

María Samper Marco

Estudio de soluciones aplicadas
en geotermia ambiental para
climatización eficiente y reducción
de emisiones de gases en el
sector porcino

Director/es
García Gil, Alejandro

EXTRACTO

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

El presente documento es un extracto de la tesis original depositada en el Archivo Universitario.

En cumplimiento del artículo 14.6 del Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, por el que se regulan las enseñanzas oficiales de doctorado, los autores que puedan verse afectados por alguna de las excepciones contempladas en la normativa citada deberán solicitar explícitamente la no publicación del contenido íntegro de su tesis doctoral en el repositorio de la Universidad de Zaragoza. Las situaciones excepcionales contempladas son:

- Que la tesis se haya desarrollado en los términos de un convenio de confidencialidad con una o más empresas o instituciones.
- Que la tesis recoja resultados susceptibles de ser patentados.
- Alguna otra circunstancia legal que impida su difusión completa en abierto.

Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones



ISSN 2254-7606

Tesis Doctoral [Extracto]

**ESTUDIO DE SOLUCIONES APLICADAS EN
GEOTERMIA AMBIENTAL PARA CLIMATIZACIÓN
EFICIENTE Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE
GASES EN EL SECTOR PORCINO**

Autor

Maria Samper Marco

Director/es

García Gil, Alejandro

**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado**

Programa de Doctorado en Geología

2024

ESTUDIO DE SOLUCIONES APLICADAS EN GEOTERMIA AMBIENTAL PARA CLIMATIZACIÓN EFICIENTE Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES EN EL SECTOR PORCINO



Autor:
María Samper Marco

Director:
Alejandro García Gil

Especialidad:
Geotermia

Fecha:
Julio 2023

*Para Bruno Jiménez por su apoyo incondicional,
y para mis padres por su paciencia y comprensión.*

AGRADECIMIENTOS

La presente Tesis Doctoral se fundamenta en dos criterios muy diferentes, pero a la vez íntegramente entrelazados, por una parte, es una motivación personal y por otra divulgativa.

Una de las frases más relevantes y la cual me ha acompañado durante todo el proceso de investigación y desarrollo del presente proyecto es “*La cultura del esfuerzo*” de Juan Roig, fundamental para poder plasmar en el presente documento el trabajo de investigación realizado durante varios años con un alto contenido práctico.

Gracias a la colaboración de *Isbran Geotermia* y del inmenso trabajo realizado por su equipo en el campo de la innovación e investigación en España, únicamente con ayuda del sector privado; se está dando a conocer en el sector ganadero el correcto uso de una energía renovable inagotable, la energía geotérmica, que permite ahorrar 365 días al año a la vez que favorece exponencialmente el bienestar animal, gracias a la aplicación de las mejoras técnicas disponibles (MTDs).

La elección del tema de estudio responde a la falta de conocimientos en el sector y a la gran cantidad de información propia disponible de distintos casos de éxito de ahorro energético. Siendo muy relevante las conclusiones que se van a alcanzar en la presente tesis y los futuros campos de investigación, que actualmente continúan en fase de estudio, tanto en lo referente a la eficiencia energética como en la reducción de emisiones en el sector ganadero.

RESUMEN

El desarrollo industrial es uno de los causantes del cambio climático, siendo la ganadería uno de los focos de emisiones de GEI a nivel mundial, por el elevado consumo energético y por la gestión del estiércol. Para favorecer su mitigación el sector porcino incentiva el uso de energías renovables junto con el desarrollo de nuevas tecnologías.

La presente Tesis Doctoral forma parte de un proyecto de investigación e innovación que define una nueva terminología *puritermia* relacionada con el análisis exhaustivo *in situ* de las primeras explotaciones ganaderas en España que disponen de energía geotérmica; con el objetivo de reducir el consumo energético y disminuir el porcentaje de emisiones de gases contaminantes en el interior de las salas. Para ello, se utilizan instrumentos de monitorización energéticos y aparatos de medición de alta precisión para la determinación de concentraciones de gases asociados a salas con o sin puritermia.

Los resultados obtenidos han permitido confirmar la rentabilidad económica y la eficiencia energética en el sector. El estudio de eficiencia energética de estas novedosas instalaciones de puritermia ha dado valores de coeficiente de rendimiento (COP) por encima de cuatro en la mayoría de los casos estudiados. Además, el estudio de emisiones asociadas a las salas con puritermia ha mostrado una reducción por debajo de los valores establecidos por las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) propuestas por la Unión Europea en su Directiva 2010/75/UE de emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Esto se traduce en un beneficio medioambiental que marcará un importante hito en el sector, tanto para el bienestar humano como para el animal.

Es precisamente el bienestar de la población mundial lo que implica un aumento de consumo de carne, lo que se traduce en un aumento en las emisiones y para controlar este ascenso esta Tesis Doctoral muestra resultados concluyentes que suponen un punto de partida para nuevas líneas de investigación.

ABSTRACT

Industrial development is one of the causes of climate change, with livestock farming being one of the global sources of greenhouse gas emissions due to its high energy consumption and manure management. To promote its mitigation, the pig farming sector encourages the use of renewable energies along with the development of new technologies.

This Doctoral Thesis is part of a research and innovation project that defines a new terminology called *purithermia* related to the comprehensive *in situ* analysis of the first livestock farms in Spain that use geothermal energy. The aim is to reduce energy consumption and decrease the percentage of pollutant gas emissions inside the facilities. To achieve this, energy monitoring instruments and high-precision measurement devices are used to determine gas concentrations associated with or without purithermia.

The obtained results have confirmed the economic profitability and energy efficiency in the sector. The energy efficiency study of these innovative purithermia installations has shown coefficient of performance (COP) values above four in most of the cases studied. Furthermore, the study of emissions associated with purithermia-equipped facilities has shown a reduction below the values established by the Best Available Techniques (BATs) proposed by the European Union in its Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). This translates into an environmental benefit that will be a significant milestone in the sector, benefiting both human and animal well-being.

