



Temperatura del Agua de Alimentación a Colectores y su Influencia en la Fracción Solar

Network Water Temperature and its Influence on the Solar Fraction of a Solar Collector

Presentación: 27/09/2023

Aprobación: 17/11/2023

Gustavo R. Figueredo

Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
grfigueredo@gmail.com

Juan J. Pochettino

Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
pochettino@edesycc.com.ar

Hugo D. Zurlo

Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina
hzurlo@gmail.com

Resumen

El comportamiento de las instalaciones solares térmicas depende de muchas variables, una de ellas es la temperatura del agua de alimentación al colector. En muchos países la temperatura del agua de alimentación a utilizar para predecir la producción de una instalación solar a largo plazo se encuentra normalizada. La temperatura del agua de red depende fuertemente de la temperatura del ambiente y del tiempo de residencia del agua en las tuberías. En este trabajo se estableció el perfil temporal de temperaturas para el agua de red en la ciudad de Resistencia, se analizó su relación con la temperatura ambiente y se calculó la fracción solar de una instalación para proveer agua caliente sanitaria en función de las evoluciones de las temperaturas. Los perfiles temporales de temperatura se ajustaron mediante una oscilación armónica de periodo anual, con una media de 4 °C superior a la temperatura ambiente y una amplitud de 7 °C, con el mínimo para el mes de julio.

Palabras claves: Temperatura, Agua, Red, Rendimiento, Instalaciones, Solar Térmico

Abstract

The behavior of solar thermal installations depends on many variables, one of them is the temperature of the feed water to the collector. In many countries, the temperature of the feed water to be used to predict the long-term production of a solar installation is standardized. The temperature of the mains water depends strongly on the ambient temperature and the residence time of the water in the pipes. In this work, the temporal profile of temperatures for the network water in the city of Resistencia was established, its relationship with the ambient temperature was analyzed and the solar fraction of an installation to provide domestic hot water was calculated based on the evolution of the temperatures. The temporal temperature profiles were adjusted using a harmonic oscillation of an annual period, with an average 4 °C higher than the ambient temperature and an amplitude of 6 °C, with the minimum for the month of July.

Keywords: Temperature, Water, Network, Performance, Installations, Solar, Thermal.

Introducción

La temperatura del agua de alimentación (agua fría), también denominada de suministro o de red, tiene una gran importancia en el cálculo de la demanda de energía de una instalación. Tiene un importante efecto sobre el rendimiento de un equipo solar y puede influir significativamente en el dimensionado del equipo. La temperatura de red es, por una parte, muy dependiente de las condiciones del tiempo local y por otra, presenta muchas dificultades para su conocimiento exacto ya que puede variar mucho de una instalación a otra, incluso en una misma localidad. Entre otros factores, depende de la procedencia (por ejemplo, una red de abastecimiento o un pozo), de la localidad, de la época del año, del trazado de la red de distribución, etc. Así por ejemplo, el calentamiento que puede experimentar el agua fría en la red de distribución hasta el sistema de calentamiento solar, o por el uso de tanque de reserva elevado, en el exterior, que posea la instalación sanitaria, pueden modificar en gran medida los valores normalizados que puedan disponerse.

Cuando se efectúa la evaluación económica de sistemas de calentamiento solar, uno de los métodos más utilizados, es el denominado F-chart, que requiere datos meteorológicos medios mensuales, incluida la temperatura media mensual del agua de alimentación (Klein et al., 1976).

En los manuales de cálculo se recomienda un análisis detallado del suministro de agua fría que permita una valoración correcta de la temperatura del agua fría a la entrada al depósito solar (puede llegar a ser muy diferente de la temperatura de suministro de agua fría de la red), justificando en cualquier caso, como exigen las especificaciones, los valores finales adoptados (Escribano et al., 2013).

Los sistemas domésticos de suministro de agua son la etapa final del proceso de transporte para entregar agua potable al grifo de los clientes. Bajo la influencia de la temperatura, el tiempo de residencia y los materiales de las tuberías, la calidad del agua potable puede cambiar mientras el agua pasa por el sistema doméstico de agua potable. De acuerdo con la ley neerlandesa de agua potable, la temperatura del agua potable no debe superar el umbral de 25 °C en el punto de uso. En una publicación científica se proporciona un enfoque matemático para modelar el calentamiento del agua potable dentro del sistema de suministro de agua doméstica. Se estableció que el tiempo de residencia influye en la temperatura del agua

potable más que la temperatura ambiente en sí (Moerman et al., 2014).

Estudios daneses respaldan la hipótesis de que la temperatura del agua potable a menudo será igual a la temperatura del suelo y que la temperatura del suelo es un predictor mucho mejor de la temperatura del agua potable que la temperatura de la atmósfera (Mirjam Blokker y Pieterse-Quirijns, 2013).

Los países desarrollados disponen de datos de temperatura de agua de alimentación extensos y confiables, por ejemplo la norma española UNE 94002, que se refiere al cálculo de la demanda de energía térmica para instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria, establece la temperatura diaria media mensual de agua fría de las 52 capitales de provincia de España, en la tabla 3 de la mencionada norma se especifican la altura de referencia en metros y la temperatura media mensual de agua fría en grados Celsius para las capitales de provincia. Se observa un mínimo en la ciudad de Soria de 5 °C en enero y un máximo de 21 °C en Sevilla durante julio. Se establece además una función para corregir la temperatura dependiendo de la altura del lugar donde se encuentra la instalación (Norma UNE 94002, 2005).

En una publicación previa, en el marco de este mismo estudio, se presentaron los perfiles temporales de temperatura para instalaciones sin tanque de reserva domiciliario, en dos situaciones diferentes, con tanque de reserva barrial (a menos de 1000m de distancia) y sin tanque barrial (Figueredo et al. 2023).

En esta publicación se presentan los perfiles de temperatura anuales para el agua de alimentación a colectores solares para instalaciones con tanque de reserva ubicadas en la ciudad de Resistencia, en el NEA de Argentina. Para analizar la correlación también se expone el perfil anual de temperaturas ambiente. Se simula una instalación para proveer agua caliente sanitaria a una vivienda unifamiliar y se establece la relación entre la temperatura del agua de alimentación y la fracción solar calculada mediante el método F-Chart.

