

Variación de la temperatura en un perfil somero de suelo para Resistencia

Gómez Rinesi, María Celeste^a; Pochettino, Juan José^a; Figueredo, Gustavo Raúl^a
a UTN-FRRe-GITEA
grfigueredo@gmail.com

Resumen

En este trabajo se expone la distribución de temperaturas en profundidad somera del suelo en la Ciudad de Resistencia a lo largo de las distintas estaciones del año conjuntamente con los parámetros climáticos correspondientes. La temperatura del agua de red doméstica puede igualarse a la temperatura que se encuentra el suelo que le rodea a la misma profundidad. Esta es una etapa previa al desarrollo y validación de un modelo matemático que utilizando como parámetros la temperatura ambiente, la radiación solar y la velocidad del viento permita predecir la temperatura del suelo a diferentes profundidades. Este dato es útil para el cálculo de la eficiencia de colectores solares al representar la temperatura de agua de entrada al equipo, así como también para demás aplicaciones del aprovechamiento geotérmico, que ayuden a disminuir el impacto ambiental proveniente de fuentes convencionales de energía. La temperatura media estacional del subsuelo para una profundidad de un metro, es de 21°C para el invierno, 24°C para la primavera, 30°C para el verano y 27°C para el otoño.

Abstract

In this work, the distribution of temperatures in the shallow depth of the soil in Resistencia City is exposed throughout the different seasons of the year. The temperature of the domestic network water can be equal to the temperature of the surrounding soil at the same depth. This is a previous stage to the development and validation of a mathematical model that using ambient temperature, solar radiation and wind speed as parameters allows predicting the soil temperature at different depths. This data is useful for calculating the efficiency of solar collectors by representing the water's temperature entering the equipment, as well as for other geothermal applications that contributes to reducing environmental impact from conventional energy sources. The average seasonal subsoil temperature for a depth of one meter is 21°C for winter, 24°C for spring, 30°C for summer and 27°C for autumn.

Palabras claves: Colectores solares, geotermia, eficiencia energética, agua sanitaria.

INTRODUCCIÓN

Las instalaciones solares térmicas destinadas a la producción de agua caliente sanitaria (ACS) poseen varias ventajas que actualmente las tornan muy atractivas, entre las más relevantes podemos nombrar la reducción del consumo de hidrocarburos, disminución de la erogaciones monetarias, reducción de la emisión de gases de efecto invernadero entre otras. El diseño y posterior comportamiento de una instalación solar depende de factores climáticos, de las características técnicas de los equipos, de las características del consumo de ACS y de la temperatura del agua de alimentación, cuyo perfil temporal y espacial actualmente se desconoce en nuestra región. Tiene gran interés determinar para una instalación de ACS solar la reducción del consumo de energía convencional, ya que de este parámetro y otros económicos dependerá el periodo de retorno de la inversión. Actualmente existen varios sistemas de cálculo que permiten estimar la reducción de consumo que se puede esperar de una instalación. Uno de los métodos más utilizado para estimar el comportamiento a largo plazo de un sistema solar es el denominado F-Chart. Otros software más

sofisticados, como el TRNSYS, permiten incluso la simulación del sistema en régimen transitorio. En todos los casos necesitan como dato de entrada la temperatura del agua de alimentación.

La calidad del agua potable cambia durante el transporte a través de los sistemas de distribución. Los sistemas domésticos de agua potable (DDWS), que incluyen la tubería entre el contador de agua y los grifos del consumidor, son los puntos más críticos en los que la calidad del agua puede verse afectada. En las redes de distribución, la temperatura del agua potable y el tiempo de residencia del agua se consideran indicadores de la calidad del agua potable. En un artículo se describe una investigación experimental sobre la influencia del tiempo de estancamiento y el cambio de temperatura en la calidad del agua potable en un DDWS a gran escala. Se llevaron a cabo dos series de experimentos de estancamiento, durante los meses de invierno y verano, con varios intervalos de estancamiento (hasta 168 h de estancamiento). Se tomaron muestras de agua y biopelículas en dos grifos diferentes, una cocina y un grifo de ducha. Los resultados de este estudio indican que la temperatura y el estancamiento