It is precisely the well-being of the global population that implies an increase in meat consumption, leading to higher emissions. To control this rise, this Doctoral Thesis presents conclusive results that serve as a starting point for new lines of research.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

LISTA DE FIGURAS

- **Fig. 2.1.** Capas del interior de la Tierra (Cárcel Carrasco, 2015).
- **Fig. 2.2.** Megavatios de Energía Geotérmica en el mundo hasta 2019 (Fuente: REN21).
- **Fig. 2.3.** Clasificación de diferentes sistemas geotérmicos existentes en la naturaleza a partir de modelos conceptuales (Marzolf, N.C., 2014).
- **Fig. 2.4.** Comparación del uso directo mundial de energía geotérmica en TJ/año de 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (Lund, J. W., & Toth, A. N. ,2021).
- **Fig. 2.5.** Sistemas geotérmicos para calefacción y refrigeración de edificios (Fuente: www.geotherm.es).
- **Fig. 2.6.** Dos operarios introducen una sonda geotérmica en una perforación (Fuente propia).
- **Fig. 2.7.** Distribución de tubería de polietileno en un intercambiador geotérmico horizontal (Fuente propia).
- **Fig. 2.8.** Intercambiador geotérmico instalado en losa de hormigón (Fuente propia).
- **Fig. 2.9.** Principio general del funcionamiento de la “puritermia” (Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D. ;2021).
- **Fig. 2.10.** Evolución de emisiones (%) respecto al techo de emisión (Inventario Nacional de emisiones de gases efecto invernadero - Ministerio para la transición ecológica).
- **Fig. 2.11.** Resultados de medidas de emisiones con sensores de bajo coste y medidas de métodos de referencia de NH₃ y CH₄ (Vonk, J., Van Dinther, D., Mosquera, J., & Ogink, N. W. M.; 2021).
- **Fig. 2.12.** Límites de emisiones de NH₃ en la Unión Europea (Bjerg B., 2021).
- **Fig. 2.13.** Factores de cuantificación de emisiones en una explotación ganadera (Grup Gestió Porcina, UdL-Agrotecnio-CEP; 2021).
- **Fig. 2.14.** Resultados de N excretado en granja piloto en España (Babot, D., Cartanya, J., D'Eletto, M., Moreno, J.A. & Blanco, G.; 2021).
- **Fig. 2.15.** Ejemplo de uso de bolas flotantes en balsas de purines para reducir emisiones (JISAP).
- **Fig. 3.1.** Crecimiento de un cerdo (<https://www.aviporc.com/>).
- **Fig. 3.2.** Nave de cubrición (Fuente propia).
- **Fig. 3.3.** (A) Sistemas cooling muy frecuentes en granjas de maternidad. (B) Paridera de una sala de maternidad donde se observa una celda de hembra reproductora y lechones distribuidos sobre una placa calefactada de inoxidable. (C) Distribución de las corraletas (Fuente propia).
- **Fig. 3.4.** Corraleta de sala de destete donde aparece la manta de transición, en este caso de hormigón (Fuente propia).
- **Fig. 3.5.** Tipos de placas de calefacción utilizadas en el sector porcino (Fuente propia).
- **Fig. 3.6.** Placa de polímero (A), placa corrida de hormigón, (B) placa de plástico (C) y placa de acero inoxidable (D) (Fuente propia).
- **Fig. 3.7.** Permanencia de los animales en cada una de las estancias (Fuente propia).
- **Fig. 3.8.** Modelo de transferencia de calor por conducción y convección (Fernández, P. ,2015).
- **Fig. 3.9.** Esquema general de instalación geotérmica en una explotación porcina (Fuente propia).
- **Fig. 3.10.** Leyenda de simbología de esquema general de instalación geotérmica en una explotación porcina (Fuente propia).
- **Fig. 3.11.** (A) Máquina perforadora y accesorios de la misma. (B) Introducción de una sonda geotérmica en la perforación. (C) Balsa de detritus. (D) Prueba de presión en intercambiador geotérmico en “U” (sonda geotérmica) y tubo de inyección lechada termoactiva (Fuente propia).
- **Fig. 3.12.** Variación de temperaturas durante el año a diferente profundidad (Fuente: www.geotherm.es).
- **Fig. 3.13.** Campo de captación horizontal en explotación ganadera (Fuente propia).
- **Fig. 3.14.** Ejemplos de termoactivación de los cimientos tipo losa de naves de granjas porcinas (puritermia) (Fuente propia).
- **Fig. 3.15:** Red hidráulica que configura la zona de distribución horizontal para pozos verticales con (A) y (B) sin arqueta. (C y D) Distribución horizontal de captación horizontal (Fuente propia).
- **Fig. 3.16.** (A) Colector de captación horizontal. (B) Colector de pozo vertical (Fuente propia).
- **Fig. 3.17.** Bomba de calor geotérmica (Fuente: www.geotherm.es).
- **Fig. 3.18.** Funcionamiento de una BCG (Fuente: Ecoforest).
- **Fig. 3.19.** Circuito de la BCG (Fuente: www.geotherm.es).
- **Fig. 3.20.** Interior de una BCG Ecoforest (Fuente propia).
- **Fig. 3.21.** Eficiencia de la bomba de calor (Fuente: www.geotherm.es).
- **Fig. 3.22.** Bombas circuladoras (Fuente: Wilo).

