

IEDS 2020

Documento
Técnico
Interno

06

AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO ESPARZA

(Pabellón 35 - CAB - CNEA)

Autor:
Carlos González Ferrari

Colaboradores:
*Erica Gutiérrez
Valentín Vaucheret
Valeria Martín
Fabrizio Battaglini*

Área: *Eficiencia Energética*



Instituto de Energía y
Desarrollo Sustentable



Comisión Nacional
de Energía Atómica

**AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL
SISTEMA DE CALEFACCIÓN
DEL EDIFICIO ESPARZA**

Pabellón 35 / Edificio de Materiales

Centro Atómico Bariloche

AUTOR

Carlos González Ferrari

COLABORADORES

**Erica Gutiérrez
Valentín Vaucheret
Valeria Martín
Fabrizio Battaglini**

REVISORES

**Erica Gutiérrez
Daniel Quattrini
Daniel Miguel Pasquevich**

DISEÑO Y EDICIÓN

Stella Spurio

2020

**INSTITUTO DE ENERGÍA Y
DESARROLLO SUSTENTABLE**

**Comisión Nacional de
Energía Atómica**

PRÓLOGO

El IEDS presenta aquí los resultados obtenidos en el relevamiento energético del sistema de calefacción del edificio *Daniel Esparza* perteneciente al complejo de instalaciones tecnológicas conocidas con el nombre de Centro Atómico Bariloche. Dichas instalaciones pertenecen a la Comisión Nacional de Energía Atómica y están ubicadas en la ciudad de San Carlos de Bariloche, Río Negro. Se trata de un edificio de investigación y Desarrollo construido en la década de los noventa.

Se evaluó el rendimiento energético del sistema de calefacción y de sus componentes asociados con el objetivo de identificar posibles *puntos de ahorro energético*. Entre las conclusiones obtenidas, el informe presenta recomendaciones que apuntan a optimizar el funcionamiento para un uso más racional y eficiente de la energía.

El estudio fue desarrollado sobre una idea original de Carlos González Ferrari. El mismo fue llevado a la práctica con la valiosa colaboración de Érica Gutiérrez, Valeria Martín, Valentín Vaucheret y Fabrizio Battaglini, todos integrantes del IEDS. Participaron en la revisión final del documento Erica Gutierrez y Daniel Quattrini.

En la distribución y responsabilidades de las actividades, el proyecto contó con Ferrari a cargo de la formulación de la metodología de los cálculos y de la elaboración y análisis de los resultados y conclusiones. Los colaboradores tuvieron una participación importante en el intercambio de ideas y opiniones, en la adquisición e instalación de instrumental, en la caracterización del sistema de calefacción, en la realización de las mediciones y en el relevamiento de datos e información complementaria, como planos y esquemas del sistema de calefacción.

Daniel Miguel Pasquevich

CURRICULUM DEL AUTOR

El **Dr. Ing. Carlos González Ferrari** está graduado en Ingeniería en Energía por la UADE en 2001. Posteriormente, obtuvo el grado de Máster en el programa de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería por el CIMNE de la UPC en Barcelona (2003), y un PhD en Análisis Estructural en el CIMNE de la UPC en el período 2004-2010. Su trabajo de investigación se centró en el desarrollo de algoritmos computacionales basados en el método de elementos finitos aplicados al modelado y la simulación numérica de procesos industriales que involucran grandes deformaciones plásticas en diferentes procesos de conformado de metales.

Se ha desempeñado como profesor de las materias Mecánica Racional, Mecánica de Fluidos y Cálculo por Elementos Finitos en la UTN y como jefe de trabajos prácticos en las asignaturas Mecánica de Fluidos y El Método de Elementos Finitos Aplicado a la Mecánica de Sólidos en el Instituto Balseiro perteneciente a la UNCuyo.

Su carrera profesional se ha desarrollado en los grupos de mecánica de instituciones tales como INVAP (2007-2012) Y CNEA (2012-2018), dedicándose fundamentalmente a actividades relacionadas con el análisis estructural de componentes constitutivos de reactores nucleares de investigación y de potencia tales como OPAL y CAREM.

Desde el año 2018 forma parte del IEDS en CNEA, en donde desempeña actividades de investigación y desarrollo de metodologías aplicadas para la optimización y la eficiencia energética.

CONTENIDO

1.	RESUMEN	9
2.	OBJETIVO GENERAL.....	9
3.	ALCANCE.....	9
4.	ABREVIATURAS.....	9
5.	REFERENCIAS	10
6.	DESARROLLO	10
6.1 A)	Descripción y relevamiento del SCEE	11
6.2 B)	Caracterización térmica y mecánica del SCEE	19
6.2.1	Determinación del caudal de operación del SCEE	19
6.2.2	Determinación de las potencias térmicas asociadas al SCEE	22
6.3 C)	Determinación de las eficiencias térmicas del SCEE.....	23
6.4 D)	Evaluación de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones tendientes a optimizar la eficiencia energética del sistema.....	24
6.4.1	Conclusiones y discusión de los resultados.....	24
6.4.2	Recomendaciones tendientes a optimizar la eficiencia energética del SCEE	26
6.4.3	Sugerencias para estudios complementarios	26
7	REGISTROS.....	27
8	ANEXO I - Vista en Planta del Edificio Esparza (Pabellón 35 - CAB)	28
9	ANEXO II - Estimación del caudal de operación del SCEE	30
9.1	Curva de carga de la bomba	30
10	ANEXO III - Determinación de las potencias del SCEE.....	31
10.1	Potencia total del sistema de calefacción: P_{total_calef}	31
10.2	Potencia útil del sistema de calefacción: $P_{útil_calef}$	32

10.2.1	Cálculo del flujo de calor disipado por convección natural en los radiadores	33
10.2.2	Determinación del área efectiva de intercambio térmico de los radiadores.....	34
10.2.2.1	Componente geométrica A_{elem_calef}	35
10.2.2.2	Eficiencia de intercambio térmico η_{elem_calef}	35
11	ANEXO IV – Termografías, temperaturas y eficiencias de los radiadores relevados	39
11.1	Radiador – Termografía Flir0819.....	40
11.2	Radiador – Termografía Flir0821.....	41
11.3	Radiador – Termografía Flir0823.....	42
11.4	Radiador – Termografía Flir0825.....	43
11.5	Radiador – Termografía Flir0827.....	44
11.6	Radiador – Termografía Flir0829.....	45
11.7	Radiador – Termografía Flir0831.....	46
11.8	Radiador – Termografía Flir0833.....	47
11.9	Radiador – Termografía Flir0835.....	48
11.10	Radiador – Termografía Flir0837.....	49
11.11	Radiador – Termografía Flir0839.....	50
11.12	Radiador – Termografía Flir0841.....	51
11.13	Radiador – Termografía Flir0843.....	52

1. RESUMEN

El objetivo del presente estudio es estimar el rendimiento energético y las condiciones de funcionamiento del sistema de calefacción del Edificio Esparza del Centro Atómico Bariloche de CNEA con el fin de introducir criterios de eficiencia energética.

El conjunto de procedimientos aplicados durante la auditoría y evaluación del sistema ha permitido establecer metodologías para la instrumentación y la medición de los parámetros de relevancia, como así también, desarrollar procedimientos de análisis y cálculo de sistemas térmicos en general, y del sistema de calefacción analizado en particular.

Como resultado del estudio se proponen recomendaciones tendientes a racionalizar el consumo energético y a optimizar la utilización de los recursos la Institución.

2. OBJETIVO GENERAL

El presente estudio tiene como objetivo estimar el rendimiento energético y las condiciones de funcionamiento del sistema de calefacción del Edificio Esparza del Centro Atómico Bariloche de CNEA con el fin de introducir criterios de eficiencia energética.

3. ALCANCE

El estudio se realiza sobre el edificio original de Materiales, quedando excluido del alcance del estudio la sección del Edificio Esparza correspondiente a la ampliación realizada posteriormente, ya que la misma cuenta con un sistema de calefacción y de agua caliente sanitaria independiente.

Dentro de alcance de este proyecto se evalúa el rendimiento energético del sistema de calefacción y de sus componentes asociados.

Por otra parte, en base a los resultados obtenidos y en aquellos casos en los que se considera necesario, se realizan recomendaciones que apuntan a optimizar el funcionamiento y la eficiencia del sistema existente para hacer un uso más racional de la energía.

4. ABREVIATURAS

CAB: Centro Atómico Bariloche

CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica

GN: Gas Natural

GO: Gas Oil

SCEE: Sistema de Calefacción del Edificio Esparza

5. REFERENCIAS

- [1] Caldera Golcalor, Manual de Usuario.
- [2] Incropera, F., DeWitt, D., Fundamentos de Transferencia de Calor, 4^{ta} Edición, Ed. Pearson 1999.
- [3] White, F., Fluid Mechanics, 7th Edition, Ed. McGraw Hill, 2011.
- [4] Rowa, Catálogo de Bombas Sanitarias, <http://www.rowa.com.ar/productos/20-1-s/>.
- [5] Fernandes, J., L., M., Correlations For Fast Computations of Thermodynamic Properties Of Saturated Water And Steam, International Journal of Energy Research, Vol. 17, pág. 507-514, 1995.
- [6] McQuillan, F. J., Culham, J. R., Yovanovich, M. M., Properties of Dry Air At One Atmosphere UW/MHTL8406G-01, Microelectronics Heat Transfer Lab., University of Waterloo, Ontario, 1984.
- [7] Guía Técnica: Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas, IDEA, España, 2007.

6. DESARROLLO

Para evaluar energéticamente un sistema preexistente, tal como el SCEE, es preciso en primer lugar relevar y entender globalmente las partes que lo conforman. Posteriormente, se debe caracterizar su funcionamiento térmico y mecánico a través de la identificación, medición y análisis de sus parámetros representativos. A continuación, con dicha información, es posible calcular las potencias y las eficiencias térmicas globales del sistema, como así también las eficiencias térmicas específicas asociadas a determinados componentes puntuales del sistema, tales como la caldera, los radiadores de calefacción, etc.

Luego, a partir de los resultados obtenidos se identifican posibles deficiencias y se hacen recomendaciones tendientes a mejorar la eficiencia del sistema, reduciendo los consumos, minimizando las pérdidas o racionalizando su uso.

La metodología de análisis seguida a lo largo del presente estudio se basa en el método directo, con el cual las eficiencias térmicas del sistema se determinan a partir del caudal y las temperaturas de ingreso y retorno del sistema de calefacción (potencia térmica entregada). Ver la ref. [7].

Con el fin de llevar adelante el estudio, y de acuerdo a las tareas antes mencionadas, el trabajo está dividido en las siguientes etapas:

- ✓ **Descripción y relevamiento del SCEE.**
- ✓ **Caracterización térmica y mecánica del SCEE.**
- ✓ **Determinación de las eficiencias térmicas del SCEE.**
- ✓ **Evaluación de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones tendientes a optimizar la eficiencia energética del sistema.**

6.1 A) Descripción y relevamiento del SCEE

El SCEE es el sistema que provee de calefacción y agua caliente sanitaria al edificio Esparza del CAB. Sin embargo, y dado que el requerimiento de agua caliente sanitaria en el edificio es muy reducido, su aporte en el balance térmico del SCEE no será tenido en cuenta. Por lo tanto, el SCEE será tratado como un sistema cerrado en el que el inventario de agua es constante, sin entradas, salidas o pérdidas en el mismo.