Materiales y Métodos

Las instalaciones domiciliarias de agua corriente se pueden clasificar en dos categorías, instalaciones con tanque de reserva y sin tanque de reserva. En esta publicación se van a presentar los resultados para el primer caso aclarando que ya se han publicado los resultados para instalaciones sin tanque de reserva. Así mismo en el conjunto de instalaciones con tanque de reserva, se distinguen dos subconjuntos: con tanque de reserva cubierto, es decir bajo techo o con algún reparo y con tanque de reserva expuesto al medio ambiente.

Temperatura del agua de red con tanque de reserva cubierto o protegido

Esta clase de instalaciones incluyen a aquellas que tienen el tanque de reserva fuera del alcance de la radiación solar, ubicado dentro de un retículo o celda de mampostería o material similar y a las que lo ubican en algún sector bajo cubierta como el pleno del cielorraso, altillo o local similar. En la zona del NEA argentino, esta modalidad de instalación se debe a motivos estéticos de diseño y también a que los tanques expuestos a la radiación solar, durante el verano, alcanzan altas temperaturas que hacen incomodo su uso. El caso observado se trata de un tanque de 500 L que se encuentra en un altillo que tiene cerramientos de mampostería y cubierta de chapa galvanizada, dicho altillo cuenta con ventiluces que favorecen la ventilación cruzada.

Medir automáticamente la temperatura del agua de red enfrenta el problema de que el uso y la consecuente circulación del agua por las tuberías es esporádico y aleatorio, encontrándose la mayor parte del tiempo, el agua estancada en la tubería, alcanzando el equilibrio térmico con el medio que rodea la tubería. Cuando se inicia el consumo de agua se produce una renovación del agua de la tubería y luego de un transitorio se estabiliza en la temperatura real del agua de red.

Para el caso del agua proveniente del tanque, se utilizó un Data Logger de la marca NOVUS tipo Fieldlogger 512K con HMI (Human Machine Interface) que dispone de 8 entradas analógicas y 8 entradas o salidas digitales. Para medir las temperaturas se usaron dos termocuplas tipo k en vainas de acero inoxidable de 2mm de diámetro y 100mm de largo, obteniendo una precisión de 0,2% del rango más menos 1 °C.

Es necesario distinguir entre el hecho de medir las temperatura y el registro de las mismas. Para efectuar el registro inicialmente se miden las temperaturas permanentemente con un intervalo de actualización de 1s y se determina la variación de temperatura del agua a lo largo de 5 s.

$$\Delta t_5 = t_\tau - t_{\tau+5s} \quad (1)$$

Para detectar cuando se inicia la circulación del agua y se produce el transitorio en la temperatura, se configura una alarma A1 cuando el cuadrado de la variación de temperaturas es mayor que 0.09 °C, la que dispara el inicio del registro de las temperaturas cada 2 s.

$$\Delta t_5^2 > 0.09^\circ C \quad (2)$$

Para contemplar que luego de un transitorio se estabiliza la temperatura, se configura una segunda alarma A2 cuando el cuadrado de la variación de temperaturas desciende por debajo de 0.01 °C

$$\Delta t_5^2 < 0.01^\circ C \quad (3)$$

El inicio del registro de las temperaturas se controla con el disparo de la alarma A1 con un intervalo entre registros de 2 s. La detención del registro se controla con el disparo de la alarma A2.

Como se registran muchos valores prácticamente iguales (entre 2 y 15 valores) desde que se inicia el registro (disparo de A1) y hasta que se detiene (disparo de A2) durante el posterior procesamiento informático de los datos se descartan todos aquellos registros que están seguidos por un nuevo registro con un intervalo de tiempo inferior a 86s, con esto se busca considerar únicamente el último valor antes de que se detenga el registro por A2. Logrando reducir la cantidad de registros repetidos del mismo evento, por ejemplo durante diciembre del 2022, se registraron más de mil mediciones que luego de procesadas informáticamente y eliminadas las del mismo evento, se redujeron a aproximadamente 200 mediciones.

Tanque expuesto

Para la medición con tanque expuesto al medio ambiente se instaló, solo para este fin,

un tanque de reserva de 500 L de polietileno rotomoldeado de color negro y para simular el consumo se incorporó una electroválvula controlada por un timer que abre regularmente la salida del agua por periodos de 15 min cada 3 horas entre las 6 de la mañana y las 21 h. Se eligió esta configuración, para lograr una distribución homogénea del muestreo a lo largo de las horas de actividad de una vivienda, integrando un total de 90 min diarios con un caudal de 5 L/min hacen un total diario de aproximadamente 450 L, lo que constituye el consumo aproximado de una vivienda. El sistema de registro de datos y procesamiento es el mismo que el descrito previamente y que se utilizó en el otro tanque, el que se activa automáticamente cada vez que se detecta un flujo de agua.

Ajuste mediante oscilaciones armónicas

Cuando se calculan los promedios mensuales, las variaciones diarias debido a fenómenos climáticos locales se compensan entre sí, poniéndose de manifiesto las variaciones debido a los fenómenos relativos al movimiento de traslación de la tierra y a la inclinación del eje de rotación de la misma, presentando en consecuencia una oscilación armónica con frecuencia anual. Para ajustar los promedios mensuales se utilizará una oscilación de temperatura dada por la ecuación 4.

$$t_i = t_{media} - A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{12}(i - i_{min})\right) \quad (4)$$

Donde t_i es la temperatura media mensual para el mes i , t_{media} es la temperatura media anual, A es la amplitud, que corresponde a la semidiferencia entre el valor máximo y mínimo, i es el número de mes del año (enero: 1) y i_{min} es el mes para el que corresponde la menor temperatura.

