

PARQUE DE VACACIONES UTE – ANTEL

MINAS - LAVALLEJA



ESTUDIO TÉCNICO DE LAS NUEVAS INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA CALIENTE

ANTEPROYECTO

Mayo 2014

Índice

Introducción.....	3
Aspectos técnicos generales del sistema existente	4
Sala Intermedia y Sala N°2	8
Edificio N°1 – Salas N°3 y N°4	10
Detalle de los criterios de cálculo empleados.....	11
1.- Cálculos Hidráulicos	11
<i>Consumos máximos instantáneos</i>	11
<i>Caudales medios diarios</i>	13
Conclusiones sobre el análisis hidráulico:.....	14
2.- Cálculos Termodinámicos.....	15
<i>Demandas Térmicas Diarias</i>	15
a) Balance térmico en los intercambiadores de calor	16
Conclusiones sobre el análisis termodinámico:.....	18
3.- Cálculos hidráulicos de los equipos de bombeo	19
4.- Cálculo de la carga térmica de calefacción	20
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.....	22
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
ANEXO 1	25
Detalles Gráficos.	25
ANEXO 2	27
Caudales Medidos el 16/02/2014	27
ANEXO 3	29
Planillas de Cálculo	29

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ACS PARA EL PARQUE DE VACACIONES UTE – ANTEL

ANTEPROYECTO

Introducción

El presente estudio tiene por objetivo analizar una nueva configuración del sistema general de abastecimiento de agua caliente para el Parque de Vacaciones de UTE-ANTEL (PVUA) de la ciudad de Minas.

El nuevo sistema estará destinado a dotar de Agua Caliente Sanitaria (ACS) a la totalidad de los edificios que componen el complejo, así como a efectos de servir como fuente de energía para calefaccionar el pasillo y hall central del Edificio N°2 (Edificio Nuevo).

A solicitud de las autoridades del PVUA, el lineamiento básico del proyecto es el de emplear como fuente primaria de energía una caldera de vapor instalada en una de los edificios de servicio anexo al principal; su instalación data del año 2010 y se encuentra notoriamente sub-utilizada en la actualidad.

En el marco de una nueva política de optimización de los recursos energéticos que gestiona el PVUA, una de las metas principales de sus autoridades es la de eliminar las fuentes de energía en base a gasoil que actualmente abastecen los sistemas de ACS para distintos usos, basados tanto en razones ambientales como económicas.

El estudio que se presenta –que será validado en coordinación con las autoridades técnicas del PVUA- propone, cuantifica y valúa el paquete de obras requeridas para alcanzar el objetivo mencionado, basándose en opciones que se entienden óptimas desde el punto de vista económico, técnico y ambiental.

El trabajo enumera y describe los aspectos básicos de las instalaciones actuales, desarrolla los elementos distintivos de las soluciones propuestas –incluyendo una detallada referencia a los criterios de ingeniería en los que se basan-, y avanza finalmente sobre las distintas soluciones propuestas (configuraciones de los sub-sistemas, materiales, ingeniería civil, etc).

En último término, se pone a consideración del PVUA la evaluación económica de las alternativas estudiadas, a efectos de su ponderación de cara a la decisión final acerca del alcance de las obras a realizar.

Una vez consensuados los lineamientos principales de los trabajos a licitar, se procederá a elaborar el conjunto de documentos requeridos para la realización de un llamado a licitación para la ejecución de las mismas (Pliego de Condiciones Generales,

Pliego de Condiciones Particulares, Piezas Gráficas, Memoria Descriptiva y Constructiva, etc).

Aspectos técnicos generales del sistema existente

El abastecimiento general de agua potable del complejo PVUA se realiza a través de un sistema centralizado que en lo referente a producción es realizado por plantas “UPA” (Unidades Potabilizadoras Autónomas); el sistema cuenta con un tanque general de reserva de 360 m³, ubicado en las cercanías del edificio a una cota suficientemente elevada como para distribuir desde por gravedad al resto de los edificios.

El sistema de distribución de agua fría –similarmente, como se verá, al sistema de distribución de ACS- ha ido ampliándose con el correr del tiempo en una sucesión muchas veces inconexa de obras parciales, lo que ha derivado en la existencia de redes con materiales diversos -muchos de los cuales han cumplido su vida útil y deberían ser rápidamente sustituidos, por ejemplo, F°C°-, trazados que implicaron que muchas conducciones quedaran bajo edificaciones, existencia de pérdidas invisibles, etc.

En lo referente a la producción del agua caliente empleada en el complejo vacacional, se destaca como hecho más trascendente la multiplicidad de sub-sistemas aislados que cuentan con gasoil como fuente de energía preponderante.

En efecto, el ACS producida para uso de los apartamentos del edificio más antiguo –Edificio N°1- tiene como fuente de energía el empleo de calderas de gasoil en combinación con tanques en los que se realiza el intercambio energético necesarios para su generación; a su vez, la producción está dividida en 2 sub-sistemas independientes.

Por otra parte, el ACS del Edificio N°2 se produce empleando como fuentes de energía una combinación de vapor saturado (en el tanque de agua caliente de la Sala Intermedia) y gasoil (en la sala N°3) en etapas parciales, lo que indudablemente complejiza las instalaciones y le genera los inevitables perjuicios propios de un sistema ineficiente y disperso.

En el marco de un proyecto global de corto y mediano plazo, se procedió en 2010 por parte del PVUA a adquirir una caldera de vapor con la finalidad de que la misma sirviera como fuente de energía para la producción de vapor de agua, agua caliente con fines sanitarios y calefacción para parte de las instalaciones del complejo.

