

NORMA PARA CARACTERIZAR TÉRMICAMENTE A LOS SISTEMAS COMPACTOS SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA RESIDENCIAL EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Jorge R. Barral¹, Anahí Lanson², Federico Nores Pondal³, Alejandro Chiaravalotti⁴, Pablo Bertinat⁵, Joaquín Garat⁶

¹Grupo de Energía Solar, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto

²Grupo de Estudios de la Radiación Solar, Universidad Nacional de Luján

³Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar, Univ. Tecnológica Nacional Regional Buenos Aires

⁴Laboratorio de Energía Solar Térmica, SOEYM, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)

⁵Observatorio de Energía y Sustentabilidad, Universidad Tecnológica Nacional Regional Rosario

⁶Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Comisión de Energía Solar Térmica.

Tel. 0358-4758842 – Fax 0358-4676246 e-mail: jbarral@ing.unrc.edu.ar

RESUMEN: Este artículo describe el estudio realizado para la elaboración de una normativa que caracterice térmicamente los sistemas compactos de calentamiento de agua mediante energía solar residenciales en la República Argentina. La motivación para este trabajo la origina el hecho de instalación de equipos sin un conocimiento cabal de las prestaciones que estos dan para distintas condiciones climáticas y de descarga. Se propone la utilización de una Norma IRAM, basada en estándares internacionales, que permite ensayar un sistema compacto, dando como resultado una ecuación que estima la producción diaria de energía que proporcionaría una descarga completa del equipo. Se explican las tecnologías a las cuales aplica la norma y se comentan las mediciones que deben hacerse. Se remite este estudio a una norma existente en la Unión Europea, que toma por defecto la evaluación en cuatro ciudades de distintas regiones geográficas. Se hace un análisis comparativo en base a las latitudes de distintas ciudades de la República Argentina. Como ejemplo, se realizan estimaciones de predicción anual de un mismo equipo para dos ciudades distintas, observándose diferencias notables en fracción solar obtenida. Se proponen finalmente una serie de aspectos a trabajar para lograr un mejor aprovechamiento de la energía solar térmica residencial.

Palabras clave: calentadores solares compactos, producción de energía, clima, ensayos, normas.

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, el consumo de agua caliente sanitaria (ACS) es estadísticamente el segundo consumo energético de una vivienda, solo superada por la climatización (Gil, 2021). Hoy, mayoritariamente la energía que produce el calentamiento proviene de gas natural, gas envasado, electricidad, leña y carbón (Queipo y Pasetti, 2022), y sería sumamente importante poder reemplazar estas formas de energía por una energía limpia y renovable como la energía solar. Este reemplazo brindaría beneficio económico a los usuarios, como así también mitigaría efectos de gases de efecto invernadero. Se sumarían, además, la ventaja de la gratuidad del recurso energético y el hecho de que es una energía localizada, por lo cual no demanda tendido de largas redes de distribución.

El calentamiento de agua mediante energía solar es una de las aplicaciones más difundidas en el mundo y dentro de estas aplicaciones, el uso con fines residenciales de ACS es una de las más prometedoras (Weiss y Spörk-Dür, 2023). Para grandes edificaciones, probablemente el uso de sistemas forzados con muchos colectores y pocos tanques de almacenamiento puede ser una solución adecuada, pero para la provisión de ACS unifamiliar la utilización de sistemas compactos es más conveniente.

Consecuentemente, los calefones solares compactos son de uso absolutamente mayoritario en nuestro país. En los sistemas compactos, la superficie absorbadora de radiación solar y el almacenamiento se acoplan en una única unidad de geometría y tamaño predeterminado, no requieren bomba de circulación y son de simple y rápida instalación.

Estos equipos entran técnicamente dentro de los denominados energía solar térmica de baja temperatura, presentando, en pocos casos, algún nivel de baja concentración. Las tecnologías disponibles hoy en el país se basan en sistemas de tubos evacuados (son mayoría), equipos con colectores de placa plana y colectores con acumulación integrada (una minoría, de un único fabricante). Todos funcionan termosifónicamente, lo cual implica que el movimiento de calentamiento del fluido caloportador se realiza mediante convección natural. Funcionan conectados directamente al tanque de almacenamiento general de la vivienda o a la red de suministro, y alimentan el servicio de agua caliente de la casa por gravedad. Una buena referencia de fabricantes e importadores de estos equipos se encuentra en el Censo Nacional Solar Térmico realizado por el INTI (Sabre et al., 2020).

Para la aplicación de un equipo compacto a una necesidad determinada, hace falta como primera medida conocer la demanda energética. Lo habitual es realizar una estimación a partir del número de personas que harán uso del servicio, vinculando esto al tamaño del tanque de almacenamiento del equipo. En nuestro país se usa el criterio de 50 litros por persona por día. También se prevé un sistema de apoyo de energía convencional para compensar el impacto de una secuencia de varios días nublados corridos.

Es claro que esta estimación tiene una variabilidad importante, pudiendo resultar absolutamente innecesario el apoyo de energía convencional durante gran parte del verano en el centro y norte del país. O por otro lado, ante una secuencia de varios días nublados y fríos tener un porcentaje alto de uso de energía convencional. Es normal ver en las propagandas de venta de nuestro país que los equipos pueden “garantizar un 80 % de ahorro de energía”. ¿De dónde proviene tal aseveración? Aparentemente, solo se basa en la experiencia de fabricantes e instaladores, o proyecciones deducidas de resultados en otros países. Además, un potencial usuario puede presumir, sin un razonamiento técnico profundo, que un mismo equipo, ante una misma demanda de litros, no va a entregar la misma energía si se encuentra situado en Bahía Blanca o en la ciudad de La Rioja. La necesidad de ser asertivos es muy importante, ya que no es conveniente pagar por una instalación de un equipo chico que luego no satisfaga un buen porcentaje de consumo y es un gasto innecesario instalar un equipo muy grande para un consumo muy pequeño.