En términos generales, el SCEE está compuesto por una caldera y una bomba de recirculación que impulsa al fluido calefactor a través de un sistema de cañerías hacia los radiadores que se encuentran distribuidos en los diferentes locales del edificio, y luego lo hace retornar nuevamente a la caldera cerrando el circuito. (Ver el esquema de la Figura 1 y las vistas en planta del sistema en el Anexo I del apartado 8)

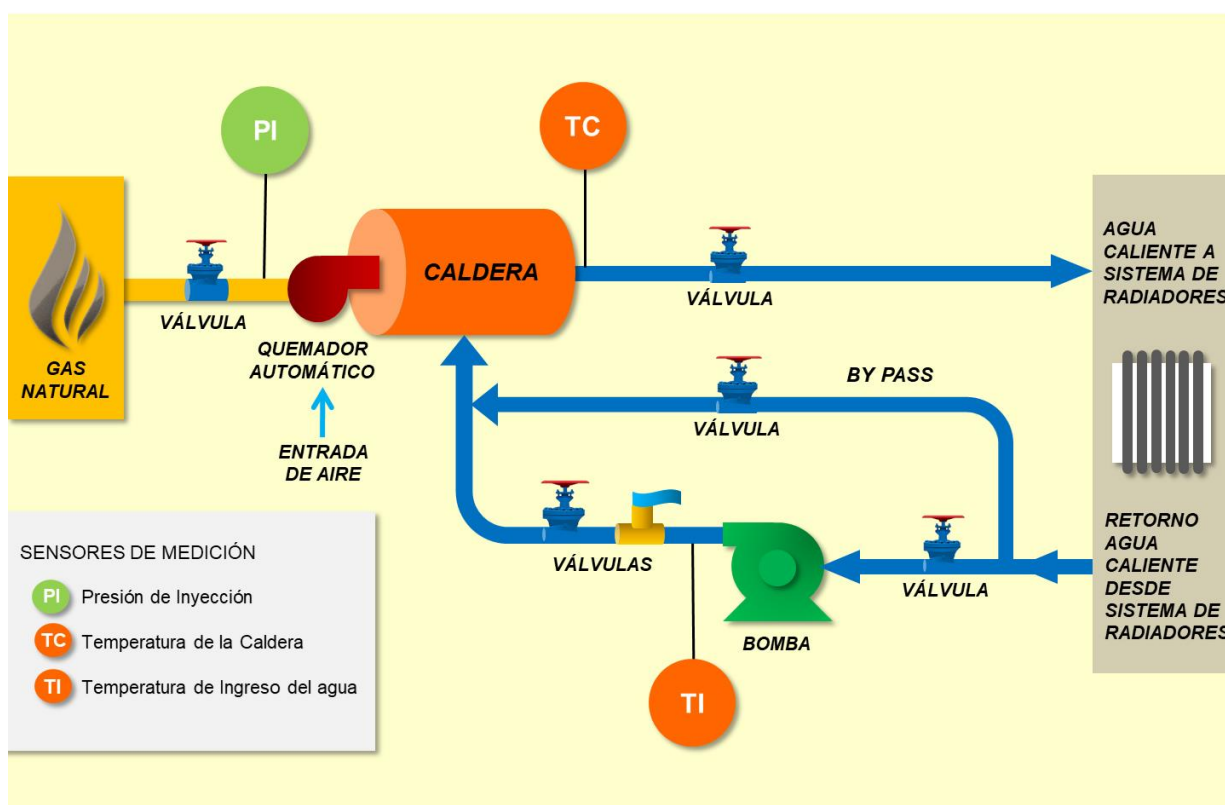


Figura 1 - Esquema general del SCEE

La caldera es marca Golcalor modelo HR-500 [1], que originalmente operó con GO (año 1990) y luego pasó a operar con GN, lo cual se mantiene hasta la actualidad. (Ver la Figura 2 y la Figura 3). En las especificaciones técnicas de la caldera provenientes de su manual de operación [1] se detallan los consumos nominales de combustible para ambos casos, $54.5 \left[\frac{kg}{hr} \right]$ y $65 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$ para GO y GN respectivamente.

La caldera consta de un quemador automático que se muestra en la Figura 2, el cual permite mantener el agua de su interior en el rango de temperaturas del 69°C a 74°C. Para que la temperatura permanezca dentro de ese rango actúa un sistema de control encendido/apagado que enciende el quemador cuando la temperatura llega a 69 °C y lo apaga cuando alcanza los 74°C. (Ver Figura 3)

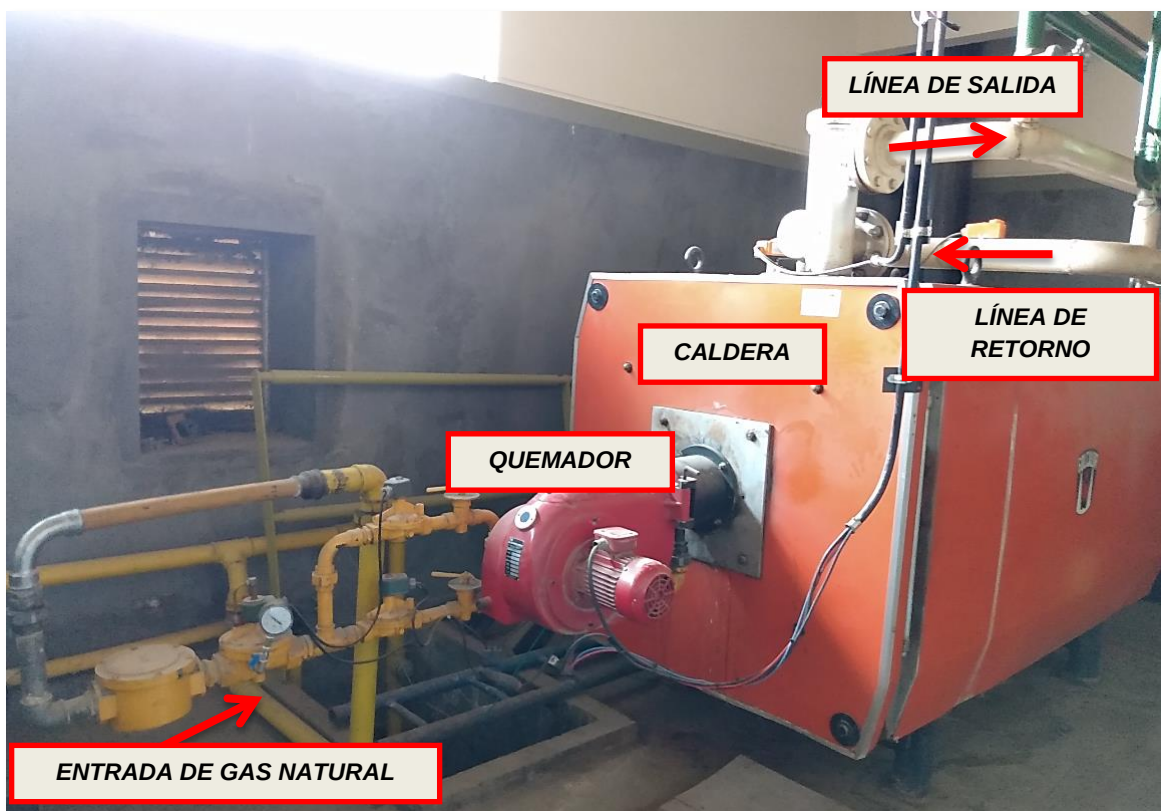


Figura 2 - Caldera, quemador y alimentación de GN



Figura 3 - Sensor de temperatura del agua de la caldera

La bomba de recirculación que impulsa al agua del sistema de calefacción se muestra en la Figura 4 y en la Figura 5. Dicha bomba está controlada por un termostato cuyo valor de arranque/parada se fija manualmente y se encuentra ubicado dentro del recinto que alberga a la caldera y a la bomba. De acuerdo a la información disponible, el acceso al termostato es libre para el personal, por lo que no existe ninguna restricción para la modificación arbitraria de la temperatura de arranque/parada.

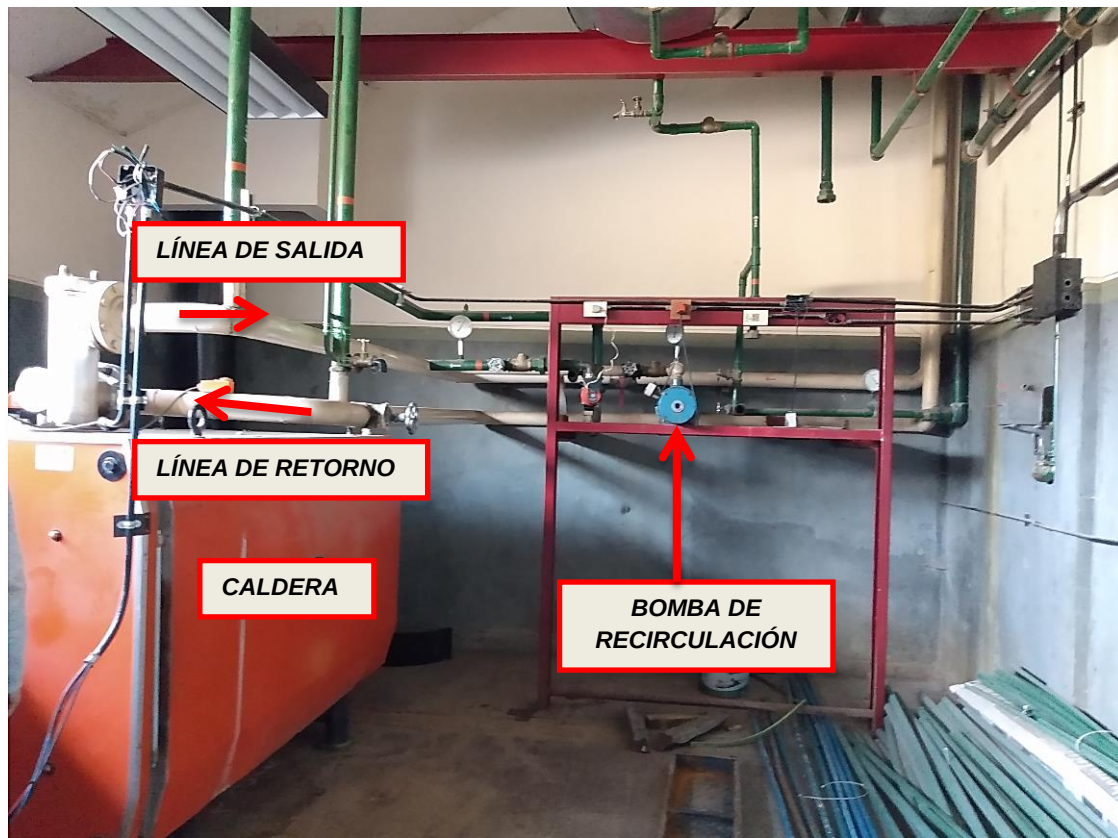


Figura 4 - Bomba de recirculación, cañerías de salida y retorno



Figura 5 - Bomba de recirculación

El agua de calefacción se distribuye por medio de cañerías de 3" de diámetro hacia los radiadores instalados en las oficinas, laboratorios y áreas comunes (baños y cocina) del edificio. Cabe aclarar que no hay radiadores instalados en los pasillos del edificio.

De acuerdo a lo indicado en el manual de la caldera [1], el consumo nominal de GN requerido por la caldera para su funcionamiento óptimo es de $65 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$, el cual es notablemente mayor al aportado por el quemador, el cual según lo indicado por el fabricante en la placa del componente mostrada en la Figura 6 es de $36 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$. Es decir que, de acuerdo a las especificaciones de diseño, la caldera está recibiendo un caudal de GN, y por ende una cantidad de calorías por hora, de aproximadamente un 48% menos que lo recomendado por el fabricante en el manual de la caldera [1].



Figura 6 – Placa del quemador de la caldera

Si bien no sabemos las razones que motivaron la instalación de un quemador con un caudal tan bajo en relación al consumo nominal especificado por el fabricante, una posible explicación de esta discrepancia es, que si se le aportara a la caldera el caudal de GN especificado para la misma, y si se considerara para éste una capacidad calorífica de $9403 \left[\frac{kCal}{m^3} \right]$, correspondiente al poder calorífico superior (dato tomado de la Figura 7 que muestra un valor típico para el GN suministrado por la empresa distribuidora en San Carlos de Bariloche), se superaría la potencia calorífica especificada para la misma (500.000 Kcal/hr), por lo que se estaría fuera del rango admisible para la operación de la caldera.

Siguiendo con este razonamiento, el caudal, en caso de ser ajustado de acuerdo al poder calorífico del GN de alimentación para la potencia nominal que figura en el manual de operación de la caldera [1], debería ser de aproximadamente $\frac{500000 \left[\frac{kcal}{hr} \right]}{9403 [kcal]} = 53 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$ de GN.

Por su parte, los radiadores del SCEE son de fundición de hierro y constan de diferentes cantidades de elementos calefactores por donde circula el agua caliente proveniente de la caldera para la calefacción de los respectivos ambientes. Los elementos calefactores que conforman a cada radiador tienen las dimensiones geométricas dadas en la Tabla 1 y constan de cuatro columnas verticales. (Ver Figura 8)

El número total de elementos calefactores varía de acuerdo a la superficie del ambiente a calefaccionar. A partir del relevamiento efectuado en el Edificio Esparza se obtuvo el número de elementos calefactores totales y por radiador instalados en el edificio, el resultado del recuento se detalla en la Tabla 2. En dicha tabla puede observar que se encontraron 9 clases de radiadores, diferenciados entre sí por el número de elementos calefactores. Las clases fueron referenciadas numerándolas arbitrariamente del I al IX.