El grado de concordancia entre el ajuste mediante la oscilación armónica y los valores experimentales se establecerá mediante el coeficiente de determinación o R cuadrado, dado por la ecuación 5, recordando que cuanto más se aproxime el R^2 a la unidad, mejor es la correlación entre el ajuste y los valores experimentales.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \hat{t}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t}_i)^2} \quad (5)$$

Donde t_i es la temperatura media mensual del mes i , \hat{t}_i es la temperatura media mensual ajustada y \bar{t}_i es el valor medio de las temperaturas medias mensuales.

Método F-chart

El F-chart es un modelo de simulación que permite estimar el comportamiento térmico a largo plazo de instalaciones de calefacción y producción de agua caliente mediante energía solar en el ámbito residencial. La información obtenida mediante 300 simulaciones se usó

para desarrollar un método gráfico sencillo que constituye un procedimiento de diseño general para sistemas solares a partir de datos meteorológicos medios mensuales. Para el uso del método es necesario conocer las características constructivas de la instalación (colector, tanque de acumulación, etc.) la irradiación diaria media mensual sobre el plano del colector y la demanda total de energía necesaria para calentamiento. Un método simple para estimar la irradiación media mensual sobre planos inclinados conociendo la irradiación media mensual sobre plano horizontal es el desarrollado por Liu y Jordan (1962), que es el que se utilizó en el presente trabajo. La demanda mensual de energía para calentamiento depende del volumen de agua caliente consumida, de la temperatura de utilización y de la temperatura de alimentación, que es el factor estudiado en el presente trabajo. Como resultado se obtiene la fracción solar que se define como la relación entre la energía producida por la instalación solar y la demanda total de energía para calentamiento, de forma tal que una fracción solar igual o superior a la unidad indica que no hay necesidad de aporte de energía auxiliar y que por ejemplo una fracción solar del 50% indica que la mitad de la necesidad de energía es cubierta por el aporte solar y la otra mitad por algún tipo de energía de respaldo (gas o electricidad).

Resultados

Temperatura del agua de red con tanque cubierto

En la figura 1 se representó, a modo de muestra detallada, el caso del mes de octubre del año 2022 para la instalación con el tanque cubierto. Durante dicho mes se registraron 1.650 temperaturas, indicados como T1 con marcador verde (hay que considerar que en la figura muchos marcadores se encuentran superpuestos), las que luego de eliminados los transitorios se redujeron a $n=246$, indicados como T1r con marcador azul. El promedio de estos valores, t_i , asciende a 24,9 °C, según la ecuación 6.

$$t_i = \frac{\sum(t)}{n} \quad (6)$$

Mediante la ecuación 7, se calculó la desviación estándar de la temperatura, $DesvSt$, que asciende a 2,5 °C. En total, entre febrero de 2022 y marzo del 2023 se efectuaron 12.620 registros de temperaturas del agua proveniente del tanque cubierto.

$$DesvSt = \sqrt{\frac{\sum(t-t_i)^2}{(n-1)}} \quad (7)$$

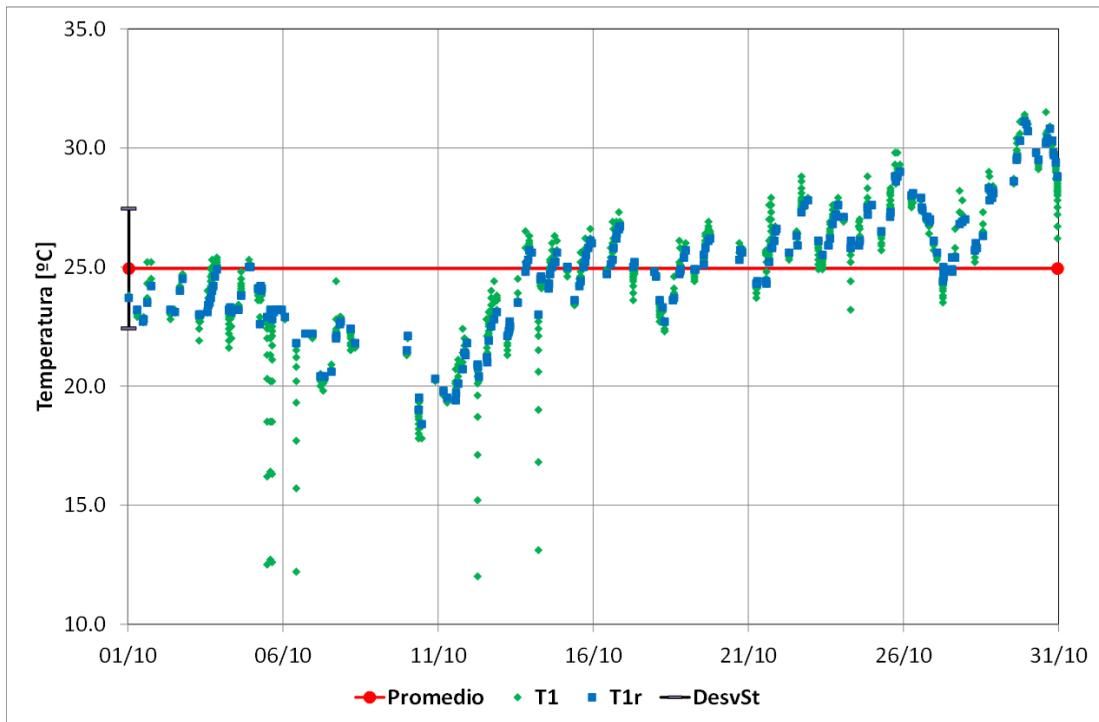


Figura 1. Temperaturas con tanque cubierto, promedio mensual y desviación standard para el mes de octubre

