



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diagnóstico energético del sistema
generador de vapor, empleado para
cocción de alimentos y
acondicionamiento térmico del
agua, en una institución académica**

TESINA

Que para obtener el título de

**Especialista en ahorro y uso eficiente
de la energía**

P R E S E N T A

Ing. Marcos Ramírez Enríquez

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Iván Urzúa Rosas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Tabla de contenido

Introducción.....	4
Capitulo I. Marco contextual	5
1.1 Situación actual de la instalación.....	5
1.1.1 La caldera y el sistema de vapor	5
1.2 Planteamiento del problema y justificación	8
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
Capítulo II. Marco teórico conceptual.....	10
2.1 ¿Qué es una caldera?	10
2.1.1 Tipos de calentamiento	10
2.2 Transferencia de energía por calor.....	11
2.2.1 Balance de energía para sistemas cerrados	11
2.3 Sistemas de calentamiento centralizados y descentralizados	12
Capitulo III. Desarrollo metodológico	15
3.1 Análisis Energético.....	15
3.1.1 Abastecimiento energético.....	15
3.1.2 Análisis técnico de la caldera	17
3.1.3 Contabilidad energética.....	28
3.1.4 Perfiles de demanda	32
Capitulo IV. Resultados.....	36
4.1 Potenciales de ahorro	36
4.2 Análisis de rentabilidad.....	41
Capitulo V. Medidas de ahorro y uso eficiente de la energía.....	44
5.1 Medidas de inversión	44
5.1.1 Control de la demanda de vapor en el tanque de agua caliente	44
5.1.2 Cambio de la marmita.....	45
5.1.3 Cambio de la bufetera	46
5.2 Buenas practicas	47
5.4 Indicadores energeticos	48
Conclusiones.....	51

Bibliografía	52
Anexo 1: Tabla de CP's de alimentos	53
Anexo 2: Perfiles de demanda térmica.....	54
Anexo 3: Diagrama del sistema de vapor	56
Anexo 4: Ficha técnica. Marmita de volteo con sistema de agitación de 200L, SKU: MTA200AG-GAS.....	58

Introducción

En el presente documento, se tiene desarrollado el diagnóstico energético, en el área térmica, de una institución dedicada a la docencia e investigación. En palabras generales, se analizó la naturaleza del sistema (demandas, consumos), su funcionamiento y la eficiencia con la que se encuentra trabajando. De esta manera, entendiendo a un diagnóstico o auditoría energética como; una inspección o estudio de los usos de la energía dentro de las instalaciones, con el propósito de caracterizar el sistema y así buscar el estado de operación donde la energía se aproveche en su grado más óptimo.

La documentación facilitada por este recinto no cuenta con la totalidad de información necesaria para llevar a cabo el análisis por lo que fue necesario la toma de una gran cantidad de mediciones, mismas que representan la base de todo el documento. Una numeración rápida de los elementos del área en estudio de los cuales se obtuvieron datos sería: primero, el generador de vapor (la caldera), en segunda instancia, la red de distribución de vapor y, por último, las cargas térmicas. Todos ellos siendo un punto importante a tomar en cuenta para la resolución de un consumo eficiente de la energía. Se optó por examinar este sistema principalmente porque, de manera usual, dentro del balance energético de empresas con calderas, la quema de combustible para el funcionamiento del equipo es donde mayor porcentaje de la energía es consumida.

La estructura de este estudio se desarrolló de tal manera que en los primeros capítulos se expone el contexto general de la institución y los principios bajo los cuales fue desarrollada la metodología; como lo son el estado actual de las instalaciones, panorama energético, objetivos, así como la teoría referente al funcionamiento del área térmica. Posteriormente en el capítulo tres, se determinan las características del sistema, permitiendo delimitar consumos de vapor por secciones, con lo que se obtiene el comportamiento de la demanda de energía a través del día. Por último como parte final del análisis se seleccionaron posibles modificaciones a realizar en el sistema, calculando el ahorro energético y económico por parte de cada una; aunado a estas propuestas se evaluó su rentabilidad con el fin de brindarle a la empresa una idea de las utilidades que se generaran. En el capítulo V se puede hallar una síntesis de las medidas de ahorro y usos eficientes de energía evaluadas.

El alcance de este documento únicamente aplica para esta institución, sin embargo puede ser empleado como apoyo en la elaboración de posteriores estudios relacionados con la misma índole.

Capítulo I. Marco contextual

1.1 Situación actual de la instalación

La instalación a partir de la cual fue realizado el diagnóstico térmico posteriormente descrito en este trabajo, pertenece a un centro de estudios de carácter universitario, dedicado a la investigación y a la enseñanza, ubicado en la zona sur de la ciudad de México.

Sus instalaciones están compuestas principalmente de aulas, oficinas, una biblioteca, una cocina, un comedor, así como algunas áreas recreativas y de ocio. En relación con esta información, los únicos usos en los cuales se tiene consumo de vapor son: en el acondicionamiento de un tanque de agua caliente (el cual alimenta unas regaderas y la cocina, donde dicha agua se emplea para lavado), y para el funcionamiento de una marmita, baños maría y un lavalozas, ubicados en el comedor y la cocina. Estos últimos solo sirven desayunos (8:30 a 11:00) y comidas (13:30 a 16:30), comenzando labores desde una hora y media antes de sus horarios de servicio.

1.1.1 La caldera y el sistema de vapor

Actualmente el sistema de vapor se encuentra alimentado por una caldera de una potencia de 20 C.C., esta se muestra en la Imagen 1.



Imagen 1: Caldera de 20 C.C.

Según lo comentado por el personal, la caldera presenta una antigüedad de 7 años, periodo en el cual se realizaron modificaciones en los servicios de vapor, clausurando varias de estas tuberías y ocasionando un reordenamiento en el sistema; de lo cual se puede resaltar el

cambio de la caldera de 100 C.C. por la actual. En la Imagen 2 se puede observar el cabezal de vapor con múltiples salidas, sin embargo, solo dos de ellas se encuentran en operación: una que se dirige al tanque de agua caliente y otra que llega a la cocina.



Imagen 2: Salidas de vapor

Con respecto al funcionamiento del sistema; la caldera se mantiene en operación, aproximadamente desde las 7:00 am, cuando comienza a llegar el personal de mantenimiento, hasta las 5:30 pm donde la mayoría de los empleados se han retirado, derivando en un paro total de esta. Trabaja a partir de la quema de gas LP, con lo cual se tiene un tanque de una capacidad de 2800 litros, donde se almacena dicho combustible, ubicado en la azotea del edificio (ver Imagen 3).



Imagen 3: Tanque de gas natural

De esta manera, se genera vapor a una temperatura de 135°C, acumulándose este, en el cabezal colocado a unos metros de distancia, donde posteriormente el vapor es distribuido a las áreas de uso. En la Ilustración 1 se puede observar de modo general el proceso que realiza el vapor.

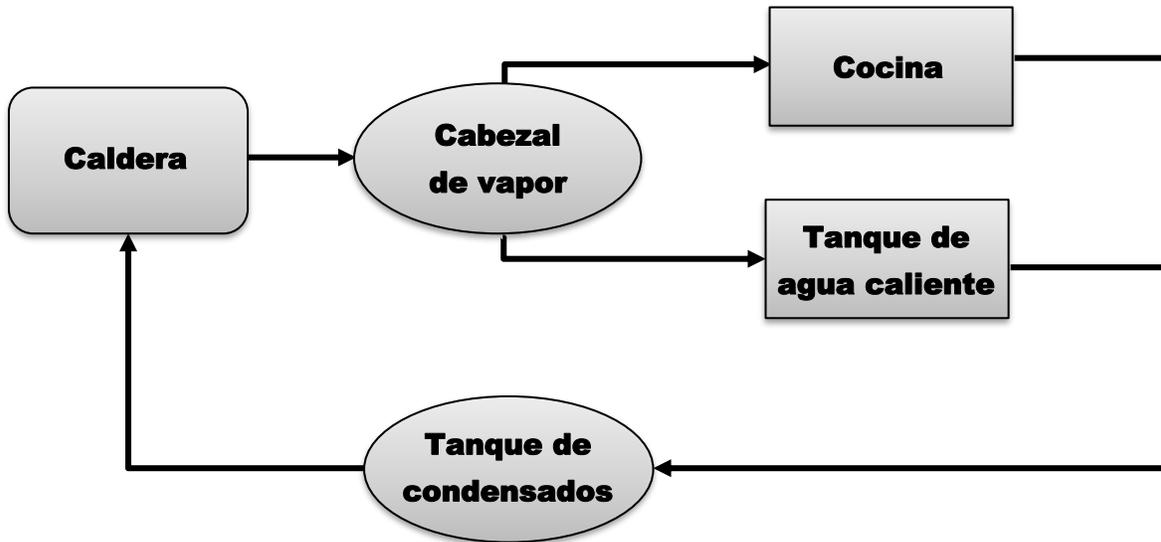


Ilustración 1: Ciclo del vapor

Una vez que el vapor ha cedido su calor, retorna en forma de agua al cuarto de máquinas, donde es recuperado por medio de un tanque de condensados. Este se podría considerar como una primera medida de ahorro de energía, ya que se recupera el calor remanente en la sustancia, permitiendo llevar a cabo un precalentamiento del agua de entrada, de esta manera, la caldera necesita aportar una menor cantidad de energía durante la generación de vapor. De acuerdo a la medición tomada del termómetro instalado en el tanque de condensados, el agua de retorno se encontraba a una temperatura de 50°C. En la Imagen 4 se tiene una captura del tanque de condensados.

Por último, resulta importante recalcar que el agua con la que se alimenta a la caldera, presenta tratamiento químico, de modo que, se trabaja con agua suavizada (agua con una cantidad mínima de iones). Dicha acción deriva ser altamente conveniente; evitando así complicaciones por corrosión o incrustaciones, aspectos que reducen considerablemente la eficiencia de la caldera, sin mencionar que permite tener una vida útil más larga de este elemento.



Imagen 4: Tanque de condensados

En el Anexo 3, se ilustra un diagrama, con más detalle, del circuito de vapor y de las cargas del sistema, con sus respectivas mediciones.

1.2 Planteamiento del problema y justificación

Se desea ubicar posibles anomalías en el consumo de vapor, las cuales podrían estar provocando un uso ineficiente de dicho elemento y la energía que este conlleva, para su posterior corrección; así mismo se evaluará la caldera y si ésta representa una maquinaria eficiente y adecuada de acuerdo a los servicios finales del vapor.

Un diagnóstico energético en cualquiera de sus niveles (de acuerdo a la profundidad del estudio), siempre resulta adecuado para la correcta gestión de una empresa, el erróneo o parcial aprovechamiento de su energía podría concluir en altos costos de funcionamiento en la instalación. Para este caso, se deberá evaluar si efectivamente las cantidades de vapor generadas son las óptimas de acuerdo a la carga térmica que se tiene, esto con el fin de conocer las pérdidas de calor del sistema, y si se puede depender de un equipo de menor potencia.

Por otra parte, de los aspectos importantes a analizar serán los usos finales del suministro, porque si bien cuando se hizo el cambio de caldera se consideró que se tendría una menor demanda térmica, no se tomó en cuenta los servicios que quedarían a disposición de dicho sistema, con lo que se puede prever que una caldera podría no ser la mejor opción para

abastecer los equipos restantes; ya que al tener una carga tan disminuida es posible hallar un arreglo más eficiente que permita cumplir con el consumo requerido de los equipos.

En general, el poder llevar a cabo esta actividad, permitirá conocer el estado actual y posibles mejoras, la reducción de costo en esta área (energética), así también, brindará una imagen a la institución como una dependencia responsable y consiente del cuidado del medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- ❖ Realizar un diagnóstico energético del sistema generador de vapor.

1.3.2 Objetivos específicos

- Delimitar consumos energéticos del vapor.
- Identificar tecnologías obsoletas o ineficientes, y si es el caso, plantear la sustitución por una nueva de mejores especificaciones.
- Determinar las oportunidades de ahorro tanto en consumo energético, como económico.
- Proponer un equipo de mayor eficiencia o reorganización de la estructura del sistema, que se adecue de mejor manera a los usos finales de la energía.

Capítulo II. Marco teórico conceptual

2.1 ¿Qué es una caldera?

Una caldera se define como aquel elemento empleado para la generación de vapor de agua o simplemente el calentamiento de un fluido, esto a través de la transferencia de calor producido por la combustión del algún tipo de combustible, reacción química o con la ayuda de energía solar o eléctrica.

2.1.1 Tipos de calentamiento

A grandes rasgos, se tiene la división en dos tipos de calentamiento:

1.- Calentamiento directo

En este sistema, la sustancia de consumo es calentada directamente por la radiación de la flama, mediante resistencias eléctricas o por efecto del calor residual en gases de combustión. Se podría decir, es el arreglo más simple que se puede tener en una caldera.

Ventajas:

- ❖ Debido a la menor cantidad de elementos y tecnología, resulta más económica la instalación de estos sistemas, que los de calentamiento indirecto.

Desventajas:

- ❖ Mayores costos de aislamiento, ya que se tiene elevadas temperaturas en distintas áreas.
- ❖ En la mayoría de los casos, es necesario realizar la instalación cerca del consumidor final, aumentando la cantidad de riesgo para el usuario.

2.- Calentamiento indirecto

La principal diferencia al sistema directo recae en el uso de un fluido de trabajo o de transporte, el cual es calentado mediante técnicas de uso regular (combustión, resistencias eléctricas, energía solar), para luego circular de manera controlada a través de las cargas, sirviendo como medio de transporte para la energía térmica.

Ventajas:

- ❖ Es necesario una menor cantidad de aislamiento, ya que la única zona donde se alcanzan altas temperaturas es la caldera.
- ❖ Se evitan degradaciones en los productos, ya que se maneja una mayor uniformidad en las temperaturas de trabajo.

Desventajas:

- ❖ Es imprescindible contar una zona destinada únicamente a la instalación y operación del sistema

2.2 Transferencia de energía por calor

Existen dos maneras de transferir energía de una sustancia a otra: realizando un trabajo sobre esta o por medio de la interacción del calor, que, para efectos de este documento, es en la que se profundizara.

El calor se define como: “La forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o entre un sistema y el exterior) debido a una diferencia de temperatura” (Cengel & Boles, 2012, pág. 60). O sea, es energía en transferencia, delimitada por las fronteras del sistema en estudio. Por consiguiente, existen únicamente tres formas por las cuales se tiene transferencia de calor a través de estos límites:

- 1) Conducción: Se refiere a la transferencia de energía mediante la interacción de las partículas más energéticas con las menos energéticas adyacentes. Este efecto se puede observar en sólidos, líquidos y gases.
- 2) Radiación: En este proceso, la energía es emitida por las sustancias (radiación térmica) y transportada por medio de ondas electromagnéticas, por lo que no es necesario un medio de propagación.
- 3) Convección: Hace referencia a la energía transferida entre una superficie y fluido en movimiento, los cuales tienen distintas temperaturas.