Las características básicas de la caldera de vapor –que utiliza como fuente de energía primaria madera en rolos y chip de madera- son las siguientes:

- Caldera TFU (Turboflow)
- Modelo VPKR 1.1/36/8

- N° Fabricación: 14.719
- Año de Fabricación: 2010
- Superficie Calefacción: 58 m²
- Producción de Vapor: 1.700 kg/h
- Presión de Trabajo: 6 bar.
- Presión de Diseño: 8 bar.
- Presión de Prueba Hidráulica: 12 bar.

Trabaja en la actualidad todos los días de la semana aproximadamente de 7:45 a 24:00 y tiene un consumo del orden de 11 a 12 mil kg de chips y 5.000 kg de rolos por semana. Las siguientes fotografías ilustran detalles de las instalaciones donde se encuentra ubicada la caldera, la que denominaremos “Sala de Máquinas” (SM):



Foto N°1 – Vista de la caldera Turboflow desde la plataforma de operación de la Sala de Máquinas

Tal cual lo requerido en estas instalaciones, el agua de alimentación para la caldera de vapor cuenta con un sistema completo de acondicionamiento químico compuesto por desincrustador, inhibidor de O₂ y precipitante.



Foto N°1 – Parte del sistema de acondicionamiento químico del agua de alimentación de la caldera de vapor.

De acuerdo a las mediciones de consumo de agua llevadas a cabo por Personal del PVUA el día 16/02/2014 –realizadas a solicitud de la Consultoría-, en la actualidad el consumo de agua que conlleva la operación de la caldera de vapor es de 12 m³/d.

A efectos de la estimación del grado de aprovechamiento actual de la caldera, se toma que el poder calorífico de la madera seca es de 16,7 MJ/kg –valor promedio entre los reportados en la bibliografía para madera seca y húmeda-, mientras que para la viruta seca es de 13,4 MJ/kg.

Considerando los consumos actuales de 12.000 kg de chip y 5.000 kg de madera semanales, se concluye que se libera potencialmente una de energía con una potencia de 138 KW y 266 KW respectivamente por cada combustible, lo que configura un total de 404 KW en total.

Como fuera indicado, la capacidad de producción de la caldera de vapor es de 1.700 kg/h a una presión de 6 bar, lo que implica que se puede producirse promedialmente vapor con una temperatura del orden de los 165°C y con una entalpía específica de vaporización de 2.066,13 KJ/kg.

De esta manera, se desprende que la potencia que es capaz de producir la caldera es de 976 kW, trabajando por tanto en la actualidad aproximadamente a un 41% de su capacidad de diseño.

Tanto los valores de desempeño actual como el de diseño se tornan fundamentales a la hora de evaluar la capacidad del equipo para satisfacer la demanda derivada por los nuevos usos previstos.

En la actualidad, los usos relevados en lo referente al vapor de agua sobrecalentado que se produce en la caldera son:

- Lavandería: producción de vapor y agua caliente para el empleo en secadores y lavarropas.
- Chacinería: producción de vapor para cocimiento y producción de agua caliente para distintos usos (tanque de 1.100 litros)
- Cocina: producción de vapor de agua para empleo en ollas a presión.
- Comedor: para producción de agua caliente a usar en fregandines (lavaplatos, cubiertos, etc).
- Vestuarios: producción de agua caliente para duchas de vestuarios.

El agua caliente producida con la energía del vapor de agua de la caldera de vapor se genera en una sala anexa al edificio donde se encuentra el restaurante, vestuarios, etc., y que a efectos del presente estudio denominaremos “Sala Intermedia” (SI).

Dicha sala, cuenta con 2 tanques de 1.700 litros aproximadamente que almacenan el agua caliente para lavandería y vestuarios. A dichos tanques llega la línea de vapor de agua proveniente de la SM portando la energía requerida por el sistema.

En la fotografía siguiente puede observarse el múltiple de distribución de vapor que se encuentra ubicado en la sala contigua a la SM:



Foto N°2 – Múltiple de distribución. Puede observarse el destino de cada línea.

Como será analizado más adelante en este estudio, se plantea mantener la línea de alimentación de vapor para estos usos en la futura configuración del sistema, a las que se sumarán las líneas –con sus respectivas líneas de retorno de condensado– que concurrirán a los intercambiadores de calor a construir para el abastecimiento de ACS para los Edificios N°1 y N°2 así como para el sistema de calefacción del hall central del Edificio N°2.



Foto N°3 – Vista parcial de la sala anexa a la SM.

La fotografía anterior brinda una panorámica de la sala anexa a la SM en la que se ubica el múltiple de distribución actual; es allí donde se prevé la instalación de los nuevos intercambiadores y sus accesorios, desde donde partirán los circuitos secundarios de agua caliente para los distintos sub-sistemas:

Sala Intermedia y Sala N°2

Como se indicó, desde la Sala Intermedia –además de abastecer con agua caliente otras instalaciones- se alimenta con agua precalentada la Sala N°2 contigua al cine.

De acuerdo a los datos recabados en el lugar, el agua sale aproximadamente con una temperatura de 60°C desde la SI y llega aproximadamente a unos 52 °C al tanque de distribución de la Sala N°2; esta, a su vez, cuenta con 2 tanques intercambiadores de un volumen de 2 m³ cada uno.

El sistema de conducción de agua caliente desde la SI a la Sala N°2 consiste en tuberías de alimentación y retorno de polipropileno copolímero random (PPL) de 2", las que están instaladas en paralelo con otras 2 tuberías del mismo material sin uso en la actualidad.

Al respecto de estas tuberías ociosas, se planteó por parte del PVUA el análisis de su posible utilización en el marco del nuevo proyecto; como se verá, el dimensionado

del sistema óptimo desde el punto de vista energético y sanitario de alimentación de ACS para el Edificio N°2, implica que el empleo de estas tuberías sea desestimado.