Podés consultar el detalle en oficinavirtual.camuzzigas.com.ar o llamando al call center 0810-555-3698

PERÍODO DE CONSUMO

30/06/2019
31/07/2019

Información sobre el consumo de gas

MEDIDOR	LECTURA ANTERIOR	LECTURA ACTUAL	VOLUMEN REGISTRADO	FACTOR DE CORRECCIÓN	PODER CALÓRICO GAS ENTREGADO	TIPO DE LECTURA
					9403 kcal	Real

Figura 7 - Extracto de una factura de GN de CAMUZZI Gas de Sur

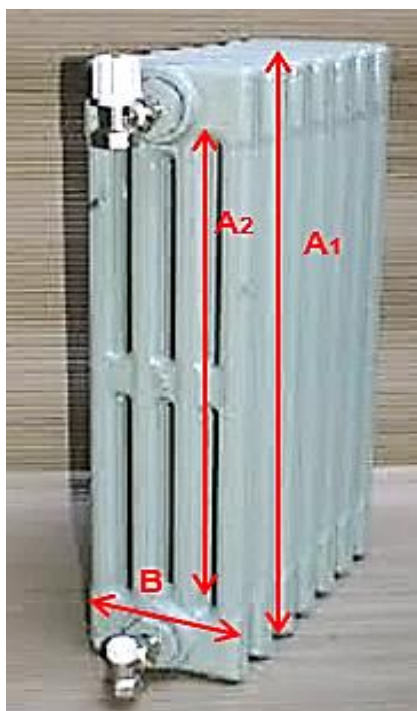


Figura 8 - Radiador típico

Tabla 1 - Dimensiones geométricas de un elemento calefactor

Nombre	Dimensión [mm]
A1	700
A2	570
B	150

Tabla 2 - Cantidad de radiadores diferentes y de Elementos calefactores por cada uno de ellos (Edificio Esparza).

Numeración	N° Radiadores	N° Elementos por Radiador	N° Elementos
I	1	9	9
II	5	10	50
III	44	11	484
IV	25	12	300
V	1	13	13
VI	6	14	84
VII	14	15	210
VIII	1	17	17
IX	2	19	38
Total	93	---	1205

El relevamiento permitió identificar que desde la inauguración del edificio hasta la actualidad se llevaron a cabo modificaciones edilicias que no fueron acompañadas por modificaciones en la disposición de los elementos del sistema de calefacción, por lo cual, muchos radiadores fueron deshabilitados o se encuentran apagados. Por otra parte, se observó que en algunos laboratorios debido a las condiciones ambientales particulares requeridas, los radiadores se encuentran apagados y tienen instalados sistemas de aire acondicionado eléctricos para acondicionar los ambientes. Por lo cual, del relevamiento se puede concluir que aproximadamente un 20% de los radiadores del edificio se encuentran apagados durante todo el año, por lo tanto la cantidad de elementos totales encendidos es 1073.

Por otra parte, cabe destacar que en muchos casos, los radiadores existentes en el interior de las dependencias que permanecen encendidos, se encuentran situados en ubicaciones poco convenientes, desde el punto de vista de la eficiencia energética y del sistema de calefacción. Algunos casos testigo de ello son los que se pueden observar en la Figura 9 en la Figura 10 y en la Figura 11, donde los radiadores del sistema de calefacción se encuentran cubiertos, tapados u ocultos detrás del mobiliario o del equipamiento presente en las dependencias.



Figura 9 – Ejemplo de radiador anulado por encontrarse instalado en un local destinado a tareas de laboratorio e instrumentación.

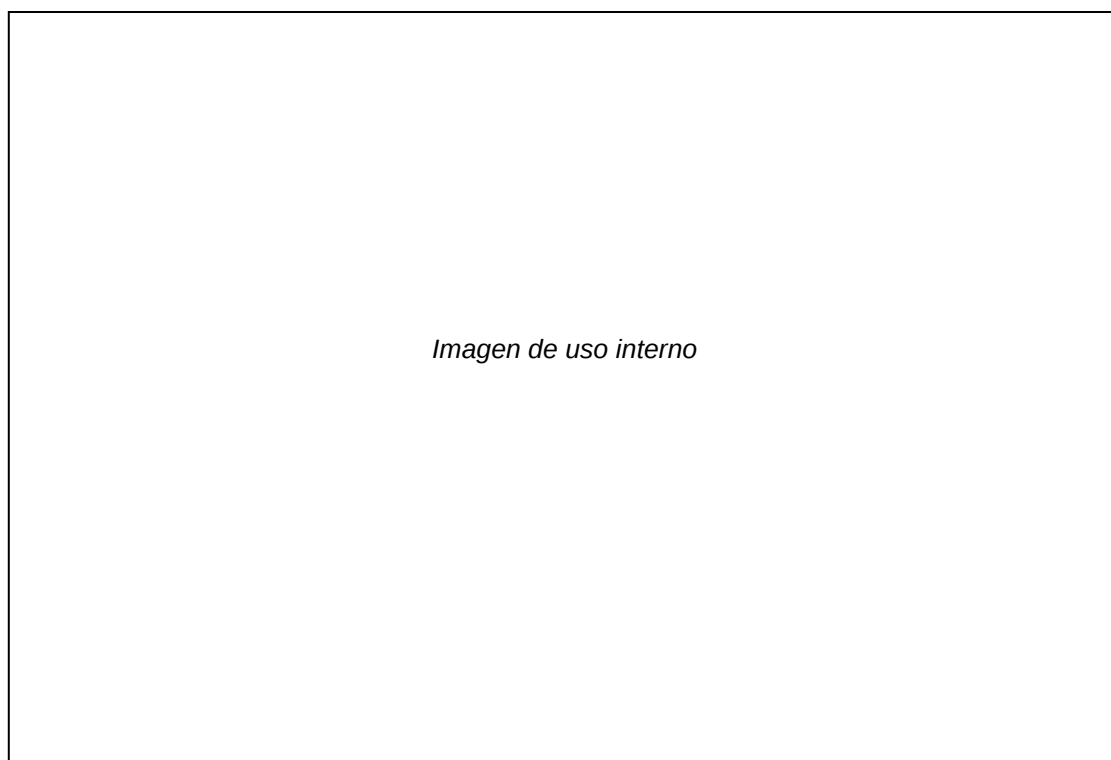


Figura 10 - Ejemplo de radiador anulado por encontrarse instalado en un local destinado a tareas de laboratorio e instrumentación.



Figura 11 - Ejemplo de radiador anulado por encontrarse instalado en un local destinado a tareas de laboratorio e instrumentación.

6.2 B) Caracterización térmica y mecánica del SCEE

6.2.1 Determinación del caudal de operación del SCEE

Una alternativa para determinar la potencia térmica que es removida y transportada por el sistema de calefacción desde la caldera hasta los radiadores que se encuentran distribuidos en las diferentes dependencias del edificio, es conocer el valor del caudal de agua impulsado por la bomba de recirculación cuando el sistema se encuentra funcionando en régimen estacionario.

El caudal de un sistema hidráulico se puede medir de forma directa con un caudalímetro o se puede determinar por cálculo a través de la obtención del punto de operación del sistema con el procedimiento estándar¹, para lo cual es necesario conocer el valor de la pérdida de carga hidráulica que se produce en las cañerías y demás accesorios del sistema, como así también disponer de la curva de carga de la bomba.

¹ El punto de operación de una bomba centrífuga en un determinado sistema hidráulico se determina de manera estándar encontrando la intersección entre la curva de carga de la bomba, que es un dato dado por el fabricante, y la curva del sistema, que depende de la configuración geométrica y física del sistema hidráulico. Para más detalle ver la ref. [3].

Para el estudio del SCEE no fue posible medir de manera directa el caudal, por lo que quedó descartada la primera opción. Por otra parte, dado que no se contaba con el plano de detalle de la instalación hidráulica del SCEE, y ante la inviabilidad de efectuar un relevamiento detallado que incluyera la medición y el recuento de las diferentes partes y accesorios del sistema, se descartó también la opción de cálculo o procedimiento estándar para obtener el punto de operación del sistema. Ante dicha situación se propuso como alternativa la implementación de un método técnico-analítico indirecto para estimar el punto de operación hidráulico del sistema de calefacción SCEE.

El método propuesto parte de la base de que la curva de carga de la bomba es conocida, y consiste en determinar a través de mediciones, la presión a la entrada y a la salida de la bomba; para luego, a partir de dichas mediciones, calcular el $\Delta p_{bomba} = p_{salida} - p_{entrada}$, que junto con la curva de carga de la bomba, permita estimar el caudal que está asociado al Δp_{bomba} .

En el caso del SCEE la curva de la bomba se obtiene de la hoja de datos técnicos perteneciente al modelo de bomba instalado (Marca: Rowa, Modelo 20/1 S - ver la placa de la bomba en la Figura 12 – Ref. [4]), mientras que los valores de las presiones a la entrada y a la salida de la bomba fueron medidos luego de la instalación de manómetros de aguja en los caños de entrada y de salida de la bomba. Las ubicaciones de los manómetros se pueden ver en el esquema de la Figura 13 y en la foto del sistema mostrada en la Figura 14.

El detalle de los cálculos llevados a cabo para la estimación del caudal de operación del SCEE, se presentan en el Anexo II del apartado 9.

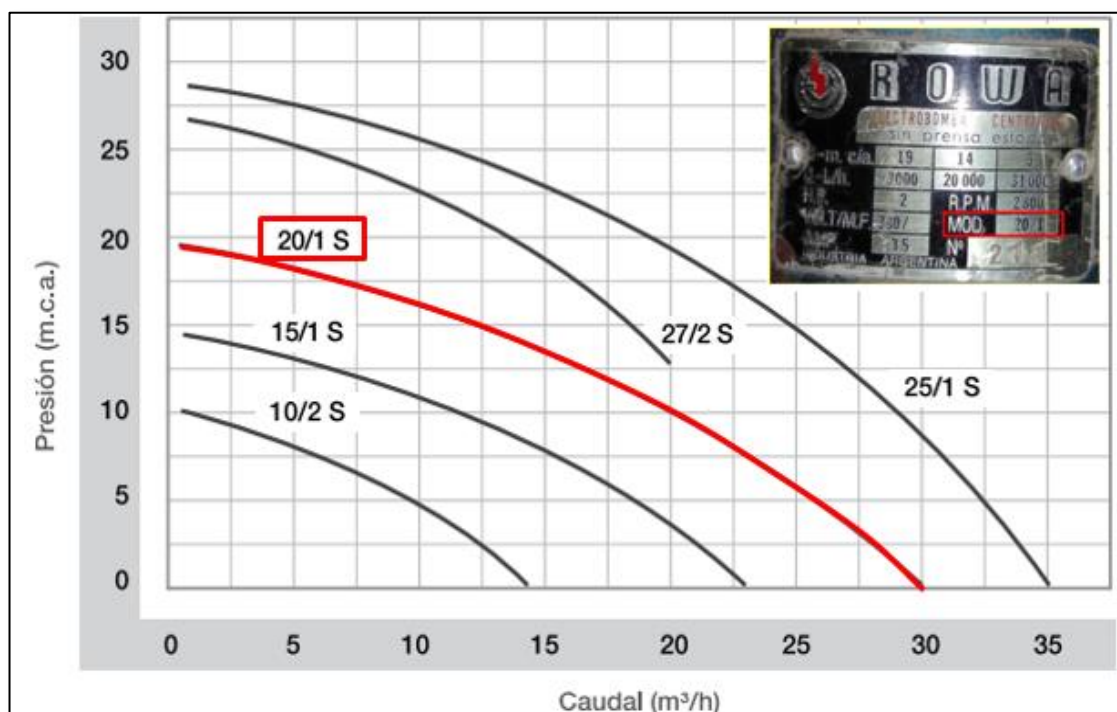


Figura 12 - Placa y curva de carga de la bomba. Ref. [4]

