

## **ESTIMACIÓN DEL AHORRO ECONÓMICO EN ENERGÍA ELÉCTRICA OBTENIDO EN SISTEMAS DE CALEFACCIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR CON LA IMPLEMENTACIÓN DE AGUA DE SUBSUELO EN EL EVAPORADOR**

**R. Spotorno, F García, J. Pochettino, G. Figueredo**

GITEA-Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas

Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Resistencia

French 414 .3500 Resistencia-Chaco. República Argentina

Tel: +54 3624 432928/Fax: +54 3624 432683/e-mail: [rubenspotorno@yahoo.com](mailto:rubenspotorno@yahoo.com)

*Recibido 12/08/16, aceptado 09/10/16*

**RESUMEN:** Se exponen los resultados obtenidos del ahorro económico en energía eléctrica en sistemas de calefacción por compresión de vapor con la implementación de agua de subsuelo en el evaporador del equipo. El estudio económico se realizó para ensayos de calefacción del sistema de climatización cuando se utiliza aire y agua de subsuelo en el evaporador. Además se realizó el análisis de amortización del equipamiento necesario para implementar la utilización del agua de subsuelo en el sistema de calefacción por compresión de vapor, para un caso específico de una escuela (caso hipotético), que posee veinte ambientes. Considerando los costos de los componentes del equipamiento auxiliar, el retorno de inversión es de 10 años, 6 meses y ocho días. Si se tiene en cuenta el posible aumento de la tarifa eléctrica en el orden del 60 %, el retorno de inversión del equipamiento auxiliar se reducirá al periodo de 6 años, 6 meses y 29 días.

**Palabras clave:** Ahorro económico, amortización, climatización por compresión de vapor, agua de subsuelo

### **INTRODUCCIÓN**

En las regiones subtropicales húmedas como la del Nordeste Argentino, es necesario instalar sistemas de climatización por compresión de vapor para reducir las temperaturas y humedades relativas elevadas. Además durante los meses de invierno, si bien las temperaturas no son relativamente bajas, se requiere en ciertas horas diarias calefaccionar los ambientes de los hogares y laborales. Estas características hacen que el acondicionamiento ambiental, en especial la refrigeración, sea una necesidad para lograr confort térmico, ya sea a nivel residencial, industrial y comercial, (Spotorno et al., 2013).

El GITEA (Grupo de Investigación en Tecnologías Energéticas Apropriadas), dependiente de la Facultad Regional Resistencia, reportaron los estudios termodinámicos y simulación mediante el programa Solkane 8, de un sistema de climatización por compresión de vapor con la incorporación del recurso geotérmico en el condensador del equipo y sin él, (Spotorno et al., 2013). El GITEA, además reportó los ensayos experimentales y simulación de un sistema de climatización por compresión de vapor con la incorporación del recurso geotérmico en el condensador del equipo y sin él, (Spotorno et al., 2014). En el año 2015 publicó los resultados de los estudios y ensayos de calefacción de sistemas de climatización por compresión de vapor con la incorporación de agua de subsuelo en el evaporador, (Spotorno et al., 2015).

Los sistemas de climatización por compresión de vapor son eficientes, sin embargo la energía de entrada es trabajo suministrado mecánicamente, por lo cual es costoso. Además en el presente año, la eliminación de subsidios por parte del gobierno nacional a las tarifas eléctricas, encarecen en gran medida la utilización de los mencionados sistemas.

Los estudios realizados por el GITEA en la implementación de agua de subsuelo en los sistemas de climatización por compresión de vapor, suministró resultados alentadores en la reducción del consumo de energía eléctrica.