Si bien desde los años 70 hay fabricantes locales que comercializan sistemas de calentamiento de agua mediante energía solar, su uso se ha intensificado en los últimos 15 años, mayormente por la importación de equipos baratos de China y, últimamente, por el aumento de los combustibles fósiles y tarifas de energía. En 2009 el INTI inauguró su plataforma solar térmica, cuando comenzó a trabajar con los fabricantes locales, desde hace unos 10 años IRAM retomó el tratamiento de normativas sobre energía solar térmica y en 2017 se creó la Cámara de Fabricantes de Equipos de Energía Solar Térmica (CAFEEST). También, desde hace varios años, algunos laboratorios universitarios han estado trabajando en la medición del comportamiento térmico de colectores y sistemas compactos. Sin embargo, de los equipos compactos que se comercializan hoy en el país, ninguno, ni de fabricantes locales ni importados, ha cumplido con un ensayo que pueda indicar cual es la cantidad de energía anual que pueda cubrir para un determinado clima y demanda de usuario.

La mayoría de los países de Europa resolvieron un problema similar en el año 2000, mediante la puesta en marcha de la norma EN 12976-2 (2000), mediante la cual evalúan el comportamiento térmico de equipos para distintos climas de referencia de Europa y distintas demandas. Esta norma se basa en un ensayo que al menos tres laboratorios de Argentina están en condiciones de realizar, por lo cual sería muy conveniente poder establecer una normativa similar al respecto. La existencia de una norma trae ventajas tanto para los fabricantes como para los usuarios. En particular, la EN 12976-2, dedicada a la caracterización térmica de los equipos es de interpretación muy sencilla para los instaladores y para los propios usuarios. Atendiendo a la necesidad que surge de lo comentado en el párrafo anterior, en el Comité de Energía Solar Térmica de IRAM se ha comenzado a trabajar en una norma que contemple la realización de una caracterización térmica de los equipos compactos para la República Argentina.

La motivación para redactar este artículo es mostrar la necesidad descripta y poner en común este tema en la comunidad científica y en todos aquellos que se sientan protagonistas y consideren que pueden aportar a la discusión. Este artículo hace primeramente una presentación del funcionamiento básico de los sistemas compactos, con comentarios acerca de cómo influyen sus tecnologías. Seguidamente, se analiza el estado actual en el país respecto a las instalaciones que se están realizando. Se pasa luego a una explicación sobre la necesidad de una información sobre la producción de energía y el concepto de fracción solar, explicándose también brevemente la norma a utilizar para determinar la producción anual de un equipo. Se presenta finalmente el análisis de un mismo equipo para dos climas diferentes de la República Argentina, donde queda en evidencia la influencia del clima en la producción energética.

AGUA CALIENTE RESIDENCIAL Y LOS SISTEMAS COMPACTOS

En la Figura 1 se muestra el esquema de funcionamiento termosifónico de un sistema compacto básico residencial. En general el equipo es alimentado por el tanque de almacenamiento de la vivienda (entrada de agua fría), o si viene de la red directamente o de un tanque muy alto, suelen contar con un tanque de prellenado. Los sistemas pueden ser atmosféricos o presurizados. En el segundo caso suelen poseer un intercambiador de calor que soporte la alta presión, ya que un tanque de almacenamiento de alta presión encarece mucho el sistema.

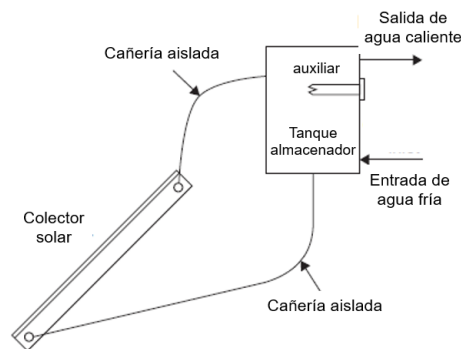


Figura 1: Esquema de conexión de un sistema de agua caliente solar compacto

Este esquema básico suele contar con el agregado de una válvula mezcladora para evitar que el agua llegue a muy alta temperatura al usuario, y eventualmente también una válvula de alivio por sobretensión y sobrepresión, para evitar que alguno de esos efectos dañe al equipo.

Una explicación más detallada de cada una de las tecnologías se puede hallar en Placco et al. (2010). En general se utilizan en Argentina sistemas de tubos evacuados inundados y de placa plana. En el caso de los de placa plana, hay varios modelos con intercambiador de calor que usan como fluido caloportador una mezcla de agua con glicol que no estará en contacto con el usuario. Los sistemas de tubos evacuados con tubo de calor han sido importados en menor medida; no son aconsejables en climas templados y templado-cálidos, ya que pueden alcanzar demasiada temperatura y son de costo bastante más elevado que los de tubos inundados. Los sistemas con acumulación integrada son explicados por Tügel y Sogari (2019) y aún de uso muy limitado en el país. No se incluyen en este análisis los sistemas activos ni los calentadores de piscinas.

Si bien un cálculo más preciso debería comenzar por la demanda de agua caliente, en estos casos sencillos se hace una estimación por cantidad de personas que habitan el lugar de la instalación. Se estima para Argentina un valor de 50 litros por persona por día. Teniendo en cuenta que la temperatura de baño está alrededor de los 42 °C (más o menos, dependiendo de la persona), es muy probable que días soleados de verano se tenga agua caliente en exceso y deba mezclarse con la fría, mientras que en días invernales o varios días corridos nublados deba necesitarse un apoyo de energía convencional. En este último caso se suelen utilizar calentadores en serie a la salida o hay equipos que incluyen en la parte superior del almacenamiento una resistencia eléctrica como elemento calefactor

EL ESTADO ACTUAL DE LAS INSTALACIONES QUE SE REALIZAN

Tal lo reflejado por el Censo Nacional Solar Térmico del INTI (Sabre et al., 2020), la mayoría de las instalaciones residenciales son realizadas con sistemas de tubos evacuados compactos, con una altísima incidencia de equipos importados. A 2019 se estima un 22 % de sistemas instalados de origen nacional. Estas instalaciones se dan mayormente en sectores poblacionales que están en las periferias de las ciudades y no tienen acceso a gas natural, y en pueblos y ciudades enteras a las cuales aún no ha llegado el gas natural. Obviamente, también en pobladores aislados en campos y sectores montañosos. Si bien hay intenciones de ir sincerando las tarifas energéticas, el fuerte subsidio que aún persiste, sigue operando en contra de la difusión de esta opción energética.