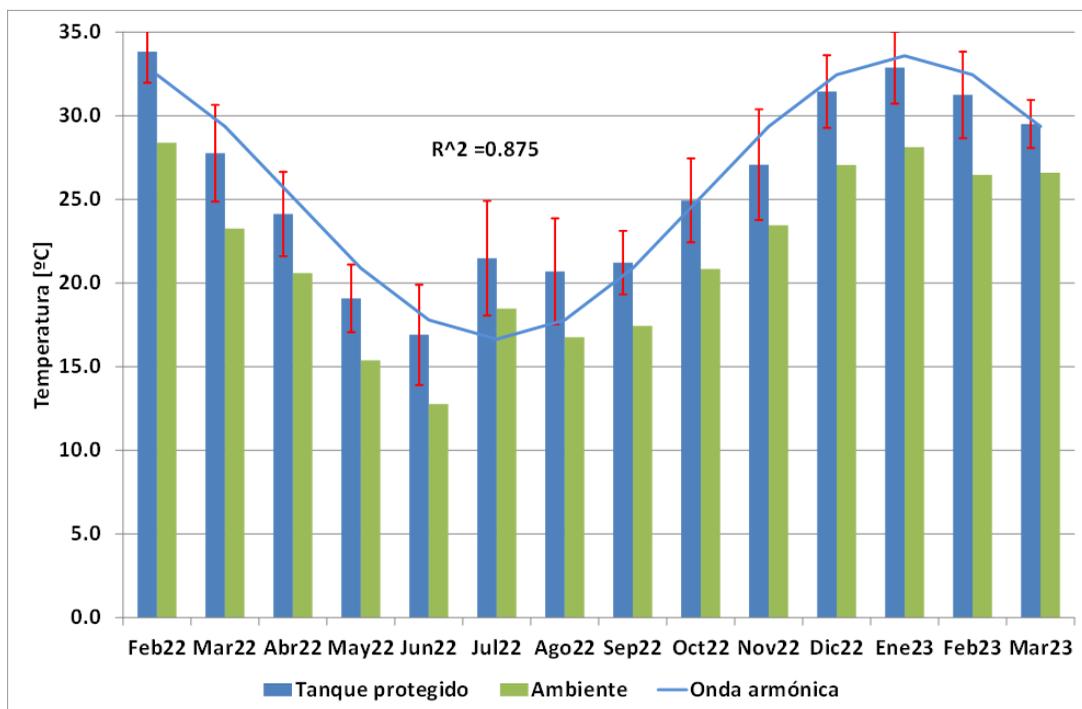


Figura 2. Temperatura media mensual del agua de red con tanque cubierto, el aire ambiente y aproximación mediante una onda armónica

Se procesaron informáticamente las temperaturas registradas durante el periodo comprendido entre el mes de febrero del año 2022 y marzo del 2023, en la figura 2 se representaron las temperaturas medias mensuales del agua de red, junto con las temperaturas medias mensuales del aire ambiente para la ciudad de resistencia y una aproximación mediante una onda armónica. Las barras de “error” incorporadas representan la desviación estándar de las temperaturas, según la ec. 6, que son función de la dispersión de los valores medidos a lo largo del mes, ya que hay días cálidos donde la temperatura es mayor que el promedio y también lo opuesto durante los días más fríos, esto no tienen relación directa o estricta con los errores en las mediciones de temperatura (debido a sensores e instrumental) que en general son mucho menores. La oscilación armónica de periodo anual, valor medio igual al promedio anual de las temperaturas mensuales de 25,1 °C y amplitud igual a la mitad de la diferencia entre el mayor y menor valor de 8,5 °C. Se obtiene un coeficiente de determinación entre la armónica y la medición de $R^2=0.875$ aproximadamente, lo relativamente bajo de este valor tiene su principal fuente en que el mes de julio fue excepcionalmente cálido y no sigue la tendencia de la armónica.

Temperatura media mensual del agua de red con tanque expuesto

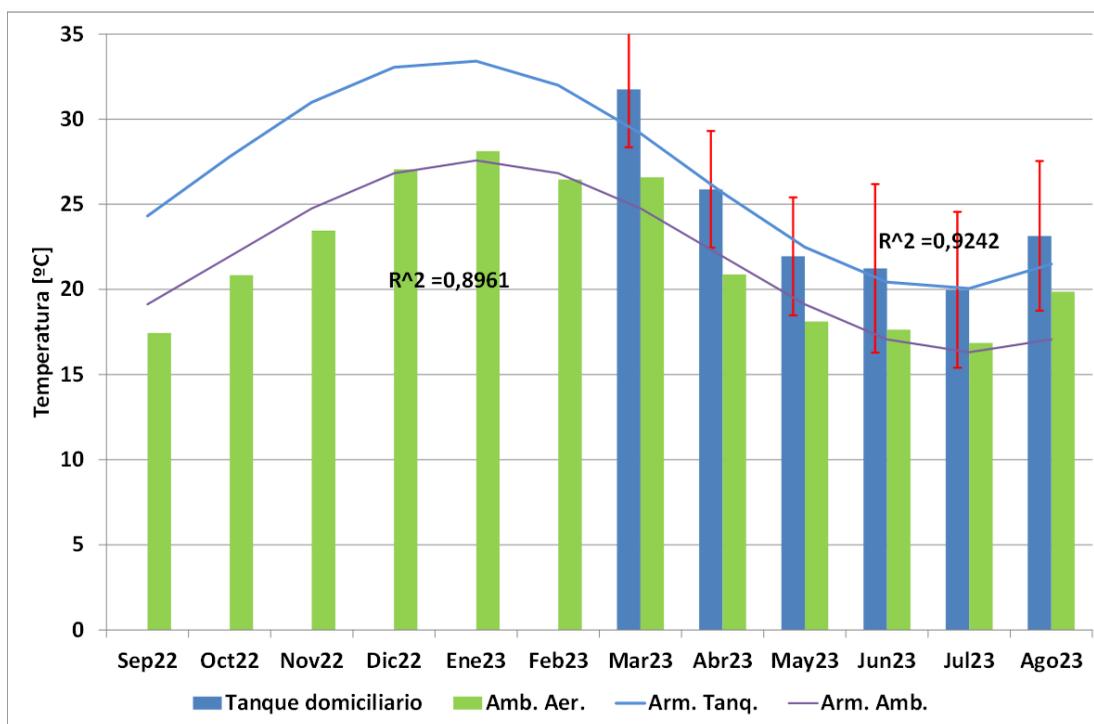


Figura 3. Temperatura media mensual del agua con tanque expuesto, el aire ambiente y aproximaciones mediante ondas armónicas

