

Estercoquecer: Calefacción invernadoiro aproveitando a enerxía térmica dunha pilla de esterco.

Mediante este sistema de aproveitamento da enerxía xeotérmica de baixa temperatura aténdese á demanda térmica base de climatización dun invernadoiros existente na “Estación experimental do Baixo Miño” devandito marcando os seguintes retos enerxéticos, ambientais e socio-económicos:

- Utiliza como fonte de enerxía renovable a enerxía xeotérmica obtida da pilla de esterco pola súa capacidade de subministración continua e o seu elevado potencial converténdose nunha opción de forte impulso e elevadas garantías.
- Conseguir un mesmo grao de confort cunhas necesidades de enerxía eléctrica moito menores que o dunha bomba de calor convencional.
- Reducir a pegada de carbono ao non emitir de gases de efecto invernadoiro fronte a outros sistemas de calefacción tradicionais baseados na combustión.

1. Montaxe Nº1: Bomba de calor e sistema de captación de paneis verticais dentro da pilla:

1.1. Deseño.

A bomba de calor: é unha máquina térmica que toma o calor dun espazo frío e o transfere a outro máis quente gracias a un traballo aportado dende o exterior.



Figura 1: Esquema de bomba de calor.

Circuíto primario: Circuíto cerrado que pasa por cinco valos xeotérmicos e polo circuíto evaporador da bomba de calor. Este circuíto é o encargado de extraer o calor da pilla de esterco.

Circuíto secundario: Circuíto cerrado que pasa por cinco fancoils e polo circuíto condensador da bomba de calor. Este circuíto é o encargado de climatizar o invernadoiro.



Figura 2: Circuíto de captación de calor formado por cinco valos xeotérmicos situados no interior da pilla.



Figura 3: A man dereita se pode ver un dos cinco fancoils que forman o circuíto de climatización do invernadoiro.



Figura 4: Vista bomba de calor utilizada na sala de máquinas.

1.2. Características da instalación.

Bomba de Calor :

- Bomba de calor polivalente con control de potencia térmica modulante nun amplo rango (25-100%) e control de caudal modulante nos circuitos de captación e produción (20-100%).
- Xestión integrada de equipos de apoio externos auxiliares todo/nada ou modulantes, por exemplo resistencias eléctricas ou caldeiras todo/nada ou caldeiras modulantes.
- Potencia 12 a 40 kW
- COP 4,6
- Etiqueta enerxética A++
- Rango temperaturas calefacción 10 a 60 °C
- Rango temperaturas captación -20 a +35 °C
- Xestión integrada de bloque de bombas de calor en paralelo.
- Compatible con e-manager e e-system.
- Contadores de enerxía integrados para consumo eléctrico, produción térmica de calor/fría e rendementos instantáneos e estacionais mensual e anual.

Sistema de Captación :

- 35 paneis de solares fabricados en polietileno de alta densidade fundidos en unha peza sen soldaduras e cunha superficie de 1,05 m². Estable fronte a temperatura -50 °C a 115 °C. Fluxo de 150 -250 litros /m²/h. Contido 6 litros. Eficacia 0,5 a 0,6 KW/h/m².
- Fluido caloportador: Mestura de auga e anticongelante ao 10-15%.

Sistema de Emisión :

- 5 fancoils cunha potencia máxima 10kW/ud.

O invernadoiro:

- Localización: Latitude: 42.068022º N
Lonxitude: 8.561695º O
Altitude: 81 m.
- Tipo túnel de 6,50 m x 30 m, cunha altura baixo canle de 2,20 m, e 3,30 m de altura máxima.

Características do invernadoiro que se vai a climatizar:

- Radiación solar global: 1.500 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (decembro), 6.600 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (xullo) e 3.900 ($\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$) (Media anual período 1998-2007)
- Horas de sol: 2.269 horas
- Velocidade media do vento: 11,47 km/h
- Temperatura seca para un nivel percentil do 99%, $TS_{99} = 2,8$ °C
- Temperatura media das mínimas mensuais: -4 °C.
- Superficie a climatizar: 195 m^2 .
- Temperatura de confort: 12 °C
- Temperatura impulsión 35 °C
- Capacidade térmica del terreo: 58 W/m

1.3. Cálculo da demanda enerxética do invernadoiro.

A continuación, preséntanse as diferentes expresións matemáticas que permiten avaliar a enerxía calorífica que se introduce ou se perde nun invernadoiro, así como os parámetros e variables que interveñen un invernadoiro no seu cálculo.