Ha habido varios emprendimientos nacionales y provinciales para favorecer el desarrollo de estas tecnologías, su difusión e instalación, con éxito variados, atendiendo a las problemáticas económicas propias del país. Como se mencionara anteriormente, operaron positivamente el INTI desde 2009, y la Secretaría de Comercio Interior que impulsó la creación de la Cámara de Fabricantes de Equipos de Energía Solar Térmica (CAFEEST). Desde 2014 el INTI inició su trabajo para la Certificación de Instaladores Nivel II (INTI, 2023), que a la fecha ha tenido relativo éxito, ya que solo operó en Buenos Aires, no fue replicado en otras provincias y hay hoy muy pocos instaladores certificados, siendo la mayoría de los instaladores gasistas, plomeros u idóneos sin formación profesional. Está haciendo falta una ley solar térmica nacional para ordenar todo el sistema. Un proyecto fue ya presentando tres veces y todas las veces perdió estado parlamentario por no tratamiento en las cámaras.

Secretaría de Comercio emitió dos resoluciones: (a) la 520 en 2018, Reglamento Técnico que establecía los requisitos técnicos de calidad y seguridad que deben cumplir los colectores solares y sistemas solares compactos, que se comercializaran en el territorio de la REPÚBLICA ARGENTINA, determinando los ensayos a realizar a los equipos y un cronograma de cumplimiento de etapas que no se pudo cumplir, y (b) la 753 en 2020, que mejora la anterior, prevé el cumplimiento de gran parte de normas IRAM, y aunque en particular prevé el cumplimiento de la IRAM 210015-1, que incluye el ensayo que tratamos en este trabajo, queda en abstracto su aplicación, al no establecerse en qué lugares y cómo se harán las predicciones de rendimiento anual, y esa parte al menos, no se está aplicando.

En el año 2021, en el marco del Ministerio de Desarrollo Productivo se diseñó y puso en marcha el Programa de Desarrollo de la Industria Solar Térmica (PRODIST). Los objetivos del mismo se asociaron a la idea de promover y fortalecer el desarrollo de un sector productivo nacional vinculado a la energía solar térmica, incrementar en cantidad y calidad la fabricación local de equipos, promover su incorporación en los hogares, producir ahorros energéticos y económicos para las familias y para el estado y producir ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero entre otros. El PRODIST avanzó mediante un convenio con el Ministerio de Desarrollo Territorial y Hábitat a través del cual se planteó la posibilidad de implementar en el marco del Programa Casa Propia la incorporación de calefones solares en las nuevas viviendas (Arraña et al., 2022).

Este proceso permitió trabajar en la capacitación y apoyo al personal de los diferentes Institutos de Vivienda de las diversas provincias que ayudó a establecer pautas para la incorporación de sistemas solares térmicos. Se trabaja en apoyo a los IPV en lo relativo a confección de pliegos, especificaciones técnicas, pautas para las instalaciones etc. Por otro lado, se trabajó en el apoyo a los fabricantes nacionales mediante líneas de crédito y apoyo técnico desde INTI para mejorar e incrementar la producción. A dos años de iniciado este proceso, más allá de las dificultades que se presentan se ha logrado multiplicar por 4 en dos años la cantidad de equipos nacionales comercializados. Aunque incompleto y aún en proceso de desarrollo, el PRODIST podría tener la capacidad de traccionar el crecimiento del mercado solar térmico con fabricación de equipos en el país.

LA NECESIDAD DE CARACTERIZAR TÉRMICAMENTE LOS EQUIPOS COMPACTOS

Aunque los sistemas termosifónicos son de las aplicaciones más antiguas que hay, su funcionamiento hidráulico que depende de la intensidad de la radiación solar, hace que su comportamiento sea de permanente estado transitorio y durante años la medición y predicción de funcionamiento fue altamente

incierto, basándose los diseños y aplicaciones en la experiencia de cada fabricante. Después de un arduo trabajo de varios años de comisiones internacionales, los esfuerzos cristalizan en el año 1995 a través de la ISO, con las primeras normas que permitieron caracterizar a los sistemas por su producción anual de energía (Carvalho y Naron, 2000). Una de esas normas ha sido procesada y adaptada por IRAM para generar la IRAM 210004, que determina los ensayos a hacer para obtener una caracterización del comportamiento térmico del equipo en estudio y estimar la provisión de agua caliente que es capaz de dar dicho equipo en un año en un determinado clima.

Si bien los equipos importados dicen que cumplen varias de normas (generalmente de China, Europa y USA), no proveen un certificado de su caracterización térmica, y no lo podrían hacer porque no han utilizado las condiciones climáticas de Argentina. Traen en general un buen manual de armado, pero no certificados de mediciones y resultados. Asimismo, los fabricantes locales tampoco han realizado los ensayos térmicos de sus equipos, por lo cual, lo que se mencionó anteriormente, el decir que un equipo determinado cubre un 80 % de la demanda, puede obedecer a una suposición basada en datos de otros países o la eventual experiencia del fabricante, pero no a una certificación de un organismo autorizado para tal fin.

Muchos usuarios e incluso instaladores y profesionales demandan un etiquetado de los equipos del tipo de los que se usan para eficiencia de consumo, con letras y colores. Eso es muy dificultoso en este caso, ya que estos equipos no consumen energía, la producen, y encima dependen del clima. De hacerse algo así, implicaría etiquetas variables para un mismo equipo dependiendo de dónde se le instale. Lo más sensato es poder decir cuánta energía anual va poder entregar un equipo instalado en cierto lugar y para determinada cantidad de usuarios.

Como estos equipos son bienes de un valor relativamente alto, a lo cual se le suma el costo de la instalación, el asesoramiento que del vendedor o instalador debe ser lo más certero posible para no subdimensionar, sobredimensionar o instalar un calefón de calidad inadecuada para la prestación que debería dar. Como ejemplo, sería absolutamente inapropiado, colocar un equipo muy caro, tipo tubo de calor (*heat pipe*) en La Rioja o Jujuy, donde estaría probablemente varios días hirviendo, cuando la necesidad de una familia se podría atender con un equipo mucho más modesto. Caso contrario, no se puede pretender ir con un equipo para climas templados a Chubut o Santa Cruz, donde la cobertura energética solar sería absolutamente baja, justificándose allí un equipo de tubos de calor. Debe tenerse en cuenta, además, que gran parte de la población que requiere estos servicios, es de condición socio económica comprometida, por lo cual el costo del equipo es una variable central.