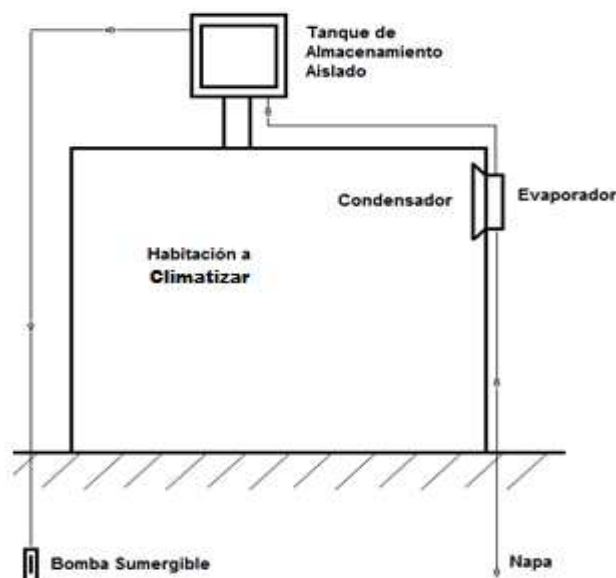
El presente trabajo expone los resultados obtenidos del ahorro económico en energía eléctrica en los sistemas de climatización por compresión de vapor con la implementación del agua de subsuelo en el evaporador. Además se realizó un estudio respecto al periodo de amortización del equipamiento necesario para implementar la utilización del agua de subsuelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La figura 1 muestra un esquema funcional general empleado del sistema de climatización cuando se utiliza agua de subsuelo. En el mismo se identifican los diferentes componentes: habitación, bomba sumergible, tanque de almacenamiento de agua de subsuelo, aire acondicionado (Split).

Los ensayos de calefacción tenían una hora de duración y consistían en lo siguiente:

En primera instancia se efectuaron los ensayos de calefacción utilizando aire en el evaporador del equipo. A continuación se realizaron los mismos ensayos con la particularidad de utilizar agua de subsuelo. Para la realización de los mismos se impulsaba agua a un tanque elevado y térmicamente aislado con capacidad de  $1 \text{ m}^3$ , por medio de una bomba sumergible ubicada a 29 m de profundidad aproximadamente. La alimentación del evaporador del sistema de climatización se efectuaba simplemente por gravedad, mediante una manguera transparente de PVC con una serie de orificios de diámetros que permitiera que el agua caiga en forma de cascada. La regulación del caudal de agua que circulaba por el evaporador del equipo se realizaba mediante una válvula globo. Además se realizaron ensayos con el condensador sumergido en agua de subsuelo logrando un régimen permanente en la circulación de la misma. La temperatura del agua de subsuelo que se utilizó en los ensayos de calefacción registró un valor aproximado de  $24^\circ \text{C}$ . Cabe destacar que el cambio anual en la temperatura de la superficie del suelo solo afecta a la temperatura del subsuelo hasta una profundidad de entre 10 a 15 m. A profundidades mayores ya es el gradiente geotérmico local quien predomina, por tanto la temperatura de las fuentes de aguas subterráneas a profundidades mayores a los 15 m permanece constante e igual a la temperatura media anual en la superficie (Eklöf y Gehlin, 1996).



*Figura 1: Esquema funcional general utilizado cuando se utiliza agua de subsuelo*

El sistema de climatización por compresión de vapor con la adaptación correspondiente para utilizar el agua de subsuelo en forma de llovizna o cascada se visualiza en la fotografía de la figura 2.



Figura 2: Fotografía del sistema de climatización y adaptación del recurso geotérmico

A continuación se presentan los resultados obtenidos de ensayos de calefacción realizados para diferentes días del mes de Julio del año 2015, con la misma carga térmica interior, pero con las condiciones exteriores distintas.