Como fuera señalado en la introducción, la idea primordial del proyecto es la de eliminar las calderas de gasoil que aportan el plus de energía para calentar el agua en la Sala N°2; a este respecto cabe señalar que el consumo de gasoil diario para recalentar el agua de consumo de esta zona es de unos 115 a 120 litros diarios.

Tal cual se indicó, el uso del agua caliente producida en la Sala N°2 es básicamente para:

- Baños de los apartamentos del Edificio N°2.
- Duchas de las piscinas.
- Caloventiladores de la zona de Piscina.

A efectos de la estimación del agua caliente que se consume en los apartamentos del Edificio N°2 se adopta un número máximo de 258 ocupantes (que ocupan 50 apartamentos en total), valor aportado por Personal de Mantenimiento del PVUA.

Al no contarse con un registro concreto del consumo que demanda la ocupación de la mencionada población –no existe un macromedidor específico montado en la línea de alimentación a la Sala N°2-, se realizará una estimación sobre la base de la validación de las estimaciones realizadas con relación al consumo del Edificio N°1.

Las siguientes fotografías muestran detalles gráficos de las instalaciones de la Sala Intermedia:



Foto N°4 – Vista parcial de uno de los tanques de la SI.

La siguiente toma entrega una perspectiva de las instalaciones de conducción de vapor de agua a la Sala Intermedia, que se encuentran ubicadas en el túnel que comunica el edificio anexo a la SM con la SI:



Foto N°5 – Vista parcial del sistema de distribución de vapor en el túnel que conduce a la SI.

Edificio N°1 – Salas N°3 y N°4

Las 110 viviendas del Edificio N°1 presentan distintos tipos de tipologías (dúplex, matrimoniales, dobles, dobles especiales, etc.), constituyendo la primera gran edificación construida del PVUA; las necesidades de agua caliente del edificio más antiguo del complejo se cubren actualmente por la producción que se realiza en las salas N°3 y N°4, las que cubren 2 sectores claramente diferenciados de las instalaciones.

La denominada Sala N°3 produce el agua caliente para uso de los apartamentos de los sectores 1 al 6 y de las duchas del sauna; cuenta con 3 tanques de 1.700 litros cada uno, lo que configura un volumen total de reserva de 5.100 litros.

Las calderas de gasoil demandan un consumo de combustible de 150 litros diarios aproximadamente. La ocupación máxima admitida para los sectores 1 al 6 es de 261 personas.



Foto N°6 – Vista parcial de las instalaciones de la Sala N°3 (a la derecha se visualiza el manifold de distribución).

La Sala N°4 produce el agua caliente de los apartamentos de los sectores 7 al 10; cuenta con 2 tanques de 1.700 litros aproximadamente y tiene actualmente un consumo de combustible de 50 litros diarios de gasoil. La ocupación máxima admitida para los

sectores 7 al 10 es de 132 personas, mientras que el caudal estimado originalmente se situaba alrededor de 10m³.

En el caso del Edificio N°1 se hace evidente la problemática surgida de la precariedad del circuito de distribución de agua caliente, el que en la mayoría de su recorrido se encuentra expuesto a la intemperie sin la debida aislación térmica, además, cuenta con una amplia variedad de materiales acumulados a lo largo del tiempo, entre los que se destaca por su evidente estado de deterioro, el hierro galvanizado, materiales plásticos visiblemente afectados por su exposición a los rayos solares, etc..

Como será indicado en las conclusiones finales del presente estudio, a efectos de optimizar adecuadamente el sistema desde el punto de vista energético, se recomendará la sustitución total de los circuitos de ACS en dicho edificio.

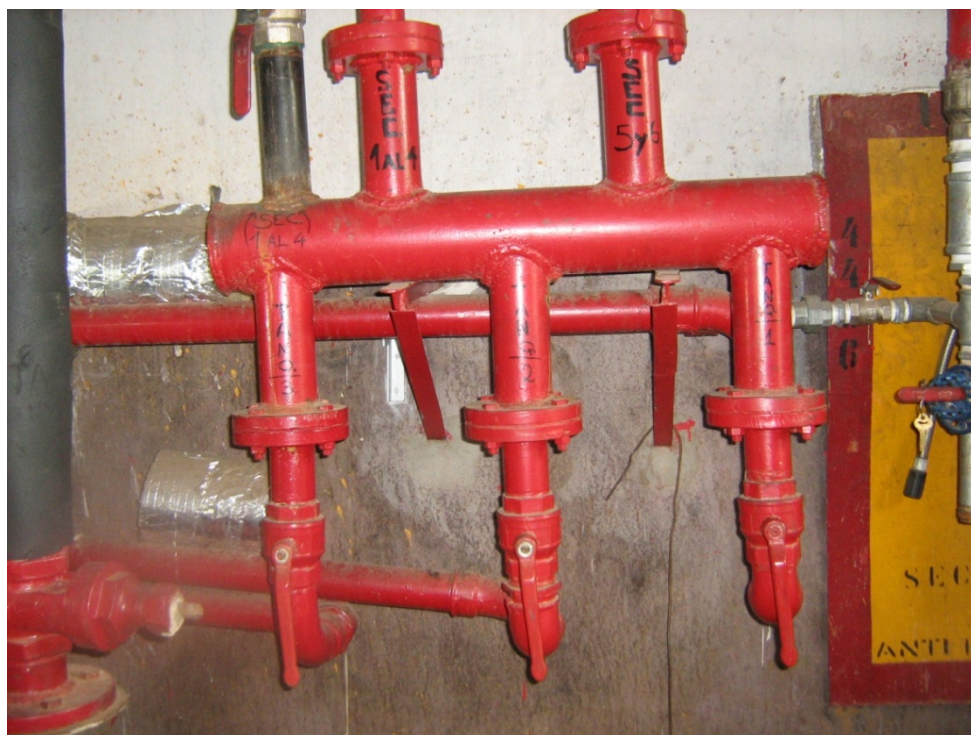


Foto N°6 – Múltiple de distribución de la Sala N°3 (se perciben las 2 líneas de alimentación de los distintos sectores).

