
ENERGÍA SOLAR Y CALEFACCIÓN

**Aprovechamiento de la energía solar:
Incorporación a sistemas de losa radiante existentes.**

ÍNDICE

Páginas

1. Planteamiento del tema: hipótesis.	3
2. Introducción:	4
Objeto de estudio y metodología de investigación.	
3. Marco teórico:	5
a. Energía Solar.	5
i. Usos y aplicaciones en arquitectura.	5
ii. Energía solar térmica:	5
• sistemas de captación: _colectores plásticos.	6
_colectores planos.	6
_colectores de tubo de vacío.	7
• sistemas de intercambio y acumulación.	7
• sistemas de distribución.	7
• accesorios.	8
• energía auxiliar.	9
iii. Energía solar en Uruguay y en el mundo.	9
b. Calefacción y aire acondicionado.	10
i. Sistemas de calefacción y aire acondicionado.	10
ii. Fuentes de energía: combustibles, rendimientos, consumos.	11
iii. La losa radiante.	13
c. Calefacción y energía solar.	16
4. Incorporación de energía solar a sistemas existentes de calefacción.	18
a. Consideraciones generales.	18
b. Estudio de un caso concreto.	19
5. Conclusiones.	27
a. Análisis de los resultados.	27
b. Reflexiones.	28
6. Fuentes consultadas.	29
7. Anexo.	31
Cálculos balance térmico.	

1. Planteamiento del tema: hipótesis.

La losa radiante por agua caliente es un sistema de calefacción que, como los sistemas de acondicionamiento térmico en general, tiene un alto consumo energético. La energía solar es renovable, no contaminante y gratuita.

Se plantea la hipótesis de que **en sistemas existentes de losa radiante por agua caliente, es viable técnica y económicamente sustituir parte de la energía de fuentes no renovables por energía solar.**

2. Introducción:

Objeto de estudio y metodología de investigación

El uso de energía solar para la generación de agua caliente sanitaria (ACS) está cada vez más desarrollado y es cada vez más masivo, en parte gracias a la creciente conciencia del público general sobre los beneficios ambientales y económicos, y también por la proliferación de información técnica disponible. Además, las recientes políticas estatales al respecto, y las características del clima uruguayo contribuyen a impulsar su desarrollo a nivel nacional.

En este contexto, y siendo el acondicionamiento térmico artificial el subsistema de un edificio que significa mayor costo energético y económico, surge la inquietud de ampliar el campo de aplicación de esta tecnología a dicho subsistema.

Es pertinente destacar que la disponibilidad de bibliografía y de información técnica específica sobre éste tema es considerablemente inferior a la referente al uso de la energía solar para ACS. La bibliografía en general lo menciona como una aplicación posible, pero no abunda la información específica sobre la viabilidad e implicancias de su aplicación en nuestro país.

Por todo esto es que surge la iniciativa de realizar un **estudio acerca de la aplicación de la energía solar en sistemas de calefacción**.

El presente trabajo se centra en el estudio de la posibilidad de **incorporar energía solar a una instalación existente de losa radiante (LR)**. Para ello comprenderá, en primer lugar, una base de información sobre los siguientes temas: la energía solar, los sistemas de calefacción y sus fuentes energéticas y los sistemas de calefacción por energía solar. En segundo lugar se realizará el estudio de un caso concreto procurando generar un estudio comparativo y cuantitativo que ilustre acerca de la viabilidad del planteo propuesto. Se estudiará tanto la **viabilidad técnica**, (analizando **la ganancia energética obtenida y la necesaria**) como la **viabilidad económica**, que quedará definida por el **tiempo de amortización de la inversión** necesaria.

3. Marco teórico.

a. Energía solar.

i. Usos y aplicaciones en arquitectura.

La energía solar tiene básicamente dos aplicaciones en arquitectura: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica.

Las instalaciones de **energía solar fotovoltaica** transforman la radiación solar en electricidad a través del uso de células fotovoltaicas. En general podemos encontrar dos tipos de instalaciones: las instalaciones aisladas de la red eléctrica, en las que la energía generada se almacena en baterías y se utiliza luego; y las instalaciones conectadas a la red eléctrica, en las que la energía que se genera se “vende” a la compañía de suministro de electricidad. Para estas últimas, recientemente se ha creado el marco jurídico¹ que regula la gestión.

Las instalaciones de **energía solar térmica** captan la radiación solar, absorbiéndola a través de un material conductor y la transmiten a un fluido (agua o aire). Se distinguen así, distintos sistemas dependiendo de la temperatura de trabajo: a baja temperatura (inferior a 100°C), media temperatura (entre 100°C y 350°C) y alta temperatura (superior a 350°C). Los sistemas más utilizados en edificios son de baja temperatura, ya que los usos no requieren una temperatura mayor. De esta forma, existen diferentes aplicaciones asociadas a distintas tecnologías: agua caliente sanitaria (ACS), climatización de piscinas, calefacción de espacios por agua o aire, precalentamiento de fluidos para procesos industriales, etc.

Existen algunos aspectos fundamentales a tener en cuenta para determinar la viabilidad de la aplicación de energía solar para un caso arquitectónico en particular: espacio disponible, asoleamiento, capacidad de acumulación y condiciones económicas, entre otros.

ii. Energía solar térmica: componentes del sistema.

Captación, intercambio, acumulación, distribución, controladores, y energía auxiliar.

Las instalaciones solares térmicas se componen principalmente de los siguientes subsistemas: captación, intercambio, acumulación, distribución y energía auxiliar.

- Los **sistemas de captación** transforman la radiación solar incidente en energía térmica, calentando así el fluido de trabajo. Se pueden distinguir fundamentalmente tres tecnologías asociadas a las temperaturas de uso (ver Fig. 1): los colectores plásticos, los planos y los de tubo de vacío, cuyas principales limitaciones funcionales están asociadas a la orientación, la inclinación, las sombras y la configuración de la instalación.

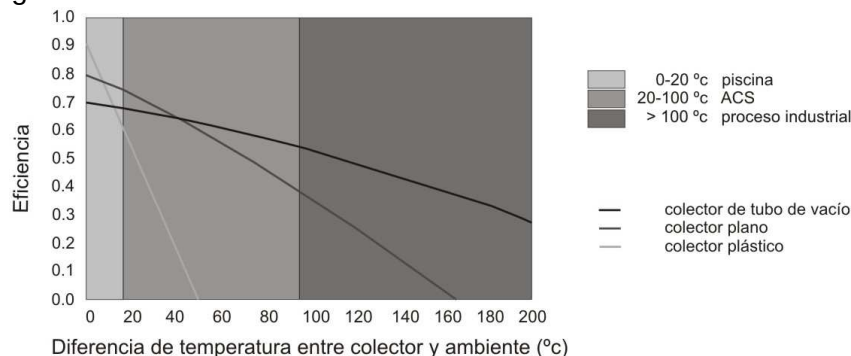


Fig. 1. Tipos de colectores y diferencia temperaturas.²

¹ Decreto N°173/010.

² Manual “Energía solar térmica”, resultados técnicos del proyecto “GreenPro”, programa ALTENER.

Los colectores deben disponerse orientados hacia el norte y con una inclinación variable según la función principal de la instalación. Si están destinados únicamente a la generación de ACS la inclinación deberá ser de 30° o 35° ³ respecto a la horizontal. Si se utilizan para calefacción la inclinación deberá ser de unos 55° ⁴ (aproximadamente la latitud más 15° o 20° ⁵), ya que se busca maximizar la ganancia solar en invierno.

En cuanto a la incidencia sobre la estructura del edificio se puede considerar una sobrecarga de entre 15 y 20 kg/m^2 ,⁶ generalmente admitida por cualquier estructura.

Fig. 2. Colector plástico.⁷



Los **colectores plásticos**, actúan como calentador de pasaje. Es decir, que según su color y material, generalmente polipropileno, se calientan con la radiación solar aumentando así la temperatura del agua que circula por su interior hasta en 10°C ⁸, dependiendo de la instalación y el clima. En el mercado se pueden conseguir distintos tipos de colectores plásticos, cuyas dimensiones rondan anchos de $0,80$ - $1,00 \text{ m}$, altos de $2,00$ - $2,50 \text{ m}$ y espesores de $7,0 \text{ cm}$ aproximadamente.⁹

Este tipo de colector es generalmente llamado “abierto” dado que no cuenta con ninguna cobertura o aislamiento, y tiene la ventaja de ser flexible, por lo cual cuando no se necesitan se pueden arrollar y guardar. Habitualmente se utilizan para climatizar piscinas, permitiendo extender la temporada de baño en nuestro país desde octubre-noviembre hasta marzo-abril, dado que la temperatura de uso del agua no difiere en mayor medida con la temperatura ambiente. Es por esto que no es posible su utilización en los inviernos como los de Uruguay, necesitándose otras tecnologías que permitan aumentar la temperatura del agua en más de 10°C con respecto a una temperatura exterior de, por ejemplo, $9,0^\circ\text{C}$.

Fig. 3. Colector plano.⁸



Para estos casos, resultan más eficientes los **colectores planos**, habitualmente utilizados para ACS. Estos colectores se componen de una caja en general de aluminio con aislamiento térmico en el fondo y laterales, y una cubierta de vidrio que genera un “efecto trampa” que evita pérdidas de calor por convección. En su interior existen placas que absorben calor, generalmente de metal pintadas con pinturas selectivas de color oscuro (con alto coeficiente de absorción y baja emisividad), con cañerías habitualmente de cobre que por las que circula el fluido al cual transmiten el calor. En el mercado existen diversos tipos de captadores solares planos, cuyas dimensiones oscilan entre $0,80$ - $1,00 \text{ m}$ de ancho por $2,00$ - $2,50 \text{ m}$ de alto y un espesor de 10 cm , con un peso en funcionamiento de entre 30 y 40 kg aproximadamente.⁷

Fig. 4. Colector tubo de vacío.⁸



En caso de que se busque alcanzar temperaturas elevadas en climas fríos, resultan más adecuados los **colectores de tubo de vacío**. Dichos colectores están formados por varios tubos que se conectan a un intercambiador. Cada tubo cuenta con un doble vidrio con vacío entre ellos para disminuir las pérdidas de calor y en su interior una superficie captadora y un tubo de calor de cobre por donde circula el fluido caloportador.

El vacío entre ambos vidrios debe ser totalmente hermético para poder asegurar el rendimiento del sistema. A efectos de poder controlar ese vacío, algunos fabricantes colocan un compuesto de bario que deposita una

³ “Generación de agua caliente por energía solar térmica”, Nora Pazos - Cátedra de Acondicionamiento Sanitario FARQ, Udelar.

⁴ Dato proporcionado por Sr. Alejandro Baroni.

⁵ “La energía solar en la edificación”, Guillermo Yañez.

⁶ Dato proporcionado por Sr. Alejandro Baroni.

⁷ Imagen extraída de catálogo empresa Tecnosolar.

⁸ “Generación de agua caliente por energía solar térmica”, Nora Pazos - Cátedra de Acondicionamiento Sanitario FARQ, Udelar.

⁹ Datos obtenidos de catálogos de proveedores.

capa metalizada sobre el interior del extremo inferior del tubo, que en contacto con el aire cambia a un color blanco que sirve como testigo si existe pérdida de vacío. Las dimensiones de los captadores de tubo de vacío generalmente rondan entre 1,30-2,00 m de ancho por 2,00-2,50 m de alto y un espesor de 7,0 cm, con un peso de 50 kg aproximadamente.¹⁰

- Con respecto a los **sistemas de intercambio y acumulación** es pertinente señalar que existen dos formas de generar el movimiento de agua dentro de las cañerías: en forma natural por termosifón y en forma artificial, inducido o presurizado. El **sistema natural por termosifón**, se basa en el principio de que el agua caliente tiende a elevarse por ser menos densa que el agua fría. Por esto es que se sitúa el tanque acumulador por encima de los paneles, de modo que cuando no exista aporte de energía solar, el agua en el panel se encuentra a menor temperatura que la del acumulador y deja de moverse. El **sistema inducido o presurizado** cuenta con una bomba por lo que permite variar la ubicación del acumulador con respecto al panel y utilizar diámetros menores de tuberías. Por otra parte, es imprescindible la incorporación de automatismos capaces de accionar válvulas que regulen el encendido de la bomba cuando la temperatura del colector es mayor que la del acumulador y viceversa, lo cual resulta en un sistema más costoso que el de termosifón.

