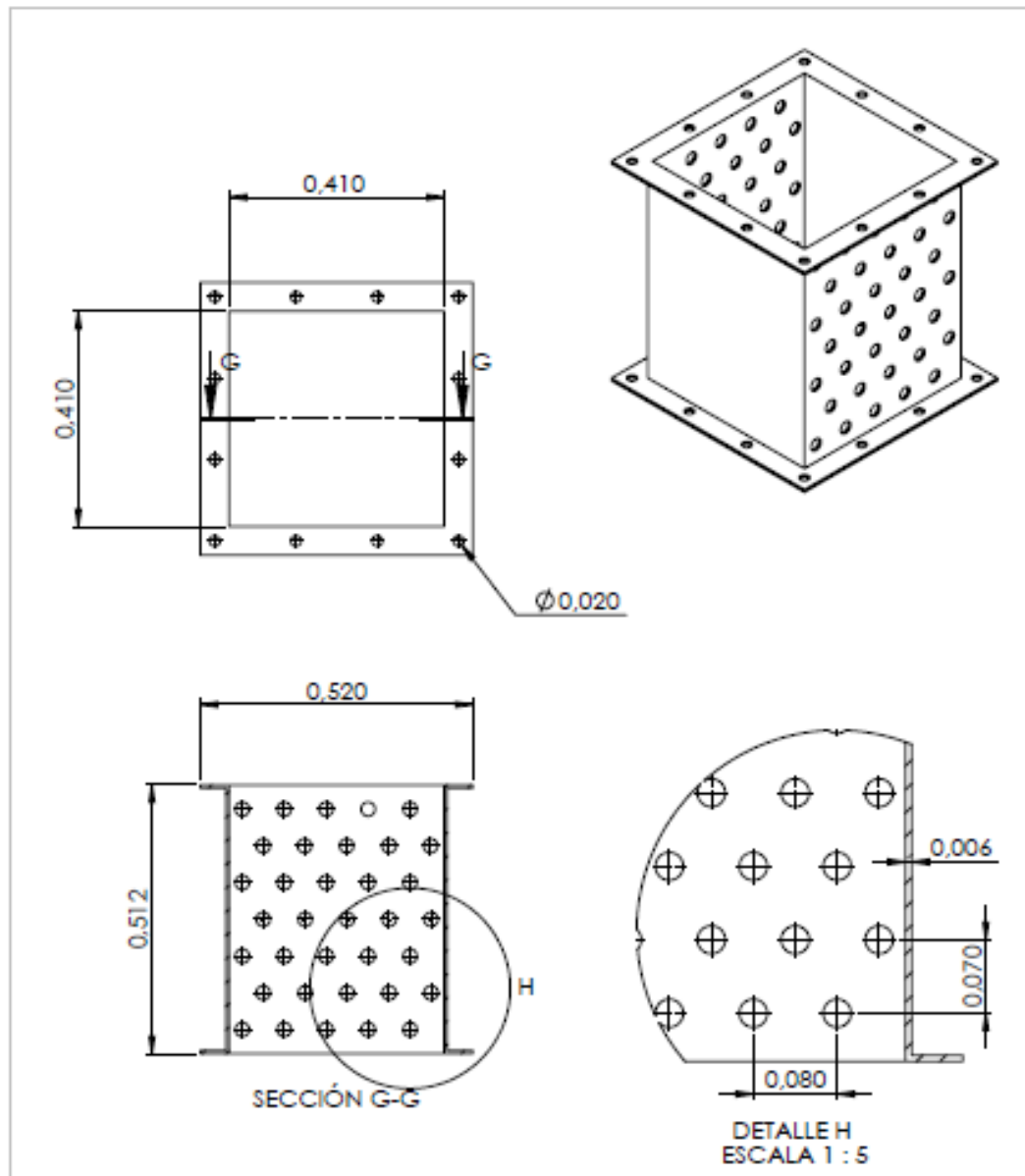


colitas [mm]	NOMBRE	FRMA	INGENIERÍA MECÁNICA UIS		PROYECTO:
DISEÑO	JUAN DIEGO ESCOBAR DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ		FECHA	16/06/2014	Diseño y estudio tecnico financiero sistema recuperador de energia termica
REVISÓ	ING. OMAR GELVEZ		MATERIAL	ACERO INOXIDABLE SAE 304	OBJETO:
VERIFICA Y FABRICA	HUGO REY		PESO	200 [kg]	BASE, TAPA SUPERIOR Y TAPA MANHOLE
OBSERV.			AVIDESA MAC POLLO S.A.		ESCALA 1:50
					A4





cotas (mm)	NOMBRE	FRMA	INGENIERÍA MECÁNICA UIS		PROYECTO:
DISEÑO	JUAN DIEGO ESCOBAR DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ		FECHA	16/06/2014	Diseño y estudio técnico financiero sistema recuperador de energía térmica
REVISÓ	ING. OMAR GELVEZ		MATERIAL	ACERO INOXIDABLE AISI 304	OBJETO:
VERIFICA Y FABRICA	HUGO REY		PESO	200 [Kg]	SALIDA Y REFUERZO
OBSERV.			AVIDESA MAC POLLO S.A.		ESCALA 1:50
					A4



cotas [mm]	NOMBRE	FIRMA	INGENIERÍA MECÁNICA UIS		PROYECTO:
DISEÑO	JUAN DIEGO ESCOBAR DIEGO ANDRÉS PONGUTÁ		FECHA	16/06/2014	Diseño y estudio tecnico financiero sistema recuperador de energia termica
REVISÓ	ING. OMAR GELVEZ		MATERIAL	ACERO INOXIDABLE AISI 304	OBJETO:
VERIFICA Y FABRICA			PESO	55 kg	CARCASA INTERCAMBIADOR
OBSERV.			AVIDESA MAC POLLO S.A.		ESCALA 1:50
					A4

ANEXO D. ARCHIVOS FORMATO MATLAB

En este anexo se presenta todos los programas realizados en Simulink que fueron utilizados para diferentes simulaciones durante el proyecto:

- ✓ Simulación transitoria del sistema completo, ver archivo D1

- ✓ Simulación transitoria de temperatura de agua en el tanque, ver archivo D2

ANEXO E. CATALOGOS SENSORES

Catálogos de los sensores que se seleccionaron para el control del sistema

Sensor de caudal

proense DPTA Series Differential Air Pressure Transmitters



The ProSense DPTA differential pressure transmitter series is precision engineered for accurate low differential pressure measurement of air and non-condensing, non-corrosive gases in industrial, commercial, and OEM applications. Its highly reliable, ultra-thin single silicon crystal diaphragm capacitive sensor provides inherent repeatability and stability with no glue or other organics to contribute to drift or mechanical degradation over time. The DPTA series is available in ranges from 0.1 inches w.c. to 25 inches w.c. to measure positive, negative, and bi-directional pressures with the ability to withstand 15 psi overpressure without damage or calibration shift. The easily accessible brass barbed pressure ports, removable terminal blocks, and rugged ABS housing capable of 35 mm DIN rail or panel mounting make installation quick and easy.

Applications

- HVAC duct static pressure
- Air filter monitoring
- Building pressurization
- Isolation and clean rooms
- Fume hoods
- Furnace, oven, dryer draft pressure
- Air flow measurement

Features

- Highly stable capacitive sensing element
- Positive, negative, and bi-directional pressure measurement
- Pressure ranges from 0.1" w.c. to 25" w.c.
- Accuracy is +/- 1% of full range maximum
- High overpressure rating of 15 psi without damage or calibration shift
- Rugged ABS housing capable of DIN rail or panel mounting
- LED loop power status indicator
- Made in the USA
- CE marked
- 3-year warranty



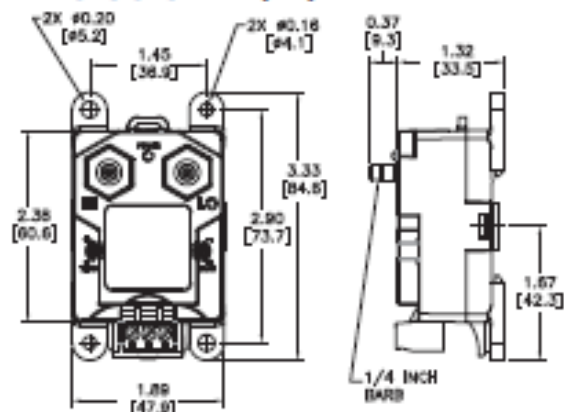
ProSense DPTA Series Differential Air Pressure Transmitters					
Part Number	Description	Electrical Connection	Input Voltage	Wt (lb)	Price
DPTA-20-P1	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 0.1 in. water column range, 1/4" brass barbed connections	Screw terminals	12 - 36 VDC	0.16	↔
DPTA-20-P1B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -0.1 to +0.1 water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-P2S	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 0.25 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-P2SB	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -0.25 to +0.25 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-P5	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 0.5 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-P5B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -0.5 to +0.5 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-01	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 1.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-01B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -1.0 to +1.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-02	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 2.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-02B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -2.0 to +2.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-03	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 3.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-03B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -3.0 to +3.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-05	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 5.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-05B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -5.0 to +5.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-10	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 10.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-10B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -10.0 to +10.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-15	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 15.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-15B	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, -15.0 to +15.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔
DPTA-20-25	Differential Pressure transmitter, 4 to 20 mA output, 0 to 25.0 in. water column range, 1/4" brass barbed connections				↔

proSense[®] DPTA Series Differential Air Pressure Transmitters

ProSense DPTA Series Specifications	
Operating Voltage	12 – 36 VDC
Output Range*	4 – 20 mA (2-wire)
Supply Current*	21.5 mA Max.
Maximum Load	$V_s - 12 \text{ VDC}$ $0.022 \text{ amps} = R_L$
	For example $(24 \text{ VDC} - 12 \text{ VDC}) / 0.022 \text{ amps} = 545\Omega$
Enclosure	NEMA Type 1 Flt.-resistant ABS (meets UL 95-5VA)
Pressure Connections	1/4" brass barbed fittings
Weight	0.16 lb
Media	Clean, dry and non-corrosive gas
Mounting	Threaded bottom and 35mm DIN rail mount
Reference Temperature	70°F ± 2°F (21°C ± 1°C)
Temperature Coefficients - Zero & Span	±0.03% full range / °F
Compensated Range	35 to 130°F (2 to 54°C)
Operating Temperature	0 to 160°F (-18 to 71°C)
Storage Temperature	-40 to 180°F (-40 to 82°C)
Humidity	10 to 95% R.H., non-condensing
Stability	Less than ±0.25% full range / year
Accuracy	±1% maximum. Includes non-linearity, hysteresis, non-repeatability, zero offset and span setting errors.
Response Time	250 msec.
Proof Pressure	15 psid
Burst Pressure	25 psid
Max. Static Line Pressure	15 psi
Electrical Connection	Euro style pluggable terminal block accepts 12-26 gauge wire
Terminal Screw Torque	4 lbs in (0.5 Nm)
Reverse Wiring Protected	Yes
External Zero Adjustment	±5% full range
External Span Adjustment	±5% full range
Agency Approvals	CE, RoHS

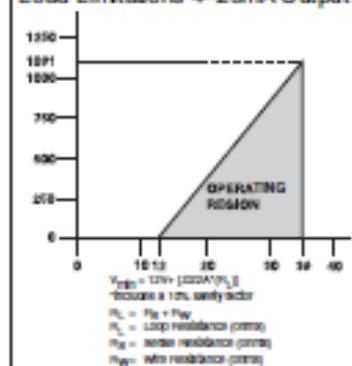
* Output signal is independent of power supply changes.

Dimensions inches [mm]

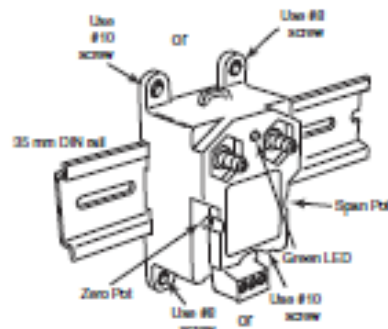


Volume 14
3-12 Sensors

Load Limitations 4–20mA Output



Mounting Options

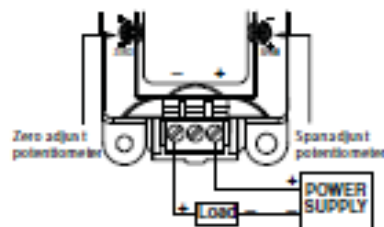


NOTE: PROSENSE DPTA SERIES TRANSMITTER SHOULD BE MOUNTED IN A VERTICAL AND UPRIGHT POSITION AS SHOWN ABOVE.



NOTE: MOUNTING HORIZONTALLY MAY AFFECT ACCURACY BY AN ADDITIONAL 1%.

Wiring Diagram



1-800-633-0405

Sensor de temperatura

© Siemens AG 2014

Medida de temperatura Convertidores para montaje en cabezal

SITRANS TH100
conexión a dos hilos (Pt100)

2

Síntesis



Como opción económica para efectuar mediciones Pt100 ofrecemos el tipo SITRANS TH100, el cual está disponible a buen precio por prescindir del aislamiento galvánico y de la conexión universal de sensores.

Para la parametrización se utiliza el software SIPROM T, combinado con el módem para SITRANS TH100/TH200.

Gracias a su forma compacta, el SITRANS TH100 es adecuado para el equipamiento posterior de puntos de medida o para sustituir convertidores de medida analógicos.

El convertidor está disponible como variante sin equipamiento para Zonas Ex (variante "No Ex") y también como modelo para la utilización en áreas con riesgo de explosión.

Beneficios

- Convertidor a 2 hilos
- Montaje en cabezal tipo B (DIN 43729) o mayor, o fijación en perfil
- Programable; por eso, posibilidad de programar la conexión de sensores, el rango de medición etc.
- Variante con seguridad intrínseca para la aplicación en el área Ex

Gama de aplicación

El convertidor de temperatura SITRANS TH100 puede utilizarse para la medida de temperatura con termorresistencias Pt100 en todos los sectores. Su tamaño compacto permite instalarlo en un cabezal tipo B (DIN 43729) o mayor.

La señal de salida es una corriente continua de 4 a 20 mA proporcional a la temperatura e independiente de la carga.

La parametrización se efectúa por medio del PC con el software SIPROM T y con el módem para SITRANS TH100/TH200. Si usted ya dispone de un "módem para SITRANS TK" (número de pedido 7NGS190-8KB), usted lo podrá seguir usando para parametrizar el SITRANS TH100.

Los convertidores en la versión del modo de protección "Seguridad Intrínseca" pueden instalarse dentro de áreas con peligro de explosión. Los aparatos cumplen la directiva 94/9/CE (ATEX) así como la normativa FM y CSA.