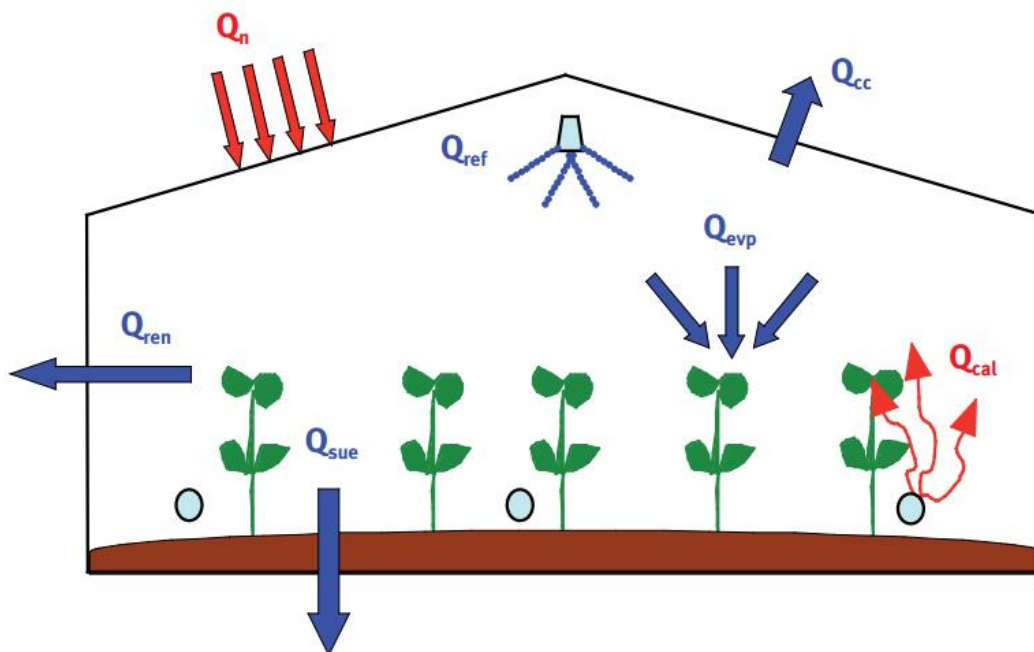


Figura 5: O balance enerxético dun invernadoiro.



O balance enerxético vén definido pola seguinte expresión:

$$\underbrace{R_n + Q_{cli}}_{\text{Energía ganada}} = \underbrace{Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue}}_{\text{Energía perdida por el aire del invernadero}} \quad (W)$$

Onde:

Rn: Radiación neta

Qcli: Enerxía calorífica que é necesario achegar (Qcal) ou eliminar (Qref) do invernadoiro

Qcc: Calor perdida por conducción-convección

Qren: Calor sensible e latente perdido pola renovación do aire interior

Qevp: Calor latente consumida na evapotranspiración das plantas e o chan

Qsue: Fluxo de calor perdida por conducción a través do chan

Radiación neta, Rn

$$Rn = S_s \cdot [I \cdot (\alpha + T \cdot \alpha_s)] + S_c \cdot \sigma \cdot T_{ter} \cdot [\epsilon_{atm} \cdot T_{atm}^4 - \epsilon_{ter} \cdot T_c^4] \quad (W)$$

Onde:

Ss: superficie captadora da radiación solar (m²)

I: radiación solar incidente (W/m²)

α : coeficiente de absorción da cuberta para a radiación solar

T: coeficiente de transmisión do material de cuberta para a radiación solar

Sc: superficie de chan cuberta (m²)

σ : constante de Stefan-Boltzman (5,67·10⁻⁸ W/m²·K⁴)

T_{ter}: coeficiente de transmisión do material de cuberta para a radiación térmica

ϵ_{ter} : emisividade do material de cuberta para a radiación térmica

Tc: temperatura absoluta da cuberta (K)

Coeficiente de absorción das plantas e do chan α_s :

$$\alpha_s = \alpha_{pla} \cdot fp + \alpha_{sue} \cdot (1 - fp)$$

fp: fracción de chan cuberto polas plantas

α_{pla} : coeficiente de absorción das plantas para a radiación solar (para un LAI de 2 e de 400 a 2800 nm é de 0,65)