Dependiendo del uso la **acumulación** varía. En el caso de las piscinas el acumulador es la piscina propiamente dicha, para las que se recomienda una temperatura de 22 a 26°C⁸ y que sean cubiertas con una manta aislante mientras no se utilizan a efectos de disminuir las pérdidas de calor.

Para el uso en ACS o calefacción, se debe contar con un depósito acumulador muy bien aislado térmicamente; el coeficiente de transmitancia de su envolvente conviene que sea menor a 0,25 Kcal / m² h °C¹¹. Su capacidad puede variar: cuánto más grande sea menor será la temperatura de almacenamiento, por lo tanto también menores las pérdidas caloríficas. Acumuladores demasiado grandes (diseñados para acumular el calor durante varios días) en general terminan siendo infrutilizados durante la mayoría del tiempo.

Para ACS la capacidad de acumulación varía según la demanda que a su vez es proporcional al número de usuarios. En general se estima un consumo diario de 150 litros de agua caliente por persona para uso doméstico¹². Para utilizar en calefacción, dependerá en gran forma de por cuánto tiempo se busque almacenar el calor; a modo de orientación generalmente se calcula una capacidad de acumulación de entre 50 y 75 litros por metro cuadrado de colector¹³.

- Los **sistemas de distribución** de ACS pueden ser abastecidos por agua que ha circulado por los paneles o no, según se trate de sistemas directos o indirectos. En el **sistema directo**, también denominado “abierto”, el panel es abastecido por agua de la red pública, donde se calienta y pasa al acumulador y de allí al consumo. Este sistema puede presentar una aceleración en la corrosión de cañerías y tanques, dado que el agua proveniente de la red pública de la que se abastece constantemente contiene aire. Por otra parte, en los **sistemas indirectos**, las cañerías cuentan con dos circuitos, primario y secundario. El circuito primario queda comprendido entre el panel y el acumulador, mientras que el secundario funciona entre el acumulador y las salidas de consumo de agua caliente. De esta forma, el circuito primario lleva el agua caliente desde los paneles hasta el acumulador, donde se intercambia el calor mediante un serpentín o doble envolvente, para así retornar nuevamente a los paneles para volverse a calentar. Finalmente, el calor que fue cedido al acumulador por el circuito primario, es distribuido mediante el circuito secundario y utilizado para el consumo. De esta manera, se asegura que el circuito primario es cerrado mientras que el secundario es abierto, evitando la aceleración de la corrosión del sistema anteriormente nombrada para los sistemas directos, dado que el agua que circula dentro de ellos es siempre la misma.

En el caso de edificios de vivienda colectiva, es importante mencionar que existen distintas **configuraciones de instalaciones** que responden a diferentes situaciones administrativas como ser: instalaciones centralizadas con contadores de agua y energía por vivienda, instalaciones con

¹⁰ “Generación de agua caliente por energía solar térmica”, Nora Pazos - Cátedra de Acondicionamiento Sanitario FARQ, UdelAR.

¹¹ “La energía solar en la edificación”, Guillermo Yañez.

¹² “Repartido Cátedra de Instalaciones”, Facultad de Arquitectura, UdelAR.

¹³ “La energía solar en la edificación”, Guillermo Yañez.

acumulación distribuida, instalaciones con intercambiadores individuales, etc. En general presentan un mejor rendimiento global las instalaciones centralizadas tanto en su captación como en la acumulación, aunque existen casos de agrupaciones de escasas viviendas donde pueden preferirse soluciones individuales.

- Con respecto a los **accesorios** necesarios en la instalación, se dispondrán dependiendo de los requerimientos de cada subsistema dentro de la instalación y de las prioridades predeterminadas.

En el caso de las **bombas**, se debe evitar el sobredimensionado, instalándose las que cuenten con una amplia gama de potencias a ser utilizadas de acuerdo a una potencia media, lo cual permite disminuirla o aumentarla de acuerdo a la performance del sistema (determinada por el nivel de irradiación, etc.). En el caso de sistemas unifamiliares, no es necesario un cálculo detallado de las pérdidas de carga a lo largo del circuito para establecer el tipo de bomba a utilizar, dado que ya es un dato generalmente proporcionado por el fabricante del panel; pero si se trata de grandes áreas de colectores, sí debe realizarse éste cálculo para el correcto dimensionado.

Las **válvulas** anti-retorno son instaladas en el circuito de alimentación del tanque de almacenamiento con el fin de evitar su enfriamiento cuando la bomba de circulación no está en funcionamiento (por ejemplo, en el período de la noche).

Además, en el punto más alto de todos los sistemas de energía solar, debe ser instalado un **purgador** de aire con válvula automática o manual.

Dentro de los **dispositivos de control**, se encuentran los medidores de caudal que pueden ser instalados a efectos de racionalizar la utilización de energía al asociarlos a automatismos. A su vez, los sistemas en general cuentan con una **válvula de seguridad** que evita la ruptura de la instalación en caso de continua acumulación de calor sin su consumo respectivo, mediante la liberación del fluido térmico.

También, en el circuito de alimentación debe ser instalado un **tanque de expansión**, el cual permite absorber la dilatación del fluido por aumento de temperatura. Dicho tanque es un recipiente de metal cerrado con una membrana flexible en su interior que separa dos medios: uno de nitrógeno a determinada presión preestablecida y otro de fluido térmico, por lo que su capacidad queda determinada por la cantidad de fluido existente en la instalación solar, aunque existen en capacidades estándar de 10, 12, 18, 25, 35 y 50 litros.¹⁴ Si se calcula para la dilatación adicional del fluido de transferencia a máxima presión, el sistema se constituye entonces, junto a la válvula de seguridad anteriormente mencionada, a prueba de fallos.

La función del **termostato** diferencial es la de controlar las bombas de circulación de acuerdo a las diferencias de temperatura entre por lo menos dos puntos distintos de medición. De esta forma, se mide, en primera instancia, la temperatura en la zona del circuito solar y la temperatura en el intercambiador. Es normal que se indique el encendido de la bomba frente a una diferencia de 5-8 °C y el apagado frente a una diferencia de 3 °C, y se cumple que a mayor distancia entre los colectores y el intercambiador, mayor diferencia de temperatura existe entre ambos puntos de la instalación.¹² Un tercer sensor puede ser utilizado para medir la temperatura en la parte superior del tanque de almacenamiento, que permite a la vez, medir la temperatura del agua a ser suministrada y apagar el sistema si se alcanza la temperatura máxima de almacenamiento permitida.

Existen también, cada vez más sistemas de control con funciones especiales como ser: medición de tiempo de operación, cantidad de calor (calorímetros), registro de datos con funciones de diagnóstico de error preestablecidas, control remoto mediante interfase con computadoras y diagnóstico a distancia.

- Por último, aunque no menos importante, cualquier tipo de instalación solar que pretenda garantizar el confort de los usuarios, debe contar con un **sistema de energía auxiliar** que funciona con una o varias fuentes de energía alternativas y permite compensar la falta o escasez de energía solar en determinados períodos del año y/o cubrir un exceso de demanda no previsto.

¹⁴ Manual "Energía solar térmica", resultados técnicos del proyecto "GreenPro", programa ALTENER.

iii. Energía solar en Uruguay y en el mundo.

Si bien el uso del sol como fuente de energía renovable en **Uruguay** está lejos de ser masivo o de alcanzar niveles existentes en otros países, las condiciones están más que dadas para que así sea tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista legal y económico-financiero.

Desde el punto de vista **técnico**, se puede afirmar que la energía solar como recurso energético es más que suficiente, dado que en Uruguay se registran valores de insolación media anual de entre 2300 a 2600 horas, similares e incluso superiores a los valores de otros países donde el uso de la energía solar está ampliamente difundido (por ejemplo España, donde se registran valores de insolación anuales de entre 1700 y 2900 horas).¹⁵ Además, a nivel nacional, todas las tecnologías y dispositivos necesarios para llevar a cabo una instalación, se encuentran disponibles. A su vez, se cuenta con fabricantes de paneles e instaladores formados en la materia.

Con respecto al marco **legal** existente, en 2006 se comenzó el estudio de la posibilidad de legislar sobre este tema, para en 2008 ingresar como proyecto de ley a la Cámara de Senadores, para que finalmente, el 18 de setiembre de 2009, en nuestro país se promulgue la ley N°18585. Como antecedentes podemos citar una ley similar aprobada en Barcelona, España, que por ser muy exitosa luego se implementó en varias ciudades españolas más. Otro ejemplo puede ser el de Brasil, donde rige una ley en varias de sus ciudades que obliga a instalar calentadores solares en edificios, o el caso de Portugal, donde la ley para la colocación de colectores solares en edificios entró en vigor en 2007.

En el caso particular de la **ley N°18585** que rige en nuestro país, se trata de una legislación de implementación con plazos estipulados de forma progresiva. Por otra parte, existen múltiples incentivos y beneficios para su aplicación, como por ejemplo “Uruguay Fomenta”, que brinda asesoramiento gratuito y personalizado sobre los beneficios para empresas, grupos de investigación, proyectos de inversión, garantías, exoneración de impuestos, etc. A su vez, dentro del programa de “Eficiencia energética”, también fue creado el “Fondo de Garantía” que brinda avales para que el acceso al financiamiento no constituya una barrera al desarrollo de la eficiencia energética. Además, desde la Unidad de Apoyo al Sector Privado (UnASeP), se brinda asesoramiento para proyectos de inversión, desde la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), financiamiento para proyectos concursables, desde el Sistema Nacional de Garantías (SiGa), garantías para préstamos, desde el BROU financiación y créditos, etc. También, existen determinados “beneficios y plazos vinculados para cada tipo de proyecto: exoneración del Impuesto al Patrimonio sobre bienes muebles para activo fijo por toda la vida útil de los mismos y sobre Obras Civiles hasta 8 años si el proyecto está ubicado en Montevideo y 10 años si el proyecto está radicado en el interior del país; exoneraciones de tasas o tributos a la importación de bienes muebles para activo fijo que no pueden exonerarse al amparo de los beneficios de los regímenes precedentes, declarados no competitivos de la industria nacional; devolución del IVA en régimen de exportadores para la adquisición en plaza de materiales y servicios destinados a Obras Civiles; honorarios y salarios en desarrollos tecnológicos de áreas prioritarias: computar por una vez y media para la liquidación del Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE); exoneración del IRAE por un monto y plazo máximo que resultará de aplicar la matriz de objetivos e indicadores de acuerdo al tipo y tramo en que se ubique el proyecto.”¹³

¹⁵ “Ley de energía solar térmica: implicancias, obligaciones y beneficios para su aplicación”, Mesa Solar.

b. Calefacción y aire acondicionado.

i. Sistemas de calefacción y aire acondicionado.

Los **sistemas de calefacción** pueden clasificarse en centrales o individuales. A su vez, tanto unos como otros pueden ser convectivos o radiantes. Además, puede tratarse de sistemas directos o por acumulación.

Los **sistemas de calefacción centrales** son aquellos en los cuales la fuente de calor se encuentra centralizada en un solo lugar, como ser una caldera de agua caliente, de vapor o con resistencia eléctrica y cuyo medio de transporte puede ser el agua, el vapor o el aire. Dentro de los centrales podemos encontrar los sistemas **convectivos directos**, naturales o forzados, con terminales tales como radiadores, tubos aletados, zócalos convectores, caloventiladores y equipos de aire caliente. Por otro lado, encontramos los sistemas **radiantes por acumulación**, como la losa radiante por agua caliente, de piso o techo.

Los **sistemas de calefacción individuales** son aquellos cuya fuente térmica se encuentra en el local a acondicionar, como por ejemplo electricidad o gas, por lo que no necesitan de instalaciones auxiliares para su funcionamiento. Entre ellos se encuentran los sistemas **convectivos naturales** (de tiro balanceado, eléctricos con resistencia, radiadores de aceite, tubos aletados o zócalos convectores) y los **convectivos forzados** (como por ejemplo los caloventiladores). Por otra parte, también dentro de los individuales, contamos con **sistemas radiantes**, como ser la losa radiante eléctrica, los paneles radiantes eléctricos y a gas (con ventilación forzada necesariamente) y tubos radiantes a gas para grandes ambientes.