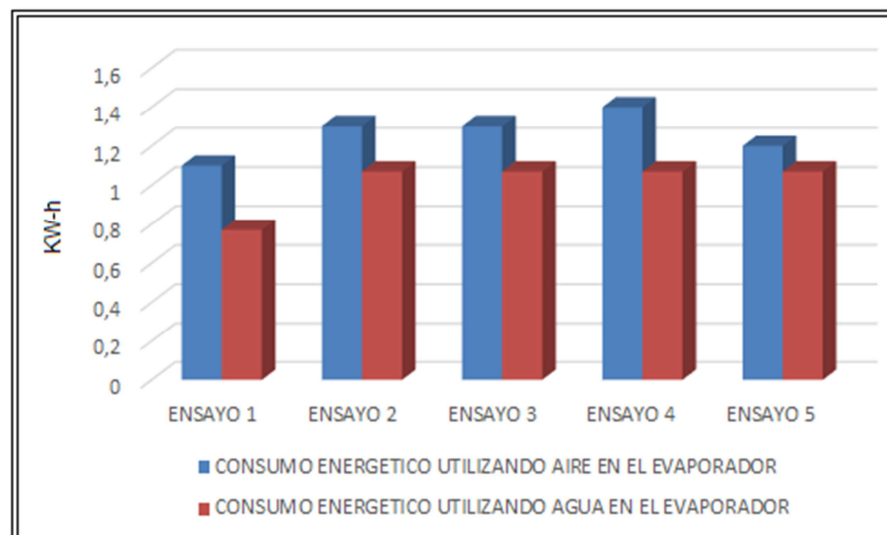


Figura 3: Consumo de energía eléctrica

En la figura 3 se observa el gráfico representativo del consumo de energía eléctrica de cinco ensayos. La barra de color azul representa el consumo de energía eléctrica durante el ensayo de calefacción utilizando aire en el evaporador, mientras que la barra de color roja representa el consumo de energía eléctrica durante el ensayo de calefacción utilizando agua en el evaporador del sistema. En base a los resultados obtenidos de los ensayos presentados, se logró determinar que la reducción del consumo es del orden de 0.23 kW-h cuando el sistema de calefacción funciona con agua de subsuelo en el evaporador, respecto al sistema de calefacción convencional, (Spotorno et al., 2015).

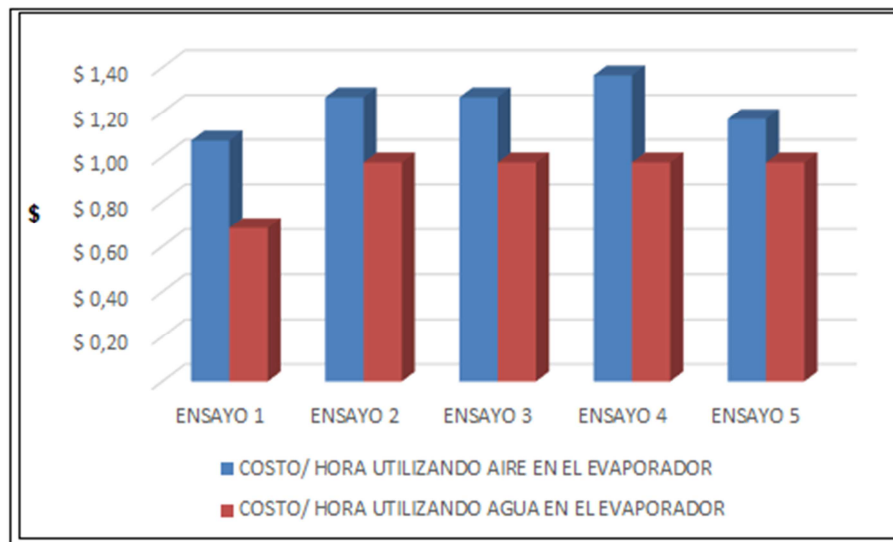


Figura 4: Costo en pesos para cada ensayo

La figura 4 muestra la gráfica correspondiente del costo en pesos para cada ensayo, considerando \$ 0.975 el costo del kW-h. Se puede observar para los diferentes ensayos, la reducción del costo cuando se utiliza agua de subsuelo en el evaporador respecto al sistema de calefacción convencional.

Con la finalidad de realizar un estudio económico más integral se desarrolló la siguiente propuesta: Se consideró una escuela (caso hipotético), ubicada en una localidad donde se requiere calefacción durante cinco meses, funcionando durante nueve horas diarias para lograr el desarrollo de las actividades convenientemente. La escuela posee veinte ambientes a calefaccionar (aulas, dirección, secretaria, sala de preceptores y biblioteca).

Como todo el edificio es integrado, se utilizaba una sola bomba sumergible de 10 Hp, un tanque de almacenamiento del agua de subsuelo cuya capacidad es de 10.000 litros y un sistema de conductos aislados mediante cobertores que transportan el agua desde el tanque a cada uno de los Split de 4500 frigorías/h.

La figura 5 muestra el estudio del costo en pesos de funcionamiento por año de veinte equipos de calefacción funcionando con aire y agua de subsuelo en el evaporador. En la misma se observa la representación si los veinte equipos funcionaran de acuerdo a las condiciones de los cinco ensayos presentados.