2.2.1 Balance de energía para sistemas cerrados

Un sistema se define como: “una cantidad de materia o una región en el espacio elegida para análisis” (Cengel & Boles, 2012, pág. 60). De esta manera, un sistema cerrado o de masa control, es aquel en el cual se tiene una cantidad de materia fija; por lo que no puede entrar ni salir masa. Sin embargo, si se puede dar la transferencia de energía (ya sea por trabajo o calor), por consiguiente, haciendo referencia a la primera ley de la termodinámica, el cambio en la cantidad de energía contenida en el sistema estará dado por la cantidad de energía que entró al sistema a través de la transferencia de calor, menos la cantidad de energía que salió de las fronteras del sistema en forma de trabajo, esto delimitado en un intervalo de tiempo (Moran & Shapiro, 2006), en otras palabras, la energía es conservativa. El anterior enunciado puede ser expresado como se muestra en la ecuación (1).

$$E_2 - E_1 = Q - W \quad (1)$$

Si se desea observar de manera instantánea el cambio de energía a través del tiempo, la ecuación (1) quedaría definida de la siguiente manera:

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (2)$$

Si el cambio total de la energía en un sistema está dado por el cambio de su energía cinética, potencial e interna. Véase ecuación (3).

$$\Delta E = \Delta KE + \Delta PE + \Delta U \quad (3)$$

La ecuación (2) se podría reescribir como

$$\frac{dKE}{dt} + \frac{dPE}{dt} + \frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (4)$$

En caso de que las energías cinética y potencial sean despreciables, simplemente se tendría

$$\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (5)$$

Si se introduce un nuevo concepto al balance, como lo es la propiedad entalpía; la cual se define como la suma de la energía interna y el trabajo asociado a la presión y volumen.

$$H = U + P \quad (6)$$

Se observa de manera más clara, que el intercambio de energía de una sustancia con su entorno, queda definida únicamente por su estado inicial y final.

2.3 Sistemas de calentamiento centralizados y descentralizados

Los sistemas de calentamiento centralizados presentan grandes ventajas frente a los de calentamiento descentralizados, sin embargo, al momento de discernir entre la instalación de uno u otro es necesario conocer los usos finales de la energía, ya que de ello dependerá la eficiencia del ciclo de trabajo. Los primeros generalmente están constituidos por una caldera, encargada de transferir calor a un fluido de trabajo, comúnmente vapor, y así, a través de un sistema de tuberías el calor es transportado a los diferentes procesos de la fábrica (ver Ilustración 3). Por otra parte, una estructura descentralizada basa su funcionamiento en la

satisfacción de la demanda de calor de manera local, o sea, el quemador se encuentra ubicado directamente en el equipo (ver Ilustración 2).

En los casos en los que se tienen una amplia variedad de procesos y no es posible distribuir a cada uno de ellos el combustible, ya sea por normas seguridad o calidad del producto se decide por la instalación de un sistema centralizado, no obstante, esta selección implica el requerimiento de redes de distribución para el fluido de transporte, la generación de vapor a presiones relativamente altas, y como problema principal, el equipo se mantiene trabajando, aun si la demanda es nula; lo que produce un uso bastante ineficiente de la energía.

Algunas de las ventajas del uso de quemadores individuales frente a la utilización de una caldera como elemento primario, se tiene:

- ❖ Mayor eficiencia, ya que se reduce el número de pasos durante la transferencia de calor del combustible al producto, por consiguiente, se evitan pérdidas asociadas a un mal aislamiento o caídas de presión.
- ❖ Reducción en el consumo de combustible, debido a que la quema de este solo se ve empleado cuando las cargas lo demanden.
- ❖ Mayor control de la demanda térmica, ya que las cadenas de producción no se mantienen a disposición del régimen de la caldera,

En conclusión, los sistemas centralizados muestran una mayor eficiencia, no obstante, en plantas de gran tamaño suele ser más sencillo el control y mantenimiento de una red de vapor, a la distribución de un combustible en distintos puntos, por lo que esta última estructura es recomendada principalmente para pequeñas y medianas empresas, donde no se tienen variedad de procesos o estos se ubican en una sola área (Moreno, 2015).

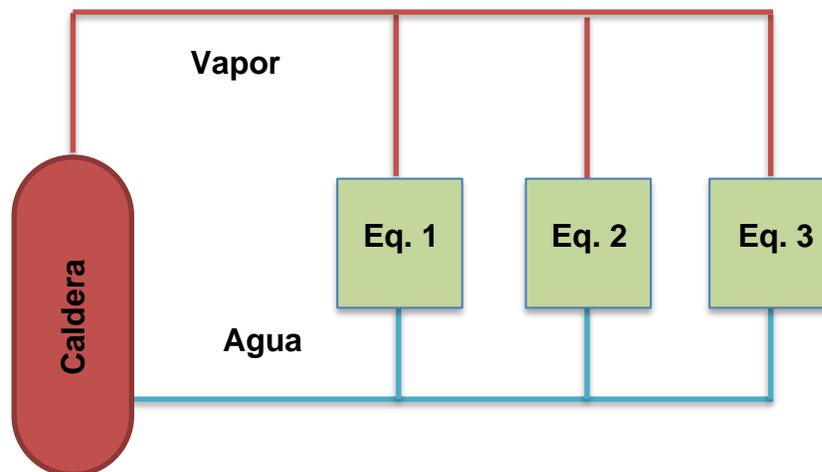


Ilustración 2: Sistema de calentamiento centralizado

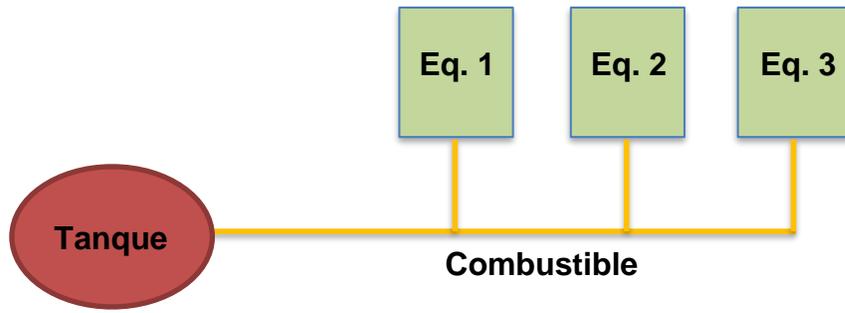


Ilustración 3: Sistema de calentamiento descentralizado

Capítulo III. Desarrollo metodológico

3.1 Análisis Energético

3.1.1 Abastecimiento energético

Como ya se mencionó anteriormente en este documento, el consumo energético de la caldera, es suministrado mediante la quema de gas LP, teniendo un tanque de almacenamiento para este propósito y otro instalado únicamente para consumo en la cocina; por lo que en la facturación de combustible se encuentra especificado de manera exacta la cantidad de combustible empleado para la generación de vapor.

En la Tabla 1 se observan de manera resumida los datos de cantidades y costos de gas LP rescatados de la facturación de la empresa, únicamente referenciados al consumo de la caldera. El suministro de este elemento se lleva a cabo aproximadamente cada siete días; las cifras aquí mostradas se consiguieron de la suma de todos los reabastecimientos efectuado durante cada mes, así mismo, los costos unitarios derivan ser el promedio del precio del litro de combustible semanalmente.

Mes	Litros	Costo [\$]	Costo unitario [\$/L]
Enero	5487	44,170.35	8.05
Febrero	2904	24,097.81	8.30
Marzo	2640	21,912.00	8.30
Abril	3613	28,542.71	7.90
Mayo	4634	35,913.52	7.75
Junio	4865	39,406.52	8.10
Julio	5584	43,555.23	7.80
Agosto	3493	28,642.61	8.20
Septiembre	4536	36,280.28	8.00
Octubre	4620	36,960.40	8.00
Noviembre	4705	37,640.52	8.00
Diciembre	3832	30,656.51	8.00

Tabla 1: Facturación mensual de gas LP

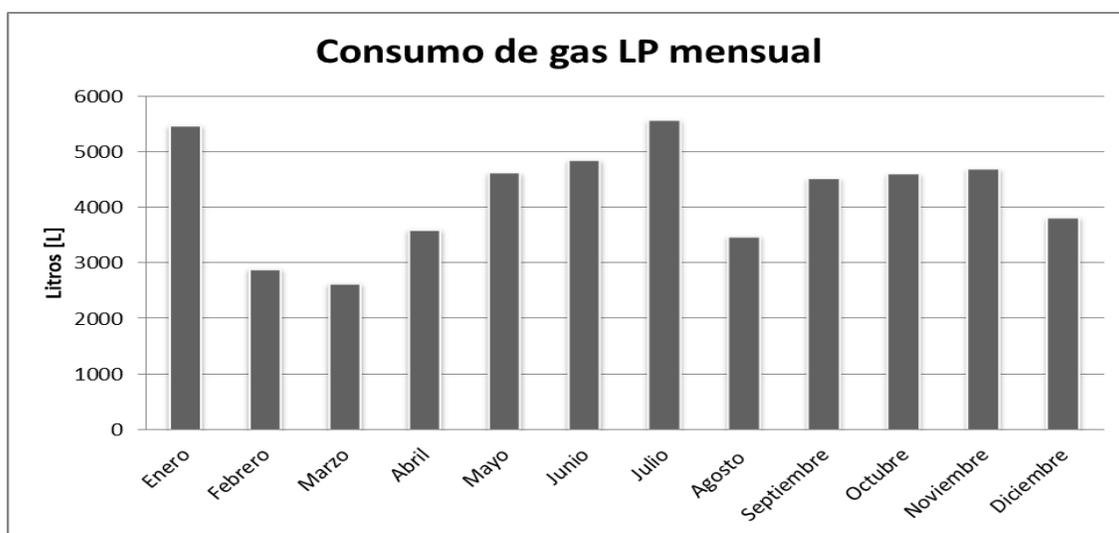
De igual modo, se tiene una segunda tabla correspondiente al consumo energético en el generador de vapor, con datos trasladados a unidades de energía (ver Tabla 2), esto en

consideración que la sustancia en cuestión presenta un poder calorífico de 48078.39 [kJ/kg]¹ y una densidad de 0.53952 [kg/L]².

Mes	kJ	MJ	kg	Costo unitario [\$/MJ]
Enero	142328701	142328.70	2960.35	0.310
Febrero	75310725	75310.72	1566.42	0.320
Marzo	68479637	68479.64	1424.33	0.320
Abril	93718534	93718.53	1949.29	0.304
Mayo	120202515	120202.52	2500.14	0.298
Junio	126194483	126194.48	2624.77	0.312
Julio	144844809	144844.81	3012.68	0.301
Agosto	90605823	90605.82	1884.54	0.316
Septiembre	117635436	117635.44	2446.74	0.308
Octubre	119840662	119840.66	2492.61	0.309
Noviembre	122045888	122045.89	2538.48	0.308
Diciembre	99400891	99400.89	2067.48	0.309

Tabla 2: Consumo energético mensual de la caldera

En la Gráfica 1: Consumo de gas LP mensual, se puede observar el comportamiento del gasto energético en el área térmica, asociado a la operación de la caldera de acuerdo a los periodos del año. Donde los mayores valores de cantidad de combustible empleado se tienen en el mes de enero y julio, meses en los cuales, se presentan climas un tanto más extremos, como lo son bajas temperaturas y precipitaciones de mayor volumen y duración; demandando así el equipo una mayor cantidad de calor ya sea debido al aumento de la humedad en el aire o al gradiente de temperatura.



Gráfica 1: Consumo de gas LP mensual

¹ Diario Oficial de la Federación, Lista de combustibles (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2016)

²PEMEX, Hoja de datos de seguridad para sustancias químicas gas LP (PEMEX, 2007)

3.1.2 Análisis técnico de la caldera

Como base para el desarrollo de la sección de contabilidad energética, es necesario obtener previamente la eficiencia de la caldera, de tal manera que con este dato se puedan cuadrar los consumos de combustible con los de vapor por parte de los elementos del sistema. Para ello, se empleó un analizador de gases combustión marca BACHARACH (modelo PCA3), con el que se obtuvo los contenidos y sus porcentajes de compuestos químicos en los gases de salida, las mediciones se realizaron tomando una muestra directamente de la chimenea de la caldera. Los datos obtenidos se encuentran ordenados en la Tabla 3.

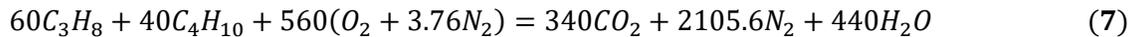
Combustible	%O ₂	%CO ₂	%EFF	%EA	T-Stk	T-Air	ppm NO _x	ppm NO
Propano	5.8	10	85.3	35	170	23.2	39	37
Propano	2.6	12.1	85.8	12.9	183	23.2	64	61
Propano	2.6	12.1	85.7	12.7	184	23.2	65	62
Propano	3	11.8	84.9	15.5	197	18.1	64	71
Propano	3.6	11.4	85.3	18.7	185	20.1	60	66
Promedio	2.9758	11.83	85.388	15.227	188.36	21.72	63.3636	60.303

Tabla 3: Gases de combustión

Una vez promediados los datos del analizador, se calculó la eficiencia de la caldera mediante el método indirecto o de pérdidas de calor descrito en el código ASME PTC-4. Dicho método brinda una eficiencia obtenida a partir de la resta de la energía introducida por el combustible y las pérdidas en el equipo. A continuación, se describe el desarrollo para la resolución del método.