La función de la norma faltante sería poder estimar en forma confiable el porcentaje de energía de demanda que va a poder cubrirse con energía solar. A esto se le denomina “Fracción Solar”. Y dicha demanda, obviamente está vinculada al clima, a menor radiación, menos fracción solar, si la temperatura del agua a calentar es baja, menos fracción solar. Para ello, la norma debe ser comprensible no solo para los profesionales, sino también para los vendedores de equipos, instaladores y los propios usuarios.

NORMA IRAM 210004 - AVANCES DE LABORATORIOS EN ARGENTINA

La aplicación de esta norma se basa en un método estadístico para determinar una ecuación que permite calcular la energía que es capaz de coleccionar el sistema para cada valor diario medio mensual de radiación solar y temperatura en las horas de sol. Se obtienen así 12 valores de energía total coleccionada, una por cada mes del año. Por otro lado, se determinan las pérdidas nocturnas. Luego, establecida la demanda, se puede estimar que porcentaje de esa demanda será provisto solarmente.

El ensayo en sí consta de al menos 6 días enteros de medición, en los cuales se carga el sistema (colector más almacenamiento) a temperatura de red, T_{red} , a las 6:00 hs solar y se le descarga a las 18:00 hs solar, extrayéndole al sistema tres volúmenes de su almacenamiento completos, mientras se reemplaza el agua del sistema a la misma T_{red} con que fue cargado. Esa curva de descarga de las 18 hs. se muestra en la Figura 2. En absisas se muestran los volúmenes de descarga y en ordenadas la temperatura de descarga, T_d . Toda la parte sombreada de la figura, con la correspondiente conversión de unidades, es una representación de la energía recolectada por el sistema en el transcurso de las 12 horas en que estuvo

funcionando. Durante esas 12 horas se deben medir las variables climáticas para poder integrar toda la energía recibida en forma de radiación solar, como así también los valores de temperatura durante el día. Esta medición se realiza en 6 días distintos con ciertos niveles de radiación solar y temperaturas de entrada de red, para generar un muestreo estadísticamente confiable, con el que se desarrolla la ecuación (1) que representa el comportamiento del equipo para recolectar energía durante un día cualquiera

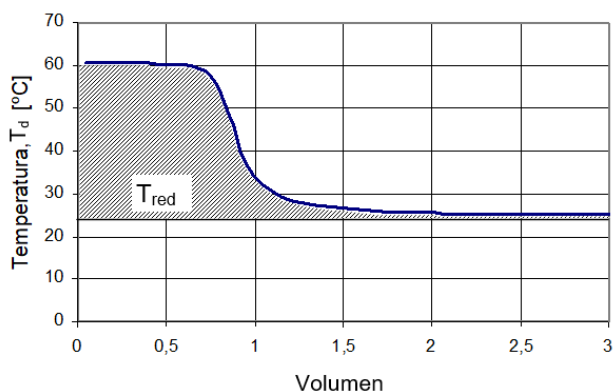


Figura 2: Curva de descarga de sistema compacto de acuerdo a la IRAM 210004

$$Q = a_1 H + a_2 (T_{a(día)} - T_{red}) + a_3 \quad (1)$$

H = radiación total recibida durante el día en el plano del colector del sistema compacto [MJ/m^2]

$T_{a(día)}$ = temperatura ambiente promedio durante el calentamiento [$^{\circ}\text{C}$]

a_1 , a_2 , y a_3 son constantes que resultan de un estudio estadístico de los resultados de las mediciones.

Cualquiera sea el lugar en que se realice el ensayo y la época del año, la ecuación (1) va a arrojar los mismos valores de los coeficientes, por lo cual dicha ecuación es única para ese equipo y no hace falta repetir los ensayos para realizar predicciones de energía en cualquier ciudad.

Se realiza también un test para medir mixing (mezclado) y una noche de enfriamiento para determinar el coeficiente de pérdidas térmicas U_s

$$U_s = \frac{4180 \cdot V_s}{\Delta t} \cdot \ln \left(\frac{t_i - t_{a,s(av)}}{t_f - t_{a,s(av)}} \right) \quad (2)$$

U_s = coeficiente de pérdidas del almacenador [$\text{W}/(^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2)$]

V_s = Volumen del almacenamiento

t_i = temperatura inicial del agua al iniciar la medición

t_f = temperatura final del agua al terminar la medición

$t_{a,s(av)}$ = temperatura promedio del aire externo al almacenamiento durante el proceso de medida

Δt = tiempo transcurrido desde el inicio a la finalización de la medición.

Con la ecuación (1) prediciendo el balance de energía diario y la (2) estimando las pérdidas, se realiza un proceso día por día durante un año típico meteorológico del lugar y se puede predecir la energía anual que entregará el equipo.

Laboratorios en condiciones de realizar el ensayo según norma IRAM 210004

Hay actualmente tres lugares en Argentina donde se han llevado adelante los ensayos previstos en la IRAM 210004. Estos son el INTI en su Parque Tecnológico Miguelete, el Laboratorio de Estudios Sobre Energía Solar (LESES), Universidad Tecnológica Nacional Regional Buenos Aires, y el Grupo de Energía Solar (GES) de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