Detalle de los criterios de cálculo empleados

1.- Cálculos Hidráulicos

Consumos máximos instantáneos

En primer lugar, se realizó una estimación de los caudales diarios de consumo de agua potable a efectos de verificarlos posteriormente con mediciones de campo a realizar en coordinación con Personal del PVUA.

En tal sentido, considerando el peso preponderante que a este respecto representan cada uno de los edificios de apartamentos del complejo, se procedió a realizar tanto la estimación de los volúmenes diarios medios de como de los consumos máximos instantáneos de cada uno de dichos sistemas; ambos gastos, serán la base para el dimensionado de los circuitos de distribución.

Tomando como base que los sistemas abastecidos desde las salas N°3 y N°4 prácticamente responden en forma exclusiva a la demanda del consumo de los apartamentos –sólo en el caso de la Sala N°3 además del suministro a los sectores 1 al 6 se alimenta las duchas del sauna-, será posible calibrar las estimaciones realizadas teóricamente con medidas de campo y de esta manera definir si los criterios son razonables a efectos de su extrapolación al resto del complejo.

En este sentido, se procedió a evaluar los consumos conforme a los siguientes criterios:

a) Cálculo de los máximos instantáneos

b1) Norma española - Criterio de la CTE (DB HS-4)

Este criterio toma en cuenta en primer lugar un caudal instantáneo mínimo por cada aparato, los que sumados son posteriormente afectados por 1 coeficiente de seguridad –que para los casos de estudio se tomó como $k_s = 1,35$ - y por 2 coeficientes de simultaneidad k_1 y k_2 para estimar el caudal máximo instantáneo ($Q_{\text{máx inst}}$).

La aplicación de un coeficiente de seguridad se entiende permitirá absorber otros usos secundarios de los sistemas, además de los estrictamente asimilables a los apartamentos del complejo habitacional.

El primer coeficiente de simultaneidad se aplica por unidad habitacional y tiene en cuenta el número total de aparatos de la misma; dicho coeficiente se ha dado en llamar coeficiente de simultaneidad 1 y se calcula por la fórmula:

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{(n-1)}}$$

donde “n” representa el número de puntos de consumo dentro de cada vivienda.

Considerando que las tipologías de los apartamentos son idénticas en su totalidad desde el punto de vista del consumo de agua caliente (cuentan con bidet, lavatorio y ducha), dicho coeficiente toma el valor 0,71 en todos los casos.

El segundo coeficiente de simultaneidad toma en cuenta el número total de unidades habitacionales y se calcula por la fórmula:

$$k_2 = \frac{19 + N}{10(N + 1)}$$

donde ahora “N” representa el número de unidades habitacionales.

De esta forma, el caudal máximo instantáneo resulta ser:

$$Q_{\text{máx inst}} = Q_{\text{med}} * k_s * k_1 * k_2$$

Como es dable esperar para este tipo de sistemas – compuestos de un número del orden de algunas centenas de habitantes servidos en régimen de estadía transitoria-, los factores de pico resultantes de la comparación entre los consumos medios y los máximos instantáneos son considerablemente elevados con relación a sistemas de abastecimiento tradicionales y de mayor porte.

En efecto, de acuerdo a las estimaciones realizadas, puede llegarse a alcanzar un factor de pico instantáneo cercano a 15, mientras que los factores de simultaneidad para ciudades de, por ejemplo, 50.000 habitantes se sitúan en el rango 2,25-2,5.

La aplicación de este criterio da como resultado un caudal de 2,8 l/s para el Edificio N°1 (considerado en su globalidad, sin distinguir sub-sistemas), mientras que para el Edificio N°2 el caudal máximo instantáneo es de 1,5 l/s.

b2) Criterio de la Norma Brasileña NBR – 7198/82

Esta norma toma como punto de partida la consideración del funcionamiento “máximo probable” de las piezas de utilización y no el “máximo posible” resultante de la suma algebraica de los máximos de cada aparato.

Utiliza complexivamente la siguiente fórmula de cálculo:

$$Q_{\text{máx}}\left(\frac{l}{s}\right) = 0,3 * \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}$$

donde P_i corresponde al “peso” de cada uno de los aparatos de utilización simultánea y “n” es el número total de aparatos del sistema (la propia norma adjudica los valores P_i para cada aparato).

Los valores que arrojan este criterio son respectivamente para el Edificio N°1 y para el edificio N°2, 3,3 l/s y 2,2 l/s.

Se deduce por lo tanto, que existe una relativamente buena concordancia entre los resultados que se deriva de la aplicación de los ambos criterios, al arrojar valores que no difieren sustantivamente en cada caso.

Como criterio de cálculo, este estudio tomará a efectos del dimensionado de los circuitos hidráulicos de distribución el valor mayor de los 2 resultantes de la aplicación de los 2 criterios anteriormente descriptos.

Caudales medios diarios

Como fuera adelantado, se tomará como criterio de validación del esquema teórico empleado para el cálculo de Q_{med} la concordancia de dicha estimación con las medidas de campo realizadas en el Edificio N°1, por ser el más directamente verificable en cuanto a los consumos promedio vinculados estrictamente a los apartamentos.

