



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA OPTIMIZAR
EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA
MÁQUINA ESCALDADORA DE POLLOS.**

Autor

ERNESTO JULIÁN PÉREZ HERNÁNDEZ

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica

Medellín, Colombia

2019



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA
OPTIMIZAR EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN UNA MÁQUINA
ESCALDADORA DE POLLOS.**

Ernesto Julián Pérez Hernández

Informe de práctica
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Mecánico

Asesor Interno:

Andrés Felipe Colorado Granda- Ph. D, Ingeniero Mecánico

Asesor Externo:

Juan Felipe Gonzales Franco- Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica.
Medellin, Colombia

2019.

Tabla de Contenido

1. Introducción	6
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo general.....	10
2.2. Objetivos específicos	10
3. Metodología	11
4. Marco Teórico	14
4.1. Proceso de escaldado.....	14
4.2. Tecnologías para el escaldado	15
4.2.1 Mezclado de vapor y liquido.....	15
4.2.2 Combustión sumergida	15
5.2.4. Sistema de tubos inmersos	16
4.3. Eficiencia del proceso con caldera	17
4.3.1 Pérdidas de presión en tubería.....	17
4.3.2 Pérdidas de calor por flujo interno forzado, convección y radiación al medio ambiente	22
4.3.3 Pérdidas de calor en paredes de la escaldadora	27
4.3.4 Eficiencia del proceso actual de calentamiento.	29
4.4. Cálculo potencia necesaria para sistema de calentamiento de tubos inmersos.....	29
5. Resultados y análisis	32
5.1. Resultados pérdidas de presión en tubería	32
5.2. Resultados pérdidas de calor en la tubería.....	33
5.3. Resultados pérdidas de calor en paredes de la escaldadora.....	34
5.4. Sistema de calentamiento de tubos inmersos.	35
5.4.1 Selección de equipo para implementar sistema de tubos inmersos	39
5.4.2 Comparación entre los dos sistemas de calentamiento	41
6. Conclusiones	42
7. Bibliografía	43
8. Anexos	44

Lista de Figuras

Figura 1. Zona de colgado de aves. Tomada de [4].....	6
Figura 2. Aturdidor de aves. Tomada de [5]	7
Figura 3. Escaldadora de aves.....	7
Figura 4. Corte transversal de escaldadora. Tomada de [6].....	8
Figura 5. Metodología gráfica.....	13
Figura 6. Inyección de vapor. Tomada de [3].	15
Figura 7. Sistema de combustión sumergida. Tomada de [11].....	16
Figura 8. Sistema de tubos inmersos. Tomada de [12]	16
Figura 9. Funcionamiento sistema de calentamiento con caldera.	17
Figura 10. Flujo interno.....	22
Figura 11. Red de resistencias para el análisis.	22
Figura 12. Relaciones para convección natural. Tomada de [14].	27
Figura 13. Dimensiones generales tanque.	30
Figura 14. Diagrama SANKEY del proceso de calentamiento con caldera. 35	
Figura 15. Funcionamiento sistema de calentamiento de tubos inmersos. .	36
Figura 16. Intercambiador de calor a contraflujo. Tomada de [14].	38
Figura 17. Capacidades disponibles quemadores Pirotec.	39
Figura 18. Diagrama SANKEY- Tubos inmersos.	40
Figura 19. Consumo combustible quemador Pirotec.	41

Lista de Tablas

Tabla 1. Actividades del proyecto.....	11
Tabla 2. Cronograma de actividades.....	13
Tabla 3. Ficha técnica caldera vertical TECNİK de 50BHP.	17
Tabla 4. Datos de operación de caldera.	18
Tabla 5. Especificaciones tubería HR.	18
Tabla 6. Especificaciones tubería inox 304.	18
Tabla 7. Propiedades iniciales del vapor.	19
Tabla 8. Parámetros tubería HR.	20
Tabla 9. Parámetros tubería inox 304.....	20
Tabla 10. Coeficientes tubería HR.	21
Tabla 11. Coeficientes de tubería inox 304.	21
Tabla 12. Parámetros para flujo interno forzado.....	23
Tabla 13. Propiedades a temperatura promedio.	24
Tabla 14. Resistencia por conducción.....	25
Tabla 15. Propiedades a Tf.	25
Tabla 16. Resistencia por convección.....	26
Tabla 17. Resistencia por radiación.	26
Tabla 18. Parámetros tanque de escaldado.	27
Tabla 19. Propiedades a Tf tanque.....	28
Tabla 20. Resistencia convección placa vertical.	28
Tabla 21. Resistencia placa horizontal inferior caliente.....	28
Tabla 22. Resistencia placa horizontal superior caliente.	28
Tabla 23. Resistencia por radiación.	28
Tabla 24. Dimensiones del tanque.	30
Tabla 25. Propiedades agua a Tprom.....	31
Tabla 26. Factor de fricción tubería HR.....	32
Tabla 27. Factor de fricción tubería inox.	32
Tabla 28. Pérdidas mayores tub. HR.....	33
Tabla 29. Pérdidas menores tub. Inox.....	33
Tabla 30. Eficiencia del sistema.	34
Tabla 31. Potencia necesaria del nuevo sistema.....	35
Tabla 32. Datos de entrada tubos inmersos.	37
Tabla 33. Propiedades de humos de combustión.....	37
Tabla 34. Propiedades del agua.	37
Tabla 35. Resultados de intercambiador de calor.	39
Tabla 36. Consumo anual de gas natural para quemador.....	41
Tabla 37. Consumo anual de ACPM caldera.	42

Resumen

En el presente trabajo se expone el estudio realizado para el diseño de un intercambiador de calor, el cual será implementado en una escaldadora de pollos con el fin de calentar el agua contenida en el tanque de escaldado y mejorar la eficiencia del proceso actual.

Generalmente las plantas procesadoras de aves hacen este proceso con el uso de una caldera, donde el vapor es inyectado al agua contenida en el tanque de escaldado para elevar la temperatura a 65°C , la cual es la temperatura óptima del proceso. En este sentido, el calentamiento del agua líquida se logra mediante el mezclado directo del vapor de la caldera y el agua fresca.

En el proceso de convertir agua en vapor se emplea una gran cantidad de energía térmica, por lo cual la demanda de combustible es elevada, esto hace que los gastos por consumo de combustible sean altos, por tal motivo se desea realizar un cambio en el proceso de manera que se puedan implementar otros equipos que garanticen la calidad de los productos, además de generar ahorros económicos y mejorar la eficiencia del sistema para las plantas.

El equipo que se estudia para su implementación es un sistema de calentamiento de agua por medio de tubos inmersos, este tipo de sistemas tiene una eficiencia mayor a las calderas, es de fácil instalación y mantenimiento brindando una gran opción para mejorar el proceso. Este sistema consta de un serpentín por el cual se transfiere calor al agua de la escaldadora de manera que los gases de combustión del quemador de tubo radiante generen la energía necesaria para el calentamiento del fluido de dicho proceso.

1. Introducción

La avicultura es constituida como una de las actividades más relevantes en el contexto alimentario [1] por la producción de alimentos para el consumo humano, también se ejerce mercado al ser aprovechados los subproductos, donde alrededor del 25% de las aves no son utilizadas para el consumo humano directo pero, son empleados para la elaboración de alimento balanceado para animales, en concentrados a base de soya, melaza, entre otros [2].

El faenado avícola es un proceso ordenado sanitariamente para el sacrificio de las aves, con el objetivo de obtener su carne en condiciones óptimas para el consumo humano [3]. Este proceso se encuentra dividido en varias etapas, la recolección de aves es el proceso inicial una vez estas cumplen su ciclo de crecimiento, la segunda etapa es la recepción de animales que consiste en la llegada de las aves desde la granja de producción hasta la planta de faenado, la tercera consiste en el colgado, matanza y sangrado; las plantas poseen una línea automática con transportador aéreo donde se cuelgan las aves como se muestra en la figura 1, continuando con el aturdimiento mediante la aplicación de shock eléctrico al sumergir la cabeza de las aves en una solución de agua electrificada (figura 2) , de esta manera las aves quedan en un estado de coma, para pasar por el degollador donde se establece un tiempo de sangrado entre 2 y 3 minutos para continuar con el proceso.



Figura 1. Zona de colgado de aves. Tomada de [4].



Figura 2. Aturdidor de aves. Tomada de [5].

La siguiente etapa es el escaldado, el cual consiste una vez sacrificadas las aves, introducirlas en agua caliente (65°C), de tal manera que se pueda transferir calor al cuerpo de las aves para facilitar el desplumado. En la siguiente imagen se muestra una escaldadora de pollos de dos pasos en línea para una planta de 3000 pollos/hora.



Figura 3. Escaldadora de aves.

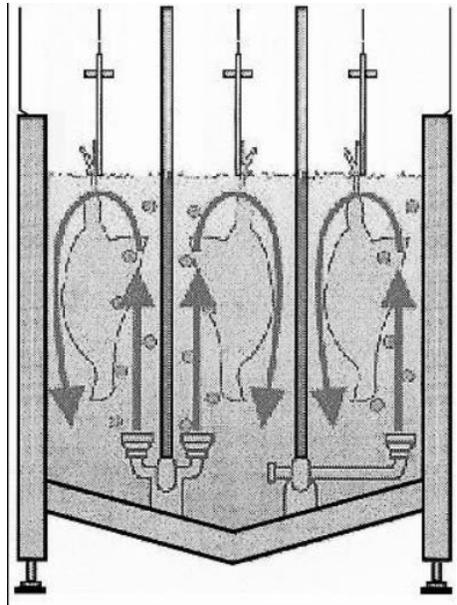


Figura 4. Corte transversal de escaladora. Tomada de [6].

La línea continúa con el desplumado donde las aves pasan por una cámara conformada por discos que llevan dedos de goma girando a velocidades altas, donde estos al entrar en contacto con las aves se encargan de la remoción de las plumas. El siguiente paso es el corte de la cloaca dejando lista la entrada a la cavidad gastrointestinal para continuar con el eviscerado que consiste en la extracción de las vísceras o menudencias donde estas son clasificadas en desechos comestibles no comestibles, el proceso continúa con el lavado de la canal de las aves para finalmente llegar al empaquetado y comercialización.

Este trabajo se enfoca en el análisis del proceso de escaldado, donde uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta al momento del diseño de escaladoras es la relación entre temperatura y tiempo de escaldado, ya que influyen en la apariencia y calidad de las aves como producto final, fundamentalmente se puede mencionar que existen dos métodos de escaldado:

- **Escaldado suave.** A una temperatura de 53°C durante 120 segundos, la ventaja de esta técnica es que no ocasiona daños sobre la capa superficial o cutícula y garantiza el mantenimiento y pigmentación en la piel.
- **Escaldado fuerte.** La temperatura oscila entre los 62 y 65 °C durante 45 segundos, su ventaja es que la remoción de la pluma es más fácil, pero se pierde la cutícula de la piel.

El escaldado en general presenta importantes limitaciones operativas que impiden la homogeneidad de la temperatura del agua en el interior del tanque y la dificultad de subir o bajar rápidamente la temperatura cuando sea necesario. Estas limitaciones pueden afectar negativamente la calidad del escaldado [7], por este motivo es necesario implementar un sistema de calentamiento de agua que garantice la inocuidad del proceso con sistemas eficientes.