Funciones

Funcionamiento

La señal suministrada por una termorresistencia Pt100 (conexión a 2, 3 ó 4 hilos) se amplifica en la etapa de entrada. La tensión proporcional a la magnitud de entrada se digitaliza por medio de un multiplexor en un convertidor analógico-digital. El microcontrolador realiza la conversión de la señal en función de la característica del sensor y de otros parámetros (rango de medición, amortiguación, temperatura ambiente, etc.).

La señal preparada se transforma en una corriente continua de 4 a 20 mA independiente de la carga en un convertidor digital-analógico.

Los circuitos de entrada y de salida están protegidos cada uno por un filtro CEM contra las interferencias electromagnéticas.



SITRANS TH100, diagrama de función

Medida de temperatura Convertidores para montaje en cabezal

SITRANS TH100 conexión a dos hilos (Pt100)

2

Datos técnicos

Entrada	
Termosistencia	
Magnitud medida	Temperatura
Tipo de entrada	Pt100 según IEC 60751
Característica	Lineal con la temperatura
Tipo de conexión	Conexión a 2, 3 o 4 hilos
Resolución	14 bit
Precisión de medida	
• Alcance de medida < 250 °C (450 °F)	< 0,25 °C (0,45 °F)
• Alcance de medida > 250 °C (450 °F)	< 0,1 % del alcance de medida
Repetibilidad	< 0,1 °C (0,18 °F)
Corriente de medida	aprox. 0,4 mA
Ciclo de medida	< 0,7 s
Rango de medida	-200 ... +850 °C (-328 ... +1562 °F)
Alcance de medida	25 ... 1050 °C (77 ... 1922 °F)
Unidad	°C o °F
Offset	Programable: -100 ... +100 °C (-180 ... +180 °F)
Resistencia del cable	Max. 20 Ω (total del conductor de alimentación y de retorno)
Supresión de perturbaciones	50 y 60 Hz
Salida	
Serial de salida	4 ... 20 mA, dos hilos
Alimentación auxiliar	8,5 ... 36 V DC (30 V con Ex ia o Ib; 32 V con Ex nLAc; 35 V con Ex nA)
Carga max.	($I_{U_{max}}$ = 8,5 V)/0,023 A
Margen de saturación	3,6 ... 23 mA, ajustable gradualmente (rango del valor por defecto: 3,84 ... 20,5 mA)
Serial de fallo (en caso de un error del sensor) (según NE43)	3,6 ... 23 mA, ajustable gradualmente (rango del valor por defecto: 3,6 mA o 22,8 mA)
Tiempo de atenuación	0 ... 30 s (valor por defecto: 0 s)
Protección	contra inversión de polaridad
Resolución	12 bit
Precisión a 23 °C (73,4 °F)	< 0,1 % del alcance de medida
Influencia de la temperatura	< 0,1 %/10 °C (0,1 %/18 °F)
Influencia de la alimentación auxiliar	< 0,01 % del alcance de medida/V
Influencia de la carga	< 0,025 % del alcance de medida max./100 Ω
Deriva a largo plazo	• < 0,025 % del alcance max. de medida en el primer mes • < 0,035 % del alcance max. de medida después de un año • < 0,05 % del alcance max. de medida después de 5 años
Condiciones ambientales	
Rango de temperatura ambiente	-40 ... +85 °C (-40 ... +185 °F)
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 ... +85 °C (-40 ... +185 °F)
Humedad relativa del aire	< 98 %, con condensación
Compatibilidad electromagnética	según EN 61326 y NAMUR NE21

Construcción mecánica

Peso	50 g
Dimensiones	Ver esquema de dimensiones
Material	Plástico encapsulado
Sección de los cables de conexión	Max. 2,5 mm ² (AWG 13)
Grado de protección según IEC 60529	
• Caja	IP40
• Bases	IP00

Certificados y homologaciones

Protección contra explosiones según ATEX	
Certificado de examen de tipo CE	PTB 05 ATEX 2049X
• Modo de protección "Seguridad intrínseca gas"	II 1 G Ex ia IIC T6/T4 II (1) 2 G Ex Ib (Ia Ga) IIC T6/T4 Gb II (1) 3 G Ex Ic (Ia Ga) IIC T6/T4 Gc II 3 G Ex ic IIC T6/T4 Gc
• Modo de protección "Sin generación de chispas"	II 3 G Ex nA IIC T6/T4 Gc
• Modo de protección "Seguridad intrínseca polvo"	II 3 G Ex nA IIC T6/T4 Gc II 3 G Ex nA(Ic) IIC T6/T4 Gc
Protección contra explosiones FM para EE.UU. y Canadá (cFMUs)	II 1 D Ex ia IIC T115 °C Da
• Homologación FM	PID 3024169
• Grados de protección	IS CI I, II, III, Div 1, GP ABCDEFG T4/T5/T6 CI I, ZN 0, 1 AEx ia IIC T4/T5/T6 NI CI I, II, Div 2, GP ABCDEFG T4/T5/T6 CI I, ZN 2, NI IIC T4/T5/T6
Otros certificados	GOST, NEPSI, PESO

Requisitos de software para SIPROM T

Sistema operativo del PC	Windows ME, 2000, XP y Win 7 (32 bits); también Windows 95, 98 y 98 SE en combinación con el módem RS 232
---------------------------------	--

Medida de temperatura Convertidores para montaje en cabezal

SITRANS TH100
conexión a dos hilos (PT100)

Datos para selección y pedidos	Referencia
Convertidor de temperatura SITRANS TH100 para PT100 Para montar en el cabezal (tipo B (DIN 43729)) Conexión a dos hilos 4 ... 20 mA, programable, sin aislamiento galvanico	
<ul style="list-style-type: none"> • Sin protección contra explosión 	7NG3211-0NNo0
<ul style="list-style-type: none"> • Con protección contra explosión en el modo de protección "seguridad intrínseca" y para la zona 2 	
<ul style="list-style-type: none"> - Según ATEX 	7NG3211-0ANNo0
<ul style="list-style-type: none"> - Según FM (cFMUS) 	7NG3211-0BNo0
Otras informaciones	Clave
Completar la referencia con "Z" e incluir la clave	
Informe de prueba (5 puntos de medida)	C11
Programación específica del cliente	
Completar la referencia con "Z" e incluir la clave	
Rango de medida deseado	Y01 ¹⁾
Especificar en texto (máx. 5 caracteres): Y01: ... hasta ... °C, °F	
Número del punto de medida (TAG), máx. 8 caracteres	Y17
Descripción del punto de medida, máx. 16 caracteres	Y23
PT100 (IEC) 2 hilos, RL = 0 Ω	U02
PT100 (IEC) 3 hilos	U03
PT100 (IEC) 4 hilos	U04
Los ajustes personalizados divergentes deben especificarse en texto	Y02 ²⁾
Corriente de defecto 3,6 mA (en lugar de 22,8 mA)	U06
Accesorios	Referencia
Módem para SITRANS TH100, TH200 y TR200 con software de parametrización SIPROM T con puerto USB	7NG3002-0KU
CD para instrumentos de medida de temperatura	AsE0006-012
Con documentación en alemán, inglés, francés, español, italiano, portugués y software de parametrización SIPROM T	
Adaptador de perfil DIN para convertidores de cabezal (cantidad de suministro: 5 unidades)	7NG3002-0KA
Cable de conexión	7NG3002-0KC
4 hilos, 150 mm, para conectar el sensor con convertidor de cabezal en la tapa articulada alta (juego con 5 unidades)	

► Suministrado desde almacén.

• Ofrecemos plazo de entrega más cortos para las configuraciones identificadas con el Quick Ship. Para más información ver la página 95 en el anexo.

¹⁾ En caso de programación personalizada para RTD y TC, deben indicarse aquí los valores inicial y final del alcance de medida deseado.

²⁾ En caso necesario, indicar aquí lo que no pueda especificarse mediante las claves existentes (por ejemplo: Programación para mV, Ω).

Alimentación: ver catálogo F101, capítulo 7 "Componentes adicionales"

Ejemplo de pedido:

7NG3211-0NND0-Z Y01+Y23+U03

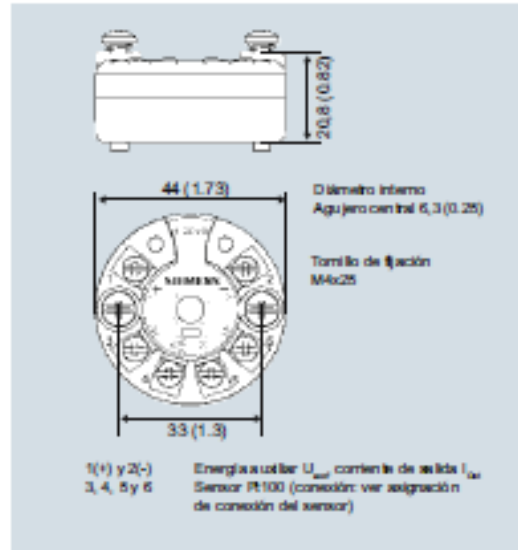
Y01: -10 ... +100 °C

Y23: TICA1234HEAT

Ajuste del fabricante:

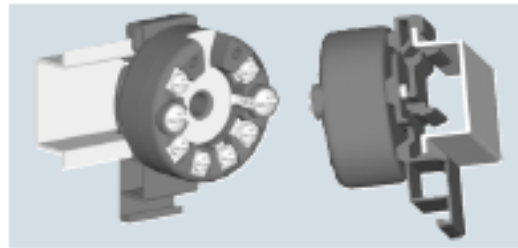
- PT100 (IEC 751) en conexión a 3 hilos
- Rango de medida: 0 ... 100 °C (32 ... 212 °F)
- Corriente de defecto en caso de rotura del sensor: 22,8 mA
- Offset del sensor: 0 °C (0 °F)
- Atenuación 0,0 s

Croquis acotados

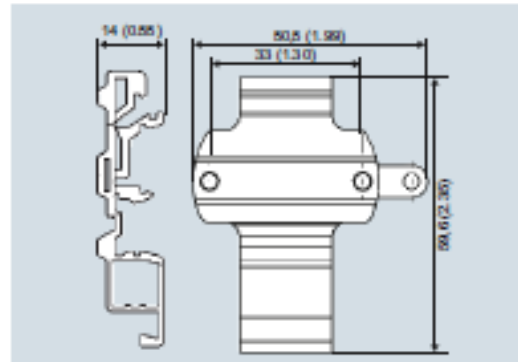


SITRANS TH100, medidas en mm (pulgadas)

Montaje en perfil DIN



SITRANS TH100, fijación del convertidor en perfil DIN simétrico



Adaptador para perfil DIN, medidas en mm (pulgadas)

Sensor de presión hidrostática

© Siemens AG 2014

Medida de presión Transmisores para requisitos básicos

SITRANS MPS (Sonda de inmersión)
Transmisores para medida de nivel hidrostático

1

Sinopsis



El transmisor de presión SITRANS P MPS consiste en una sonda de inmersión para la medida de nivel hidrostático.

El transmisor de presión SITRANS P MPS está disponible para diferentes rangos de medida y opcionalmente también en la versión protegida contra explosiones.

Para el fácil montaje ofrecemos una caja de conexión de cable y una pinza de rotación como accesorios.

Beneficios

- Diseño compacto
- Fácil montaje
- Escasa desviación de medida (0,3 %)
- Grado de protección IP68

Gama de aplicación

El transmisor de presión SITRANS P MPS se utiliza, entre otros, en los siguientes sectores industriales:

- Industria del petróleo y del gas
- Construcción naval
- Abastecimiento de agua
- Para utilizar en depósitos y pozos sin presión/abiertos

Diseño

El transmisor SITRANS P MPS dispone de un sensor piezorresistivo rasante con membrana de medida de acero inoxidable.

El transmisor de presión está equipado con un sistema electrónico que viene incorporado en conjunto con el sensor en la caja de acero inoxidable. En el cable de conexión se encuentran además un cable portante y una tubería de purga de aire.

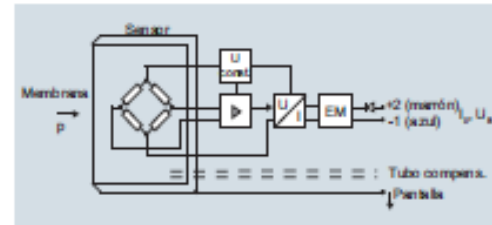
La membrana de medida está protegida de manera eficiente de las influencias exteriores, por medio de una cubierta de protección.

El sensor, la electrónica y el cable de conexión están alojados en una caja herméticamente encapsulada de dimensiones pequeñas.

El transmisor de presión tiene compensación para un amplio rango de temperaturas.

Funciones

Los transmisores de presión SITRANS P MPS miden los niveles de líquidos en tanques, depósitos, canales y embalses.



Transmisores de presión SITRANS P MPS, funcionamiento y esquema de conexión

En un lado del sensor la membrana está sometida a la influencia de una presión hidrostática que es proporcional a la profundidad de inmersión. Esta presión se compara con la presión atmosférica. La compensación de la presión se efectúa por medio del cable de conexión que viene integrado en el tubo de purga de aire.

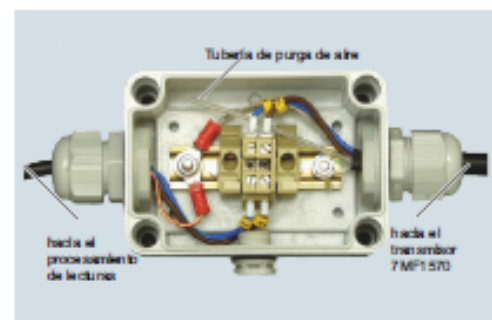
La presión hidrostática de la columna de líquido actúa sobre la membrana del sensor y transmite la presión al puente de resistencias piezoeléctricas del sensor.

La señal de tensión de salida del sensor es conducida hacia el sistema electrónico, donde se convierte en una señal de corriente de salida equivalente a 4 ... 20 mA.

Por regla general, el cable de conexión del transmisor de presión 7MF1570 deberá conectarse en la caja de conexión de cable que se entrega con el equipo. La caja de conexión de cable debe instalarse cerca del punto de medida.

Si los fluidos son distintos que el agua, además debe comprobarse la compatibilidad con los materiales especificados del transmisor.

