

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

GERALDO PEIXOTO JÚNIOR
LUCIANO SALVI
MÁRCIO JOSÉ SILVA

PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE ATRAVÉS DO ESCAPAMENTO DOS GASES DA
COMBUSTÃO DA FRITADEIRA PARA BATATA-FRITA E SALGADOS.

CURITIBA
2021

GERALDO PEIXOTO JÚNIOR
LUCIANO SALVI
MÁRCIO JOSÉ SILVA

PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE ATRAVÉS DO ESCAPAMENTO DOS GASES DA
COMBUSTÃO DA FRITADEIRA PARA BATATA-FRITA E SALGADOS.

Trabalho de Conclusão apresentado
ao Curso de Especialização, setor de
tecnologia departamento de
engenharia mecânica especialização
em energias renováveis e eficiência
energética, como requisito parcial
para obtenção do título de
especialista.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Catapan

CURITIBA
2021

RESUMO

Neste trabalho é apresentado o estudo de implementação de um sistema de aproveitamento dos gases de combustão, com intuito de aquecer água para uso em procedimentos de limpeza. Os estabelecimentos os quais possuem alta demanda de produtos fritos utilizam fritadeiras, para aquece-las necessita de gás natural, GLP e eletricidade. O presente trabalho visa o reaproveitamento de gases de combustão para aquecimento da água, com a instalação de uma tubulação na saída dos gases, para a o aquecimento da água, através da transferência de calor. Desta forma, considerando a temperatura de entrada da água no sistema, se obteve uma eficiência de 19% utilizando um dos lados de escape de gases da fritadeira. Com o aproveitamento de gases de combustão do sistema, tem-se uma economia de outras fontes de energia que seriam gastos para o aquecimento da água.

Palavras-chaves: aquecimento de água; aproveitamento de gases de combustão; transferência de calor.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	06
2 – CONTEXTO DO TRABALHO	07
2.1 – Gases Liquefeito de Petróleo	09
2.2 – Poder Calorífico	10
2.3 – Razão Ar / Combustível	10
3 – LAYOUT	11
4 – MEMÓRIA DE CÁLCULO	11
4.1 – Características da Água	12
4.2 – Propriedades da Água á 45°C	13
4.3 – Diâmetro Hidráulico	13
4.4 – Propriedades do CO ₂	15
4.5 – Balança Estequiométrico do GLP	16
4.6 – Consumo do GLP	17
4.7 – Emissão do CO ₂	17
4.8 – Relação CO ₂ / Combustível	18
4.9 – Relação Ar / Combustível	18
4.10 – Coeficiente Global de Transferência	19
4.11 – Taxa de Transferência de Calor	19
5 – RESULTADO	20
6 – VANTAGENS DO SISTEMA	21

Lista de Figuras

Figura 1 – Fritadeira Frymaster	08
Figura 2 – Fritadeira Middelby	09
Figura 3 – Fritadeira Vulcan	09
Figura 4 – Fritadeira Tedesco	10
Figura 5 – Fritadeira Venancio	10
Figura 6 – Queimadores e Saída dos Gases da Fritadeira	11
Figura 7 – Esquema Tubulação para Água x Saída dos Gases	12
Figura 8 – Layout para Aquecimento da Água	22

Lista de Equações

Equação 1 – Diferença Temperatura da Água em Relação ao Gás	13
Equação 2 – Diferença Temperatura Média	14
Equação 3 – Determinação da Velocidade da Água na Tubulação	14
Equação 4 – Número de Reynolds para Água	15
Equação 5 – Determinação do Número de Nusselt	15
Equação 6 – Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção da Água	15
Equação 7 – Interpolação das Propriedades do CO ₂	16
Equação 8 – Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção do CO ₂	16
Equação 9 – Determinação Velocidade Média do CO ₂	16
Equação 10 – Determinação Número de Reynolds do CO ₂	17
Equação 11 – Determinação Número de Nusselt para CO ₂	17
Equação 12 – Balanço Estequiométrico do GLP	18
Equação 13 – Consumo do GLP	18
Equação 14 – Cálculo Emissão do CO ₂	18
Equação 15 – Cálculo Relação CO ₂ / Combustível	19
Equação 16 – Cálculo Relação Ar / Combustível	19
Equação 17 – Coeficiente Global de Transferência	20
Equação 18 – Determinação Temperatura de Saída da Água	21

1 - INTRODUÇÃO

Este estudo foi apresentado no Shark Tank Federal realizado em 09/04/2020. Na ocasião, o estudo foi apresentado com o título “CO2 + Hot Water”.