En la actualidad existen muchos estudios y desarrollos de sistemas de calentamiento de agua en el mercado, cuyos métodos o procesos varían según la necesidad del proceso, entre los sistemas comerciales para generar agua caliente se destacan los que usan electricidad como energía principal, los que usan circuitos de refrigeración, de fuentes solares, recuperadores de calor de fuentes que lo desechan y los de combustión [8], como calderas de vapor, tubos inmersos, calderas de condensado, combustión sumergida, entre otros. Los sistemas de calentamiento de agua por combustión son y serán los más utilizados por mucho tiempo, ya que el costo de operación es bajo en comparación con otros sistemas, además de las mejoras hechas día a día por desarrollos e investigaciones logradas que hacen obtener eficiencias que superan el 95% en el aprovechamiento térmico [8].

Para el caso donde el agua a calentar entra en contacto con alimentos, los sistemas de calentamiento por combustión deben brindar un modelo adecuado a los requerimientos y normas como el decreto 2278 de 1982, decreto 2162 de 1983, decreto 2131 de 1997 que en Colombia son vigiladas por el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA), las cuales se deben cumplir de acuerdo a los estándares de seguridad y salud para la producción de alimentos. Uno de los grandes problemas de estos sistemas es la contaminación que pueden provocar al tomar su energía de un combustible fósil, por lo cual hay que trabajar con combustibles limpios, como el gas natural y procurar por tecnologías adecuadas de combustión que garanticen la estabilidad, seguridad y que no generen mucho daño al medio ambiente.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema intercambiador de calor para una máquina escaldadora de aves, con la capacidad de llevar al fluido contenido en el tanque a la temperatura ideal de escaldado, cumpliendo con los estándares de calidad y salud requeridos.

2.2. Objetivos específicos

- **Comprender el funcionamiento de sistemas de calentamiento de fluidos para la implementación a nivel industrial.**
- **Definir geometría y dimensiones del sistema de calentamiento para una escaldadora de pollos de 440 kW de potencia nominal.**
- **Seleccionar materiales adecuados para obtener una efectiva transferencia de calor, con una resistencia mecánica ideal y que sea de fácil mantenimiento.**
- **Seleccionar los equipos de medición y control para el correcto funcionamiento del sistema de calentamiento en la escaldadora.**

3. Metodología

Se inició con una revisión bibliográfica sobre los métodos de calentamiento que son implementados para el calentamiento de agua en las plantas procesadoras de aves, por lo general el calentamiento se realiza a través de la inyección de vapor directo al tanque de escaldado, donde el vapor es producido por una caldera.

Para la toma de los datos necesarios y mediciones con el fin de analizar el proceso actual de calentamiento, se realizó una visita técnica a una planta procesadora de aves (Pollos Paulandia), quienes utilizan el sistema de calentamiento con inyección de vapor, donde se tuvieron en cuenta las temperaturas del proceso, además del conocimiento de los equipos necesarios para el efectivo funcionamiento de la máquina.

Se estudiaron diferentes tecnologías de calentamiento de agua para encontrar la mejor opción en la escaldadora, donde se enfocó en un sistema de calentamiento con tubos inmersos, dado que este tipo de sistemas son más eficientes que el uso de calderas implementando los equipos adecuados para su correcta funcionalidad y mantenimiento.

Finalmente se realizan comparaciones entre los dos sistemas para incentivar a la adquisición e implementación de este sistema debido a los grandes aportes que genera a las plantas procesadoras de aves.

En la tabla 1 y 2 se muestra el cronograma de actividades realizadas durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Actividades del proyecto.

1. Recopilar la información necesaria para entender el proceso de escaldado de aves, problemas comunes y las soluciones ejecutadas hasta la fecha para validar todas las problemáticas del proyecto	1.1 Conocer el proceso de escaldado de aves 1.2 Conocer las máquinas que operan en el proceso 1.3 Tener información sobre los problemas tenidos en el proceso.
2. Realizar estudios sobre los diseños que se utilizan en la actualidad e investigar sobre nuevas tecnologías del proceso	2.1 Estudiar procesos de transferencia de calor en escaldadoras 2.2 Realizar análisis de nuevas implementaciones en los diseños actuales

	2.3 Proponer ideas de posibles mejoras en el proceso actual
3. Realizar diseño de placas intercambiadoras de calor con los requerimientos para generar solución a la problemática actual (ahorro energético y económico)	3.1 Realizar hoja de cálculo para determinar dimensiones del serpentín de calentamiento 3.2 Realizar los respectivos CAD de las placas 3.3 Realizar los respectivos planos 3.4 Cotizar costo de equipo
4. Realizar diseño de escaladora con los equipos necesarios para su correcto funcionamiento	4.1 Seleccionar equipos de potencia la alimentación y calentamiento de fluidos 4.2 Determinar equipos de medición y control necesarios para el diseño de la escaladora
5. Realizar análisis de los resultados arrojados por las simulaciones y cálculos realizados	5.1 Analizar eficiencia de la escaladora con el nuevo diseño 5.2 Realizar análisis de consumo energético con la nuevas implementaciones en la escaladora 5.3 Realizar análisis de costos relacionados con inversiones y retorno a la inversión

Tabla 2. Cronograma de actividades.

Actividad/semana	Tiempo en semanas desde inicio del proyecto																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1.1	■																							
1.2		■																						
1.3			■																					
2.1				■	■																			
2.2						■	■																	
2.3								■																
3.1									■	■	■	■												
3.2												■	■	■										
3.3															■	■	■							
3.4																	■							
4.1																		■						
4.2																			■	■				
5.1																				■	■			
5.2																					■	■		
5.3																						■	■	

a.



Figura 5. Metodología gráfica.

4. Marco Teórico

4.1. Proceso de escaldado

El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición de tejidos orgánicos a alguna transferencia de calor, usualmente por exposición a vapor o agua caliente por un tiempo predeterminado a una temperatura específica.

El propósito principal del escaldado es preparar a los alimentos para etapas posteriores. En las plantas procesadoras de aves el escaldado cumple la función de transferir calor a los folículos de las aves para facilitar el proceso de remoción mecánica de las plumas, que es la siguiente etapa.

Este proceso consiste en elevar la temperatura de la materia prima al exponerla en un medio calórico húmedo (generalmente entre 60°C – 65°C) realizando la transferencia de calor en su mayor parte por convección forzada al estar la materia prima en contacto con un fluido en movimiento. El proceso de escaldado presenta principalmente cuatro elementos que son de suma importancia mantener bajo control, los cuales son: temperatura interna del agua donde se mantienen las aves, tiempo de duración del proceso, agitación del agua e inmersión total del ave [9].

La temperatura y el tiempo de permanencia de los productos en la maquina requiere tener en cuenta parámetros como:

- Coeficiente convectivo de transferencia de calor (h)
- Temperatura inicial y final del producto
- Tamaño del producto y nivel de inmersión
- Propiedades termofísicas del producto como, calor específico, densidad, conductividad térmica, difusividad térmica

Estos parámetros infieren en gran parte en el aspecto visual que tiene el producto al final del proceso, mientras que la agitación y la inmersión son los encargados de facilitar el desplumado.

La agitación que se da en el agua dentro de la escaldadora se hace por medio de la inyección de aire, el cual circula por medio de tuberías las cuales tienen ranuras que se encuentran al interior del tanque de manera que se genera turbulencia para obtener una temperatura homogénea en todo el volumen de agua disponible en la escaldadora, también la inyección de aire se encarga de vencer la tensión superficial del agua para que las aves puedan sumergirse completamente y se lleve a cabo un proceso similar en todo el cuerpo de las aves. Se debe tener en cuenta que la presión de salida del aire

debe ser mayor que la presión ejercida por la columna de agua para evitar infiltraciones de esta por la tubería por lo cual se debe seleccionar la bomba de aire adecuada que sea capaz de ejercer la presión suficiente para esta aplicación.

El estudio realizado en este trabajo se basa en la implementación de tubos inmersos, donde se diseñará un intercambiador de calor adecuado bajo las condiciones de operación para garantizar un producto de alta calidad y también generando ahorros económicos a las plantas.

4.2. Tecnologías para el escaldado

Existen varios sistemas que son utilizados para el calentamiento de fluido, en este trabajo se investigó sobre tecnologías que pueden ser empleados en el proceso de escaldado de aves.

4.2.1 Mezclado de vapor y líquido

Este es el sistema más común utilizado en las plantas de faenado avícola, donde se hace el uso de una caldera de vapor para luego este ser inyectado en el agua de la escaldadora, de esta manera se logra un calentamiento rápido ya que hay contacto directo entre el agua y el vapor, pero el proceso requiere una gran demanda de energía térmica elevando los costos por el gran consumo de combustible que se requiere. En la figura 6 se muestra un esquema del funcionamiento de este sistema.

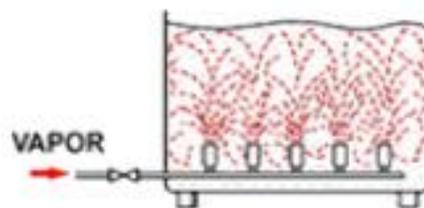


Figura 6. Inyección de vapor. Tomada de [3].

4.2.2 Combustión sumergida

Se trata del calentamiento directo de líquidos (baño), produciendo un burbujeo a través del baño de los gases de combustión producidos en un quemador. Los gases de combustión son introducidos directamente en el baño por el quemador.

La combustión sumergida es ideal para calentar líquidos por debajo de 60°C, cuando las características del baño y del proceso permitan el contacto entre gases de combustión y baño (por la progresiva acidificación que pueden producir éstos en el mismo).

Es el método de calentamiento de mayor rendimiento de entre todas las tecnologías existentes actualmente en el mercado: caldera más intercambiador, caldera más serpentín, etc [10].



Figura 7. Sistema de combustión sumergida. Tomada de [11].

5.2.4. Sistema de tubos inmersos

Es un sistema el cual consta de un quemador y un serpentín de tubos por los cuales circulan los gases productos de la combustión en donde estos tienen contacto directo con los tubos y a su vez los tubos por la alta conductividad térmica que presenta transfieren calor al fluido que se desea elevar la temperatura [12]. En la figura 8 se muestra los componentes y el principio de funcionamiento de este sistema.

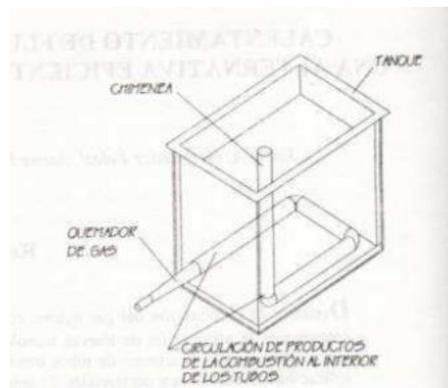


Figura 8. Sistema de tubos inmersos. Tomada de [12].

4.3. Eficiencia del proceso con caldera

El uso de calderas en las plantas avícolas se ha convertido en el más común por falta de conocimiento de sistemas de calentamiento más eficientes. Este método de calentamiento genera varias pérdidas de energía térmica (calor), debido a la eficiencia de la caldera, pérdidas de calor por las paredes del tanque de la escaldadora, pérdidas de calor por la tubería y pérdidas de presión generadas por la fricción en la tubería que traslada el vapor desde el sitio donde se encuentra la caldera hasta el tanque de escaldado. De acuerdo con lo anterior se realiza un análisis ingenieril del sistema para verificar la eficiencia que presenta el proceso, En la figura 9 se presenta un esquema del funcionamiento del proceso de calentamiento por inyección de vapor.