En efecto, serán 2 los criterios que se aplicarán para el cálculo de los gastos medios diarios:

- a) **Estimación del consumo diario por el número de camas (CTE):** la demanda térmica en litros días a 60°C de acuerdo a este criterio se calcula sobre la base de 55 litros/día-cama (ver Tabla 3, pág. 356 del libro “Manual de Calefacción”, Ferroli). Considerando la existencia de 396 camas en la totalidad de los sectores 1 al 10, se llega a un valor de $Q_{med} = 21.615$ litros/d.
- b) **Estimación del consumo medio como porcentaje del consumo de agua fría:** se toma la referencia de la Tabla 2 – Consumo de agua caliente para edificios no destinados a vivienda, de Franco Martín Sánchez (extraído del “Manual de Calefacción”, Ferroli). Para el caso de hoteles se sugiere adoptar un valor de 30%. Considerando una dotación per cápita de 200 l/hab-d –valor que se considera suficientemente conservador-, para el número máximo de personas residentes se llega a un valor de $Q_{med} = 23.580$ litros/día.

Los caudales medidos el día 16 de febrero de 2014 por personal del PVUA en los 2 sistemas que alimentan de agua caliente al Edificio N°1 arrojan un valor de 17 m³/d.

Cabe destacar que, si en vez de asumir el valor de 200 litros/hab-día como dotación promedio de los residentes se asumiera un valor de 150 litros/hab-día, se arribaría a un consumo medio diario de 17.685 litros/día, valor totalmente compatible con el medido en campo en la fecha señalada.

Una vez más queda demostrado que la adopción del mayor valor entre los 2 a los que se arriba por la aplicación de ambos criterios, pone un margen de seguridad respecto a usos secundarios de los sistemas; dicho valor máximo será asumido para el cálculo de las potencias térmicas requeridas por los sistemas.

Conclusiones sobre el análisis hidráulico:

La metodología de cálculo de los consumos medio diario y máximo instantáneo de los edificios de apartamentos -adoptada sobre la base a los criterios anteriormente descriptos-, permite arribar a las siguientes conclusiones:

- El caudal medio de consumo del Edificio N°1 –abastecido desde los sistemas de las Salas N°3 y N°4- es totalmente compatible con los resultados de las mediciones de campo realizadas el día 16/02/2014; por ende, en tanto una de las soluciones es diseñar exclusivamente un sub-sistema de ACS para los apartamentos del edificio N°2, se validará la aplicación de los mencionados criterios a efectos de estimar el consumo medio diario del Edificio N°2 (Edificio Nuevo), ya que el mismo no fue posible medir directamente en la fecha citada por la inexistencia de un macromedidor en la línea de agua precalentada que con ese destino se produce en la Sala Intermedia.
- En base a la necesidad de definir parámetros de diseño –tanto hidráulicos como termodinámicos- de los distintos sub-sistemas a montar desde la SM, se asumirá como caudal máximo instantáneo el valor máximo que resulta de la aplicación de los 2 criterios anteriormente explicitados. Estos valores son, respectivamente para los Edificios N°1 y N°2, 3,3 l/s y 2,2 l/s, y servirán además como base para el cálculo de las correspondientes potencias térmicas a suministrar a los citados sub-sistemas.
- Los márgenes de seguridad adoptados aseguran que los dimensionamientos que a partir de ellos se realicen serán suficientemente adecuados.

2.- Cálculos Termodinámicos

Demandas Térmicas Diarias

Sobre la base de la estimación de los caudales medios diarios de ACS realizada para cada uno de los sistemas de abastecimiento, se procede a continuación a calcular las demandas térmicas diarias de los mismos.

La demanda térmica diaria, Q , de forma aproximada puede obtenerse directamente en kWh a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0,001163 * Q_{med} * (T_s - T_r)$$

siendo:

Ts: Temperatura de suministro de agua caliente; y

Ti: Temperatura media anual del agua de la red de distribución

Si bien sería posible realizar un cálculo preciso de la demanda térmica requerida mes a mes -sobre la base de la estimación de la temperatura promedio del agua de la red en cada etapa del año-, en esta instancia, para el predimensionado de las instalaciones en la etapa de anteproyecto, se considerará la temperatura del agua en el mes más frío del invierno (para nuestro caso, julio o agosto).

Siendo la temperatura de servicio $T_s = 60^\circ\text{C}$ y $T_r = 12^\circ\text{C}$ (valor contrastado con la experiencia en sistemas de abastecimiento), resulta, a modo de ejemplo, para el Edificio N°1 una demanda térmica correspondiente a los meses de julio y agosto de 1.207 KWh/d.

Esta es la potencia térmica que deberá entregar un eventual circuito intermedio que tome energía de un intercambiador de calor ubicado en la SM y que la entregue a los sistemas de intercambio térmico a ubicarse en las Salas N°3 y N°4.

Con las mismas hipótesis respecto a las temperaturas T_s y T_r y con la estimación del consumo promedio diario de los apartamentos del Edificio Nuevo, se llega a que la demanda térmica diaria para abastecer de ACS dicho edificio es de 864 kWh/d.

Considerando que se trabaja sobre la hipótesis de la instalación de 3 nuevos subsistemas intermedios de generación de agua caliente en la SM -2 de los cuales corresponden al abastecimiento de ACS para cada uno de los edificios anteriormente descritos-, el tercer subsistema corresponde al de suministro de agua caliente para calefaccionar el pasillo central de entrada y recepción del Edificio N°2.