Los **sistemas de aire acondicionado**, al igual que los de calefacción, pueden ser centrales o individuales.

Los **sistemas centrales de aire acondicionado** son aquellos que concentran en un solo lugar la generación del fluido térmico encargado de transportar la energía a los locales a acondicionar. Existen distintos tipos: **todo aire** (compactos o autocontenidos y roof top, o divididos como los split centrales y multisplits), **aire-agua** (por ejemplo los manejadores de aire, los inductores de aire y los chillers,) y **todo agua** (como ser los fancoils verticales, horizontales y tipo columna, tanto vistos como ocultos).

A su vez, los **sistemas individuales de aire acondicionado** se pueden clasificar en compactos o divididos. Los sistemas individuales **compactos** pueden ser de ventana o pared y sirven para calefaccionar mediante la utilización del ciclo inverso o resistencias, mientras que los **divididos**, son por ejemplo los minisplit de pared, piso, techo y embutidos que utilizan ciclo inverso para calefaccionar.

Los distintos sistemas de calefacción y aire acondicionado dan solución a variadas situaciones de necesidad de confort térmico. Sin embargo, no todas logran adaptarse coherentemente con las distintas propuestas arquitectónicas. En general, existen algunos tipos más recomendables para determinados programas y/o escalas edilicias. En particular, en los casos de pequeñas escalas, suelen no ser apropiados ni rentables los sistemas que incluyan grandes instalaciones y equipos. Además, en los sistemas centralizados, deben tenerse en cuenta la necesidad de espacio para albergar cañerías, equipos e instalaciones en general, e incluso en muchos casos, que el edificio sea capaz de responder adecuadamente a los requerimientos estructurales.

ii. Fuentes de energía: combustibles, rendimientos, consumos.

Habitualmente se clasifican las energías en dos grandes tipos: las energías renovables y no renovables. Las **energías renovables** son aquellas que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, porque son capaces de regenerarse naturalmente, o por la gran cantidad de energía con la que cuentan; mientras que las **energías no renovables** son las que se encuentran en la naturaleza en determinada cantidad y una vez que se consumen se agotan y deben sustituirse.

Las energías renovables, a su vez pueden clasificarse en energías contaminantes y no contaminantes o limpias. Las **energías renovables contaminantes** son las obtenidas a través de biomasa y se pueden utilizar directamente (por ejemplo, madera) o transformadas (como bioetanol o biodiesel). El uso de estas energías tiene la misma consecuencia que la utilización de combustibles fósiles: produce dióxido de carbono en la combustión y como consecuencia, contribuye a agudizar el efecto invernadero. Muchas veces pueden llegar a ser incluso más contaminantes que los combustibles fósiles, dado que su combustión es en general más incompleta y produce más hollín, etc. En contrapartida, hay quienes las consideran más limpias, ya que el dióxido de carbono producido durante su combustión, fue teóricamente absorbido anteriormente por la materia orgánica mediante fotosíntesis. Sin embargo, hay quienes cuestionan ésta afirmación, sosteniendo que no son equivalentes dichas cantidades, dado que los procesos de producción también consumen energía y producen emisiones. De todas formas, se clasifican dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse las materias primas a partir de las que se producen, no se agotarán.

Por otra parte, dentro de las **energías renovables no contaminantes o limpias** podemos encontrar: la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, la energía hidráulica, la energía mareomotriz (de los mares y océanos), la energía azul (encuentro de masas de agua dulce con masas de agua salada) y la energía undimotriz (de las olas).¹⁶

Las energías no renovables, también pueden clasificarse en dos categorías: los combustibles fósiles y las energías nucleares. Los **combustibles fósiles**, provienen de restos de seres vivos transformados bajo determinadas condiciones de presión y temperatura. A partir de su combustión puede generarse calor y movimiento (como es el caso de su utilización en hornos, calderas, estufas y motores) y también energía eléctrica (en centrales termoeléctricas), al conducir a presión el vapor generado por el calor de combustión para abastecer un generador eléctrico. Ejemplo de combustibles fósiles son: el carbón, el petróleo y el gas natural.

Las **energías nucleares**, se generan a partir de elementos capaces de producir energía por fisión nuclear. Dicha energía se utiliza para producir electricidad de forma muy similar a la anteriormente mencionada para centrales termoeléctricas, a diferencia de que el calor es producido por fisión y no por combustión. Los ejemplos más comunes de elementos para producción de energía nuclear son el uranio y el plutonio.

Actualmente, en Uruguay está prohibido el uso de energía nuclear con fines de producción energética, si bien es un tema que recientemente se ha discutido a nivel gubernamental y generado controversia entre quienes plantean la necesidad de su inclusión dentro de la matriz energética y otros que condicionan más su opinión por los riesgos que puede significar que por sus posibles beneficios. Esta última visión, también ha sido alimentada por los sucesos internacionales de accidentes nucleares, como es el caso de la planta nuclear de Fukushima en Japón, que al día de hoy continua sin resolverse y con un panorama a futuro todavía incierto.

A su vez, se llaman **fuentes de energía alternativas** a las capaces de sustituir las fuentes que existen actualmente, por resultados menos contaminantes o simplemente por fuentes renovables. Si bien dicha sustitución es deseable, resulta aún más conveniente que se persiga la sustitución del modelo económico actual de crecimiento perpetuo, por el modelo de desarrollo sustentable¹⁷, lo cual se puede traducir en el uso de energías renovables y limpias, la reducción de la demanda energética, el aumento del ahorro de energía, la disminución del consumo energético

¹⁶ www.idae.es

¹⁷ "El desarrollo sustentable es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". ("Nuestro futuro común", Informe Brundtland, 1987, Comisión Mundial sobre Medioambiente y Desarrollo de la ONU).

mediante la mejora en el rendimiento de los dispositivos (por ejemplo lámparas, electrodomésticos, etc.), etc.

En Uruguay el consumo de energía se distribuye por fuente de la siguiente manera (tabla 1):

Derivados del petróleo	46%
Electricidad	22%
Residuos de biomasa	15%
Leña y carbón vegetal	15%
Gas natural	2%
Carbón mineral	0%
Derivados del carbón	0%

Tabla 1. Estructura de consumo por fuente.¹⁸

En particular, en nuestro país existen variadas fuentes de energía convencionales que son habitualmente utilizadas para calefacción: electricidad, supergas, gas-oil, gas natural, querosene, leña, etc. A partir de las distintas tecnologías utilizadas se obtienen diferentes rendimientos y consumos. A continuación se exponen datos relativos a su poder calorífico, rendimiento y costos:

	poder calorífico (kcal)	Unidad	Rendimiento	Calor efectivo (kcal)	Precio unitario (\$)	Precio 1000 kcal (\$)
Fuel-oil medio	10000	litros	0,80	8000	16,14 ¹⁹	2,02
Gas-oil	10000	litros	0,85	8500	32,50 ¹⁹	3,82
Diesel-oil	11000	litros	0,80	8800	23,72 ¹⁹	2,70
Querosene	10500	litros	0,79	8295	24,40 ¹⁹	2,94
Supergas	11150	kg	0,90	10035	25,96 ²⁰	2,59
Gas natural	9300	m ³	0,90	8370	13,96 ²¹	1,67
Electricidad	860	kwh	1,00	860	4,07 ²²	4,73
Leña	3000 a 4500	kg	variable	variable	variable	variable

Tabla 2. Poder calorífico, rendimiento y costos de fuentes energéticas.²³

¹⁸ www.eficienciaenergetica.gub.uy

¹⁹ www.ancap.com.uy

²⁰ precio promedio de presentación en envases de 13 y 45 kg (a granel, en envases de 190 kg en adelante, el precio es menor).

²¹ www.montevideogas.com.uy

²² tarifa residencial simple para los servicios con modalidad de consumo residencial con potencia contratada menor o igual a 40 kW y un consumo mensual de entre 101 kWh y 600 kWh. (www.ute.com.uy)

²³ Ampliación y actualización de Tabla 1.4.1 "Poder calorífico, rendimiento, costos", Repartido Cátedra de Instalaciones, Facultad de Arquitectura, UdelaR.

iii. La losa radiante por agua caliente.

Las instalaciones de losa radiante por agua utilizan como fluido calorífico agua caliente a baja temperatura, entre 35 y 60°C ²⁴ aproximadamente, a efectos de no originar dilataciones excesivas ni altas temperaturas superficiales que provoquen discomfort térmico a los usuarios. Las construcciones capaces de albergarlas son tales que estén aptas para absorber las dilataciones y tensiones provocadas por el aumento de temperatura y transmitir el calor desde la instalación hacia los ambientes en forma correcta y uniforme. Para ello, es fundamental que las cañerías se encuentren en contacto directo con el edificio, por lo que es necesario que los materiales constructivos tengan un coeficiente de dilatación del mismo orden que el de las tuberías. De acuerdo a esto, la losa radiante es un sistema de calefacción comúnmente usado en edificios con estructura de hormigón armado. Además, el plano a utilizar debe poseer buena conductividad aunque también componentes de aislación térmica para “orientar” el calor hacia donde es deseable minimizando las pérdidas térmicas indeseadas.

El sistema que se utiliza habitualmente se conforma por cañerías de hierro negro embutidas en losas o contrapisos, dado que el coeficiente de dilatación del hormigón es similar al hierro generalmente utilizado para este tipo de instalaciones. También pueden utilizarse caños de cobre o latón, que si bien son instalaciones superiores, usualmente tienen un costo más alto y debe tenerse en cuenta su mayor coeficiente de dilatación.

Dada la posibilidad de su instalación tanto en losas como en contrapisos, es que surgen dos tipos de losas radiantes: de piso y de techo. En las **losas radiantes de piso** (ver Fig. 5), las cañerías se colocan dentro de un contrapiso de arena y portland de aproximadamente 6 o 7 cm de espesor, bajo el cual previamente se colocó poliestireno expandido como aislante térmico para evitar la pérdida de calor hacia el suelo o nivel inferior. En las **losas radiantes de techo** (ver Fig. 6), las cañerías están insertas en la losa de hormigón armado, lo cual provoca una inevitable transmisión de calor hacia los demás elementos estructurales vinculados. Algunas normas permiten que sean tenidas en cuenta en el momento de realizar los cálculos estructurales a efectos de reducir la cantidad de hierro estructural.

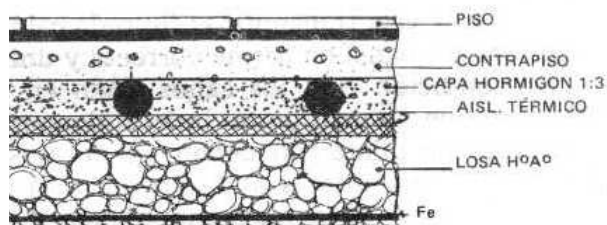


Fig.5. Losa radiante de piso.²⁴

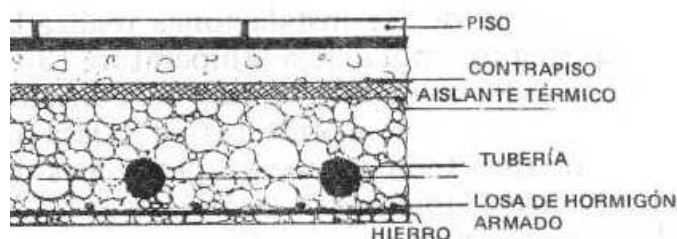


Fig.6. Losa radiante de techo.²⁴

Una de las principales ventajas de los sistemas de calefacción por losa radiante frente a los demás sistemas, es que ofrece una distribución uniforme de la temperatura dentro de los locales (ver Fig. 7), lo cual mejora las condiciones de confort de los usuarios. Es importante señalar, que en el caso de las losas radiantes de piso, el calor generado es aún más uniforme que el generado por las de techo dado el movimiento natural ascendente del aire caliente.