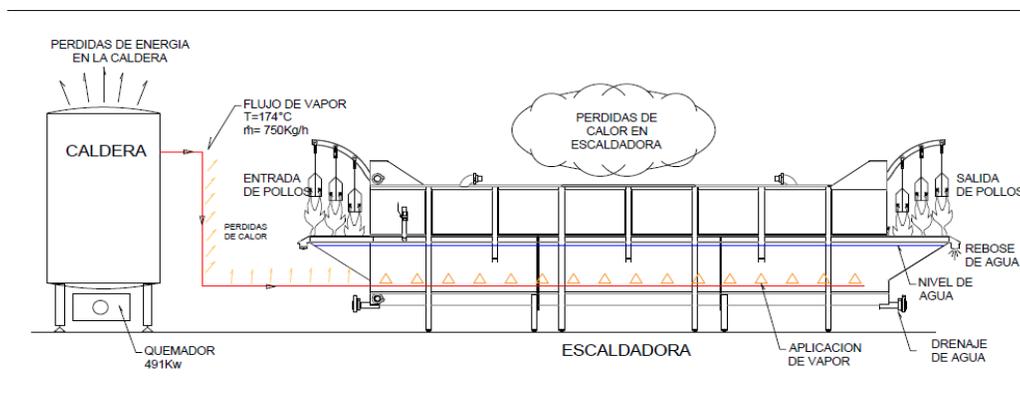


Figura 9. Funcionamiento sistema de calentamiento con caldera.

4.3.1 Pérdidas de presión en tubería

Debido a la ubicación de la caldera se hace necesario un análisis de las pérdidas de presión que se generan por el trayecto recorrido del vapor desde la salida de la caldera hasta el ingreso del tanque de escaldado. De acuerdo a la ficha técnica de la caldera mostrada en la siguiente tabla, la cual es la que trabaja en la planta Pollos Paulandia se obtienen las condiciones de operación del proceso para su respectivo análisis.

Tabla 3. Ficha técnica caldera vertical TECNİK de 50BHP.

CALDERAS VERTICALES PARA VAPOR O AGUA CALIENTE								
CAPACIDAD MODELO B.H.P.	VAPOR LBS/HORA DE 212°F.	PRODUCCION AGUA GALON/HORA		COMBUSTIBLE		PESO NETO CALDERA LIBRAS	DIMENSIONES EN METROS	
		A 180°F.	A 140°F.	ACPM G.P.H.	GAS NT MT ³ / H.		DIAM.	ALTO
6	207	200	300	1,8	6,6	984	0,73	1,50
8	276	267	400	2,4	8,5	1.110	0,73	1,80
10	345	336	504	3,0	10	1.490	0,88	1,68
15	518	502	753	4,5	15	1.749	0,88	2,10
20	690	670	1.005	6,0	20	2.392	1,04	2,10
30	1.035	1.000	1.500	9,1	30	2.810	1,20	2,10
40	1.380	1.340	2.010	12,1	40	3.525	1,20	2,40
50	1.725	1.670	2.500	15,2	50	3.994	1,20	2,75
60	2.070	2.000	3.000	18,0	60	4.640	1,40	2,75
70	2.400	2.340	3.508	21,0	70	5.100	1,50	2,75
80	2.750	2.678	4.016	24,0	80	5.600	1,60	2,75
100	3.450	3.348	5.020	30,0	100	6.800	1,70	3,00

Tabla 4. Datos de operación de caldera.

Datos del sistema		
Presión de trabajo [P_1] manométrica	125	psi
Potencia caldera [Pot. In]	50	BHP
flujo másico de vapor [mvapor]	785	kg/h
Gravedad	9.8	m/s ²
Temperatura del vapor [T_1]	174	°C

La tubería con la cual se transporta el vapor es de acero comercial HR de $1\frac{1}{2}$ pulgadas sch 40 de diámetro y longitud de 20 m, hasta antes de que el vapor ingrese al tanque de escaldado, la tubería dentro de la escaldadora es de $\frac{3}{4}$ de pulgada sch 40 de diámetro de acero inoxidable 304 y longitud de 14 m, ya que esta entra en contacto con alimentos.

En las tablas 5 y 6 se muestran las especificaciones para cada tramo de tubería.

Tabla 5. Especificaciones tubería HR.

Tubería acero comercial sch 40 $\varnothing 1\frac{1}{2}$ "		
Diámetro exterior [$\varnothing_{ext.1}$]	48.28	mm
Diámetro interior [$\varnothing_{int.1}$]	40.89	mm
Longitud tubería [L_{acero}]	20	m
Rugosidad [ϵ_1]	0.08	mm

Tabla 6. Especificaciones tubería inox 304.

Tubería acero inox. 304 sch 40 $\varnothing 3/4$ "		
Diámetro exterior [$\varnothing_{ext.2}$]	26.67	mm
Diámetro interior [$\varnothing_{int.2}$]	20.93	mm
Longitud tubería [L_{inox}]	14	m
Rugosidad [ϵ_2]	0.002	mm

Las propiedades del vapor a la temperatura y presión de trabajo de la caldera se muestran en la siguiente tabla con las cuales se tiene las condiciones de operación iniciales para el análisis de pérdidas de potencia.

Tabla 7. Propiedades iniciales del vapor.

Propiedades del vapor a P1 y T1		
Volumen específico [v]	0.224	m ³ /kg
viscosidad dinámica [μ]	0.0000148	kg/ms
Calor específico [Cp]	2.638	kJ/kgK
Densidad [ρ]	4.464	kg/m ³
Caudal [V]	0.049	m ³ /s
Número de Pr	1.05	
Conductividad térmica [k _{vapor}]	0.0347	W/mK

Aplicando la ecuación de Bernoulli se realizan los cálculos de pérdidas de presión que se obtienen a lo largo de la tubería [13].

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_{bomba} = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{turbina} + h_L \quad \text{Ecuación 1}$$

Se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de pérdidas mayores que son las generadas por la rugosidad generando fricción en la tubería.

$$f = \left(\frac{1}{-2 \log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)} \right)^2 \quad \text{Ecuación 2}$$

Para el cálculo del número de Reynolds, la velocidad del fluido.

$$Re = \frac{\rho D V}{\mu} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde: Re es el número de Reynolds, ρ es la densidad del fluido, D es el diámetro de la tubería, V es la velocidad y μ es la viscosidad dinámica del fluido.

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad \text{Ecuación 4}$$

\dot{V} es el caudal del fluido y A es el área transversal por la que pasa el vapor.

En las tablas 8 y 9 se muestran las propiedades del fluido para cada tramo de tubería.

Tabla 8. Parámetros tubería HR.

PARÁMETROS TUB. 1 1/2"		
Velocidad [v ₁]	37.2	m/s
Rugosidad [ε ₁]	0.08	mm
Diámetro [Ø ₁]	40.89	mm
Reynolds	458773.632	----
Rugosidad relativa [ε ₁ /Ø _{int.1}]	0.00195647	---

Tabla 9. Parámetros tubería inox 304.

PARÁMETROS TUB. 3/4"		
Velocidad [v ₂]	35.5	m/s
Rugosidad [ε ₂]	0.002	mm
Diámetro [Ø ₂]	20.93	mm
Reynolds	224071.355	----
Rugosidad relativa [ε ₂ /Ø _{int.2}]	9.5557E-05	---

Después de calcular el factor de fricción se procede al cálculo de las pérdidas mayores por medio de la siguiente ecuación.

$$h_L = \frac{\Delta P_L}{\rho g} = f \frac{L}{D} \frac{V_{prom}^2}{2g} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde ΔP_L es la diferencia de presión a lo largo de la tubería, ρ es la densidad del fluido a las condiciones especificadas, L es la longitud de la tubería, V es la velocidad promedio del fluido, D es el diámetro de la tubería por la que circula el fluido.

Las pérdidas menores que son las generadas por accesorios como codos, tees, válvulas, entre otros, se calculan por medio de la siguiente ecuación.

$$h_L = K_L \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde K_L corresponde al coeficiente de pérdidas por cada accesorio a lo largo de una tubería, y g es la gravedad.

En las tablas 10 y 11 se muestran los accesorios y sus respectivos coeficientes de fricción para cada tramo de tubería.

Tabla 10. Coeficientes tubería HR.

PERDIDAS MENORES TUB. 1/ 1/2. L=20m			
ACCESORIO	COEFICIENTE K _L	CANTIDAD	EQUIVALENTE
Codo suave enroscado de 90°	0.9	5	4.5
Válvula de compuerta abierta	2.1	3	6.3
Reducciones de 45°	0.04	1	0.04
Perdidas menores [h _{k1}]	1527.2	m	

Tabla 11. Coeficientes de tubería inox 304.

PERDIDAS MENORES TUB. 1/ 1/2. L=14m			
ACCESORIO	COEFICIENTE K _L	CANTIDAD	EQUIVALENTE
Codo suave enroscado de 90°	0.9	3	2.7
Conexión en T (flujo e línea enroscado)	0.9	6	5.4
Unión enroscada	0.08	4	0.32
Válvula de compuerta abierta	2.1	3	6.3
Perdidas menores [h _{k1}]	1888.2	m	

En la ecuación 1, se cancelan términos como z_1 y z_2 ya que para este caso la energía potencial no afecta en gran magnitud las pérdidas generadas, también $h_{turbina}$ y h_{bomba} ya que a lo largo de la tubería no se tienen turbinas y bombas.

De esta manera al despejar ΔP_{1-2} nos da como resultado la siguiente expresión.

$$\Delta P_{1-2} = \left(\frac{(\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2)}{2g} + h_{Ltotal} \right) \rho g \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde α_1 y α_2 son los factores de corrección de energía cinética, su valor es 1,005 para la mayoría de los fluidos, así las pérdidas de potencia a lo largo de la tubería se calculan con la siguiente ecuación.

$$Pot_{perd} = \Delta P \times \dot{V} \quad \text{Ecuación 8}$$

4.3.2 Pérdidas de calor por flujo interno forzado, convección y radiación al medio ambiente

Otro tipo de energía que se pierde a lo largo de la tubería es el calor disipado ya que no se tiene aislamiento en la tubería y el tanque de la escaldadora, por este motivo se realiza un análisis de transferencia de calor de flujo interno en la tubería de acero comercial y también la pérdida de calor por radiación y convección natural de las paredes del tanque de la escaldadora y la tubería [14].

El método que se emplea para este análisis inicialmente es calcular la pérdida de calor que se da por convección interna forzada, a esto se le suma el calor que se pierde por radiación, calculando las resistencias térmicas por convección, radiación y conducción.

En el siguiente esquema se tiene los datos para calcular el calor perdido por convección a lo largo de la tubería.

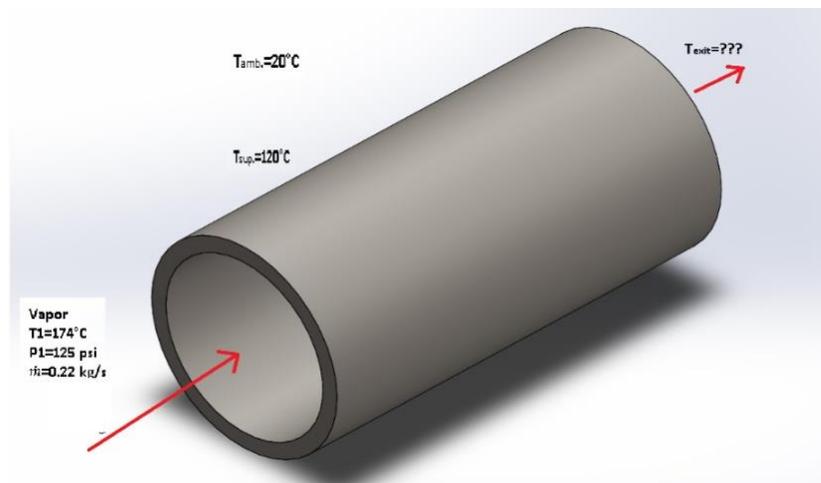


Figura 10. Flujo interno.