Integración



Caja de conexión de cable 7MF1570-8AA, abierta

Medida de presión

Transmisores para requisitos básicos

SITRANS MPS (Sonda de Inmersión)
Transmisores para medida de nivel hidrostático

1



Principio de instalación del punto de medida

Datos técnicos

Transmisores SITRANS P MPS (sonda de inmersión)	
Modo de operación	
Principio de medición	piezoresistivo
Entrada	
Magnitud de medida	Nivel hidrostático
Rango de medida	Presión de servicio max. adm.
• 0 ... 2 mH ₂ O (0 ... 6 ftH ₂ O)	• 1,4 bar (20,3 psi) (equivalente a 14 mH ₂ O (42 ftH ₂ O))
• 0 ... 4 mH ₂ O (0 ... 12 ftH ₂ O)	• 1,4 bar (20,3 psi) (equivalente a 14 mH ₂ O (42 ftH ₂ O))
• 0 ... 5 mH ₂ O (0 ... 15 ftH ₂ O)	• 1,4 bar (20,3 psi) (equivalente a 14 mH ₂ O (42 ftH ₂ O))
• 0 ... 6 mH ₂ O (0 ... 18 ftH ₂ O)	• 3,0 bar (43,5 psi) (equivalente a 30 mH ₂ O (90 ftH ₂ O))
• 0 ... 10 mH ₂ O (0 ... 30 ftH ₂ O)	• 3,0 bar (43,5 psi) (equivalente a 30 mH ₂ O (90 ftH ₂ O))
• 0 ... 20 mH ₂ O (0 ... 60 ftH ₂ O)	• 6,0 bar (87,0 psi) (equivalente a 60 mH ₂ O (180 ftH ₂ O))
Salida	
Señal de salida	4 ... 20 mA
Precisión de medida	
Desviación de medida en caso de ajuste de punto límite, incl. histéresis y repetibilidad	0,3 % del valor final de rango (típico)
Influencia de la temperatura ambiente	
Cero y alcance	
• 1 ... 6 mH ₂ O (3 ... 18 ftH ₂ O)	0,45 %/10 K del valor final de rango
• ≥ 6 mH ₂ O (≥ 18 ftH ₂ O)	0,3 %/10 K del valor final de rango

Estabilidad a largo plazo	
Cero y alcance	
• 1 ... 6 mH ₂ O (3 ... 18 ftH ₂ O)	0,25 % del valor final de rango por año
• ≥ 6 mH ₂ O (≥ 18 ftH ₂ O)	0,2 % del valor final de rango por año
Condiciones de aplicación	
Condiciones ambientales	
• Temperatura de proceso	-10 ... +80 °C (+14 ... +176 °F)
• Temperatura de almacenamiento	-40 ... +100 °C (-40 ... +212 °F)
Grado de protección según IEC 60529	IP68
Construcción mecánica	
Peso	
• Transmisor de presión	≈ 0,4 kg (≈ 0,88 lb)
• Cable	0,08 kg/m (≈ 0,054 lb/ft)
Conexión eléctrica	
	cable con 2 conductores con pantalla y tubera de purga de aire, cable portante (max. 300 N (67,44 lbf))
Material	
• Membrana separadora	Acero inox., N° de mat. 1.4571(G16T)
• Cajas	Acero inox., N° de mat. 1.4571(G16T)
• Junta anular	Viton
• Cable de conexión	a elección camisa de PEHFFR (no halógena) o camisa de FEP
Alimentación auxiliar	
Tensión en bornes del transmisor de presión (U _B)	10 ... 36 V DC 10 ... 30 V DC para transmisor con protección contra explosiones "Seguridad intrínseca"
Certificados y homologaciones	
Germanischer Lloyd (GL)	GL 75360-09 H+H
Bureau Veritas (BV)	BV 27101/A0 BV
Det Norske Veritas (DNV)	DNV A-12563
Homologación para agua potable (ACS)	ACS 11 ACC NY 014
Homologación para agua potable (WRAS)	WRAS 1111055
GOST	GOST-R, GOST FR.C.30.004.AV 42376T y PPC 00-04 1505
El equipo no está sujeto a la Directiva de equipos a presión (97/23/CE)	
Protección contra explosiones	
• Seguridad intrínseca Y	SEV 10 ATEX 0149
- Identificación	II 1 G Ex ia IIC T4 Ga
Caja de conexión de cable	
Campo de aplicaciones	para la conexión del cable del transmisor
Construcción mecánica	
Peso	0,2 kg (0,44 lb)
Conexión eléctrica	2 x triple (28 ... 18 AWG)
Entrada de cables	2 x M20x1,5
Material de la caja	Polycarbonato
Tubera de purga de aire para presión atmosférica	
Tornillo para cable portante	
Condiciones de aplicación	
Grado de protección según IEC 60529	IP65
Plata de fijación	
Campo de aplicaciones	para la fijación del transmisor
Construcción mecánica	
Peso	0,16 kg (0,35 lb)
Material	acero galvanizado, poliamida

Sinopsis del producto

1.1 Introducción al PLC S7-1200

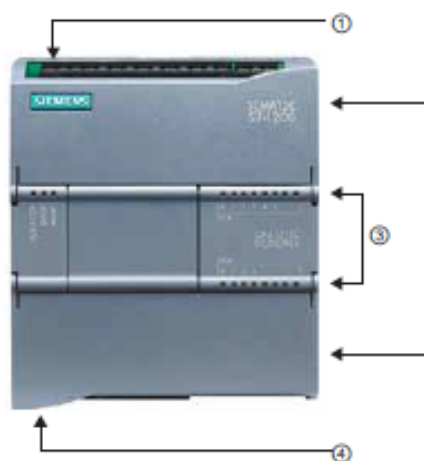
El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones.

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes.

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico. Encontrará más detalles en el capítulo "Principios básicos de programación" (Página 99).

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232.



- ① Conector de corriente
- ② Conectores extraíbles para el cableado de usuario (detrás de las tapas)
- ② Ranura para Memory Card (debajo de la tapa superior)
- ③ LEDs de estado para las E/S integradas
- ④ Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU)

Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones. Para más información sobre una CPU en particular, consulte los datos técnicos (Página 319).

Sinopsis del producto

1.1 Introducción al PLC S7-1200

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario			
<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • Memoria de carga • Memoria remanente 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 KB • 1 MB • 2 KB 		<ul style="list-style-type: none"> • 50 KB • 2 MB • 2 KB
E/S integradas locales			
<ul style="list-style-type: none"> • Digitales • Analógicas 	<ul style="list-style-type: none"> • 6 entradas/4 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 entradas/6 salidas • 2 entradas 	<ul style="list-style-type: none"> • 14 entradas/10 salidas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos	3	4	6
<ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 80 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz • 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		

ANEXO F. CALCULOS HIDRAULICOS

Selección de bomba de carga

OBJETIVO: SELECCIÓN BOMBA CARGA				puntos de referencia para la ecuación de energía							
				punto inicial (1)		punto final (2)					
		acometida o tanque				parte superior tanque almacenamiento					
DATOS DEL SISTEMA [unidades Internacionales]											
FLUJO VOLUMETRICO [m3/s]		0,000583333		Gal_us/min	9,25	LPM	35				
PRESION EN EL PUNTO 1 [KPa]		0		ELEVACION EN EL PUNTO 1 [m]				1			
PRESION EN EL PUNTO 2 [KPa]		0		ELEVACION EN EL PUNTO 2 [m]				4			
carga de presión		0		carga de elevación				3			
VELOCIDAD EN EL PUNTO 1 [m/s]		0									
VELOCIDAD EN EL PUNTO 2 [m/s]		1,05		CARGA SIN PERDIDAS				3,053501337			
carga de velocidad		0,053501337									
PROPIEDADES DEL FLUIDO											
peso específico [KN/m3]				9,81		viscosidad cinemática [m2/s]		7,22E-07			
B O M B A C A R G A	TUBERIA SUCCION					TUBERIA DESCARGA					
	diametro 1 [in]		0,0266			diametro 1 [in]		0,0266			
	Ft		0,0230			Ft		0,023			
	rugosidad de pared [m]		4,60E-05			rugosidad de pared [m]		0,000046			
	longitud [m]		3,0000			longitud [m]		17			
	area [m2]		0,0006			area [m2]		0,000555716			
	diam/rug		578,2609			diam/rug		578,2608696			
	long/diam		112,7820			long/diam		639,0977444			
	velocidad flujo [m/s]		1,0497			velocidad flujo [m/s]		1,049696235			
	carga de velocidad [m]		0,0562			carga de velocidad [m]		0,056160152			
	numero de Reynolds		38673,0192			numero de Reynolds		38673,01917			
	factor de friccion		0,0269			factor de friccion		0,026899835			
	perdidas de energía tubería succión					perdidas de energía tubería descarga					
	tipo		valor L/D	valor K	cantidad	perdida	tipo		valor L/D	valor K	cantidad
friccion		112,78	3,03	1,00	0,17	friccion		639,10	17,19	1,00	0,97
CODO		30,00	0,69	4,00	0,16	CODO		30,00	0,69	8,00	0,31
VALV. CIERRE		340,00	7,82	1,00	0,44	VAL. CHEK		100,00	2,30	1,00	0,13
FILTRO EN Y		75,00	1,73	1,00	0,10	SALIDA		0,00	1,00	1,00	0,06
ENTRADA			1,00	1,00	0,06	INTERCAMB			182,49	2,00	20,50
NA		0,00	0,00	0,00	0,00	REDUCCION 1" 3/4"			0,14	2,00	0,02
NA		0,00	0,00	0,00	0,00	EXPANSION 3/4" 1"			0,18	2,00	0,02
NA		0,00	0,00	0,00	0,00	VALV. CONTROL		150,00	3,45	2,00	0,39
NA		0,00	0,00	0,00	0,00	TEE		60,00	1,38	4,00	0,31
NA		0,00	0,00	0,00	0,00	VALV. REGULACIÓN		340,00	7,82	1,00	0,44
perdida de energía [m]					0,92	perdida de energía [m]					22,69
RESULTADOS											
CABEZA TOTAL				CAUDAL							
METROS [m]	26,66			LPM	35						
PIES [ft]	8,13			GPM	9						
				m3/h	2,1						

Selección bomba de descarga, cuando la altura del tanque es de 4 metros

OBJETIVO: SELECCIÓN BOMBA DESCARGA				puntos de referencia para la ecuación de energía						
				punto inicial (3)		salida tanque almacenamiento				
				punto final (4)		escaldadoras				
DATOS DEL SISTEMA [unidades Internacionales]										
FLUJO VOLUMETRICO [m3/s]	0,025			Gal_us/min	396,26	LPM	1500			
PRESION EN EL PUNTO 3 [KPa]	0			ELEVACION EN EL PUNTO 3 [m]		4				
PRESION EN EL PUNTO 4 [KPa]	0			ELEVACION EN EL PUNTO 4 [m]		3,3				
carga de presión	0			carga de elevación		-0,7				
VELOCIDAD EN EL PUNTO 3 [m/s]	0									
VELOCIDAD EN EL PUNTO 4 [m/s]	3,04E+00			CARGA SIN PERDIDAS		-0,544975674				
carga de velocidad	0,155024326									
PROPIEDADES DEL FLUIDO										
peso específico [KN/m3]	9,81			viscosidad cinemática [m2/s]	5,48E-07					
B O M B A D E S C A R G A	TUBERIA SUCCION				TUBERIA DESCARGA					
	diametro 6 [in]	0,15			diametro 4 [in]	0,1023				
	Ft	0,015			Ft	0,017				
	rugosidad de pared [m]	1,50E-06			rugosidad de pared [m]	1,50E-06				
	longitud [m]	3			longitud [m]	45				
	area [m2]	0,018650701			area [m2]	0,00821942				
	diam/rug	102733,3333			diam/rug	68200				
	long/diam	19,467878			long/diam	439,8826979				
	velocidad flujo [m/s]	1,340432194			velocidad flujo [m/s]	3,041577311				
	carga de velocidad [m]	0,091577903			carga de velocidad [m]	0,471518478				
	numero de Reynolds	376935,4033			numero de Reynolds	567798,1002				
	factor de fricción	0,013909919			factor de fricción	0,0130504				
	perdidas de energía tubería succión					perdidas de energía tubería descarga				
	tipo	valor L/D	valor K	cantidad	perdida	tipo	valor L/D	valor K	cantidad	perdida
	fricción	19,47	0,27	1,00	0,024799	fricción	439,88	5,74	1,00	2,706820202
	ENTRADA		1,00	1,00	0,091578	TEE	60,00	1,02	3,00	1,442846543
	CODOS	30,00	0,45	4,00	0,16484	CODO	30,00	0,51	15,00	3,607116357
	VALV. CIERRE	340,00	5,10	1,00	0,467047	VALV. CHECK	100,00	1,70	1,00	0,801581413
	REDUCCION 6"-4"		0,22	1,00	0,020147	SALIDA	0,00	1,00	1,00	0,471518478
	NA		0	0	0	VALVULA SALIDA	8,00	0,14	1,00	0,064126513
	NA		0	0	0	UNIONES	0,00	0,08	6,00	0,226328869
	NA		0	0	0	NA	0	0	0	0
	perdida de energía [m]				0,77	perdida de energía [m]				9,32
	RESULTADOS									
	CABEZA TOTAL					CAUDAL				
METROS [m]	9,54				LPM	1500				
PIES [ft]	31,31				GPM	396				
					m3/h	90				

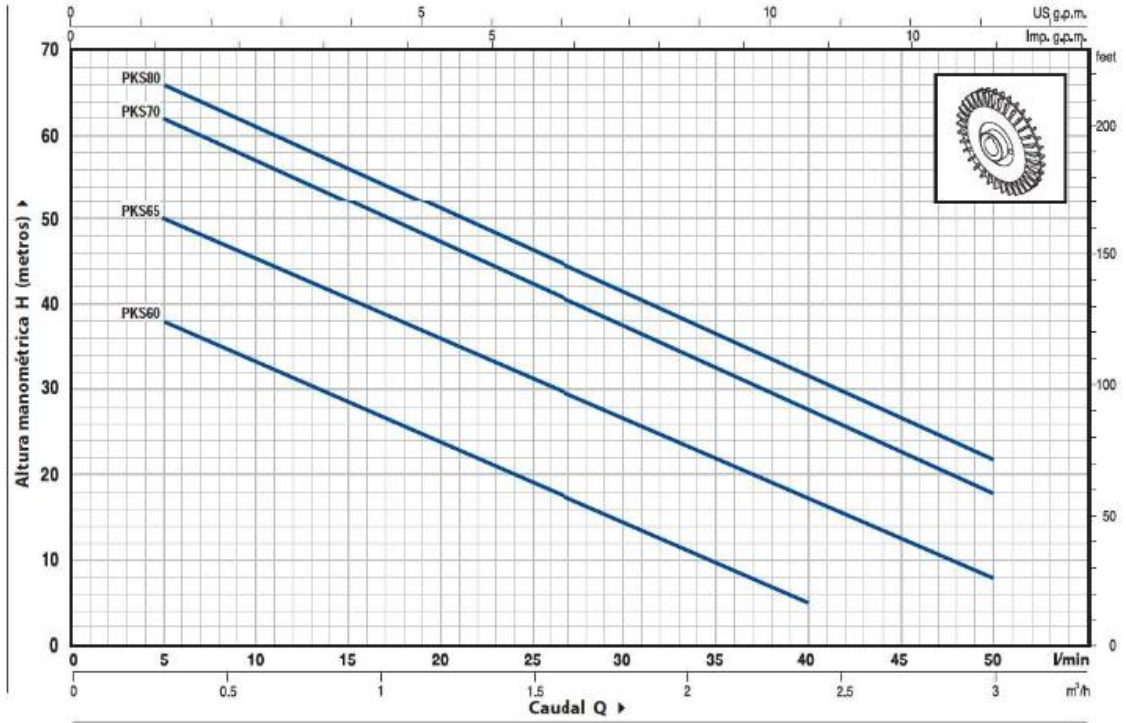
Selección bomba de descarga, cuando la altura del tanque es de 45 centímetros