Coeficiente de absorción do chan á radiación solar, α_{sue} :

$$\alpha_{sue} = 1 - \rho_{sue}$$

ρ_{sue} : coeficiente de reflexión do chan á radiación solar ou albedo (0,30 para tela branca)

Temperatura de emisión de enerxía da atmosfera, Tatm (Swinbank, 1963):

$$T_{atm} = fn \cdot Che + 0,0552 \cdot (1 - fn) \cdot Che \cdot 1,5 \quad (K)$$

fn: factor de nebulosidade (1 para ceo totalmente cuberto e 0 para ceos claros)

Che :temperatura absoluta exterior (K)



Emisividade da atmosfera, ϵ_{atm} (Baille, 1996):

$$\epsilon_{atm} = 1 - 0,35 e^{\left(\frac{-10 e_e [\text{hPa}]}{T_e} \right)}$$

Presión parcial do vapor de auga no aire no exterior:

$$e_e = e_{se} \cdot HRe$$

HRe: humidade relativa exterior

A presión parcial do vapor saturante no aire no exterior pódese calcular mediante a fórmula de Magnus-Tetens (Tetens, 1930; Murray, 1967):

$$e_s = 6,1078 e^{\left[\frac{17,269 t(^{\circ}\text{C})}{t+237,3} \right]} \text{ (hPa)}$$

Calor perdida por conducción-convección, Q_{cc}

$$Q_{cc} = S_d \cdot K_{cc} \cdot (t_i - t_{e}) \text{ (W)}$$

S_d : superficie desenvolvida da cuberta do invernadoiro (m^2)

t_i : temperatura interior ($^{\circ}\text{C}$)

t_e : temperatura exterior ($^{\circ}\text{C}$)

Coficiente global de perdas de calor por conducción-convección:

$$K_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{1}{h_e}} \text{ (W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$$

h_i : coeficiente superficial de convección para o ambiente interior do invernadoiro. Para unha cuberta simple de polietileno $h_i = 7,2 \text{ (W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K)}$

e_c : espesor do material de cobertura (m)

λ_c : condutibilidade térmica do material de cobertura ($\text{W/m}^3 \cdot \text{K}$) 0,45 para EVA y PEbd

h_e : coeficiente superficial de convección para o ambiente exterior do invernadoiro

ΔT : salto térmico entre o interior e o exterior do invernadoiro (K)

v : velocidade do vento (m/s)

L : lonxitude do invernadoiro (m)

ΔT : salto térmico entre o interior e o exterior do invernadoiro (K)

v : velocidade do vento (m/s)

L : lonxitude do invernadoiro (m)

O coeficiente superficial de convección para o ambiente interior do invernadoiro tamén se pode calcular en función da temperatura da cuberta e do aire:

$h_i = 1,95 \cdot (T_c - T_i)^{0,3} \text{ (W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K)}$ para $(T_c - T_i) \leq 11,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (para unha cuberta simple de polietileno) (Papadakis et al., 1992)

$h_i = 7,2 \text{ (W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K)}$ para $(T_c - T_i) > 11,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Garzoli e Blackwell, 1987)



Calor sensible e latente perdido pola renovación do aire interior, Q_{ren}

$$Q_{ren} = V_{inv} \cdot R/3600 \cdot \rho \cdot [c_{pa} \cdot (t_i - t_{e}) + \lambda_0 \cdot (x_i - x_e) + c_{pv} \cdot (x_i \cdot t_i - x_e \cdot t_{e})](W)$$

Onde:

V_{inv} : volume do invernadoiro (m^3)

c_{pa} : calor específica do aire (a $0^\circ C$ é $1006,92540 J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

c_{pv} : calor específica do vapor requentado (a $0^\circ C$ é $1875,6864 J/kg \cdot K$)

x_i, x_e : humidades absolutas interiores e exteriores, respectivamente (kg/kg)

A densidade do aire é función da temperatura e a presión (Donatelli et ao., 2006):

$$\rho = \frac{1000 \cdot p}{1,01287 \cdot (t + 273,16)}$$

A presión dentro do invernadoiro p pódese considerar igual á presión atmosférica, que se pode calcular en función da elevación sobre o nivel do mar (Jensen et ao., 1990):

$$p_{atm} = 101,3 \cdot \left[\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right]^{5,26}$$