1.- Cálculo del Balance Estequiométrico

Ecuación estequiométrica teórica:



❖ Balance en base seca

Compuesto	%
O ₂	2.9758
CO ₂	11.83
NO	0.0060303
NO _x	0.0063364
NO ₂	0.000306

A partir de los porcentajes de NO y NO_x se obtuvo el valor de NO₂:

$$NO_2 = NO_x - NO = 0.0063364 - 0.0060303 = 0.0003061$$

De esta manera se realiza el balance estequiométrico completo:

$$z[60C_3H_8 + 40C_4H_{10}] + x(O_2 + 3.76N_2) = 2.9758O_2 + 11.83CO_2 + aN_2 + bH_2O + 0.000306NO_2 \quad (8)$$

Obteniendo las incógnitas:

$$z = \frac{11.83}{(60 * 3) + (40 * 4)} = \mathbf{0.03479}$$

$$b = \frac{0.03479(40 * 10 + 60 * 8)}{2} = \mathbf{15.3076}$$

$$x = \frac{(2.9758 * 2) + (11.83 * 2) + 15.3076 + (0.000306 * 2)}{2} = \mathbf{22.4599}$$

$$a = 22.4599 * 3.76 = \mathbf{84.449}$$

Quedando el balance de la siguiente forma:

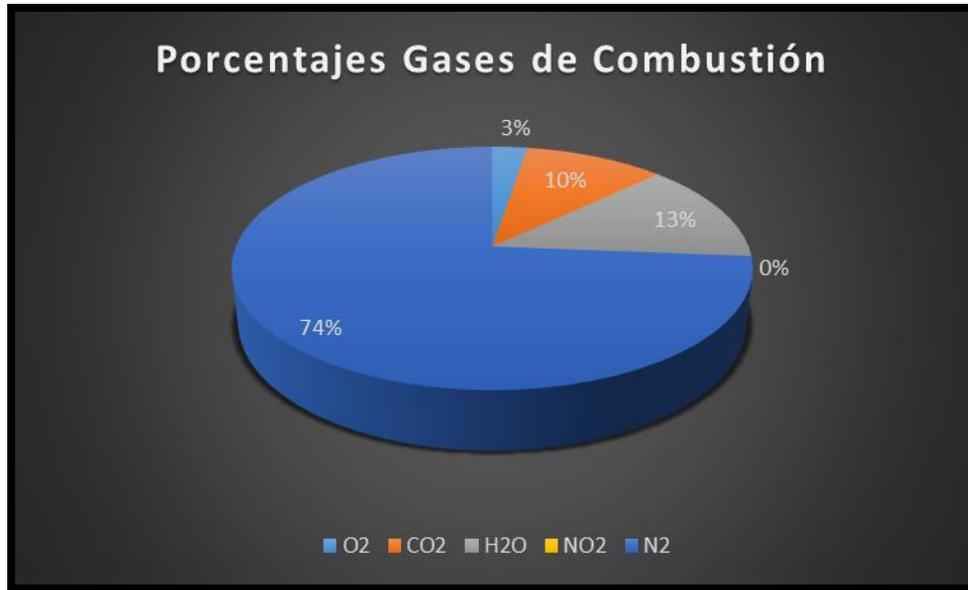
$$0.03479[60C_3H_8 + 40C_4H_{10}] + 22.4599(O_2 + 3.76N_2) = 2.9758O_2 + 11.83CO_2 + 84.449N_2 + 15.3076H_2O + 0.000306NO_2 \quad (9)$$

Los nuevos porcentajes serían los siguientes:

Compuesto	%
O_2	2.9758
CO_2	11.83
H_2O	15.3076
NO_2	0.000306
N_2	84.449
Total	114.562

Normalizando a un 100%:

Compuesto	%
O_2	2.5975
CO_2	10.326
H_2O	13.3618
NO_2	0.000267
N_2	73.714
Total	100



Gráfica 2: Proporción de compuestos en gases de combustión

La composición que se muestra en la Gráfica 2 deriva ser lo esperado, siendo una combustión completa, en la cual no se encuentran inquemados (ej. CO), sin embargo, en relación a la presencia de O₂, se denota que hay un exceso de aire, hecho que disminuye la eficiencia de la quema del combustible.

2.- Cálculo de la eficiencia de la caldera mediante el método de pérdidas de calor

La eficiencia de la caldera estará dada por la siguiente formula:

$$\eta = 100 - \frac{C_{perdido} * 100}{Q_{entra}} \quad (10)$$

$$\eta = 100 - \frac{C_{perdido} * 100}{PCS_{comb} + C_{entra}} \quad (11)$$

Dónde:

C_{Perd} = Pérdidas de Calor en el Generador de Vapor (kJ/kg_{comb})

PCS_{Comb} = Poder Calorífico Superior (kJ/kg_{comb})

C_{Entra} = Calor que entra, Créditos (kJ/kg_{comb})

Las pérdidas de calor se definen de la siguiente manera:

$$C_{perdido} = L_{GCS} + L_{FCO} + L_{CH_2} + L_{HComb} + L_{HAire} + L_R + L_I \quad (12)$$

Dónde:

C_{Perd} = Pérdidas de Calor en el Generador de Vapor (kJ/kg_{Comb})

$L_{GCS} = \text{Pérdidas de Calor en los Gases de Combustión Secos (kJ/kg}_{Comb})$

$L_{FCO} = \text{Pérdidas de Calor por Formación de CO (kJ/kg}_{Comb})$

$L_{CH_2} = \text{Pérdidas de Calor por Combustión del Hidrógeno en el combustible (kJ/kg}_{Comb})$

$L_{HComb} = \text{Pérdidas de Calor por Humedad en el Combustible (kJ/kg}_{Comb})$

$L_{HAire} = \text{Pérdidas de Calor por Humedad en el Aire de Ingreso (kJ/kg}_{Comb})$

$L_R = \text{Pérdidas de Calor por Radiación (kJ/kg}_{Comb})$

$L_I = \text{Pérdidas de Calor por Indeterminados (kJ/kg}_{Comb})$

Por lo que primero se procederán a calcular dichas perdidas:

- Pérdidas de calor en los gases de combustión secos

$$L_{GCS} = W_{gcs} * C_{P_{gcs}} * (T_{gcs} - T_{ref}) \quad (13)$$

Dónde:

$L_{GCS} = \text{Pérdidas de Calor en los Gases de Combustión Secos (kJ/kg}_{Comb})$

$W_{gcs} = \text{Gasto de Gases de Combustión Secos (kg/kg}_{Comb})$

$C_{P_{gcs}} = \text{Calor Específico a Presión Constante de los Gases de Combustión (kJ/kgK)}$

$T_{gcs} = \text{Temperatura de los Gases de Combustión Secos (K)}$

$T_{ref} = \text{Temperatura de Referencia (273.15 K)}$

Obteniendo el gasto de los gases

$$W_{gcs} = \frac{(44.01 * CO_2 + 32 * O_2 + 28.02 * N_2 + 28.01 * CO) * \left(C + \frac{12.01S}{32.07}\right)}{\frac{12.01 * (CO + CO_2)}{100}} \quad (14)$$

Dónde:

$W_{gcs} = \text{Gasto de Gases de Combustión Secos (kg/Kg}_{Comb})$

$CO_2 = \text{Dióxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (\%)}$

$O_2 = \text{Oxígeno en los Gases de Combustión Secos (\%)}$

$N_2 = \text{Nitrógeno en los Gases de Combustión Secos (\%)}$

$CO = \text{Óxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (\%)}$

$C = \text{Carbón en el Combustible (\%)}$

$S = \text{Azúfre en el Combustible (\%)}$

$$W_{gcs} = \frac{(44.01 * 10.326 + 32 * 2.5975 + 28.02 * 73.714 + 28.01 * 0) * \left(0.8235 + \frac{12.01 * 0}{32.07}\right)}{12.01 * (0 + 10.326)} \quad (15)$$

$$W_{gcs} = 17.2849 \frac{kg}{kg_{comb}}$$

$$\rightarrow \text{porcentaje de C en el combustible} = \frac{3 * 12 + 4 * 12}{3 * 12 + 8 + 4 * 12 + 10} = 0.8235$$

Temperatura de los gases de combustión: 188.36 °C

Calculando el CP de los gases de combustión

$$CP_{gsc} = \sum_{i=1}^n \%_i M_i CP_i \quad (16)$$

Dónde:

CP_{gcs} = Calor Específico a Presión Cte. de los Gases de Combustión Secos (kJ/kgK)

CP_i = Calor Específico a Presión Cte. del i – ésimo componente (kJ/kmolK)

M_i = Masa Molar del i – ésimo Componente (kmol/kg)

$\%_i$ = Porcentaje del i – ésimo Componenten (%)

Gas	%	Masa molar [kmol/kg]	CP $\left[\frac{kJ}{kmol K} \right]$
O2	0.1116	0.03125	31.09996454
CO2	0.052	0.02272	28.43865488
N2	0.7617	0.03569	29.61374265
H2O	0.07144	0.05551	35.02116362

Cabe mencionar que el CP de cada gas fue calculado a partir de la siguiente formula:

$$CP = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (17)$$

Obteniendo los valores de a, b, c y d de tablas (Cengel & Boles, 2012).

Resolviendo la fórmula para el CP:

$$CP_{gsc} = 1.086 \frac{kJ}{kgK}$$

Por lo tanto:

$$L_{GCS} = 17.2849 * 1.086 * (461.51 - 273.15) = 3536.78 \frac{kJ}{kg}$$

➤ Pérdidas de calor por formación de CO

$$L_{FCO} = \frac{\frac{10160 * 1.0549 * 2.205 * CO * C}{100}}{CO_2 + CO} \quad (18)$$

Dónde:

L_{FCO} = Pérdidas de Calor por Formación de CO (kJ/kg_{comb})

$CO_2 =$ Dióxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

$CO =$ Óxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

$C =$ Carbón en el Combustible (%)

$$L_{FCO} = \frac{10160 * 1.0549 * 2.205 * 0 * 82.35}{100} \approx 0 \frac{kJ}{kg}$$

➤ Pérdidas de calor por combustión del hidrógeno en el combustible

$$L_{CH_2} = 8.936 * H_2 * (h_{v2} - h_{wsat}) \quad (19)$$

Dónde:

$L_{CH_2} =$ Pérdidas de Calor por Combustión de H en el Combustible (kJ/kg_{Comb})

$\%H_2 =$ Hidrógeno en el Combustible (%)

$h_{v2} =$ Entalpía del Vapor a la Presión Parcial del Agua (P_{mg}) ...

... y Temperatura de los Gases de Combustión (T_{gcs}). (kJ/kg)

$h_{vsat} =$ Entalpía del Líquido Saturado a la Temperatura de Referencia (kJ/kg)

Obteniendo los valores de entalpias de tablas:

$$h_{v2} = 2853 \frac{kJ}{kg} \rightarrow T = 188.36^\circ C \quad P = 0.9025 [bar]; \quad h_{vsat} = 91.118 \frac{kJ}{kg} \rightarrow T = 21.72^\circ C$$

Calculando la presión parcial del vapor de agua en los flujos de gases de combustión.

$$PP_{agua} = \frac{P_{Bar}}{1 + \frac{1.5 * C}{m_{gc} - (CO_2 + CO)}} \quad (20)$$

Dónde:

$PP_{agua} =$ Presión Parcial del Agua en los Gases de Combustión (bar)

$P_{bar} =$ Presión Barométrica del lugar (bar)

$m_{gc} =$ Contenido de Humedad en los Gases de Escape (kg_{agua}/kg_{aire})

$CO_2 =$ Dióxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

$CO =$ Óxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

$C =$ Carbón en el Combustible (%)

$$PP_{agua} = \frac{0.77155}{1 + \frac{1.5 * 0.8235}{1.8165 - (10.326 + 0)}} = 0.9025 [bar]$$

Primero se procederá a calcular la presión barométrica y el contenido de humedad de los gases de escape.

✚ Presión barométrica

$$P_{Bar} = P_0(1 - 22.557 \times 10^{-6} A_{region})^{5.256} \quad (21)$$

Dónde:

P_{bar} = Presión Barométrica del Lugar (bar)

P_0 = Presión a nivel del Mar (bar)

A_{region} = Altura de la Region (m)

$$P_{Bar} = 1.01325 * (1 - 22.557 \times 10^{-6} (2240))^{5.256}$$

$$P_{Bar} = 0.77155 [bar]$$

✚ Contenido de humedad en los gases de escape

$$m_{gc} = \frac{8.936 * H_2}{100} + W_{as} * W_{aw} \quad (22)$$

Dónde:

m_{gc} = Contenido de Humedad en los Gases de Combustión (kg_{agua}/kg_{gc})

H_2 = Hidrógeno en el Combustible (%)

W_{as} = Gasto de Aire Seco ($kg_{aireseco}/kg_{comb}$)

W_{aw} = Contenido de Humedad en el Aire (kg_{agua}/kg_{gc})

$$m_{gc} = \frac{8.936 * (100 - 82.35)}{100} + (16.8876 * 0.010336) = 1.8165 \frac{kg_{agua}}{kg_{gc}}$$

Calculando el gasto de aire seco.

$$W_{as} = \frac{W_{N_2} - \frac{N_2}{100}}{0.7685} \quad (23)$$

Dónde:

W_{as} = Gasto de Aire Seco ($kg_{aireseco}/kg_{comb}$)

W_{N_2} = Gasto de Nitrógeno en la Combustión (kg_{N_2}/kg_{gc})

N_2 = Nitrógeno en el Combustible (%)

$$W_{as} = \frac{13.7153 - \frac{73.714}{100}}{0.7685} = 16.8876 [kg_{aireseco}/kg_{comb}]$$

Calculando el gasto de nitrógeno

$$W_{N_2} = \frac{28.02 * N_2}{12.01 * (CO_2 - CO)} * \frac{C + \frac{12.01S}{32.07}}{100} \quad (24)$$

Dónde:

W_{N_2} = Gasto de Nitrógeno en la Combustión (kg_{N_2}/kg_{gc})

N_2 = Nitrógeno en el Combustible (%)

CO_2 = Dióxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

CO = Óxido de Carbón en los Gases de Combustión Secos (%)

C = Carbono en el Combustible (%)

S = Azufre en el Combustible (%)

$$W_{N_2} = \frac{28.02 * 73.714}{12.01 * (10.326 - 0)} * \frac{82.35 + \frac{12.01(0)}{32.07}}{100} = 13.7153 [kg_{N_2}/kg_{gc}]$$

El contenido de humedad en el aire fue obtenido a partir de las mediciones (porcentaje de humedad y temperatura), obtenidas del higrómetro marca Extech modelo 45160.

$$W_{aw} = 0.010336 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire seco}}$$

Por lo tanto, las pérdidas quedan definidas como:

$$L_{CH_2} = 8.936 * (1 - 0.8235) * (2853 - 91.118) = 4356.051 \frac{kJ}{kg_{combustion}}$$

- Pérdidas de calor por humedad en el combustible

Al no tener el dato la cantidad de agua en el combustible, se tomara como nula la pérdida. Para el cálculo del calor entrante, se usara el poder calorífico inferior del combustible a manera de no tomar en cuenta el calor desaprovechado debido al contenido de agua.

$$L_{HComb} \approx 0 \frac{kJ}{kg}$$

- Pérdidas de calor por humedad en el aire de ingreso

$$L_{Haire} = W_{as} * W_{aw} * (h_{v2} - h_{vsat}) \quad (25)$$

L_{Haire} = Pérdidas de Calor por Humedad en el Aire de Ingreso (kJ/kg_{comb})

W_{as} = Gasto de Aire Seco ($kg_{AireSeco}/kg_{Comb}$)

$W_{aw} = \text{Contenido de Humedad en el Aire (kg}_{\text{Agua}}/\text{kg}_{\text{gc}})$

$h_{v^2} = \text{Entalpía del Vapor a la Presión Parcial del Agua (P}_{\text{mg}})$

y $\text{Temperatura de los Gases de Combustión (T}_{\text{gcs}})$. (kJ/kg)

$h_{vsat} = \text{Entalpía del Líquido Saturado a la Temperatura de Referencia (kJ/kg)}$

$$L_{\text{Haire}} = 16.8876 * 0.010336 * (2853 - 91.118) = 482.087 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{comb}}}$$

➤ Pérdidas de calor por radiación

Se tomara un 2% de perdidas de calor debido a este efecto

$$\therefore L_R = 0.02 * Q_{\text{entra}} = 0.02 \left(48494.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 969.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

➤ Pérdidas de calor por indeterminados

Se tomara un 1% de perdidas de calor por indeterminados debido a que la caldera presenta una antigüedad de 7 años, mas un 1% debido a perdidas en la mirilla por la cual escapaba aire caliente