Geralmente, restaurantes e lanchonetes tem como desafio produzir alimentos seguros, com qualidade, em grande escala e no menor tempo possível para atender ao público que em muitas vezes concentra-se em horários pré-definidos como almoço, jantar, finais de semana ou em intervalo de eventos.

Estes estabelecimentos, principalmente quando instalados em shoppings e praças de alimentação, tem espaço reduzido para a instalação da cozinha, estoque, área de limpeza, vestiários e outros. Os utensílios devem estar organizados e limpos para atender o público.

Principalmente as redes de “Fast Food”, que vendem alimentos com grande quantidade de temperos, maioneses, gorduras vegetais e outros condimentos. Conseqüentemente, resíduos destes produtos aderem aos equipamentos, pisos, paredes e utensílios, deixando o ambiente inseguro para tráfego e com riscos constantes de acidente no trabalho.

Manter o ambiente limpo e dentro dos padrões de qualidade exigidos pelos órgãos como a Vigilância Sanitária é um grande desafio. No gerenciamento da limpeza destes estabelecimentos, existem vários tipos de utensílios, acessórios e produtos de limpeza. Porém, a presença da água quente é algo que pode agilizar o trabalho de limpeza e aumentar a segurança do ambiente.

Com o intuito de reduzir custos, as empresas dificilmente aderem a produção de água quente por meio de gás ou energia elétrica.

2 – CONTEXTO DO TRABALHO

Os restaurantes e lanchonetes possuem um grande demanda por produtos fritos como: batata-frita, polenta, massas e carnes. Para realizar a fritura destes alimentos, são utilizadas grandes quantidades de óleo, acondicionados em fritadeiras, os quais devem estar constantemente aquecidos. Dependendo do modelo de fritadeira, se utiliza de 20 á 40 kg de óleo vegetal.

Para manter o óleo vegetal aquecido, se utiliza o gás natural, gás GLP ou energia elétrica. Porém o mais usual são os gases.

No Brasil, as grandes redes de restaurantes utilizam fritadeiras dos seguintes fabricantes:

- Middelby (origem: Estados Unidos);
- Frymaster (origem: Estados Unidos);
- Vulcan (origem: Brasil);
- Tedesco (origem: Brasil);
- Venâncio (origem: Brasil).



Figura 01 – Fritadeira Frymaster



Figura 02 – Fritadeira Middelby



Figura 03 – Fritadeira Vulcan



Figura 04 – Fritadeira Tedesco



Figura 05 – Fritadeira Venancio

O ponto em comum entre as fritadeiras sejam importadas ou nacionais é a saída dos gases gerados na combustão.

2.1 Gases Liquefeito de Petróleo (GLP)

De acordo com a Tecnogas do Brasil (2017), o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), também chamado como gás de cozinha, é resultado do processo de refino do petróleo. Apresenta na composição gases hidrocarbonetos, principalmente, Propano (C_3H_8) e Butano (C_4H_{10}), apresenta inúmeras aplicabilidades em combustíveis devido ao alto poder calorífico, elevada qualidade de queima, fácil manuseio, transporte e armazenamento. Além disso, baixo impacto ambiental devido a sua alta proporção Hidrogênio/Carbono.

A partir do Manual técnico do Gás Liquefeito de Petróleo, elaborado pela comissão técnica da Petrobras, nas condições de pressão e temperatura ambiente o GLP encontra-se em estado gasoso, podendo apresentar-se em estado líquido quando submetido a compressão e/ou resfriamento. Na fase líquida é menos denso que a água, já na fase gasosa é mais densa que o ar.

2.2 Poder calorífico

O poder calorífico (PC) é a quantidade de calor liberada quando uma quantidade unitária de combustível à temperatura ambiente é completamente queimada e os produtos de combustão são resfriados até temperatura ambiente, é a energia liberada da combustão completa do combustível.

O poder calorífico inferior (PCI) representa o PC sem a energia proveniente da condensação do vapor de água, ou seja, ao considerar o PCI tem-se vapor de água presente nos produtos de combustão, e não água no estado líquido. O valor do poder calorífico do combustível varia com sua composição química.