OBJETIVO: SELECCIÓN BOMBA DESCARGA				puntos de referencia para la ecuación de energía						
				punto inicial (3)		salida tanque almacenamiento				
				punto final (4)		escaladoras				
DATOS DEL SISTEMA [unidades Internacionales]										
FLUJO VOLUMETRICO [m3/s]	0,025			Gal_us/min	396,26	LPM	1500			
PRESION EN EL PUNTO 3 [KPa]	0			ELEVACION EN EL PUNTO 3 [m]		0,45				
PRESION EN EL PUNTO 4 [KPa]	0			ELEVACION EN EL PUNTO 4 [m]		3,3				
carga de presión	0			carga de elevación		2,85				
VELOCIDAD EN EL PUNTO 3 [m/s]	0									
VELOCIDAD EN EL PUNTO 4 [m/s]	3,04E+00			CARGA SIN PERDIDAS						
carga de velocidad	0,155024326			3,005024326						
PROPIEDADES DEL FLUIDO										
peso específico [KN/m3]				9,81		viscosidad cinematica [m2/s]				
						5,48E-07				
B O M B A D E S C A R G A	TUBERIA SUCCION				TUBERIA DESCARGA					
	diametro 6 [in]	0,15			diametro 4 [in]	0,1023				
	Ft	0,015			Ft	0,017				
	rugosidad de pared [m]	1,50E-06			rugosidad de pared [m]	1,50E-06				
	longitud [m]	3			longitud [m]	45				
	area [m2]	0,018650701			area [m2]	0,00821942				
	diam/rug	102733,3333			diam/rug	68200				
	long/diam	19,467878			long/diam	439,8826979				
	velocidad flujo [m/s]	1,340432194			velocidad flujo [m/s]	3,041577311				
	carga de velocidad [m]	0,091577903			carga de velocidad [m]	0,471518478				
	numero de Reynolds	376935,4033			numero de Reynolds	567798,1002				
	factor de fricción	0,013909919			factor de fricción	0,0130504				
	perdidas de energía tubería succión					perdidas de energía tubería descarga				
	tipo	valor L/D	valor K	cantidad	perdida	tipo	valor L/D	valor K	cantidad	perdida
	fricción	19,47	0,27	1,00	0,024799	fricción	439,88	5,74	1,00	2,706820202
	ENTRADA		1,00	1,00	0,091578	TEE	60,00	1,02	3,00	1,442846543
	CODOS	30,00	0,45	4,00	0,16484	CODO	30,00	0,51	15,00	3,607116357
	VALV. CIERRE	340,00	5,10	1,00	0,467047	VALV. CHECK	100,00	1,70	1,00	0,801581413
	REDUCCION 6"-4"		0,22	1,00	0,020147	SALIDA	0,00	1,00	1,00	0,471518478
	NA		0	0	0	VALVULA SALIDA	8,00	0,14	1,00	0,064126513
NA		0	0	0	UNIONES	0,00	0,08	6,00	0,226328869	
NA		0	0	0	NA		0	0	0	
perdida de energía [m]					perdida de energía [m]					
0,77					9,32					
RESULTADOS										
CABEZA TOTAL					CAUDAL					
METROS [m]	13,09				LPM	1500				
PIES [ft]	42,96				GPM	396				
					m3/h	90				

Bomba de carga PKS70

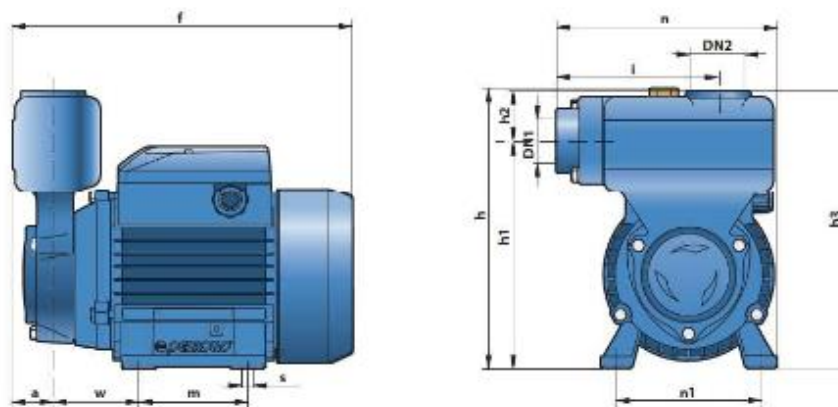
CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m



MODELO		POTENCIA		Q	Caudal Q												
Monofásica	Trifásica	kW	HP		m ³ /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	
PKSm 60	PKS 60	0.37	0.50	H metros	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50		
PKSm 65	PKS 65	0.50	0.70		40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5				
PKSm 70	PKS 70	0.60	0.85		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	12.5	8		
					65	62	57	52	47	42	37	32	27	22	18		

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm													kg	
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1-	3-	
PKSm 60	PKS 60	1"	1"	29	230	192	156	34	190	110	80	150	100	55	7	6.0	6.0	
PKSm 65	PKS 65				260	200	164		198		90	160	112	62		10.6	9.7	
PKSm 70	PKS 70				260	200	164		198		90	160	112	62		10.6	9.7	
PKSm 80	PKS 80				260	200	164		198		90	160	112	62		10.6	9.7	

CONSUMO EN AMPERIOS

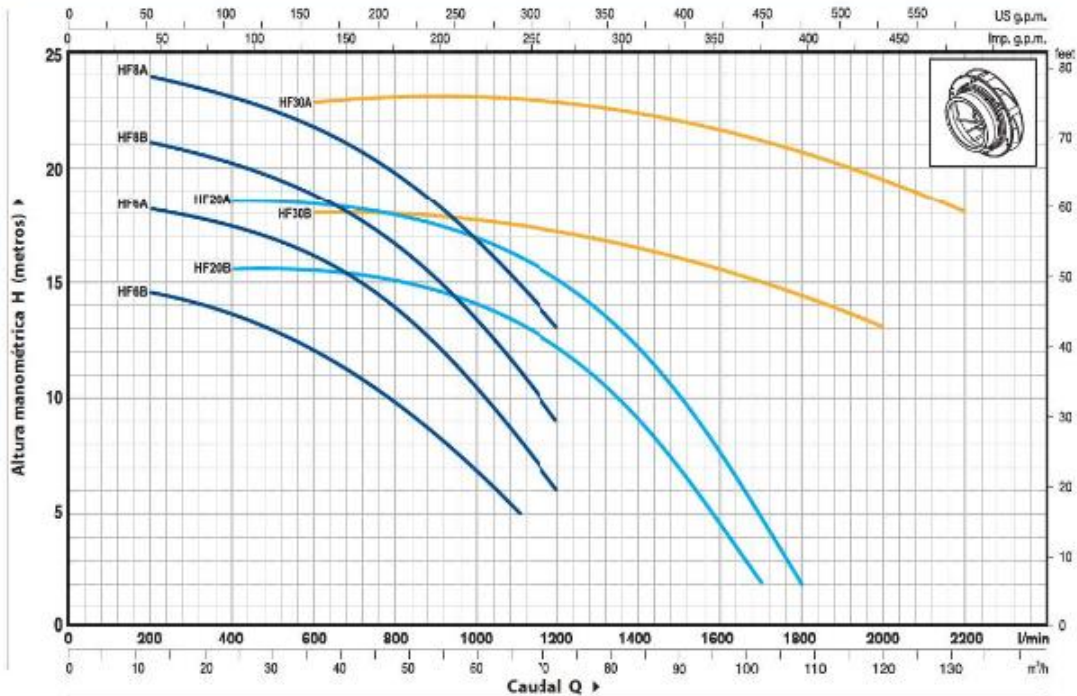
MODELO	TENSION (monofásica)		
	220 V	110 V	127 V
Monofásica			
PKSm 60	2.6 A	5.5 A	5.2 A
PKSm 65	5.8 A	11.6 A	11.0 A
PKSm 70	5.2 A	10.8 A	10.0 A
PKSm 80	6.5 A	13.0 A	12.1 A

MODELO	TENSION (trifásica)				
	220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
Trifásica					
PKS 60	2.0 A	1.15 A	0.7 A	2.1 A	1.2 A
PKS 65	3.2 A	1.85 A	1.1 A	3.5 A	2.0 A
PKS 70	3.8 A	2.2 A	1.3 A	3.8 A	2.2 A
PKS 80	3.8 A	2.2 A	1.3 A	4.3 A	2.4 A

Bomba de descarga HF20A

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 1/min HS= 0 m

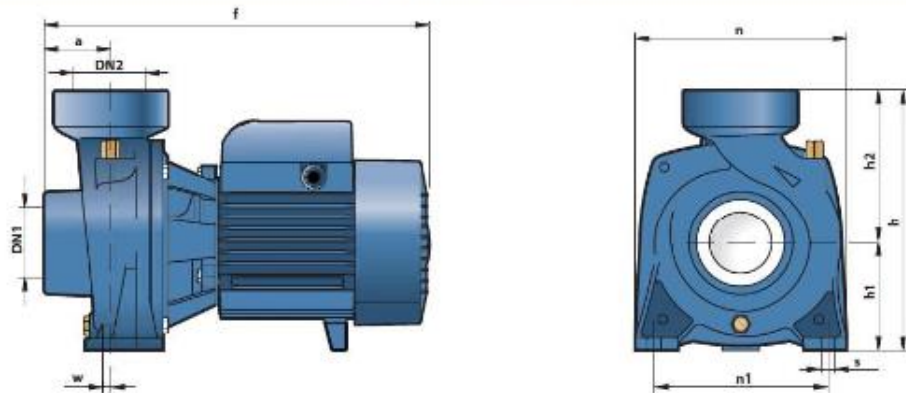


MODELO		POTENCIA		Q	H metros																	
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	12	18	24	31	36	42	48	54	60	66	72	84	96	102	108	120	132
				l/min	0	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1700	1800	2000	2200
HFm 6B	HF 6B	1.5	2		14.7	14.5	14	13.5	12.8	12	11	9.7	8.2	6.7	5							
-	HF 6A	2.2	3		18.5	18.1	17.8	17.2	16.8	16	15	13.8	12.2	10.5	8.3	6						
-	HF 8B	3	4		21.5	21	20.7	20	19.5	18.8	17.8	16.5	15	13.5	11.2	9						
-	HF 8A	4	5.5		24.5	24	23.5	23	22.5	21.8	20.8	19.5	18.3	16.8	15	13						
-	HF 20B	3	4		16	-	-	15.5	15.4	15.3	15.2	15	14.5	14	13	12	9	4.8	2			
-	HF 20A	4	5.5		19	-	-	18.5	18.4	18.3	18.2	18	17.5	17	16.2	15.2	12	7.8	5	2		
-	HF 30B	5.5	7.5		18	-	-	-	-	18	18	18	18	18	17.5	17	16.5	15.5	15	14.5	13	
-	HF 30A	7.5	10		23	-	-	-	-	23	23	23	23	23	22.5	22.5	22.5	22	21.5	21	19.5	18

Q – Caudal H – Altura manométrica total HS – Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm									kg					
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	n	n1	w	s	1~	3~				
HFm 6B	HF 6B	3"	3"	68	411	312	120	192	240	190	6	12	26,5	25,5				
-	HF 6A				435								-	26,7				
-	HF 8B				465								-	35,0				
-	HF 8A				435								-	40,0				
-	HF 20B	4"	4"	80	435	370	132	180	245	30	14	-	35,0					
-	HF 20A				465							-	40,0					
-	HF 30B				82							585	160	210	292	212	-	60,9
-	HF 30A				-							-	-	-	-	-	-	65,2

CONSUMO EN AMPERIOS

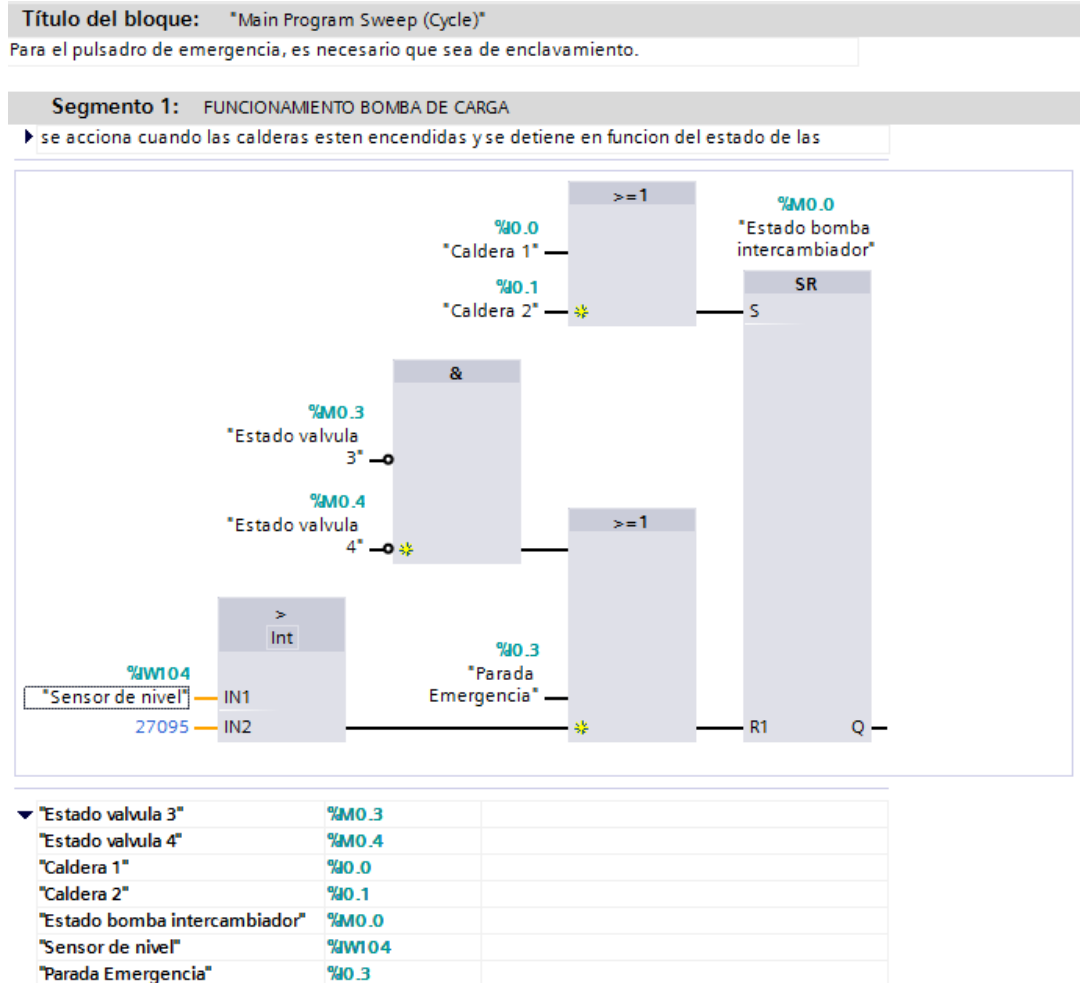
MODELO	TENSION (monofásica)		
	220 V	110 V	127 V
HFm 6B	12.0 A	24.0 A	22.3 A