del agua afectan la calidad tanto química como microbiana en los DDWS, mientras que los parámetros microbianos en el agua estancada parecen estar determinados por la temperatura del agua dulce. La biopelícula formada en el tubo de ducha contenía más células totales e intactas que la biopelícula de la tubería de cocina. Se descubrió que las alfaproteobacterias dominan en la biopelícula de la ducha (78% de todas las Proteobacterias), mientras que, en la cocina, las bioproteínas Alphaproteobacteria, Betaproteobacteria y gammaproteobacteria se distribuyeron uniformemente [1], [2].

Los sistemas domésticos de suministro de agua son la etapa final del proceso de transporte para entregar agua potable al grifo de los consumidores. 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 acuerdo con la Ley Holandesa de Agua Potable, la temperatura no puede 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 [3].

Los sistemas domésticos de suministro de agua potable (DDWS) son el paso final en su entrega a los consumidores. La temperatura es uno de los parámetros de control de la velocidad para muchos procesos químicos y microbiológicos y, por lo tanto, se considera como un parámetro sustituto para los procesos de calidad del agua. En un estudio, se presentó un modelo matemático que predice la dinámica de la temperatura del agua potable en los DDWS. Se construyó un DDWS a escala real simulando un sistema convencional y se ejecutó según un año de demandas estocásticas con un intervalo de tiempo de 10 segundos. La temperatura del agua potable se midió en cada punto de uso en los sistemas y el conjunto de datos se utilizó para la validación del modelo. El modelo de temperatura reprodujo adecuadamente los perfiles de temperatura, tanto en líneas de agua fría como caliente, en DDWS a escala real. El modelo mostró que la temperatura del agua de entrada y la temperatura ambiente tienen un gran efecto sobre la temperatura del agua en los DDWS (Zlatanovic, Development and validation of a drinking water temperature model in domestic drinking water supply systems, 2017).

También, se pudo constatar la relación de la temperatura del agua con la del suelo que le rodea,

siendo efectivo igualarse la temperatura del suelo a la misma profundidad que se encuentra la cañería transportadora del agua doméstica [4].

La variación de la temperatura del subsuelo representa un dato valioso para el cálculo de instalaciones geotérmicas somera de baja entalpía lo que permite diseñar y desarrollar sistemas capaces de aprovechar este tipo de energía con valores concretos para sondas horizontales o pozos canadienses/provenzales instalados en el subsuelo somero (hasta 1,5 m de profundidad) [5].

La temperatura de la superficie del suelo es un parámetro de interés en una variedad de estudios hidrológicos. La temperatura de la superficie y el flujo de vapor de agua asociado son condiciones de contorno y son importantes para los modelos atmosféricos [6].

Predecir el rendimiento de las instalaciones solares para producir agua caliente sanitaria requiere conocer la variación mensual de la temperatura del agua de red, la que está estrechamente relacionada con la temperatura del subsuelo y los parámetros meteorológicos. En este trabajo se presentan los resultados de las mediciones, para la ciudad de Resistencia, Chaco, a lo largo de un año, de la temperatura del subsuelo a profundidades cada 50 cm hasta los 1,60m aproximadamente, en conjunción con los parámetros de 3 estaciones meteorológicas en la zona de interés.

MATERIALES

Sitio de estudio: El sitio de estudio es aledaño a las oficinas del GITEA en el anexo de la Facultad Regional de Resistencia (FRRe) de la Universidad Tecnológica Nacional, ubicada en la Ciudad de Resistencia (Argentina). La perforación efectuada se encuentra en las coordenadas de latitud 27° 26' 52.9" S y longitud 58° 58' 31.7" O, a una altura aproximada de 50 m.s.n.m. El suelo de la zona está compuesto por materiales limo-arcillosos de granulometría fina, con escasa participación de arena fina, de color castaño claro que resultan ser tipo CL (clay low) [7].