²⁴ “Instalaciones de aire acondicionado y calefacción”, Néstor Quadri.

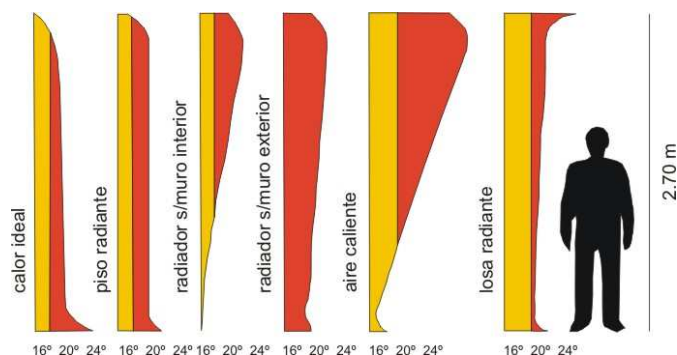


Fig. 7. Distribución de temperaturas con distintos sistemas.²⁵

Por otro lado, cabe aclarar que son sistemas que no logran el acondicionamiento térmico en forma instantánea ya que tiene una alta inercia térmica, por lo cual demoran cierto tiempo (aproximadamente 4 o 5 horas) en entrar en régimen. Por este motivo, su utilización se restringe a determinados programas y tipologías edilicias que sean compatibles con esta característica y si bien es posible el control individual (por ejemplo, de los distintos apartamentos de un edificio de viviendas), es difícil lograr buenos resultados en escaso tiempo. Por lo anteriormente expuesto, su uso es muy recomendable en edificios que, por sus características constructivas, posean gran inercia térmica. Además, cuando no se trata de construcciones con grandes superficies vidriadas, mejoran las asimetrías térmicas de los locales con respecto a los cerramientos verticales.

A su vez, es importante destacar que, si bien logran aumentar la temperatura del aire en forma eficaz, no se encargan de realizar las renovaciones de aire necesarias, por lo cual deben ser previstas mediante otros métodos y que, por su baja temperatura superficial, no quema el polvo que se deposita sobre ellos, por lo que no producen variaciones en la pureza del aire. Tampoco aporta ni quita vapor de agua, si bien la humedad relativa disminuye por el aumento de temperatura. Además, son sistemas que no producen variaciones en la velocidad del aire, dado que generan únicamente un movimiento convectivo natural de aire de baja velocidad.

Otro aspecto fundamental a mencionar es que, como en cualquier otro sistema de calefacción central, se deben realizar las provisiones necesarias de espacio para alojar las cañerías y equipos necesarios (tanques, calderas, bombas, automatismos, etc.), como también tener en cuenta las condicionantes económicas y constructivas que implican desde el anteproyecto.

Además, la distribución de los serpentines está condicionada por otras características del edificio como ser la estructura, posición de tabiquería, ubicación de muebles, luminarias, etc.

De acuerdo a la forma de los serpentines, el sistema puede clasificarse en: continuo, parrilla o enrejado, mixto y cuadrado.

En comparación, el serpentín continuo con respecto al de parrilla tiene como inconveniente un mayor número de curvas lo cual provoca un aumento de la fricción, por lo cual muchas veces suelen requerir bombas de mayor potencia para su correcto funcionamiento. Por su parte, el serpentín cuadrado es destinado en la mayoría de los casos a compensar grandes pérdidas de temperatura de paredes exteriores y son más complejos de ejecutar; mientras que los serpentines de parrilla son utilizados para grandes superficies.

El tipo más utilizado comúnmente es el serpentín continuo, para el cual existe una regla práctica fijada empíricamente que establece su longitud máxima aconsejable de forma de evitar pérdidas de carga excesivas: en caños de ½" la longitud máxima aconsejable es de 45 m, mientras que en caños de ¾" es de 75 m.²⁶

Con respecto a la distribución de las cañerías dentro del edificio, se busca llevar las más importantes por las zonas donde existan las mayores pérdidas de calor (cerca de superficies vidriadas, de paredes exteriores, etc.), de forma tal que a medida que el agua disminuya su temperatura se encuentre recorriendo las áreas menos frías y se logre uniformidad de temperatura.

²⁵ Repartido "Introducción a Sistemas Complementarios", Cátedra de Acondicionamiento Térmico, Facultad de Arquitectura, UdelAR.

²⁶ "Instalaciones de aire acondicionado y calefacción", Néstor Quadri.

En general, es conveniente conectar cada serpentín por separado a la red general, de forma de poder regular de forma independiente la temperatura de cada local. Evidentemente, dicha regulación, dada la gran inercia térmica de este sistema, es posible aunque su inmediatez relativa.

En ambientes contiguos más pequeños se utiliza un serpentín por local de manera de permitir cierta “flexibilidad” de uso, incluso si se trata de habitaciones destinadas a una misma función.

Por otra parte, en los locales grandes suelen disponerse varias cañerías por separado a efectos de evitar grandes recorridos.

Por lo anteriormente expuesto, se puede afirmar que se trata de un sistema que conviene ser utilizado para determinados programas y tipos de construcciones. Teniendo esto en cuenta, se pueden enunciar ciertos pros y contras intrínsecos al sistema. Algunas ventajas son: primera, no quedan a la vista equipos terminales como en otros tipos de calefacción, aumentando el espacio para muebles, etc. y eliminado la suciedad por tostación de polvo; segunda, todas las cañerías son embutidas, por lo que, en climas fríos, se elimina el peligro de congelación; tercero: escasas corrientes de aire y temperaturas de ambientes más bajas y homogéneas, lo cual mejora la función respiratoria y por ende aumenta el bienestar; por último, en climas muy secos existe la posibilidad de utilizarse en veranos para refrigeración aunque con ciertas limitaciones (la temperatura de las cañerías nunca puede ser más baja que el punto de rocío del aire para que no se formen condensaciones).

Dentro de las desventajas podemos señalar: primero, costos un poco más elevados cuando se utilizan accesorios para la instalación y determinados equipos; segundo, imposibilidad de aumentar la capacidad de superficie de calefacción o variar su disposición y reparaciones difíciles y costosas; tercero, sistema sensible a grandes pérdidas de calor (superficies vidriadas, paredes exteriores frías, entrada de aire exterior, etc.); cuarto, grandes pérdidas cuando el sistema está localizado junto al exterior, por lo que se requiere de buena aislación térmica en esos puntos; quinto y último, sistema de gran inercia, por lo que existe un gran retardo de la puesta en régimen (por este motivo, no es adecuada su instalación en locales donde la calefacción es requerida por cortos períodos de tiempo, como teatros, cines, salas de conferencias, etc.).

c. Calefacción y energía solar

El ejemplo más elemental del uso de la energía solar para calefaccionar edificios es la captación **pasiva** mediante la incidencia de sol directo en los locales. De esta forma, orientando los vanos para captar energía solar, la arquitectura la ha aprovechado en el acondicionamiento térmico más allá del uso de los sistemas **activos** o complementarios. Las grandes superficies vidriadas pueden tener ciertos inconvenientes: por un lado, las pérdidas térmicas en invierno, y por otro las ganancias no deseadas en los períodos calurosos. De todas maneras es fundamental para el acondicionamiento térmico eficiente el diseño adecuado de la edificación en cuanto al asoleamiento.

De la mano de la conciencia creciente sobre los efectos ambientales del consumo energético y de las subas en los precios de los combustibles, se han ido desarrollando distintos mecanismos complementarios para aprovechar la energía solar en el acondicionamiento térmico. En general, debido a que durante el período invernal las horas de asoleamiento son menores, los sistemas de calefacción con energía solar deben complementarse con otras fuentes energéticas para lograr niveles de confort óptimos. No se busca cubrir todas las necesidades de calefacción mediante energía solar; sin embargo pueden generarse ahorros significativos en combustibles u otras fuentes comúnmente usadas para calefacción.

Los sistemas solares de calefacción se pueden clasificar fundamentalmente en dos clases: los que utilizan colectores de aire y los que utilizan colectores de agua.

En general se puede establecer que los sistemas que calientan aire son más simples, pues el fin de la instalación es en definitiva calentar el aire de los ambientes. Comparado con los sistemas que calientan agua, los sistemas de aire tienen menos fases de intercambio de energía (pasando el aire de los ambientes directamente por los colectores), lo que significa mayor eficiencia en cuanto a la relación de calor efectivamente aportado y energía incidente. Por otro lado, debido a los diferentes valores de calor específico y densidad de ambos fluidos, el agua tiene mayor capacidad para transportar calor: cierto volumen de agua puede transportar 3400 veces más calor que un mismo volumen de aire²⁷. En cuanto a la acumulación de calor sucede lo mismo, para almacenar cierta cantidad de calor precisamos un volumen mucho mayor de aire que de agua. Es por esto que en instalaciones de aire caliente, la acumulación se hace en general mediante depósitos con grava o piedras que absorben el calor y lo mantienen, mientras que en instalaciones de agua caliente el almacenamiento de calor se hace en depósitos con la propia agua.

Los sistemas con calentadores de agua básicamente funcionan con dos tipos de elementos terminales: la losa radiante y los radiadores. Cualquiera de estos casos, en particular la losa radiante, implica una instalación concebida desde el proyecto, no siendo sencilla su incorporación a edificios existentes. Los sistemas con calentadores de aire en general pueden acoplarse en mejor medida a edificios construidos.

Un problema fundamental de las instalaciones de calefacción con energía solar es que en los momentos en que la calefacción es más necesaria suele ser cuando la energía solar incidente es menor o nula, por ejemplo durante la noche. Es claro que por esto se debe complementar con otras fuentes energéticas. De todas formas, en el caso de la losa radiante, debido a la gran inercia propia del sistema, éste factor se ve reducido en comparación con otros sistemas de calefacción. La losa radiante es un sistema por acumulación, en el cual “el calor generado en la fuente se acumula y se puede ceder al ambiente en tiempo diferido”²⁸. En cierta manera, la propia estructura del edificio funciona como acumulador de calor. La losa radiante presenta en éste aspecto una ventaja frente a otros sistemas de captación solar.

Acerca de la calefacción mediante energía solar se pueden realizar ciertas aseveraciones. Primero, que si además de calefacción se pretende calentar agua para uso sanitario resulta más conveniente un sistema único mediante calentadores de agua. Segundo, que la generación solar

²⁷ <http://www.sitiosolar.com>

²⁸ Repartido “Introducción a Sistemas Complementarios”, Cátedra de Acondicionamiento Térmico, Facultad de Arquitectura, UdelAR.

conviene que sea entendida como reducción en el consumo de otras fuentes, no como única fuente energética. En tercer lugar, que la losa radiante, en comparación con otros sistemas, por su gran inercia térmica presenta una ventaja en el punto más débil de los sistemas solares: la ausencia de sol en las horas más frías. Por último, se puede establecer que en edificios ya construidos, si éstos cuentan con sistemas existentes de calefacción mediante agua caliente (losa radiante o radiadores) se podría incorporar colectores de agua; por el contrario sino es más factible la incorporación de colectores de aire.

De todas formas la posibilidad de utilizar los distintos sistemas depende en gran manera de cada caso particular. La posibilidad de ubicar colectores en azoteas o fachadas, las superficies disponibles para ello, la cantidad de horas de sol incidente o la presencia de obstrucciones son todos factores que determinan en gran medida si es viable o no aplicar cada sistema.

4. Incorporación de energía solar a sistemas existentes de calefacción.

a. Consideraciones generales.

Como se ha expuesto anteriormente, el presente trabajo pretende indagar en el aprovechamiento de estructuras existentes (instalaciones de losa radiante tradicionales) y convertirlas en sistemas que aprovechen la energía solar. La losa radiante es un sistema de calefacción bastante difundido en nuestro país en particular en edificios de vivienda en altura. En parte por esa razón este trabajo se centrará en éste tipo arquitectónico en particular, estudiando una instalación convencional.

Las posibilidades de **configuración del sistema** son variadas:

Generalmente los **colectores solares** a incorporar se ubican en azoteas para no interferir con los diseños de fachadas, aunque esto no deba ser necesariamente así, existiendo opciones de disposición además de en horizontal sobre los cerramientos verticales.