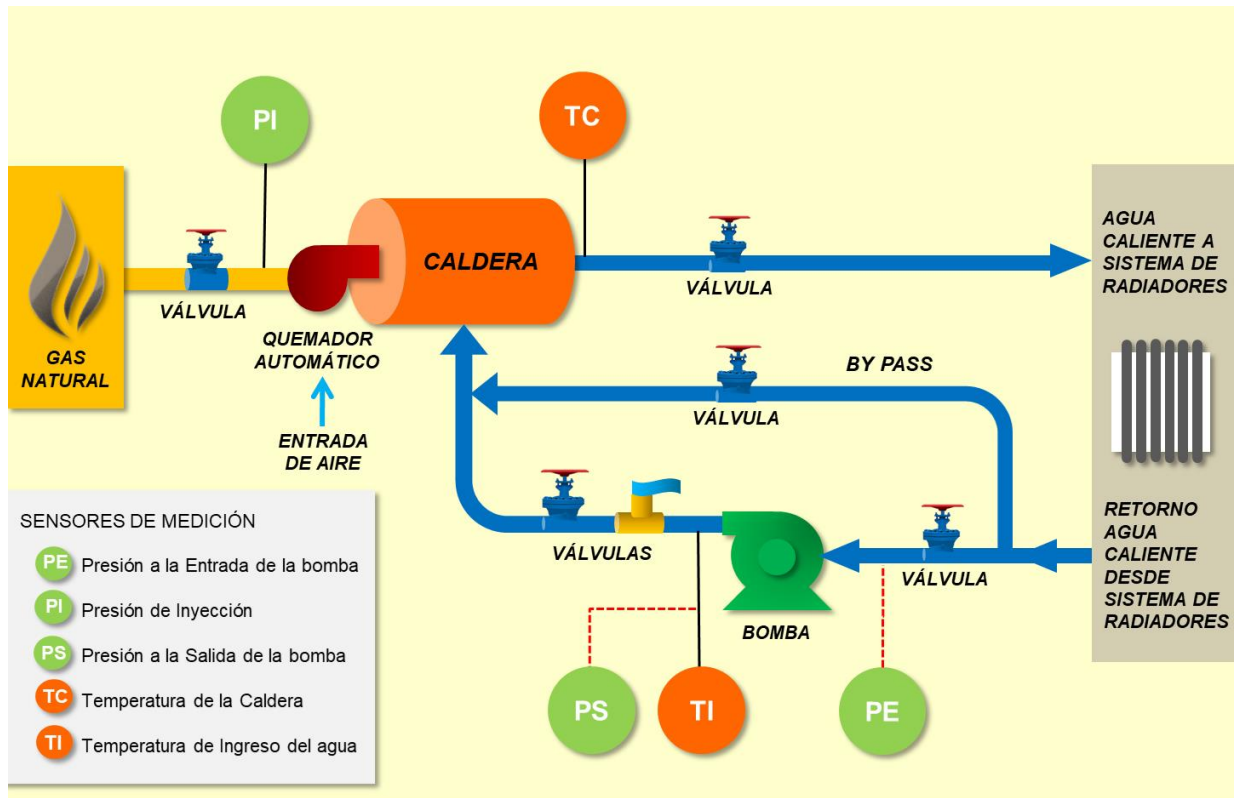


Figura 13 - Ubicación de los manómetros en la entrada y la salida de la bomba en el esquema del SCEE



Figura 14 - Manómetros en los caños de succión y descarga de la bomba de recirculación

6.2.2 Determinación de las potencias térmicas asociadas al SCEE

Las potencias térmicas identificadas en el SCEE son las siguientes:

P_{nom_cal} : La potencia nominal de la caldera, la cual está indicada en la placa de la caldera de la Figura 15. Este valor es, $500000 \left[\frac{\text{kcal}}{\text{hr}} \right]$ y equivale a un caudal de GN de $65 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$. Sin embargo, de acuerdo a lo mencionado en el apartado 6.1, acerca de la discrepancia entre el caudal nominal de GN requerido por la caldera y aquel aportado por el quemador, se tomará como potencia efectiva de la caldera a la potencia nominal del quemador (P_{nom_quem}).

P_{nom_quem} : La potencia nominal del quemador de la caldera se obtiene al considerar el caudal nominal que figura en la placa del quemador de la caldera, ver la Figura 6 del apartado 6.1, ($q_{nom_quem} = 36 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right]$) y el valor teórico del calor calorífico del combustible (GN) quemado ($CP_{gas_natural} = 9403 \left[\frac{\text{kCal}}{\text{m}^3} \right]$). Para definir su valor se recurre a la información que figura en las facturas emitidas por la empresa distribuidora de gas CAMUZZI Gas del Sur (Ver la Figura 7 en el apartado 6.1). En este caso se tomó el valor informado en la factura del período 06/19-07/19. En consecuencia, para los valores considerados la potencia nominal del quemador es de $338508 \left[\text{kCal/hr} \right]$

P_{total_calef} : La potencia total del sistema de calefacción es aquella que efectivamente entrega la caldera al circuito de calefacción. Dicha potencia se determina a partir del caudal de agua que circula por el sistema calefacción, del calor específico del agua impulsada por el mismo y las temperaturas de entrada y de salida de la caldera. El detalle del cálculo se presenta en el apartado 10.1 del Anexo III.

$P_{\text{útil_calef}}$: La potencia útil del sistema de calefacción es aquella que efectivamente es disipada por los radiadores hacia los ambientes de cada una de las dependencias en las cuales se encuentran los radiadores operativos del edificio.

$P_{\text{pérdida_calef}} = P_{total_calef} - P_{\text{útil_calef}}$: La potencia de pérdida del sistema de calefacción es la fracción de la potencia total entregada por el sistema de calefacción que se disipa de manera no deseada al ambiente durante la conducción del agua caliente a lo largo de las cañerías y otros accesorios pertenecientes al SCEE.



Figura 15 - Placa de la caldera

El detalle de las metodologías aplicadas para el cálculo de las potencias P_{total_calef} y $P_{útil_calef}$ se encuentra expuesto en el Anexo III del apartado 10.

Tabla 3 - Potencias térmicas del SCEE.

Nombre	Valor	
	[kW]	$\frac{kCal}{hr}$
P_{nom_cal}	394	3.38E+05
P_{nom_quem}	394	3.38E+05
P_{total_calef}	292	2.5E+05
$P_{útil_calef}$	26.75	2.30E+04
$P_{pérdida_calef}$	265.00	2.27E+05

6.3 C) Determinación de las eficiencias térmicas del SCEE

Para evaluar el desempeño térmico del sistema SCEE se identifican y analizan las siguientes eficiencias, cuyos valores resultantes se detallan en la Tabla 4:

$\eta_{term_SECC} = \frac{P_{total_calef}}{P_{nom_cal}}$: Eficiencia térmica del SCEE, indica la fracción de potencia térmica del combustible quemado en la caldera que se transfiere al sistema de calefacción. Es un indicador de la eficiencia térmica del conjunto formado por el quemador, la caldera y el intercambiador de calor entre ésta y el sistema de calefacción para el punto de operación del sistema impuesto por el caudal de agua de calefacción que circula por las cañerías del sistema.

$\eta_{util_calef_SECC} = \frac{P_{util_calef}}{P_{total_calef}}$: Eficiencia térmica útil del sistema de calefacción, indica la fracción de la potencia térmica total aportada al sistema de calefacción que se utiliza de manera útil en los radiadores del SCEE para la calefacción del edificio.

$\eta_{total_SECC} = \frac{P_{util_calef}}{P_{nom_cal}}$: Eficiencia térmica total del sistema de calefacción, indica la fracción de la potencia térmica total aportada por el combustible quemado en la caldera que se utiliza de manera útil en los radiadores del SCEE para la calefacción del edificio.

Tabla 4 - Eficiencias térmicas del SCEE

Nombre	Valor
η_{term_SECC}	0.74
$\eta_{util_calef_SECC}$	0.09
η_{total_SECC}	0.07

6.4 D) Evaluación de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones tendientes a optimizar la eficiencia energética del sistema

6.4.1 Conclusiones y discusión de los resultados

De acuerdo a los cálculos llevados a cabo para el SCEE, y que fueron presentados por medio del cálculo de las potencias y de las eficiencias térmicas en los apartados 6.1 y 6.4 respectivamente, se arriba a las siguientes conclusiones:

1. De la potencia térmica total aportada a través del quemado del combustible, el sistema de calefacción logra tomar para su operación aproximadamente un 74%. Esto último está relacionado con el rendimiento instantáneo de la caldera y con la eficiencia en la transferencia de la potencia térmica desde la misma hacia el sistema de calefacción. Para la búsqueda de posibles mejoras se podría estudiar la eficiencia de la combustión en la caldera mediante el análisis de los gases de combustión como así también su nivel de aislación. Por otra parte, cabría estudiar si un aumento del caudal hidráulico del sistema de calefacción podría aumentar el flujo de calor desde la caldera hacia el sistema de calefacción para así mejorar la eficiencia del proceso.

2. El sistema SCEE presenta una eficiencia térmica global (η_{total_SECC}) menor al 10%, lo cual representa un valor excesivamente reducido para un sistema con sus funciones y características. Este valor tan bajo e ineficiente puede deberse a varios motivos, algunos de los cuales se desarrollan en los siguientes ítems. Sin embargo, además de ellos debería considerarse la posibilidad de profundizar el relevamiento de los radiadores del edificio a fin de establecer con mayor certeza la superficie útil de intercambio térmico asociada a los mismos. Se considera que este parámetro como así también el coeficiente de transferencia de calor por convección concentra un alto porcentaje de error en su determinación.

3. A partir del relevamiento efectuado, entre los tramos destinados al transporte y la distribución del agua de calefacción, se identifican diferentes partes:

a) Tramos de cañerías troncales de partida y de retorno a la caldera: se trata de cañerías de 3" de diámetro que recorren el edificio Esparza por pasillos de servicios situados en la planta alta y baja. En el caso del tramo que lleva el agua de calefacción a alta temperatura (máx. 74°C) hacia los radiadores, el caño se encuentra mayormente aislado térmicamente. Sin embargo, el tramo de retorno con menor temperatura (mín. 53°C) no presenta aislación térmica.

b) Tramos de cañerías de distribución embutidos en las paredes: se trata de cañerías de ½" de diámetro que son derivaciones de las cañerías troncales hacia las dependencias donde se encuentran situados los radiadores del SCEE. Dichas cañerías no se encuentran aisladas térmicamente, sino que están en contacto directo con la mampostería del edificio, es decir aquellos que dividen los ambientes y delimitan las diferentes dependencias. Cabe destacar que los caños mencionados no se encuentran embutidos en las paredes de la envolvente del edificio, sino en los tabiques internos del mismo, lo cual contribuye en la calefacción de los ambientes, sin embargo, su efecto no ha sido cuantificado en el presente estudio.

c) Tramos de distribución en contacto con los ambientes de las dependencias a calefaccionar: se trata de cañerías de ½" de diámetro que comunican los tramos que se encuentran embutidos en los tabiques divisorios con los radiadores que en general se encuentran ubicados sobre las paredes de la envolvente del edificio. Por lo tanto, estos tramos de caño desnudo, de entrada y de salida en cada radiador, tienen longitudes que van desde la pared en la que el caño está embutido hasta el punto donde está ubicado cada radiador. Las superficies asociadas a estos tramos podrían ser consideradas como parte del área efectiva total de calefacción, ya que rigurosamente a través ellas se disipa potencia térmica hacia los ambientes, contribuyendo a la calefacción de las dependencias del edificio. Sin embargo, dado que no ha sido posible estimar su magnitud, no se han considerado como parte del área efectiva de intercambio térmico del SCEE.

6.4.2 Recomendaciones tendientes a optimizar la eficiencia energética del SCEE

En función de las conclusiones presentadas en el apartado precedente, se hacen las siguientes recomendaciones:

1. Realizar una inspección para verificar el estado de mantenimiento de los equipos involucrados en el sistema de calefacción, en especial, verificación y limpieza interna de intercambiador de la caldera y radiadores de manera de eliminar incrustaciones y hollines que puedan disminuir la capacidad de transmisión de calor.
2. Verificar la calidad de la combustión y grado de puesta a punto de la caldera (relación temperatura, comburente y combustible) para la óptima reacción y si es posible, mejorar la misma. El rendimiento de la combustión en cada caldera tiene un punto óptimo de exceso de aire.
3. Verificar el quemador si está funcionando correctamente y si alcanza su máxima eficiencia, es decir, si aporta el aire necesario y en las condiciones requeridas a la cámara, si se produce la mezcla óptima aire –combustible que determina la reacción óptima, etc.
4. Verificar si la aislación térmica existente en la caldera y las cañerías de retorno de agua caliente son suficientes y se encuentran en buen estado. En caso que se requiera, se recomienda cambiar y/o mejoras dicha aislación.
5. Se recomienda incorporar aislación a las cañerías de salida de agua caliente y retorno dentro de la sala de caldera y también, aislar toda la cañería troncal de retorno de agua caliente que distribuye por todo el edificio.
6. Como última opción, en caso de que aplicando las anteriores recomendaciones no mejoré el rendimiento, se podría evaluar el cambio del quemador por uno de mayor capacidad según la potencia nominal de la caldera (ver apartado 6.1).

6.4.3 Sugerencias para estudios complementarios

7. Ampliar el estudio con determinación de eficiencia de combustión mediante medición de los gases y analizar la composición de los gases y ajustar el exceso de aire requerido según las condiciones particulares de la caldera, quemador y condiciones de alimentación del combustible.
8. Estudiar la posibilidad de reemplazar la bomba de recirculación del sistema de calefacción por otra de mayor caudal con el objeto de incrementar la cantidad de calor removido de la caldera por el sistema de calefacción. A los efectos de poder realizar esta acción, se deberá evaluar el caudal de operación máximo para el sistema existente, considerando una velocidad máxima de las cañerías de $2 \left[\frac{m}{s} \right]$, de acuerdo a los criterios de diseño de uso común. Cabe destacar que en las condiciones actuales, la velocidad del flujo en las cañerías de diámetro externo 3" SCH 40, es de $0.74 \left[\frac{m}{s} \right]$.
9. Efectuar un refinamiento del relevamiento de las condiciones de funcionamiento de los radiadores y de los tramos de distribución que están en contacto con los ambientes de las dependencias del edificio, para así precisar el cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección y el área efectiva total de intercambio térmico.
10. Analizar el efecto de la temperatura del aire que ingresa al quemador sobre la eficiencia de la caldera.