En la figura 3 se representaron los promedios mensuales de la temperatura del agua del tanque expuesto al ambiente para el periodo registrado, comprendido entre marzo del 2023 y agosto del 2023; también se extendió la representación para abarcar un año completo. Las barras de “error” incorporadas al gráfico representan la desviación estándar de las temperaturas, hacen referencia a la dispersión de la enorme cantidad de valores medidos, no tienen

relación directa con los errores en las mediciones de temperatura que en general son mucho menores (aproximadamente 1 °C). Esta dispersión en los valores de temperatura a lo largo del mes tiene relación con la hora de medición, el consumo de agua y el estado del tiempo (temperatura ambiente, radiación, etc.) que se modifica bastante a lo largo del día y del mes cuyo promedio se obtiene. En dicho gráfico también se representaron los promedios mensuales de las temperaturas ambiente para la ciudad de Resistencia publicadas por el SMN, y regresiones de las temperaturas del agua y del ambiente mediante oscilaciones armónicas de periodo anual, valor medio igual al promedio anual de las temperaturas mensuales y amplitud igual a la mitad de la diferencia entre el mayor y menor valor. Se obtienen coeficientes de determinación entre la armónica y la medición de $R^2=0.92$ para el agua del tanque y $R^2=0.9$ aproximadamente para la temperatura ambiente.

Influencia de la temperatura en la fracción solar

Se determinaron las fracciones solares utilizando el método F-chart para las diferentes tipologías de instalaciones analizadas y se agregó un caso testigo tomando la temperatura del agua de alimentación igual a la temperatura media mensual del aire ambiente para la ciudad de Resistencia. Los demás parámetros se mantuvieron constantes para los 3 casos, según lo especificado en la siguiente tabla.

Número de personas	$N_p=4$
Consumo individual de agua caliente	$C_u=50$ L/día
Temperatura de utilización	$t_u=45$ °C
Inclinación del colector sobre la horizontal	$\beta=40^\circ$
Área del colector	$A_c=2$ m ²
Rendimiento máximo del colector	$F_R \tau \alpha=0.69$
Factor lineal de la curva del rendimiento del colector	$\alpha_1=4,79$ W/(°C.m ²)
Factor cuadrático de la curva del rendimiento del colector	$\alpha_2=0,00001$ W/((°C.m) ²)
Volumen del acumulador por m ² de colector	$V_{e_{acu}}=75$ L/m ²

Tabla 1. Resumen de los datos utilizados en la simulación

Para valores de la temperatura del agua de alimentación se utilizaron las ondas armónicas ajustadas según los datos medidos en ambos casos presentados en este trabajo y se agregan además los 2 casos publicados previamente (Figueredo et al., 2023), considerando como mes de menor temperatura el obtenido mediante los ajustes. Los valores de temperatura media y amplitud de los 4 casos se resumen en la tabla siguiente. Para la temperatura ambiente se utilizaron las temperaturas medias mensuales publicadas por el servicio meteorológico nacional de la argentina, según las estadísticas climatológicas normales correspondientes al período 1991-2020.

Para valores de la temperatura del agua de alimentación se utilizaron las ondas armónicas ajustadas según los datos medidos en ambos casos presentados en este trabajo y se agregan además los 2 casos publicados previamente (Figueredo et al., 2023), considerando como mes de menor temperatura el obtenido mediante los ajustes. Los valores de temperatura media y amplitud de los 4 casos se resumen en la tabla siguiente. Para la temperatura ambiente se utilizaron las temperaturas medias mensuales publicadas por el servicio meteorológico nacional de la argentina, según las estadísticas climatológicas normales correspondientes al período 1991-2020.

	T. barrial	Red	T. cubierto	T. expuesto	T.amb.
Promedio °C	23	25	25,1	26,7	21,3
Amplitud °C	5	7	8,5	6,8	6,1
Mes mínimo	7	7	7	6,7	6,9
R²	0,99	0,91	0,87	0,92	0,99