Parámetros térmicos empleados en el cálculo de cada sub-sistema

La planilla de cálculo N°3 recoge en primer lugar las potencias térmicas requeridas por cada uno de los sub-sistemas de distribución propuestos, a saber:

- **Sub-sistema N°1:** comprende el circuito de ACS del Edificio N°1 y consiste en las líneas de distribución y retorno de los anillos que abastecen a los sectores 1 al 10 de dicho edificio. En primera instancia se propone mantener los tanques intercambiadores existentes en cada una de las salas generadoras (Salas N°3 y N°4), los que recibirán la energía requerida para el calentamiento del agua desde un circuito secundario que vinculará dichos puntos con un intercambiador vapor-agua a ubicarse en la SM.
- **Sub-sistema N°2:** corresponde al sistema de abastecimiento de ACS del Edificio Nuevo, el que se plantea modificar completamente respecto de las condiciones actuales. En efecto, se plantea mantener los tanques intercambiadores existentes en la Sala N°2, los que se alimentarán de agua fría y tendrán como fuente de energía la entalpía del agua caliente de un sistema intermedio que vinculará dichos tanques con un intercambiador vapor-agua a ubicarse en la SM.

- **Sub- sistema N°3:** se trata de un circuito de agua caliente –tuberías de distribución y retorno- destinado a calefaccionar el pasillo central de entrada y recepción del Edificio N°2.
- **Sub-sistema N°4:** con esta denominación se identifica el sistema de distribución de vapor a la Sala Intermedia, el que se propone mantener en las actuales condiciones salvo en lo respecta al abastecimiento de ACS del Edificio N°2.

A continuación, se procederá a realizar el análisis de los parámetros básicos de los circuitos secundarios, sobre la base de consideraciones relativos a balances termodinámicos usuales para intercambiadores de calor y pérdidas térmicas en conducciones.

En la secuencia de cálculo adoptada, se parte de considerar diámetros de tuberías y velocidades de diseño en el circuito secundario de forma tal que arrojen caudales suficientemente importantes como para transportar –a temperaturas y presiones por debajo del punto de vaporización- cantidades de energía adecuadas a los requerimientos de los sistemas principales de distribución de ACS.

A los saltos de temperatura resultantes en los intercambiadores agua-agua de los sistemas secundarios y de distribución, se le suman posteriormente los componentes relativos a las pérdidas térmicas en las tuberías de alimentación y retorno de los sistemas secundarios.

Asimismo, se analiza el caudal mínimo que debe manejar el sistema a efectos de asegurar que los saltos térmicos se mantienen en el rango preestablecido.

Las ecuaciones básicas consideradas en los balances térmicos señalados son las siguientes:

a) Balance térmico en los intercambiadores de calor

$$\dot{m}_c * c_{pc} * (T_{c1} - T_{c2}) = \dot{m}_f * c_{cf} * (T_{f1} - T_{f2})$$

donde:

\dot{m}_c :	Masa de agua circulante en cada uno de los circuitos
c_{pc} y c_{pf}	Calor específico del agua (4,187 J/kg-°K)
T_{fi}	Temperaturas de entrada y salida del fluido frío
T_{ci}	Temperaturas de entrada y salida del fluido caliente

- a) Pérdidas de calor en tuberías: en general se establecen por parte de las distintas normativas los espesores mínimos de los aislantes, según que las tuberías estén ubicadas exterior o interiormente, en función de la temperatura del

agua y de las condiciones físicas del aislante utilizado. La tasa de disipación de calor en una tubería viene dada por la expresión :

$$\dot{Q} = K * S * (T_i - T_e)$$

donde:

S: superficie de intercambio de calor de la tubería
 T_i: temperatura media interior del agua
 T_e: temperatura del medio ambiente
 K: coeficiente global de transmisión de calor

El coeficiente K se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\frac{1}{KA_e} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{1}{h_e A_e} + \frac{e}{k_a A_{ml}}$$

siendo:

A_e = Π * D_e * L: Área exterior de la tubería, con D_e el diámetro exterior del aislante y L la longitud de la tubería.
 A_i = Π * D_i * L: Área interior de la tubería, siendo D_i el diámetro interior del aislante
 h_i: Coeficiente de convección interior
 h_e: Coeficiente de convección exterior
 k_a: Conductividad del aislante
 A_{ml}: Área medio logarítmica entre el interior y el exterior del aislante. Su valor es:

$$A_{ml} = \frac{\Pi D_e L - \Pi D'_i L}{\ln \frac{\Pi D_e L}{\Pi D'_i L}}$$

con:

D'_i = diámetro interior del aislante
 D_e = D'_i + 2e

De las expresiones anteriores se deduce entonces la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{K} = \frac{D_e}{h_i A_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{D_e}{2k_a} \ln \frac{D_e}{D'_i}$$

Por otra parte, la tasa de calor puede también expresarse en función de la diferencia de temperaturas del agua entre los puntos extremos de una canalización:

$$\dot{Q} = \dot{m} * c_{pwl} * (T_1 - T_2)$$

siendo m la masa de agua circulante, c_{pwl} el calor específico del agua (4,187 J/kg-°K), T₁ la temperatura del agua a la entrada y T₂ la temperatura del agua a la salida.

La misma ecuación puede escribirse como:

$$\dot{Q} = K \Pi D_e (T_i - T_e)$$

Igualando ambas expresiones se llega a:

$$\frac{\dot{m}}{L} = \frac{K \Pi D_e (T_i - T_e)}{c_{pwl} (T_1 - T_2)}$$

Esta expresión nos permite obtener el caudal mínimo para que la temperatura del agua disminuya un cierto incremento preestablecido (mínimo porque si el caudal es mayor la disminución de la temperatura del agua será menor).

En la red este caudal obtenido no es el definitivo; se trata sólo de comprobar que el verdadero caudal sea mayor que el obtenido a partir de la ecuación anterior.

Conclusiones sobre el análisis termodinámico:

La planilla de cálculo N°3 recoge precisamente la secuencia de cálculo basada en las ecuaciones anteriores para cada uno de los 3 sub-sistemas descritos, considerando asimismo una longitud estimada de dichos circuitos.