La temperatura del subsuelo se midió con sensores de temperatura tipo Pt 100 dispuestos a 0,49 m, 0,78 m, 1,08 m y 1,58 m.

Para la medición de la radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa y la velocidad del viento se utilizó una estación meteorológica Davis Vantage Pro 2. Para medir la radiación, el equipo ofrece un rango de medición de 0 a 1800 W/m² y una exactitud del +/- 5%. Para medir la temperatura del ambiente se utilizó el mismo equipo que tiene una exactitud del +/- 0,3 °C y tiene un rango de temperatura de -40 a 65 °C.

Para la medición de la humedad el rango es de 1 a 100% con una exactitud de +/- 2% y para la de la velocidad del viento el rango es de 0 a 89 m/s con una exactitud de +/- 0,9 m/s. La estación meteorológica del GITEA se encuentra en la misma posición geográfica que la perforación, indicada previamente.

Perforación y medición: La perforación se realizó con una profundidad de 1,58 m y un diámetro de 0,2 m en una zona del terreno sin pendiente y con una incidencia de radiación solar media. Los datos se toman cada 30 minutos para poder realizar los cálculos necesarios para el modelo matemático. El sitio está protegido del viento desde 3 orientaciones por construcciones lindantes. Se desprecia la influencia de la perforación en la temperatura del suelo, debido a la gran masa térmica del suelo y a la distancia entre el extremo sensor y la perforación de 0,20m.

Para corroborar la consistencia de las mediciones obtenidas, se realizó una comparación entre los valores medidos con los sensores propios y los valores obtenidos de la estación meteorológicas del aeropuerto de Resistencia, latitud: 27° 26' 55" S,

longitud: 59° 3' 10" O y altura: 52 m.s.n.m ubicado en una zona suburbana a 7,25 km al oeste del sitio principal de medición. También se comparó con los de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, ubicada en un parque dentro de la zona urbana en latitud: 27° 27' 49" S, longitud: 58° 59' 05" O y altura: 50 m.s.n.m. a 1,85 km al SO del GITEA.



Figura 1. 1) Caño de PVC de protección de sensores. 2) Realización de la perforación. 3) Perforación con sensores.