A calor latente de vaporización pódese calcular como (Brooker, 1967):

$$\lambda_0 = 2502535,259 - 2385,76424 \cdot t \quad (J \cdot kg^{-1})$$

Humidade absoluta dunha masa de aire húmido (ASAE, 1999):

$$x = 0,6219 \cdot HR \cdot e_s / (p - HR \cdot e_s)$$

HR: humidade relativa

O cálculo da presión parcial do vapor en saturación pódese realizar mediante a expresión de Magnus ou Tetens (Murray, 1967; Dalezios et ao., 2002):

$$e_s = 6,1078 \cdot e^{\left[\frac{17,269 \cdot t(^{\circ}C)}{t + 237,3} \right]} \quad (hPa)$$

A taxa de renovación de aire R debido á infiltración de aire a través da estrutura cando as xanelas están pechadas é función do tipo de estrutura. Cando se abren as xanelas a taxa ou índice de re-novación de aire do invernadoiro pódese calcular a partir de ventilación natural:

$$R = 3600 \left[s \cdot h^{-1} \right] \cdot \frac{G}{V_{inv}}$$



O fluxo de aire que entra e sae do invernadoiro débese para o efecto combinado da temperatura e o vento (Boulard et ao., 1997):

$$G = C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \frac{h_{12} \cdot \Delta T}{T_e \cdot \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right)} + \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right)^2 \cdot C_v \cdot v^2}$$

(m³·s⁻¹)

g: aceleración da gravidade, 9,807 (m/s²)

h₁₂: diferenza de altura entre as aperturas de ventilación lateral e cenital (m)

S₁: superficie efectiva de ventilación lateral (m²)

S₂: superficie efectiva de ventilación cenital (m²)

C_v: coeficiente adimensional do efecto do vento (0,14 para una superficie de 179 m²)

Coeficiente de caída de presión a través dunha xanela, C_d vale (0,6-0,7 en invernadoiros con fiestras cenitais):

$$C_d = F^{-1/2}$$

Coeficiente adimensional de perda de carga a través dunha xanela con malla anti-insectos en invernadoiros, F:

$$F = -0,0012 \cdot \left(\frac{L}{H} \right)^2 + 0,0396 \cdot \left(\frac{L}{H} \right) + 2,3047 + 1540 \cdot \alpha^{-1,65} + \exp(5,23 - 7,70 \cdot \phi)$$

L: lonxitude da apertura de ventilación (m)

H: altura da apertura de ventilación ou profundidade característica (m)

α: ángulo de apertura dunha xanela con alerón (°)

φ: porosidade da malla anti-insectos

Calor latente consumida na evapotranspiración das plantas e o chan, Q_{evp}

Para un cultivo de tomate en invernadoiro pódese utilizar a seguinte expresión (Jolliet y Bailey, 1992):

$$Q_{evp} = S_c \cdot (0,2 \cdot R_{sol} + 5,5 \cdot DPV_i + 5,3 \cdot u) \quad (W)$$

R_{sol}: Radiación solar diúrna (W·m⁻²) (correspóndese cos valores positivos de R_n)

Déficit de presión de vapor no interior do invernadoiro, DPV_i:

$$DPV_i = e_s(t_i) - e_i \quad (kPa)$$



Fluxo de calor perdida por conducción a través do chan, Qsue

$$Q_{sue} = K_s \cdot S_c \cdot (t_i - t_s)/p \text{ (W)}$$

Ks: coeficiente de intercambio térmico a través do chan para grava é 2,3 a 2,8 W/m²·°K

ts: temperatura do chan do invernadoiro (°C)

ti: temperatura interior do invernadoiro (°C)

p: profundidade á que estima a diferenza de temperatura (m)

Energía calorífica necesario chegar (Qcal) ou eliminar (Qevp) do invernadoiro Qcli

$$Q_{cli} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue} - R_n$$

Na seguinte táboa recóllense os valores dos diferentes termos de calor que entran (valores positivos) ou saen (valores negativos) do invernadoiro. Os datos aparecen referidos á unidade de superficie (W/m²) para poder comparalos cos doutros invernadoiros. Na última columna aparece a potencia que sería necesario instalar no invernadoiro de calefacción (valores negativos) estudado para diferentes casos segundo as temperaturas exteriores.