Los cálculos presentados parten del supuesto de una pérdida de temperatura a lo largo del circuito de no más de 5°C, lo que aunado a la elección de diámetros razonables en las conducciones y velocidades admisibles en las mismas –que, entre otros aspectos, previenen de la ocurrencia de fenómenos transitorios en el sistema-, permite concluir que los caudales resultantes en los circuitos secundarios son superiores a los mínimos de cálculo.

Las planillas de cálculo recogen finalmente los saltos térmicos de los circuitos secundarios en sus puntos notables (entrada y salida de los dispositivos intercambiadores de calor); se plantean 2 opciones considerando distintos diámetros para cada uno de los casos.

En la opción de que el circuito secundario del Edificio N°1 fuera construido con tuberías de DN 110mm (Opción 1), éste parte de la SM con agua caliente a 90°C, ingresa a los intercambiadores de las Salas N°3 y N°4 con una temperatura en el intervalo 85-87,5°C –variable de acuerdo a la incidencia que pueda tener en trayecto diferencial entre ambas salas-, retornando desde los intercambiadores con una temperatura promedio de 69,5°C hasta llegar nuevamente a la SM a unos 67°C.

Naturalmente, si se adoptara un diámetro menor para dicho circuito (DN 90mm), el salto en los intercambiadores sería mayor (ver Opción 2).

En cuanto al Edificio N°2 se arriba a saltos térmicos equivalentes a los señalados, ya que si bien las potencias térmicas son distintas, los sistemas se diseñan en

base a diámetros –y por ende, caudales de circulación- diferenciales (DN 110 para el caso del Edificio N°1 y DN 90 para el Edificio N°2 en la opción 1, y DN 90 y DN 75 respectivamente para la Opción 2).

Los datos dimensionales de las tuberías –básicamente los referidos a los diámetros de cálculo- fueron extraídos de modelos comerciales de tuberías de Polietileno reticulado (material termo elástico con estructura molecular tridimensional) de alta estabilidad estructural a altas temperaturas; en el anexo adjunto se presenta más información técnica al respecto de estas tuberías.

El rango de temperaturas de trabajo de este tipo de tuberías se sitúa en el intervalo de -140°C a 110°C y poseen un coeficiente de conductividad térmica de 0,35 W/m-°C, de acuerdo a la Norma DIN 4725.

Los diámetros adoptados en la planilla de cálculo corresponden a tuberías PEXGOL PIPE CLASS “10” (SDR 16.2 S 7.6), para una presión de trabajo de 10 bar a 20°C y 4 bar a 95°C y PEXGOL PIPE CLASS “15” (SDR 11 S5), para presión de trabajo 15 bar a 20°C y 6 bar a 95°C.

Una vez determinados los caudales, se hace el análisis hidráulico de las pérdidas de carga a efectos de realizar el dimensionado de los equipos presurizadores.

3.- Cálculos hidráulicos de los equipos de bombeo

Se dispondrá de bombas circuladoras a efectos de asegurar el tránsito de los caudales portadores de energía en los circuitos secundarios; a efectos del dimensionado de los equipos, se debe determinar el punto de funcionamiento a rendimiento óptimo, el que estará dado por caudal y presión de trabajo.

Los caudales son los reseñados en la planilla de cálculo señalada, mientras que la presión de trabajo será equivalente a las pérdidas de carga distribuidas en el sistema; dichas pérdidas se calculan por medio de la fórmula de Hazen-Williams:

$$\Delta H (m.c.a) = 10,646(Q/C)^{1,857} D^{-4,875} L$$

con:

Q = caudal en m³/s

C = coeficiente de rozamiento igual a 150 para tuberías de PE

D = diámetro de la canalización en m; y

L = longitud (m)

A los efectos de la valoración de las pérdidas de carga localizadas, se ha considerado una longitud equivalente adicional del 20% (valor conservador) la que se adiciona a la longitud real de los sistemas, realizándose así el cálculo final sobre una longitud “virtual” (suma de la “real” más la “equivalente”).

La potencia de los equipos impulsores se calcula a través de la siguiente expresión:

$$P \text{ (kW)} = \frac{10QH}{\eta}$$

con η igual al rendimiento global de la motobomba.

Como se desprende de la planilla de cálculo N°3, las potencias involucradas en la elección de cada uno de los sistemas de bombeo no exceden potencias de 1,5 KW.

4.- Cálculo de la carga térmica de calefacción

Esta sección tiene por objeto la determinación de la carga térmica a disponer para el sistema de calefacción del hall central del Edificio N°2.

Se estiman en primer lugar las tasas de transmisión de calor por unidad de tiempo que atravesarán los distintos cerramientos del local a calefaccionar; lo expresaremos a través de la siguiente expresión:

$$Q_T = \sum_{i=1}^{i=n} K_i S_i (T_i - T_e)$$

siendo:

Ki	Coficiente global de transmisión de calor del cerramiento i
Si	Superficie de este cerramiento
Ti	Temperatura interior
Te	Temperatura exterior

La sumatoria comprende todos y cada uno de los cerramientos independientes que comprenden local o recinto.

La planilla de cálculo N°4 recoge los detalles numéricos del cálculo realizado a este respecto; como puede observarse, se consideró básicamente la contribución de la superficie vidriada de fachada, las paredes posteriores de mampostería, techo y piso.

El cálculo se hace sobre la base de mantener una temperatura promedio de 20°C en el recinto a calefaccionar.

El cálculo considera un factor adicional del 20% a efectos de contemplar otros aspectos, tales como suplemento por interrupción en el sistema, adicional por orientación solar, etc.