2.3 Razões ar/combustível

A razão ar/combustível (A/C) representa, a quantidade de ar em relação a quantidade de combustível. Dessa forma, diante do conhecimento do processo, é possível obter uma base acerca da condição da mistura.



Figura 06 – Queimadores e Saída dos Gases das Fritadeiras

O intuito deste estudo é aproveitar os gases da combustão para aquecer água a ser utilizada no restaurante, principalmente nos procedimentos de limpeza de ambientes, talheres, pratos, copos e lavagem de mãos.

3 – LAYOUT DO PROJETO

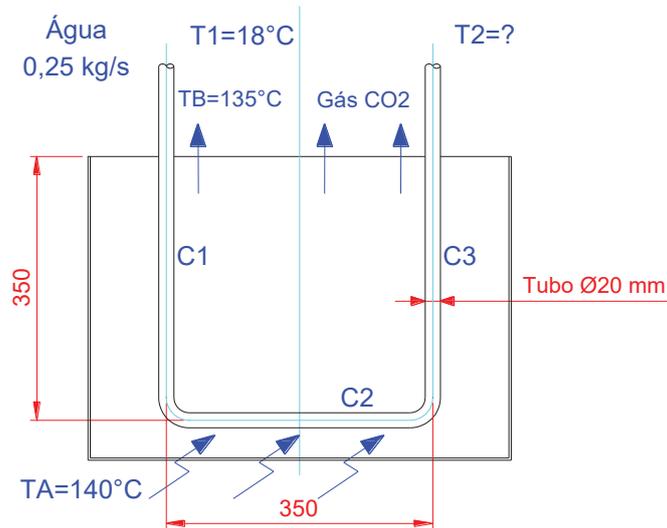


Figura 07 – Esquema Tubulação para Água X Saída de Gases

4 – MEMÓRIA DE CÁLCULO

O objetivo desta etapa é determinar a temperatura da água após passar pela tubulação instalada no interior do escapamento da fritadeira, estando sujeito aos gases da queima do GLP.

A água passará pelo interior da tubulação de aço inox, a qual possui diâmetro igual a 20 mm e aproximadamente 1050 mm de comprimento linear.

Durante coleta dos dados em uma fritadeira, foi constatado que a temperatura dos gases varia de 135 °C a 140°C. Ainda, foi observado que o restaurante onde estava a fritadeira possuía uma rede de água potável com vazão igual a 0,25 kg/s.

Em busca do objetivo, foram considerados como principais, os seguintes cálculos:

- Coeficiente Global de Transferência
- Taxa de Transferência de Calor.

Porém, os cálculos abaixo auxiliaram na obtenção de dados para os principais cálculos:

- Diferença Temperatura da Água em Relação ao Gás GLP;
- Diferença de Temperatura Média;
- Determinação da Velocidade da Água na Tubulação;
- Número de Reynolds para Água;
- Determinação do Número de Nusselt para Água;
- Determinação da Velocidade Média do CO₂;
- Determinação do Número de Reynolds para CO₂;
- Determinação do Número de Nusselt para CO₂;
- Balanço Estequiométrico do GLP;
- Cálculo da Emissão de CO₂;
- Relação CO₂ / Combustível;
- Relação Ar / Combustível.

Para determinar os cálculos a serem utilizados, se baseou na literatura “Transferência de Calor e Massa – Uma Abordagem Prática” de Yunus A. Çengel e Afhin J. Ghajar, 4ª. edição, editora AMGH.

4.1 - Características da Água

- ✓ Temperatura adotada = 18°C
- ✓ Calor Específico (Cp) = 4,184 KJ/Kg
- ✓ Comprimento da tubulação para passagem de água no interior do escapamento da fritadeira, representado por $C=C_1+C_2+C_3 \rightarrow C=0,35+0,35+0,35 \rightarrow C=1,05m$.
- A diferença entre o vapor da queima do gás GLP e a água é representada por:

$$\Delta T_1 = T_{Gás_{Saída}} - T_{H_2O_{Saída}}$$

$$\Delta T_1 = 135^\circ C - 45^\circ C$$

$$\Delta T_1 = 90^\circ C$$

$$\Delta T_2 = T_{Gás_{Entrada}} - T_{H_2O_{Entrada}}$$

$$\Delta T_2 = 135^\circ C - 18^\circ C$$

$$\Delta T_2 = 117^\circ C$$

Equação 1 – Diferença Temperatura da Água em Relação ao Gás

- A temperatura entre os fluídos varia de 90 °C á 117 °C.
- A diferença de temperatura média adequada entre os dois fluídos é a diferença da temperatura média logarítmica e não aritmética determinada a partir de:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{90 - 117}{\ln(90/117)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{-27}{-0,2624}$$