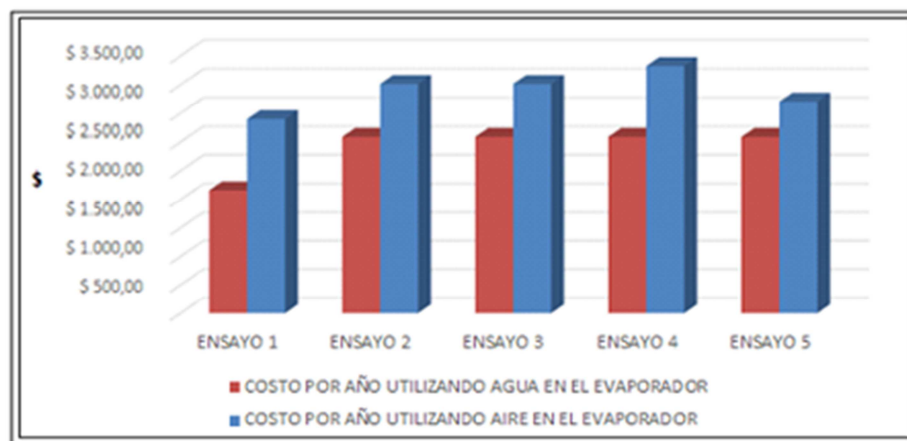


Figura 5: Costo para el funcionamiento de 20 equipos

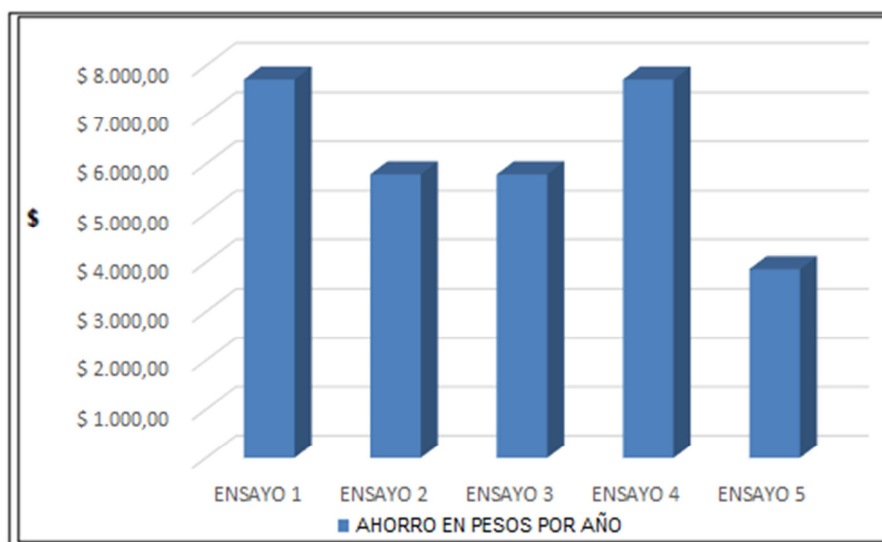


Figura 6: Ahorro en pesos funcionando los equipos con agua de subsuelo en el evaporador

Considerando un costo de \$0.975 del kW-h, se observa en la figura 6, el ahorro en pesos por año de los veinte equipos funcionando nueve horas diarias, veintidós días al mes, durante cinco meses, con agua de subsuelo en el evaporador durante los ensayos de calefacción, para las condiciones de los cinco ensayos presentados. Se puede observar que el máximo de ahorro en pesos es de aproximadamente de \$7500, mientras que el mínimo alcanza un valor de \$3500.

Para el estudio de amortización del equipamiento auxiliar adaptado al sistema convencional de calefacción, se tuvieron en cuenta los siguientes componentes con sus respectivos costos que se muestran en la tabla 1.