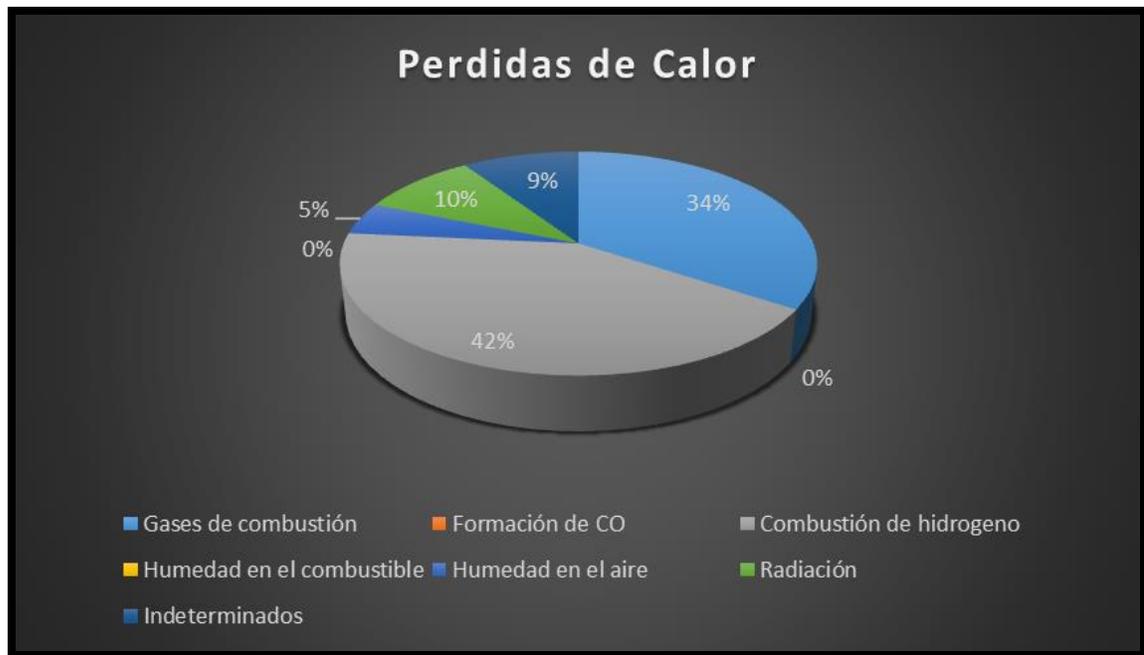
$$\therefore L_I = 0.02 * Q_{\text{entra}} = 0.02 \left(48494.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 969.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Por último, se obtiene el total de calor perdido, sumando todas las pérdidas:

Tipo de perdida	Calor perdido [kJ/kg]
L_{GCS}	3536.78
L_{FCO}	0
L_{CH2}	4356.051
L_{HComb}	0
L_{HAire}	482.087
L_R	969.89
L_I	969.89

Tabla 4: Valores de calores perdidos

$$C_{\text{perdido}} = 10314.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



Gráfica 3: Porcentajes de pérdidas de calor

Continuando con el metodo se procede a calcular la cantidad de calor entrante al equipo:

El valor del PCI_{comb} se obtuvo del listado de combustibles presentado en el Diario Oficial de la Federación (01/02/2019). El análisis se realizó con el poder calorífico inferior debido a que este no engloba el calor necesario para evaporizar el agua contenida en el combustible:

$$PCI_{comb} = 48078.40 \frac{kJ}{kg}$$

Así mismo el calor de entrada queda expresado de la siguiente manera:

$$Q_{Entra} = PCS_{comb} + C_{entra} \quad (26)$$

$$Q_{entra} = PCI_{comb} + (C_{scomb} + C_{ae} + C_{ha}) \quad (27)$$

Dónde:

Q_{Entra} = Calor Total que Ingresa (kJ/kg_{comb})

PCS_{comb} = Poder Calorífico Superior (kJ/kg_{comb})

C_{Entra} = Calor que Ingresa (kJ/kg_{comb})

$C_{S_{comb}}$ = Calor que Ingresa con el Calor Sensible del Combustible (kJ/kg_{comb})

C_{AE} = Calor que Ingresa con el Aire de Entrada (kJ/kg_{comb})

C_{hE} = Calor que Ingresa con la Humedad del Aire de Entrada (kJ/kg_{comb})

Calculando las fuentes de calor que componen la fórmula anteriormente descrita:

- Calor que ingresa con el combustible

$$C_{scomb} = CP_{comb}(T_{comb} - T_{ref}) \quad (28)$$

Dónde:

C_{sComb} = Calor que Ingresa con el Calor Sensible del Combustible (kJ/kg_{comb})

Cp_{Comb} = Calor Específico del Combustible (kJ/kg_{comb})

T_{Comb} = Temperatura del Combustible (K)

T_{Ref} = Temperatura de Referencia (K)

$$CP_{comb} = 2.63 \frac{KJ}{kg K}$$

$$C_{scomb} = 2.63 (290.85 - 273.15) = 46.551 \frac{kJ}{kg_{comb}}$$

- Calor que entra con el aire de entrada

$$C_{ae} = W_{as} * CP_{aire} * (T_{ae} - T_{ref}) \quad (29)$$

Dónde:

C_{AE} = Calor que Ingresa con el Aire de Entrada (kJ/kg_{comb})

W_{Aseco} = Gasto de Aire Seco (kg_{AireSeco}/kg_{Comb})

Cp_{Aire} = Calor Específico del Aire (kJ/kg_{Aire}K)

T_{AE} = Temperatura del Aire que Entra (K)

T_{Ref} = Temperatura de Referencia (K)

$$CP_{aire} = 1.007 \frac{KJ}{kg K}$$

$$C_{ae} = 16.8876 * 1.007 * (294.87 - 273.15) = 369.366 \frac{kJ}{kg_{comb}}$$

- Calor que ingresa con la humedad

$$C_{ha} = W_{as} * W_{aw} * (h_{v1} - h_{vsat}) \quad (30)$$

Dónde:

C_{hA} = Calor que Ingresa con la Humedad del Aire (kJ/kg_{comb})

W_{as} = Gasto de Aire Seco (kg_{AireSeco}/kg_{Comb})

W_{aw} = Contenido de Humedad en el Aire (kg_{Agua}/kg_{gc})

h_{v1} = Entalpía del Vapor a la Presión Parcial del Agua (P_{mg})

y Temperatura Ambiente (T_a). (kJ/kg)

$h_{vsat} = \text{Entalpía del Líquido Saturado a la Temperatura de Referencia (kJ/kg)}$

Obteniendo los valores de entalpias de tablas de vapor (Cengel & Boles, 2012):

$$h_{v2} = 91.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow T = 21.72^\circ\text{C } P = 0.9025 [\text{bar}]; \quad h_{vsat} = 91.118 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \rightarrow T = 21.72^\circ\text{C}$$

$$C_{ha} = 16.8876 * 0.010336 * (91.2 - 91.118) = \mathbf{0.0143} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{comb}}$$

$$\therefore Q_{entra} = 48078.40 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \left(46.551 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{comb}} + 369.366 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{comb}} + 0.0143 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{comb}} \right)$$

$$Q_{entra} = \mathbf{48494.33} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Retomando la fórmula para el cálculo de la eficiencia de la caldera y sustituyendo valores:

$$\eta = 100 - \frac{C_{perdido} * 100}{PCS_{comb} + C_{entra}} \quad (31)$$

$$\eta = 100 - \frac{10314.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 100}{48494.33 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$\therefore \eta = \mathbf{78.73\%}$$

De acuerdo a la información adquirida a través del desarrollo del método anteriormente mencionado, se concluye que la caldera se encuentra trabajando bajo una eficiencia del 78.73 por ciento. Así mismo, como se puede observar en la Gráfica 3: Porcentajes de pérdidas de calor, el área donde se tiene una mayor cantidad de estas, son durante la combustión del hidrogeno (elemento asociado al combustible) y en segunda instancia se tiene las pérdidas por gases de combustión, o sea, el calor que escapa junto con estos, en relación a la temperatura a la que son liberados.

3.1.3 Contabilidad energética

En este punto se busca saber cuánto del calor generado por la caldera es transportado a los equipos y como éstos lo están empleando. Aunado a esta parte se pretende conocer de manera precisa el consumo y la demanda aportada por las cargas del sistema de vapor (el tanque de agua caliente, la marmita, los baños maría y el lavalozza), a lo largo de los días; para

ello se calcularán los valores de las cargas máximas y se construirán los perfiles de consumo de energía térmica.

Referente a la estimación de la demanda por equipo, se obtuvo la transferencia de energía máxima necesaria para que estos operaran de manera deseada, de acuerdo a sus condiciones de trabajo descritas por el personal. Para ello se calculó la cantidad de energía absorbida durante su funcionamiento, mediante la ecuación (32).

$$\dot{Q} = \dot{m} * CP * \Delta T \quad (32)$$

Cabe recalcar que la temperatura inferior empleada para las operaciones, es la temperatura mínima promedio mensual del agua en la Ciudad de México en el año 2018; dato obtenido de la página del Servicio Meteorológico Nacional. Los valores de densidad y calor específico para el agua, fueron obtenidos de tablas.

1.- Tanque de agua caliente

De acuerdo a la descripción del funcionamiento del tanque, se estimó que este llega a su temperatura programada en aproximadamente una hora, agregándole 15 minutos de margen de error, se estableció un tiempo de ejecución de 75 minutos.

Con respecto a la temperatura a la que es extraída el agua caliente, esta se encuentra a 85°C, valor medido directamente de la tubería de salida con el uso de una pistola laser de temperatura. Por consiguiente, la demanda máxima del equipo queda definida como:

$$Volumen\ del\ tanque = 1150 [L]$$

$$T_1 = 11.3 [^{\circ}C] \quad T_2 = 85 [^{\circ}C]$$

$$\rho_{agua\ (11^{\circ}C)} = 0.99968 [kg/L]$$

$$CP_{agua\ (11^{\circ}C)} = 4.191 [kJ/kg^{\circ}K]$$

$$\dot{m} = \frac{volumen}{tiempo} * \rho_{agua\ (11^{\circ}C)}$$

$$\dot{m} = \frac{1150 [L]}{75 [min]} * \frac{1 [min]}{60 [seg]} * 0.99968 [kg/L] = 0.25547 [kg/s]$$

$$\dot{Q} = 0.25547 [kg/s] * 4.191 [kJ/kg^{\circ}K] * (85^{\circ}C - 11.3^{\circ}C)$$

$$\dot{Q} = 78.9 \text{ [kJ/s]}$$

2.- Marmita

Se consideró que la temperatura a la cual se lleva la cocción de los alimentos es de 100°C. Así mismo, de acuerdo a las demandas del personal de cocina, se determinó un tiempo de aproximadamente 25min desde que se prende el equipo hasta que el platillo llega a su estado de hervor.

En el Anexo 1 del documento se muestra una tabla CP's para distintos tipos de alimentos, los cuales se consideran son los más comunes en su preparación en la marmita (obtenidos a partir de ponderaciones). El CP utilizado para los cálculos desarrollados en este punto, es el del caldo de camarón, el cual resulto ser el más alto.

Por último, para la densidad de los platillos, se usará la densidad del agua a una temperatura de 11.3 °C, con un porcentaje del 15% de aumento en este; esto en consideración de que los ingredientes utilizados para los caldos, presentan altos porcentaje de agua en su composición.

$$\text{Volumen de la marmita} = 200 \text{ [L]}$$

$$T_1 = 11.3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad T_2 = 100 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\rho_{\text{alimentos}} = 1.1496 \text{ [kg/L]}$$

$$CP_{\text{alimentos}} = 3.9614 \text{ [kJ/kg}^\circ\text{K]}$$

$$\dot{m} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} * \rho_{\text{agua (11}^\circ\text{C)}}$$

$$\dot{m} = \frac{200 \text{ [L]}}{25 \text{ [min]}} * \frac{1 \text{ [min]}}{60 \text{ [seg]}} * 1.1496 \text{ [kg/L]} = 0.1596 \text{ [kg/s]}$$

$$\dot{Q} = 0.1596 \text{ [kg/s]} * 3.9614 \text{ [kJ/kg}^\circ\text{K]} * (100 \text{ }^\circ\text{C} - 11.3 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 56 \text{ [kJ/s]}$$

3.- Baños maría

Debido a la falta de información del elemento, como datos de placa o el modelo, el volumen del agua contenida en éste, se calculó con base a las medidas tomadas de sus dimensiones.

Describiendo de manera breve su funcionamiento, el equipo es encendido al menos media hora antes de que los alimentos sean colocados en las viandas, manteniendo éstos a una temperatura de alrededor 75°C, valor obtenido con el termómetro infrarrojo.

$$\text{Volumen de los baños maría} = 24 [dm] * 8 [dm] * 1.5[dm] = 288 [L]$$

$$T_1 = 11.3 [^{\circ}C] \quad T_2 = 75 [^{\circ}C]$$

$$\rho_{\text{agua } (11^{\circ}C)} = 0.99968 [kg/L]$$

$$CP_{\text{agua } (11^{\circ}C)} = 4.191 [kJ/kg^{\circ}K]$$

$$\dot{m} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} * \rho_{\text{agua } (11^{\circ}C)}$$

$$\dot{m} = \frac{288 [L]}{30 [min]} * \frac{1 [min]}{60 [seg]} * 0.99968 [kg/L] = 0.1599 [kg/s]$$

$$\dot{Q} = 0.1599 [kg/s] * 4.191 [kJ/kg^{\circ}K] * (75^{\circ}C - 11.3^{\circ}C)$$

$$\dot{Q} = 42.7 [kJ/s]$$

4.- Lavalozza

El dato de demanda de vapor del lavalozza fue obtenido directamente de las especificaciones del manual, siendo el modelo de esta: C44A, marca HOBART (Hobartcorp, 2006).