$$\Delta T_{lm} = 102,90$$

$$\Delta T_{lm} = 103^\circ\text{C}$$

Equação 2 – Diferença Temperatura Média

4.2 - Propriedades da Água á 45 °C

- ✓ $\rho = 990,1 \text{ kg/m}^3$
- ✓ $k = 0,637 \text{ W/m.K}$
- ✓ $Pr = 3,91$
- ✓ $\nu = \mu/\rho \rightarrow 0,602 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

4.3 - Diâmetro Hidráulico

- ✓ É o próprio diâmetro hidráulico do tubo, onde:
- ✓ $DH = D = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho A c}$$

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2\right)}$$

$$\vartheta = \frac{0,25 \text{ kg/s}}{\left[990,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,02 \text{ m})^2\right]}$$

$$\vartheta = \frac{0,25}{0,311}$$

$$\vartheta = 0,804 \text{ m/s}$$

Equação 3 – Determinação da Velocidade da Água na Tubulação

$$Re = \frac{\vartheta \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,804 \frac{m}{s} \cdot 0,02 m}{0,602 \cdot 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = \frac{0,01608 m^2/s}{0,602 \cdot 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 26711$$

Equação 4 – Número de Reynolds

Valor de Re superior á 10.000. Assim, o escoamento é turbulento. Considerando que o escoamento é completamente desenvolvido, $Nusselt$ pode ser determinado por:

$$Nu = \frac{h \cdot D}{K}$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$Nu = 0,023 \cdot (26.711)^{0,8} \cdot (3,91)^{0,4}$$

$$Nu = 0,023 \cdot 3478,18 \cdot 1,725$$

$$Nu = 138$$

Equação 5 – Determinação do Número de Nusselt

$Nu = 138$, então, temos que:

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu$$

$$h = \frac{0,637 W/m.K}{0,02 m} \cdot 138$$

$$h = 4395,3 W/m^2.K$$

Equação 6 – Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção da Água

4.4 - Propriedades do CO2

Y	X1	X2	X3	X4
T (°C)	ρ (kg/m ³)	K (W/m.K)	ν (m ² /s)	Pr
100 Y2	1,4373 X2	0,02257	1,281x10 ⁻⁵	0,7464
135 YK	XX			
150 Y1	1,2675 X1	0,02652	1,627x10 ⁻⁵	0,7445

Equação 7 - Interpolação das Propriedades do CO2

- ✓ T = 135 °C
- ✓ $\rho = 1,3183 \text{ kg/m}^3$
- ✓ K = 0,02534 W/m.K
- ✓ $\vartheta = 1,523 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- ✓ Pr = 0,7451

$$h = \frac{k}{D} \cdot Nu$$

$$h = \frac{0,02534 \text{ W/m.K}}{(0,1-0,02)\text{m}} \cdot 138$$

$$\mathbf{h = 0,31675 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

Equação 8 – Coeficiente de Transferência de Calor por Convecção do CO2

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho A c}$$

$$\vartheta = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2\right)}$$

$$\vartheta = \frac{0,001131 \text{ kg CO2/s/4}}{\left[1,3183 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,1 - 0,02)\right]}$$

$$\vartheta = \frac{0,00028275 \text{ kg CO2/s}}{0,08283 \text{ kg/m}}$$

$$\mathbf{\vartheta = 0,0034 \text{ m/s}}$$

Equação 9 – Determinação Velocidade Média do CO2

$$Re = \frac{\vartheta \cdot D}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,03 \frac{m}{s} \cdot 0,1 m}{1,523 \cdot 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = \frac{0,003 m^2/s}{1,523 \cdot 10^{-6} m^2/s}$$