Tabla 2. Parámetros de las oscilaciones armónicas de las temperaturas

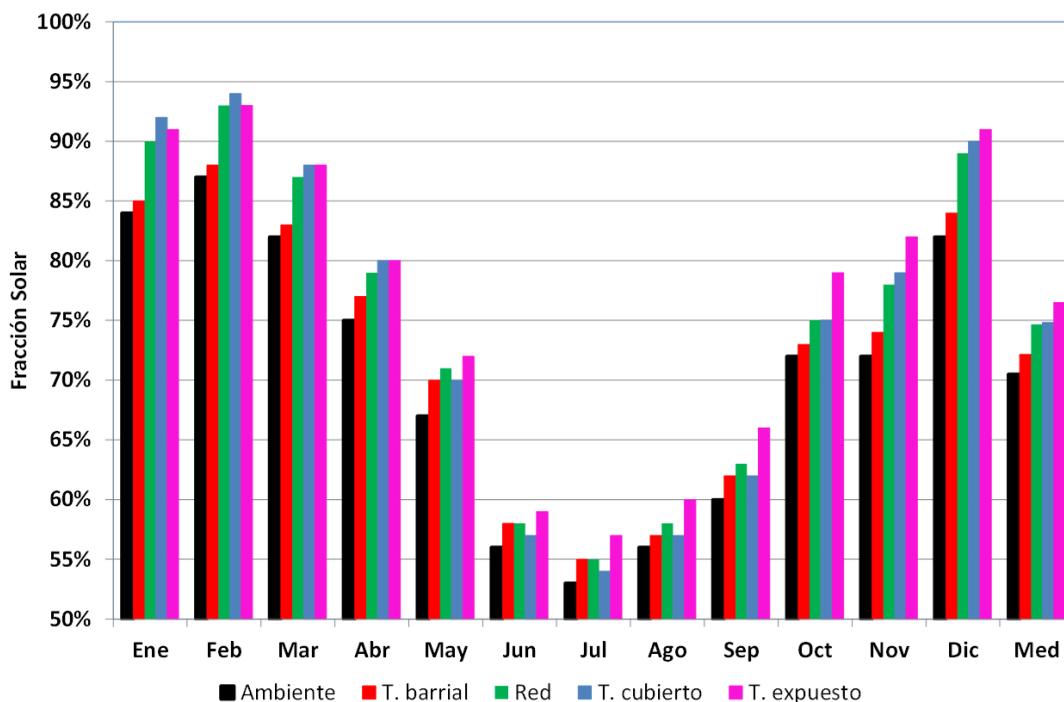


Figura 4. Fracciones solares obtenidas por el F-chart

Se observa una influencia moderada de la temperatura del agua de alimentación en la fracción solar, notándose una mayor diferencia que asciende al 10% para el mes de noviembre entre el caso de temperatura media ambiente y temperatura del agua con el tanque expuesto, por el contrario las menores diferencias se dan durante el mes de julio cuando las fracciones solares se diferencian como máximo en solo un 3% y en el valor medio anual se obtiene que la fracción solar con agua del tanque expuesto es un 5% superior al caso testigo con temperatura igual a la temperatura ambiente. Si comparamos los resultados obtenidos durante los meses cálidos siempre la menor fracción solar corresponde al caso con tanque barrial y la mayor al tanque expuesto o en 2 casos al tanque cubierto. Durante los meses fríos las mayores fracciones solares corresponde al caso del tanque expuesto, pero las diferencias son pequeñas.

Discusión de Resultados

En la figura siguiente se representaron las regresiones de las temperaturas para los diferentes casos (incluyendo los casos sin tanque (Figueredo et al. 2023), junto con la temperatura ambiente de la ciudad de Resistencia obtenida de las Estadísticas Climatológicas Normales - período 1991-2020 publicada por el SMN.

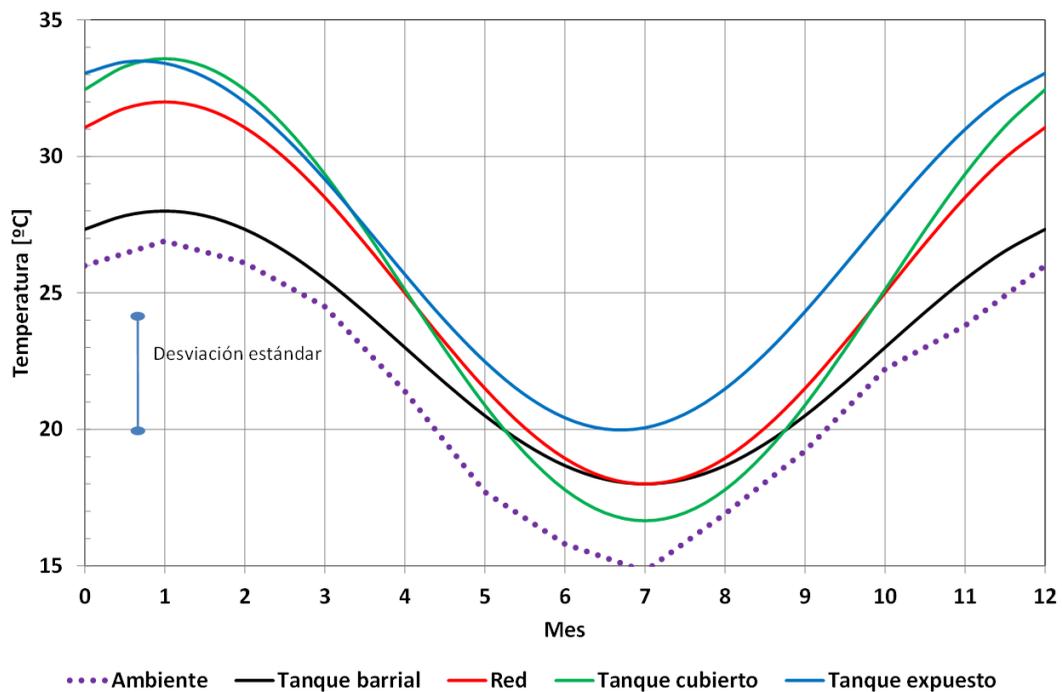


Figura 5. Temperaturas medias mensuales del ambiente, y del agua en diferentes condiciones aproximadas mediante una onda armónica

Los valores de temperatura del agua medidos tienen un error de aproximadamente ± 1 °C originados en la técnica de medición y en el instrumental que incluye a que los sensores

utilizados son termocuplas. Hay que considerar que la mayor parte del tiempo el agua está estancada en la tubería y que esporádicamente se producen eventos constituidos por la apertura de un grifo, el subsiguiente consumo de agua caliente hasta el posterior cierre del grifo. En consecuencia, la variable medida presenta grandes variaciones en el tiempo, a lo largo de un mismo evento, entre eventos del mismo día y entre eventos de distintos días del mismo mes. Al hacer un promedio de muchas mediciones a lo largo de un mes, estas diferencias tienden a compensarse, al igual que al hacer determinaciones energéticas que integrarían las desviaciones de temperaturas respecto del promedio, no obstante se estima que la incertidumbre total en la temperatura media mensual del agua sería de aproximadamente ± 2 °C.

Si se comparan los valores de amplitudes y promedios de la temperatura del agua para el caso sin tanque y con tanque barrial se observa que ambos difieren en cantidades que exceden levemente la incertidumbre mencionada. Al comparar con la temperatura media mensual del aire ambiente, se observa que esta última siempre es inferior a la temperatura del agua para los diferentes casos.

La aplicación de estos valores como datos de entrada para el método F-chart arroja una diferencia máxima del 10% en la fracción solar para el mes de noviembre, mientras que el promedio de las diferencias máximas ronda el 6%. Klein et al. a su vez establecieron discrepancias entre los valores estimados mediante el método F-chart y valores calculados en base a mediciones reales de hasta el 11%, si bien en general son mucho menores y son de aproximadamente el 3% en general. Por lo tanto las diferencias obtenidas en la determinación de la fracción solar entre los distintos casos analizados son levemente superiores a la incertidumbre del método empleado.