MODELO	TENSION (trifásica)				
	220 V	380 V	660 V	220 V	440 V
HF 6B	8.6 A	5.0 A	2.9 A	7.6 A	4.2 A
HF 6A	10.7 A	6.2 A	3.6 A	9.0 A	4.8 A
HF 8B	8.6 A	5.0 A	2.9 A	7.6 A	4.2 A
HF 8A	18.2 A	10.5 A	6.1 A	18.5 A	12.0 A
HF 20B	12.0 A	7.0 A	4.0 A	13.0 A	7.0 A
HF 20A	18.2 A	10.5 A	6.1 A	17.8 A	11.0 A
HF 30B	22.5 A	13.0 A	7.5 A	21.0 A	14.5 A
HF 30A	28.8 A	16.6 A	9.6 A	27.0 A	20.0 A

ANEXO G. PROGRAMACIÓN CONTROLADOR

Programacion del controlador:

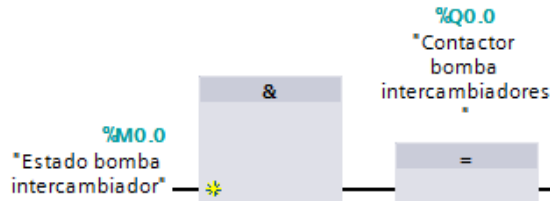
La bomba de carga necesita que esté funcionando por lo menos una caldera, y deja de funcionar cuando ambas valvulas 1 y 2 que son normalmente abiertas estén accionadas ó cuando exista una parade de emergencia.



En este segmento se suministra la señal de acción de la bomba de carga, esta señal será enviada posteriormente al contacto del relé que maneja la alta potencia.

Segmento 2: ACCION BOMBA DE CARGA

la acción se realiza sobre los contactos del relé controlador de la bomba de carga

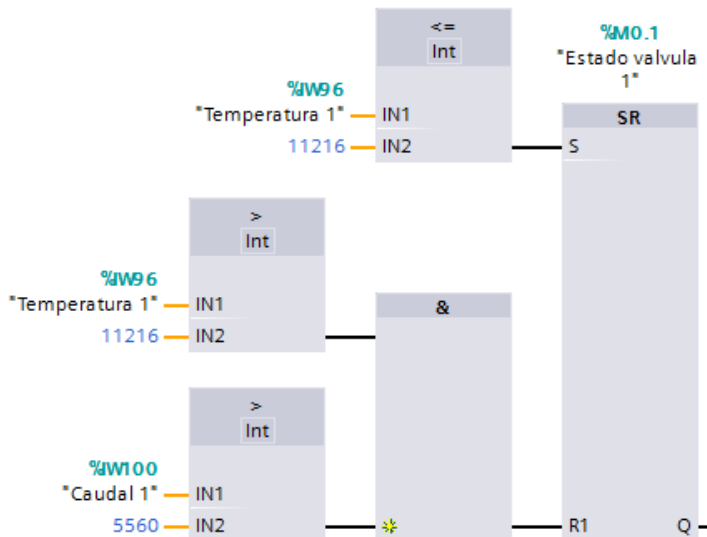


▼ *Estado bomba intercambiador*	%M0.0	
*Contactor bomba intercambiad...	%Q0.0	

Esta válvula permitirá el paso del flujo (reset por ser Normally Open) cuando la temperatura de los humos y el caudal en la chimenea tengan unos valores mínimos, se cerrará (set) al caer la temperatura al mínimo (cerca de la temperatura de punto de rocío).

Segmento 3: VALVULA INTERCAMBIADOR 1

esta valvula es normalmente abierta. El funcionamiento depende de la temperatura de los humos



▼ *Estado valvula 1*	%M0.1	
Temperatura 1	%W96	
Caudal 1	%W100	

En este segmento se emite la señal con la cual se acciona la válvula, esta se dirige al relé que controla el cierre de esta.

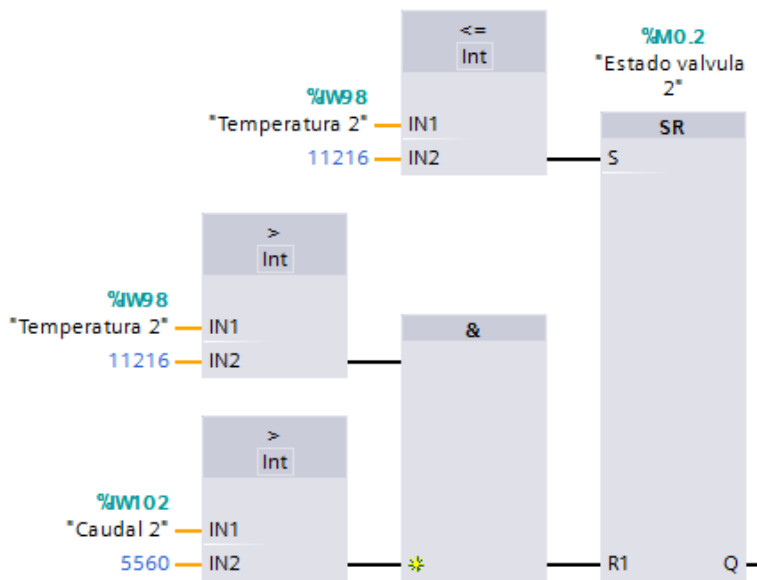
Segmento 4: ACCIÓN VÁLVULA 1 INTERCAMBIADOR 1
 La acción se realiza sobre los contactos de la misma válvula



▼ "Estado valvula 1"	%M0.1	
"Valvula 1"	%Q0.1	

Esta válvula permitirá el paso del flujo (reset por ser Normally Open) cuando la temperatura de los humos y el caudal en la chimenea tengan unos valores mínimos, se cerrará (set) al caer la temperatura al mínimo (cerca de la temperatura de punto de rocío).

Segmento 5: VÁLVULA INTERCAMBIADOR 2
 ▶ Esta valvula es normalmente abierta. El funcionamiento depende de la temperatura de los humos



▼ "Estado valvula 2"	%M0.2	
"Temperatura 2"	%W98	
"Caudal 2"	%W102	

En este segmento se emite la señal con la cual se acciona la válvula.

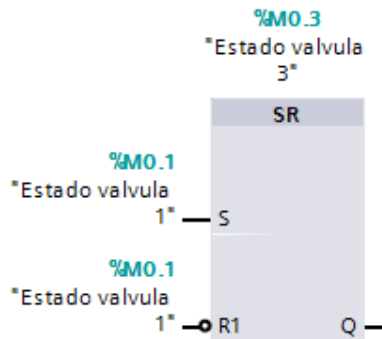
Segmento 6: ACCIÓN VÁLVULA 2 INTERCAMBIADOR 2
 La acción se realiza sobre los contactos de la misma válvula



▼ "Estado valvula 2"	%M0.2	
"Valvula 2"	%Q0.2	

Esta valvula de bypass (NC) se acciona cuando la valvula del primer intercambiador se acciona, permitiendo el paso de el agua por la linea alterna. Se cierra nuevamente cuando la valvula 1 se abre, que a su vez depende del funcionamiento de las caldera 1.

Segmento 7: FUNCIONAMIENTO VALVULA 3
 depende de el funcionamiento de la válvula 1



▼ "Estado valvula 1"	%M0.1	
"Estado valvula 3"	%M0.3	

En este segmento se emite la señal con la cual se acciona la válvula.

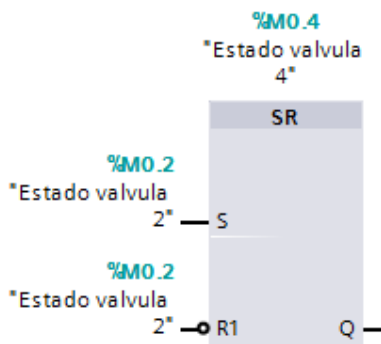
Segmento 8: ACCIÓN VÁLVULA 3
 La acción se realiza sobre los contactos de la misma válvula



▼ "Estado valvula 3"	%M0.3	
"Valvula 3"	%Q0.3	

Esta valvula de bypass (NC) se acciona cuando la valvula del segundo intercambiador se acciona, permitiendo el paso de el agua por la linea alterna. Se cierra nuevamente cuando la valvula 2 se abre, que a su vez depende del funcionamiento de la caldera 1.

Segmento 9: FUNCIONAMIENTO VÁLVULA 4
 depende de el funcionamiento de la válvula 2



▼ "Estado valvula 2"	%M0.2	
"Estado valvula 4"	%M0.4	

En este segmento se emite la señal con la cual se acciona la válvula.

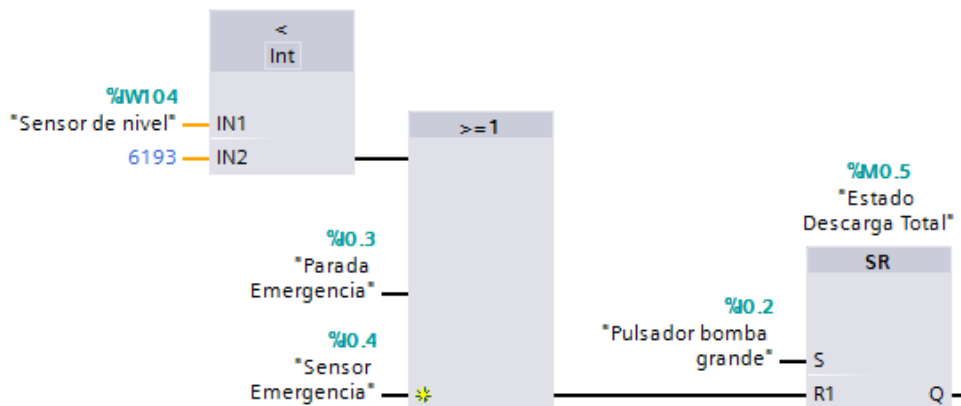
Segmento 10: ACCIÓN VÁLVULA 4
 La acción se realiza sobre los contactos de la misma válvula



▼ "Estado valvula 4"	%M0.4	
"Valvula 4"	%Q0.4	

La bomba de descarga total es accionada por un operario en cualquier instante de tiempo siempre y cuando el nivel sea mayor al mínimo requerido, esta dejará de funcionar en caso de emergencia o cuando el nivel llegue al mínimo requerido, se implementó además un sensor de emergencia en caso que el sensor de nivel falle.

Segmento 11: FUNCIONAMIENTO DESCARGA TOTAL
 es accionada por un operario, y se detiene en un nivel mínimo establecido o en caso de



▼ "Estado Descarga Total"	%M0.5	
"Pulsador bomba grande"	%I0.2	
"Sensor de nivel"	%W104	
"Parada Emergencia"	%I0.3	
"Sensor Emergencia"	%I0.4	

Esta señal se envía el relé que controla la alta potencia de la bomba de descarga.

Segmento 12: ACCION BOMBA DESCARGA TOTAL
 la acción se realiza sobre los contactos del relé controlador de la bomba de descarga total



▼ *Estado Descarga Total*	%M0.5	
Bomba grande	%Q0.5	

La siguiente figura muestra la tabla de variables en el proceso controlado.

	Nombre	Tipo de datos	Dirección
1	Caldera 1	Bool	%I0.0
2	Caldera 2	Bool	%I0.1
3	Contactora bomba intercambiadores	Bool	%Q0.0
4	Temperatura 1	Word	%IW96
5	Caudal 1	Int	%IW100
6	Valvula 1	Bool	%Q0.1
7	Estado valvula 1	Bool	%M0.1
8	Estado valvula 2	Bool	%M0.2
9	Caudal 2	Int	%IW102
10	Temperatura 2	Int	%IW98
11	Valvula 2	Bool	%Q0.2
12	Estado valvula 3	Bool	%M0.3
13	Valvula 3	Bool	%Q0.3
14	Estado valvula 4	Bool	%M0.4
15	Valvula 4	Bool	%Q0.4
16	Estado bomba intercambiador	Bool	%M0.0
17	Estado Descarga Total	Bool	%M0.5
18	Pulsador bomba grande	Bool	%I0.2
19	Sensor de nivel	Int	%IW104
20	Bomba grande	Bool	%Q0.5
21	Reset	Bool	%M200.0
22	Parada Emergencia	Bool	%I0.3
23	Flanco Emergencia	Bool	%M0.7
24	Sensor Emergencia	Bool	%I0.4

ANEXO H. RESULTADOS SIMULACIONES

Simulaciones con consumos reales en estado transitorio

Figura 1. Temperaturas de salida y consumo en la caldera colmaquinas con consumo de combustible 50/50