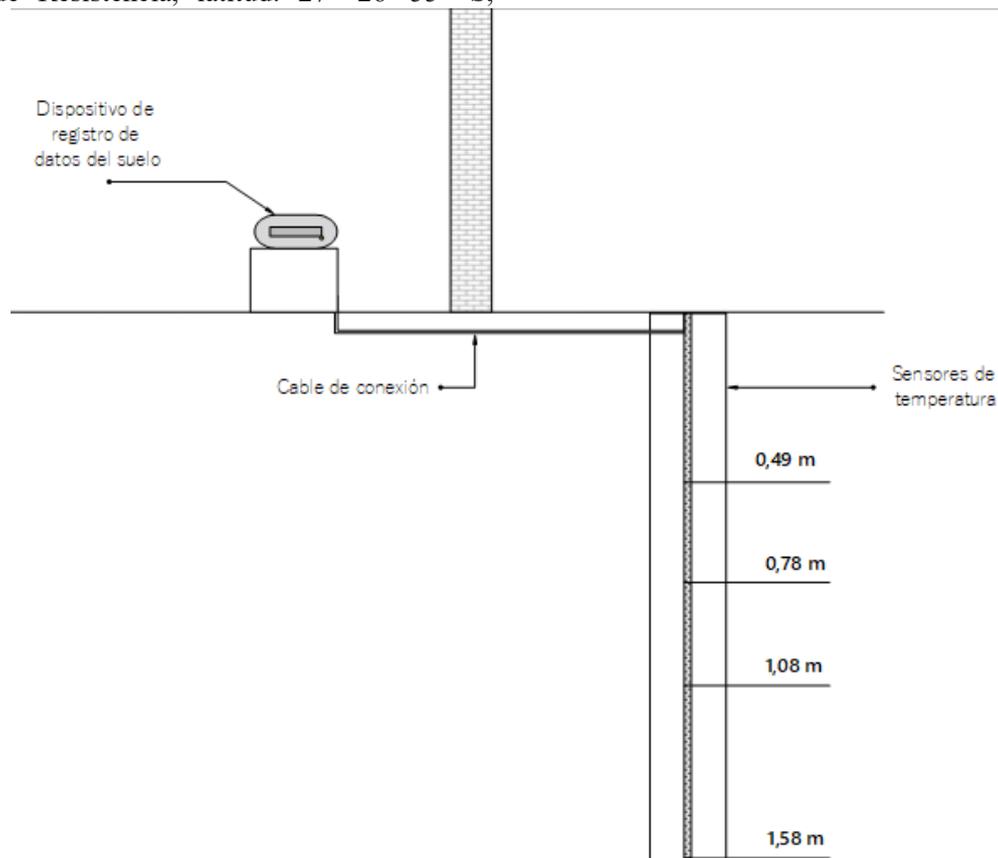


Figura 2. Esquema de instalación de los sensores de temperatura.



Figura 3. Ubicación de las estaciones meteorológicas consultadas en la ciudad de Resistencia

METODOLOGÍA

La temperatura del suelo se midió con intervalo de 30 min., mientras que los datos del clima en la estación del GITEA fueron cada 15min, en el aeropuerto cada 60 min. y en la estación de la UNNE cada 5 min. Para contrastar y validar los parámetros climáticos se compararon mediciones de dos estaciones meteorológicas urbanas y una en las afueras de la ciudad de Resistencia.

Para los meses de verano (diciembre, enero y febrero) y de invierno (junio, julio, agosto y setiembre) se calcularon promedios mensuales de las temperaturas a distintas profundidades que se graficaron representando en ordenadas las profundidades y en abscisas las temperaturas. Procedimiento análogo se efectuó para las diferentes estaciones del año.

RESULTADOS

Se registraron datos meteorológicos y de temperatura del subsuelo durante el periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2019 y enero del 2021.

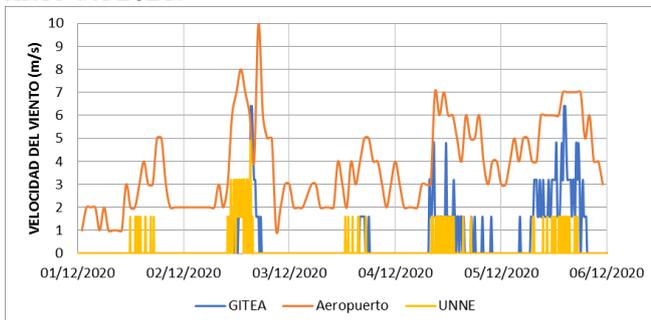


Figura 4. Comparación de datos propios de velocidad del viento con datos brindados por el Aeropuerto y UNNE.

En la Figura 4, se realiza la comparación de las velocidades del viento tanto en la estación meteorológica del GITEA, del Aeropuerto y de la UNNE. Se puede observar como en el Aeropuerto se obtuvieron las mayores velocidades, esto puede

deberse a que su ubicación se encuentra en los suburbios de la ciudad, alejado de construcciones urbanas. Las velocidades medidas en el GITEA son mayores que en la UNNE, ambos sensores se encuentran dentro de la zona urbana por lo que el viento se frena en mayor medida por las construcciones edilicias en comparación con el Aeropuerto. También se puede observar como en los horarios donde las velocidades son máximas, mayores son las diferencias. Aun considerando estas observaciones, se puede analizar que las velocidades llevan una tendencia similar en cuanto al aumento de velocidad en cada día.