<p>Steam Consumption - Pounds per hr. - MAXIMUM Approx. 30 lbs. per hr. = 1 boiler H.P. (BHP) Dishwasher, based on 20 PSI steam and on customersupplying final rinse water at 180°F maximum</p>	
--	--

Realizando las transformaciones de unidades necesarias, se obtiene la siguiente demanda:

$$\text{Consumo de vapor} = \frac{65 [lb/h]}{30 [BHP]} = 2.167 [BHP]$$

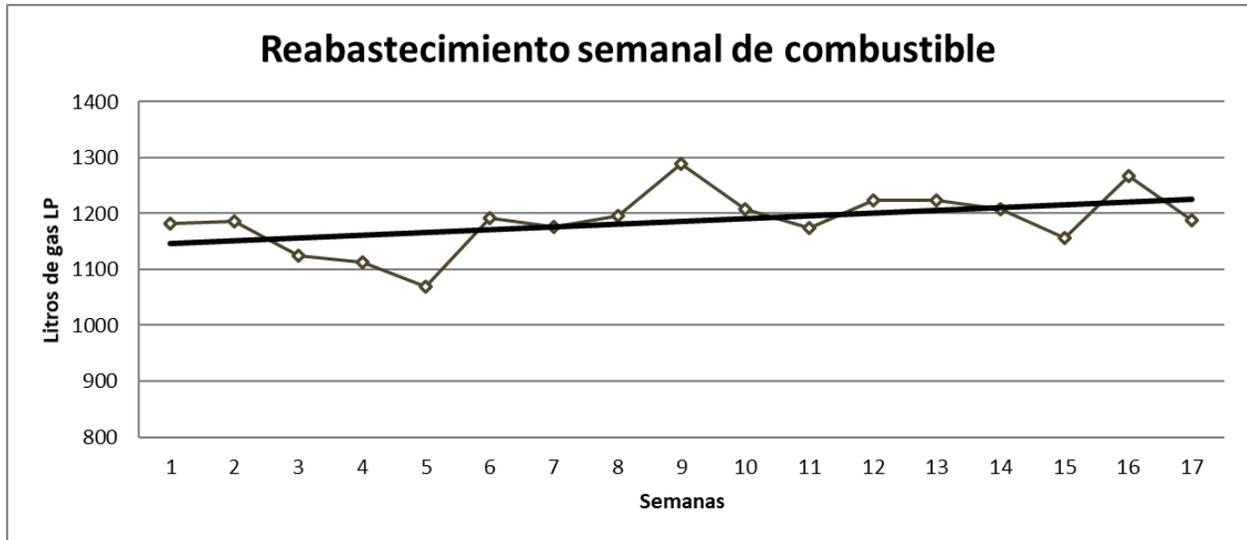
$$\dot{Q} = 2.167 [BHP] * 9.81 [kW/BHP] = 21.255 [kJ/s]$$

3.1.4 Perfiles de demanda

A partir de las demandas máximas por equipo, se fueron estableciendo factores de uso a lo largo de la jornada laboral en intervalos de 15 minutos, esto de acuerdo a la necesidad de operación del elemento en referencia a la actividad que desarrolla, obteniendo así unos perfiles de demanda base, sobre los cuales se trabajó y estilizaron.

Por ejemplo, en el caso del tanque de agua caliente, el periodo donde se tiene un mayor requerimiento de vapor, es a primera hora de mañana, donde todo el volumen de agua del tanque precisa ser llevado a su temperatura de entrega. Posterior a ello, la demanda disminuye, sin embargo no de manera drástica, ya que el personal de trabajo comienza a llegar, ocupando así las regaderas; sin mencionar que da inicio la actividad en la cocina. Entonces, una vez que se abre el comedor, se necesita de agua caliente (que se traduce en necesidad de vapor), este consumo se denota principalmente al final de actividades de esta área, que es donde la cocina dispone de agua atemperada para lavar cazuelas, ollas y toda aquella loza que no cabe en el lavalozas. A todas estas funciones se le designa un factor de uso y así se continúa hasta tener el perfil de demanda de todo un día. El mismo procedimiento fue reproducido para el resto de los equipos.

A pesar de que los perfiles por sí solos dan una idea de cómo se encuentra trabajando el sistema, estos no tienen una validez del todo, al menos para la realización de un diagnóstico energético, ya que fueron creados a partir de suposiciones subjetivas. Para ello, con el objetivo de asociarles una mayor autenticidad, se cruzó la energía semanal total usada en el sistema (dato brindado por los perfiles) con el calor entregado por la caldera; tomando en cuenta su eficiencia y las pérdidas en tuberías. Se optó por hacer el análisis energético a nivel semanal (para posteriormente extrapolarlo de manera anual), debido a que, tal como se muestra en la Gráfica 4, se observó que no existen variaciones extremas en los consumos de combustibles, teniendo en promedio 1180 litros por semana.



Gráfica 4: Reabastecimiento semanal de gas LP

Referente al porcentaje de pérdidas en tuberías, se calculó una cantidad de pérdidas del 3.548 [%], esto a partir de las condiciones del vapor a la salida del generador y a su llegada a los equipos. El procedimiento fue el siguiente:

$$P_{salida} = 26 \text{ [psi]} \quad T_{salida} = 135 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Para las condiciones de llegada se considero que el vapor se encuentra en estado de saturación, a una temperatura de 110 [°C], valor promedio de las temperaturas del vapor en la tomas de llegada en la cocina.

Obteniendo las entalpías de la sustancia de trabajo a estas condiciones de estado³:

$$h_{salida} = 2739.7 \text{ [kJ/kg]} \quad h_{llegada} = 2691 \text{ [kJ/kg]}$$

Por ultimo, bajo el modelo de perdidas entre energía entregada, se tiene:

$$\begin{aligned} \% \text{ perdidas} &= \frac{h_{salida} - h_{llegada}}{h_{salida}} * 100 \\ \% \text{ perdidas} &= \frac{2739.7 \text{ [kJ/kg]} - 2691 \text{ [kJ/kg]}}{2739.7 \text{ [kJ/kg]}} * 100 \\ \% \text{ perdidas} &= 1.78 \text{ [%]} \end{aligned}$$

³ Los valores de las entalpías fueron obtenidos de tablas de vapor (Cengel & Boles, 2012).

Tomando en cuenta el circuito de tuberías de retorno, se obtiene un porcentaje total de pérdidas de calor del 3.56 [%]

Habiendo evaluado este último dato, se procedió a estimar la cantidad de energía entregada a los equipos.

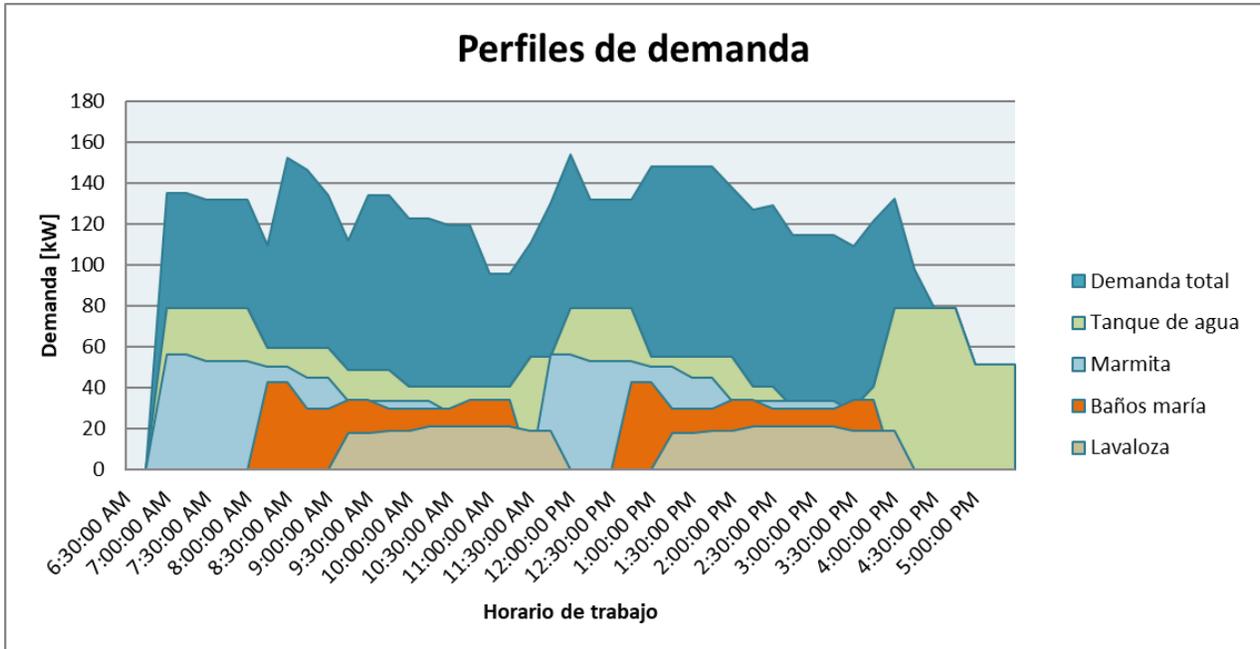
$$Q = \text{Volumen de combustible} * PCI * \rho * \text{Eficiencia} * (1 - \text{pérdidas})$$
$$Q = 1180 [L] * 48078.4 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 0.53952 \left[\frac{kg}{L} \right] * 0.7873 * (1 - 0.0356)$$
$$Q = 23230406 [kJ] = 23230.4 [MJ]$$

Finalmente, ajustando los factores de uso y multiplicando la demanda de cada equipo por los lapsos de 15 minutos, se tiene un consumo total por día de 4644540 kJ. Llevando el consumo a manera semanal se tiene:

$$Q_{semanal} = 4644540 \left[\frac{kJ}{día} \right] * 5 [días] = 23222700 [kJ]$$
$$Q_{semanal} = 23222.7 [MJ]$$

Comparando le energía entregada con la energía consumida, se encuentra que efectivamente el balance de energía de manera sino exacta, bastante aproximada. En la Grafica 5 se aprecian los perfiles de demanda de las cargas en conjunto, donde se puede distinguir la aportación de cada elemento al requerimiento térmico del sistema. Los perfiles individuales de los equipos, pueden ser consultados en el Anexo 2.

$$Q_{entregada} \approx Q_{consumida}$$
$$23230.4 [MJ] \approx 23222.7 [MJ]$$



Gráfica 5: Perfiles de demanda por día

Capítulo IV. Resultados

4.1 Potenciales de ahorro

Las posibles correcciones a llevar a cabo para el ahorro de energía, se dividieron en dos acciones: la primera; que tiene que ver con una cuestión de operación en el tanque de agua caliente, y la segunda; donde se pretende la sustitución de los equipos que funcionan con vapor de la caldera, para el calentamiento de la comida (marmita y baños maría), por unos que permitan la quema del combustible de manera local.

1.- Tanque de agua caliente

Para esta área se llegó a la conclusión de que este elemento, no requiere la cantidad de vapor que se le está entregando, esto en relación a la temperatura a la que es llevada el agua (85 °C), tomando en consideración que los usos que se le dan a ésta, es simplemente para aseo personal y limpieza de cocina, por lo que el personal está en contacto directo con el agua, por lo que es innecesario llevarla a temperaturas tan elevadas.

En consecuencia, se decidió por disminuir los grados a los que se extrae el agua hasta un máximo de 60°C. Dicha estimación fue seleccionada a partir de las especificaciones de la norma 027 ENER de: *Rendimiento térmico, ahorro de gas y requisitos de seguridad de los calentadores de agua solares y de los calentadores de agua solares con respaldo de un calentador de agua que utiliza como combustible gas L.P o gas natural*, donde en el apartado 6.3, *componentes mínimos obligatorios*, describe que se debe contar con un dispositivo de protección contra quemaduras que limite la temperatura de extracción de agua a 55 °C +- 5 °C (NOM-027-ENER/SCFI-2018, 2018). Por consiguiente, al hacer el cambio de temperatura se obtiene una nueva carga térmica máxima para el tanque:

$$\text{Volumen del tanque} = 1150 [L]$$

$$T_1 = 11.3 [^{\circ}C] \quad T_2 = 60 [^{\circ}C]$$

$$\rho_{\text{agua } (11^{\circ}C)} = 0.99968 \left[\frac{kg}{L} \right]$$

$$CP_{\text{agua } (11^{\circ}C)} = 4.191 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}K} \right]$$

$$\dot{m} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} * \rho_{\text{agua } (11^{\circ}C)}$$

$$\dot{m} = \frac{1150 [L]}{75 [min]} * \frac{1 [min]}{60 [seg]} * 0.99968 [kg/L] = 0.25547 [kg/s]$$

$$\dot{Q} = 0.25547 [kg/s] * 4.191 [kJ/kg^{\circ}K] * (60^{\circ}C - 11.3^{\circ}C)$$

$$\dot{Q} = 52.14 [kJ/s]$$

Posteriormente, al sustituir este nuevo valor de carga en el perfil de demanda del tanque de agua caliente se obtuvo la cantidad de energía consumida para este segundo caso, ya que los factores de uso planteados para la construcción de la curva se mantuvieron fijos. Si se comparan las cantidades de energía consumidas por día en ambos casos, se tiene la siguiente cantidad de energía ahorrada:

$$Q_{85^{\circ}C} = 2188068 [kJ]$$

$$Q_{60^{\circ}C} = 1445847 [kJ]$$

$$Q_{ahorrado} = Q_{85^{\circ}C} - Q_{60^{\circ}C} = 742221 [kJ]/día$$

Llevando estos ahorros a un plano anual:

$$Q_{ahorrado} = (742221 [kJ]/día) (5 dias/semana) (46 semanas/año)$$

$$Q_{ahorrado} = 170711 [MJ]/año$$

Esta energía es simplemente la ahorrada en el consumo del tanque, si tomamos en consideración las pérdidas en tuberías y la eficiencia en la caldera:

$$Q_{Total_ahorrado} = \frac{Q_{ahorrado}}{(Ef_{caldera})(P_{tuberías})}$$

$$Q_{Total_ahorrado} = \frac{170711 [MJ]/año}{(0.7873)(0.964)}$$

$$Q_{Total_ahorrado} = 224928 [MJ]/año$$

Dividiendo entre el poder calorífico inferior del combustible y su densidad, se consigue la cantidad de combustible, en litros, economizados. Que al multiplicar por su costo promedio de 8 pesos por litro se tienen los ahorros económicos por esta modificación.

$$Combustible_{ahorrado} = \frac{Q_{Total_ahorrado}}{PCI * \rho}$$

$$Combustible_{ahorrado} = \frac{224928238 [kJ]}{48078.4 [kJ/kg] * 0.53952 [kg/L]}$$

$$Combustible_{ahorrado} = 8671 [L]$$

$$\therefore Ahorros\ económicos = 8671 [L] * 8 \$/L$$

$$Ahorros\ económicos = \$69,368.00$$

Por tanto, efectuando esta medida de uso racional de la energía, se consigue un ahorro anual de 69,368 pesos, lo que representa el 17% de la factura total anual por concepto de compra de combustible gas LP. En la Tabla 5 se resumen los ahorros obtenidos.

Ahorros económicos [\$/año]	Ahorros energéticos [MJ/año]
69,368	224928

Tabla 5: Ahorros en el tanque de agua caliente

2.- Marmita y baños maría

En segunda instancia, buscando reducir el número de pasos en la transferencia de energía y por ende optimizar el consumo de esta. Se propone la sustitución de estos equipos, por unos que trabajen con el uso directo del combustible, en otras palabras, que se tengan quemadores ubicados directamente en su estructura.