Asimismo, con la adopción de este criterio se busca lograr un compromiso razonable entre las distintas cargas térmicas a considerar en un balance más detallado - de demanda, como es el caso de las cargas de ventilación y de infiltraciones, y de aporte, ya sea por ganancias por iluminación o debidas a la ocupación-, y un diseño

racional basado en la instalación de un número adecuado de equipos a lo largo del hall central.

Con la adopción de estas hipótesis, se arriba a un valor de potencia a disponer de 45,8 KW; el circuito hidráulico de alimentación estaría compuesto por tuberías de PE reticulado de DN 50mm (interior 40,8mm, ver Opción 2).

Sin perjuicio de lo señalado, se recomienda la adopción de ciertas medidas tendiente a minimizar las fugas de energía térmica fundamentalmente por las comunicaciones que el pasillo central tiene con locales anexos ubicados en los extremos norte y sur.

Se sugiere la instalación de cortinas de aire para minimizar estas fugas. Se colocarían turbinas que impulsarían el aire del recinto en forma vertical descendente a lo largo de toda la abertura de circulación peatonal.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

Los resultados -con sus consiguientes recomendaciones-a los que se arriba luego de un análisis detallado de las alternativas técnicas a manejar para optimizar el suministro de ACS del PVUA pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a) El estudio técnico presentado permite concluir que es viable la utilización de la caldera de vapor instalada en el año 2010 para abastecer de ACS al PVUA y emplearla como fuente de energía para calefaccionar el hall central del Edificio N°2. Tal afirmación se deduce de los cálculos realizados en base a la estimación y validación de campo de los caudales demandados por los sistemas y sus consiguientes cargas térmicas.
- b) Se recomienda implementar sistemas de abastecimiento independientes para cada uno de los edificios del complejo habitacional (Edificios N°1 y N°2), como consecuencia de las distintas demandas hidráulicas y térmicas que presenta cada caso y de manera de no afectar la totalidad de los servicios en caso de fallas o reparaciones por mantenimiento. Dichos sistemas estarían compuestos por intercambiadores vapor-agua propios, un circuito hidráulico intermedio portador de la energía a transferir a los tanques de reserva de ACS ubicados las correspondientes salas de los edificios y por los circuitos de distribución de ACS a los distintos puntos de consumo. El presente estudio analiza las principales características técnicas de dichos sistemas, así como establece las especificaciones técnicas básicas que deberán cumplir sus componentes más importantes.
- c) Se plantea un trazado preliminar de los circuitos intermedios desde la SM hasta las salas de los edificios de manera de minimizar los costos derivados de la obra civil; en efecto, se trata de un tendido mayoritariamente por zonas exteriores, de fácil acceso, con facilidades para el trabajo de maquinaria (por ejemplo, retro o mini excavadora (esta última tipo bobcat con pala cargadora) y con reposiciones de pavimento y/o veredas no demasiado onerosas y complejas. En las piezas gráficas adjuntas y en los anexos de la presente memoria, se ilustra acerca de este aspecto.
- d) El estado de conservación de los circuitos de distribución sugiere la necesidad de su renovación en el más corto lapso de tiempo posible. Se destaca en este sentido la existencia de tramos muy importantes de hierro galvanizado visiblemente deteriorado, los que además no cuentan con la debida aislación térmica; asimismo, muchos tramos construidos en PE y PPL están expuestos a la radiación solar, hecho particularmente nocivo en conducciones que no están específicamente acondicionadas para el ataque por rayos UV. Por lo tanto, se recomienda –aunque más no sea parcialmente, por ejemplo, comenzando por el Edificio N°1-, la sustitución total de los circuitos de distribución de ACS. Si bien la exigencia de mantener el servicio de abastecimiento impone una importante restricción a la obra de sustitución, se entiende vital su concreción en

tanto se decida realizar una inversión de la relevancia que implica el abastecimiento de ACS en base a energía proveniente de la caldera de vapor.

- e) Se presenta finalmente una valoración aproximada en términos de costos de inversión a efectos de cumplir con el objetivo trazado. Se ha desglosado la obra en distintos componentes, de modo de evaluar una eventual ejecución en etapas de la misma. En este sentido, se entiende que las obras de acondicionamiento de ACS deberían ejecutarse globalmente, incluyendo necesariamente los circuitos de distribución de ambos edificios; no es lógico pensar en una inversión relevante en los componentes intermedios del sistema de abastecimiento sin reparar en los graves inconvenientes que presentan los circuitos de distribución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) *Instalações Hidráulicas Predais e Industriais* (Arcibald Joseph Macintyre)
- 2) *Manual de Calefacción Ferroli* (Luis Jutglar – Ángel Luis Miranda – Miguel Villarrubia)
- 3) *Termodinámica* (J. p. Holman)
- 4) *Transferencia de Calor* (Editorial Schaum: D. R. Pitts – L. E. Sissom)
- 5) *Mecánica de Fluidos* (R. W. Fox – A. T. McDonald)
- 6) *Manual de Hidráulica* (Azevedo – Acosta)

ANEXO 1

Detalles Gráficos.



Foto N°7 – Tramo de emplazamiento de tuberías circuitos secundarios a 1m del cordón (vista desde Edificio N°1).



Foto N°8 – Vista en dirección a entrada de Sala N°2 en Edificio Nuevo. Las tuberías se emplazarán a 1m del cordón.



Foto N°9 – Vista en dirección a la entrada de Administración. Las tuberías irán a 1m del cordón (derecha).



Foto N°10 – Vista en dirección a entrada a Sala N°3 en Edificio N°1. Las tuberías se emplazarán al pie del terraplén.

ANEXO 2

Caudales Medidos el 16/02/2014

ANEXO 3

Planillas de Cálculo y Presupuesto Estimativo