El Área de Energía Solar Térmica de INTI, comenzó en el año 2010 con el lanzamiento de la Plataforma Solar (Ver Figura 3) donde se brindó apoyo a los productores nacionales de sistemas solares térmicos compactos en las diversas especialidades que se trabajaban en el INTI, desde cuestiones intrínsecas a la tecnología, hasta el embalado, transporte y otras dificultades que atravesaban las empresas para su desarrollo. Posteriormente, la plataforma se convirtió en un espacio de difusión de la tecnología y se constituyó el Laboratorio Solar Térmico del INTI donde actualmente se realizan los ensayos para cumplimentar la resolución vigente, obligatoria para la comercialización de estos equipos. Actualmente, se está llevando adelante obras para la instalación de nuevos dispositivos, ya adquiridos, que permitirán la realización de todos los ensayos de las normas IRAM 210015-1, IRAM 210022-1 así como también los estándares ISO 9806 e ISO 9459-2 y 5. También se impulsó el desarrollo de la certificación de instaladores de sistemas solares térmicos, bajo la norma ISO 17024, en conjunto con fabricantes, importadores, distribuidores, educadores e instaladores de la tecnología. También realiza de manera bienal desde el año 2015 un relevamiento del sector solar térmico argentino, llamado “Censo Solar Térmico” (Sabre et al., 2020), en el cual, a través de una carga virtual voluntaria se recaba información sobre todos los actores del mercado, para obtener información estadística que permita conocer y difundir la información recopilada. Esta publicación es tomada y analizada para una gran diversidad de fines, desde emprendedores, estudiantes hasta decisores políticos para generar nuevos proyectos, de los cuales en algunos participamos como es el PRODIST para el desarrollo de la industria solar térmica nacional. También es tomada por publicaciones internacionales como Solar Heat World Wide (Weiss y Spörk-Dür, 2023) permitiéndole a la Argentina ser parte de estos prestigiosos informes del mercado solar térmico global.



Figura 3: Plataforma Solar Térmica de INTI y sala de mediciones.

El Laboratorio de estudios sobre energía solar (LESES) del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires (UTN-FRBA), Villa Lugano, Ciudad Autónoma de Buenos Aires ($58,48^\circ$, $34,58^\circ$), se creó en 2006. Cuenta con un banco de pruebas ubicado en una plataforma exterior, equipado con lo necesario para realizar el ensayo de rendimiento colectores solares según los lineamientos de la norma IRAM 210002, el ensayo de predicción de la producción anual de energía en sistemas solares compactos de la norma 210004 y los ensayos de durabilidad de las normas 210015 y 210022 correspondientes a la primera etapa del Reglamento Técnico (Res.753/2020) del Ministerio de Producción. El banco cuenta con una estación meteorológica que mide las siguientes variables: temperatura, presión, humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento en el plano del colector. También, se dispone sobre el plano del colector de medición de radiación solar global y difusa. En la Figura 4 se muestra una imagen y el diagrama de procesos del banco de ensayos ubicado en la plataforma exterior. Allí se puede ver la estructura con espacio para montar 2 colectores, un piranómetro para medir radiación global, otro con un disco de sombreado para medir radiación difusa, y la estación meteorológica. Por detrás de los colectores se ve el tanque de almacenamiento de agua.

El GES de la Facultad de Ingeniería de la UNRC, creado en 1995, inició en 2006 la realización de ensayos térmicos de colectores y sistemas compactos, a requerimiento de algunos fabricantes e importadores que deseaban saber las prestaciones energéticas de sus equipos. Antes de la edición de la

IRAM 210004, se realizaron ensayos de equipos compactos con la norma internacional ISO 9459-2 (Garnica et al., 2010), entregando a los solicitantes informes de acuerdo a lo establecido en esta última norma. Cuenta el GES actualmente con una máquina móvil para la realización de ensayos de colectores solos y de equipos compactos. Se muestra una vista de la misma en la Figura 5.

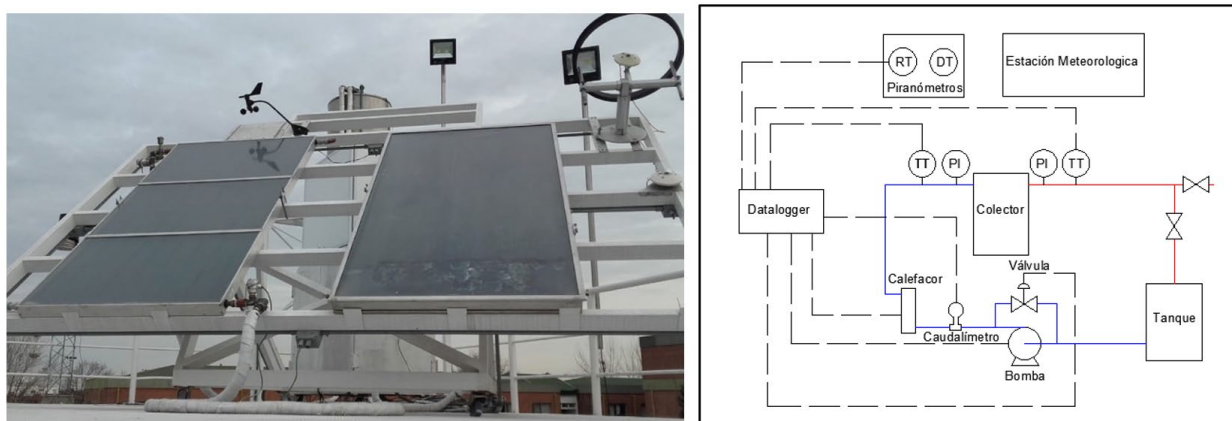


Figura 4: Banco de ensayo del LESES y su diagrama de proceso de medición.

Allí se observa el panel frontal con las válvulas hidráulicas para distintas conexiones, los caudalímetros para uno u otro ensayo y la caja de maniobras eléctricas. El equipo cuenta por dentro con tres tanques aislados de 100 litros cada uno, dos bombas centrífugas y 6 resistencias de 1500 W cada una. Estos elementos, más sensores de temperatura externos y una estación meteorológica Davis, permiten realizar los ensayos establecidos en las IRAM 210004 e IRAM 210002-1. En la vista posterior se pueden ver las conexiones hidráulicas que van y vienen de los colectores y sistemas compactos a ensayar.