	COMPONENTES	INVERSIONES
1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	\$ 20.000,00
24	CAÑOS DE AGUA 3/4"	\$ 3.000,00
20	PROTECCION PARA CAÑOS	\$ 1.500,00
1	FLOTANTE Y AUTOMATICO	\$ 150,00
1	TERMICA PARA BOMBA	\$ 350,00
	MANO DE OBRA	\$ 1.000,00
	AISLAMIENTO DEL TANQUE	\$ 1.000,00
1	PERFORACION	\$ 2.000,00
1	BOMBA SUMERGIBLE 10 HP	\$ 36.000,00
	TOTAL INVERSION	\$ 65.000,00

Tabla 1: Componentes del equipamiento auxiliar

Realizando un promedio del ahorro en pesos de los ensayos presentados en la figura 6, se obtiene un valor de \$6177.60 aproximadamente. Efectuando el cálculo del retorno de inversión:

$$\text{RETORNO DE LA INVERSION} = \$ 65.000 / \$ 6177.60 = 10 \text{ años, } 6 \text{ meses y } 8 \text{ días}$$

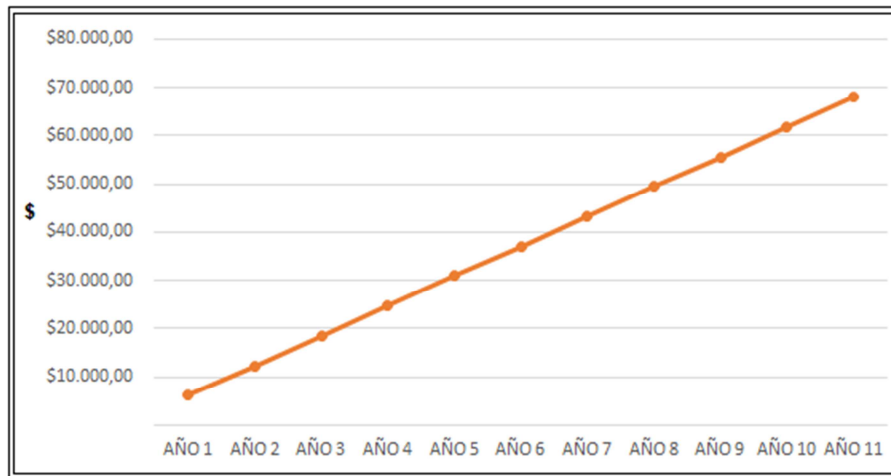


Figura 7: Retorno de inversión del equipamiento auxiliar

Se puede observar de la figura 7, que el retorno de inversión del equipamiento auxiliar adaptado al sistema de calefacción convencional es de 10 años, 6 meses y 8 días.

Actualmente en la provincia del Chaco realizada la audiencia pública, se prevé un aumento del costo del KW-h en un 60%. Considerado el mencionado aumento, el retorno de inversión se presenta en la gráfica de la figura 8.

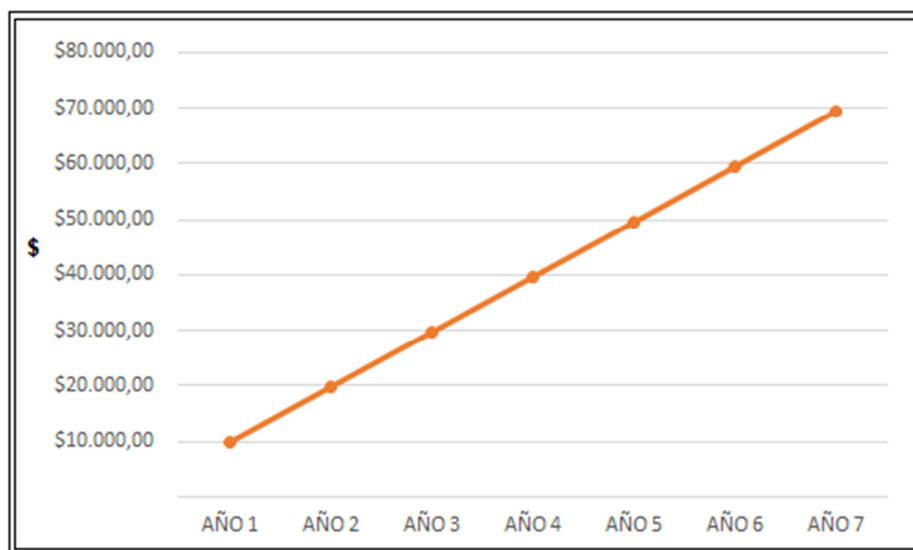


Figura 8: Retorno de inversión del equipamiento auxiliar considerando el aumento del kW-h

El retorno de inversión del equipamiento auxiliar, considerando el aumento del KW-h como muestra la figura 8, es del orden de 6 años, 6 meses y 29 días.