A su vez, existen habitualmente dos ubicaciones de la **sala de calderas** para sistemas de calefacción: en la planta baja o subsuelo o en la azotea. Al colocarla en la planta baja o el subsuelo se busca la cercanía a los tanques de combustible de modo de evitar recorridos de cañerías con combustible a través del edificio. En sentido opuesto, una ubicación en azotea minimiza problemas que se presentan para la evacuación de humos y de condensaciones que pueden dañar los equipos.²⁹

La ubicación de la caldera influirá en el rendimiento del sistema de energía solar. Si los colectores están situados sobre azotea, una caldera en planta baja implica mayores recorridos de cañerías y por ende mayores pérdidas térmicas. En caso que la caldera esté ubicada en la azotea dichas pérdidas térmicas son mínimas.

En cuanto a los dispositivos de **intercambio** y la relación entre los subsistemas, habitualmente se dispone de circuitos independientes (el circuito de captación solar, el circuito de losa radiante y el circuito de ACS) que en un mismo punto realizan el intercambio energético. De esta forma, el dispositivo intercambiador es un tanque de capacidad variable que por su interior circula uno o más serpentines, o un serpentín y un depósito interior independiente (sistema de doble envolvente). A su vez, el circuito emisor del calor y los circuitos receptores podrían estar en cualquiera de las posiciones (dentro o fuera de los serpentines).

Con respecto a los **dispositivos de control, bombas y automatismos**, se dispondrán de forma que permitan: primero, evitar que ingrese agua al acumulador cuando la temperatura en su interior sea mayor a la temperatura de los paneles (en caso de que no haya sido posible colocar el acumulador a una altimetría mayor que los paneles para funcionar por termosifón natural); segundo, enviar el retorno del circuito de LR directamente a la caldera sin pasar por el intercambiador (en el caso que en el depósito intercambiador la temperatura sea inferior al circuito de LR); tercero, encender la caldera en los momentos en que no se alcance la temperatura necesaria únicamente con energía solar (el termostato propio de la caldera podría cumplir esta función).

²⁹ Entrevista Arq. Daniel Ksiazienicki.

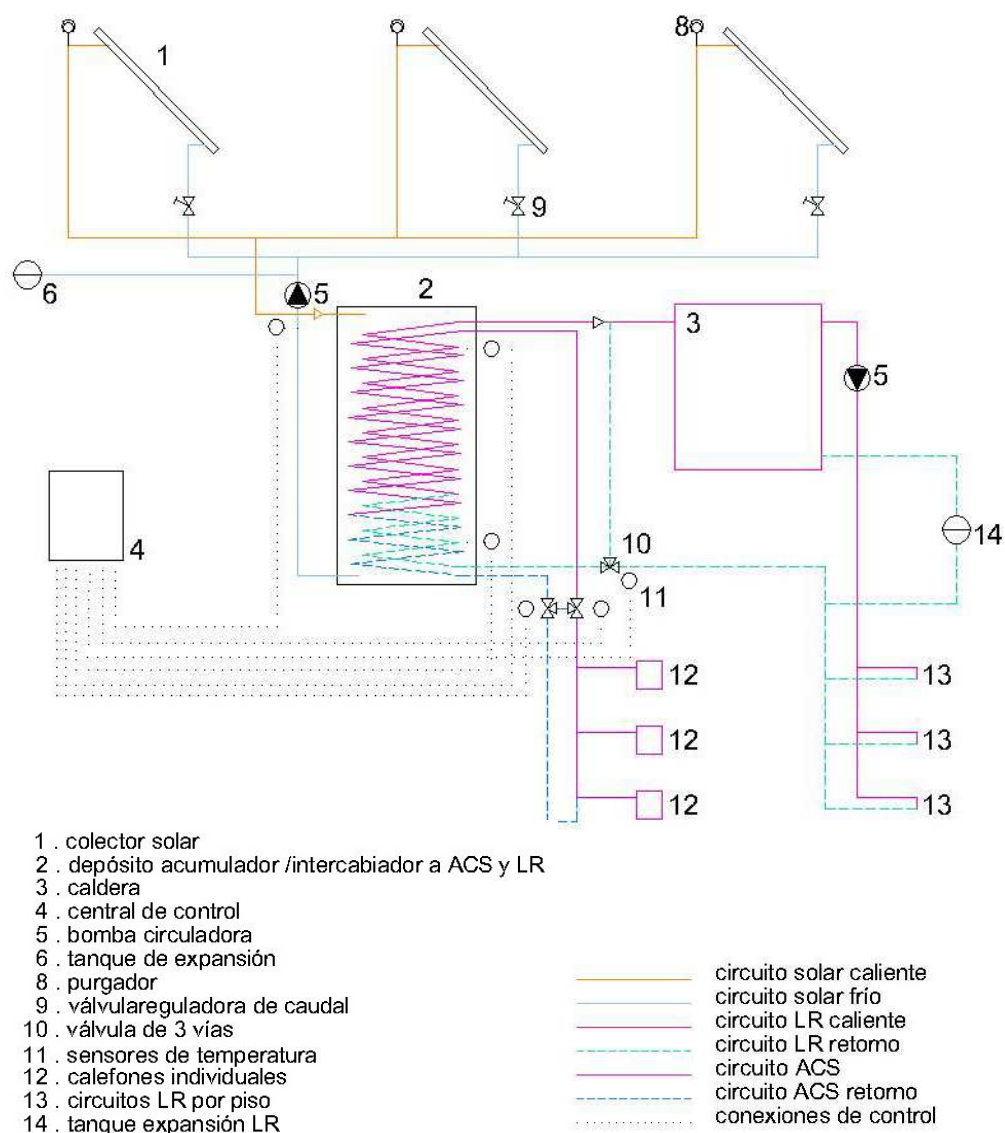


Fig. 8. Ejemplo de esquema de funcionamiento de un sistema de LR y ACS con captación solar.

b. Estudio de un caso concreto

Se realizó el estudio de la viabilidad de incorporar captación solar para un edificio en concreto (ver planos pág. 21 y 22).

Se estudió el caso de un edificio en altura con 10 plantas tipo de dos unidades de vivienda cada una que cuenta con calefacción por losa radiante en todos los ambientes, con un total de 120m² edificados a calefaccionar por planta. Para este edificio se proyecta una instalación de 74m² de captación solar, que es el máximo posible aprovechando el área horizontal de azotea. **Se busca establecer qué porcentaje de ahorro energético se puede obtener con dicha área y además, se pretende determinar el tiempo de amortización del costo de la instalación.**

Pueden plantearse muchas variaciones en la **configuración del sistema**. En este caso, de edificios de vivienda en altura con instalación existente de LR, que no cuentan con generación centralizada de ACS, se plantea un sistema de precalentamiento centralizado de ACS con incorporación de energía auxiliar individual: el agua recibe calor primariamente del circuito solar para conectarse a la instalación interna de cada unidad de vivienda y de ser necesario recibir más calor en los calefones particulares. Para este caso una configuración que se presenta como conveniente es tener un tanque intercambiador que acumule agua caliente proveniente de los paneles, pasando por su interior dos serpentines, uno de ACS y otro de LR, a los cuales se irá transfiriendo el calor. El agua del circuito de LR absorberá calor dentro del intercambiador para luego absorber más calor en la caldera.

El sistema de losa radiante funciona con una caldera a gas por cañería ubicada en la azotea. Sobre esto cabe hacer la siguiente valoración: el hecho que la caldera se ubique en la azotea es favorable para la instalación solar por la proximidad con la fuente solar, ya que implica pérdidas térmicas mínimas.

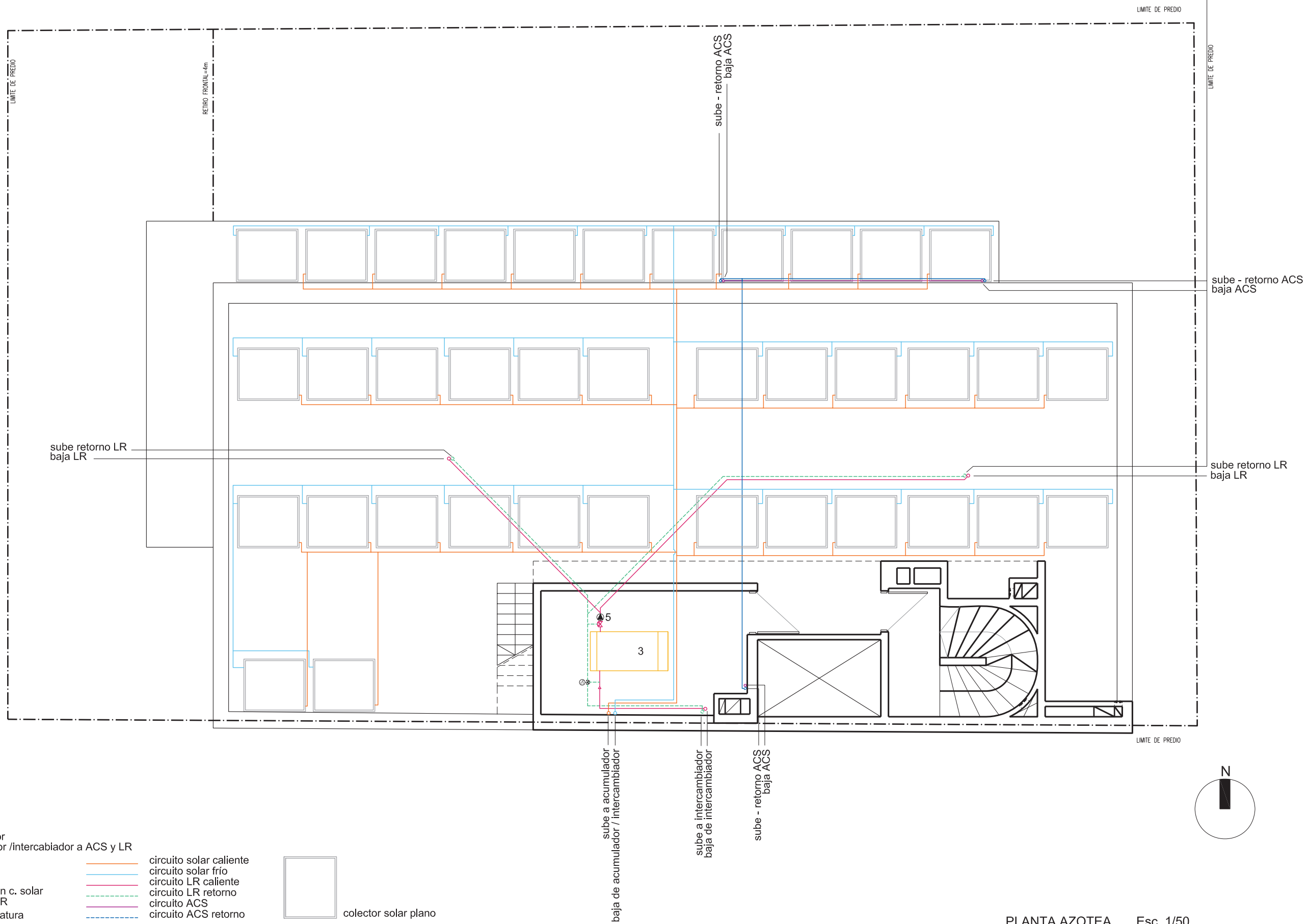
REFERENCIAS

- 1. depósito acumulador
- 2. depósito acumulador /intercambiador a ACS y LR
- 3. caldera
- 4. central de control
- 5. bomba circuladora
- 6. tanque de expansión c. solar
- 7. tanque expansión LR
- ⊙ sensores de temperatura