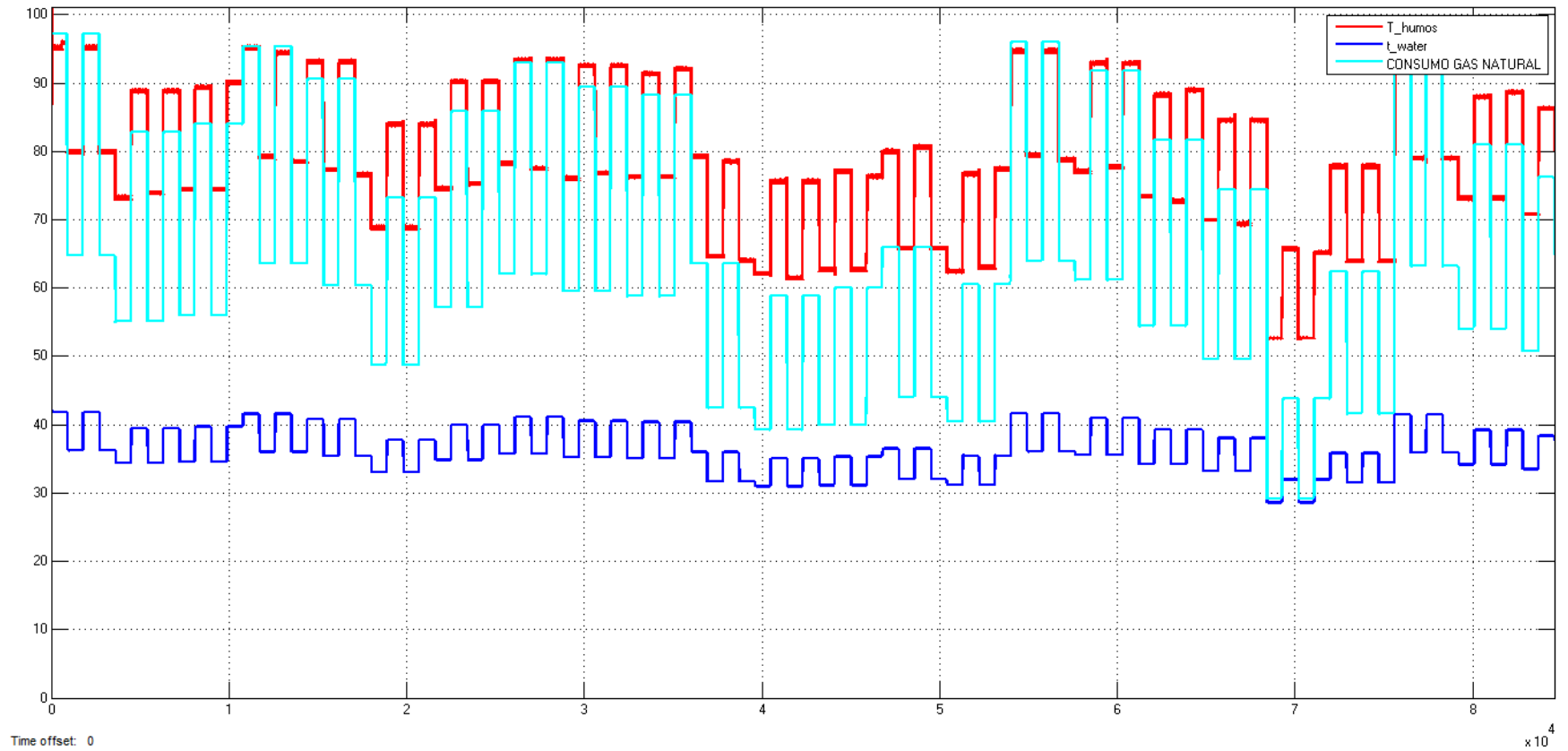


Figura 2. Temperaturas de salida y consumo en la caldera continental con consumo de combustible 50/50

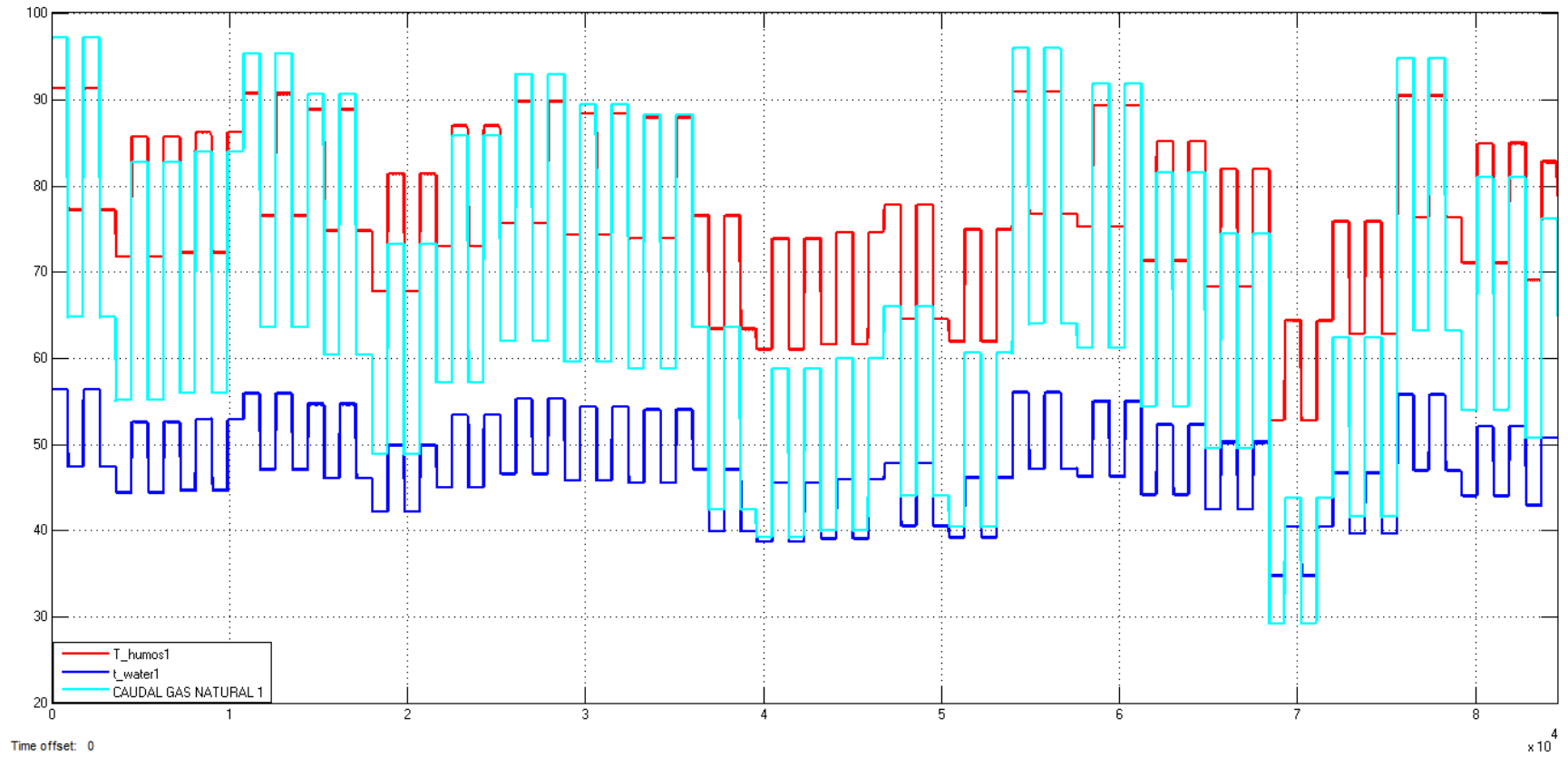


Figura 3. Temperaturas de salida y consumo en la caldera Colmaquinas con consumo de combustible 70 % para Colmaquinas 30% para la Continental

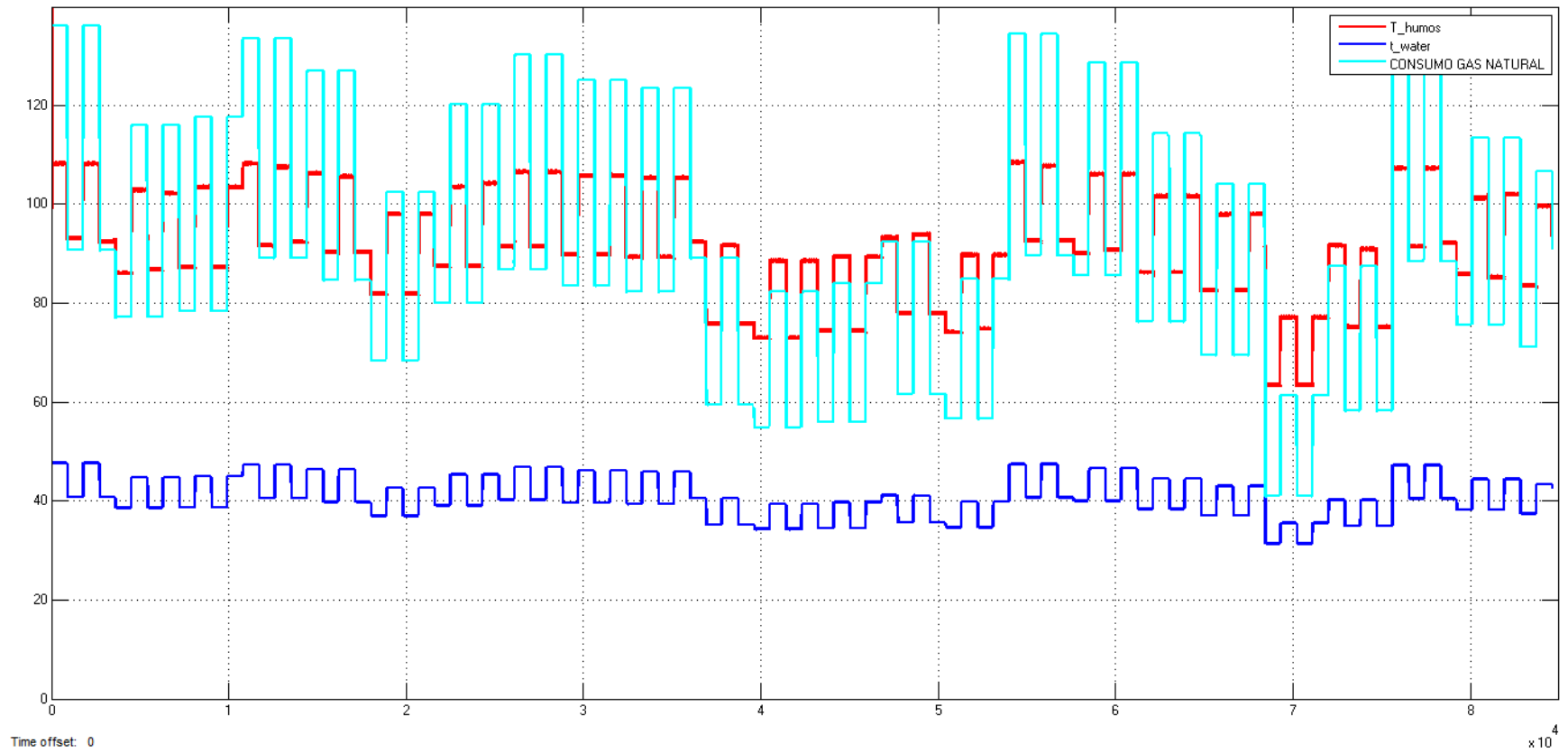


Figura 4. Temperaturas de salida y consumo en la caldera Continental con consumo de combustible 70 % para Colmaquinas 30% para la Continental

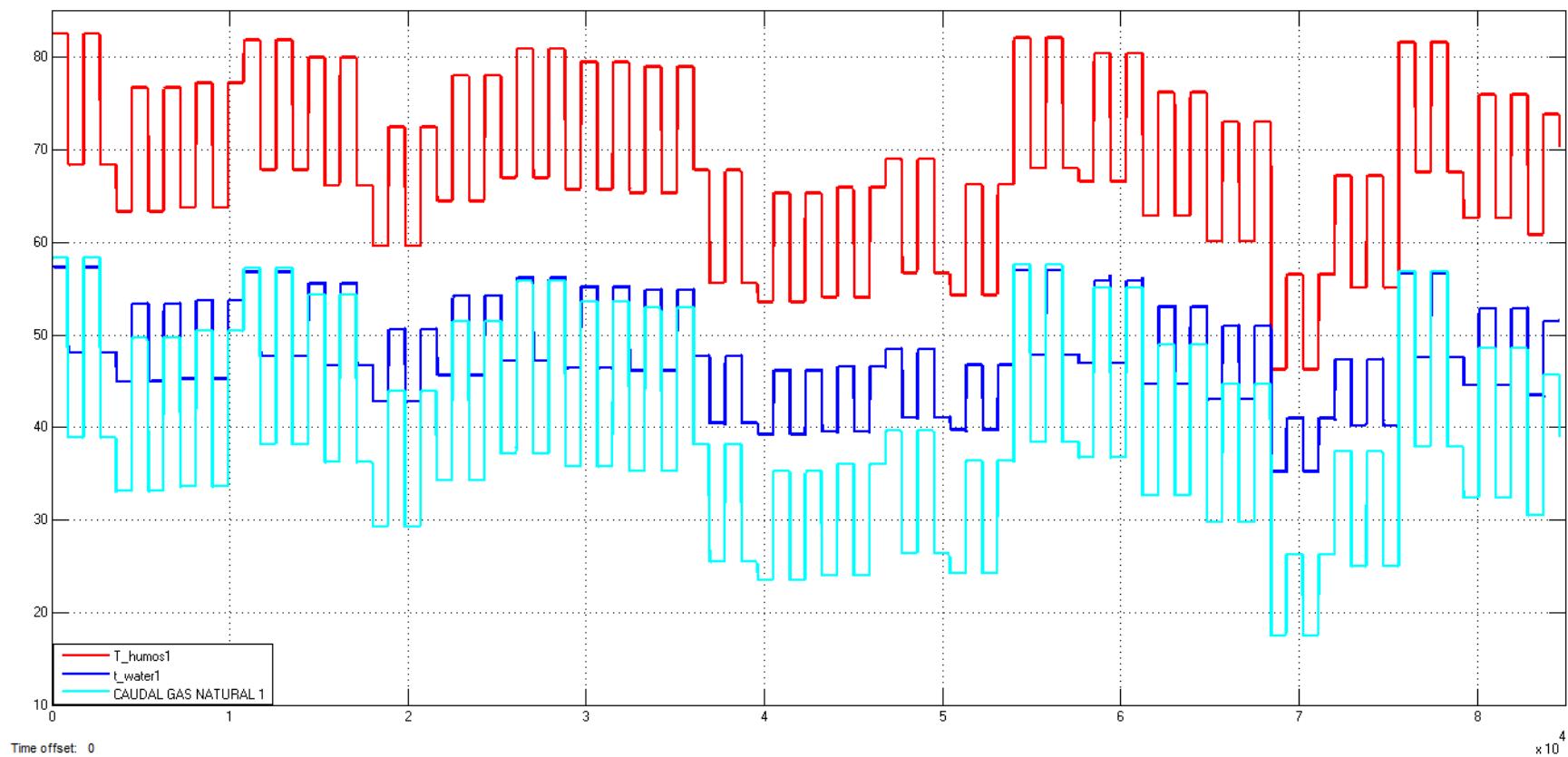


Figura 5. Temperaturas de salida y consumo en la caldera Colmaquinas con consumo de combustible 30 % para Colmaquinas 70% para la Continental