Cabe destacar que se realizaron ensayos de calefacción con el evaporador sumergido en agua de subsuelo logrando un régimen permanente en la circulación de la misma. Se obtuvieron resultados alentadores respecto a cuándo se utiliza el sistema de llovizna o cascada. El inconveniente se presenta debido a que se debe realizar una instalación auxiliar al sistema de climatización convencional, que consiste en colocar otro evaporador sumergido en un recipiente por donde circula el agua de subsuelo (figura 9). Lo descrito conlleva a que la instalación auxiliar encarezca el sistema de calefacción, no logrando una amortización adecuada a mediano plazo.



*Figura 7: Fotografía del sistema de climatización y evaporador sumergido*

## **CONCLUSIONES**

Se realizó el estudio del ahorro económico de energía eléctrica en sistemas de climatización por compresión de vapor con la implementación de agua de subsuelo en el evaporador del equipo, funcionando en la modalidad de calefacción.

El ahorro económico obtenido del sistema de climatización en la modalidad de calefacción, utilizando agua de subsuelo en el evaporador en comparación cuando se utiliza aire es de \$0.30 aproximadamente por cada hora de ensayo.

Para una escuela (caso hipotético), ubicada en una localidad que se requiere calefacción funcionando el sistema de climatización de 20 equipos durante nueve horas diarias, veintidós días al mes, en cinco meses, se obtienen ahorros en pesos anuales del orden de \$ 3.500 a \$7.200.

Considerando el caso de la escuela compuesta por veinte ambientes a calefaccionar, el retorno de inversión del sistema auxiliar es de 10 años, 6 meses y ocho días aproximadamente. Si se tiene en cuenta el posible aumento de la tarifa eléctrica en el orden del 60 %, el retorno de inversión del equipamiento auxiliar se reducirá al periodo de 6 años, 6 meses y 29 días.

Se logró determinar que el ahorro energético y que por lo tanto económico es superior cuando se utiliza agua de subsuelo con el evaporador sumergido, que cuando se emplea el agua en forma de llovizna o cascada. El inconveniente radica que la utilización del evaporador sumergido requiere la instalación de un condensador ubicado en un recipiente por donde circula el agua de subsuelo, encareciendo el equipo y por lo tanto extendiendo el periodo de amortización. Por el contrario la instalación cuando se utiliza agua en forma de llovizna o cascada, la instalación es de menor costo.

## REFERENCIAS

- Eklöf C. y Gehlin S. (1996). TED-A Mobile Equipment for Termal Response Test.-62 S, Master's thesis 1996: 198E, Lulea University of Technology. Lee W., Chen H., Yik F. (2008). Modeling the performance characteristics of water-cooled air-conditioners. *Energy and Buildings* 40. pp. 1456-1465. Science Direct.
- Spotorno R., Busso A., Pochettino J., Figueredo G., García F., Benítez F. (2013). Estudios termodinámicos en la mejora de sistemas de climatización por compresión de vapor mediante la incorporación del recurso geotérmico (agua de subsuelo). Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. I. pp. 06.43-50.
- Spotorno R., Busso A., Campbell C., Pochettino J., Figueredo G., García F., Benítez F. (2014). Ensayos experimentales y simulación de un sistema de climatización por compresión de vapor con la incorporación del recurso geotérmico (agua de subsuelo). Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 2. pp. 06.71-78.
- Spotorno R., Busso A., Campbell C., Pochettino J., Figueredo G., García F. (2015). Estudios y ensayos de calefacción de sistemas de climatización por compresión de vapor con la incorporación de agua de subsuelo en el evaporador. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3. pp. 06. 47-57.

## ABSTRACT

The results of cost savings are reported in electricity in heating systems with vapor compression implementation of subsurface water in the evaporator equipment. The economic study was conducted to test heating HVAC system when air and ground water is used in the evaporator. Besides analyzing amortization of equipment needed to implement the use of underground water in the heating system vapor compression for a specific case of a school (hypothetical case) that has made twenty environments. Considering the costs of the components of auxiliary equipment, the return on investment is 10 years, 6 months and eight days. Taking into account the possible increase in electricity tariff in the order of 60%, the return on investment of auxiliary equipment will reduce the period of 6 years, 6 months and 29 days.

**Keywords:** economic savings, amortization, vapor compression air conditioning, subsoil water