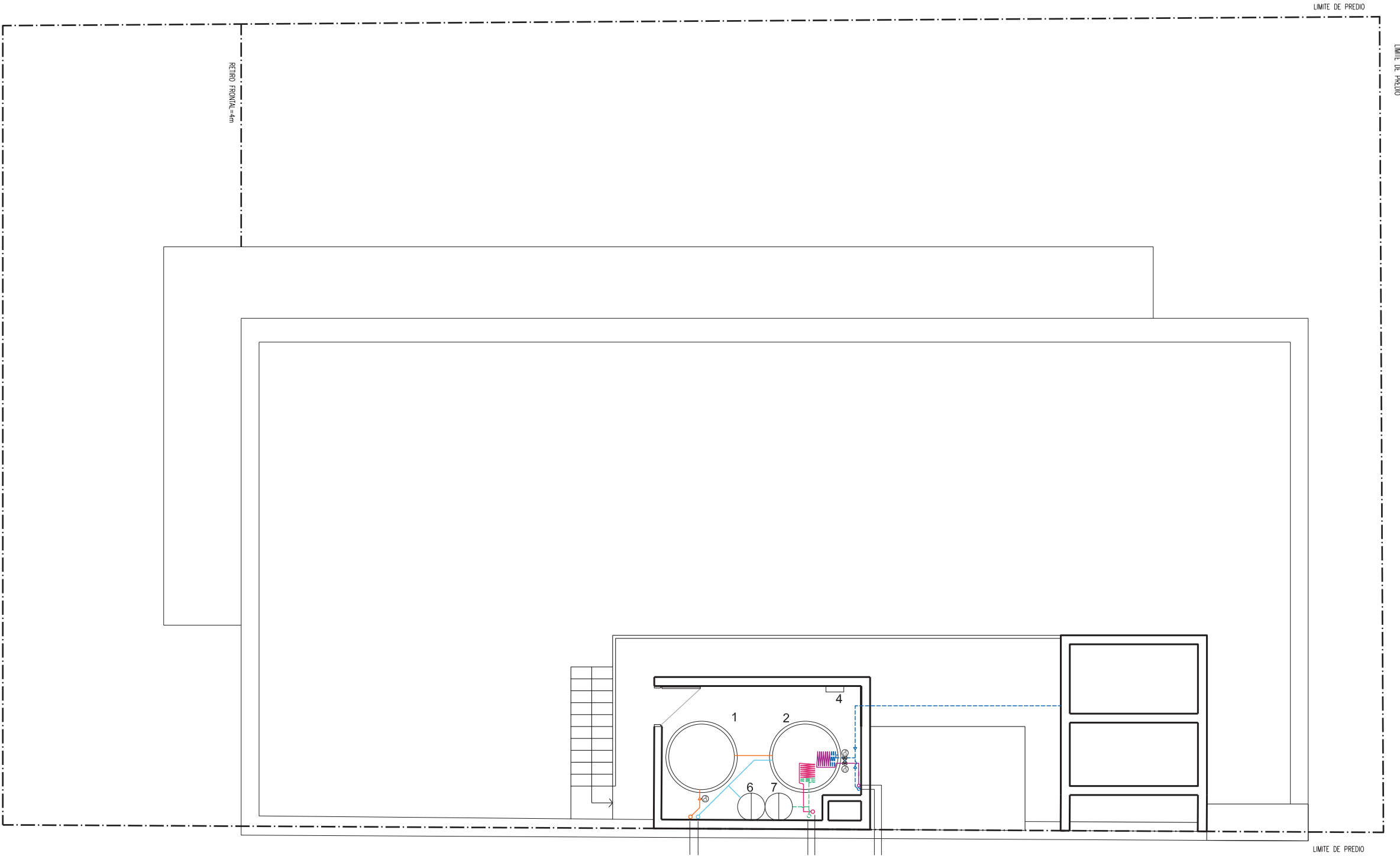
- circuito solar caliente
- circuito solar frío
- circuito LR caliente
- circuito LR retorno
- circuito ACS
- circuito ACS retorno



colector solar plano

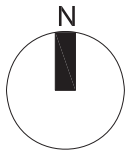


PLANTA AZOTEA . Esc. 1/50



REFERENCIAS

- 1 . depósito acumulador
 - 2 . depósito acumulador /intercambiador a ACS y LR
 - 3 . caldera
 - 4 . central de control
 - 5 . bomba circuladora
 - 6 . tanque de expansión c. solar
 - 7 . tanque expansión LR
 - ⊙ sensores de temperatura
- circuito solar caliente
 - circuito solar frío
 - circuito LR caliente
 - - - circuito LR retorno
 - circuito ACS
 - - - circuito ACS retorno



Como se ha expresado, se buscó establecer, primero, qué porcentaje de ahorro energético puede generarse, y segundo, el tiempo de amortización de la inversión a través del ahorro de combustible. Para esto se estudió, por un lado, el aporte de calor necesario (en Kcal/h) para lograr condiciones de confort, mediante un **balance térmico global**. Por otro lado se calcularon las **ganancias de calor** que se podrían generar a través de la captación solar. Además, se estimó el **costo** que tendría generar dichas condiciones de confort únicamente mediante la instalación original, para establecer así el porcentaje de ahorro generado por la energía solar. Por último se realizó la **comparación entre el costo de la instalación solar y el gasto en combustible para establecer el tiempo de amortización de la inversión**.

Como se mencionó anteriormente, para estimar las necesidades de calor del edificio se realizó un balance térmico global para cada mes del período frío (ver Anexo) que da como resultado los siguientes valores (tabla 3):

MESES	Qtotal (Kcal/h)
mayo	49793
junio	66311
julio	67762
agosto	63892
setiembre	54096

Tabla 3. Resultados de balance térmico global por mes.

De esta forma, se obtienen las cantidades de energía calorífica (en Kcal/h) necesaria para cada mes. Se realizó el análisis para los meses en que habitualmente se ponen en funcionamiento los sistemas de LR en Uruguay.

Para estimar la energía solar que se puede aportar se utilizó un método simplificado que, si bien no analiza en profundidad determinadas variables, sí cuantifica de manera bastante aproximada el ahorro energético generado. Para un cálculo más exacto del ahorro de combustible se debería realizar una serie de cálculos (cuantificando pérdidas térmicas en cañerías y almacenamiento, tiempos necesarios de funcionamiento de caldera, entre otros) que exceden los alcances del presente trabajo.

La tabla 4 ilustra el procedimiento de cálculo llevado a cabo:

Mes	plano horizontal		plano a 55°			
	Irradiancia (kwh/m ²) ³⁰	Factor de corrección R ³¹	Irradiancia (kwh/m ²)	Eficiencia ³²	Ganancia energética diaria (kwh/m ²)	Ganancia energética diaria (kcal/m ²)
Enero	6,4	0,73	4,67	0,5	2,34	2009
Febrero	5,6	0,83	4,65	0,5	2,32	1999
Marzo	4,4	0,99	4,36	0,5	2,18	1873
Abril	3,3	1,21	3,99	0,5	2,00	1717
Mayo	2,4	1,50	3,60	0,5	1,80	1548
Junio	1,9	1,63	3,10	0,5	1,55	1332
Julio	2,2	1,60	3,52	0,5	1,76	1514
Agosto	2,7	1,31	3,54	0,5	1,77	1521
Setiembre	3,7	1,06	3,92	0,5	1,96	1686
Octubre	4,8	0,88	4,22	0,5	2,11	1816
Noviembre	6,0	0,76	4,56	0,5	2,28	1961
Diciembre	6,3	0,71	4,47	0,5	2,24	1923

Tabla 4. Ganancia energética diaria por metro cuadrado de área de captación solar.

³⁰ "Mapa solar del Uruguay", Dirección Nacional de Energía.

³¹ "Fracción difusa a partir de Correlación Erbs. Razón R a partir de Modelo Isotrópico. Decreto 314-010, Pliego Condiciones Técnicas, MIEM DNETN.

³² Dato empírico suministrado por Sr. Alejandro Baroni.

En principio, se obtuvo el valor de energía solar incidente por metro cuadrado. Para ello se cuenta con los valores de irradiancia para Montevideo del Mapa Solar del Uruguay. Dichos valores corresponden a las mediciones de irradiación solar global diaria para el plano horizontal, por lo que se le debe aplicar un factor de corrección o razón "R" para superficies inclinadas. En este caso se trata de una orientación NORTE a 55° del plano horizontal.

A dicho valor de energía incidente se le aplicó un coeficiente de rendimiento que contempla ciertas pérdidas térmicas, mediante el cual se establece que efectivamente se incorpora al sistema aproximadamente un 50% de dicha energía solar incidente. A partir de ésta eficiencia se logra calcular una ganancia energética efectiva por metro cuadrado para los distintos meses del año.

Con este dato se puede estimar el ahorro energético diario (en kcal) generado por metro cuadrado de captación. A partir de este valor, multiplicando la ganancia energética efectiva diaria por los días correspondientes al período de invierno, se obtiene un ahorro energético anual de 232602kcal.

Ejemplo: mes de junio.

Irradiancia sobre plano horizontal por m² captación= 1,9 kwh

Factor de corrección R para ángulo a 55°= 1,63

Irradiancia sobre plano a 55°= 1,9 x 1,63= 3,10 kwh

Ganancia energética diaria por m² captación = 3,10 kwh x 0,5 = 1,55 kwh

Ganancia energética diaria por m² captación = 1,55 kwh x 860= 1332 kcal

Ahorro energético anual por m² captación = (1548 x 31) + (1332 x 30) + (1514 x 31) + (1521 x 31) + (1686 x 30)

Ahorro energético anual por m² captación =232602 kcal

Viabilidad económica: cálculo del tiempo de amortización de la inversión:

Comparando el costo de generar dicha energía mediante combustibles tradicionales con el costo medio por metro cuadrado de instalación solar se puede estimar el tiempo de amortización del sistema. Así, **si comparamos los U\$S 500³³ de costo de instalación solar con el costo en gas de generar las 232602 kcal que aporta el metro cuadrado de captación solar por año obtenemos el tiempo de amortización de la inversión.** A éste cálculo se le incorpora una cifra de costos de mantenimiento, que si bien proveedores locales la desestiman, algunas publicaciones extranjeras las tienen en cuenta.³⁴ A los efectos del cálculo, se toma un valor de 1,5% de la inversión total por año por metro cuadrado.

Costo instalación solar por m ² de panel (\$)	9500,00	Costo instalación solar por m ² panel = 500 x \$19 = \$9500
Energía generada por año por m ² (kcal)	23260,91	Costo 1000 kcal gas = \$1,67
Costo 1000 kcal gas (\$)	1,67	Ahorro anual gas por m ² panel= 232602 kcal x \$ 0,00167= \$ 387,95
Ahorro anual gas (\$)	387,95	Gastos mantenimiento anual por m ² panel= \$9500x0,015 = \$142,50
Gastos mantenimiento (\$)	142,50	Tiempo amortización= \$9500 / (\$387,50 - \$142,50) = 38,7 años
Tiempo amortización gas (años)	38,70	

Tabla 5. Cálculo amortización de inversión en instalación a gas.

De esta forma, si la instalación existente funciona a gas natural, el tiempo de amortización es de aproximadamente 39 años. Éste tiempo de amortización es el correspondiente a la utilización de la instalación únicamente para calefacción, pero si tenemos en cuenta que la instalación solar será usada el resto del año para producir ACS, los tiempos de amortización serán menores. En la siguiente tabla se calcula el ahorro total anual en electricidad para ACS (de octubre a abril) generado por la instalación solar. Éste se calculó en base al consumo y no al aporte por metro cuadrado de panel porque la instalación, durante esos meses, generaría algo más de energía que la que sería utilizada efectivamente.

Consumo medio mensual calefón eléctrico por apto. (kwh) ³⁵	160,00	Consumo total de octubre a abril= 160 kWh x 20 calefones x 7 meses= 22400 kWh
Consumo total de octubre a abril (kwh)	22400,00	
Costo kwh electricidad (\$)	4,07	
Factor de ahorro	0,70	Ahorro total anual en ACS = 22400 kWh x 0,7 x \$4,07= \$63817,6
Ahorro total anual en ACS (\$)	63817,60	

Tabla 6. Cálculo ahorro en electricidad para ACS.

Si dividimos ésta cifra de ahorro anual en ACS por los 74 m² de paneles podemos asignar una cifra de ahorro a cada m² de instalación solar. De ésta forma, el tiempo de amortización es de aproximadamente 9 años si la instalación es usada para calefacción en invierno y ACS en verano (ver tabla 7).