Figura 5: Máquina móvil de ensayos térmicos solares del GES de la UNRC

EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN DISTINTAS CIUDADES DE ARGENTINA

En la Unión Europea, hay un organismo centralizado, The Solar Keymark (ESTIF, 2023) que tiene la base de datos de todos los equipos que se comercializan en los países socios, y los cuales han sido caracterizados mediante la ya mencionada EM 12976-2. Hay allí 24 laboratorios autorizados para realizar los ensayos según la ISO 9459-2 (equivalente a la IRAM 210004) y la ISO 9459-5 que es otra opción de ensayo. Esta última, la ISO 9459-5 responde al uso de un software privado, el cual no ha sido adquirido por ningún organismo de Argentina. El uso de una u otra norma es optativo, sus errores y grados de incerteza han sido medidos y catalogados, difieren algunos puntos y en complejidad de medición y de cálculo. (Carvalho y Naron, 2000)

Las cuatro ciudades que toma Europa para su evaluación por defecto se muestran en la Figura 6, y son: Atenas (A), Davos (D), Wuerzburg (W) y Estocolmo (E). Se encuentran allí indicadas con su correspondiente latitud. Esto es a efectos comparativos para analizar la situación de Argentina. Aunque un clima depende de múltiples factores (altura, lejanía del mar, humedad relativa, etc.), la latitud es una variable central que indica horas de sol y temperaturas en distintas épocas del año. Los mapas están a escala y es evidente que la longitud Norte-Sur de nuestro país ofrece una variabilidad de climas muy superior a Europa. Se indican los valores de variación de latitud (Δ) entre ciudades importantes. Para Argentina San Salvador de Jujuy (SSJ) y Usuahia (U), en la Figura 6.

Emulando la 12976-2, deberían seleccionarse ciudades representativas que permitan orientar a quienes leen los informes de la norma, para ver qué ciudad cercana le permitiría inferir la fracción solar que puede dar uno u otro equipo compacto. Pero además de larga, Argentina es ancha y, por ejemplo, aunque a unas latitudes no muy lejanas, la radiación solar de San Juan es un 20 % superior a la de Buenos Aires. Cabría así preguntarse si cuatro ciudades serían suficientes para caracterizar equipos compactos en Argentina. Se indican allí otras ciudades como Posadas (P), La Rioja (LR), Mendoza (M), Santa Rosa de la Pampa (SRP), San Carlos de Bariloche (SCB) y Comodoro Rivadavia (CR). Además, deberían estudiarse qué criterios primarían para la elección de una u otra ciudad. Obviamente deberán ser representativas de cada región, y a su vez debería contarse con datos climático confiables para la realización de las predicciones energéticas. Debe tenerse en cuenta que por más que se determinen ciertas ciudades por defecto, siempre cabe la posibilidad de extender el cálculo a cualquier otra, siempre que se tengan sus datos climáticos anuales.

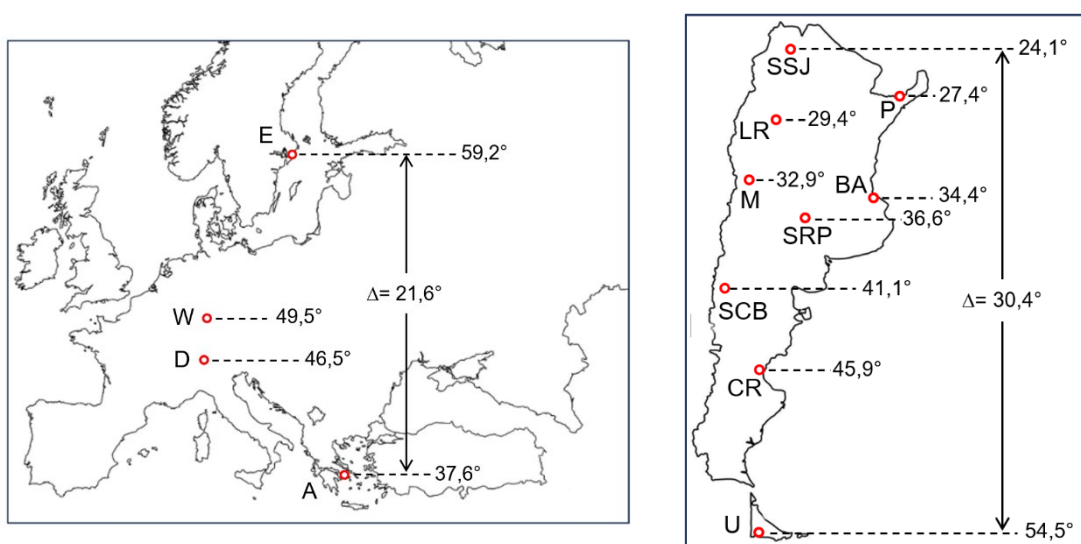


Figura 6: Ciudades que toma la UE para la EN 12976-2 y comparación con ciudades argentinas

Se cuenta en el país con un Servicio Meteorológico que proveería los datos de temperatura que harían falta. La radiación solar es un dato más difícil de conseguir, pero por suerte, hay en Argentina un grupo de investigación de la Universidad Nacional de Luján que hace años viene recolectando y procesando datos de distintos lugares del país, y se encuentra además colaborando con IRAM en la discusión de esta nueva norma que se propone en el presente artículo.

El GERSolar es un grupo de estudios destinado a realizar actividades diversas relacionadas con la energía solar. Fue creado el 2 de septiembre de 2002 y forma parte actualmente del Instituto de Ecología y Desarrollo Sustentable (INEDES) de esta Universidad. Su objetivo prioritario es la evaluación del recurso solar en la República Argentina. Para ello se propone mejorar el conocimiento de la distribución espacio-temporal de la irradiación solar global incidente sobre la superficie terrestre a fin de optimizar el diseño de sistemas de aprovechamiento de esta fuente de energía para el mejoramiento de la calidad de vida de poblaciones aisladas, su empleo como fuente primaria de energía en la generación eléctrica y el calentamiento de agua. En el año 2002 se ha publicado, con financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Tecnología, el Atlas de Energía Solar de la República Argentina donde se presenta un grupo

de cartas con la distribución mensual de los promedios diarios de la irradiación solar global y de las horas de brillo solar (heliofanía efectiva) (Grossi Gallegos y Righini, 2002). Trabajo que fue actualizado en 2004 (Righini y otros, 2004). Este estudio continúa hasta nuestros días en dos líneas de trabajo, una de ella se basa en el uso de imágenes satelitales, y la otra en la medición en tierra en estaciones distribuidas en la región pampeana. Esta trayectoria permite al GERSolar conocer, con cierto grado de exactitud, el recurso solar en nuestro país.