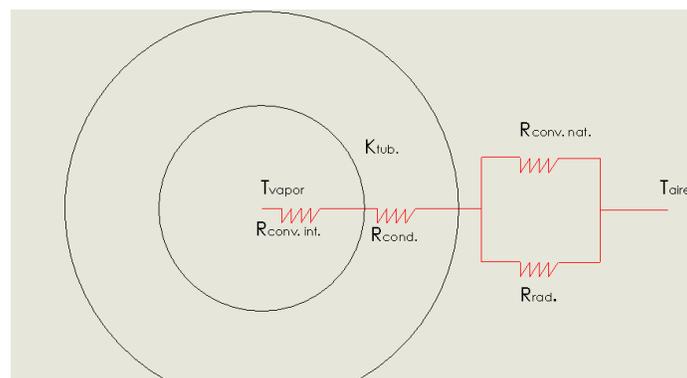


Figura 11. Red de resistencias para el análisis.

Para el análisis de convección interna forzada, se desconoce la temperatura al final del primer tramo de la tubería, por lo tanto, no se puede tener las propiedades a una temperatura promedio entre la entrada y salida, así se trabajará con las propiedades del vapor a 174°C mostradas en la tabla 5. Se trabaja con flujo turbulento, de acuerdo a las propiedades del vapor y se encuentra el número de Nusselt con la siguiente expresión.

$$Nu = 0.023 \times Re^{0.8} \times Pr^{0.3} \quad \text{Ecuación 9}$$

El área superficial de la tubería se calcula como.

$$A_{sup} = \pi \times \phi_{ext.1} \times L \quad \text{Ecuación 10}$$

Con el número de Reynolds mostrado en la tabla 8, el número de Prandtl de la tabla 7 y $\phi_{ext.1}$ correspondiente al diámetro exterior de la tubería HR, se determina el coeficiente de convección con la siguiente expresión.

$$h_{conv.1} = \frac{Nu k}{L_c} \quad \text{Ecuación 11}$$

La longitud característica para este caso es el diámetro por el que se conduce el vapor.

Para calcular la temperatura a la salida de la tubería se tiene.

$$T_e = T_s + (T_s - T_i) e^{-\frac{h \cdot A_s}{\dot{m} C_p}} \quad \text{Ecuación 12}$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores, en la tabla 12 se muestran los parámetros para trabajar con el fluido a la temperatura promedio entre la entrada y la salida.

Tabla 12. Parámetros para flujo interno forzado.

Flujo interno en tub. 1 1/2" sch. 40		
Temperatura entrada [T _i]	174	°C
Temperatura superficie [T _s]	120	°C
Diámetro exterior [$\phi_{ext.1}$]	48.28	mm
Diámetro interior [$\phi_{int.1}$]	40.89	mm
Área sup. [A _s]	3.0335	m ²
# Nusselt [Nu]	789.5	
coeficiente de convección [h]	670.00	W/m ² K
Temperatura salida [T _e]	121.58	°C

Con el valor de la temperatura al final de la tubería, se calcula la temperatura promedio y se toman las propiedades del vapor con esta nueva temperatura.

$$T_{prom} = \frac{T_i + T_e}{2} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$T_{prom} = 147.8^\circ\text{C}$$

En la tabla 13 se muestran los datos y las propiedades del vapor a la temperatura promedio.

Tabla 13. Propiedades a temperatura promedio.

Datos flujo interno a T =147,8°C		
Densidad [ρ]	2.546	kg/m ³
Calor específico [Cp]	2314	kJ/kgK
Conductividad térmica [k _{aire}]	0.0316	w/mK
Número de Pr	1.02	
Viscosidad cinemática [ν]	0.00001399	m ² /s
Reynolds	276789.0259	
# Nusselt [Nu]	522.43	
coeficiente de convección [h]	403.74	W/m ² K

Para el cálculo del calor perdido por la convección interna, se requiere calcular la temperatura media logarítmica (ΔT_{mL}) con la siguiente expresión.

$$\Delta T_{mL} = \frac{\Delta T_e - \Delta T_i}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_i}\right)} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$$\Delta T_e = T_s - T_e \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\Delta T_i = T_s - T_i \quad \text{Ecuación 16}$$

De esta manera, el calor que se pierde por convección interna forzada se calcula con la siguiente expresión.

$$\dot{Q}_{Flujo\ interno.} = hA_s\Delta T_{mL} \quad \text{Ecuación 17}$$

A este calor se le suma el calor que se pierde por conducción en la tubería y la convección natural y radiación del tubo por encontrarse a 100 °C por encima de la temperatura ambiente (20°C).

Para el cálculo de la resistencia por conducción a través de la tubería de acero comercial HR, se tiene que la longitud es de 20 m, y la conductividad térmica de material es $60.5 \frac{W}{m.K}$

$$R_{cond.} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi L k} \quad \text{Ecuación 18}$$

El resultado de la resistencia es.

Tabla 14. Resistencia por conducción.

Conducción de calor tub. 1 1/2" sch 40		
Conductividad térmica [k _{tub. 1}]	60.5	w/mK
Resistencia tub. [R ₁]	2.18518E-05	K/W

Las resistencias por convección natural del aire y radiación se encuentran en paralelo como se ve en la figura 10, para el cálculo de convección natural se toma la temperatura de película como un promedio entre la temperatura de la superficie de la tubería (120°C) y la temperatura ambiente (20°C).

$$T_f = \frac{T_{sup} + T_{amb}}{2} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$T_f = 70^\circ\text{C}$$

Las propiedades del aire a 70°C son las siguientes.

Tabla 15. Propiedades a T_f.

Propiedades del aire a T _f =70°C		
Densidad [ρ]	1.028	kg/m ³
Calor específico [C _p]	1.007	kJ/kgK
Conductividad térmica [k _{aire}]	0.02881	w/mK
Número de Pr	0.7177	
Coefficiente de expansión volu. [β]	0.00291418	1/K
Viscosidad cinemática [ν]	0.00001995	m ² /s
Gravedad [a]	9.8	m/s ²

Para el cálculo del coeficiente de convección natural, se procede a evaluar el número de Rayleigh, con la siguiente expresión.

$$Ra = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} \quad \text{Ecuación 20}$$

La longitud característica para este caso es el diámetro exterior de la tubería, el número de Nusselt se calcula al multiplicar la expresión anterior por el número de Prandtl (Pr).

$$Nu = Ra \times Pr \quad \text{Ecuación 21}$$

Utilizando la ecuación 11 y la siguiente expresión para el cálculo de la resistencia por convección se determina el coeficiente de convección y el valor de la respectiva resistencia.

$$R_{conv.} = \frac{1}{h_{conv} \times A_s} \quad \text{Ecuación 22}$$

Tabla 16. Resistencia por convección.

convección natural		
Temperatura ambiente [T _∞]	20	°C
Temperatura de película [T _i]	70	°C
Longitud característica [Lo]	0.04828	m
Ra	579563.47	
# Nusselt	12.504	
Coefficiente de convección [h]	7.469	W/m ² K
Resistencia convección aire	0.0442	K/W

Para determinar la resistencia debida a la radiación, se tiene en cuenta la emisividad del material, la constante de Boltzmann, para emplearlos en la siguiente expresión.

$$h_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^2 + T_\infty^2)(T_s + T_\infty) \quad \text{Ecuación 23}$$

Tabla 17. Resistencia por radiación.

Radiación Tub. 1 1/2"		
Emisividad [ε]	0.095	
Cte de Boltzmann [σ]	5.67E-08	W/m ² K
Coefficiente de radiación [hrad]	0.888	W/m ² K
Resistencia radiación	0.371	K/W

Con el valor de todas las resistencias se determina R_{total} con la siguiente expresión.

$$R_{total} = R_{cond.} + R_{equivalente.} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde.

$$\frac{1}{R_{equivalente.}} = \frac{1}{R_{conv.}} + \frac{1}{R_{rad.}} \quad \text{Ecuación 25}$$

Así el calor perdido a lo largo de la tubería se calcula con la siguiente expresión.

$$\dot{Q}_{Total} = \dot{Q}_{Flujo\ interno} + \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \quad \text{Ecuación 26}$$

4.3.3 Pérdidas de calor en paredes de la escaldadora

Las paredes del tanque de la escaldadora, en las mediciones que se realizaron se encuentra que están cercanas a 55°C, por lo tanto, pierden calor por radiación y también por convección natural con los alrededores, ya que no tiene aislamiento térmico. Con el uso de las siguientes correlaciones se encuentran las resistencias térmicas para encontrar el calor perdido por transferencia de calor.

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

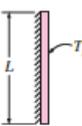
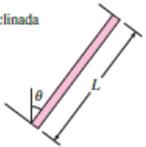
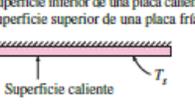
Configuración geométrica	Longitud característica L_c	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	L	$10^4 - 10^9$ $10^{10} - 10^{13}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra^{1/6}}{1 + (0.492/Pr)^{1/4}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	L		Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente Reemplácese g por $g \cos \theta$ para $0 < \theta < 60^\circ$
Placa horizontal (Área superficial A y perímetro p) a) Superficie superior de una placa caliente (o superficie inferior de una placa fría) 	A_s/p	$10^4 - 10^7$ $10^7 - 10^{11}$	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$ (9-22) $Nu = 0.15Ra^{1/3}$ (9-23)
b) Superficie inferior de una placa caliente (o superficie superior de una placa fría) 			$Nu = 0.27Ra^{1/4}$ (9-24)

Figura 12. Relaciones para convección natural. Tomada de [14].

Para simplificar el análisis de transferencia de calor, se considera que el tanque tiene cuatro paredes verticales y dos horizontales, una caliente por la superficie inferior y otra caliente por la superficie superior, de esta manera en las tablas 18 y 19 se muestran los parámetros necesarios y las propiedades del aire a la temperatura de película para este caso.

Tabla 18. Parámetros tanque de escaldado.

PERDIDAS DE CALOR POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN		
T. Sup. [Ts]	55	°C
T. Ambiente [Ta]	20	°C
Temper. de película. [Tf]	37.5	°C
Cte. Boltzmann	5.67E-08	W/m ² K ⁴
Emisividad	0.17	

Tabla 19. Propiedades a Tf tanque.

Propiedades del aire a Tf= 37.5°C		
Densidad aire [ρ_a]	1.127	kg/m ³
Calor específico [Cpa]	1.007	kJ/kgK
Conductividad del aire [Ka]	0.02662	W/mK
Viscosidad dinámica [μ]	0.00001918	kg/ms
# de Prandtl [Pr]	0.7255	---
gravedad [a]	9.8	m/s ²

Para las placas verticales se tienen los siguientes resultados con el uso de la figura 11.

Tabla 20. Resistencia convección placa vertical.

Placas verticales		
# Ra	1416057101	
# Nusselt [Nu]	112.295	
Coef. De Convección [ha]	3.73661471	W/m ² K
Resistencia conv. [Ra]	0.0245976	K/W

Para la placa horizontal con la superficie inferior caliente y la figura 11 se tiene.

Tabla 21. Resistencia placa horizontal inferior caliente.

placas horizontal inferior caliente		
# Ra	333658274	
# Nusselt [Nu]	36.4913	
Coef. De Convección [ha]	1.96592491	W/m ² K
Resistencia conv. [Ra]	0.0757	K/W

Similar para el caso de placa horizontal con la superficie superior caliente.

Tabla 22. Resistencia placa horizontal superior caliente.

placas horizontal superior caliente		
# Ra	333658274	
# Nusselt [Nu]	36.493	
Coef. De Convección [ha]	1.9656	W/m ² K
Resistencia conv. [Ra]	0.0757	K/W

Utilizando nuevamente la ecuación 21 se encuentra el coeficiente de convección y le resistencia debido a radiación.