$$Re = 1969,80$$

$$\mathbf{Re = 1970}$$

Equação 10 – Determinação Número de Reynolds do CO2

$$Nu = \frac{h \cdot D}{K}$$

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}$$

$$Nu = 0,023 \cdot (1970)^{0,8} \cdot (0,7451)^{0,4}$$

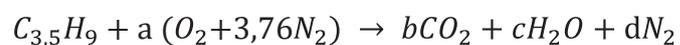
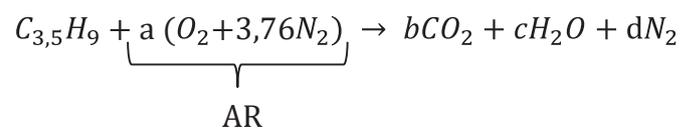
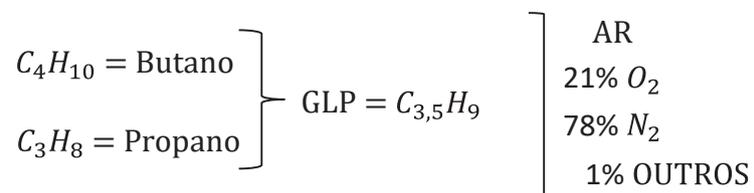
$$Nu = 0,023 \cdot 432,09 \cdot 0,89$$

$$Nu = 8,8449$$

$$\mathbf{Nu = 8,85}$$

Equação 11 – Determinação do Número de Nusselt para CO2

4.5 - Balanço Estequiométrico do GLP



Balanço:

$$C = 1.b = 3,5 \times 1 \rightarrow \mathbf{b = 3,5}$$

$$H = 2.c = 9 \times 1 \rightarrow \mathbf{c = 4,5}$$

$$O = 2.b + c = 2a$$

$$2 \cdot 3,5 + 4,5 = 2a$$

$$2a = 10,5$$

$$\mathbf{a = 5,25}$$

Equação 12 – Balanço Estequiométrico do GLP

4.6 - Consumo do GLP

✓ **Dados Consumo:**

➤ $PC_{GLP} = 49.604 \text{ kJ/kg}$

➤ $\eta = 0,80$ ou 80%

➤ $Q^0_{fritadeira} = 72.500 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$ ou 21,3 kW

$$Q^0_{fritadeira} = m^0_{GLP} \times PCI_{GLP} \times \eta_{GLP}$$

$$21,3 \text{ kW} = m^0_{GLP} \times 49.604 \text{ kJ/kg} \times 0,80$$

$$m^0_{GLP} = \frac{21,3}{39.683,20}$$

$$m^0_{GLP} = 0,0005368 \text{ kg/s}$$

ou

$$m^0_{GLP} = 1,9323 \text{ kg/h}$$

Equação 13 – Consumo do GLP

4.7 - Emissão de CO_2

$$m^0_{CO_2} = m^0_{GLP} \times \frac{ECO_2_{GLP}}{C}$$

$$m^0_{CO_2} = 0,0005368 \times 2,44$$

$$m^0_{CO_2} = 0,00131 \text{ kg } CO_2/s$$

ou

$$m^0_{CO_2} = 4,716 \text{ kg } CO_2/h$$

Equação 14 – Cálculo Emissão de CO_2

4.8 - Relação CO₂ / Combustível

$$\frac{ECO_2}{C} = \frac{m^{\circ}CO_2}{m^{\circ}GLP} \rightarrow \frac{m^{\circ}CO_2}{m^{\circ}GLP} = \frac{12.b+32.b}{12O_C+nH+16nO}$$

$$\frac{ECO_2}{C} = \frac{12.(3,5) + 32.(3,5)}{12.(4,5) + 1.(9) + 0}$$

$$\frac{ECO_2}{C} = \frac{42+112}{54+9}$$

$$\frac{ECO_2}{C} = \frac{154}{63}$$

$$\frac{ECO_2}{C} = 2,44 \frac{kg CO_2}{kg GLP}$$

Equação 15 – Cálculo Relação CO₂ / Combustível

4.9 - Relação Ar / Combustível

$$\frac{A}{C} = \frac{M_{ar}}{M_{GLP}} \rightarrow \frac{A}{C} = \frac{\begin{matrix} mO_2 & & mN_2 \\ \uparrow & & \uparrow \\ a.32+a.3,76+28 \\ n_C.12 + nH.1 + nO.16 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ mC & mH & mO \end{matrix}}{n_C.12 + nH.1 + nO.16}$$

$$\frac{A}{C} = \frac{M_{ar}}{M_{GLP}} \rightarrow \frac{A}{C} = \frac{a.32+a.3,76+28}{n_C.12 + nH.1 + nO.16}$$