11. Estudiar la frecuencia y tiempo de encendido del quemador y bomba de circulación en función de las condiciones ambientales y de operación del sistema a lo largo del año. Se propone usar para ello sistemas de adquisición de datos basados en datalogger y placas de desarrollo Arduino/Raspberry.
12. Realizar una evaluación económica y de factibilidad técnica acerca las mejoras que se proponen.
13. Realizar una evaluación sobre el impacto de las mejoras introducidas en la eficiencia instantánea y/o estacional del sistema de acuerdo a lo mencionado en la ref. [7].
14. En cuanto a la eficiencia térmica global del sistema (7%), se deberían contrastar con valores de referencia extraídos de la literatura en función de las tecnologías existentes.

7 REGISTROS

“No aplicable”.

8 ANEXO I - Vista en Planta del Edificio Esparza (Pabellón 35 - CAB)

Se muestran a continuación, en Figura 16 y Figura 17, las vistas en planta del Edificio Daniel Esparza en su diseño original.

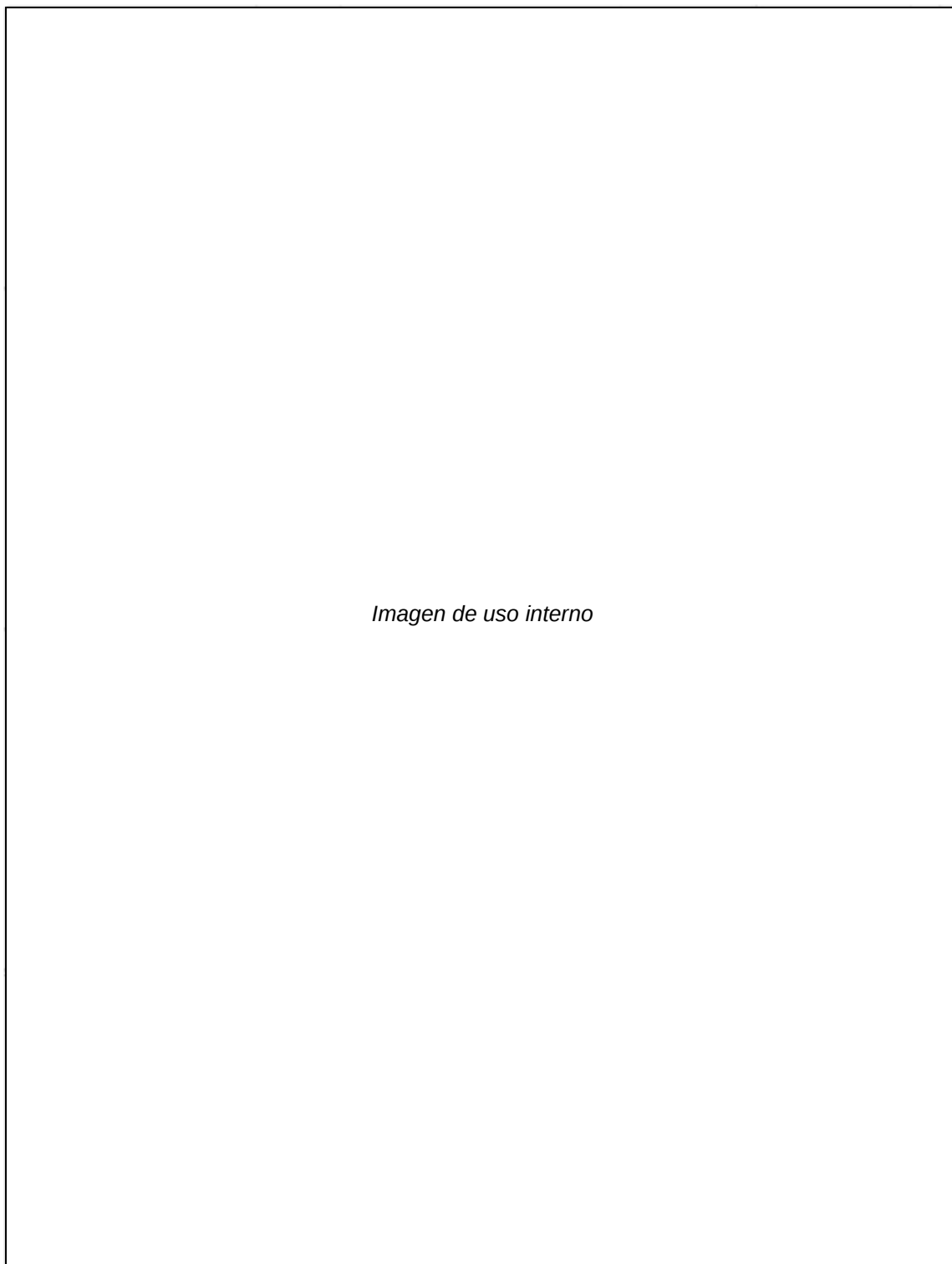


Imagen de uso interno

Figura 16 - Vista en planta – Planta Baja Edificio Esparza

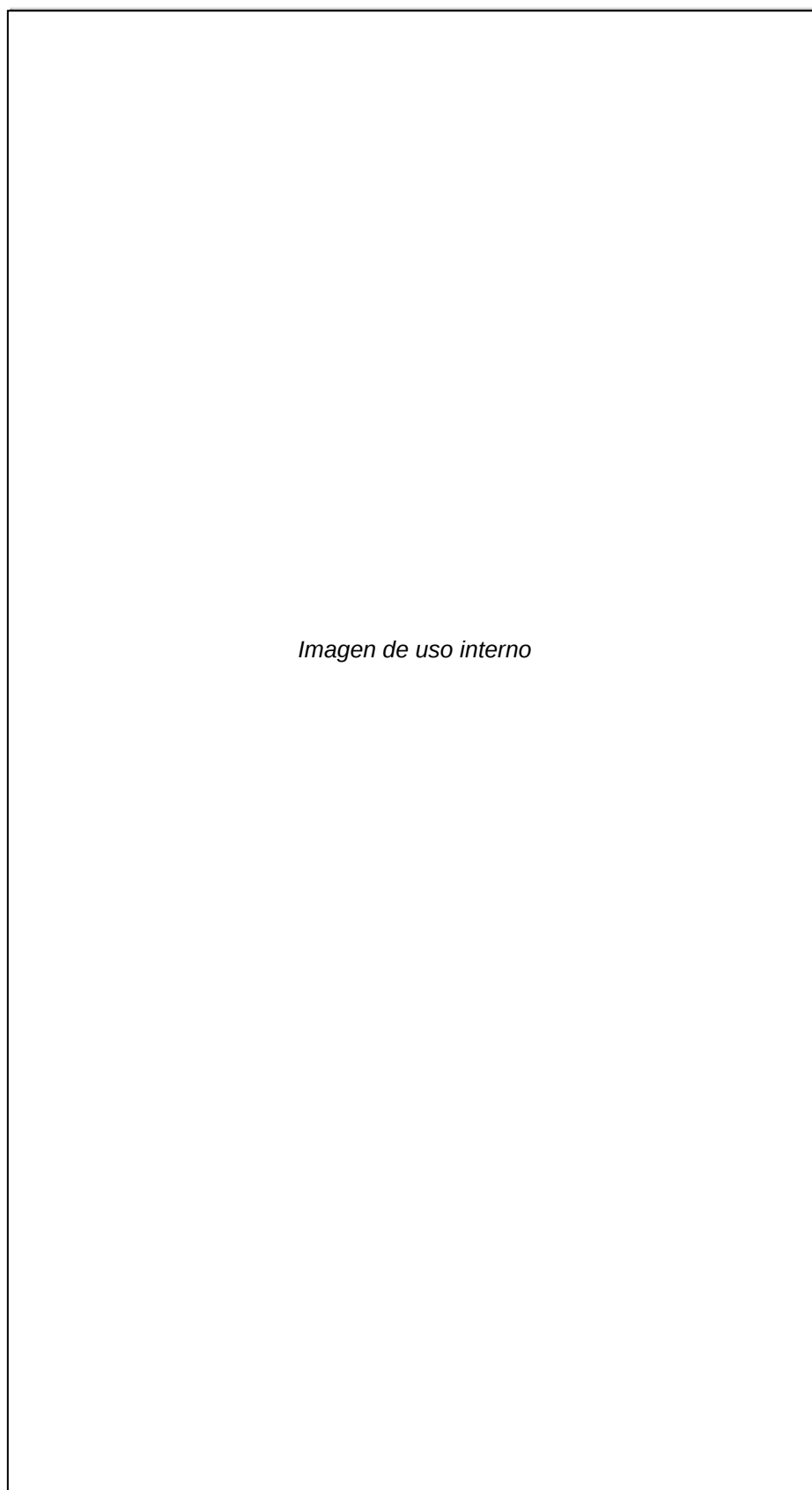


Figura 17 - Vista en planta –Planta Alta Edificio Esparza

9 ANEXO II - Estimación del caudal de operación del SCEE

9.1 Curva de carga de la bomba

Para que la curva de la bomba pueda ser utilizada más allá del formato gráfico, se obtuvo una función matemática del Δp_{bomba} en función del caudal Q por medio de un ajuste por mínimos cuadrados como se muestra en la Figura 18. Dicha función es cuadrática, representa la curva de carga de la bomba correspondiente al modelo de bomba 20/1 S que se muestra en la Figura 12 del apartado 6.2.1 y tiene la siguiente forma:

$$\Delta p_{bomba} = 19.37 [mca] - 0.1253 [mca] \left[\frac{hr}{m^3} \right] Q - 0.0173 [mca] \left[\frac{hr}{m^3} \right]^2 Q^2$$

Donde Δp_{bomba} viene dado en mca (metros de columna de agua) y Q en $\left[\frac{m^3}{hr} \right]$.

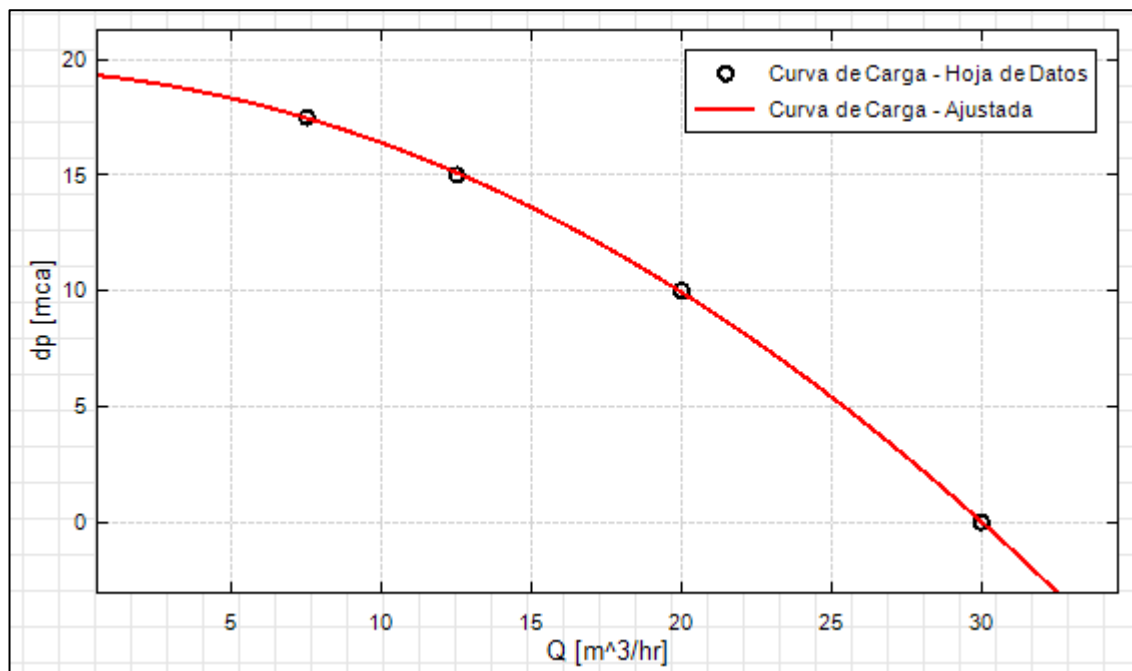


Figura 18 - Curva de carga de la bomba – Puntos tomados del gráfico de la hoja de datos [4] y curva ajustada por mínimos cuadrados.