Tabla 23. Resistencia por radiación.

RADIACIÓN		
Coef. Radiación	1.1595	W/m ² K
Resistencia rad. [Rrad]	0.03545	K/W

Por estar todas las resistencias descritas anteriormente en paralelo se hace uso de la siguiente expresión y se determina la resistencia equivalente.

$$\frac{1}{R_{equiv.}} = \frac{1}{R_{conv.1}} + \frac{1}{R_{conv.2}} + \frac{1}{R_{rad.}} \quad \text{Ecuación 27}$$

4.3.4 Eficiencia del proceso actual de calentamiento.

De acuerdo al sistema de calentamiento que se está manejando en la actualidad en Pollos Paulandia, donde trabajan con una caldera, utilizando como combustible petrodiesel (ACPM), de acuerdo a la ficha técnica de la caldera mostrada en la tabla 3, la potencia nominal es de 50 BHP equivalente a 657,51 HP.

La eficiencia de la caldera según la ficha técnica es del 80%, pero en la práctica generalmente se logran rendimientos del 70% por condiciones de instalación y condiciones ambientales según la altura donde se encuentre operando la caldera, en este caso, la caldera trabaja a una altura de 1538 msnm. Con la siguiente ecuación se determina el rendimiento del sistema de calentamiento que se emplea actualmente [15].

$$\eta_{sistema} = \frac{\text{Potencia útil} - \text{Pérdidas de potencia}}{\text{Potencia útil}} \quad \text{Ecuación 28}$$

4.4. Cálculo potencia necesaria para sistema de calentamiento de tubos inmersos

Para el cálculo de la potencia necesaria del sistema, se tiene como parámetros iniciales: el volumen del tanque, tiempo para calentar el agua, tiempo de permanencia de las aves en el tanque, temperatura del proceso (65°C).

En la figura 12 se muestra las dimensiones generales en mm del tanque de escaldado para el cálculo del consumo másico del agua.

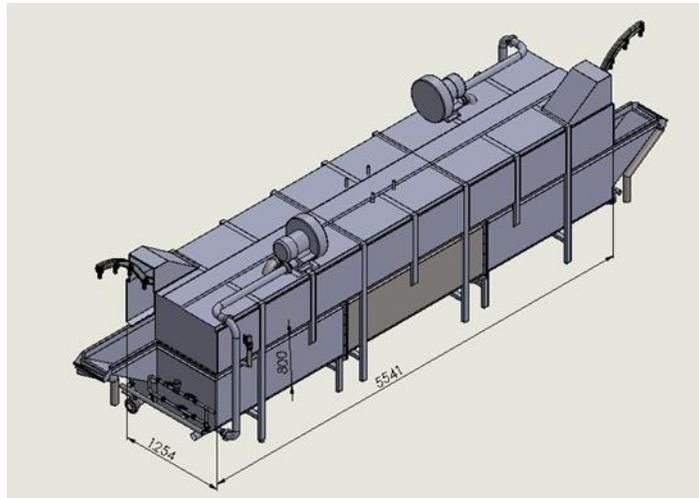


Figura 13. Dimensiones generales tanque.

Tabla 24. Dimensiones del tanque.

Volumen tanque		
Ancho	1.2	m
Largo	0.8	m
Alto	5.6	m
Volumen total	5.376	m ³

La temperatura a la cual se desea llevar el agua es 65°C en un tiempo aproximado de una hora, la temperatura inicial del agua es 20°C.

De acuerdo con los datos anteriores el cálculo de la potencia se lo realiza de la siguiente manera:

$$Pot. = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

Pot = Potencia del sistema

\dot{m} = Gasto másico del agua para calentar

C_p = Calor específico del agua

ΔT =Diferencia de temperaturas del proceso

Para el cálculo del flujo másico de agua se tiene:

$$\dot{m} = \frac{\rho \times V}{3600} \quad \text{Ecuación 30}$$

En la tabla 25 se muestran las propiedades del agua a la temperatura promedio de las condiciones de operación, que se trabaja para el cálculo de la potencia.

Tabla 25. Propiedades agua a Tprom.

Propiedades agua a Tprom		
Calor específico	4.179	kJ/kg.k
Densidad	992	kg/m ³
masa de agua	5332.992	kg
Flujo másico de agua	1.48	kg/s
Temp. In	20	°C
Temp. Out	65	°C

También se debe tener presente que una vez las aves ingresen al tanque de escaldado, ellas arrastran una carga térmica lo que hace que se deba tener un factor de sobrecarga para que la temperatura óptima del proceso se mantenga siempre cercana a los 65°C, de esta manera garantizar un proceso de escaldado ideal para la producción en las plantas. Se toma como factor de sobrecarga un 10% de la potencia necesaria, además a esto se debe sumar el calor que se pierde por las paredes debido a la radiación y convección natural el cual puede tomarse como las pérdidas calculadas anteriormente.

Para el cálculo de la potencia necesaria del quemador a utilizar, se utiliza la siguiente expresión, donde se realiza la suma del calor necesario para cada caso y se tiene en cuenta la eficiencia del quemador para su combustión, por lo general se puede estimar una eficiencia del 78%[12].

$$\dot{Q}_{Requerido} = \frac{\dot{Q}_{sistema} + \dot{Q}_{ave} + \dot{Q}_{Paredes}}{\eta_{quemador}} \quad \text{Ecuación 31}$$

5. Resultados y análisis

5.1. Resultados pérdidas de presión en tubería

En las tablas 26 y 27 se muestra las iteraciones necesarias para el cálculo del factor de fricción para encontrar las pérdidas de presión a lo largo de la tubería utilizando la ecuación 2.

Tabla 26. Factor de fricción tubería HR.

CW FACTOR DE FRICCIÓN	
f'	f1
0,015	0,02379283
0,02379283	0,023690026
0,02369003	0,023690889
0,02369089	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882
0,02369088	0,023690882

Tabla 27. Factor de fricción tubería inox.

CW FACTOR DE FRICCIÓN	
f'	f2
0,015	0,01618044
0,01618044	0,02377435
0,02377435	0,02369018
0,02369018	0,02369089
0,02369089	0,02369088
0,02369088	0,02369088
0,02369088	0,02369088
0,02369088	0,02369088
0,02369088	0,02369088
0,02369088	0,02369088
0,02369088	0,02369088

Con este factor y utilizando la ecuación se realiza el cálculo de perdidas mayores para cada tramo de tubería como se muestra en las tablas 28 y 29.

Tabla 28. Pérdidas mayores tub. HR.

PÉRDIDAS MAYORES Tub. 1 1/2"		
velocidad tub.1 [v1]	37.196	m/s
Rugosidad relativa [$\epsilon_1/\phi_{int.1}$]	0.002	---
Reynolds	458773.632	---
Factor de fricción [f]	0.024	----
Perdidas mayores [h_{L1}]	817.94	m

Tabla 29. Pérdidas menores tub. Inox.

PÉRDIDAS MAYORES Tub. 3/4"		
velocidad tub.2 [v2]	35.492	m/s
Rugosidad relativa [$\epsilon_2/\phi_{int.2}$]	0.0001	---
Reynolds	224071.355	---
Factor de fricción [f]	0.024	----
Perdidas mayores [h_{L2}]	1018.45	m

Sumando las pérdidas menores y mayores mostradas en las tablas 10, 11, 26 y 27 se tiene que las pérdidas totales a lo largo de la tubería son:

$$h_{Ltotal} = 5251.81 \text{ m}$$

De esta manera con el uso de la ecuación 7 se tiene que las pérdidas de presión son:

$$\Delta P = 229611.61 \text{ Pa}$$

Reemplazando el caudal mostrado en la tabla 5 y las pérdidas de presión mostradas en la ecuación 8 se tiene que la potencia perdida a lo largo de la tubería es:

$$Pot_{perd} = 11215.3W = 15.034 \text{ HP}$$

5.2. Resultados pérdidas de calor en la tubería

Utilizando la ecuación 17 y los datos encontrados para el análisis de pérdidas de calor por flujo interno forzado se tiene que:

$$\dot{Q}_{Flujo \text{ interno}} = 18717.9W$$

$$\dot{Q}_{Flujo \text{ interno}} = 25.1HP$$

Con las resistencias calculadas y usando la ecuación 24 para el cálculo de la resistencia total a lo largo de la tubería HR se tiene que:

$$R_{total} = 0.03951 \frac{K}{W}$$

De esta manera, el calor perdido a lo largo de la tubería con la ecuación 26, se tiene que:

$$\dot{Q}_{Total} = 34912.73 W$$

$$\dot{Q}_{Total} = 46.8 HP$$

5.3. Resultados pérdidas de calor en paredes de la escaldadora

Para el análisis de pérdidas de calor en el tanque de escaldado y es uso de las correlaciones mostradas en la figura 4, se tiene que la resistencia total que se presenta en este caso utilizando la ecuación 27 es de:

$$R_{equiv} = 0.015 \frac{K}{W}$$

Donde el calor perdido en el tanque de escaldado es:

$$\dot{Q}_{escald} = 3334.67 W$$

$$\dot{Q}_{escald} = 4.47 HP$$

En la tabla 30 se muestra la potencia de entrada al sistema que es la suministrada por la capacidad de la caldera, las pérdidas de potencia o calor que se analizaron y la eficiencia del sistema con el uso de la ecuación 28.

Tabla 30. Eficiencia del sistema.

EFICIENCIA DEL SISTEMA		
Potencia de entrada	657.507	HP
Pérdidas de calor en tubería	46.8	HP
Pérdidas en escaldadora	4.47	HP
Eficiencia	0.58899	

Entonces la eficiencia del sistema actual de escaldado de aves es de:

$$\eta_{sistema} = 58.8 \%$$

En la figura 13 se presenta el diagrama sankey del proceso de calentamiento utilizando la inyección de vapor, donde se observa las pérdidas que se presentan a lo largo del transporte del fluido hasta llegar al tanque de escaldado.

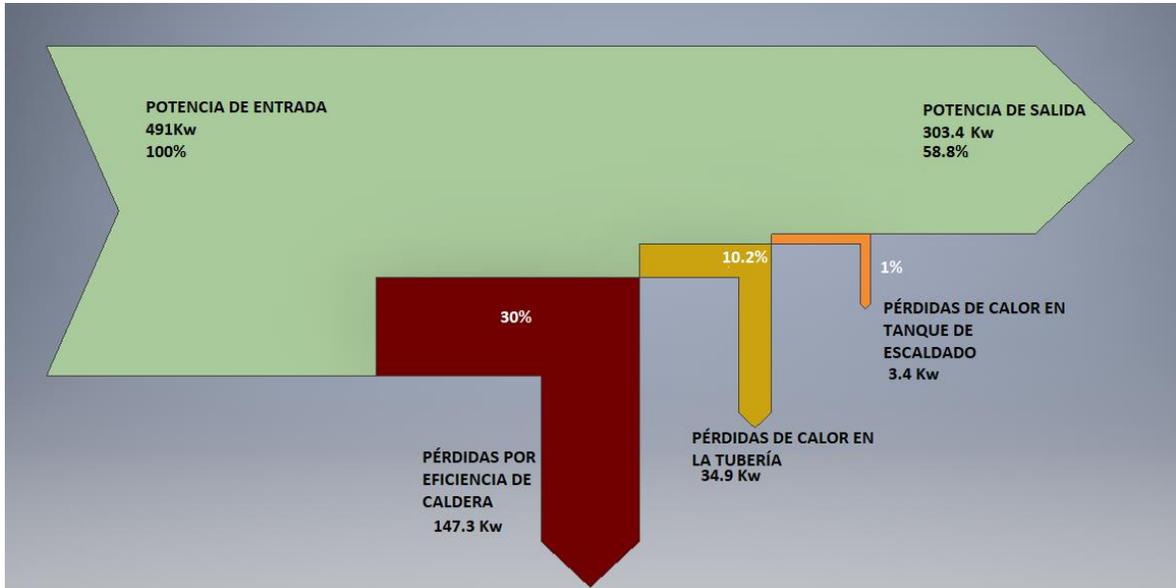


Figura 14. Diagrama SANKEY del proceso de calentamiento con caldera.