- **Fig. 3.23.** Depósito de inercia (*Fuente propia*).
- **Fig. 3.24.** (A) Serpentín de depósito de ACS y (B) Intercambiador de placas (*Fuente propia*).
- **Fig. 3.25.** Red hidráulica de un cuarto técnico (*Fuente propia*).
- **Fig. 3.26.** Distribución hidráulica en interior de la nave (*círculo secundario*) (*Fuente propia*).
- **Fig. 3.27.** (A) Colector de placas de maternidad y (B) suelo radiante en sala de destete (*Fuente propia*).
- **Fig. 3.29.** Ejemplos de reducción de amoniaco en una granja que cumplen las MTDs (*Fuente: Seminario online de Emisiones Porcinas, 2021*).
- **Fig. 3.30.** Ciclo del nitrógeno. Principales transformaciones y emisiones ambientales (López, 2011).
- **Fig. 3.31.** Consumo, retención y excreta de nitrógeno en un cerdo (*Fuente: Seminario online de Emisiones Porcinas, 2021*).
- **Fig. 3.32.** Reacciones de transformación de urea a amoniaco (López 2012).
- **Fig. 3.33.** Efecto del pH de la suspensión sobre un contenido relativo de amoniaco y tras la aplicación de sulfuro (Fangueiro, D., Hjorth, M. y Gioelli, F.; 2015).
- **Fig. 3.34.** Concentración de NH₃ en función de la temperatura (Saha et al., 2010).
- **Fig. 3.35.** Evolución de la concentración de amoniaco en función de la ventilación (Cartanyà, J., Blanco, G., Sancho, V., Ferrer, N., & Babot, D.; 2021).
- **Fig. 3.36.** Balance de N ingerido y su implicación de emisión a la atmósfera (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).
- **Fig. 3.37** Sectores que contribuyen a la emisión de NH₃ (MITECO, 2019).
- **Fig. 3.38.** Evolución del porcentaje de NH₃ en España en la última década de acuerdo con diferentes parámetros (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).
- **Fig. 3.39.** Reacciones de degradación de compuestos orgánicos que generan metano (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).
- **Fig. 3.40.** Proceso de fermentación entérica en animales (MITECO).
- **Fig. 3.41.** Evolución de la concentración de BMP en función de la temperatura (*Fuente: IPCC, 2019*).
- **Fig. 3.42.** Evolución de la concentración de BMP en función del tiempo (Antezana et. al., 2020).
- **Fig. 3.43.** Proceso de nitrificación y desnitrificación que generan la emisión de óxido nitroso (Wrage et. al., 2001).
- **Fig. 3.44.** Porcentaje de gases principales emitidos por una explotación porcina (PRTR España, 2012).
- **Fig. 3.45.** Impactos potenciales y puntos críticos en una explotación ganadera (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006).
- **Fig. 3.46.** Efectos medioambientales en relación con la cría intensiva de ganado (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006).
- **Fig. 3.47.** Mapa de puntos calientes de NH₃ en España medidos por satélite (Martín Van Damme Nature - VOL 564 - 6 2018).
- **Fig. 3.48.** Emisiones de gases de efecto invernadero (N₂O y CH₄) en agricultura en España (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).
- **Fig. 3.49.** Principales transformaciones y emisiones del nitrógeno al medio ambiente (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006).
- **Fig. 3.50.** Curvas de crecimiento de cerdos jóvenes expuestos a concentraciones de amoniaco (Drummond, Curtis, Simon and Norton, 1980).
- **Fig. 3.51.** Concentraciones de amoniaco y comida consumida semanalmente por cerdo (Stombaugh, Teague and Roller, 1969).
- **Fig. 4.1.** Ubicación geográfica de los distintos casos de estudio.
- **Fig. 4.2.** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en Ejea de los Caballeros y mapa geológico de la zona. (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda GEODE zona Z2700, disponible en anexo A.4*).
- **Fig. 4.3.** Planta general de instalación porcina en Ejea de los Caballeros (*Cotaja 11*).
- **Fig. 4.4.** Distribución general pasillos en una nave porcina en Ejea de los Caballeros (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.5.** Detalle en planta de la disposición del suelo radiante en una sala de destete (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.6.** Distribución del suelo radiante de una de las líneas calefactadas de la granja de estudio (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.7.** Distribución completa del sistema secundario de una granja de destete con suelo radiante (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.8.** Emplazamiento de perforaciones geotérmicas de explotación en Ejea de los Caballeros (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.9.** Leyenda litológica de una perforación geotérmico en Ejea de los Caballeros (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.10.** Potencia térmica de una bomba Ecoforest ecoGEO HP1 15-70 kW (Ecoforest).
- **Fig. 4.11.** Consumo eléctrico de una bomba Ecoforest ecoGEO HP1 15-70 kW a una temperatura de producción 30/35°C (Ecoforest).