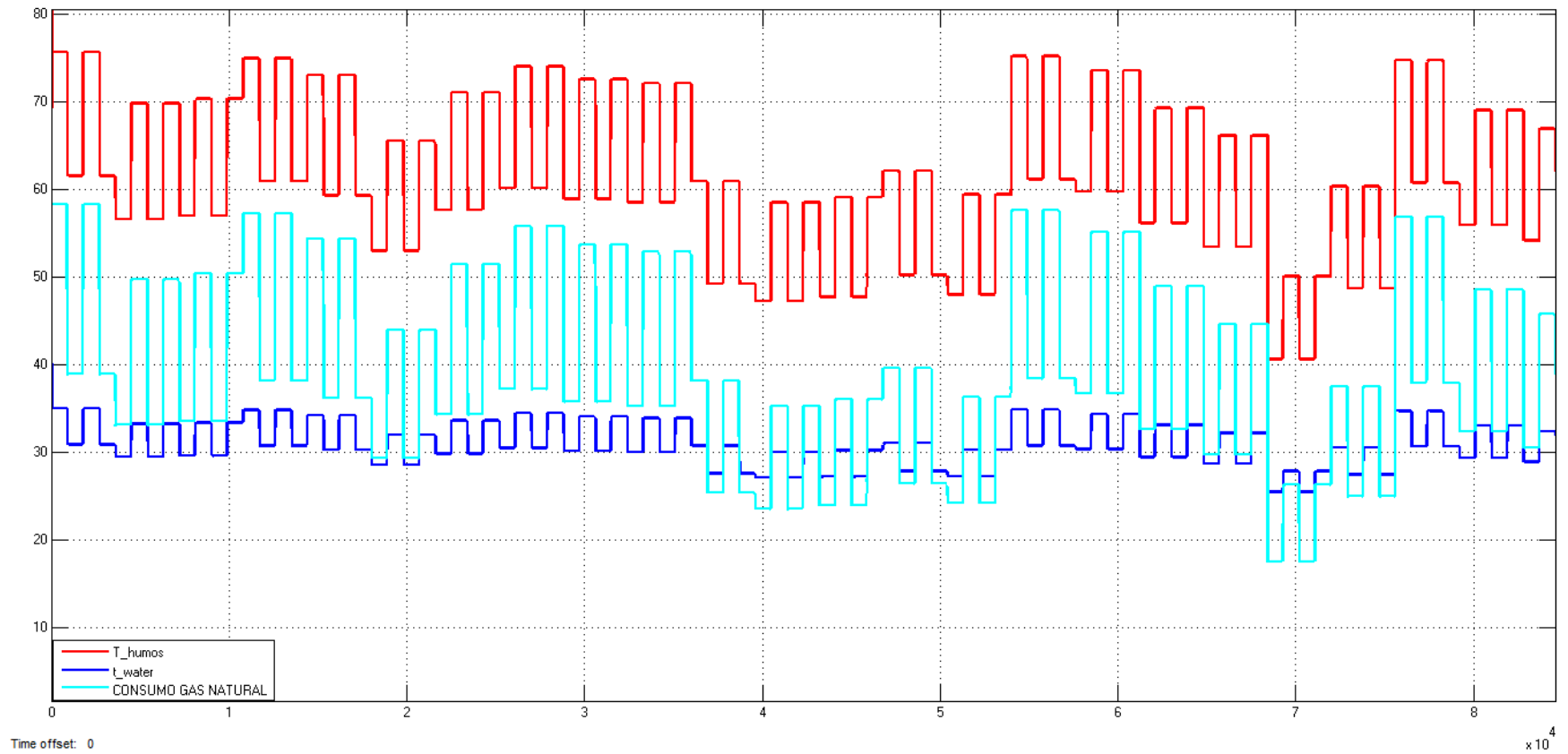
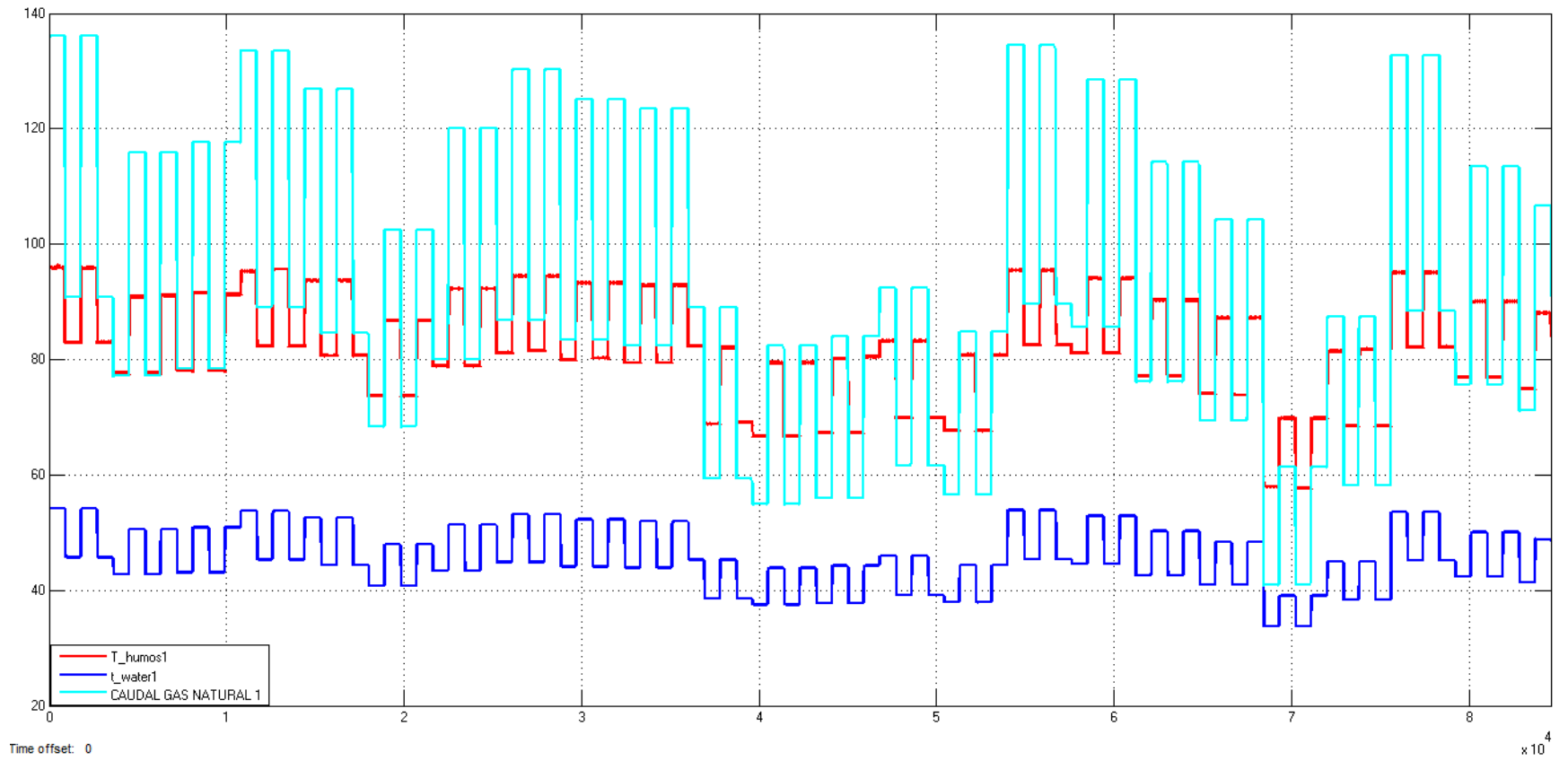


Figura 6. Temperaturas de salida y consumo en la caldera Continental con consumo de combustible 30 % para Colmaquinas 70% para la Continental



ANEXO I. COTIZACIONES

Las diferentes cotizaciones se ordenaran por secciones.

SECCIÓN DE CONTROL



SENSOMATIC DEL ORIENTE SAS

www.sensomaticdeloriente.com
NIT 804.012.954-1

Solution
Partner

SIEMENS

Automation

Cotización No.

OHLC- 361-14

Ciudad y fecha: Bucaramanga, 05 de Junio de 2014
 Cliente: DIEGO PONGUTA
 Atención: Estudiante UIS
 Tele- Fax: 3213093339
 e-mail: diego.ponguta@hotmail.com



Estimado cliente, agradeciendo su solicitud estamos enviando la oferta de los siguientes equipos:

Ítem	Cant	Descripción	Vlr Unitario	Vlr Total
1	2	SITRANS FX300 FLANGED, SINGEL TRANSMITTER AND T MAX = 240 CEL (464 F) description not available DN 300 / 12 INCHRF: 150 LB ACERO INOXIDABLE 1.4404 (316L) / 1.4435 (316L) / FPM DISEÑO COMPACTO SIN CABLE NO EX, CON PASACABLES M20X1.5 CON DISPLAY DIGITAL Y COMUNICACION HART SIN SENSOR DE PRESION SIN COMPENSACION PARA GASES, GASES HUMEDOS, VAPORES Y LIQUIDOS, COMPENSACION DE TEMPERATURA PARA VAPOR SATURAD ESPECIFICAR MEDIO; VAPOR SATURADO/SUPERCALENTADO, GAS MEZCLADO/HUMEDO/SECO, LIQUIDO O PERSONALIZADO (ESPECIFICO) TEMPERATURA: ESPECIFICAR TEMPERATURA MAX. DE SERVICIO Y UNIDADES PRESION: ESPECIFICAR PRESION MAX. DE SERVICIO Y UNIDADES CAUDAL: ESPECIFICAR CAUDAL MIN./MAX. Y UNIDADES Y40: Saturated Steam Y41: 200 C Y42: 150 psi Y45: 15000 lb/h	\$ 29.000.950	\$ 58.001.900
2	1	SENSOR DE PRESION SITRANS P MPS PARA PRESION RELATIVA (SONDA DE INMERSION) DIFERENCIA: 0,3% (TIPO.)CONEXION A 2 HILOS RANGO DE MEDIDA: 0-4 MCA LONG.DE CABLE:10M, CABLE PE SIN PROTECCION CONTRA EXPLOSIONES	\$ 831.050	\$ 831.050
3	1	MEDIDOR DE NIVEL MEDIANTE SENSO ULTRASONICO PARA LIQUIDOS Y LODOS, EN EJECUCION COMPACTA, DE SIEMENS MILLTRONICS, MODELO THE PROBE, CON: MODO DE OPERACION: MEDICION DE DISTANCIA. ALCANCE DE MEDIDA: 0,25 A 5 M. O DE 0,25 A 8 M. SENAL	\$ 1.993.750	\$ 1.993.750



SENSOMATIC DEL ORIENTE SAS

www.sensomaticdeloriente.com
NIT 804.012.954-1

Solution
Partner

SIEMENS

Automation

Cotización No.

OHLC- 361-14

Ciudad y fecha: Bucaramanga, 05 de Junio de 2014

Cliente: DIEGO PONGUTA

Atención: Estudiante UIS

Tele- Fax: 3213093339

e-mail: diego.ponguta@hotmail.com

SIEMENS



WEG

Termocuplas



OMRON

Autonics

LEXUS
ELECTRICAL WORKING

Schneider
Electric

Estimado cliente, agradeciendo su solicitud estamos enviando la oferta de los siguientes equipos:

Ítem	Cant	Descripción	Vlr Unitario	Vlr Total
1	2	SITRANS FX300 FLANGED, SINGEL TRANSMITTER AND T MAX = 240 CEL (464 F) description not available DN 300 / 12 INCHRF: 150 LB ACERO INOXIDABLE 1.4404 (316L) / 1.4435 (316L) / FPM DISEÑO COMPACTO SIN CABLE NO EX, CON PASACABLES M20X1.5 CON DISPLAY DIGITAL Y COMUNICACION HART SIN SENSOR DE PRESION SIN COMPENSACION PARA GASES, GASES HUMEDOS, VAPORES Y LIQUIDOS, COMPENSACION DE TEMPERATURA PARA VAPOR SATURAD ESPECIFICAR MEDIO; VAPOR SATURADO/SUPERCALENTADO, GAS MEZCLADO/HUMEDO/SECO, LIQUIDO O PERSONALIZADO (ESPECIFICO) TEMPERATURA: ESPECIFICAR TEMPERATURA MAX. DE SERVICIO Y UNIDADES PRESION: ESPECIFICAR PRESION MAX. DE SERVICIO Y UNIDADES CAUDAL: ESPECIFICAR CAUDAL MIN./MAX. Y UNIDADES Y40: Saturated Steam Y41: 200 C Y42: 150 psi Y45: 15000 lb/h	\$ 29.000.950	\$ 58.001.900
2	1	SENSOR DE PRESION SITRANS P MPS PARA PRESION RELATIVA (SONDA DE INMERSION) DIFERENCIA: 0,3% (TIPO.)CONEXION A 2 HILOS RANGO DE MEDIDA: 0-4 MCA LONG.DE CABLE:10M, CABLE PE SIN PROTECCION CONTRA EXPLOSIONES	\$ 831.050	\$ 831.050
3	1	MEDIDOR DE NIVEL MEDIANTE SENSO ULTRASONICO PARA LIQUIDOS Y LODOS, EN EJECUCION COMPACTA, DE SIEMENS MILLTRONICS, MODELO THE PROBE, CON: MODO DE OPERACION: MEDICION DE DISTANCIA. ALCANCE DE MEDIDA: 0,25 A 5 M. O DE 0,25 A 8 M. SENAL	\$ 1.993.750	\$ 1.993.750



SENSOMATIC DEL ORIENTE SAS

www.sensomaticdeloriente.com
NIT 804.012.954-1



Cotización No.
OHYB-0253-14

Ciudad y fecha: Bucaramanga, 24 de Junio de 2.014
Cliente: DIEGO PONGUTA
Atención: Ing. Diego Ponguta
Tele- Fax: 321-309-33-39
E-maildiegoaponguta@hotmail.com



Estimado cliente, agradeciendo su solicitud estamos enviando la oferta de los siguientes equipos:

Ítem	Cant	Descripción	Vlr Unitario	Vlr Total
1	1	TRANSMISOR DE PRESION SITRANS P SERIE P250, PARA PRESION DIFERENCIAL MESURING RANGE: 0...4 BAR (0...58 PSI) OUTPUT SIGNAL: 4 - 20 MA ELECTRICAL CONNECTION: PLUG ACC. EN 175-301-803-A PROCESS CONNECTION: 1/8 27 NPT FEMALE THREADS, WITHOUT FEMALE THREAT BEARING MATERIAL: FPM, MANUFACTURERS' CERTIFICAT M TO DIN 55340, PART 18 AND ISO8402.	\$ 753.600	\$ 753.600
			Sub -Total	\$ 753.600
			Retención	\$ 0
			I.V.A	\$ 120.576
			Fletes	\$ 0
			TOTAL	\$ 874.176

SECCIÓN DE ALMACENAMIENTO Y MONITOREO:



DESING LTDA

DISEÑOS ESPECIALES E INGENIERIAS LTDA.

. ESTUDIO_DISEÑO_FABRICACION_MONTAJE_INTERVENTORIAS Y OBRAS CIVILES.

Bucaramanga, julio 25 de 2014.