Ti (°C)	Che (°C)	Rn (W/m ²)	Qcc (W/m ²)	Qren (W/m ²)	Qevp (W/m ²)	Qsue (W/m ²)	Q (W/m ²)	Q (kW)
12	-4,0	-7,0	-94,6	-52,1	-21,7	-44,0	-204,1	39,8

Considerouse a temperatura media das mínimas mensuais na zona de Salceda de Caselas no mes máis frío, de -4,0 °C (IDAE) e tentaríase manter dentro do invernadoiro unha temperatura de 12 °C. Para iso sería necesario unha achega de calor de 39,8 kW.

MESES	NECESIDADES CALF (kWh)	NECESIDADES REFRI (kWh)	NECESIDADES ACS (kWh)	TOTAL (kWh)
Enero	34.418,71	0,00	0,00	34.418,71
Febrero	30.884,68	0,00	0,00	30.884,68
Marzo	26.582,64	0,00	0,00	26.582,64
Abril	17.481,48	0,00	0,00	17.481,48
Mayo	8.784,64	0,00	0,00	8.784,64
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00	0,00	0,00
Octubre	8.360,97	0,00	0,00	8.360,97
Noviembre	25.398,58	0,00	0,00	25.398,58
Diciembre	33.743,83	0,00	0,00	33.743,83
ANUAL	185.655,53	0,00	0,00	185.655,53

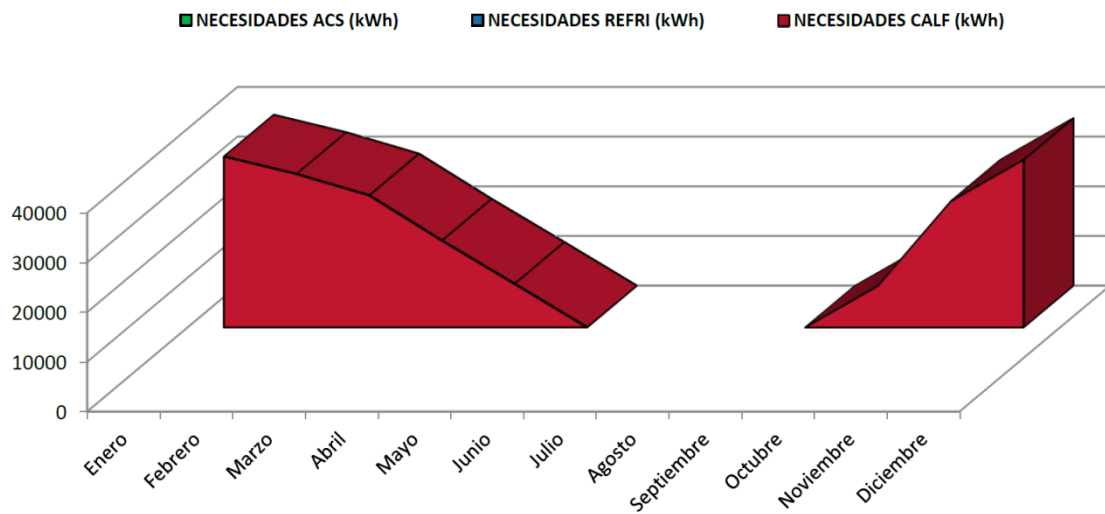


Figura 6: Necesidades enerxéticas mensuales.

1.4. Resultados do montaxe nº1.

A colocación dos paneis verticais dentro da pilla de esterco pretendía ter a máxima superficie de contacto dentro da pilla para maximizar a captación do calor. Por desgracia a estrutura de captación foi moi débil e cando se cargou con esterco algunhas das unións se soltaron e deron lugar a perdas no circuíto de captación o que orixinaba a perda de presión e finalmente supoñía a parada da bomba de calor. As reparacións desta perdas eran case imposibles porque había que baleirar a pilla ata encontrar a avaría.

Debido a problemática anteriormente exposta se descartou este deseño.

2. Montaxe Nº2: Bomba de calor e sistema de captación con chapas de aceiro con tubarias de polietileno de 32mm:

2.1. Deseño.

Este deseño pretendía captar o calor da pilla mediante tubarias de polietileno de 32 mm que se encontrarían debaixo dunhas chapas de aceiro de 3 mm, como se fose unha instalación de solo radiante.



Figura 7: Circuito de captación de calor formado unha tubaria dobre de polietileno de 32 mm



Figura 8: Tubarias cubertas coas chapas de aceiro e inicio da carga da pilla de esterco.