- **Fig. 4.12.** Consumo eléctrico de una bomba Ecoforest ecoGEO HP1 15-70 kW a una temperatura de producción 50/55°C (*Ecoforest*).
- **Fig. 4.13.** Esquema de principios de instalación en Ejea de los Caballeros (Fuente: empresa instaladora).
- **Fig. 4.14:** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en el Pueyo de Santa Cruz y mapa geológico de la zona. (*Proyección ETRS89-HU31. Leyenda Magna 50_326, disponible en anexo 11.11*).
- **Fig. 4.15.** Planta general de instalación porcina en Pueyo de Santa Cruz (Fuente: Las Pletas).
- **Fig. 4.16.** Distribución de línea corrida (zona coloreada en rojo) de calefacción de cada sala en Pueyo de Santa Cruz (Fuente: Las Pletas).
- **Fig. 4.17.** Placa corrida de alto rendimiento con detalle de posición de tubo PEX próximo a superficie (Fuente propia).
- **Fig. 4.18.** Distribución hidráulica de captación horizontal enterrada.
- **Fig. 4.19.** Rango de funcionamiento del compresor de la BCG (NIBE).
- **Fig. 4.20.** Sala técnica de granja en el Pueyo de Santa Cruz (Fuente propia).
- **Fig. 4.21.** Esquema de principio de granja en el Pueyo de Santa Cruz (Tellus).
- **Fig. 4.22.** Gráficas de temperatura de entrada y salida del circuito de captación de granja en el Pueyo de Santa Cruz entre 05/21 y 06/21.
- **Fig. 4.23.** Gráficas de temperatura de entrada y salida del circuito de captación de granja en el Pueyo de Santa Cruz entre 02/22 y 03/22.
- **Fig. 4.24.** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en Huerto y mapa geológico de la zona. (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda Magna 50_324, disponible en anexo 11.15*).
- **Fig. 4.25.** Plano de cimentación de nave de maternidad en granja de Huerto (Riomon).
- **Fig. 4.26.** Placas hidráulicas calefactadas en granja de Huerto (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.27.** Distribución de tubería horizontal en pasillos y colectores de captación en granja de Huerto (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.28.** Cuarto técnico de granja en Huerto (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.29.** Esquema de principio de granja en Huerto (Tellus).
- **Fig. 4.30.** Gráfica que muestra una variación en la temperatura de consigna en Granja de Huerto.
- **Fig. 4.31.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Huerto en 07/21.
- **Fig. 4.32.** Gráficas de temperatura de salida del circuito de captación de granja en Huerto en 07/21.
- **Fig. 4.33.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Huerto en 01/23.
- **Fig. 4.34.** Gráficas de temperatura de salida del circuito de captación de granja en Huerto en 01/23.
- **Fig. 4.35.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Huerto en 03/22.
- **Fig. 4.36.** Gráficas de temperatura de salida del circuito de captación de granja en Huerto en 03/22.
- **Fig. 4.37.** Gráfica de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Huerto a lo largo de un año.
- **Fig. 4.38.** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en Llardecans y mapa geológico GEODE de la zona. (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda Magna 50_388, disponible en anexo 11.17*).
- **Fig. 4.39.** Planta general de instalación porcina en Llardecans (G. Gili).
- **Fig. 4.40.** Planta de naves a calefactar en instalación porcina en Llardecans (G. Gili)
- **Fig. 4.41.** Esquema de principios de distribución de calefacción de maternidad y destete en granja de Llardecans.
- **Fig. 4.42.** Distribución hidráulica de las placas de calefacción en granja de Llardecans.
- **Fig. 4.43.** Colectores de pasillo para calefacción en granja de Llardecans (A), placas de calefacción de maternidad (B) y destete (C).
- **Fig. 4.44.** Campo de captación horizontal (“puritermia”) en la zona de estudio de Llardecans (Fuente propia).
- **Fig. 4.45.** Emplazamiento de perforaciones geotérmicas de explotación ganadera en Llardecans (Fuente propia).
- **Fig. 4.46.** Leyenda litológica de una perforación geotérmico en Llardecans (Fuente propia).
- **Fig. 4.47.** Información técnica de BCG Waterkotte DS5110T – R410A.
- **Fig. 4.48.** Sala técnica de granja en el Llardecans (Fuente propia).
- **Fig. 4.49.** Esquema de principios de instalación geotérmica en granja de Llardecans (Waterkotte).
- **Fig. 4.50.** Leyenda de símbolos de esquema de principios de instalación geotérmica en granja de Llardecans (Waterkotte).
- **Fig. 4.51.** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en Cabanillas y mapa geológico de la zona. (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda Magna 50_407, disponible en anexo 11.20*).
- **Fig. 4.52.** Planta general de instalación porcina en Cabanillas (Copiso).
- **Fig. 4.53.** Planta general de distribución de placas hidráulicas de nave de maternidad en granja de Cabanillas (Copiso).

- **Fig. 4.54.** Planta general de distribución de placas hidráulicas de nave de destete en granja de Cabanillas (Copiso).
- **Fig. 4.55.** Paridera de maternidad (A). Detalle de placas de calefacción de alto rendimiento (B).
- **Fig. 4.56.** Paridera de destete (A). Detalle de placas tunelada de destete (B).
- **Fig. 4.57.** Distribución hidráulica de calefacción en granja de Cabanillas (Copiso).
- **Fig. 4.58.** Distribución hidráulica del campo de captación con puritermia en granja de Cabanillas (Fuente propia).
- **Fig. 4.59.** Esquema de distribución de sala técnica de geotermia en granja de Cabanillas (Fuente propia).
- **Fig. 4.60.** Cuarto técnico de granja en Cabanillas (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.61.** Depósitos de inercia y ACS en cuarto técnico de la granja en Cabanillas (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.62.** Esquema de principio de granja en Cabanillas (Tellus).
- **Fig. 4.63.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Cabanillas en 03/23.
- **Fig. 4.64.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación de granja en Cabanillas en 03/23.
- **Fig. 4.65.** Gráficas de temperatura de salida del circuito de captación de granja en Cabanillas en 03/23.
- **Fig. 4.66.** Ubicación de instalación geotérmica en granja porcina en Remolinos y mapa geológico de la zona. (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda Magna 50_321, disponible en anexo 11.23*).
- **Fig. 4.67.** Ortofoto de terrenos inundables (área en rojo) por avenidas en el río Ebro de un periodo de retorno de 10 años (Estudio Geotécnico de Igeo2).
- **Fig. 4.68.** Ortofoto de terrenos inundables (área en morado) por avenidas en el río Ebro de un periodo de retorno de 50 años (Estudio Geotécnico de Igeo2).
- **Fig. 4.69.** Planta general de instalación porcina en Remolinos (*Nutreco*).
- **Fig. 4.70.** Distribución hidráulica de calefacción en el interior de las salas en granja de Remolinos (*Lamapor*).
- **Fig. 4.71.** Distribución de geoestructura en nave de maternidad en granja de Remolinos.
- **Fig. 4.72.** Distribución de tubería horizontal de captación en sala en granja de Remolinos.
- **Fig. 4.73.** Esquema en planta de cuarto técnico de granja en Remolinos (*Nutreco*).
- **Fig. 4.74.** Cuarto técnico de granja en Remolinos (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.75.** Esquema de principio de granja en Remolinos (Tellus).
- **Fig. 4.76.** Gráfica de la temperatura de consigna en Granja de Remolinos.
- **Fig. 4.77.** Gráfica de la temperatura de sonda del depósito de inercia en Granja de Remolinos.
- **Fig. 4.78.** Gráficas de temperatura de entrada y salida del circuito de captación en granja de Remolinos en 09/20 - 10/20.
- **Fig. 4.79.** Gráficas de temperatura de entrada del circuito de captación en granja de Remolinos en 03/23 - 04/23.
- **Fig. 4.80.** Gráficas de temperatura de salida del circuito de captación en granja de Remolinos en 03/23 - 04/23.
- **Fig. 4.81.** Puntos de mediciones *en granja de Remolinos*.
- **Fig. 4.82.** Ubicación de instalación geotérmica en vivienda unifamiliar en Atea y mapa geológico de la zona (*Proyección ETRS89-HU30. Leyenda Magna 50_464, disponible en anexo 11.25*).
- **Fig. 4.83.** Disposición del suelo radiante en una de las habitaciones de la vivienda unifamiliar en Atea.
- **Fig. 4.84.** Leyenda litológica de perforación geotérmica en Atea (*Fuente propia*).
- **Fig. 4.85.** Esquema de principios de vivienda unifamiliar con ACS (Waterkotte).
- **Fig. 5.1.** Hoja de cálculo de intercambiador geotérmico (Software Climasort).
- **Fig. 5.2.** Hoja de cálculo de intercambiador geotérmico para sonda simple (Software Climasoft).
- **Fig. 5.3.** Hoja de cálculo de propiedades termodinámicas del fluido transmisor del calor (Software CoolPack).
- **Fig. 5.4.** Hoja de cálculo de pérdidas de carga en el sistema geotérmico (Software CoolPack).
- **Fig. 5.5.** Colector de captación geotérmica con regulación de caudal mediante k-Flow.
- **Fig. 5.6.** Evaluación de concentraciones de gases y emisiones. (*Grup Gestió Porcina UdL*).
- **Fig. 5.7.** Ubicación de puntos de medida de emisiones en una granja.
- **Fig. 5.8.** Disposición de las salas en granja piloto donde se realizan medidas de emisiones (*Centro de Estudio Porcino, Universidad de Lérida*).
- **Fig. 5.9.** Estudio de ventilación alta y baja en una granja piloto (Centro de Estudio Porcino, Universidad de Lérida).
- **Fig. 5.10.** Concentración y emisiones de amoniaco en una granja piloto con ventilación alta y baja (Centro de Estudio Porcino, Universidad de Lérida).