Investigando en la literatura, se halló que para el caso de las marmitas estas presenta una eficiencia térmica del 65% aproximadamente⁴; ya incluyendo pérdidas por combustión, radiación y convección durante el proceso de cocción, sin embargo, estas cuestiones, ya están consideradas en el consumo de calor previamente planteado, ya que el equipo trabaja bajo los mismos estándares de operación. En consiguiente una forma general de comparar la eficiencia del proceso actual contra el que se propone, sería tomando en consideración que con el segundo se tendría directamente la eficiencia del 65%, mientras que con el primero se le debería contemplar la eficiencia de la caldera (78.9%), y las pérdidas en tubería (3.56%); si se toma en cuenta, que las pérdidas por combustión de hidrogeno en el combustible (aprox. 9%), ya se encuentran contenido en el dato de la eficiencia en marmitas y que las pérdidas en los quemadores por concepto de gases de escape son mínimas en comparación a las que se tiene

⁴ Dato obtenido del artículo: Desarrollo tecnológico e innovación en marmitas autogeneradoras de vapor como alternativa para promover sistemas de calentamiento descentralizado en aplicaciones de procesamiento de alimentos (Moreno, 2015)

en la caldera, resulta un porcentaje global del 54.97%, o sea, el continuar empleando la caldera resulta alrededor de un 10% menos eficiente que llevar a cabo la quema local del combustible. Si bien este dato no es del todo idóneo para el cálculo de los ahorros, brinda un panorama general de los beneficios de implementar la propuesta planteada.

Con respecto a los ahorros energéticos, considerando que se es necesaria la misma cantidad de calor en cualquiera de los casos, pero con la diferencia de que colocando equipos que requieran únicamente gas LP y no el vapor para su funcionamiento, las pérdidas en el sistema de vapor podrían abatirse, o sea, el transportar la energía del combustible al equipo, se vuelve más eficiente. Quedando exclusivamente el 9% de perdidas asociadas a un elemento intrínseco al combustible, como lo es el hidrogeno; esto pensando en el peor de los casos. Por consiguiente, los ahorros para cada elemento quedarían establecidos de la siguiente manera:

- ❖ Marmita: El consumo que se tiene diario es de 1265040 kJ. Calculando la cantidad de combustible necesaria en cada caso para abastecer dicho valor de energía.

$$\begin{aligned} \text{Combustible}_{caldera} &= \frac{\text{Consumo}}{\eta_{caldera} * (1 - \text{perdidas}_{tuberías}) * PCI * \rho} \\ \text{Combustible}_{caldera} &= \frac{1265040 [kJ]}{0.7873 * (1 - 0.036) * 48078 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 0.53952 \frac{kg}{l}} \\ \text{Combustible}_{caldera} &= 64.25 [l] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Combustible}_{quemadores} &= \frac{\text{Consumo}}{\eta_{quemadores} * PCI * \rho} \\ \text{Combustible}_{quemadores} &= \frac{1265040 [kJ]}{0.91 * 48078 \left[\frac{kJ}{kg} \right] * 0.53952 \frac{kg}{l}} \\ \text{Combustible}_{quemadores} &= 53.59 [l] \end{aligned}$$

Realizando la diferencia entre estos dos resultados, se obtiene un ahorro de 10.66 L de gas LP diariamente. Llevando este dato a un periodo anual y multiplicándolo por el precio promedio del combustible:

$$\begin{aligned} \text{Ahorros}_{economicos} &= (\text{Comb}_{\text{Ahorrado}_{\text{día}}})(\#días)(\#semanas)(\text{Precio}_{prom}) \\ \text{Ahorros}_{economicos} &= (10.66 [l]) \left(5 \left[\frac{días}{semana} \right] \right) (46 [\text{semanas}/\text{año}]) (8 \left[\frac{\$}{l} \right]) \\ \text{Ahorros}_{economicos} &= 19,624.83 \$/\text{año} \end{aligned}$$

En total, se consiguen ahorros de 19,624 pesos al año por el cambio de la marmita, lo que representa el 4.81% de la facturación anual. Los ahorros totales por año se observan en la Tabla 6.

Ahorros económicos [\$/año]	Ahorros energéticos [MJ/año]
19,624	63597

Tabla 6: Ahorros por sustitución de marmita

- ❖ Baños maría: Reproduciendo la misma metodología para los baños maría y partiendo de su consumo diario de 780147 [kJ], los gastos de gas serían los siguientes:

$$Combustible_{caldera} = \frac{Consumo}{\eta_{caldera} * (1 - perdidas_{tuberias}) * PCI * \rho}$$

$$Combustible_{caldera} = \frac{780147 [kJ]}{0.7873 * (1 - 0.036) * 48078 [kJ/kg] * 0.53952 kg/l}$$

$$Combustible_{caldera} = 39.62 [l]$$

$$Combustible_{quemadores} = \frac{Consumo}{\eta_{quemadores} * PCI * \rho}$$

$$Combustible_{quemadores} = \frac{780147 [kJ]}{0.91 * 48078 [kJ/kg] * 0.53952 kg/l}$$

$$Combustible_{quemadores} = 33 [l]$$

La resta de los gastos de combustible muestra una conservación de 6.58 [l] de gas LP, con lo que anualmente se tendría un ahorro económico de:

$$Ahorros_{economicos} = (Comb_{Ahorrado\ día})(\#días)(\#semanas)(Precio_{prom})$$

$$Ahorros_{economicos} = (6.58 [l]) (5 [días/semana]) (46 [semanas/año]) (8 [$/l])$$

$$Ahorros_{economicos} = 12,102 \$/año$$

Si se compara este dato con la facturación que se tiene al año, figura como el 2.97% de esta, valor que en una primera instancia no figura ser simbólica, sin embargo habría que evaluar otros aspectos, que se profundizaran en el análisis económico. En la Tabla 7 se resumen los potenciales ahorros.

Ahorros económicos [\$/año]	Ahorros energéticos [MJ/año]
12,102	39256

Tabla 7: Ahorros por la sustitución de los baños maría

En cuanto a lo abordado con anterioridad, cabe mencionar que la sustitución de cada equipo debe ser evaluada de forma separada y no en conjunto, con el fin de percibir la rentabilidad de su compra.

4.2 Análisis de rentabilidad

Como parte final del diagnóstico, se fijaron índices de rentabilidad económica, los cuales hacen alusión a la cantidad de ahorros económicos obtenidos (beneficios), contra la inversión que se debe realizar; todo analizado para un periodo de retorno aceptable de esta última. Esto con el fin de resumir la utilidad de llevar a cabo cada una de las medidas de ahorro y uso eficiente de la energía.

1.- Ajustes de operación en el tanque de agua caliente

Al ser una modificación meramente de manejo del vapor, la inversión resulta nula, simplemente se deberá informar al personal encargado de la caldera sobre las temperaturas a las cuales se deberá mantener el agua caliente, para que ellos realicen las modificaciones pertinentes respecto al suministro de vapor dirigido a el tanque.

2.- Sustitución de la marmita de vapor por una de alimentación directa de gas LP

Para el cambio se seleccionó una marmita de volteo con sistema de agitación de 200 [L] marca Inoxy México (SKU: MTA200AG-GAS), la cual presenta un costo de \$84,300 (precio consultado el 12/04/2019). Calculando el periodo simple de retorno de la inversión se obtiene:

$$TR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorros}} = \frac{84,300 \text{ [\$]}}{19624 \text{ [$/año]}}$$

$$TR = 4.3 \text{ [años]}$$

De esta manera la inversión sería recuperada en aproximadamente 4 años, si se toma en cuenta que el tiempo de vida estimado para estos equipos es de más de 10 años, el llevar a cabo esta medida presentaría grandes beneficios económicos.

Así mismo, completando el análisis, se calculó el valor presente neto de los flujos de efectivo (inversión y ahorros), empleando una tasa de descuento del 12%; establecida en los lineamientos de la SHCP para evaluación de proyectos en dependencias federales (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2015). No obstante, esta tasa se encuentra en términos reales,

quiere decir, con la inflación descontada; y los flujos obtenidos se presentan en moneda corriente, por lo que a través de la relación de Fisher se le adiciono la inflación del 4% a esta valoración de descuento⁵, con lo que finalmente se obtiene una tasa del 16.48%.

Año	Ahorros
1	\$19624.8
2	\$19624.8
3	\$19624.8
4	\$19624.8
5	\$19624.8
6	\$19624.8
7	\$19624.8
8	\$19624.8
9	\$19624.8
10	\$19624.8
VPN	\$93,180.60

$$\therefore VPN_{total} = VPN_{beneficios} - VPN_{inversión}$$

$$VPN_{total} = \$93,180.6 - \$84,300$$

$$VPN_{total} = \$8,880.6$$

En este sentido, el proyecto debe emprenderse, debido a que se producirá un rendimiento anual del 12% en términos reales, la inversión se verá cubierta, y, aparte, se logrará un excedente de 8,880 pesos correspondiente al año de inversión.

3.- Sustitución de los baños maría por unos de alimentación directa de gas LP

Con respecto al cambio de este elemento, se optó por la compra de una bufetera de baños maría, marca Inoxidables Tama modelo IMC-1607/06 (medidas: 2.10x0.70x0.90m). El costo por la adquisición del equipo sería de \$30,000 (precio consultado el 12/04/2019); obteniendo así un periodo simple de retorno de:

$$TR = \frac{30,000 [\text{\$}]}{12,102 \left[\frac{\text{\$}}{\text{año}} \right]}$$

$$TR = 2.97 [\text{años}]$$

⁵ Inflación correspondiente al periodo de marzo 2018 a marzo 2019. Dato obtenido de la página del INEGI, <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicesdeprecios/CalculadoraInflacion.aspx>, 30/04/2019.

El equipo presenta un tiempo de vida mayor a los 10 [años], sin mencionar que la inversión se vería recuperada únicamente en 3 años, con lo que realizar la sustitución deriva ser altamente rentable.

De igual manera, calculando el valor presente neto:

Años	Ahorro
1	\$12102.5
2	\$12102.5
3	\$12102.5
4	\$12102.5
5	\$12102.5
6	\$12102.5
7	\$12102.5
8	\$12102.5
9	\$12102.5
10	\$12102.5
VPN	\$57,464.2

$$\therefore VPN_{total} = VPN_{beneficios} - VPN_{inversión}$$

$$VPN_{total} = \$57,464 - \$30,000$$

$$VPN_{total} = \$27,464$$

Con base a este resultado, se concluye que la sustitución del equipo es rentable; produciendo un rendimiento anual del 12% en términos reales y con una ganancia extra (deducida la inversión), de 27,464 pesos en el año cero.

Capítulo V. Medidas de ahorro y uso eficiente de la energía

5.1 Medidas de inversión

A manera de compendio, a continuación se resumen las características principales de las medidas de ahorro de energía, ya expuestas en este documento, que se recomienda a la empresa llevar a cabo su ejecución.

5.1.1 Control de la demanda de vapor en el tanque de agua caliente

❖ Situación actual

La cantidad de vapor mandada al tanque de agua caliente es excesiva, esto se refleja en la elevada temperatura a la que es extraída el agua (85 °C), valor que no es adecuado para los usos que se le da a esta, como lo son aseo personal y lavado de ollas.

❖ Efectos

Sin mencionar que pueden llegar a haber accidentes por quemaduras en los usuarios, el desperdicio de energía es enorme, debido a que el usuario final termina por acondicionar el fluido hasta una temperatura de 30 °C.

❖ Propuesta

Se recomienda el control del suministro de vapor hacia el tanque, limitando este en relación a una temperatura del agua de 55 °C (+5°C), rango establecido como seguro de acuerdo a la NOM-027-ENER/SCFI-2018.

❖ Beneficio

Se tendrán reducciones importantes en el consumo de energía térmica (hasta 224928 MJ/año), lo que repercute en la cantidad de combustible empleado en la semana (con reducciones del 17% en la facturación total anual), el cual, finalmente, se puede expresar como un ahorro económico de 69,368 pesos al año.

❖ Costo

No se es necesaria ninguna inversión, el personal del cuarto de maquina serán los encargados de realizar dicha corrección.

❖ Recuperación

Al no haber inversión, los beneficios son de inmediata remuneración.

❖ Ventajas adicionales

Se tiene una menor demanda de vapor, permitiendo que la caldera trabaje menos, brindándole un mayor tiempo de vida este equipo.

- ❖ Observaciones

Se debe monitorear el confort de los usuarios para conocer si la temperatura a la cual se está distribuyendo el agua se adecua a sus necesidades.

5.1.2 Cambio de la marmita

- ❖ Situación actual

Actualmente se cuenta con una marmita de calentamiento indirecto a base de vapor; generado por la caldera y distribuido a la cocina por medio de un sistema de tuberías desde el cuarto de máquinas. El equipo trabaja dos veces al día (desayuno y comida), cinco días a la semana.

- ❖ Efectos

La generación de vapor para el calentamiento de los alimentos no resulta ser el medio más eficiente para realización, entre la cantidad de vapor que se es necesario producir y transportar, aunado a la pérdidas en tuberías, el gasto de combustible para la cocción de los alimentos concluye ser muy elevado al necesario.

- ❖ Propuesta

Con base a la evaluación elaborada se propone un cambio de equipo por una marmita de 200 litros de calentamiento directo con sistema de agitación, marca InoxiMéxico, SKU: MTA200AG-Gas.

- ❖ Beneficio

Se mejora la eficiencia del sistema al eliminar pérdidas de calor en la caldera y en tuberías. Los ahorros económicos ascienden a los 19,624 pesos anuales, mientras que los energéticos son de 63597 MJ por año, representando estos, el 4.81% de la facturación de combustible.

- ❖ Costo

La inversión necesaria es de \$84,300 (precio consultado a Mayo de 2019). Los costos de instalación se consideraron despreciables en el análisis; ya que el equipo no presenta un manejo especial, y, solo requiere una toma de gas LP, con la que ya se cuenta en la cocina.

- ❖ Recuperación

Se plantea haber recuperado la inversión en aproximadamente 4.3 años, con un valor presente neto positivo, lo que muestra alta rentabilidad de la inversión.

- ❖ Ventajas adicionales

La marmita sustituida, al ser de acero inoxidable, aun pudiera recuperarse parte de su valor. Se es necesario consultar compradores para estimar el precio de venta.

❖ Observaciones

Se debe tomar en cuenta que los tiempos de cocción pueden variar, por lo que será necesario cambiar hábitos en la preparación de los alimentos.

5.1.3 Cambio de la bufetera

❖ Situación actual

El equipo que utilizan al día de hoy, son unos baños maría de una capacidad de alrededor de 280 litros (2.4x0.15x.8m). Estos se encuentran funcionamiento durante el desayuno y la comida, de lunes a viernes, momentos durante los cuales, demandan vapor a la caldera.

❖ Efectos

Se tiene un uso bastante ineficiente de la energía térmica, teniendo que llevar el agua a vapor, para luego transportarlo hasta la cocina, donde en últimas instancias se le da un uso final de calentamiento del mismo líquido. Las pérdidas en tuberías y la eficiencia de la caldera, elevan mucho los costos de operación de los baños maría.

❖ Propuesta

De acuerdo a la evaluación realizada de sustitución de equipo, se aconseja el cambio por una bufetera marca InoxidablesTama modelo IMC-1607/06, con medidas de 2.10x0.70x0.90m.

❖ Beneficio

Se sustituye el uso del vapor por quemadores ubicados directamente en el equipo, eliminando pérdidas durante el transporte y generación de vapor. Se ahorraría el 2.98% de los costos del combustible, representando 39256 MJ y 12,102 pesos al año.