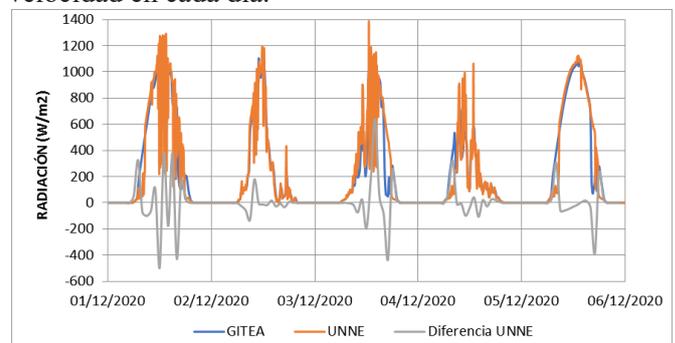


Figura 5. Comparación de datos propios de radiación con datos brindados por la UNNE.

En la Figura 5 se presenta la comparación entre los datos de radiación tomados por la estación meteorológica de UNNE y GITEA en las fechas del 1 al 5 de diciembre de 2020. Se puede observar que hay días en los que hay mayores diferencias como en el día 1/12, 3/12 y 5/12 mientras que en otros días como el 2/12 y el 4/12 las diferencias son menores. Las mayores diferencias se presentan durante los días con mayor presencia de nubes por lo que los datos obtenidos dependen de la nubosidad que hubo específicamente en el lugar donde se obtuvieron los datos. A su vez, se puede observar una mayor diferencia en los horarios del mediodía siendo la mayor diferencia de aproximadamente 600 W/m². En la medida que la radiación aumenta durante el

transcurso del día, tienden a producirse las mayores diferencias.

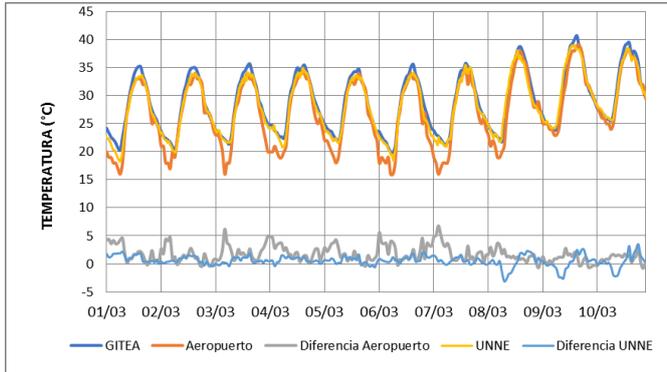


Figura 6 Comparación de datos propios de temperatura ambiente con datos brindados por el Aeropuerto y la UNNE.

Se tomaron datos de temperatura ambiente con la estación meteorológica que se encuentra en el GITEA. Se comparó el registro de temperatura ambiente con los datos brindados por el Aeropuerto y la UNNE, presentados en la figura 6, a partir de los cuales se llegaron a las siguientes observaciones:

Las temperaturas medidas por los sensores instalados en el GITEA exhiben una diferencia promedio de 1,6°C y una diferencia máxima de 6,8°C con respecto al Aeropuerto para el periodo considerado.

Se aprecia una mayor similitud entre los datos del GITEA y la UNNE, teniendo una diferencia promedio de 0,5°C y una diferencia máxima de 3,5°C. Esto puede deberse a que ambos sensores se encuentran en zonas urbanas lo que produce una pequeña elevación de la temperatura a bajas alturas por el calor antropogénico.

Debido a la distancia entre ambos lugares de medición y las condiciones en que se encuentran, las diferencias se amplifican durante las primeras horas del día. El sensor del Aeropuerto se encuentra a las afueras de la ciudad mientras que el sensor de la facultad se encuentra en el centro, rodeado por edificios y zona urbana.

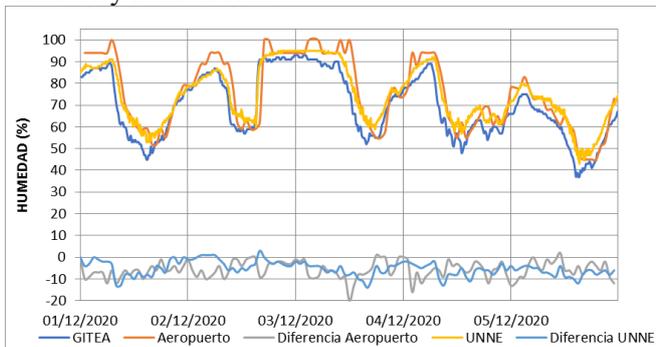


Figura 7 Comparación de datos propios de humedad con datos brindados por el Aeropuerto y la UNNE...