A partir de los valores de presión medidos en los manómetros a la entrada y a la salida de la bomba se determinó que $\Delta p_{bomba} = 15 [mca] = 147.1 [kPa]$, y de acuerdo a la función de la curva de carga previamente obtenida, el caudal de la bomba asociado a dicho Δp_{bomba} es $\dot{q} = 12.67 \left[\frac{m^3}{hr} \right]$.

10 ANEXO III - Determinación de las potencias del SCEE

10.1 Potencia total del sistema de calefacción: P_{total_calef}

La potencia térmica total entregada por la caldera al sistema de calefacción se determina por la diferencia entre las potencias térmicas de salida y de entrada a la caldera:

$$P_{total_calef} = P_{cal_e} - P_{cal_s}$$

$$P_{cal_s} = \dot{m}(T_{cal_s}) CP(T_{cal_s}) T_{cal_s}$$

$$P_{cal_e} = \dot{m}(T_{cal_e}) CP(T_{cal_e}) T_{cal_e}$$

Donde:

P_{cal_s} : Potencia térmica de salida de la caldera [W]

P_{cal_e} : Potencia térmica de entrada de la caldera [W]

$\dot{m} = \rho(T)\dot{q}$: Caudal másico de agua de calefacción $\left[\frac{kg}{s}\right]$

$CP(T)$: Calor específico del agua de calefacción para una determinada temperatura $\left[\frac{J}{kg\ ^\circ C}\right]$

T_{cal_s} : Temperatura a la salida de la caldera [$^\circ C$]

T_{cal_e} : Temperatura a la entrada de la caldera [$^\circ C$]

Las potencias térmicas se calculan a partir de las temperaturas a la entrada ($T_{cal_e} = 53^\circ C$) y a la salida ($T_{cal_s} = 74^\circ C$) de la caldera medidas en los termómetros de aguja situados en tales puntos del sistema (Figura 19), y del caudal del SCEE $\dot{q}$ que fue determinado en Anexo II del apartado 9. Las propiedades físicas del agua dependen de la temperatura, por lo tanto, para su cálculo se utilizaron las correlaciones de la ref. [5]. Los valores de las potencias que resultan del cálculo se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5 - Valores obtenidos de las potencias

Potencia	CP $\left[\frac{J}{kg\ ^\circ C}\right]$	Valor [kW]
P_{cal_s}	892.3	1070
P_{cal_e}	935.3	778
P_{total_calef}	-----	292

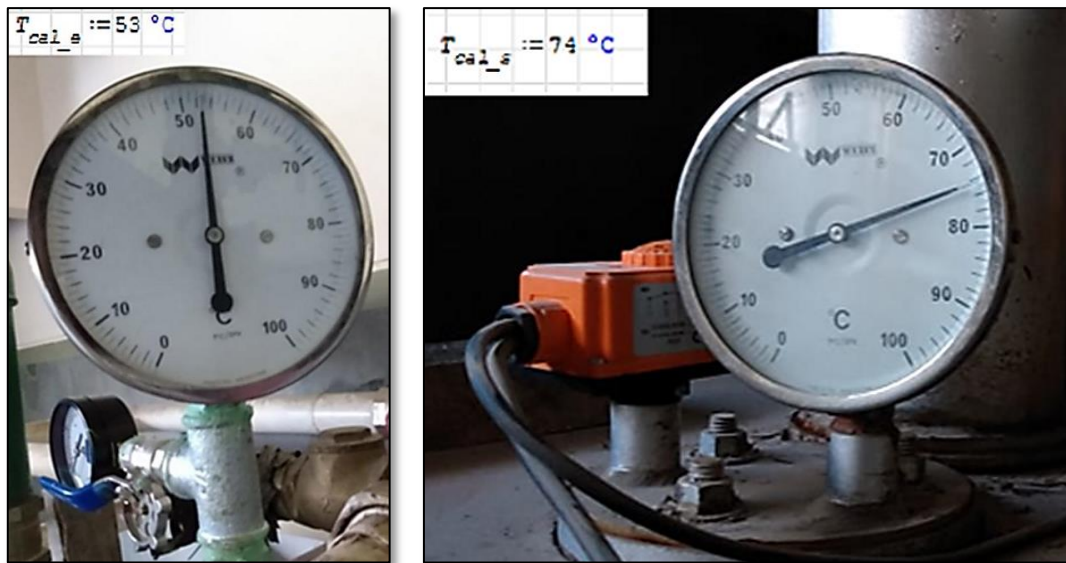


Figura 19 - Termómetros a la entrada y a la salida de la caldera

10.2 Potencia útil del sistema de calefacción: $P_{\text{útil_calef}}$

Para estimar la potencia útil del sistema de calefacción es preciso determinar la potencia térmica que disipan los radiadores operativos del sistema hacia los ambientes de las diferentes dependencias del SCEE. Dado que no es posible medir esta potencia en cada uno de los radiadores del sistema, para estimar la potencia disipada por los radiadores hacia el ambiente se adoptó una metodología de cálculo analítico basada en los modelos matemáticos de la transferencia de calor.

Para ello se asumió que el fenómeno asociado a la transferencia del calor de los radiadores hacia el ambiente se encuentra dominado por el mecanismo de convección natural. Esto se fundamenta en el hecho de que el aire del ambiente circundante al radiador, que es el vehículo por medio del cual se transfiere el calor, se encuentra en reposo o se mueve a velocidades muy bajas. Por lo tanto, la disipación de la potencia térmica del radiador se produce por el transporte de calor que ocurre como consecuencia del movimiento de aire impulsado por la presencia del radiador, que actúa como una fuente de calor de mayor temperatura que el ambiente.

Para determinar el flujo de calor por convección que se transfiere al ambiente en los radiadores se utilizó la expresión de la ley de enfriamiento de Newton [1]:

$$\dot{Q}_{rad} = h_{conv_nat} (T_{rad} - T_{amb}) A_{ef_rad}$$

Donde:

$\dot{Q}_{rad}$: Flujo de calor por convección en un determinado radiador [W].

h_{conv_nat} : Coeficiente de convección natural $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$.

T_{rad} : Temperatura representativa de la superficie del radiador [$^\circ C$].

T_{amb} : Temperatura representativa del ambiente [$^\circ C$].

A_{ef_rad} : Área efectiva de intercambio térmico del radiador [m^2].

Para calcular el flujo de calor por convección en los radiadores se debe determinar el coeficiente de convección natural y el área efectiva de intercambio térmico de los radiadores. El cálculo de tales parámetros se detalla en los apartados 10.2.1 y 10.2.2 respectivamente.

Para los valores obtenidos para cada uno de ellos, y considerando una temperatura representativa promedio en los radiadores de $T_{rad} = 51.8 [^{\circ}C]$ calculada a partir de las termografías que fueron tomadas a una muestra representativa de radiadores y una temperatura ambiente promedio de $T_{amb} = 20 [^{\circ}C]$, se tiene como resultado una potencia útil del sistema de calefacción $P_{\acute{u}til_calef} \cong 35.12 [kW]$.

10.2.1 Cálculo del flujo de calor disipado por convección natural en los radiadores

Para determinar el valor del coeficiente de convección se utilizó la correlación de Churchill-Chu [1] para una placa plana vertical, lo cual permite para describir al fenómeno analizado:

$$h_{conv_nat} = \frac{Nu_{conv_nat} k_{aire}}{L_{eq}}$$

$$Nu_{conv_nat} = 0.68 + \frac{0.67 Ra^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{Pr}\right)^{9/16}\right)^{4/9}}$$

$$Ra = Gr Pr$$

$$Gr = \frac{g \beta_{aire} (T_{rad} - T_{amb}) L_{eq}^3}{\left(\frac{\mu_{aire}}{\rho_{aire}}\right)^2}$$

Donde:

Nu_{conv_nat} : Número de Nusselt correspondiente al caso de convección natural.

k_{aire} : Conductividad térmica del aire $\left[\frac{W}{m^{\circ}C}\right]$.

$L_{eq} = \sqrt{ancho_{rad} \cdot alto_{rad}}$: Longitud equivalente [m].

Ra : Número de Raileigh.

Gr : Número de Grashoff.

Pr : Número de Prandt.

g : Aceleración de la gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$.

β_{aire} : Coeficiente de dilatación volumétrico del aire $\left[\frac{1}{^{\circ}C}\right]$.

μ_{aire} : Viscosidad dinámica del aire $[Pa \cdot s]$.

ρ_{aire} : Densidad del aire $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$.

Las propiedades físicas del aire usadas en los cálculos dependen de la temperatura, por lo tanto, para determinar sus correspondientes valores se utilizaron las correlaciones de la ref. [6]

De los cálculos efectuados, el coeficiente de convección resultante es

$h_{conv_nat} = 4.2 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}\right]$, mientras que el flujo de calor por unidad de superficie de intercambio $\dot{q}_{rad}$ se calcula como:

$$\dot{q}_{rad} = h_{conv_nat} (T_{rad} - T_{amb}) \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

y su valor es de $134.5 \left[\frac{W}{m^2}\right]$.

10.2.2 Determinación del área efectiva de intercambio térmico de los radiadores

Un determinado radiador está formado por un número variable de elementos calefactores, por lo tanto, su área efectiva de intercambio térmico viene dada por la suma de las áreas efectivas de intercambio térmico de cada uno de los elementos que lo componen.

Por su parte, el área efectiva de intercambio térmico de un elemento calefactor depende de dos componentes, una geométrica dada por su forma espacial y otra que depende de la eficiencia de su funcionamiento. Por lo tanto, el área efectiva de intercambio térmico de un radiador se define como:

$$A_{ef_rad} = \sum_{i=1}^{n_{elem_calef}} A_{ef_elem_calef_i} = \frac{A_{elem_calef}}{n_{elem_calef}} \sum_{i=1}^{n_{elem_calef}} \eta_{elem_calef_i}$$

Donde:

A_{ef_rad} : Área efectiva de intercambio térmico del radiador $[m^2]$.

n_{elem_calef} : Número de elementos calefactores del radiador.

$A_{ef_elem_calef_i}$: Área efectiva del elemento calefactor i $[m^2]$.

$\eta_{elem_calef_i}$: Eficiencia de intercambio térmico del elemento calefactor i

$$(0 \leq \eta_{elem_calef_i} \leq 1).$$

A_{elem_calef} : Área del elemento calefactor (idénticas en todos los casos) [m^2].

10.2.2.1 Componente geométrica A_{elem_calef}

Cada elemento calefactor de los radiadores fue modelado como una placa plana vertical. Sin embargo, su geometría no coincide exactamente con una placa plana, sino que está formado por un arreglo de cuatro tubos en posición vertical que se vinculan en la parte superior e inferior por medio de colectores planos (ver la Figura 8, en el apartado 6.1). En consecuencia, desde el punto de vista geométrico, la superficie de la placa equivalente se calcula como la suma de las superficies de los cuatro tubos y la de los colectores planos superior e inferior anteriormente mencionados. De esto resulta que el área geométrica del elemento calefactor es $A_{elem_calef} = 0.25[m^2]$.

10.2.2.2 Eficiencia de intercambio térmico η_{elem_calef}

La eficiencia de intercambio térmico tiene por objeto incluir en el cálculo del área de intercambio térmico los efectos asociados al estado operativo en el que se encuentra un determinado elemento calefactor. Dichos efectos producen en el elemento calefactor la existencia de zonas con bajas temperaturas como consecuencia del taponamiento parcial o total de los canales por donde circula el agua de calefacción proveniente de la caldera. La obstrucción de estos canales puede deberse a la acumulación de sarro y/o herrumbre, lo que tiene como consecuencia la reducción progresiva de la superficie de intercambio térmico efectiva de los elementos calefactores. Llegando a existir casos en los que se produce el taponamiento total del elemento, lo que tiende a anular su contribución al sistema de calefacción.

Para determinar la eficiencia representativa de los elementos calefactores que forman parte de los radiadores del edificio se adoptó un método estadístico con el que se realizó un muestreo del 10% de los elementos calefactores existentes en el edificio, ubicados en diferentes sectores y con diversas tipologías (oficinas, laboratorios, baños, cocina, sala de reunión). Posteriormente, las eficiencias obtenidas en cada uno de los elementos calefactores muestreados se promediaron y se extrapolaron al restante 90% de la población de radiadores del edificio Esparza.