2.2. Características da instalación.

O sistema de captación consistía nunha espiral de 200 m de tubaría de polietileno continua sen ningún tipo de unión. A espiral se tapaba con chapas de aceiro de 3mm. As chapas de 3,00x1,50 metros se fixaron con cordóns de soldadura, quedando unha superficie cadrada de 66 metros cadrados. Este sistema facilitaba moito o manexo, tanto na carga como a descarga da pilla ademais de permitir pasar ca maquinaria por riba.

2.3. Resultados do montaxe Nº2.

O sistema de captación resultou ser mais robusto que o anterior, se cargou a pilla de esterco sen problema e non houbo ningún tipo de fuga.

A bomba de calor cando se acendía o sistema funcionaba perfectamente, tendo uns rendementos moi altos (COP>7). O problema era que a temperatura do fluído do circuíto de captación baixaba moito e a bomba paraba. Esta baixada da temperatura no circuíto primario se debía a que as esixencias de calor da bomba eran moi superiores a capacidade de captación do calor da pilla.

Dado que as necesidades da bomba non podían ser cubertas pola pilla de esterco, se pensou que ao mellor as necesidades enerxéticas propostas inicialmente eran demasiadas altas. Tendo en conta que o prezo da enerxía eléctrica non paraba de subir, se decidiu prescindir da bomba de calor no próximo montaxe.

3. Montaxe Nº3: Circuito único con sistema de captación con chapas de aceiro con paneis planos de polietileno.

3.1. Deseño.

Neste deseño so existirá un circuito de auga, formado por lo sistema de captación de calor, unha bomba impulsora (50 w) e dous fancoils (116 w cada un).



Figura 9: Circuito de captación de calor formado por paneis solares entre viguetas de formigón e enriba de placas de poliuretano extrusionado.



Figura 10: Aplicación de bentonita sódica sobre os paneis solares antes da colocación das chapas de aceiro.

3.2. Características da instalación.

Neste deseño se utilizarán 24 paneis de solares fabricados en polietileno de alta densidade fundidos en unha peza sen soldaduras e cunha superficie de 1,05 m². Estes paneis se colocarán sobre unha placa de illante de polietileno extrusionado de 8 cm de espesor. Entre os paneis se colocarán viguetas de formigón de 8x10cm nas que se apoiarán unhas chapas de aceiro de 3 mm para evitar o aplastamento dos paneis cando a maquinaria pase por riba. Para facilitar a transmisión da calor entre a chapa e os paneis se utilizará bentonita sódica.

En principio se utilizou unha centraliña para controlar o funcionamento tanto dos fancoils como da bomba. Como a enerxía que se podía aforrar era pequena, se optou por ter o sistema en funcionamento continuo.

3.3. Resultados do montaxe N^o3.

Ao igual ao montaxe N^o2 o sistema de captación resultou ser robusto, se cargou facilmente e non houbo ningún tipo de fuga.

A montaxe se puxo en funcionamento o 28 de febreiro de 2023 durante 4 meses. Se recolleron datos de temperatura do invernadoiro, pilla de esterco, auga do circuíto, etc. Durante este período as temperaturas non foron moi baixas, polo que nos falta saber os límites que ten este sistema ante situacións extremas.