La energía total suministrada a la entrada de la caldera corresponde al consumo másico del combustible por su poder calorífico superior, esta es la potencia de la caldera (50 BHP), el 30% corresponde a las pérdidas de energía al interior de la caldera y a la pérdida en los humos, el 10.2% al calor disipado en el recorrido del vapor hasta el tanque de escaldado y el 1% al calor que se pierde en el tanque de escaldado ya que este no cuenta con aislamiento térmico.

5.4. Sistema de calentamiento de tubos inmersos.

En la tabla 31 se muestra la potencia necesaria de trabajo que se necesita de acuerdo al análisis implementando un quemador.

Tabla 31. Potencia necesaria del nuevo sistema.

Resultados		
Potencia requerida	393.145	kW
Potencia requerida	40.076	BHP
Potencia requerida	527.004	HP
Potencia requerida	1,235,316.56	BTU/h

Debido a la potencia de trabajo que se necesita para el sistema de calentamiento de tubos inmersos, se encuentra que la mejor opción es implementar un equipo con quemador de tubo radiante, utilizando como combustible gas natural, y el uso de un serpentín con las dimensiones ideales para generar una buena transferencia de calor al agua contenida en el tanque de escaldado.

Para el análisis matemático de transferencia de calor se asume que los gases productos de la combustión tiene propiedades similares a las del aire, además se sabe que la temperatura de llama adiabática del gas natural es aproximadamente 1963°C , para este caso la temperatura que alcanza la llama es de 1000°C . además se requiere un diámetro y longitud específicos para un buen desarrollo de la llama y se genere un buen proceso de transferencia de calor, generalmente y bajo criterio de los proveedores, con la implementación de este tipo de quemadores se obtienen temperaturas de humos de alrededor de 200°C .

Por criterios de los proveedores de este tipo de quemadores, el diámetro mínimo que se requiere para el serpentín de calentamiento debe ser de 4 pulgadas sch. 40, para que la llama tenga un buen desarrollo, en la figura 15 se muestra como es la implementación del sistema de calentamiento de tubos inmersos.

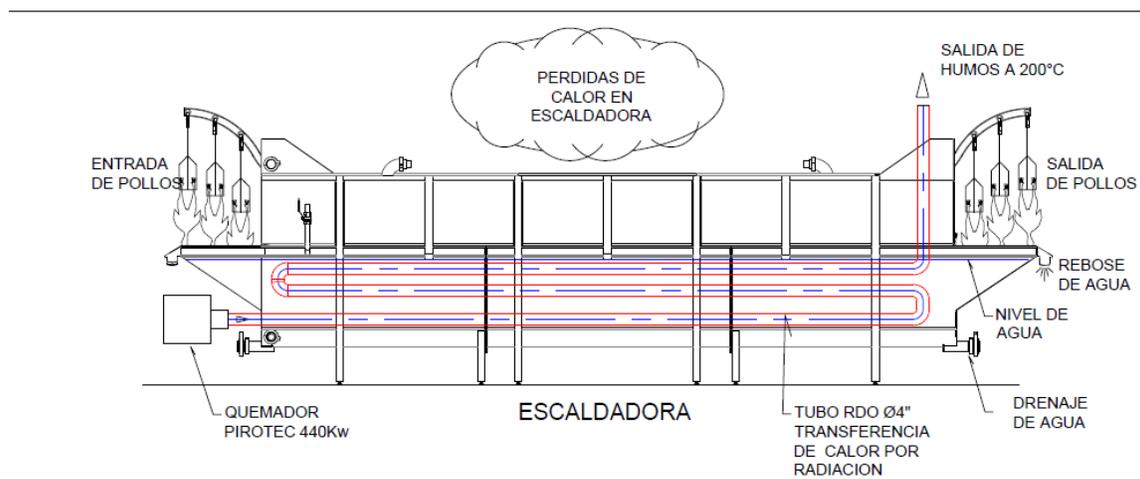


Figura 15. Funcionamiento sistema de calentamiento de tubos inmersos.

En la tabla 32 se muestran los parámetros para el análisis de este sistema de calentamiento.

Tabla 32. Datos de entrada tubos inmersos.

Datos		
Calor requerido	380.987	kW
Temperatura inlet humos	1000	°C
Diámetro exterior tub.	114.3	mm
Diámetro interior tub.	102.26	mm
Conductividad inox 304	14.9	W/K.m
Temperatura out humos	200	°C
Temperatura prom. Humos	600	°C
Temperatura inlet agua	20	°C
Temperatura out agua	65	°C
Temperatura prom. Agua	42.5	°C

Para el cálculo de los coeficientes de convección se utilizan las ecuaciones 9 y 11, para los gases de combustión y para el agua.

Las propiedades de los gases y el agua con su respectivo coeficiente de convección se muestran en las tablas 33 y 34, a sus respectivas temperaturas promedio.

Tabla 33. Propiedades de humos de combustión.

Propiedades de los gases a Tp1		
Densidad	0.4042	kg/m ³
Calor específico	1.115	kJ/kgK
Conductividad term.	0.06093	W/mK
Viscosidad dinámica	0.00003846	kg/mK
Prandtl	0.7037	----
Flujo másico de gases	0.427	kg/s
Velocidad de los gases	128.6611	m/s
Reynolds	138273.857	
Nus	258.985	----
Coef. Convección hi	154.312	W/m ² K

Tabla 34. Propiedades del agua.

Propiedades del agua a Tp2		
Densidad	991.1	kg/m ³
Calor específico	4.18	kJ/kgK
Conductividad term.	0.634	W/mK
Viscosidad dinámica	0.000613	kg/mK
Prandtl	3.7	----
Flujo másico agua	2.02545	kg/s
Velocidad agua	0.002974	m/s
Reynolds	3846.1666	
Nus	28.644	----
Coef. Convección ho	158.882	W/m ² K

Se realizan los cálculos con un análisis de un intercambiador de calor a contraflujo, ya que se puede asumir que los gases de combustión van en dirección opuesta al agua.

El paso a seguir es encontrar el coeficiente global de transferencia de calor para el sistema, para esto, utilizamos la siguiente expresión [14].

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad \text{Ecuación 32}$$

También se hace necesario el cálculo de la temperatura media logarítmica (ΔT_{ml}), para así encontrar el área efectiva de transferencia de calor para el intercambiador de calor utilizando las siguientes expresiones.

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

Donde.

$$\Delta T_1 = T_{h,ent.} + T_{c,sal}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal.} + T_{c,ent.}$$

En la figura 14 se explica cómo se deben trabajar las temperaturas para obtener la temperatura media logarítmica en un intercambiador de calor a contraflujo.

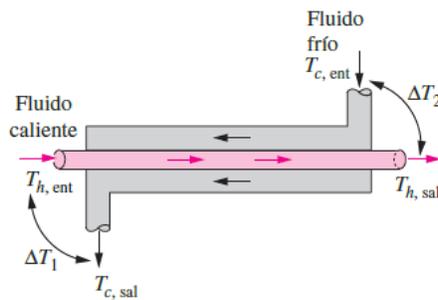


Figura 16. Intercambiador de calor a contraflujo. Tomada de [14].

Para encontrar el área efectiva de transferencia de calor despejamos A_s de la siguiente expresión.

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{ml} \quad \text{Ecuación 33}$$

En la tabla 35 se muestran los resultados para el análisis del intercambiador de calor.

Tabla 35. Resultados de intercambiador de calor.

Coef. Global U	78.282	W/m ² K
ΔT1	935	K
ΔT2	180	K
ΔTml	458.2452	K
Area sup.	10.621	m ²

Para encontrar la longitud efectiva de transferencia de calor se hace uso del diámetro exterior de la tubería de 4 pulgadas sch 40, y se despeja la longitud del área superficial de un cilindro como se muestra a continuación.

$$L = \frac{A_s}{\pi \times \emptyset}$$

Donde el diámetro exterior es de 114,3 mm y A_s corresponde al área superficial mostrada en la tabla 32, de esta manera la longitud efectiva de transferencia de calor es:

$$L = 29.6 \text{ m}$$

5.4.1 Selección de equipo para implementar sistema de tubos inmersos

Un proveedor donde se encuentra quemadores de tubos radiantes que es el que se desea usar en este sistema de calentamiento debido a su alta eficiencia, facilidad de instalación y mantenimiento es Soluciones en Ingeniería Térmica – Termaltec S.A, las capacidades que manejan para este tipo de sistemas se muestran en la siguiente figura.

CAPACIDADES DISPONIBLES TUBOS DE INMERSIÓN		
MODELO	Capacidad (Btu/ h)	Capacidad (KW)
FT 5	500.000	147
FT 7.5	750.000	220
FT 10	1.000.000	293
FT 15	1.500.000	440
FT 20	2.000.000	586

Figura 17. Capacidades disponibles quemadores Pirotec.

La potencia necesaria para implementar el sistema en Pollos Paulandia es de 1'235,316.56 BTU/hr, por lo cual la mejor opción es un quemador PIROTEC BURNERS PT15 High Low el cual lo recomienda el proveedor, las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- Referencia del quemador: PT15
- Capacidad Térmica: 1´500,000 Btu/h.
- Control: High Low.
- Voltaje: 220 vca.
- Combustible: Gas Natural / GLP.

Los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de este sistema, sus especificaciones técnicas y las ventajas competitivas se especifican en los anexos de este informe.

De acuerdo a las especificaciones dadas por el proveedor, se realiza un análisis de la eficiencia del sistema de tubos inmersos utilizando la ecuación 28 y así compararlo con el sistema de caldera actual que se implementa.

Con la potencia suministrada por el quemador y las pérdidas de calor que se tienen por la carga que arrastran las aves y el calor disipado por las paredes de la escaldadora se llega a obtener una eficiencia del sistema de:

$$\eta_{sist.tub.inmersos} = 86.3 \%$$

Esto indica las mejoras que se obtienen al implementar un sistema de tubos inmersos con un quemador de tubo radiante como se muestra en la figura 16.