En la Figura 7 se presentan los registros de humedad, se observa que los datos registrados en el GITEA tienen idéntica tendencia que los del Aeropuerto y UNNE. El promedio de los errores es de 6% y 5% de humedad, con una diferencia máxima de 20% y 14% respectivamente.

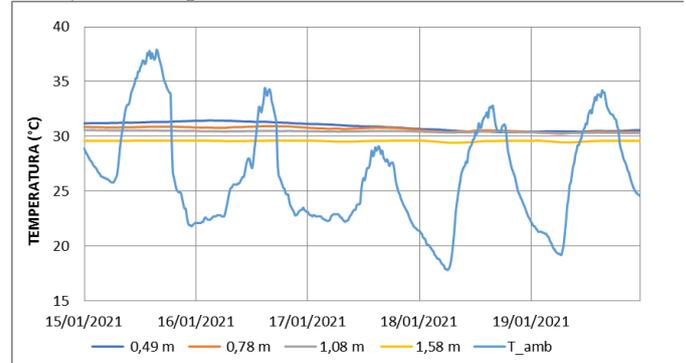


Figura 8 Temperatura para diferentes profundidades durante el verano.

En la Figura 8 se presentan las temperaturas del subsuelo a distintas profundidades durante algunos días del verano, se puede observar que:

Las temperaturas más altas se registran a la menor profundidad, es decir a los 0,49 m. Desde este punto y a medida que aumenta la profundidad, la temperatura comienza a disminuir. No se registra variación cíclica diurna y solo se observa una gradual tendencia al aumento cuando disminuye la profundidad. Durante los 3 primeros días se observa un descenso en la temperatura promedio diaria del ambiente. Se puede notar una mayor influencia de la temperatura ambiente a menores profundidades.

Se aprecia que a medida que aumenta la profundidad, la temperatura es menor, con una disminución marcada para el registro de 1,58 m, de aproximadamente 3 °C, entre los sensores 0,49 y 1,58 m.

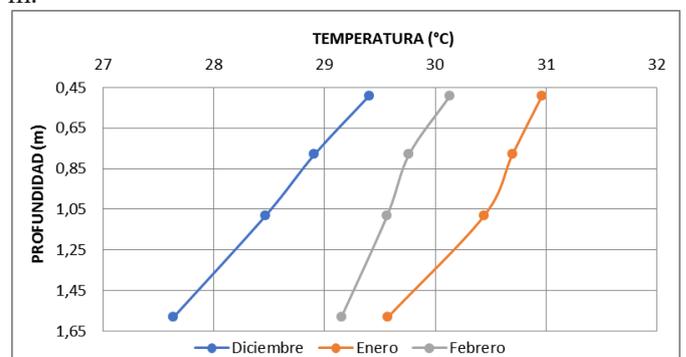


Figura 9 Perfil temperatura - profundidad para 3 meses cálidos.

En la Figura 9 se graficó la variación de la temperatura promedio para los meses cálidos en función de la profundidad. Se observa que a medida que entramos en época estival, pasando de diciembre a enero, la temperatura promedio de todo el perfil aumenta; mientras que para febrero (en donde la temperatura ambiente promedio bajó con respecto a enero) el perfil se corrió hacia la izquierda (bajó la temperatura).

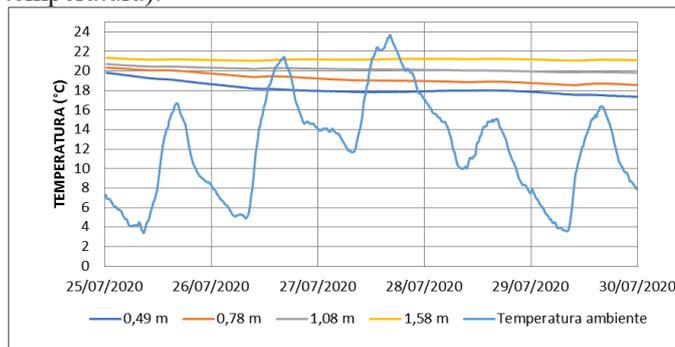


Figura 10 Temperaturas para diferentes profundidades durante algunos días del invierno.