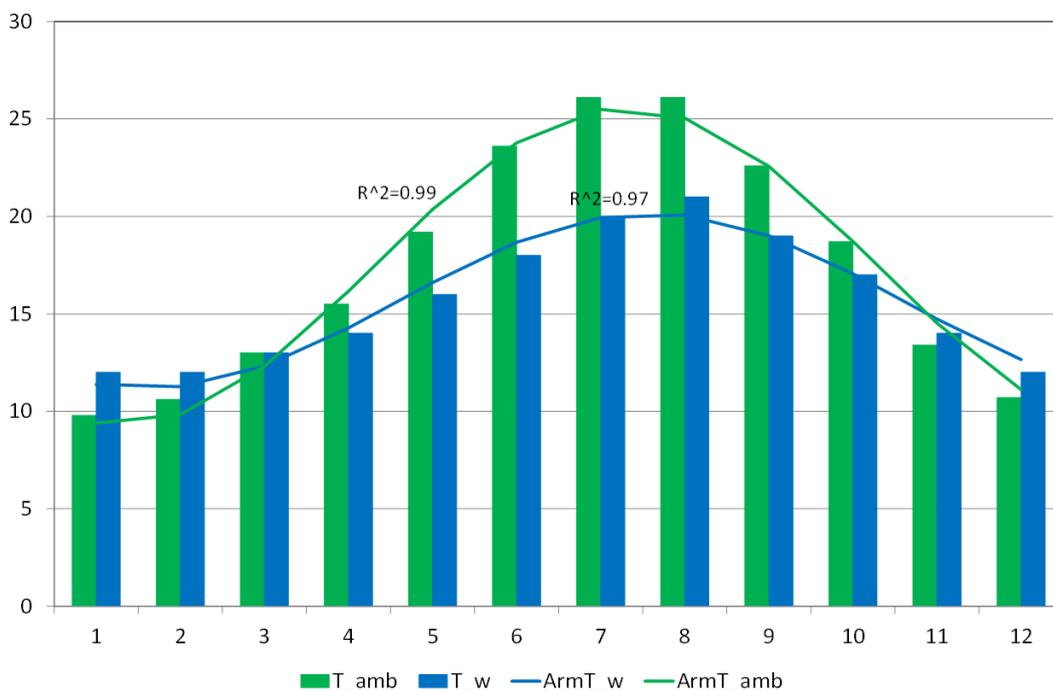


Figura 6. Temperaturas medias mensuales del ambiente, y del agua para la ciudad de Almería España y sus aproximaciones mediante ondas armónicas

A modo de referencia, en la figura 6 se representaron las temperaturas del ambiente medias mensuales junto con los datos de temperatura media del agua establecidos por la norma UNE94002 para la ciudad de Almería en España que tiene una temperatura ambiente media anual de 17,4 °C y que establece un perfil anual de temperatura del agua que se correlaciona muy bien ($R^2=0,97$) con una oscilación armónica de valor medio 15,7 °C, amplitud 4,5 °C y fase para valor mínimo el 18 de febrero (UNE 94002, 2005). En este caso, la temperatura ambiente también correlaciona muy bien ($R^2=0,99$) con una armónica de valor medio 17,4 °C y amplitud 8,2 °C. En comparación Resistencia tiene una temperatura media de 21.3 °C es decir 4 °C más y una amplitud de 6,1 °C aproximadamente 2 °C menos. En Almería la amplitud del agua es la mitad de la amplitud del aire, 4,5 °C vs 8,2 °C y la media del agua (15,7 °C) es 2 °C menor a la del aire (17,4 °C).

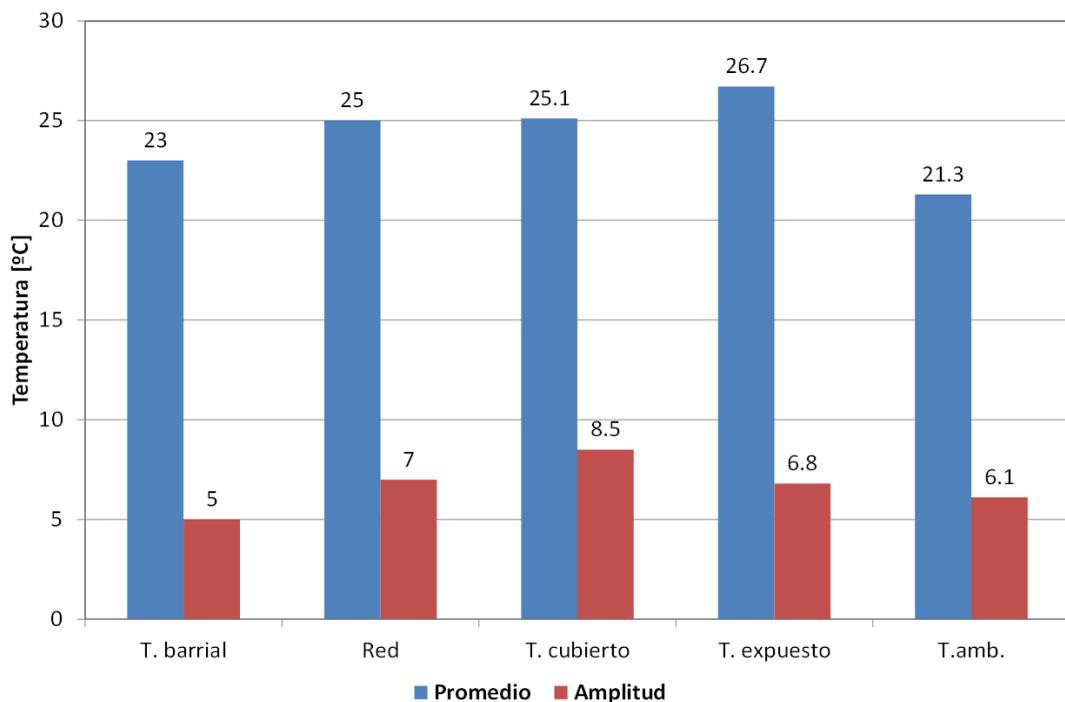


Figura 7. Temperaturas medias anuales y amplitudes para el ambiente, y el agua para la ciudad de Resistencia

En la figura 7 se observa que la temperatura promedio del agua para los diferentes casos es de aproximadamente 25 °C, superior en 4 °C a la temperatura media anual del ambiente. Por otra parte la amplitud promedio es de 7 °C, estando la del tanque barrial 2 °C por debajo y la del tanque cubierto 1,5 °C por arriba de dicho promedio; siendo dichas amplitudes muy próximas a la amplitud de la temperatura ambiente que es de 6 °C aproximadamente.