A cada uno de los radiadores seleccionados para el muestro se le realizó una termografía para conocer la distribución de las temperaturas superficiales de cada elemento calefactor que lo compone, y a partir de ésta se propuso un método de cálculo de la eficiencia térmica de cada uno de ellos que consiste en evaluar la temperatura en 5 puntos a diferentes niveles del elemento del radiador. (Ver Figura 20)

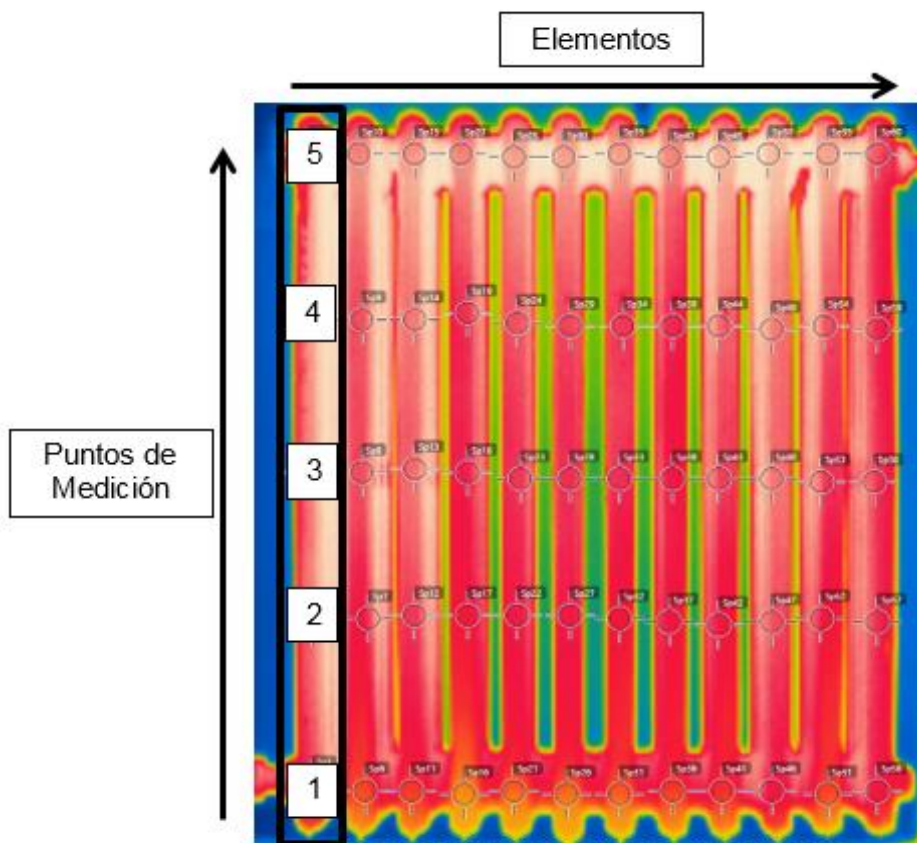


Figura 20 - Convención de la numeración de los puntos de medición y de los elementos en la termografía de un radiador

De acuerdo al criterio mencionado, la eficiencia de intercambio térmico en un elemento calefactor se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\eta_{elem_{calef}} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{j=1}^n (T_j - T_{amb})}{(T_{max} - T_{amb})} \quad \text{para } T_{max} > T_{amb}$$

Mientras que la eficiencia térmica promedio de cada radiador viene dada por el promedio de las eficiencias de los elementos calefactores que lo conforman. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \eta_{elem_{calef_i}}$$

Donde:

$\eta_{elem_{calef}}$: Eficiencia promedio de intercambio térmico del elemento calefactor de un radiador del edificio Esparza.

η : Eficiencia promedio de intercambio térmico representativa de los elementos calefactores para una determinada clase de radiadores del edificio Esparza.

n : Número de puntos considerados para analizar la distribución de temperaturas en el elemento calefactor y determinar su eficiencia térmica (en los casos analizados $n = 5$).

N : Número de elementos calefactores que conforman una determinada clase de radiador (ver la Tabla 6).

T_j : Temperatura correspondiente a cada uno de los puntos de análisis [$^{\circ}\text{C}$].

T_{max} : Temperatura máxima de los puntos analizados en el elemento calefactor [$^{\circ}\text{C}$].

La eficiencia de intercambio térmico toma valores dentro del intervalo $[0,1]$, de forma tal que para distribuciones de temperaturas próximas al valor máximo del elemento se tienen eficiencias cercanas a 1 (del 100%), mientras que para distribuciones de temperaturas que se acercan a la temperatura ambiente se tienen eficiencias cada vez más bajas. La eficiencia de intercambio térmico es un indicador del grado de taponamiento en los elementos que se encuentran operativos y una medida de la intensidad de su funcionamiento, ya que toma un valor nulo en aquellos elementos que tienen el flujo de agua totalmente obstruido. En consecuencia, este efecto se representa a través de una reducción en la superficie de intercambio efectiva del elemento calefactor. Por su parte, en los elementos calefactores que no se encuentran operativos (flujo de agua de calefacción está cerrado), la eficiencia de intercambio térmico queda indefinida porque no es posible determinarla a partir de un radiador que tiene la misma temperatura que el ambiente.

Tabla 6 - Eficiencias resultantes en los radiadores relevados

Resumen Relevamiento Termografías de Radiadores		
Termografía	N° Elementos	η
Flir819	13	0.65
Flir821	13	0.69
Flir823	17	0.79
Flir825	14	0.91
Flir827	12	0.57
Flir829	11	0.86
Flir831	11	0.87
Flir833	15	0.49
Flir835	15	0.66
Flir837	15	0.34
Flir839	12	0.97
Flir841	12	0.94
Flir843	15	0.85
Total	175	$\bar{\eta} = 0.74$

La sumatoria ponderada de todas las eficiencias promedio permite obtener la eficiencia promedio de un elemento calefactor típico del Edificio Esparza, dado por $\bar{\eta}$.

En el Anexo IV del apartado 11 se muestran las termografías y las correspondientes tablas con las distribuciones de temperaturas y las eficiencias de los elementos calefactores de cada uno de los radiadores relevados en el edificio Esparza. Por su parte, en la Tabla 6 se presenta el resumen de las eficiencias de intercambio térmico obtenidas de su cálculo a partir de las temperaturas de los puntos de medición de cada uno de los elementos que conforman a los radiadores relevados. Asimismo, en la misma tabla se detalla la cantidad de elementos que conforman a cada uno de los radiadores como así también el valor de la eficiencia promedio final $\bar{\eta}_g$ de intercambio térmico que es representativa de la población de radiadores del edificio Esparza, la cual alcanza un 74%.

El área efectiva de intercambio térmico representativa de un elemento calefactor surge de multiplicar el área de intercambio térmico por la eficiencia de intercambio térmico de cada elemento: $A_{ef_elem_calef} = 0.185 [m^2]$. Por lo tanto, el área efectiva total de los radiadores, en uso², del edificio Esparza es $A_{ef_rad} \cong 201 [m^2]$.

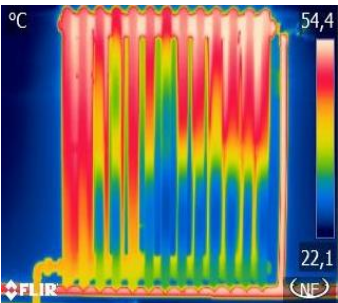
² A partir del relevamiento efectuado, se observó que el 20% del total de los elementos calefactores del Edificio Esparza se encuentran apagado.

11 ANEXO IV – Termografías, temperaturas y eficiencias de los radiadores relevados

Las termografías mostradas en el presente apartado se obtuvieron con una cámara termográfica modelo FLIR T420. Las termografías fueron tomadas en todos los casos a una distancia del objeto a la cámara de 1.2 m, con una lente de 45° y con el centro de la lente apuntando al centro del radiador.

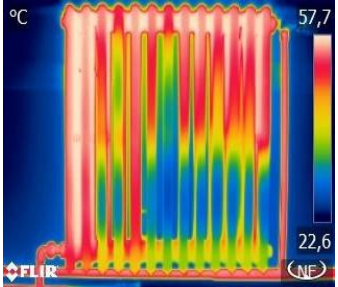
11.1 Radiador – Termografía Flir0819

Tabla 7 - Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0819

Punto de Medición	Elemento													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
5	51.1	51.5	50.4	47.4	51.7	51.2	48.2	51.7	52.1	51.7	52.6	52.7	53.0	 Termografía Flir0819
4	51.4	50.2	44.6	35.4	49.9	46.9	33.9	49.6	49.1	45.0	48.7	49.0	49.8	
3	48.7	48.2	41.7	40.0	47.8	42.1	32.1	42.2	42.5	38.7	42.4	43.9	44.7	
2	46.8	45.2	30.6	30.0	45.2	29.6	26.7	28.1	28.2	27.5	28.0	28.8	28.0	
1	42.8	41.5	36.2	35.4	39.8	33.8	32.7	33.0	32.8	32.5	32.6	33.1	32.1	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.85	0.83	0.63	0.53	0.81	0.63	0.45	0.63	0.63	0.58	0.63	0.65	0.65	$\eta = 0.65$

11.2 Radiador – Termografía Flir0821

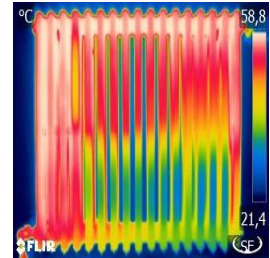
Tabla 8 - Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0821

Punto de Medición	Elemento													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
5	56.8	56.2	54.9	51.6	55.8	55.1	52.7	55.6	55.7	55.2	55.4	55.8	55.2	 Termografía Flir0821
4	57.4	55.7	49.6	38.7	54.6	51.2	36.5	53.5	53.2	47.4	51.5	50.5	54.5	
3	57.5	55.3	45.8	44.0	54.0	45.1	33.9	45.2	45.2	39.7	42.9	42.9	51.7	
2	57.2	53.8	33.5	32.8	52.6	32.4	28.3	30.4	30.5	29.6	30.0	31.3	30.7	
1	53.8	51.3	41.7	40.6	48.3	38.4	36.8	37.6	37.7	37.4	37.7	38.7	37.6	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.97	0.92	0.67	0.57	0.88	0.65	0.47	0.65	0.65	0.58	0.63	0.64	0.69	$\eta = 0.69$

11.3 Radiador – Termografía Flir0823

Tabla 9 - Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0823

Punto de Medición	Elemento																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5	57.0	56.9	57.5	54.9	57.4	56.7	56.8	56.9	56.7	56.2	56.8	57	56.7	56.7	56.4	56.8	55.6
4	57.7	56.9	56.7	45.7	55.1	54.3	54.3	55.0	53.6	53.8	54.3	55.7	54.4	53.6	53.5	53.0	55.4
3	57.2	56.9	56.0	53.4	53.7	51.2	52.4	52.8	51.4	50.6	50.5	49.4	48.6	48.1	47.6	47.2	56.4
2	57.5	55.8	55.5	53.8	40.1	38.0	37.4	37.4	37.3	36.6	36.1	34.5	41.4	34.4	33.1	34.8	49.3
1	54.0	52.7	52.3	50.0	45.7	43.7	43.9	42.3	41.0	40.5	39.5	38.7	38.5	37.6	37.3	37.9	41.5
$\eta_{elem_{calef}}$	0.97	0.95	0.94	0.84	0.81	0.76	0.77	0.77	0.74	0.73	0.73	0.72	0.74	0.69	0.68	0.69	0.84

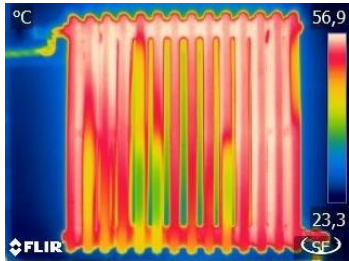


Termografía Flir0823

$\eta = 0.79$

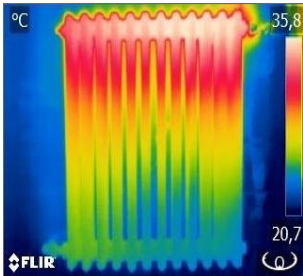
11.4 Radiador – Termografía Flir0825

Tabla 10: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0825

Punto de Medición	Elemento														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
5	55.2	55.4	55.6	55.4	54.2	55.6	55.5	55.7	55.4	55.4	55.5	55.2	54.7	53.4	 Termografía Flir0825
4	55.4	54.4	55.1	55.4	44.6	54.3	54.9	54.5	54.5	55.2	55.5	55.6	54.9	48.0	
3	54.6	49.5	53.4	54.2	46.1	50.6	54.1	53.7	54.2	53.5	55.1	55.6	54.8	53.6	
2	53.7	44.4	51.0	52.7	39.0	39.9	53.4	52.0	52.2	42.5	53.8	54.4	54.1	53.7	
1	51.9	48.2	48.4	49.1	45.4	45.1	50.2	49.6	50.5	49.2	52.1	52.8	52.6	52.5	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.96	0.85	0.92	0.93	0.72	0.82	0.94	0.93	0.93	0.87	0.96	0.97	0.96	0.90	
$\eta = 0.91$															