❖ Costo

El precio del equipo ronda los 30,000 pesos, ya considerando los costos por instalación.

❖ Recuperación

El periodo de recuperación de la inversión sería de 2.97 años, resultando un valor presente neto positivo, de tal manera que el proyecto de sustitución es altamente rentable.

❖ Ventajas adicionales

El elemento a sustituir aún se encuentra en buenas condiciones, pudiendo ser fácilmente vendido, con lo inversión se vería aún más atractiva. Es necesario consultar compradores para obtener precios de venta.

❖ Observaciones

Se recomienda estar pendiente del estado de los quemadores ante posibles degradaciones, esto con el fin de mantener un buen funcionamiento del equipo.

5.2 Buenas practicas

➤ Monitoreo de la eficiencia de combustión

Se debe tener en consideración la relación aire combustible para una correcta quema del energético, por lo que es recomendable realizar revisiones periódicas de las características de los gases de escape. Un exceso de aire reduce la eficiencia de la caldera, al usar parte de la energía para calentar este gas; y por el contrario, un bajo nivel de aire resultaría en una combustión incompleta, creando capas de hollín, elemento que reduce la eficiencia de transferencia de calor al agua.

➤ Aprovechamiento del calor de los gases combustión

El recuperar el calor de los gases de chimenea para el calentamiento de algún fluido, deriva ser una muy buena práctica para un mejor consumo de la energía, siempre y cuando se evite bajas temperaturas es estos, propiciando la formación de ácido sulfhídrico, elemento altamente corrosivo.

➤ Recuperación de purgas

Toda caldera con purga continua superior al 5% de la tasa de vapor es un buen candidato para la introducción de recuperación de calor de la purga de residuos (USAID, 2011). El aprovechamiento de la purgas mediante algún intercambiador de calor permite alcanzar ahorros que pudieran llegar a ser significativos.

➤ Realizar un programa de mantenimiento periódico

Se recomienda establecer fechas de revisión y mantenimiento a la caldera, esto con el fin de permanecer al tanto de su estado y calidad de funcionamiento.

➤ Llevar una bitácora de operación de la caldera

Con el fin de establecer una línea base en los consumos de energía y producción de vapor, resulta adecuada tener un registro de datos como lo son: horas de uso, temperatura y presión del vapor, temperatura del tanque de condensados, cantidad de purgas.

➤ Eliminar fugas de vapor

La corrección de fugas en el sistema permitirá ahorros en el combustible así como un menor gasto de químicos para el tratamiento del agua.

➤ Aislar las líneas de distribución de vapor y las de retorno de condensado

Como una de las medidas de mayor prioridad, se debe colocar aislante en toda la tubería del sistema de vapor. Con ello se evitan aumentos en la demanda de vapor, incremento de los condensados que disminuyan la eficacia del transporte de calor, presencia de golpes de ariete y corrosión en las secciones metálicas.

- Optimizar las purgas en la caldera

La cantidad de purgas se estimaran en función de las recomendaciones del fabricante de calderas y de referencias técnicas; un exceso de esta actividad elevara costes en el tratamiento del agua de repuesto, mientras que, un purgado insuficiente generara incrustaciones en las tuberías.

- Levantamiento de un layout de los sistemas de generación de vapor, de distribución y de usuarios

Se debe contar con un diagrama que describa la distribución del sistema y equipos pertenecientes al mismo, para una respuesta rápida ante imprevistos (fallas en el sistema o necesidad de ampliaciones).

- Retirar incrustaciones internas de tuberías en calderas

Estas aparecen en el lado del agua de los tubos, siendo una película de material producido por elementos presentes el líquido (calcio, magnesio y la sílice); en relación a este fenómeno se tienen bajas eficiencias en la transferencia de calor, lo que concluye en el aumento del consumo de combustible. Es necesario llevar a cabo periódicamente un lavado manual o tratamiento químico para quitar incrustaciones.

5.4 Indicadores energéticos

Con el objetivo de poder mantener un registro de las mejoras de la empresa en cuestiones de consumo energético se es necesario establecer una línea base, con la cual, se puedan realizar comparaciones del antes y el después de la realización de alguna medida de ahorro de energía, y de esta manera, lograr monitorear el progreso hacia las metas energéticas del cliente, he ahí la importancia del cálculo de los indicadores energéticos (IDEn's) en proyectos de esta índole.

En este caso, se plantea el uso de un único IDEn, esto debido a la falta de información y registros por parte de la institución; este es, la cantidad de energía térmica empleada por horas laborables en el día, en la Tabla 8 se puede hallar esta relación calculada por equipo.

IDEn	Estado actual [kJ/h]	Valor esperado [kJ/h]
Marmita	151508	126371
Buffeteras	93428	77817
Tanque de agua caliente	262090	173185
Caldera	556515	222673
Global	556515	426862

Tabla 8: Indicadores energéticos

Es necesario mencionar que un único tipo de indicador no es del todo suficiente para el seguimiento de la implementación de las medidas, al menos se debería contar con tres diferentes IDEn's, esto con el fin de tener varios puntos de enfoque con los cuales relacionar las disminuciones en el consumo de energía. Un ejemplo de otros cocientes que se pudieran aplicar para este diagnostico serian: consumo térmico de los equipos por volumen o kilos de comida, consumo termico total por numero de comensales o consumo de combustible de los equipos por numero de comensales. Claro esta, que para llevar a cabo dichos cálculos resultara indispensable contar con una base datos donde se encuentre almacenada la información correspondiente a estos indicadores, para ello sera necesario la instalación de medidores de gas, realizar recuentos al final del día del numero de comidas vendidas, así como llevar un registro de la cantidad de comida cocinada; por lo que se le extiende una recomendación a la empresa de realizar dichas actividades para una mejor gestión de su energía.

Por último, con el fin de facilitar la consulta de este estudio para la realización de indicadores energéticos en un futuro, en la Tabla 9 se hace un resumen de la principal información obtenida.

Equipo		Combustible empleado en el día [L]	Energía empleada en el día [kJ]
Marmita		64.25	1666597
Buffeteras		39.62	1027713
Lavalozas		20.9	541907
Tanque de agua caliente		111.14	2882992
Caldera (total)		236	6121664
Costo del	Horas laborables	Combustible empleado	Energía térmica

gas LP [\$/L]	[h/dia]	en el año [L]	consumida en el año [MJ]
8	11	50913	1320608

Tabla 9: Datos principales de consumo del sistema generador de vapor

Conclusiones

En cuanto a lo abordado con anterioridad, a pesar de la falta de información que se tenía, como lo fue consumos de vapor por equipo o consumos exactos de combustible en la caldera; el trabajo realizado cuenta con datos sólidos, ya sean teóricos o prácticos, que permiten afirmar que los ahorros calculados y por lo tanto, los resultados obtenidos, son altamente confiables, lo que lleva a que cada una de las medidas aquí expuestas pueden ser implementadas, con total certidumbre que se obtendrán los beneficios planteados.

Dentro del análisis, se logró delimitar la energía consumida por equipo, de acuerdo a la cantidad de vapor generado y la potencia térmica que demandaba cada uno de ellos; esto secundo el poder determinar las oportunidades de ahorro dentro del sistema, entre las cuales se encontraron procesos ineficientes (el sistema de calentamiento centralizado) y usos irracionales de la energía (llevar a altas temperaturas el agua empleada para aseo personal y limpieza de ollas). Cabe mencionar, que no se identificaron tecnologías obsoletas, sin embargo, para el caso de la marmita y los baños maría se recomendó la sustitución de equipos por alguno que no dependa del vapor de la caldera, de tal manera que la energía sea empleada exclusivamente en la etapa final y no en el inicio de todo un ciclo; claro está que llevar a cabo dicha acción causará cambios en la estructura del sistema de vapor, no obstante, será mínima, ya que únicamente se deberá clausurar el circuito dirigido a la cocina.

Con respecto a la caldera, se optó por mantener el equipo instalado, ya que, al ser relativamente nuevo, se permitirá que su inversión de compra se vea amortiguada en mayor medida; posterior a ello, cuando haya cumplido un tiempo de vida mayor a 10 años, se aconseja su cambio por una máquina que se dedique únicamente al calentamiento de agua, de esta forma se habrá librado la dependencia del vapor y todos los inconvenientes que este conlleva. El documento aquí detallado, servirá como línea base para la evaluación de los beneficios de llevar a cabo la sustitución, sin embargo, será necesario realizar nuevamente un diagnóstico energético.

Debido a todo lo previamente mencionado se puede concluir que los objetivos específicos fueron cumplidos, así como el objetivo general, desarrollando un diagnóstico energético íntegro del sistema generador de vapor.

Bibliografía

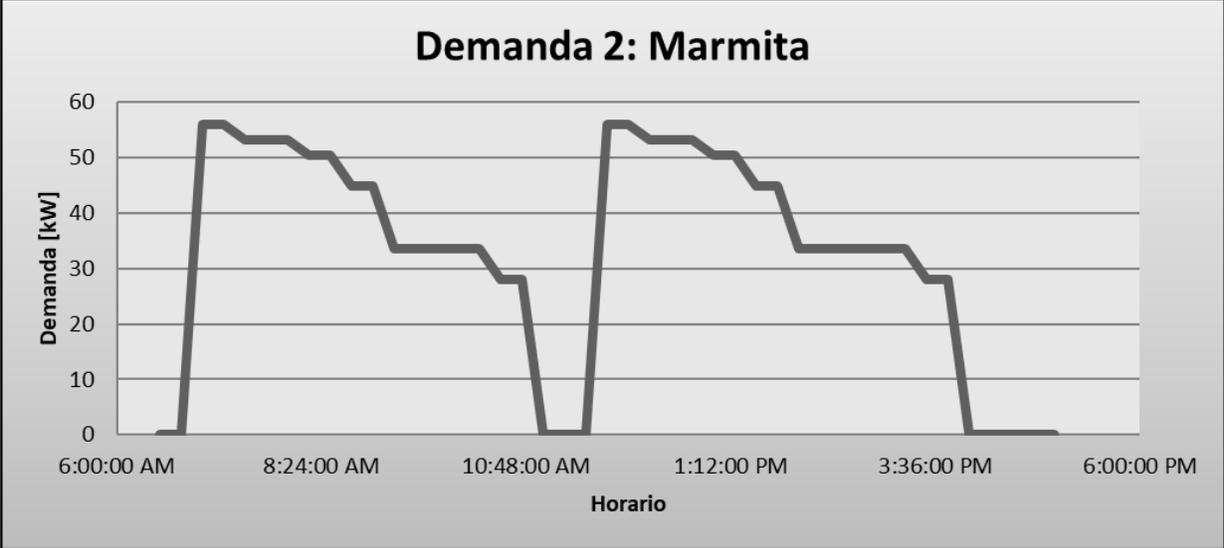
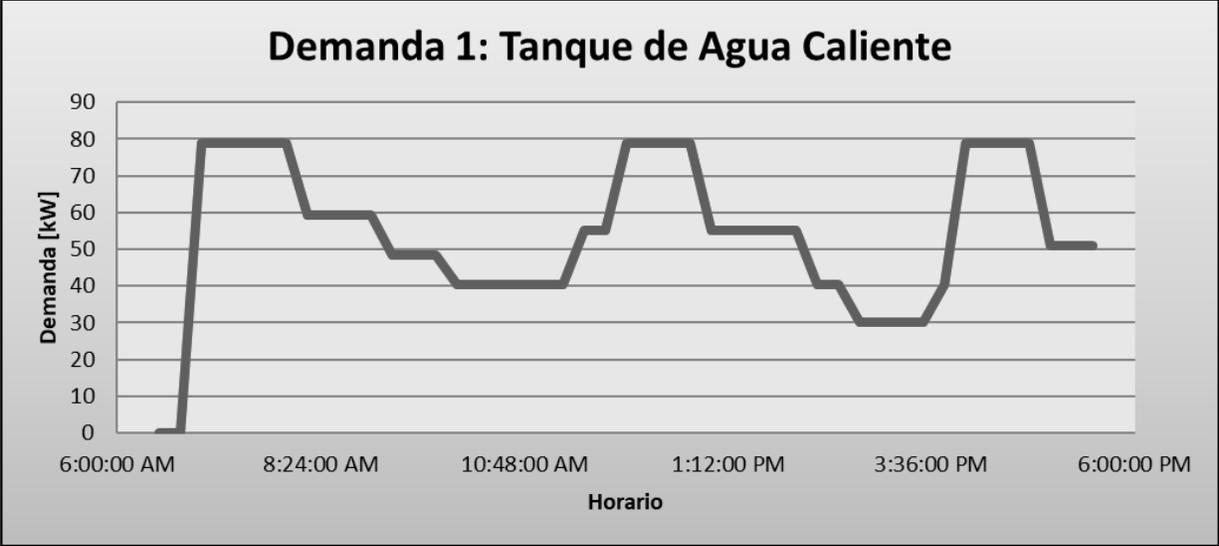
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (14 de Noviembre de 2016). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de SEGOB:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462338&fecha=24/11/2016
- D. Hayes, G. (s.f.). (J. Burgos, Ed.) Recuperado el 10 de Enero de 2019, de
<https://deymerg.files.wordpress.com/2013/07/manual-de-datos-para-ingenierc3ada-de-alimentos.pdf>
- Hobartcorp. (02 de 2006). *Hobartcorp*. Recuperado el 02 de 20 de 2019, de
<http://www.maisonrondeau.com/pdf/produit/C44A.pdf>
- INOXI México. (s.f.). *INOXI MEXICO*. Recuperado el 10 de Abril de 2019, de
<https://inoximexico.com/index.php/marmtias-con-agitacion/marmita-de-volteo-con-sistema-de-agitacion-de-200l-detail>
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). *Fundamentals of engineering thermodynamics*. England: John Wiley & Sons.
- Moreno, V. J. (1 de Diciembre de 2015). *Grupo de Investigación en Fluidos y Energía GIFE*. Recuperado el 14 de Marzo de 2019, de Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas:
https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu11/5Marmita.pdf
- NOM-027-ENER/SCFI-2018. (28 de 08 de 2018). *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 10 de 03 de 2019, de Norma Oficial Mexicana:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5536063&fecha=28/08/2018
- PEMEX. (28 de Febrero de 2007). *PEMEX*. Recuperado el 10 de 01 de 2019, de
http://www.gas.pemex.com.mx/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP_v2007.pdf
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (27 de Octubre de 2015). *SHCP*. Recuperado el 30 de Abril de 2019, de <https://www.gob.mx/shcp/documentos/lineamientos-para-elaboracion-y-presentacion-de-los-analisis-costoy-beneficio-de-los-programas-y-proyectos-de-inversion>
- USAID. (1 de Junio de 2011). *Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional*. Recuperado el 3 de Mayo de 2019, de http://cnpml-honduras.org/wp-content/uploads/docu_tecnicos/OTROS/Guia_Sistemas_de_Vapor.pdf