OFERTA D195/14

Señores:
AVIDESA MAC POLLO S.A
Planta Beneficio
Bucaramanga



En razón a su amable solicitud, a continuación presentamos a su consideración nuestra propuesta técnica y comercial por la fabricación, suministro y entrega en el sitio final de su planta de 1 Tanque para almacenamiento de agua caliente, más el suministro de 8 caras que conformarán las carcasas para intercambiador de calor.

01 1 TANQUE 17.6tonAgua_CVAD2.3H4.2C17.6:

Fabricación, suministro y entrega en el punto final de su planta de tanque atmosférico aislado para almacenamiento de agua caliente, según su diseño suministrado por el cliente.

Dimensiones nominales:

Diámetro cuerpo: 2.31 m
Altura recta: 4.22 m
Altura total: 4.53 m
Capacidad volumétrica: 17.6 m³.

Características de Construcción:

- Tanque atmosférico, cónico disposición vertical, fondo plano, techo fijo.
- Construcción en lámina de acero inoxidable AISI 304, bajo procedimientos propios de nuestro estándar interno que contemplan recomendaciones de normas API, ASME y AWS.
- Techo cónico en lámina C 1/4", lleva un cuello de ganso en tubería.
- Cuerpo conformado por anillos en lámina C3/16".
- Base plana sin sumidero en lámina C1/4".
- Manhole de servicio sobre el cuerpo en la parte inferior.
- Un puertos de descargue inferior en niple de tubo Ø5" con brida.
- Otros puertos de servicio en diámetros menores, no se incluye ninguna válvula, ni elementos de control de nivel.
- Aislamiento térmico Insul-Quick 2" con Foli en acero inoxidable.
- Entrega en el punto final de su planta, no incluye conexiones hidráulicas u otras.

VALOR TANQUE 17.6tonAgua_CVAD2.3H4.2C17.6

\$ 47'000.000

Cr. 14 # 13-54 Barrio Gaitán, Telefax: +57) 7 6711064, Bucaramanga, Colombia.
desingbucaramanga@hotmail.com, desingltlda@hotmail.com D195/14 pág. 1



DESING LTDA

DISEÑOS ESPECIALES E INGENIERIAS LTDA.

. ESTUDIO_DISEÑO_FABRICACION_MONTAJE_INTERVENTORIAS Y OBRAS CIVILES.

02 8 CARAS INOX PARA CARCASAS DE 2 INTERCAMBIADORES DE CALOR:

Fabricación y suministro 8 caras para carcasas de 2 Intercambiadores de calor, según su diseño suministrado por el cliente.

Características generales y alcance del suministro:

- Fabricación en acero inoxidable AISI 304 C1/4.
- Caras con pestañas en L en dos bordes opuestos, van perforadas para conformarse como bridas al momento del ensamble final; 4 caras con perforaciones según patrón de diseño suministrado por el cliente que servirán para el ensamble del banco de tubería aleteada de 2 Intercambiadores, las otras 4 caras lisas, en total 8 caras para 2 Intercambiadores.
- Se entregan las caras sueltas.
- No incluye ningún otro suministro, ni ensamble de partes del Intercambiador.

VALOR 8 CARAS INOX PARA CARCASAS DE 2 INTERCAMBIADORES DE CALOR.

\$3'000.000

VALOR TOTAL OFERTA.

\$ 50'000.000

La propuesta no incluye:

- Impuesto a las ventas IVA.
- Pólizas exigidas por el cliente y timbres de contratos.
- Obras civiles y sus cálculos estructurales.
- Montaje final, mano de obra y/o suministros para redes hidráulicas o de producto, sistemas de control de nivel u otros.
- Manhole superior, escaleras, ni pasamanos.
- Ensamble final de los Intercambiadores.
- Equipos y/o elementos eventualmente requeridos y que no se encuentren expresamente relacionados en esta oferta.

FORMA DE PAGO : 50% a la firma del contrato como anticipo.
30% a 30 días de avance en la fabricación.
Saldo a la entrega del trabajo.

PLAZO DE ENTREGA : 60 días hábiles.

VALIDEZ OFERTA : 30 días.

DESING LTDA. Garantiza sus equipos por seis meses contra defectos de fabricación, más no por mal manejo y/o por desgaste natural por su uso. La garantía de las unidades motrices, los elementos neumáticos y los elementos eléctricos se trasladan a los proveedores y los fabricantes de los mismos.

Cordialmente.

OMAR RODRIGUEZ SILVA
Gerente.

Cr. 14 # 13-54 Barrio Gaitán, Telefax: +57) 7 6711064, Bucaramanga, Colombia.
desingbucaramanga@hotmail.com, desingltdda@hotmail.com D195/14 pág. 2

TRACEINOX

Trabajos en Acero Inoxidable s.a.s.

Floridablanca 22/07/2014

Señores:
AVIDESA MAC POLLO S.A.

COTIZACION

Fabricación de tanque en acero inoxidable para el almacenamiento de agua caliente. Totalmente con aislamiento en fibra y chaqueta en lamina brillante

MATERIALES:
Lamina en 3/16 inoxidable

MEDIDAS:
420 de alto
250 de ancho

VALOR TOTAL: \$ 36,500.000

ESTE VALOR MAS IVA

Atentamente,

JUAN CARLOS PENA NEIRA
C.C.91.151.600 de Floridablanca

KM.2 VIA PIEDECUESTA FLORIDABLANCA
TELEFONOS: 6813228 - 3156569396
traceinox.sas@hotmail.com

SECCIÓN DE BOMBEO:

MANTENIMIENTOS TÉCNICOS

INTEGRALES LTDA.

SUMINISTRO - INSTALACION – MANTENIMIENTO
*Equipos Hidráulicos, Equipos Eléctricos, Motores, Motobombas,
Piscinas, Lavado y Desinfección de Tanques.*

Bucaramanga Julio 28 de 2014.

CEG 017

Señor:

Diego Andrés Ponguta Merchán.

Ingeniero Mecánico.

U.I.S.

En atención a su formal solicitud de cotización nos permitimos presentarle a su consideración la siguiente oferta:

✚ Bomba N° 1 Compuesta por los siguientes elementos:

- ✓ Una electrobomba Centrifuga caracol:

Marca	: Pedrollo.
Modelo	: CPm 660.
Diámetro de succión	: 1 1/4”
Diámetro de Descarga	: 1”.
Caudal suministrado	: 35 L/m
TDH	: 27 mts.
Cierre del eje	: Ejecución Sello Mecánico.
Potencia del Motor	: 2.0 HP.
Velocidad	: 3500 RPM.
Tensión	: 220 V.
Corriente	: Monofásica.

- ✓ Un arrancador termomagnético directo marca Siemens con relé térmico de Protección para 2.0 Hp, 220V

*Valor del Equipo anteriormente descrito
incluida la mano de obra en la instalación,
y todos los accesorios de interconexión
del cuarto de máquinas*

\$ 1'000.000
IVA 16% \$ 160.000

\$ 1'160.000

+ Bomba N° 2 Compuesta por los siguientes elementos:

- ✓ Una electrobomba Centrifuga caracol:

Marca	: Pedrollo.
Modelo	: HF6A.
Diámetro de succión	: 3"
Diámetro de Descarga	: 3".
Caudal suministrado	: 1000 L/m
TDH	: 10 Mts.
Cierre del eje	: Ejecución Sello Mecánico.
Potencia del Motor	: 3.0 HP.
Velocidad	: 3500 RPM.
Tensión	: 220 V.
Corriente	: Trifásica.

- ✓ Un arrancador termomagnético directo marca Siemens con relé térmico de Protección para 3.0 Hp, 220V
- ✓ Un sello mecánico para trabajar a 50°

*Valor del Equipo anteriormente descrito
incluida la mano de obra en la instalación,
y todos los accesorios de interconexión
del cuarto de máquinas*

	\$ 2'000.000
IVA 16%	\$ 320.000

	\$ 2'320.000

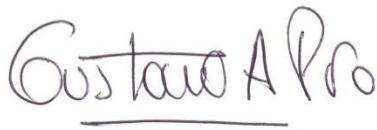
Condiciones Comerciales:

Forma de Pago	: Contado contra entrega.
Plazo de entrega	: Tres días para la entrega de los equipos, contados a partir de la fecha de recibo de la orden de compra.
Garantía montaje	: 12 meses, contra defectos de fabricación y/o comprobados por nuestro departamento técnico; contados a partir de la fecha de firma del Acta de entrega de los equipos.
Validez de la oferta	: Treinta días contados a partir de la fecha

Son por cuenta del cliente:

- *El suministro hasta un punto cero metros de todas las acometidas eléctricas de alimentación de los tableros de los equipos.*
- *El suministro hasta un punto cero metros dentro del cuarto de máquinas de la acometida eléctrica de la señal del flotador de tanque bajo.*
- *El Suministro hasta un punto cero metros dentro del cuarto de máquinas de las acometidas hidráulicas de todos los equipos.*
- *Todas las obras civiles y de albañilería que se requieran; tales como:*

*Construcción de los cuartos de maquinas.
Construcción de las bases para las bombas.*



Gustavo Adolfo Pérez Villamizar
Gerente.
Cel: 312 – 5872411 - 317 – 6357926.

ElectroAgro Ltda.

NIT. 804.000.058-3
 AVENIDA QUEBRADA SECA No. 18-81 - PBX.: 642 85 11 - 694 68 68 - 695 13 94
 TALLER: CARRERA 19 No. 30-28 - E-mail: electroagro@telebucaramanga.net.co
 BUCARAMANGA - COLOMBIA

Fecha: 20/06/14.	COTIZACION
Señor(es):	Nº 16994

Dirección:

Condiciones de Pago:



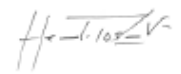
CANT.	DETALLE	VALOR TOTAL
1	Electrobomba Redrollo. centrifuga de alto caudal Modelo 1- HFGA 3.0 HP 220 H40V. trifasica. 18.5 mts. 1200 LPM S x D = 3"	1.460.000.- IVA Inducido.
	Garantia: 1 año.	
1	electrobomba 2.0 HP 220 V. monofasica 14.7 mts 1100 LPM S x D 3"	\$ 1.160.000 IVA Inducido.

FIRMA, Nathalie Mendosa. 3178927978

ALISOL © 6420125

SECCIÓN DE INTERCAMBIO DE CALOR Y TUBERÍAS DE TRANSPORTE:

La cotización de la camisa del intercambiador se encuentra adjunta a la del tanque de la empresa Design Ltda.

 NIT No. 890.044.106-4	 SGS	REGISTRO SOLICITUD DE COTIZACIÓN			
		VERSION: 08			
Fecha: FEBRERO 17 de 2014					
Proveedor: TOSIN & CIA LTDA DIRECCION: CALLE 12 # 33 - 39					
Contacto: Ing. Diego					
Teléfonos:					
diegoaponguta@hotmail.com					
Ciudad: Bogotá D.C.					
Numero P.E.No. 14-027					
ITEM	DESCRIPCION	VALOR METRO	LONG. ALETEADO DE CADA TUBO EN MT.	CANTIDAD	VALOR TOTAL
1	TUBERIA ALETEADA Ø3/4 LONGITUD DE ALETEO 1000mm; 9-10hpp, . Aleta; Aleta pata en L en aluminio, espesor de la aleta 0,4mm. Material de tubería INOX. 304 CON COSTURA.	\$ 145.000	1 METRO	1	\$ 145.000
CERTIFICADO DE CALIDAD: ISO 9001 - 2008					
CONDICIONES DE PAGO: 50% Anticipo 50% Contra-Entrega en Tosin & Cia. Ltda					 Aprobo : HERNANDO TOSIN. GERENTE.
TIEMPO DE ENTREGA: 30 dias a partir de la orden de compra.					
VALIDEZ DE OFERTA: 15 DIAS A PARTIR DE LA FECHA. IVA 16% ADICIONAL					
SITIO DE ENTREGA: EN TOSIN & CIA LTDA					
Fecha de emisión: 12 de Noviembre De 2013		Aprobo: Gerente			
TOSIN Y COMPAÑIA LTDA. CALLE 12 No. 33-39 ZONA INDUSTRIAL 3-510614 2-374631 2-773860 2-472842 www.tosin.com.co e-mail: tosint@gmail.com					



BUCARAMANGA
CARRERA 27 No. 55-16

SOTOMAYOR
PBX: 6571556
FAX: 6437778
E-mail: VENTASBUC2@CASAVAL.NET

Cotización N°: 2100095724

Página 1 de 1

Fecha: 17.06.2014
Vigencia: 12.07.2014
Señores: DIEGO ANDRES PONGUTA
Cód.Cliente: 100001
Atn.:
Dirección: xxxx

Solicitud de Oferta: 32132
Condición de Pago: Pago de Contado
Termino de entrega:
Nit:
Teléfono:
Sitio de entrega: xxxx

En atención a su solicitud, con gusto enviamos la cotización correspondiente a los productos de su interés.

ITEM	CODIGO	DESCRIPCION	MARCA	U/M	CANT	VR. UNIT	VR. TOTAL	DÍAS DE ENTREGA APROX.
10	AC00003130	CODO SCH40 INOX. 2" 304L	-	UN	4	12.215	48.858	4
20	FZ00006070	FILTRO INOX. 316 2" FDO. 150	VALVETEK	UN	1	181.539	181.539	4
30	AR00005640	RED.CON. INOX 2" X 1" ROSC.304 150	-	UN	1	6.728	6.728	4
40	VG00006300	VAL. GLOBO INOX. 2" 101B 200 316 FDA.	-	UN	1	41.133	41.133	4
50	TS00001200	TUBERIA INOX. 304 SCH40 2"	-	UN	1	258.048	258.048	4
60	TS00001140	TUBERIA INOX. 304 SCH40 1"	-	UN	4	124.898	499.590	4
70	ACS0000064	CODO INOX.SCH40 1" 304	-	UN	8	5.693	45.542	4
80	AR00006010	RED.CONC.SCH40 INOX. 304 1"X 3/4"	-	UN	2	5.205	10.410	4
90	ARS0000180	RED. CONC. INOX.SCH40 6"x4" 304	-	UN	1	141.445	141.445	4
100	ATZ0001118	TEE INOX. SCH40 6" 304	ZIBO	UN	1	355.104	355.104	4
110	TS00001240	TUBERIA INOX. 304 SCH40 6"	-	UN	1	1.345.475	1.345.475	4

OBSERVACIONES:	SUB TOTAL	2.933.872	COP
OFERTA SUJETA A DISPONIBILIDAD DE INVENTARIO	IVA 16	469.420	COP
	FLETE	0	COP
	TOTAL	3.403.292	COP
CORDIALMENTE,			
CARREÑO DAMARIS DIRECTOR COMERCIAL	SEPULVEDA MENESES JULIANA ANDREA ASESOR MOSTRADOR		