- **Fig. 5.11.** Resumen de estudio de campo en granja piloto (*Centro de Estudio Porcino, Universidad de Lérida*).
- **Fig. 5.12.** Resultados registrados en el inventario zootécnico de la reducción de emisiones de óxido nitroso, de acuerdo con las modificaciones en la dieta del animal. (*Babot, 2017*).
- **Fig. 5.13.** Emisiones de amoniaco generadas en el caso de estudio GRGS-05 de acuerdo el valor de referencia de Ecogan (Ecogan).
- **Fig. 6.1.** COP de BCG ecoGEO 15-70 kW de acuerdo con las temperaturas del sistema 1º y 2º, y el funcionamiento del compresor (*Ecoforest*).
- **Fig. 6.2.** Sistema gráfico de ciclo completo de climatización de una granja con puritermia.
- **Fig. 6.3.** Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2018.
- **Fig. 6.4.** Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2019.
- **Fig. 6.5.** Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2020.
- **Fig. 6.6.** Gráfica de comparativa de temperatura de purines de diferentes salas en la granja de Huerto.
- **Fig. 6.7.** Gráfica de comparativa de temperatura de purines de diferentes salas en granja de Llardecans.
- **Fig. 6.8.** Gráfica de temperatura de purines de diferentes salas en la granja de Cabanillas.
- **Fig. 6.9.** Gráfica de mediciones de CO₂ en granja Remolinos .
- **Fig. 6.10.** Gráfica de mediciones de humedad en granja Remolinos.
- **Fig. 6.11.** Gráfica de mediciones de temperatura en granja Remolinos .
- **Fig. 6.12.** Gráfica de mediciones de amoniaco en granja Remolinos.
- **Fig. 6.13.** Gráfica de valores medios de concentraciones de CO₂ en granja Remolinos.
- **Fig. 6.14.** Gráfica de valores medios de concentraciones de amoniaco en granja Remolinos.
- **Fig. 6.15.** Gráfica de valores medios de humedad en granja Remolinos.
- **Fig. 6.16.** Gráfica de valores medios de temperatura en granja Remolinos.
- **Fig. 6.17.** Gráfica de energía eléctrica consumida anual en granja del Cubo de la Solana (Copiso)
- **Fig. 7.1.** Fluido de aire en ventilación natural de una sala de cría de cerdo (*Agriculture and Horticulture Development Board, 2019*).

LISTA DE TABLAS

- **Tabla 2.1.** Esquema de catálogo de recursos geotérmicos por temperatura según diferentes autores (*recopilación modificada de Lee, K.C., 2001*).
- **Tabla 2.2.** Potencia instalada de uso directo de energía geotérmica en los distintos países (Martín, M. D. C. E., 2015).
- **Tabla 2.3.** Ventajas de la Energía Geotérmica (*Fuente propia*).
- **Tabla 2.4.** Mecanismos de calefacción en granjas porcinas (*Fuente propia*).
- **Tabla 2.5.** Flujos de NH₃ (mg N²d⁻¹) (corregidos) según tratamiento con inhibidores y acidificación (*Jornada online Reducción de emisiones en la producción porcina, 2021*).
- **Tabla 3.1.** Temperatura regulada demandada durante la vida del lechón (www.mapagob.es).
- **Tabla 3.2.** Tabla de propiedades termo-físicas de distintos minerales de utilidad en geotermia somera (Rohsenow *et al.*, 1998 y Shön ,2011).
- **Tabla 3.3.** Tabla de propiedades termo-físicas de distintos materiales de utilidad en geotermia somera (Rohsenow *et al.*, 1998 y Shön ,2011).
- **Tabla 3.4.** Tasas de extracción de energía específica para intercambiadores de calor de acuerdo con VDI 4640 (2001). (Erol, S., Grathwohl, P., Blum, P., & Bayer, P. ,2011).
- **Tabla 3.5.** Emisiones totales de gases de efecto invernadero y principales contaminantes atmosféricos a nivel nacional de 2019 y 2020. (Inventario Nacional de emisiones de gases efecto invernadero-Ministerio para la transición ecológica. <https://www.miteco.gob.es>).
- **Tabla 3.6.** Niveles establecidos de amoniaco asociados a las MTDs (*Best Available Techniques, 2017*)
- **Tabla 3.7.** Cuadro de cálculo de emisiones de amoniaco por gestión de estiércol volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>).
- **Tabla 3.8.** Cuadro de cálculo de emisiones de metano por fermentación entérica volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>).
- **Tabla 3.9.** Cuadro de cálculo de emisiones de óxido nitroso por gestión de estiércol volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>).
- **Tabla 3.10.** Especificaciones de la MTD30, MTD13, MTD 8 y Técnicas Emergentes (*Best Abailable Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*).
- **Tabla 3.11.** Ejemplos de reducción de amoniaco en cerdas aplicando las MTDs (*Best Abailable Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*).
- **Tabla 3.12.** Ejemplos de reducción de amoniaco en lechones aplicando las MTDs (*Best Abailable Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*).
- **Tabla 3.13.** Emisión de Amoniaco por gestión de estiércol (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España).
- **Tabla 3.14.** Emisión de Metano por gestión de estiércol (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España).
- **Tabla 3.15.** Emisión de Metano por fermentación entérica (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España).
- **Tabla 3.16.** Emisión de óxido nitroso por gestión de estiércol (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España).
- **Tabla 3.17.** Peso corporal de los cerdos jóvenes expuestos al amoniaco aéreo (Day, 1965).
- **Tabla 4.1.** Medidas de consumos eléctricos y térmicos de contadores internos de kWh de BCG en Ejea de los Caballeros hasta septiembre de 2019.
- **Tabla 4.2.** Medidas de consumos eléctricos y térmicos de contadores internos de kWh de BCG en Ejea de los Caballeros de 2020 a 2022.
- **Tabla 4.3.** Medidas de consumos eléctricos y térmicos de contadores externos de kWh en Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 4.4.** Medidas de temperaturas de captación y producción en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 4.5.** Horas de funcionamiento de las BCG en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 4.6.** Demanda de temperatura de placa calefactada en granja de Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 4.7.** Potencia térmica y eléctrica de una bomba NIBE F1345-40 (NIBE).
- **Tabla 4.8.** Medidas de contador térmico y eléctrico externos en granja de Pueyo de Santa Cruz durante 2020.
- **Tabla 4.9.** Medidas de contador térmico y eléctrico externos en granja de Pueyo de Santa Cruz durante 2021.
- **Tabla 4.10.** Medidas de contador térmico y eléctrico externos en granja de Pueyo de Santa Cruz durante principios de 2022.
- **Tabla 4.11.** Información de parámetros de servicio de BCG en granja del Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 4.12.** Número de arranques y horas de funcionamiento de compresor en BCG en granja del Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 4.13.** Temperaturas de captación y calefacción en granja del Pueyo de Santa Cruz.