Otro parámetro que afecta fuertemente a la temperatura del agua es la temperatura del suelo, Mirjam Blokker y Pieterse-Quirijns (2013), efectuaron la comparación de la temperatura del agua medida en dos casos de prueba, 2 meses de mediciones en ubicaciones específicas en un DWDS (sistema de distribución de agua potable) y 2 años de mediciones reglamentarias en el grifo, y se demostró que la temperatura pronosticada del suelo que rodea el DWDS es indicativa de la temperatura del agua. Esto significa que el modelo de

temperatura del suelo se puede usar como modelo para predecir la temperatura del agua en un DWDS porque el tiempo de residencia del agua potable en el DWDS es más largo que el tiempo requerido para la transferencia de calor entre el suelo y el agua potable.

Conclusiones

Se establecieron los perfiles anuales de temperatura del agua corriente que constituye la alimentación a colectores solares para instalaciones con y sin tanque de reserva en la ciudad de Resistencia, NEA de Argentina. Generalizando ambos casos medidos se puede determinar el perfil anual de temperatura caracterizada por una oscilación armónica con una media de 25 ± 2 °C, una amplitud de 7 ± 2 °C, una frecuencia anual y una fase tal que el mínimo corresponde al mes de julio.

Se contrastó la temperatura del agua de red contra la temperatura ambiente, registrada y publicada por el SMN para un periodo de más de 20 años, estableciéndose que la temperatura media es 4 °C menor que la del agua y la amplitud tiene aproximadamente el mismo valor.

A los efectos de estimar la temperatura media mensual del agua corriente, para una zona geográfica con clima similar al de Resistencia, por ejemplo el NEA de Argentina, y a falta de datos específicos, se puede suponer que la temperatura del agua corriente está caracterizada por una oscilación armónica de periodo anual, con temperatura media superior en 4 °C a la temperatura media anual del ambiente y con una amplitud igual a la amplitud anual de la temperatura ambiente y con el mínimo para el mes de julio.

En base a los perfiles de temperatura del agua de alimentación se simuló mediante el método F-chart el comportamiento de una instalación solar térmica para vivienda unifamiliar, tomando como referencia un caso en el cual la temperatura media mensual del agua es igual a la temperatura media mensual del aire del lugar. Se obtuvieron diferencias cercanas a 10 puntos porcentuales entre las fracciones solares para el mes de diciembre, entre el caso de temperatura ambiente y el de tanque expuesto, reduciéndose esa diferencia a cerca de 3 puntos porcentuales, para el mes de julio. Generalizando en los promedios anuales de la fracción solar resultó que suponer una temperatura igual a la temperatura media del ambiente subestima el promedio de la fracción solar en aproximadamente un 6%, lo que es ligeramente superior a la incertidumbre del método empleado.

Referencias

Escribano, M. J.C., Noceto, P.F., Alonso Suarez, R. (2013). Manual Técnico de Energía Solar Térmica. Publicación electrónica: Facultad de ingeniería, Universidad de la República Uruguay. Disponible en <https://www.energiasolar.gub.uy/documentos/capacitacion/manual_est_aspectos_tecnicos_normativos_vol_ii.pdf>.

Figueredo, G.R., Spotorno, R.A., Zurlo, H.D. (2023). “Temperatura del agua de red en viviendas sin tanque y su influencia en la fracción solar de un colector”, Actas del XLV Reunión de Trabajo y Exposición de Energías Renovables y Ambiente, Asades 2023, Salta, Argentina, del 31 de octubre al 03 de noviembre de 2023, 229-232.

Klein, S. A., Beckman, W.A. Duffie J.A. (1976). “A design procedure for solar Heating Systems”. Solar Energy, vol.18, Issue 2, pp.113-127. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(76\)90044-X](https://doi.org/10.1016/0038-092X(76)90044-X).

Liu, B. Y. H., Jordan, R. C. (1962). “Daily insolation on surfaces tilted toward the equator”. ASHRAE Transactions, 526-541 J-GLOBAL ID : 201602002131112530

Mirjam Blokker, E.J., & Pieterse-Quirijns, E.J.. (2013). “Modeling temperature in the drinking water distribution system”. Journal (American Water Works Association), 105(1), E19–E28. <https://doi.org/10.5942/jawwa.2013.105.0011> <http://www.jstor.org/stable/jamewatworass.105.1.e19>

Moerman, A., Blokker, M., Vreeburg, J., Van der Hoek, J. P. (2014). “Drinking Water Temperature Modelling in Domestic Systems”. Procedia Engineering Volume 89, 2014, Pp.143-150. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.170>.

UNE 94002 (2005) “Norma Española, Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria. Cálculo de la demanda de energía térmica”.

Contribución de los Autores

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Gustavo R. Figueredo	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	
Juan J. Pochettino		X			X				X					X
Hugo D. Zurlo			X	X	X	X	X	X	X				X	X

1-Administración del proyecto, 2-Adquisición de fondos, 3-Análisis formal, 4-Conceptualización, 5-Curaduría de datos, 6-Escritura - revisión y edición, 7-Investigación, 8-Metodología, 9-Recursos, 10-Redacción - borrador original, 11-Software, 12-Supervisión, 13-Validación, 14-Visualización.