Como ejemplo, se toman los resultados obtenidos de un equipo termosifónico de placa plana ensayado en el GES para las ecuaciones (1) y (2) y siguiendo las indicaciones de la norma para los cálculos sucesivos día a día durante un año se realizan proyecciones para dos ciudades distintas de Argentina, Ciudad Autónoma de Buenos Aires y La Rioja. Para el cálculo de la demanda se considera que el agua de alimentación del equipo solar compacto está a la temperatura ambiente media de las 24 horas del día antes del inicio de la absorción de radiación solar, y se la debe llevar a 44 °C (algo más de la temperatura estimada de baño). Así, la energía calórica demandada, Q_{dem} , se puede calcular mediante la siguiente la ecuación calorimétrica.

$$Q_{dem} = c.m.(44\text{ }^{\circ}\text{C} - T_{amb,av}) \quad (3)$$

c = Calor específico del agua

m = masa de agua en el almacenador

$T_{amb,av}$ = temperatura media ambiente de las 24 horas anteriores a la absorción de radiación.

Los datos horarios deben ser procesados, ya que en la ecuación (1) H es la radiación solar global sobre el colector (los datos disponibles son los horizontales), y de las temperaturas que están entre paréntesis, para una de ellas hay que sacar el promedio solo de las horas durante las cuales hay luz solar. Todo este trabajo lo realizar un algoritmo preparado a tal efecto. Los datos que se cargan son horarios.

Los resultados están ordenados mes por mes y se pueden ver las diferencias entre los valores de radiación solar global horizontal y temperatura ambiente (columnas 2 y 3) de ambas ciudades. El calor demandado fue calculado a partir de la ecuación (3) y el calor útil con una combinación de las ecuaciones (1) y (2), un patrón de mezclado y una curva normalizada de descarga para el equipo (todo esto siguiendo las directivas de la norma IRAM 210004). El resultado que muestra claramente las diferencias de un mismo equipo en ciudades distintas, para igual demanda, es el valor de la fracción solar anual, última fila de la sexta columna, donde para La Rioja da un valor de 0,86, mientras que para CABA es de sólo 0,62.

Tabla 1: Comparación de la proyección energética anual para dos ciudades

Localidad: La Rioja Latitud: 29°24' S Longitud: 66°51' O						
mes	H [MJ]	Tamb [°C]	Qdem [MJ]	Qutil [MJ]	Fs	Eficiencia Media
Enero	23,40	27,10	325,21	386,35	1,19	0,45
Febrero	22,79	25,50	297,43	341,83	1,15	0,41
Marzo	18,29	23,40	353,31	375,73	1,06	0,44
Abril	15,52	19,80	392,95	354,25	0,90	0,42
Mayo	13,50	15,20	480,45	359,54	0,75	0,40
Junio	9,79	10,90	544,31	274,68	0,50	0,39
Julio	10,69	10,80	607,24	305,97	0,50	0,41
Agosto	14,80	14,30	598,93	406,40	0,68	0,46
Setiembre	19,30	17,30	547,26	476,25	0,87	0,51
Octubre	22,50	22,90	483,08	499,63	1,03	0,52
Noviembre	24,19	25,40	400,45	444,67	1,11	0,51
Diciembre	24,52	27,50	353,93	417,88	1,18	0,48
		Totales	5384,54	4643,19	0,86	0,45

Localidad: CABA Latitud: 34°36' S ; Longitud: 58°23' O						
mes	H [MJ]	Tamb [°C]	Qdem [MJ]	Qutil [MJ]	Fs	Eficiencia Media
Enero	22,39	25,10	394,83	377,09	0,96	0,46
Febrero	20,59	23,70	347,25	299,95	0,86	0,40
Marzo	17,10	21,40	400,37	344,75	0,86	0,43
Abril	12,82	17,70	433,47	269,51	0,62	0,39
Mayo	9,50	14,30	510,41	214,85	0,42	0,34
Junio	7,20	11,20	557,31	181,27	0,33	0,35
Julio	8,60	10,90	613,88	229,15	0,37	0,38
Agosto	11,41	12,70	616,58	284,19	0,46	0,42
Septiembre	14,18	14,20	583,70	318,50	0,55	0,46
Octubre	18,22	17,70	555,19	372,07	0,67	0,48
Noviembre	21,71	20,60	484,24	381,77	0,79	0,48
Diciembre	23,18	23,20	445,08	388,70	0,87	0,47
		Totales	5942,30	3661,80	0,62	0,43

Se está tratando actualmente en el Comité de Energía Solar Térmica de IRAM un proyecto de norma similar a la EN 12976-2 para nuestro país y se espera tener un avance importante hacia fin de año. IRAM es el Instituto Argentino de Normalización y Certificación, una asociación civil privada sin fines de lucro con más de 85 años de trayectoria y es el único representante de ISO en la Argentina. IRAM

trabaja en el desarrollo de normas técnicas, ofrece servicios de evaluación de la conformidad y capacitación. Así como facilita el acceso a documentos de valor como son las normas nacionales, regionales e internacionales, a través de su centro de documentación que cuenta con la mayor fuente bibliográfica de Latinoamérica. Como organización proveedora de servicios, IRAM concentra sus esfuerzos en facilitar, mejorar y hacer más segura la vida de las personas, agregando valor a organizaciones de todo tipo y tamaño en materia de competitividad, sostenibilidad y acceso a mercados. IRAM es el organismo nacional de normalización de la Argentina y participa en diferentes organizaciones internacionales, hemisféricas y regionales de normalización, presentando la posición de los sectores representativos interesados correspondientes de la Argentina. En este sentido genera documentos técnicos que representan el estado de la ciencia y de las mejores prácticas en un momento dado, y contienen información consensuada por todas las partes interesadas (consumidores, empresas e intereses generales).

CONCLUSIONES

Es necesario poder estimar cuánta energía puede reemplazar cada equipo en el lugar donde se va a instalar, es decir, su fracción solar anual, que será directamente proporcional al ahorro monetario que obtendría el eventual comprador del equipo.

Hay laboratorios capacitados en el país para realizar los ensayos según IRAM 210004 y para conseguir los datos de radiación solar y temperatura ambiente necesarios para correr las simulaciones de predicción de energía.

Se puede elaborar una normativa de fácil interpretación para los vendedores e instaladores. Solo tienen que saber en qué lugar del certificado del equipo tienen que leer la fracción solar que daría en uno u otro clima en que va a ser instalado.