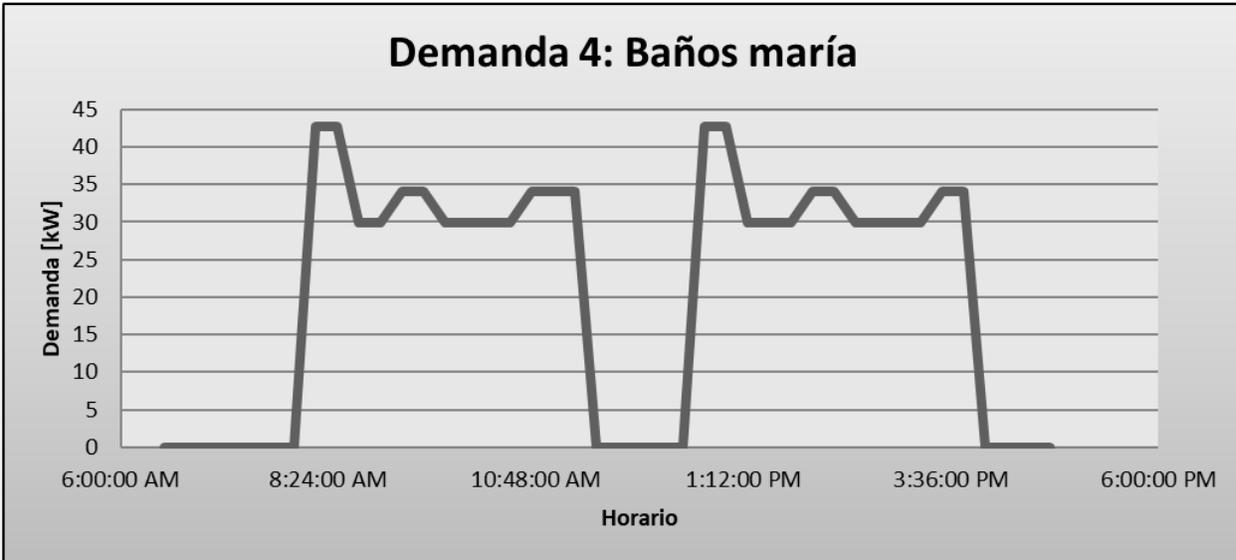
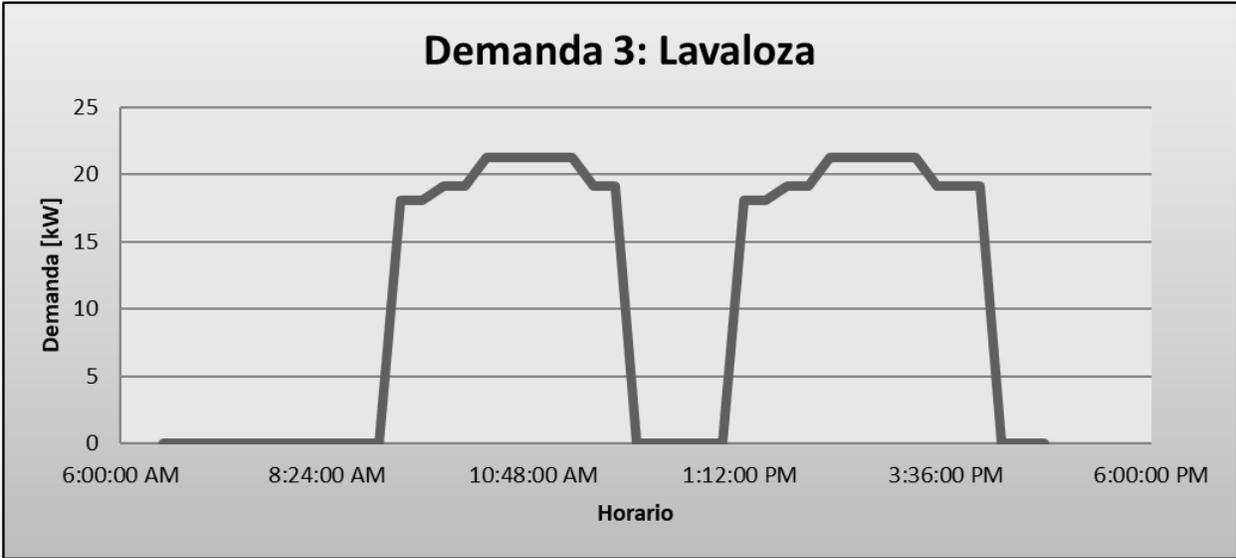
Anexo 1: Tabla de CP's de alimentos

Producto	% agua	CP's		Sopa de verduras		Frijoles		Caldo de res		Caldo de pollo		Caldo de camaron	
		kJ/(kg°K)	kJ/(kg°K)	%	kJ/(kg°C)	%	kJ/(kg°C)	%	kJ/(kg°C)	%	kJ/(kg°C)	%	kJ/(kg°C)
Agua		4.186	kJ/(kg°K)	40	1.6744	60	2.5116	50	2.093	50	2.093	40	1.6744
Brocoli		3.86	kJ/(kg°K)	10	0.386			3.5	0.1351	5	0.193		
Carne Pollo	74	3.32	kJ/(kg°K)							30	0.996		
Carne Res	71.7	3.08	kJ/(kg°K)					30	0.924				
Espinaca		3.96	kJ/(kg°K)										
Papa	75	3.45	kJ/(kg°K)	10	0.345			3	0.1035	5	0.1725	7.5	0.25875
Tomate	98	3.99	kJ/(kg°K)	5	0.1995					2.5	0.09975	10	0.399
Salmon	64	2.98	kJ/(kg°K)										
Camarón	76	3.86	kJ/(kg°K)									30	1.158
Atun	80	3.18	kJ/(kg°C)										
Salchichas		3.5	kJ/(kg°C)										
Cerdo	37	2.85	kJ/(kg°C)										
Coliflor		3.89	kJ/(kg°C)	10	0.389			3	0.1167				
Judias verdes		3.94	kJ/(kg°C)										
Judias secas		1.35	kJ/(kg°C)			30	0.405						
Repollo		3.94	kJ/(kg°C)					3	0.1182				
Zanahoria	88.2	3.7	kJ/(kg°C)	10	0.37			3	0.111	5	0.185	7.5	0.2775
Apio		3.98	kJ/(kg°C)					2	0.0796			2.5	0.0995
Setas		3.89	kJ/(kg°C)	10	0.389								
Cebolla		3.77	kJ/(kg°C)	5	0.1885	10	0.377	2.5	0.09425	2.5	0.09425	2.5	0.09425
				100	3.9414	100	3.2936	100	3.77535	100	3.8335	100	3.9614

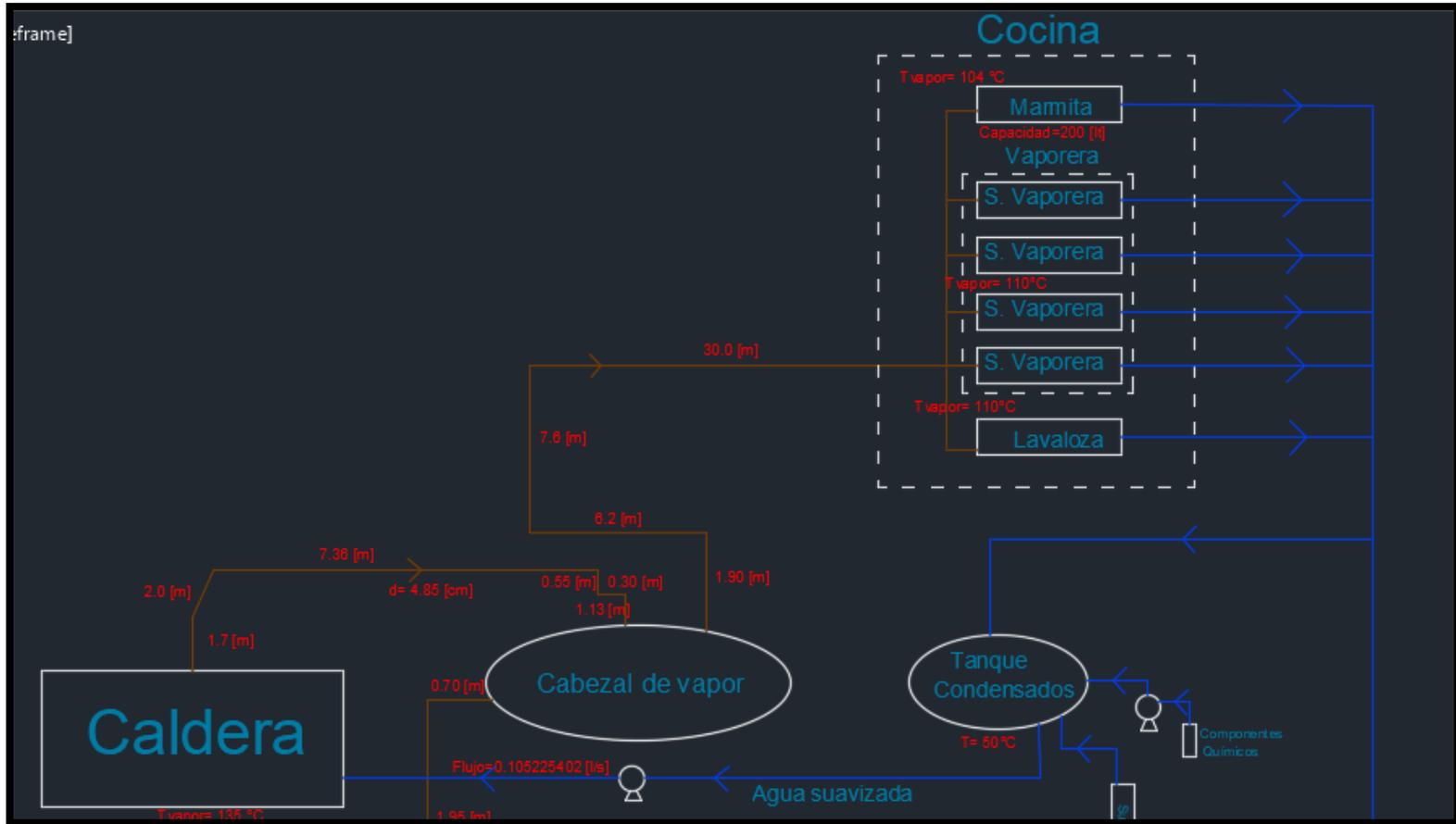
Los valores de los calores específicos de los alimentos fueron recuperados del documento Manual de datos para ingeniería de los alimentos (D. Hayes, pág. 122) y de la séptima edición del libro titulado Termodinámica (Cengel & Boles, 2012).

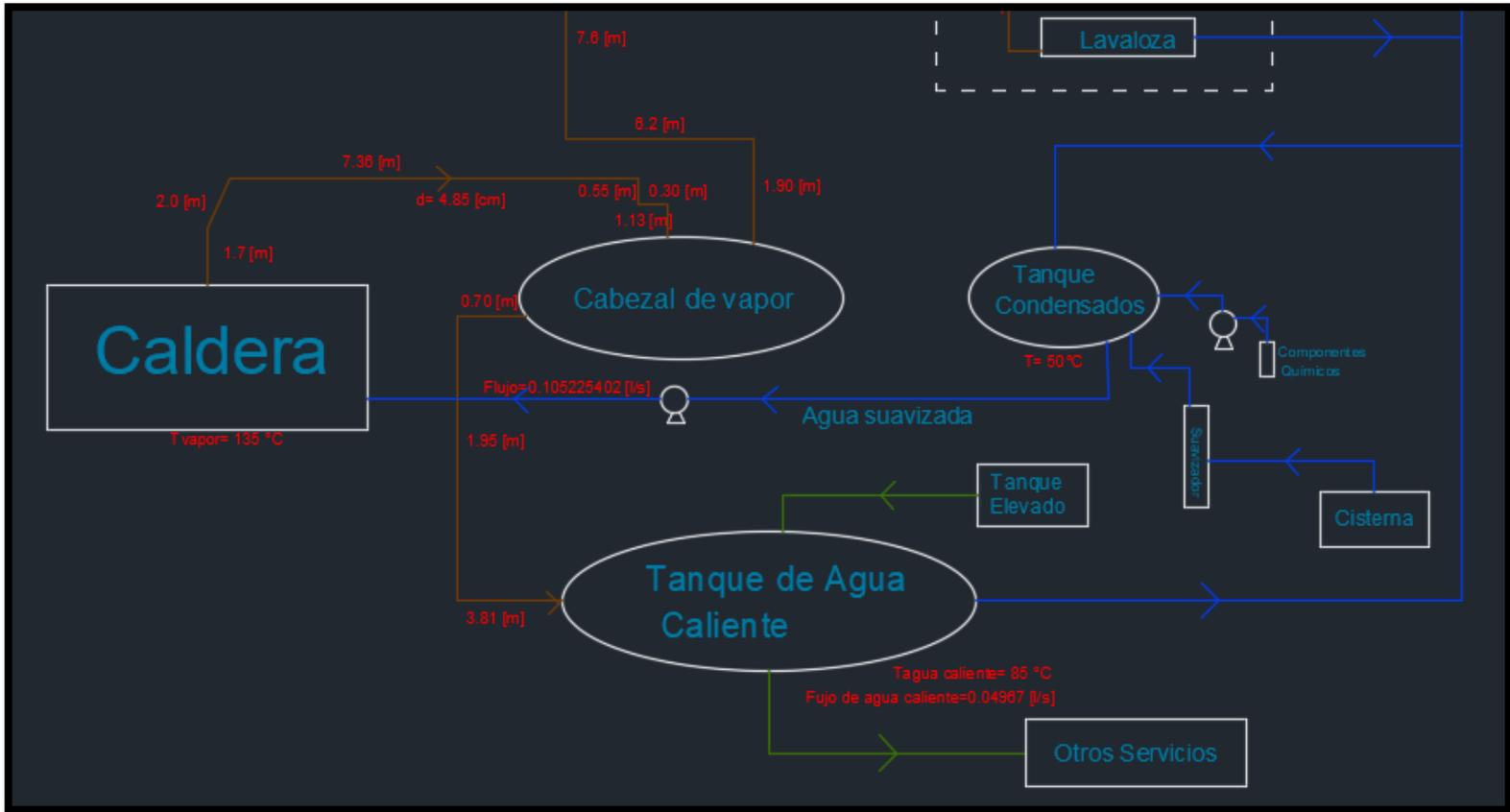
Anexo 2: Perfiles de demanda térmica





Anexo 3: Diagrama del sistema de vapor





Anexo 4: Ficha técnica. Marmita de volteo con sistema de agitación de 200L, SKU: MTA200AG-GAS.

Descripción: Marmita de 200L con medidas de la olla de 65cm de diámetro y 60cm de altura, fabricada en acero inoxidable 304 grado alimenticio calibre 14. Incluye sistema de volteo de corona sin fin autobloqueante. Sistema de agitación a 29RPM con motor de 1HP y aspas tipo ancla con raspadores. Base de acero inoxidable con sistema de volteo autobloqueante de corona sin fin con quemador de gas de 23 espreas de alta eficiencia. Termómetro de 0-100°C de rango de medición 1/2" npt. Encendido electrónico manual tipo estufa. (INOXI México)