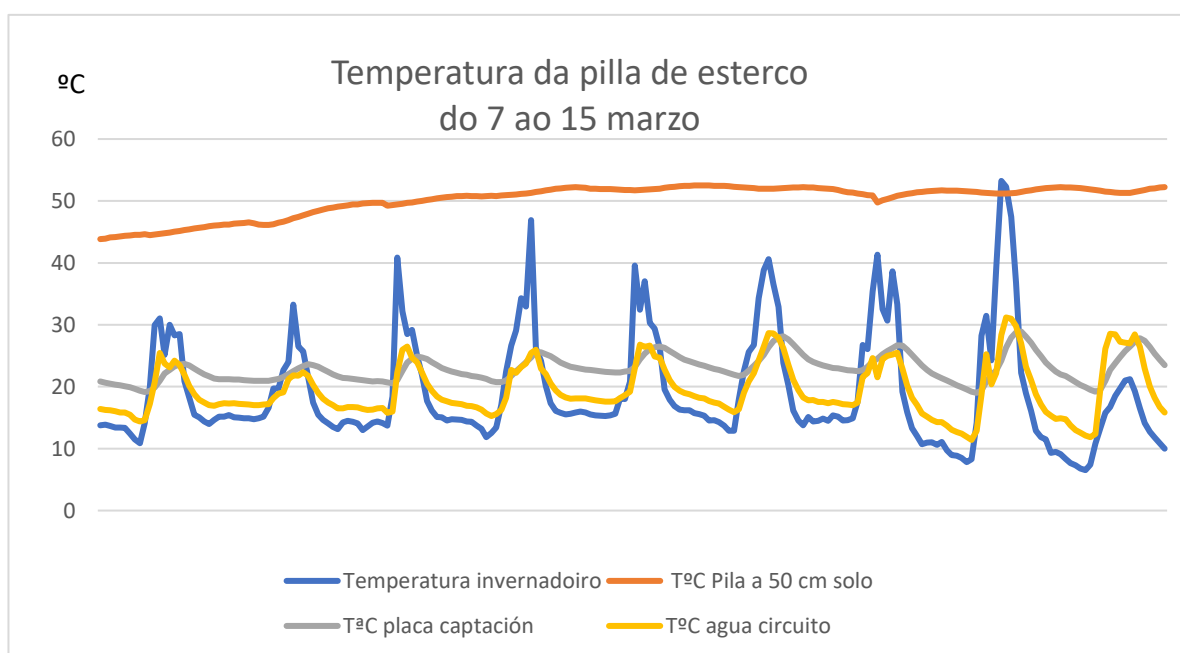


Figura 11: Oscilacións de temperaturas do invernadoiro, auga do circuíto e pilla de esterco.

Neste diagrama se pode apreciar que mentres a temperatura da pilla a 50 centímetros do solo se encontra no entorno dos 50 °C, a temperatura da zona de captación varía. Polo día a temperatura do invernadoiro é alta e quece a auga do circuíto por riba da temperatura da placa de captación, polo que a zona de captación se pode recuperar parte do calor que xera o invernadoiro. En cambio, pola noite a pilla de esterco aporta calor para que a temperatura do invernadoiro non baixe. Deste xeito a pilla de esterco se transformou nunha especie de amortiguador térmico que da calor ao invernadoiro cando necesita e o absorbe cando lle sobra.



Pola noite non existe aporte enerxético e por tanto o invernadoiro perde enerxía:

$$\text{Perdas de enerxía} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue}$$

Q_{cc} : Calor perdida por conducción-convección

Q_{ren} : Calor sensible e latente perdido pola renovación do aire interior

Q_{evp} : Calor latente consumida na evapotranspiración das plantas e o chan

Q_{sue} : Fluxo de calor perdida por conducción a través do chan

As perdas de enerxía do invernadoiro pódense calcular pola diferenza de temperatura que vai presentando o aire do invernadoiro.

Volume de aire do invernadoiro: 732 m³

Densidade do aire: 1,20 Kg/m³

Calor específico do aire: 1,012 J/Kg°K

Polo que a baixada de un grado de temperatura do invernadoiro supón unha perda enerxética de 890 J.

Para poder determinar empiricamente a potencia calorífica da montaxe 3, se puxeron sensores de temperatura no invernadoiro quecido e noutro de idéntico tamaño e características. A enerxía aportado polo sistema poderase calcular pola diferenza de temperaturas que presenten os dous invernadoiros.