Ahorro anual gas (por m ² panel) (\$)	387,95	Tiempo de amortización = \$9500 / (\$387,95 + \$862,40 – \$142,50)= 8,58 años
Ahorro anual ACS (por m ² panel) (\$)	862,40	
Gastos mantenimiento (\$)	142,50	
Tiempo amortización (años)	8,58	

Tabla 7. Cálculo amortización de inversión en instalación a gas con ACS.

³³ Dato aportado por Sr. Alejandro Baroni

³⁴ <http://www.portalenergia.es/>

³⁵ <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy>

Debido a que gran parte de las instalaciones de losa radiante funcionan con calderas a gasoil, resulta interesante realizar los mismos cálculos teniendo en cuenta el costo de dicho combustible. En ese caso, queda definido el tiempo de amortización en 13 años si la instalación se utiliza únicamente para calefacción, y en 6 años si se la aprovecha para ACS el resto del año (ver tablas 8 y 9).

Costo instalación solar por m ² de panel (\$)	9500,00
Energía generada por año por m ² (kcal)	232602,91
Costo 1000 kcal gasoil (\$)	3,82
Ahorro anual gasoil (\$)	888,54
Gastos mantenimiento (\$)	142,50
Tiempo amortización gasoil (años)	12,73

Tabla 8. Cálculos amortización de inversión en instalación a gasoil.

Ahorro anual gasoil (por m2 panel) (\$)	888,54
Ahorro anual ACS (por m2 panel) (\$)	862,40
Gastos mantenimiento (\$)	142,50
Tiempo amortización (años)	5,91

Tabla 9. Cálculos amortización de inversión en instalación a gasoil con ACS.

En resumen, teniendo en cuenta los distintos tipos de instalaciones, obtenemos los siguientes tiempos de amortización (ver tabla 10):

Tipo de instalación	Uso de la instalación	Tiempo de amortización
GAS	Calefacción	39 años
	Calefacción y ACS	9 años
GASOIL	Calefacción	13 años
	Calefacción y ACS	6 años

Tabla 10. Tiempos de amortización según tipo y uso de instalación.

Estudio energético:

En la tabla 11 se muestra la ganancia efectiva total de la instalación de 74 m² de colectores, y se la compara con el aporte térmico total del sistema de calefacción. De esta forma se puede observar que, para el edificio en cuestión y con la instalación proyectada, apenas se logran cubrir entre 6 y 10% de las necesidades térmicas mediante energía solar. Esto demuestra que para obtener valores mas significativos de aporte energético se necesitan áreas de captación mayores.

Mes	Ganancia energética diaria (kcal/m ²)	Á captación (m ²)	Ganancia energética diaria (kcal)	Aporte térmico necesario diario (Kcal)	Ahorro generado (%)
Enero	2009	74	148663		
Febrero	1999	74	147899		
Marzo	1873	74	138608		
Abril	1717	74	127057		
Mayo	1548	74	114552	1195032	9,59
Junio	1332	74	98547	1591464	6,19
Julio	1514	74	112006	1626288	6,89
Agosto	1521	74	112547	1533408	7,34
Setiembre	1686	74	124798	1298304	9,61
Octubre	1816	74	134408		
Noviembre	1961	74	145099		
Diciembre	1923	74	142331		

Tabla 11. Porcentaje de ahorro mensual generado.

5. Conclusiones

a. Análisis de los resultados

Los datos obtenidos permiten extraer varias conclusiones acerca de la posibilidad de incorporar energía solar a instalaciones existentes de losa radiante en nuestro país.

En primer lugar, se puede concluir que **la incorporación de energía solar es completamente viable desde el punto de vista económico si se aprovecha la instalación para generar ACS cuando la calefacción no es necesaria**. Si se consideran los tiempos de amortización obtenidos, (de 9 y 6 años para gas y gasoil respectivamente), teniendo en cuenta que la vida útil de la instalación es del entorno de los 30 años, se estaría obteniendo energía gratuita por períodos de más de 20 años. Por el contrario, si sólo se usa la instalación para calefacción, los tiempos de amortización pasan a ser mucho mayores. Así resultaría ventajoso únicamente si el combustible a sustituir es gasoil, por lo menos con los valores actuales de mercado.

Cabe valorar que las estimaciones realizadas del tiempo de amortización fueron hechas en base a los costos (tanto de la instalación solar como de combustibles) en el medio local para el año 2011. Es de suponer, teniendo en cuenta el creciente uso de la tecnología y también la posibilidad de que aparezcan incentivos desde el Estado, que los costos de las instalaciones solares puedan bajar en el futuro. Además, por ser una tecnología relativamente nueva, aún en algunos términos en fase de estudio y por ende en constante desarrollo, las eficiencias de los sistemas tienden a mejorar, por lo que también supondría una disminución de su costo relativo con respecto a otras tecnologías “viejas” que ya han alcanzado determinados niveles de desarrollo. Por otro lado, los costos de los combustibles no renovables (ante una demanda creciente o estable y una oferta decreciente por definición) tienden a aumentar continuamente. Entonces, las fórmulas planteadas pueden ser actualizadas según valores futuros, seguramente arrojando plazos de amortización más reducidos.

Por otro lado, se demuestra que para el caso concreto estudiado **la superficie de captación proyectada resulta insuficiente para obtener valores significativos de ahorro energético en calefacción**. No resulta tentador realizar la adaptación del sistema para obtener porcentajes de ahorro de entre 6 y 10% del total de energía consumida. De todas formas, quedaría abierta la posibilidad de estudiar cómo obtener superficies de captación mayores, por ejemplo instalando colectores en fachadas, de manera de lograr porcentajes de ahorro energético más significativos.

En caso de instalar mayores superficies, la instalación quedaría sobredimensionada a los efectos de abastecer ACS durante los meses cálidos. Los 74 m² proyectados ya exceden la superficie necesaria para dicho uso; cada metro cuadrado que se incremente será (en principio) utilizado solamente para calefacción. Así, el ahorro calculado por metro cuadrado de captación decrecerá a medida que crezca la superficie, por ende haciendo aumentar el tiempo en que se amortiza la inversión, hasta llegar al punto en que la instalación deja de ser viable. Experiencias han mostrado que es viable incorporar energía solar para cubrir aproximadamente hasta el 20% de la energía consumida en calefacción³⁶. A modo de ejemplo, para el caso estudiado, con una superficie de captación de 170 m² se lograría cubrir entre un 14 y 22% de las necesidades energéticas, dependiendo del mes. Considerando que la superficie a calefaccionar es de 1200 m², significaría una relación entre superficie de captación y superficie a calefaccionar de 1/7. Otras experiencias indican que sería viable cubrir hasta el 70% de las necesidades energéticas de una vivienda contando con una superficie de captación de 1/3 de la superficie a calefaccionar.³⁷

³⁶ Dato aportado por Ing. Julio Kiss en entrevista telefónica con Arq. Eduardo Brenes.

³⁷ Datos arrojados por sistema experimental de empresa Activehomes. <http://www.activehomes.info>

b. Reflexiones.

La principal desventaja de calefaccionar utilizando energía solar es que en los momentos del año en que la energía solar es más abundante (en verano) es cuando la calefacción no es necesaria. Para el clima uruguayo, las grandes superficies de captación necesarias para lograr porcentajes significativos de ahorro energético en calefacción implican altas cantidades de energía sobrante durante los períodos de más incidencia solar. Así, queda abierta la interrogante de **cómo aprovechar la energía excedente en verano**.

La generación de **agua caliente de uso sanitario** ya ha sido estudiada como complemento necesario de una instalación de calefacción con energía solar. Se ha visto que para el programa arquitectónico que se estudió, las superficies de captación necesarias para calefacción (para obtener valores significativos de reducción de otras fuentes energéticas) son mayores a las requeridas para agua caliente de uso sanitario. La generación de ACS es fundamental para amortizar la inversión en períodos relativamente breves, pero no aprovecha la totalidad de la energía disponible en verano.

La **climatización de piscinas** se presenta como otra opción adecuada para aprovechar la energía excedente. Dado que los momentos de uso de la piscina son precisamente aquellos en los que no es necesaria la calefacción, es que ambos sistemas se presentan como convenientemente complementarios. De esta forma, se extiende en forma sustancial el tiempo de uso de la piscina. En este caso, sería necesario agregar un nuevo dispositivo de intercambio que funcione asociado a un controlador que, cuando no esté funcionando la calefacción y exista energía excedente para ACS, active el sistema de climatización de la piscina.

Además, otra posibilidad se basa en la idea de que teóricamente se puede generar frío a partir de sistemas de inversión de bomba de calor con **equipos por absorción**, logrando hacer circular agua fría por las losas y refrigerando los ambientes. En el mercado uruguayo actualmente estos equipos tienen costos demasiado elevados, no siendo rentable su utilización.³⁸ De utilizarse este sistema, deben considerarse la incorporación de deshumidificadores para evitar posibles condensaciones no deseadas.

Una instalación solar sobredimensionada (más allá de proporcionar energía no aprovechada) eleva la temperatura del agua a valores demasiado altos que deben ser evitados para no ocasionar daños a las instalaciones. Para mantener las temperaturas debajo de los límites admisibles pueden preverse dos soluciones: **cubrir los paneles** que generan el excedente de forma de “anularlos” en el período de mayor incidencia solar, o instalar un **disipador** de dicha energía. Esta segunda alternativa, se lleva a cabo mediante sensores de temperatura que, cuando éstas alcanzan valores excesivos, dirijan el flujo de agua hacia un serpentín disipador que libera energía reduciendo la temperatura del agua. Esta alternativa, además de no aprovechar la energía disponible, genera un gasto energético y económico adicional dada la necesidad de incorporación de dispositivos al sistema (controles, disipadores, ventiladores, etc.).

Consideración final:

Del análisis de los datos obtenidos en el estudio se extraen distintas conclusiones y, a su vez, surgen nuevas interrogantes. Se intentó insinuar posibles caminos para responderlas, quedando abiertas las puertas para futuros análisis e investigaciones con mayor profundidad.

Próximos estudios podrían incluir: análisis del aprovechamiento de la energía excedente para refrigeración e indagación sobre otros posibles usos de dicha energía en el período cálido; incorporación de energía solar para otros programas cuyos distintos requerimientos pueden hacer variar las ecuaciones de viabilidad; incorporación de energía solar para otros tipos y/o escalas arquitectónicas; aplicación en otros sistemas de calefacción, como por ejemplo con radiadores y/o con otras fuentes de energía.

³⁸ Dato proporcionado por Ing. Julio Kiss en entrevista telefónica con Arq. Eduardo Brenes.

6. Fuentes consultadas:

Bibliografía:

- **“La incorporación de energía solar al proyecto arquitectónico”**, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa - Agencia Andaluza de Energía.
- **“Instalaciones de aire acondicionado y calefacción”**, Néstor Quadri, Librería y Editorial Alsina, Buenos Aires
- **“Arquitectura solar: realización y proyectos a escala mundial”**, Szokolay.
- **“Energía solar y edificación”**, Szokolay, Editorial Blume, Barcelona.
- **“Instalaciones Técnicas en Edificios”**, Konrad Sage, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- **“Instalaciones en los Edificios”**, Charles Merrick Gay, Charles de van Fawcett, William J. Mc. Guinness, Benjamin Stein, Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona.
- **“Calefacción, Enciclopedia de la Climatización”**, Martín Llorens, Grupo Editorial CEAC, S.A., España.
- **“La Energía Solar en la Edificación, Aplicaciones para el agua caliente y la calefacción”**, Guillermo Yañez, Ministerio de la Vivienda, Servicio Central de Publicaciones, Gráficas E. Sánchez, España.
- **Manual “Energía solar térmica”**, parte de una edición de tres volúmenes de resultados técnicos del proyecto “GreenPro”, dentro del marco del programa ALTENER de la Unión Europea para promover el uso de fuentes renovables. (<http://www.greenpro.de/po/solartermico.pdf>).
- **“Ley de energía solar térmica: implicancias, obligaciones y beneficios para su aplicación”**, Mesa Solar.
- **“Fracción difusa a partir de Correlación Erbs. Razón R a partir de Modelo Isotrópico”**. Decreto 314-010, Pliego Condiciones Técnicas, MIEM DNETN.
- **“Procesos termosolares en baja, media y alta temperatura”**, Cap. VI, ACS, calefacción y refrigeración por energía solar, Pedro Fernández Díez, Departamento de Energía Eléctrica y Energética, Universidad de Cantabria.
- **“Generación de agua caliente por energía solar térmica”**, Nora Pazos - Cátedra de Acondicionamiento Sanitario de Facultad de Arquitectura, UdelAR.
- **“Repartido Cátedra de Instalaciones”**, Facultad de Arquitectura, UdelAR.
- **“Repartido Cátedra de Acondicionamiento Térmico”**, Facultad de Arquitectura, UdelAR.
- **Repartido “Introducción a Sistemas Complementarios”**, Cátedra de Acondicionamiento Térmico, Facultad de Arquitectura, UdelAR.
- **Presentación “Clase sustentabilidad”**, Cátedra de Teoría II, Facultad de Arquitectura, UdelAR.