- **Tabla 4.14.** Demanda de temperatura de placa calefactada en granja de Huerto.
- **Tabla 4.15.** Potencia térmica y eléctrica de una bomba NIBE F1345-60 (NIBE).
- **Tabla 4.16.** Temperaturas de consigna deseadas en Granja de Huerto.
- **Tabla 4.17.** Consumos eléctrico y térmicos de instalación geotérmica en Granja de Huerto.
- **Tabla 4.18.** Temperaturas de circuito aleatorias a lo largo de un año en granja de Huerto.
- **Tabla 4.19.** Información de parámetros de servicio de BCG en granja de Huerto.
- **Tabla 4.20.** Número de arranques y horas de funcionamiento de compresor en BCG en granja de Huerto.
- **Tabla 4.21.** Temperaturas de calefacción en granja de Huerto.
- **Tabla 4.22.** *Datos de número de animales, peso y tiempo de vida en granja de Huerto.*
- **Tabla 4.23.** Datos de la centralita de cada una de las salas de la granja de Huerto.
- **Tabla 4.24.** Temperaturas de colectores de captación ubicado en el pasillo central de la granja de Huerto
- **Tabla 4.25.** Toma de datos de temperaturas de purines en granja de Huerto.
- **Tabla 4.26.** Toma de datos de la superficie y profundidad de purines de los alojamientos en granja de Huerto.
- **Tabla 4.27.** kW eléctricos y térmicos consumidos desde enero de 2020 a febrero de 2023 en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.28.** kW eléctricos y térmicos instantáneos en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.29.** *Temperaturas de captación y de calefacción en granja de Llardecans.*
- **Tabla 4.30.** *Temperaturas de consigna y temperatura de inercia en granja de Llardecans.*
- **Tabla 4.31.** Horas de funcionamiento de las BCG en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.32.** Medidas de contadores externos térmicos en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.33.** Medidas de contador externo eléctrico en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.34.** Consumo eléctrico anual de BCG en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.35.** Datos de número de animales, peso y tiempo de vida en Granja de Llardecans.
- **Tabla 4.36.** Datos de temperaturas y humedad de cada una de las salas en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.37.** Datos de ventilación establecida y real de cada una de las salas en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.38.** Temperaturas de colectores de captación ubicado en el pasillo central en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.39.** Toma de datos de temperaturas de purines en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.40.** Toma de datos de la superficie y profundidad de purines de los alojamientos en granja de Llardecans.
- **Tabla 4.41.** Consumos eléctrico y térmicos de instalación geotérmica en Granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.42.** Temperaturas aleatorias del circuito de captación a lo largo del año en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.43.** Información de parámetros de servicio de BCG en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.44.** Temperaturas de calefacción en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.45.** Temperaturas de ACS en la granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.46.** Número de arranques y horas de funcionamiento de los compresores de las BCG en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.47.** Datos de número de animales, peso y tiempo de vida en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.48.** Datos de la centralita de temperatura y humedad de cada una de las salas de la granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.49.** Datos en porcentaje de ventilación establecida y real de cada una de las salas en la granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.50.** Datos de ventilación en m³/h/animal de cada una de las salas en la granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.51.** Temperaturas de colectores de captación ubicado en el pasillo central de la granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.52.** Toma de datos de temperaturas de purines en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.53.** Toma de datos de la superficie y profundidad de purines de los alojamientos en granja de Cabanillas.
- **Tabla 4.54.** Demanda de temperatura de placa calefactada en granja de Remolinos.
- **Tabla 4.55.** Temperaturas de circuito aleatorias a lo largo del año en granja de Remolinos.
- **Tabla 4.56.** Información de parámetros de servicio de BCG en granja de Remolinos.
- **Tabla 4.57.** Número de arranques y horas de funcionamiento del compresor en las BCG en granja de Remolinos.
- **Tabla 4.58.** Temperaturas de calefacción en granja de Remolinos.
- **Tabla 4.59.** Mediciones de sala 11 con puritermia en granja Remolinos.
- **Tabla 4.60.** Mediciones de sala 10 con puritermia en granja Remolinos.