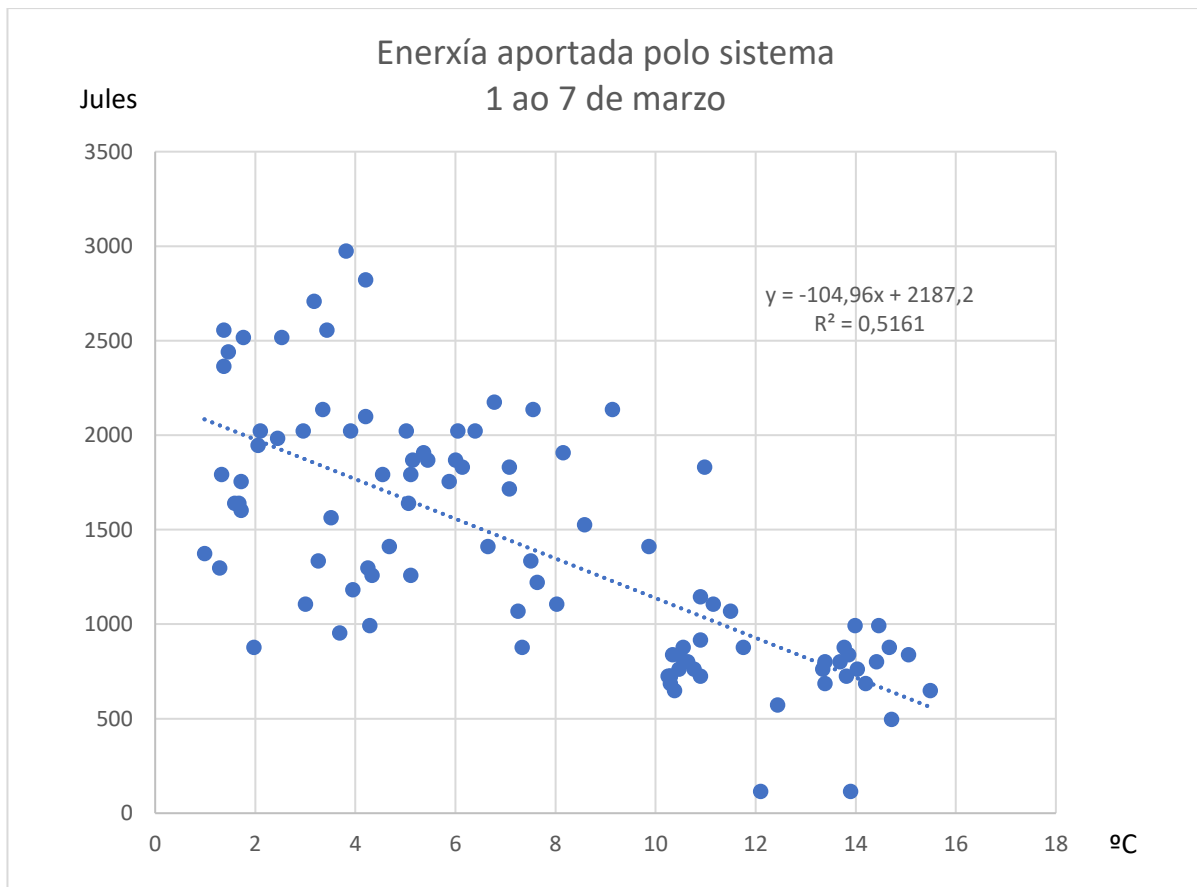


Figura 12: Enerxía aportada polo sistema calculada pola diferenza das temperaturas nocturnas entre invernadoiros.

No cadro se aprecia que cando a temperatura do invernadoiros descende a enerxía aportado polo sistema é maior, debido a que as diferenzas entre as temperaturas dos invernadoiros son maiores. A enerxía aportada polo sistema varía entre os 2169 w a temperaturas próximas aos cero grados e 883 w para temperaturas de 15 °C.

A potencia instalada é moi baixa 282 w, os coeficientes de rendemento, enerxía calorífica producida do unidade de enerxía eléctrica consumida, estaría entre un COP de 7,7 e 3,1.

4. Conclusión:

Este proxecto permitiu desenvolver un sistema de captación da enerxía térmica dunha pilla de esterco.

Como vantaxas do sistema:

- A carga e descarga da pilla de esterco é fácil.
- Investimento en maquinaria é baixo (2 fancoils e unha bomba de calefacción)
- Consumo eléctrico é baixo (282 w), o que permitiría substituír a acometida eléctrica por un sistema de placas solares e baterías).
- Funcionamento do sistema en continuo permite a calefacción do invernadoiro pola noite, polo día permite reducir as altas temperatura do invernadoiro e recuperar parte do calor cara a pilla de esterco.

Como inconvenientes do sistema:

- A temperatura acadada polo invernadoiro non é moi alta.
- Non sobemos o comportamento do sistema a temperaturas máis baixas.
- O coste da obra civil pode ser importante e habería que ver o seu comportamento ao longo dos anos, sobre todo a aparición de fugas de auga.

Finalmente, visto la distribución da temperatura dentro da pilla, existe marxe de manobra para aumentar la captación da enerxía que produce a pilla. Habería que seguir probando novos sistemas de captación sen necesidade de obra civil e que non supuxera unha complicación no montaxe e desmonte das pillas de esterco.

E importante manter un baixo consumo eléctrico para evitar que este sistema de aproveitamento véxase afectado pola suba dos prezos da enerxía.