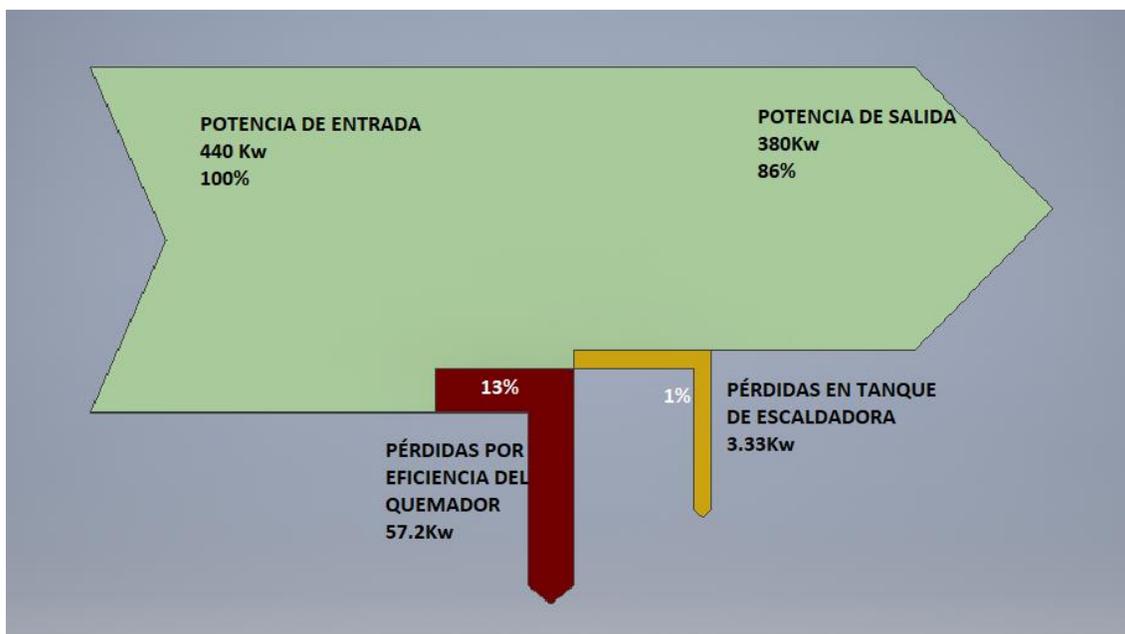


Figura 18. Diagrama SANKEY- Tubos inmersos.

5.4.2 Comparación entre los dos sistemas de calentamiento

Para realizar un análisis de costos, se estima el consumo de combustible para cada sistema de acuerdo a la ficha técnica de la caldera y según la figura 17 para el quemador Pirotec.

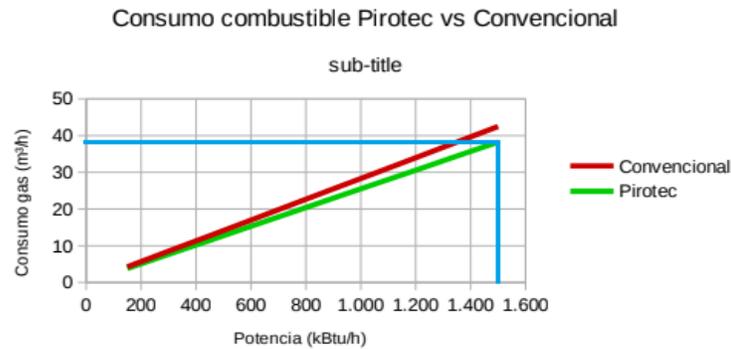


Figura 19. Consumo combustible quemador Pirotec.

En la gráfica se observa que el consumo de gas natural es de alrededor de $38 \frac{m^3}{h}$.

Según la ficha técnica de la caldera mostrada en la tabla 3, el consumo de combustible es de 15.2 galones por hora. En la siguiente tabla se muestra el costo y el consumo del gas natural para el quemador teniendo en cuenta que una jornada de trabajo en una planta corresponde a 8 horas y se trabaja 22 días al mes.

Tabla 36. Consumo anual de gas natural para quemador.

EFICIENCIA Y COSTOS SISTEMA DE TUBOS INMERSOS		
EFICIENCIA	86.3	%
POTENCIA QUEMADOR	1'500,000	BTU/H
COSTO DE GAS NAT.	\$1.593,36	\$/m ³
CONSUMO GAS NAT.	38	m ³ /H
COSTO POR H. GAS NAT.	\$60.547,68	\$/H
COSTO POR TURNO GAS NAT	\$484.381,44	\$/TURNO
COSTO POR MES GAS NAT.	\$10.656.391,68	\$/MES
COSTO ANUAL GAS NAT.	\$127.876.700,16	\$/AÑO

Para la caldera que trabaja en Pollos Paulandia se muestran los consumos y costos correspondientes en la tabla 37.

Tabla 37. Consumo anual de ACPM caldera.

EFICIENCIA Y COSTOS SISTEMA DE CALDERA		
EFICIENCIA	59.9	%
POTENCIA CALDERA	491	kW
COSTO DE ACPM	\$9.218,00	\$/m3
CONSUMO ACPM	15.2	G/H
COSTO POR H. ACPM	\$140.113,60	\$/H
COSTO POR TURNO ACPM	\$1.120.908,80	\$/TURNOS
COSTO POR MES ACPM	\$24.659.993,60	\$/MES
COSTO ANUAL ACPM	\$295.919.923,20	\$/AÑO

Con los gastos económicos en cuestión del consumo de combustible, se observa que el ahorro anual es de \$ 168´043,223.04 COP/AÑO, esto debido a la eficiencia del equipo y la buena operatividad al momento de producción de la planta.

6. Conclusiones

- El desconocimiento de las plantas de faenado avícola sobre sistemas de calentamiento de agua, hace que la inversión económica en equipos como calderas produzca pérdidas tanto energéticas como económicas en los procesos como el escaldado de aves, esto implicando también el costo de mantenimiento de los equipos y la complejidad de hacerlo.
- Las pérdidas de calor a lo largo de los 20 metros de tubería de HR son muy altas, esto debido a que la red de tubería no cuenta con aislamiento lo cual sería recomendado para no perder tanta energía y hacer más eficiente el proceso de transporte de vapor y calentamiento de agua.
- El sistema de tubos inmersos para calentamiento de agua es más eficiente que el proceso con caldera, de esta manera la inversión inicial que se puede hacer en los equipos es retribuida en los ahorros generados a lo largo del tiempo, también cabe resaltar que el proceso requiere un tiempo de instalación y mantenimiento menor a utilizar una caldera.
- Al realizar el estudio del sistema de calentamiento por tubos inmersos se encuentra que la potencia requerida para calentar el agua es menor a la potencia suministrada por la caldera, esto se esperaba ya que la eficiencia

de los equipos utilizados por este sistema es mayor, implicando ahorro energético y económico a las plantas de faenado avícola.

- En los diagramas SANKEY de cada sistema de calentamiento, se observa que en el sistema de tubos inmersos la potencia de salida al agua del tanque de la escaldadora, es mayor que la del sistema con inyección de vapor, esto debido al óptimo diseño y eficiencia del equipo.

7. Bibliografía

- [1]. Jacho , E., & Chiriboga, P. (2015). *Evaluación de tres balanceados energéticos-proteícos comerciales y dos aditivos alimenticios en la alimentación de pollos parrilleros. Tumbaco, Pichincha.* Quito: UCE.
- [2]. Campos, I., Valente, L., Matos, E., Marques, P., & Freire, F. (11 de Noviembre de 2018). *Rendering de Subproductos Avícolas: Utilización en Nutrición Animal.* Obtenido de Nutrinews: <https://nutricionanimal.info/rendering-de-subproductos-avicolas-utilizacion-en-nutricion-animal/>
- [3]. Bueno , P. (18 de Abril de 2015). *SACRIFICIO Y FAENADO DE AVES.* Obtenido de PREZI: https://prezi.com/dufvz_b2kmhm/sacrificio-y-faenado-de-aves/
- [4]. Cervantes, E. (6 de JULIO de 2009). *Ideas para disminuir la contaminación microbiana durante el procesamiento.* Obtenido de WattAgNet.com: <https://www.wattagnet.com/articulos/3335-ideas-para-disminuir-la-contaminacion-microbiana-durante-el-procesamiento>
- [5]. *Aplicación de la corriente eléctrica adecuada en el aturdido a la luz de la normativa de la UE.* (15 de Noviembre de 2014). Obtenido de Seleccionesavicolas.com: <https://seleccionesavicolas.com/avicultura/2014/11/aplicacion-de-la-corriente-electrica-adecuada-en-el-aturdido-a-la-luz-de-la-normativa-de-la-ue>
- [6]. Cruz, J. (30 de Junio de 2012). *ETAPAS DEL PROCESO DE FAENA MIENTO DE POLLOS BOILER.* Obtenido de MATANZA DE AVES DE MANERA INDUSTRIAL Y MANUAL: <http://matanzadeaves.blogspot.com/>
- [7]. Nunes, F. (01 de Febrero de 2008). *El ABC del Escaldado y Desplumado.* Obtenido de www.VETANCO.com: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/abc-escaldado-desplumado-t27452.htm>
- [8]. Quirós, E. (26 de Noviembre de 2019). *Sistemas de calentamiento de agua.* Obtenido de Sepa como Instala: <http://sepacomoinstalar.com.ar/sistemas-de-calentamiento-de-agua/>

- [9]. Muñoz , D., Diaz, N., & Cabrera, G. (2011). EFECTO DE LA VELOCIDAD Y DE LA LINEA DE COLGADO, EN EL PORCENTAJE DE PLUMA Y DESPIGMENTACIÓN DE AVES BLANCA Y CAMPESINA, DURANTE EL PROCESO DE ESCALDADO. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 69-76.
- [10]. Bagley, J. (2002). Consider Submerged Combustion for Hot Water Production. *CepMagazine*, 1-4.
- [11]. *Submerged Combustion*. (s.f.). Obtenido de INPROHEAT INDUSTRIES LTDA: <http://inproheat.com/product/category/subcom>
- [12]. Hernández, J., Cortes, J., & Amell, A. (2000). CALENTAMIENTO DE FLUIDOS CON TUBOS INMERSOS: UNA ALTERNATIVA EFICIENTE PARA USO A NIVEL INDUSTRIAL. *CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERIA*, 35-44.
- [13]. Cengel, Y., & Cimbala, J. (2012). *MECÁNICA DE FLUIDOS. Fundamentos y aplicaciones*. México D.F.: Mc. Graw Hill.
- [14]. Cengel, Y. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA. Un enfoque práctico*. México D.F.: McGraw-Hill.
- [15]. Cengel, Y., & Boles, M. (2011). *TERMODINÁMICA*. México D.F.: McGraw-Hill.

8. Anexos

N.º COT 010401

Medellín, Abril 01 de 2019.

Ingeniero
Julián Pérez
Tekpro

Apreciado señor

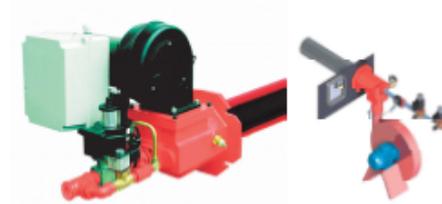
TERMALTEC S.A. Tiene el gusto de presentarle la propuesta para el suministro de un quemador PIROTEC BURNERS PT15 High Low de trabajo pesado para la aplicación solicitada de acuerdo a la configuración técnica de los siguientes elementos:

1. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS:

1.1 SISTEMA DE COMBUSTIÓN.

Se suministra un quemador PIROTEC BURNERS serie Piro Tube de alta eficiencia con boquilla de mezcla de múltiple etapa para gas con espacio amplio y suficiente para garantizar el 99,5% de eficiencia de combustión a las condiciones normales de operación, La ubicación estratégica de los orificios del aire y del gas permite una excelente relación entre la capacidad mínima (10%) y la capacidad máxima (100%) de operación del quemador permitiendo consumos mínimos de combustible cuando el proceso no requiere energía.

Referencia del quemador: PT15
Capacidad Térmica: 1.500.000 Btu/h.
Control: High Low.
Voltaje: 220 vca.
Combustible: Gas Natural / GLP.



La boquilla de múltiple etapa de combustión para gas genera ahorros de combustible debido a la configuración y ubicación estratégica de los orificios que permiten una mezcla óptima entre el aire y el gas reduciendo considerablemente la generación de monóxido de carbono (Fig 1) y permitiendo el ingreso del aire a mayor presión incrementando los coeficientes de transferencia de calor en el sistema de calentamiento. (Fig 2).