- **Tabla 4.61.** Mediciones de sala 1 sin puritermia en granja Remolinos.
- **Tabla 4.62.** Mediciones de sala 15 sin puritermia en granja Remolinos.
- **Tabla 4.63.** Mediciones de sala 12 sin puritermia en granja Remolinos.
- **Tabla 4.64.** Porcentaje de potencia de la BCG en una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 4.65.** Medidas de kWh térmicos y eléctricos de una vivienda unifamiliar en Atea durante 2020.
- **Tabla 4.66.** Medidas de kWh térmicos y eléctricos de una vivienda unifamiliar en Atea durante 2021.
- **Tabla 4.67.** Medidas de kWh eléctricos de una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 4.68.** Temperatura de captación y de calefacción en vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.1.** Horas de funcionamiento mensuales de la BCG en Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.2.** Resultados de COP obtenidos a partir de los contadores externos en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.3.** Resultados de COP_{mensual} obtenidos a partir de los contadores de las BCG en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.4.** Resultados de SPF obtenidos a partir de los consumos anuales térmicos y eléctricos de las BCG en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.5.** Horas y porcentaje de funcionamiento anual de cada compresor de las BCG en Granja del Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 6.6.** COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz durante los meses más fríos de 2020.
- **Tabla 6.7.** COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz durante los meses más fríos de 2021.
- **Tabla 6.8.** COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz a principios de 2022.
- **Tabla 6.9.** Porcentaje de funcionamiento anual de BCG en granja de Huerto.
- **Tabla 6.10.** COP reales obtenidos en granja de Huerto.
- **Tabla 6.11.** Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales.
- **Tabla 6.12.** Horas de funcionamiento anuales de BCG en granja de Llardecans
- **Tabla 6.13.** Coeficiente de rendimiento de BCG en granja de Llardecans
- **Tabla 6.14.** Coeficiente de rendimiento instantáneo de BCG en granja de Llardecans.
- **Tabla 6.15.** Coeficiente de rendimiento mensual de los contadores externos en granja de Llardecans.
- **Tabla 6.16.** Horas de funcionamiento acumuladas de BCG en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.17.** Porcentaje de horas de funcionamiento anual de BCG en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.18.** COP instantáneo obtenido en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.19.** COP real obtenido en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.20.** Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales.
- **Tabla 6.21.** Porcentaje de funcionamiento anual de BCG en granja de Remolinos.
- **Tabla 6.22.** Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales en granja de Remolinos.
- **Tabla 6.23.** Porcentaje de demanda de calefacción o ACS en vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.24.** SPF de una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.25.** Medidas de costes y consumos eléctricos en kWh en toda la explotación y de las BCG en el primer año de funcionamiento a pleno rendimiento en la granja de Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.26.** Costes eléctricos de la explotación ganadera en Ejea de los Caballeros con caldera eléctrica (02/17 y 03/17) y con BCG (04/17).
- **Tabla 6.27.** Comparativa de ahorro de kWh térmicos y eléctricos en las BCG en Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.28.** Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2018.
- **Tabla 6.29.** Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2019
- **Tabla 6.30.** Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2020.
- **Tabla 6.31.** Resumen de valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros.
- **Tabla 6.32.** Coste eléctrico diario en granja de Pueyo de Santa Cruz de instalación geotérmica durante los meses más fríos durante 2020 y 2021.
- **Tabla 6.33.** Coste eléctrico diario en granja de Pueyo de Santa Cruz de instalación geotérmica durante los meses más fríos durante 2021 y 2022.
- **Tabla 6.34.** Consumos de facturas eléctricas en granja de Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 6.35.** Consumos de instalación geotérmica mensual en granja de Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 6.36.** Porcentaje de consumo eléctrico de geotermia respecto a la facturación eléctrica total en granja de Pueyo de Santa Cruz.
- **Tabla 6.37.** kW eléctrico de geotermia y su coste diario en granja de Pueyo de Santa Cruz
- **Tabla 6.38.** Comparativa de consumo y coste eléctrico real en Granja del Pueyo de Santa Cruz en diciembre de 2020 y 2021.