$$\frac{A}{C} = \frac{(5,25).32 + (5,25).3,76 + 28}{(4,5).12 + (9).1 + 0}$$

$$\frac{A}{C} = \frac{215,74}{63}$$

$$\frac{M_{AR}}{M_{GLP}} = 3,424 \frac{kg AR}{kg GLP}$$

Equação 16 – Cálculo Relação Ar / Combustível

4.10 - Coeficiente Global de Transferência

$$\frac{1}{U} \cong \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

Onde:

$$\left. \begin{array}{l} h_i = 4.395,3 \text{ W/m}^2.\text{K} \\ h_o = 0,31675 \text{ W/m}^2.\text{K} \end{array} \right\} \text{ Coeficientes de Transferência de calor por convecção}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4.395,3 \text{ W/m}^2.\text{K}} + \frac{1}{0,31675 \text{ W/m}^2.\text{K}}}$$

$$U = \frac{1}{0,0002275 + 3,1571}$$

$$U = \frac{1}{3,1573275}$$

$$U = 0,316724 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Equação 17 – Coeficiente Global de Transferência

4.11 - Taxa de Transferência de Calor

$$Q^\circ = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm}$$

$$Q^\circ = 0,316724 \text{ W/m}^2.\text{K} \times 0,00033 \text{ m}^2 \times 103^\circ\text{C}$$

$$Q^\circ = \mathbf{0,01077 \text{ W}}$$

$$A_s = \left[\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \right] \cdot L$$

$$A_s = \left[\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,02^2 \right] \cdot 0,7$$

$$A_s = 0,000314 \times 1,05$$

$$Q^\circ = [m^\circ_{CO_2} \cdot CP_{O_2} \cdot (T_{Sai} - T_{Ent})] \quad \mathbf{A_s = 0,00033 \text{ m}^2}$$

$$0,01077 \text{ W} = \left[\frac{0,00131 \text{ kg } CO_2/s}{4} \times 4,18 \frac{\text{KJ}}{\text{kg.K}} \times (T_{Sai} - 18^\circ\text{C}) \right]$$

$$0,01077 \text{ W} = 0,00136895 \frac{\text{KJ}}{\text{kg.K}} \cdot \frac{\text{kg}}{s} \times (T_{Sai} - 18^\circ\text{C})$$

$$0,01077 \text{ W} = 0,00136895 \frac{\text{KJ}}{s} \times T_{Sai} - 0,024641 \frac{\text{KJ}}{\text{kg.K}} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$0,00136895 \frac{KJ}{s} \cdot T_{Sai} = 0,0354111 \frac{KJ}{kg.K} \cdot \frac{kg}{s} \cdot ^\circ C \cdot W$$

$$T_{Sai} = \frac{0,0354111}{0,0013685} \rightarrow T_{Sai} = 25,88 \text{ } ^\circ C$$

$$T_{Sai} = \mathbf{25,88 \text{ } ^\circ C}$$

Equação 18 – Determinação Temperatura de Saída da Água

Dessa forma, a eficiência do estudo (η) pode ser obtida através da Equação 19 expressa a seguir:

$$\eta = \frac{Q^\circ}{m^{\circ}GLP * PCI_{GLP}}$$

Em que “ Q ” representa a quantidade de calor transferido para a água; e o “ PCI ” compreende o poder calorífico inferior do GLP.

$$\eta = \frac{m^{\circ}CO_2 \cdot CP_{O_2} \cdot (T_{Sai} - T_{Ent})}{m^{\circ}GLP * PCI_{GLP}}$$

Em que “ $m^{\circ}CO_2$ ” e “ $m^{\circ}GLP$ ” significam, respectivamente, os fluxos de massa de água e combustível que passam pelo sistema; “ CP_{O_2} ” representa o calor específico; e “ $T_{Sai} - T_{Ent}$ ” compreende a elevação de temperatura da água.

5 – Resultado

Considerando 18°C a temperatura da água na entrada do escapamento da fritadeira, o resultado obtido foi 25,88°C. Teoricamente, podemos afirmar que a água aqueceu 7,88°C, utilizando um lado da fritadeira, com eficiência em torno de $\eta = 19\%$.

No entanto, adotando o layout da figura abaixo onde se duplica o trecho de tubulação exposto aos gases da queima do GLP, há possibilidade de aquecer a água em 15,76°C. Assim, a temperatura alcançaria 33,76 °C, com eficiência em torno de $\eta = 40\%$.