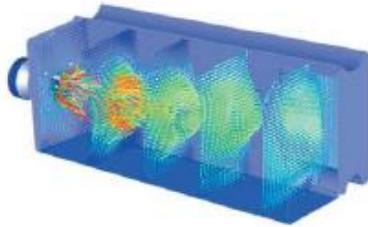


Ilustración 1: Reducción de generación de CO



Ilustración 2: Aumento de temperatura

Los quemadores Pirotec Burners son fabricados en fundición para garantizar su operación continua bajo condiciones extremas en ambientes húmedos, corrosivos y contaminados; la robustez propia de su forma constructiva entrega mas años de operación garantizando la mejor relación costo beneficio.

1.2 TREN DE VÁLVULAS CERTIFICADO PARA GAS.

El quemador incluye un tren de válvulas marca ELECTROMECÁNICA DELTA ITALY empresa que soporta técnicamente el ensamble de cada uno de los quemadores ofrecidos. Cada tren de válvulas se suministra debidamente certificado para gas bajo normas internacionales según la necesidad del cliente (UL, IRI, NFPA, CE) Cada elemento se suministra debidamente ensamblado , cableado y calibrado como un conjunto completo dentro del sistema de combustión para garantizar la seguridad en la operación del quemador.

1.3 TABLERO GENERAL DE CONTROL.

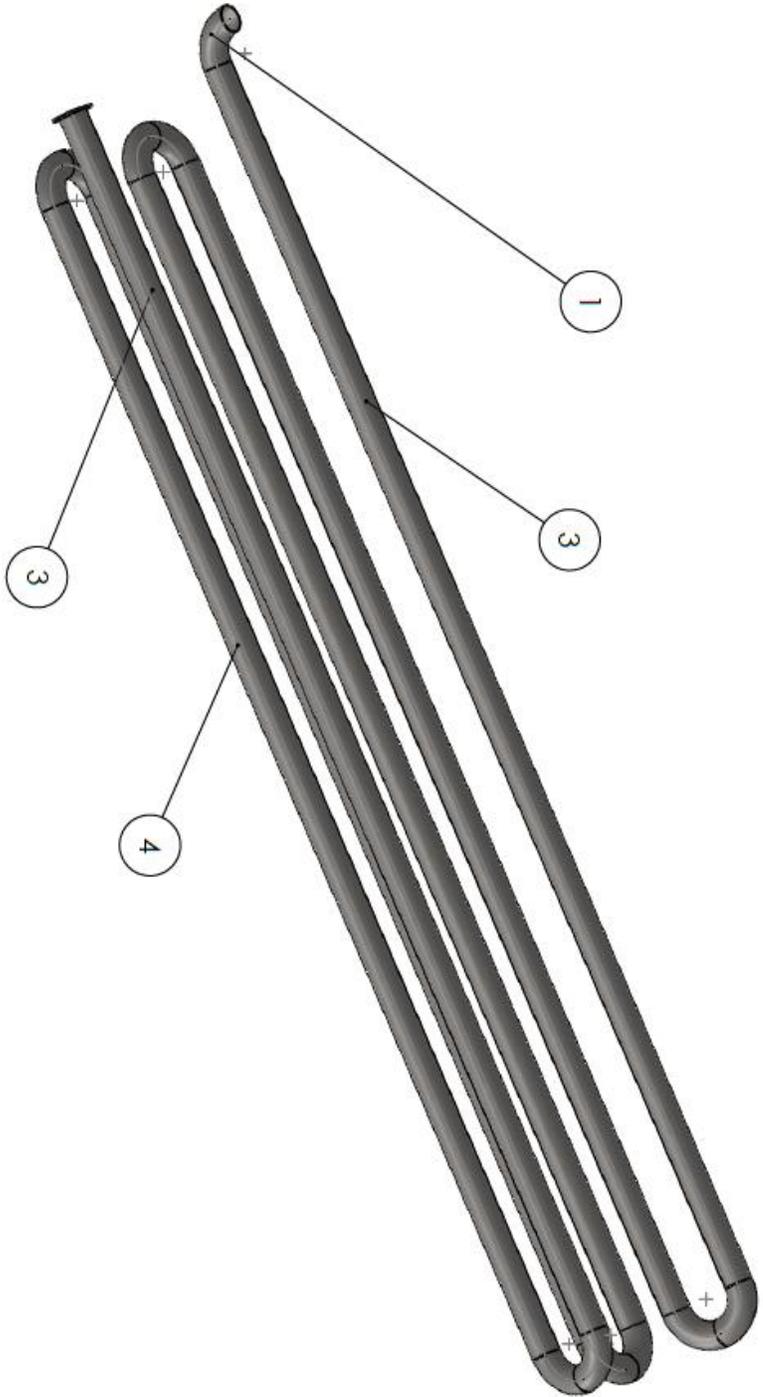
El tablero general de control que incluye el quemador contiene el monitor de llama debidamente certificado para el manejo de gases combustibles, los elementos de protección para el motor del ventilador y todos los elementos eléctricos necesarios para garantizar la correcta operación del quemador. El tablero de control garantiza el cumplimiento de la norma Colombiana RETIE en caso que el cliente lo solicite.

1.4 SISTEMA DE CONTROL.

El sistema de control ofertado es tipo High Low, el cual permite tener un control óptimo de la energía que requiere el proceso, disminuyendo el consumo de combustible, minimizando las variaciones en la temperatura del horno y mejorando la calidad del producto final.

2. VENTAJAS COMPETITIVAS.

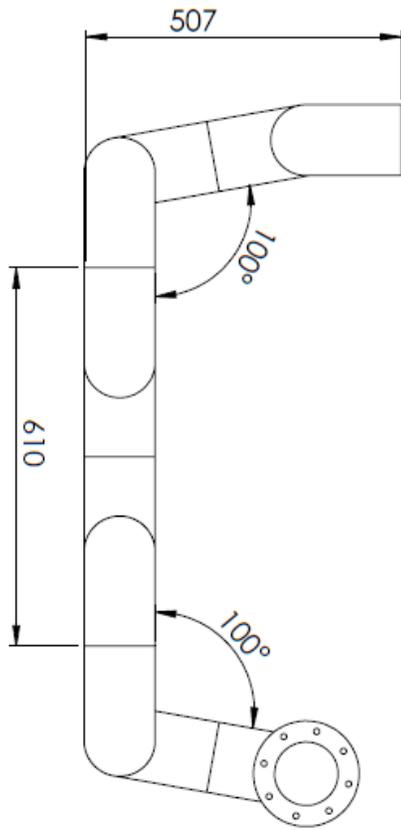
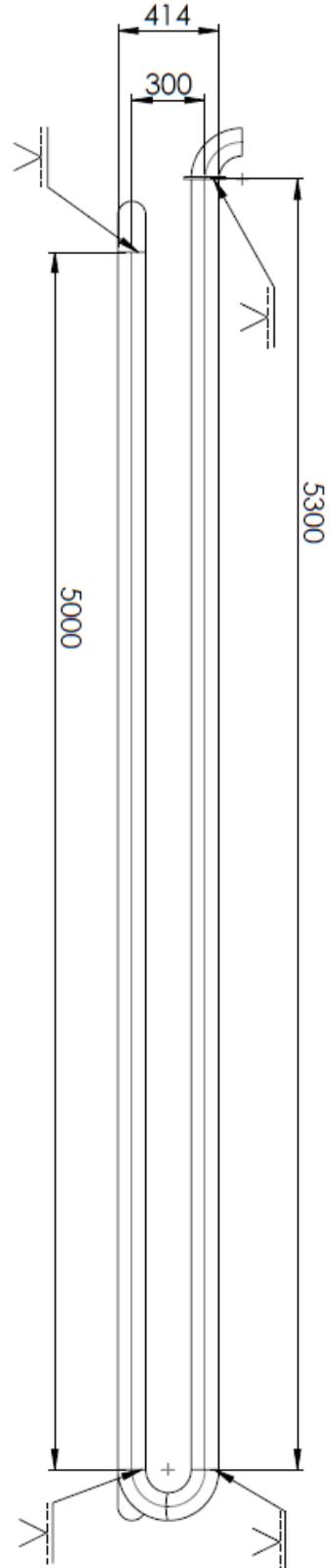
1. Construcción robusta en fundición que permite mayor tiempo de duración.
2. Dos años de garantía que duplica el tiempo de garantía de otros equipos.
3. Únicos en el mercado local con la tecnología de boquilla de múltiple etapa de combustión que garantiza ahorros considerables de combustible.
4. Placas de orificio en el aire y el gas para garantizar su fácil calibración.
5. Operación Dual (Gas Natural - GLP) sin necesidad de cambios en la boquilla.
6. Ventilador de aire de combustión de alto desempeño que genera las mismas condiciones de caudal y presión con menor potencia instalada en el motor generando ahorros en el consumo eléctrico.
7. Mas de 8000 unidades instaladas en Colombia y 650 unidades instaladas fuera de Colombia confirma la confiabilidad y la seguridad en la operación.
8. La fabricación y el ensamble local exige stock de repuestos permanente como respaldo de la operación en la industria Colombiana.
9. Amplia asistencia técnica disponible en todo el país con el soporte técnico y el acompañamiento tecnológico por parte de nuestro personal altamente calificado.
10. El avance tecnológico y el mejoramiento en el diseño interno de la boquilla hacen del quemador **Pirotec Burners** un equipo altamente reconocido por la reducción de emisiones y cumplimiento de las normas ambientales debido a la baja producción de monóxido de Carbono (CO) en los gases de combustión.
11. Amplia línea de soluciones innovadoras con quemadores para cada una de las aplicaciones en los procesos de calentamiento.
12. Alta velocidad de gases sin desprendimiento de llama que incrementa los coeficientes de transferencia de calor.
13. Alta estabilidad debido a la retención de llama en la boquilla.



N.º DE ELEMENTO	LONGITUD	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	NA	CODO INOX Ø4" SCH 40	11
2	10 mm	FLANCHE QUEMADOR	1
3	5300mm	TUBERÍA INOX Ø 4"	2
4	5000mm	TUBERÍA INOX Ø4"	4

 Medellin-Colombia		Equipo: SISTEMA DE CALENTAMIENTO Contenido: ENSAMBLE SERPENTIN	
Plano N.º: 1	Archivo CAD: SLDDRW	Materia: INDICADO	Cantidad: INDICADAS
Calibre: INDICADO	Dibujó: JULIAN P.	Revisó/aprobó: J.F.G	Escala: 1:1
		Cotas en: mm	Fecha Creación: 12/07/2019 Última Revisión: 12/07/2019

APLICAR SOLDADURA EN TODAS LAS UNIONES CON CODOS



 TEMPO Technology in Process S.A.		Medellin-Colombia	
Equipo: SISTEMA DE CALENTAMIENTO		Contenido: SERPENTIN DE CALENTAMIENTO	
Plano No. 2	Archivo CAD: SLDDRW	Material: INDICADO	Cantidad: INDICADAS
Calibre: INDICADO	Dibujó: JULIAN P.	Revisó/aprobó: J.F.G	Fecha Creación: 12/07/2019
		Escala: 1:1	Última Revisión: 12/07/2019
		Cotas en: mm	

		Medellin-Colombia	
Equipo: SISTEMA DE CALENTAMIENTO	Plano N°: 3	Archivo CAD: SLDDRW	Material: INOX 304
Calibre: 3/8"	Dibujo: JULIAN P.	Revisó/aprobó: J.F.G	Revisó/aprobó: J.F.G
Contenido: FLANCHE QUEMADOR		Escala: 1:1	Cotas en: mm
Cantidad: 1		Fecha Creación: 12/07/2019 Última Revisión: 12/07/2019	