Entrevistas:

- **Entrevista personal con Arq. Daniel Ksiazienicki**, Arquitecto especializado en proyecto y ejecución en sistemas de calefacción.
- **Entrevista personal con Sr. Alejandro Baroni**, Baroni Acondicionamiento Térmico y Grillo Calentadores de Agua Solares, empresa de fabricación, diseño e investigación de sistemas solares térmicos.
- **Entrevista personal con Sr. Marcelo Paladino**, Mundo Solar, empresa importadora e instaladora de tecnología solar-térmica.
- **Entrevista telefónica de Arq. Eduardo Brenes con Ing. Eduardo Rovira**, Ingeniero Industrial con especialización en energía; director de ASUAN, empresa de acondicionamiento térmico.
- **Entrevista telefónica de Arq. Eduardo Brenes con Ing. Julio Kiss.**

Sitios web:

- <http://www.meteorología.gub.uy>
- <http://www.sitiosolar.com>
- <http://mesasolar.org>
- <http://www.ancap.com.uy>
- <http://www.idae.es>
- <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy>
- http://www.montevideogas.com.uy/uc_9_1.html
- <http://www.solarserver.com>
- <http://www.activehomes.blogspot.com>
- <http://www.portalenergia.es/>
- <http://www.un-documents.net/k-001303.htm>
- http://www.redproteger.com.ar/poder_calorifico.htm
- <http://www.territorioverde.cl/energia/calefaccion.pdf>
- http://www.eia.doe.gov/emeu/states/sep_use/notes/use_b.pdf
(U. S. Energy Information Administration).
- <http://energia.mecon.ar/Electricidad/boletines/quinquenales/1991-1995/TABLA%20DE%20CONVERSIONES%20ENERGETICAS.html>
(Ministerio de Economía y Finanzas Públicas de Argentina).
- <http://www.tecnosolar.com.uy>

Proyecto de instalación de calefacción: el ejemplo estudiado es un proyecto de calefacción por losa radiante con calderetas individuales a gas proporcionado por Arq. Daniel Ksiazienicki que fue adaptado a un sistema centralizado para el presente trabajo.

Tutor: Arq. Eduardo Brenes.

Agradecimientos: Arq. Eduardo Brenes, Arq. Nora Pazos, Arq. Daniel Ksiazienicki, Sr. Alejandro Baroni, Ing. Eduardo Rovira e Ing. Julio Kiss a quienes agradecemos su amabilidad, disponibilidad y apoyo.

7. Anexo.

Cálculos balance térmico:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{trans}} + Q_{\text{inf}}$$

Q trans: pérdidas por transmisión.

Q inf: pérdidas por infiltración

$$Q_{\text{inf}} = Q_{\text{aire}} \times V \times n \times \Delta t$$

V : volumen del edificio (m³)

Qaire : 0.3 kcal/m² °C (producto del calor específico del aire por su densidad)

n: coeficiente de infiltración

Δt: diferencia de temperatura entre el exterior y el interior (°C)

BALANCE TÉRMICO GLOBAL DE INVIERNO MAYO

CERRAMIENTO	TIPO	ÁREA m ²	U (Cal/h°C m ²) ³⁹	Δt (°C)	Q trans. (Cal/h)
vidrio NORTE	simple	237,8	5,5	8,1	10592
muro NORTE	30 cm	260,2	1,8	8,1	3793
muro SUR (medianero)	30 cm	498,7	1,8	8,1	7271
vidrio OESTE	simple	102,5	5,5	8,1	4566
muro OESTE	30 cm	114,6	1,8	8,1	1671
muro ESTE	30 cm	224,1	1,8	8,1	3268
azotea	aislada	137,2	1,0	8,1	1111
piso	sobre PB interior	137,2	3,0	8,1	3334

35606

Temperatura interior: 22 °C

Temperatura exterior: 13,9 °C⁴⁰

$$\Delta t = 22,0 - 13,9 = 8,1 \text{ °C}$$

$$V = 3892,20 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{aire}} = 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ °C}$$

$$n = 1,5^{41}$$

$$\Delta t = 8,1 \text{ °C}$$

$$Q_{\text{inf}} = 0,3 \times 3892,20 \times 1,5 \times 8,1$$

$$Q_{\text{inf}} = 14187 \text{ kcal /h}$$

$$Q_{\text{trans}} = 35606 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{total MAYO}} = 49793 \text{ kcal/h}$$

³⁹ Tabla T I. Coeficiente de transmisión global (U), "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.

⁴⁰ www.meteorología.gub.uy

⁴¹ Tabla T II. Coeficiente para el cálculo de infiltraciones, "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.

BALANCE TÉRMICO GLOBAL DE INVIERNO JUNIO

CERRAMIENTO	TIPO	ÁREA m ²	U (Cal/h°C m ²) ⁴²	Δt (°C)	Q trans. (Cal/h)
vidrio NORTE	simple	237,8	5,5	11	14384
muro NORTE	30 cm	260,2	1,8	11	5151
muro SUR (medianero)	30 cm	498,7	1,8	10	8976
vidrio OESTE	simple	102,5	5,5	11	6201
muro OESTE	30 cm	114,6	1,8	11	2269
muro ESTE	30 cm	224,1	1,8	11	4438
azotea	aislada	137,2	1,0	11	1509
piso	sobre PB interior	137,2	3,0	10	4116

47044

Temperatura interior: 22 °C

Temperatura exterior: 11 °C⁴³ $\Delta t = 22 - 11 = 11 \text{ °C}$ $V = 3892,20 \text{ m}^3$ $Q \text{ aire} = 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ °C}$ $n = 1,5$ ⁴⁴ $\Delta t = 11 \text{ °C}$ $Q \text{ inf} = 0,3 \times 3892,20 \times 1,5 \times 11$ **$Q \text{ inf} = 19266 \text{ kcal/h}$** **$Q \text{ trans} = 47044 \text{ kcal/h}$** **$Q \text{ total JUNIO} = 66311 \text{ kcal/h}$** ⁴² Tabla T I. Coeficiente de transmisión global (U), "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.⁴³ www.meteorologia.gub.uy⁴⁴ Tabla T II. Coeficiente para el cálculo de infiltraciones, "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.

BALANCE TÉRMICO GLOBAL DE INVIERNO JULIO

CERRAMIENTO	TIPO	ÁREA m ²	U (Cal/h°C m ²) ⁴⁵	Δt (°C)	Q trans. (Cal/h)
vidrio NORTE	simple	237,8	5,5	11,3	14776
muro NORTE	30 cm	260,2	1,8	11,3	5291
muro SUR (medianero)	30 cm	498,7	1,8	10	8976
vidrio OESTE	simple	102,5	5,5	11,3	6370
muro OESTE	30 cm	114,6	1,8	11,3	2331
muro ESTE	30 cm	224,1	1,8	11,3	4559
azotea	aislada	137,2	1,0	11,3	1550
piso	sobre PB interior	137,2	3,0	10	4116

47970

Temperatura interior: 22 °C

Temperatura exterior: 10,7 °C⁴⁶ $\Delta t = 22,0 - 10,7 = 11,3 \text{ °C}$ $V = 3892,20 \text{ m}^3$ $Q_{\text{aire}} = 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ °C}$ $n = 1,5$ ⁴⁷ $\Delta t = 11,3 \text{ °C}$ $Q_{\text{inf}} = 0,3 \times 3892,20 \times 1,5 \times 11,3$ **$Q_{\text{inf}} = 19792 \text{ kcal/h}$** **$Q_{\text{trans}} = 47970 \text{ kcal/h}$** **$Q_{\text{total JULIO}} = 67762 \text{ kcal/h}$** ⁴⁵ Tabla T I. Coeficiente de transmisión global (U), "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.⁴⁶ www.meteorologia.gub.uy⁴⁷ Tabla T II. Coeficiente para el cálculo de infiltraciones, "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.

BALANCE TÉRMICO GLOBAL DE INVIERNO AGOSTO

CERRAMIENTO	TIPO	ÁREA m ²	U (Cal/h°C m ²) ⁴⁸	Δt (°C)	Q trans. (Cal/h)
vidrio NORTE	simple	237,8	5,5	10,5	13730
muro NORTE	30 cm	260,2	1,8	10,5	4917
muro SUR (medianero)	30 cm	498,7	1,8	10	8976
vidrio OESTE	simple	102,5	5,5	10,5	5919
muro OESTE	30 cm	114,6	1,8	10,5	2166
muro ESTE	30 cm	224,1	1,8	10,5	4236
azotea	aislada	137,2	1,0	10,5	1441
piso	sobre PB interior	137,2	3,0	10	4116

45501

Temperatura interior: 22 °C

Temperatura exterior: 11,5 °C⁴⁹ $\Delta t = 22,0 - 11,5 = 10,5 \text{ °C}$ $V = 3892,20 \text{ m}^3$ $Q \text{ aire} = 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ °C}$ $n = 1,5$ ⁵⁰ $\Delta t = 10,5 \text{ °C}$ $Q \text{ inf} = 0,3 \times 3892,20 \times 1,5 \times 10,5$ **$Q \text{ inf} = 18391 \text{ kcal/h}$** **$Q \text{ trans} = 45501 \text{ kcal/h}$** **$Q \text{ total AGOSTO} = 63892 \text{ kcal/h}$** ⁴⁸ Tabla T I. Coeficiente de transmisión global (U), "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.⁴⁹ www.meteorologia.gub.uy⁵⁰ Tabla T II. Coeficiente para el cálculo de infiltraciones, "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.

BALANCE TÉRMICO GLOBAL DE INVIERNO SETIEMBRE

CERRAMIENTO	TIPO	ÁREA m ²	U (Cal/h°C m ²) ⁵¹	Δt (°C)	Q trans. (Cal/h)
vidrio NORTE	simple	237,8	5,5	8,8	11507
muro NORTE	30 cm	260,2	1,8	8,8	4121
muro SUR (medianero)	30 cm	498,7	1,8	8,8	7899
vidrio OESTE	simple	102,5	5,5	8,8	4961
muro OESTE	30 cm	114,6	1,8	8,8	1815
muro ESTE	30 cm	224,1	1,8	8,8	3550
azotea	aislada	137,2	1,0	8,8	1207
piso	sobre PB interior	137,2	3,0	8,8	3622

38683

Temperatura interior: 22 °C

Temperatura exterior: 13,2 °C⁵² $\Delta t = 22,0 - 13,2 = 8,8 \text{ °C}$ $V = 3892,20 \text{ m}^3$ $Q_{\text{aire}} = 0,3 \text{ kcal/m}^2 \text{ °C}$ $n = 1,5$ ⁵³ $\Delta t = 8,8 \text{ °C}$ $Q_{\text{inf}} = 0,3 \times 3892,20 \times 1,5 \times 8,8$ **$Q_{\text{inf}} = 15413 \text{ kcal/h}$** **$Q_{\text{trans}} = 38683 \text{ kcal/h}$** **$Q_{\text{total SETIEMBRE}} = 54096 \text{ kcal/h}$** ⁵¹ Tabla T I. Coeficiente de transmisión global (U), "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.⁵² www.meteorologia.gub.uy⁵³ Tabla T II. Coeficiente para el cálculo de infiltraciones, "Repartido Cátedra de Instalaciones", Facultad de Arquitectura, Udelar.