Hace falta la aprobación de una ley nacional de energía solar térmica que ordene todo el sistema nacional, y contemple otros elementos positivos para la difusión y buena administración del tema. Entre otras cosas se podría:

- (a) Crear un organismo similar al de la UE que englobe a todo el país.
- (b) Desarrollar instancias de capacitación de instaladores (expansión de lo hecho por INII) y crear un registro de instaladores matriculados a los cuales puedan recurrir los potenciales usuarios.
- (c) Otorgamiento de beneficios para fabricantes y usuarios en cuanto a créditos a baja tasa, exenciones impositivas, aduaneras, etc., que incentiven la inversión.
- (d) Contabilizar los metros cuadrados instalados para saber el ahorro energético que se realiza y los gases de efecto invernadero que se dejan de emitir a la atmósfera.

Deben aún discutirse las ciudades que serán incluidas por defecto en la norma que se genere. Obviamente estaría Buenos Aires entre las elegidas, dada su importancia y cantidad de habitantes en sus alrededores. En esa actividad están actualmente abocadas el Comité Solar Térmico y varios grupos de investigación de universidades nacionales. Son bienvenidos los aportes que puedan hacer los interesados en este tema que provengan de cualquier ámbito afín.

REFERENCIAS

- Arraña I., Bertinat P., Chemes J., Di Ruscio N. y Garrido S. (2022) Políticas públicas implícitas y explícitas para la transición energética en la Argentina. El caso del Programa de Desarrollo de la Industria Solar Térmica (PRODIST). *Prácticas de oficio, Investigación y Reflexión en Ciencias Sociales*, Vol. 1, nro 29, pp. 39-53.
- Carvalho M.J., Naron D.J. (2000) Comparison of test methods for evaluation of thermal performance of preheat and solar-only factory-made systems. *Solar Energy*, Vol 69 (suppl.), pág. 145-156.
- EN 12976 (2000) Thermal Solar Systems and Components. *Factory Made Systems — Part 2: Test Methods*.
- ESTIF [en línea] The Solar Keymark. ESTIF - the European Solar Thermal Industry Federation. Dirección URL: <<http://www.estif.org/solarkeymarknew/>> [consulta: 10 de agosto de 2023]

- Garnica, J.H.; Lucchini, J.M.; Stoll, R.G.; Barral, J.R. (2010). Ensayos normalizados de colectores solares y sistemas de calentamiento de agua en Argentina: análisis de la situación, avances y dificultades. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14(3), 147-154.
- Gil S. (2021) Eficiencia energética en Argentina - Sector residencial – Agua caliente sanitaria. GFA Consulting Group. <https://www.eficienciaenergetica.net.ar/img_publicaciones/04271009_03.SectorResidencial-ACS.pdf>
- Grossi Gallegos H., Righini R. (2002) Atlas de energía solar de la República Argentina. Publicado por la Universidad Nacional de Luján y la Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 74 p. + 1 CD-ROM (ISBN 978-987-9285-36-7)
- INTI [en línea] Instaladores de Sistemas Solares Térmicos, Nivel II, Dirección URL: <<https://www.inti.gov.ar/areas/servicios-regulados/certificaciones/organismo-de-certificacion/tramites/instaladores-de-sistemas-solares-termicos-nivel-ii>> [consulta: 28 de junio de 2023]
- IRAM (2016) IRAM 210004 Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, 56 pp.
- Nores Pondal, F. J.; Purucker, M.; Garreta, F.; García Zuloaga, G.; Scheinckman, M.; Morale, M.; Calvo, B.; Abraham, A.; Haim, A. (2016) Ensayo bajo Norma IRAM de colectores solares planos y de tubos evacuados. Comparación de características. XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES), La Plata, Argentina.
- Placco C., Saravia L., Cadena C. (2010) Informe Técnico sobre Colectores Solares para Agua Caliente. Instituto de Investigación en Energías No Convencionales (INENCO), Salta, Argentina.
- Queipo G. y Pasetti G. (2022) Energía solar térmica: oportunidades para la industria argentina. Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Libro digital <https://www.inti.gov.ar/assets/uploads/files/economia-industrial/01-2023/Energia_solar_termica_Final.pdf>
- Righini R.; Grossi Gallegos H.; Raichijk C. (2004) Trazado de nuevas cartas de irradiación solar global para Argentina a partir de horas de brillo solar (Heliofanía) *Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol.14, pp. 23 – 31.
- Sabre M., Pereira G., Medel N., Pescio F., Chiaravallotti A., Bornancin M., Cordi M., Lunardelli G. y Quiroga L. (2020) Censo Nacional Solar Térmico 2020 - Informe Período 2019. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Buenos Aires.
- Tügel, J y Sogari N. (2019) Stratification by Natural Convection directed to improve Energy Autonomy; Development of an integrated collector storage solar water heater. Proceedings of ISES Solar World Congress 2019, pp. 73-84, Santiago, Chile.
- Weiss W. y Spörk-Dür M. (2023) Solar Heat Worldwide, Global Market Development and Trends 2022, Detailed Market Figures 2021. Solar Heating & Cooling Programme. International Energy Agency.

A STANDARD TO THERMALLY CHARACTERIZE RESIDENTIAL COMPACT SOLAR WATER HEATERS IN ARGENTINE REPUBLIC

ABSTRACT: This paper describes a study performed in order to develop a standard to thermally characterize residential compact solar water heaters of the Argentine Republic. The motivation for this work originated from the installation of systems without a well-known service that they can provide for different climatic conditions and hot water demands. The use of an IRAM norm is proposed, which is based on international standards. This norm allows testing a compact system, giving as a result an equation to estimate the daily hot water production for a whole discharge of the storage. Different technologies to which this norm applies are explained and de measurements to perform are described. This study is based in a standard of the European Union, which takes four cities of different geographical regions as default to perform de evaluation following the standard indications. A comparative analysis is made based on different latitudes of Argentine cities. As an example, estimations to predict the annual energy production of the same system for two different cities were made, and notable differences in solar fraction were obtained. Finally, a series of aspects are considered, in order to work looking for a better residential solar thermal energy use.

Keywords: compact solar water heaters, energy production, climate, tests, standards.