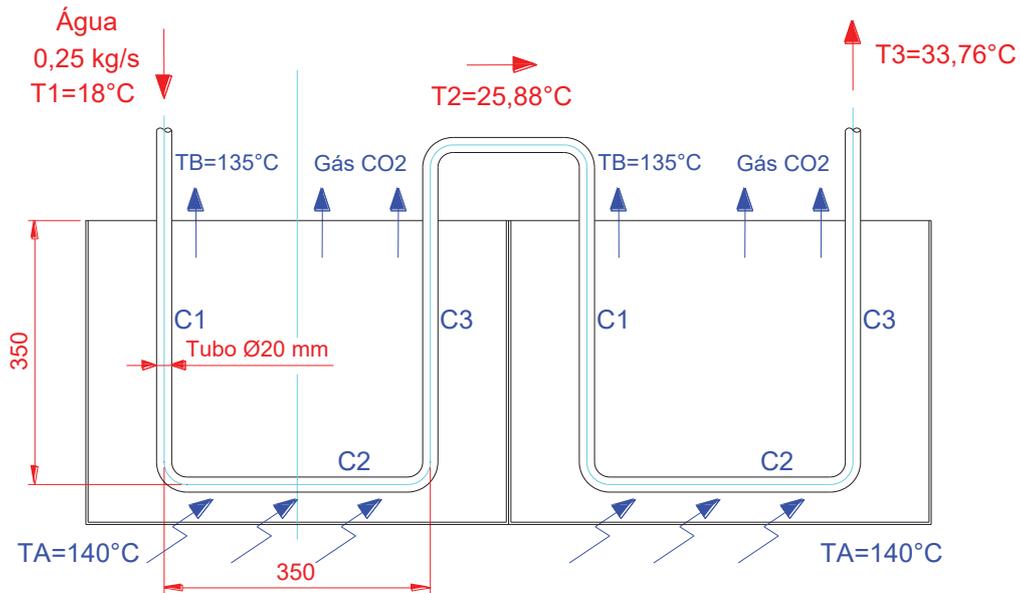


Figura 08 – Layout para Aquecimento da Água

No estudo, foi considerada a temperatura da água em 18°C com o intuito de representar região de clima frio, como por exemplo, a cidade de Curitiba. Porém, regiões de clima quente, onde a água esteja em temperaturas de 20 a 22 °C poderão alcançar 36 a 38 °C, após passagem no escapamento da fritadeira.

Após aquecer a água através do escapamento da fritadeira, o ideal é armazená-la num tanque, o qual permanecerá como reservatório pulmão.

6 – Vantagens do Sistema

A água aquecida pode ser aplicada em diferentes pontos dos restaurantes. Com isto, haverá economia em outras fontes de energia como: gás GLP, gás GN, energia elétrica e mesmo em custos com mão-de-obra. Abaixo, segue a relação dos locais de aplicação:

- **Máquina de Café e Chá:**

Ambos os equipamentos possuem resistência elétrica que são acionadas para aquecer a água. Se utilizarmos uma água pré-aquecida, a resistência elétrica funcionará por menos tempo e com isto menos energia elétrica será consumida.

- **Cozimento de Massas:**

Massas e alimentos como arroz ou feijão utilizam água e são aquecidos no fogão a gás natural ou gás GLP. Utilizando água pré-aquecida, reduz-se o consumo de gás.

- **Máquina de Lavar Louças:**

À exemplo das máquinas de café e chá, este equipamento pré-aquece a água antes do processo de lavagem. Assim, há possibilidade de se economizar energia elétrica.

- **Limpeza Manual de Utensílios e Pisos:**

Nos restaurantes, molhos, maioneses e outros produtos tem um excessivo consumo de óleos e gorduras. Remover estes insumos de pratos, talheres, equipamentos e pisos demanda considerável consumo de água, detergentes e mão-de-obra. Ao utilizar água pré-aquecida nestes processos, se economiza com água, custos com insumos, além de contribuir com o meio ambiente.

- **Banheiros:**

Água pré-aquecida em banheiros, pode gerar conforto para funcionários e satisfação dos clientes. Este detalhe pode gerar marketing positivo para o estabelecimento.

Por fim, para mensurar as economias geradas, há necessidade de parceria com rede de restaurantes para acessar os equipamentos, aplicar o estudo e contabilizar as economias de tempo de trabalho, insumos e economia de energias.