En la Figura 10, se exponen los datos para los días más fríos del año 2020 entre las fechas del 25 a 30 de Julio. Podemos observar que, a contraposición del verano, en invierno la temperatura máxima en el perfil del suelo se encuentra a mayores profundidades.

Además, a la profundidad de 1,58 m en invierno la temperatura es de aproximadamente 21,5 °C mientras que en verano teníamos temperaturas que llegaban a superar los 30°C. A su vez cabe destacar que la temperatura a la que llega el sensor de la mayor profundidad no pasa de los 21,5 °C, que representa la temperatura ambiente promedio anual de la Ciudad de Resistencia.

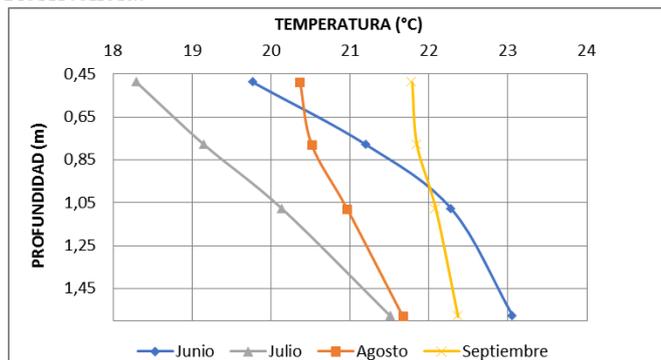


Figura 11 Perfil temperaturas - profundidad por meses del invierno.

En la Figura 11 vemos la influencia de la variación de temperatura ambiente a medida que el invierno avanza (mes a mes). Los cambios de temperatura más bruscos se ven a poca profundidad, siendo dicha

variación menor a profundidades mayores. También se puede observar como la diferencia de temperaturas entre la superficie y la mayor profundidad se va estabilizando con el tiempo.

En Junio se tienen bajas temperaturas en la superficie pero a mayor profundidad se mantiene la temperatura de los meses anteriores más calurosos.

En Julio vemos que la temperatura de la superficie es aún más baja debido al descenso de la temperatura ambiente, acompañado por una disminución de la temperatura a los 1,58 m.

En Agosto, la temperatura ambiente empieza a aumentar y de a poco también se transmite esto a la profundidad de 1,58 m,

En Septiembre, el perfil de temperatura vuelve a aumentar al aumentar la temperatura ambiente de la primera.

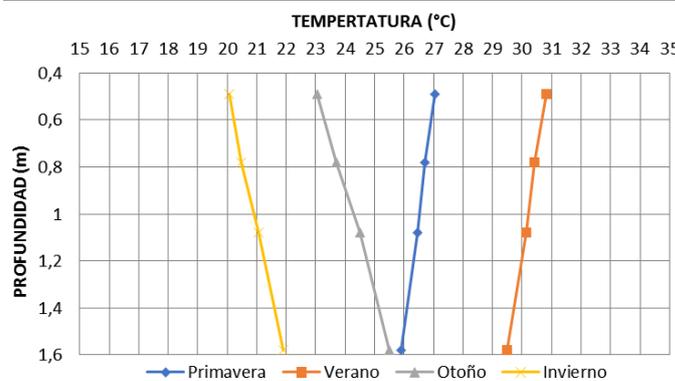


Figura 12 Perfil temperaturas - profundidad promedio durante las distintas estaciones del año..