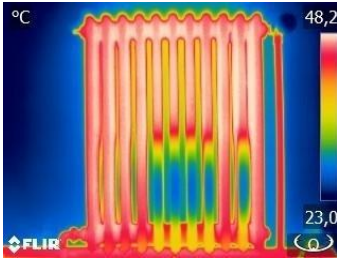
11.5 Radiador – Termografía Flir0827

Tabla 11: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0827

Punto de Medición	Elemento												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5	33.1	33.5	33.8	34.2	34.6	34.8	35.0	35.1	35.2	35.1	35.0	34.8	 Termografía Flir0827
4	30.3	30.6	30.7	30.7	30.8	30.7	30.8	30.8	30.9	31.1	31.2	30.8	
3	28.4	28.3	28.3	28.3	28.2	27.8	27.9	27.7	27.5	28.0	28.0	27.8	
2	26.5	26.4	26.1	26.0	25.7	25.0	25.5	24.9	24.7	25.5	25.7	25.4	
1	25.3	25.3	25.1	24.9	24.8	24.6	24.6	24.4	24.2	24.3	24.5	24.1	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.57	0.58	0.58	0.58	0.58	0.56	0.58	0.56	0.56	0.58	0.58	0.56	$\eta = 0.57$

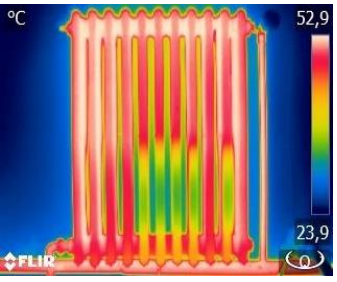
11.6 Radiador – Termografía Flir0829

Tabla 12: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0829

Punto de Medición	Elemento											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	46.3	46.7	46.8	46.8	47.1	46.9	46.8	46.6	46.7	46.3	46.7	 Termografía Flir0829
4	46.8	47.2	47.4	47.4	47.5	47.4	47.4	37.3	47.3	47.6	46.9	
3	46.8	47.2	47.1	47.3	45.1	43.9	43.7	45.4	47.0	45.0	47.6	
2	46.7	47.0	46.8	46.3	28.6	27.5	27.8	28.3	46.0	28.7	46.5	
1	46.0	45.3	44.7	43.3	37.3	37.0	37.2	38.1	43.8	39.1	45.7	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.96	0.97	0.96	0.95	0.77	0.74	0.75	0.69	0.95	0.77	0.97	$\eta = 0.86$

11.7 Radiador – Termografía Flir0831

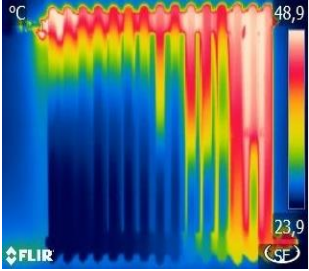
Tabla 13: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0831

Punto de Medición	Elemento											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	51.4	51.6	51.6	51.4	51.3	51.3	51.4	51.4	51.4	51.4	50.8	 Termografía Flir0831
4	52.4	52.2	51.3	50.8	50.3	50.2	50.3	50.7	50.1	50.8	51.2	
3	52.0	51.5	51.1	50.8	48.1	46.6	47.2	49.2	50.2	48.8	51.4	
2	50.6	50.7	49.4	48.7	36.6	34.7	35.0	35.7	48.6	36.5	50.6	
1	49.7	49.0	47.9	47.3	43.5	43.5	43.3	44.2	47.5	44.8	49.1	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.96	0.96	0.93	0.92	0.80	0.78	0.79	0.81	0.91	0.82	0.95	
												$\eta = 0.87$

11.8 Radiador – Termografía Flir0833

Tabla 14: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0833

Punto de Medición	Elemento														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	47.0	44.9	43.3	42.6	41.6	39.9	42.1	45.9	42.9	47.5	45.4	42.0	47.3	47.6	47.2
4	29.7	29.2	28.2	27.3	28.4	27.6	28.8	36.7	28.4	43.2	41.9	31.6	45.0	47.0	46.0
3	25.4	25.5	25.7	25.4	25.6	25.7	26.1	29.4	26.6	36.5	36.2	33.5	42.9	44.2	45.3
2	24.4	24.5	24.6	24.5	24.6	24.6	25.0	25.3	25.4	27.5	27.5	28.5	40.5	31.5	43.1
1	24.5	24.5	24.6	24.6	24.7	24.9	25.1	25.4	26.0	28.3	29.3	31.0	35.0	36.2	39.8
$\eta_{elem_{calef}}$	0.37	0.35	0.34	0.32	0.33	0.31	0.34	0.45	0.36	0.60	0.58	0.48	0.80	0.77	0.88



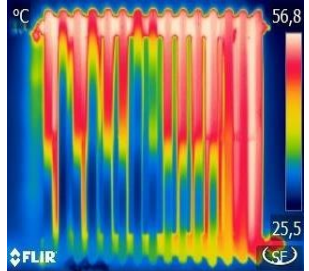
Termografía Flir0833

$\eta = 0.49$

11.9 Radiador – Termografía Flir0835

Tabla 15: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0835

Punto de Medición	Elemento														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	55.5	51.3	55.1	51.5	55.1	54.3	50.1	51.4	55.3	55.2	54.7	55.4	53.6	54.4	54.4
4	52.6	33.1	52.9	35.0	51.6	50.8	32.9	35.4	53.1	53.6	53.5	54.9	51.2	52.6	54.0
3	47.8	29.9	45.3	31.9	42.1	42.4	31.7	37.7	47.0	49.2	47.8	50.0	48.2	51.8	54.6
2	30.5	28.0	29.9	28.3	29.3	29.8	28.5	29.7	32.1	32.8	33.0	33.8	47.0	50.7	51.7
1	34.1	32.5	34.2	33.0	33.8	34.8	34.2	35.9	38.5	39.8	40.3	41.5	43.7	46.0	49.1
$\eta_{elem_{calef}}$	0.68	0.42	0.66	0.45	0.63	0.63	0.44	0.51	0.71	0.74	0.73	0.76	0.81	0.88	0.92



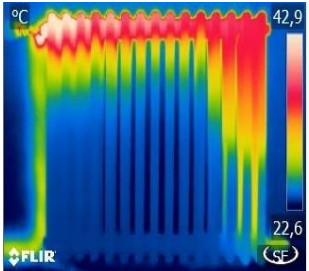
Termografía Flir0835

$\eta = 0.66$

11.10 Radiador – Termografía Flir0837

Tabla 16: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0837

Punto de Medición	Elemento														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	42.0	41.0	38.6	36.5	38.7	36.6	37.2	36.3	36.4	35.4	24.6	36.3	36.8	36.5	35.8
4	27.5	26.5	26.7	25.7	26.7	26.5	26.0	25.5	25.8	25.9	25.9	29.5	32.9	34.0	34.2
3	24.3	24.2	24.2	24.1	24.2	24.2	24.2	24.1	24.2	24.2	24.3	24.9	26.9	28.7	29.3
2	23.9	23.8	23.8	23.9	23.9	23.9	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.2	24.5	25.0	25.4
1	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.8	23.8	23.8	23.8	23.9	24.0	24.6	25.4	26.1
$\eta_{elem_{calef}}$	0.38	0.36	0.34	0.31	0.34	0.32	0.32	0.31	0.31	0.30	0.21	0.35	0.42	0.45	0.46

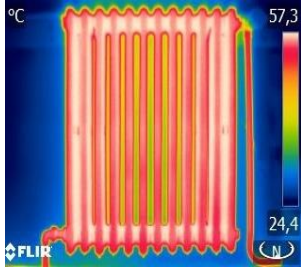


Termografía Flir0837

$\eta = 0.34$

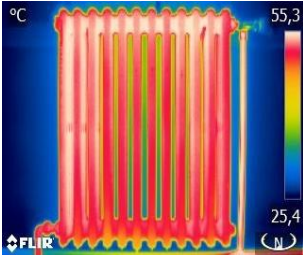
11.11 Radiador – Termografía Flir0839

Tabla 17: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0839

Punto de Medición	Elemento												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5	56.0	55.8	56.1	55.9	56.2	56.1	55.9	55.9	55.9	55.9	55.7	55.8	 Termografía Flir0839
4	56.5	55.7	56.1	56.1	55.8	55.7	55.6	55.7	55.8	55.7	56.2	56.2	
3	56.4	55.9	56.0	55.6	55.9	55.9	55.7	55.5	55.5	55.8	56.4	56.2	
2	56.9	55.6	55.5	55.2	55.6	55.2	55.0	55.3	55.3	55.2	55.0	55.2	
1	55.6	54.9	55.0	54.8	54.8	54.6	55.0	55.3	54.9	54.9	54.6	55.2	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.98	0.96	0.97	0.96	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.97	$\eta = 0.97$

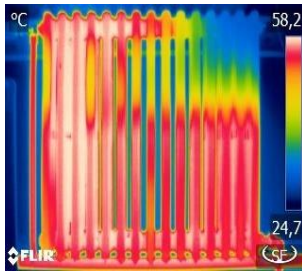
11.12 Radiador – Termografía Flir0841

Tabla 18: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0841

Punto de Medición	Elemento												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5	53.0	53.4	53.7	53.4	53.8	53.8	53.7	53.5	54.1	54.3	53.9	52.9	 Termografía Flir0841
4	53.7	52.7	53.4	52.6	52.9	52.7	52.6	52.4	53.2	53.4	52.9	52.3	
3	53.2	52.8	53.2	52.2	52.5	52.4	52.4	52.1	52.6	53.3	53.1	52.8	
2	53.3	52.5	52.6	51.5	52.1	51.9	51.5	51.8	51.8	52.9	52.1	52.3	
1	52.4	50.3	50.6	48.6	49.4	49.4	49.7	50.5	50.9	51.9	50.1	52.0	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.97	0.94	0.95	0.92	0.94	0.93	0.93	0.93	0.95	0.97	0.95	0.95	$\eta = 0.94$

11.13 Radiador – Termografía Flir0843

Tabla 19: Temperaturas y eficiencias – Elementos calefactores termografía Flir0843

Punto de Medición	Elemento															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
5	54.6	56.5	56.5	55.6	56.9	56.3	54.7	52.9	50.7	45.6	40.0	35.6	33.3	32.4	31.6	 Termografía Flir0843
4	46.1	56.6	56.6	46.9	56.5	52.3	47.7	44.3	45.8	43.8	42.3	41.4	40.1	39.3	38.8	
3	54.8	56.6	57.7	56.5	56.7	56.1	56.5	55.1	55.4	55.4	55.6	55.8	55.1	55.0	54.7	
2	53.6	57.0	56.6	56.4	56.5	55.9	56.0	52.6	54.3	54.5	55.5	55.1	54.3	54.1	54.0	
1	51.3	55.1	55.6	55.5	56.0	55.2	55.1	53.2	54.3	54.2	55.5	54.6	54.0	53.3	54.1	
$\eta_{elem_{calef}}$	0.85	0.96	0.97	0.91	0.97	0.93	0.90	0.84	0.85	0.81	0.79	0.76	0.73	0.71	0.71	$\eta = 0.85$

Los sistemas de calefacción centralizados a agua caliente son muy habituales en edificios tanto del sector público como privado. Como es de suponer, el funcionamiento de una caldera implica gran consumo de energía, en particular cuando se la utiliza en zonas frías. El caso del sistema de calefacción estudiado en este informe, está instalado en un edificio de la localidad de San Carlos de Bariloche, Provincia de Río Negro. Más precisamente, en el Centro Atómico Bariloche que pertenece a la Comisión Nacional de Energía Atómica.

La identificación de los puntos de ahorro y optimización en el uso de la energía requiere disponer de metodologías de abordaje y de instrumental específico, tanto para la caracterización de los sistemas de calefacción como para la medición de su eficiencia energética.

Aquí se muestran algunos procedimientos de análisis y de caracterización, basados en metodologías desarrolladas en el IEDS, empleando formulaciones específicas y correlaciones matemáticas para determinar la eficiencia de uso de los radiadores. También se utilizaron como recurso de trabajo las imágenes termográficas y el análisis estadístico.

Este documento técnico es uno más de los que publica el IEDS en materia de eficiencia energética con el fin de promover esta especialidad, tanto en el sector público, como en el sector industrial. Si quiere conocer más sobre las publicaciones del IEDS o solicitar asesoramiento, envíe su consulta a través del email ieds@cab.cnea.gov.ar o visite el sitio web del IEDS.

INSTITUTO DE ENERGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE
Comisión Nacional de Energía Atómica

SEDE CENTRAL
Av. del Libertador 8250
1429 - C. A. de Buenos Aires
Tel.: 011 4704 1485

CENTRO ATÓMICO BARILOCHE
C.C. 439 - 8400 Bariloche
Pcia. de Río Negro
Tel.: 0294 444 5221

www.cab.cnea.gov.ar/ieds
ieds@cnea.gov.ar

DISEÑO DE TAPA E INTERIOR: Lic. Stella Maris Spurio