Finalmente, podemos estimar, a través de la Figura 12, que la temperatura de equilibrio se encuentra entre los 25 y 27°C ya que ambas curvas tienden a estos valores al aumentar la profundidad, pero a una profundidad mayor que el metro y medio registrado experimentalmente.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la ciudad de Córdoba, Carro Pérez et al [5], obtuvieron que la temperatura de equilibrio, es decir la que permanece constante a lo largo del año, se encuentra comprendida entre los 20 y 22°C a una profundidad mayor que el metro y medio siendo la temperatura ambiente media anual de 18,15°C; en este estudio se obtuvo una temperatura de equilibrio de $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$ a una profundidad superior a los 3 m siendo la temperatura media del año 2020 de 22,7°C calculada en base a los datos de la estación meteorológica del GITEA. Busso [8] sostiene que a profundidades superiores a los 10 m los cambios estacionales de temperatura no tienen influencia sobre la temperatura

del subsuelo, la que por ende permanece constante a lo largo del año.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se midieron y registraron las temperaturas del subsuelo hasta una profundidad de 1,60 m, en un típico suelo limo-arcilloso de granulometría fina de la costa occidental del río Paraná en el Chaco, durante un año, determinando los perfiles de temperatura para cada estación y los desfases que se producen en el transcurso de períodos cortos (día) y en períodos largos (meses).

La temperatura media estacional del subsuelo para una profundidad de un metro, es de 21°C para el invierno, 24°C para la primavera, 30°C para el verano y 27°C para el otoño. La temperatura del agua de red coincide con dichas temperaturas del subsuelo dado que las tuberías se encuentran enterradas a esa profundidad. Se observa una amplitud térmica anual del subsuelo de 9°C para la ciudad de Resistencia en la profundidad de las tuberías de agua.

Para profundidades superiores a 3m la oscilación de la temperatura del subsuelo presentaría una amplitud a lo largo del año inferior a 1°C en torno a los 26°C.

Siendo el objetivo final del proyecto, en el que se enmarca este trabajo, generar datos de temperatura del agua de red, a partir de los datos expuestos se desarrollará en primera instancia un modelo matemático para la temperatura del suelo y posteriormente un modelo para la temperatura del agua de red en función del consumo y los parámetros meteorológicos.

AGRADECIMIENTOS

Al departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste por proveernos los datos medidos en su estación meteorológica.

REFERENCIAS

- [1] Zlatanovic, L., Moerman, A., van der Hoek, J. P., Vreeburg, J., & Blokker, M. (2017). Development and validation of a drinking water temperature model in domestic drinking water supply systems. *Urban Water Journal*, Vol. 14(10), págs. 1031-1037.
- [2] Zlatanovic, L., Moerman, A., van der Hoek, J. P., Vreeburg, J., & Blokker (2017). An experimental study on the influence of water stagnation and temperature change on water quality in a full-scale domestic drinking water system. *Water Research*, Vol. 123, págs. 761-772.
- [3] Moerman, A., Blokker, M., Vreeburg, J., & Van Der Hoek (2014). Drinking water temperature modelling in domestic systems. *Procedia Engineering*, Vol. 89, págs. 143-150.
- [4] Blokker E. J. Mirjam, Pieterse-Quirijns (2013). Modeling temperature in the drinking water distribution system. *American Water Works Association*, Vol. 105, págs. E19-E28.
- [5] Carro Pérez M. E., Micaela Pleitavino, Belén Mansilla, Rocío B. Toledo, Santiago Aratano Jalin, Rodrigo Bruni. (2020). *Evaluación de la distribución de temperaturas en un perfil somero de suelo loésico.*, *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Vol. 24, págs. 161-172.
- [6] Best, M. (1998). A Model to Predict Surface Temperatures. *Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 88, págs. 279-306.
- [7] Torra, Roberto. (2003). Geología del subsuelo del Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), Provincia del Chaco, Nordeste de Argentina., *Ciencia E Natura*, Vol. 25.
- [8] Busso, Arturo Juan. (2012). Almacenamiento subterráneo de energía - UTEs: Instalación del primer Borehole Heat Exchanger en Argentina y estudio de posibles usos de la tecnología para el ahorro energético en climatización.