- **Tabla 6.39.** Gasto anual de geotermia en granja de Huerto.
- **Tabla 6.40.** Gastos mensuales de instalación geotérmica de 2022 en granja de Llardecans.
- **Tabla 6.41.** Consumo y costes energéticos anuales de una instalación geotérmica desde el arranque de la instalación en una granja de Llardecans.
- **Tabla 6.42.** Consumo y costes energéticos anuales de una instalación tradicional en una granja de Llardecans.
- **Tabla 6.43.** Consumo eléctrico anual de geotermia en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.44.** Gasto anual de geotermia en granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.45.** Porcentaje de consumo de la geotermia en la factura eléctrica de una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.46.** Coste de los kW de geotermia en una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.47.** kW anuales y costes totales de una vivienda unifamiliar en Atea.
- **Tabla 6.48.** Volumen y temperatura media de los purines en los alojamientos interiores en la granja de Huerto.
- **Tabla 6.49.** Toma de datos de purines de los alojamientos en granja de Llardecans.
- **Tabla 6.50.** Volumen y temperatura media de los purines en los alojamientos interiores en la granja de Cabanillas.
- **Tabla 6.51.** Temperaturas de trabajo y potencia de diferentes sistemas de climatización de dos explotaciones idénticas.
- **Tabla 6.52.** Toneladas consumidas y costes de la instalación del Cubo de la Solana climatizada con biomasa.
- **Tabla 6.53.** Cantidad de astilla suministrada y costes de instalación del Cubo de la Solana climatizada con biomasa durante 2021.
- **Tabla 6.54.** Costes de electricidad de caldera de biomasa del Cubo de la Solana de marzo de 2021 a febrero de 2022.
- **Tabla 6.55.** Costes anuales de la caldera de gasoil en la granja del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.56.** Costes anuales de la caldera de gasoil en la granja del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.57.** Costes totales de la biomasa de marzo de 2021 a febrero de 2022 en la granja del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.58.** Presupuesto de la instalación de biomasa en la granja del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.59.** Producción eléctrica de fotovoltaica y consumo eléctrico de dos instalaciones, con biomasa y geotermia respectivamente.
- **Tabla 6.60.** Consumo eléctrico anual de una instalación geotermia y una instalación de biomasa con apoyo de placas fotovoltaicas.
- **Tabla 6.61.** Costes totales de la biomasa de 2023 en la granja del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.62.** Plan de amortización de dos instalaciones, la biomasa y la geotermia.
- **Tabla 6.63.** Coste de consumo de dos instalaciones, la biomasa y la geotermia.
- **Tabla 6.64.** Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación de biomasa en condiciones idénticas.
- **Tabla 6.65.** Retorno de la inversión de la geotermia de Cabanillas respecto a la biomasa del Cubo de la Solana.
- **Tabla 6.66.** Costes detallado de factura mensual de una instalación eléctrica frente a una instalación geotérmica (Valores de 2021).
- **Tabla 6.67.** Datos de demanda y consumo de dos instalaciones reales climatizadas con electricidad y con geotermia respectivamente.
- **Tabla 6.68.** Costes de inversión de una instalación eléctrica y una instalación geotérmica.
- **Tabla 6.69.** Plan de amortización de dos instalaciones, la eléctrica y la geotermia.
- **Tabla 6.70.** Coste de consumo de dos instalaciones, la eléctrica y la geotermia en 2021.
- **Tabla 6.71.** Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación eléctrica en condiciones idénticas (precios de 2021).
- **Tabla 6.72.** Retorno de la inversión de la geotermia de Remolinos respecto a una instalación eléctrica en 2021.
- **Tabla 6.73.** Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación eléctrica en condiciones idénticas (precios de 2023).
- **Tabla 6.74.** Retorno de la inversión de la geotermia de Remolinos respecto a una instalación eléctrica en 2023.
- **Tabla 7.1.** Resultados de consumos en función de potencia contratada de los casos de estudio de la presente Tesis Doctoral.
- **Tabla 7.2.** Temperaturas de captación de los casos de estudio de la presente Tesis Doctoral.
- **Tabla 7.3.** Variaciones de temperatura comparando salas de puritermia y salas sin ella.

- **Tabla 7.4.** Comparación de concentración de amoníaco en el interior de salas con puritermia y salas sin ella.
- **Tabla 7.5.** Ahorro de una instalación de geotermia frente a una instalación de biomasa.

ABREVIATURAS

- ACS: Agua Caliente Sanitaria
- AEG: Asociación Española de la Geotermia
- ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers
- Bar: unidad internacional de medida de presión = bares
- BAT: Best Available Techniques
- BCG: Bomba de Calor Geotérmica
- BMP: Biochemical Methane Potential
- BREF: Reference de Best Available Techniques
- CIG: Centro de Investigación de la Geotermia
- CTE: Código Técnico de Edificación
- COP: Coeficiente de rendimiento instantáneo en calefacción
- COPa: Coeficiente de rendimiento anual en calefacción
- SPF: Factor de rendimiento estacional
- EER: Coeficiente de rendimiento instantáneo en refrigeración
- Gt: Gigatonelada
- HDPE: High Density Polyethylene Piping
- HFC: Hidro Fluoro Carbono
- HP: Alto Rendimiento
- IC: Índice de conversión
- IGME: Instituto Geológico y Minero de España
- IPP: Integrated Pollution Prevention and Control
- Kg: Kilogramo
- kW: Kilovatio
- kWh: Kilovatio hora
- LULCF: Actividades del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura
- MAPA: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- MARM: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
- Mill: Millones
- MITECO: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
- MTDs: Mejoras Técnicas Disponibles
- MWh: Megavatios hora
- MWt: Megavatios térmicos
- PE: Polietileno (composición de la tubería)
- PEX-a: Polietileno reticulado con barrera de oxígeno
- PN: Presión nominal
- PPR: Polipropileno (composición de la tubería)
- PRTR: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes
- RSC: Responsabilidad Social Corporativa
- SPF: Factor de rendimiento estacional
- T: Temperatura
- Tn: Tonelada
- UGM: Unidades de ganado mayor

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	17
1. ANTECEDENTES DE LA TESIS.....	20
1.1 MOTIVACIÓN.....	20
1.2 OBJETIVOS	21
1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS	22
2. INTRODUCCIÓN.....	24
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GEOTERMIA	24
2.1.1 Qué es la geotermia	24
2.1.2 Tipos de energía geotérmica	26
2.1.3 Aplicaciones y ventajas de la geotermia.....	31
2.2 LA PURITERMIA Y SU DESARROLLO INCIPIENTE	33
2.2.1 Qué es la puritermia	33
2.2.2 Desarrollo actual de la puritermia	34
2.2.3 Ventajas y cuestiones por resolver en puritermia	35
2.3 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN UNA EXPLOTACIÓN PORCINA.....	36
2.3.1 Medida de emisiones en una granja porcina.....	38
2.3.2 Técnicas de reducción de emisiones.....	41
3. CONCEPTOS BÁSICOS EN GANADERÍA PORCINA APLICADOS A LA GEOTERMIA	45
3.1 FUNDAMENTOS DE UNA GRANJA PORCINA Y DEMANDA TÉRMICA	45
3.1.1 Tipos de granjas porcinas.....	45
3.1.2 Tipos de placas de calefacción de una granja porcina.....	48
3.1.3 Usos de la granja.....	50
3.2 CONCEPTOS TEÓRICOS BÁSICOS Y FORMULACIÓN EN INSTALACIONES TÉRMICAS PORCINAS.....	51
3.2.1 Fundamentos termodinámicos en geotermia somera	51
3.2.2 Transmisión de calor en el terreno.....	55
3.3 DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA PORCINA.....	58
3.3.1 Sistema Primario	59
3.3.2 Cuarto técnico	66
3.3.3 Circuito Secundario	75
3.4 EMISIONES DEL SECTOR PORCINO	77
3.4.1 Mejoras Técnicas Disponibles.....	77
3.4.2 ¿Cómo afecta la ganadería al medio ambiente?	96
4. CASOS DE ESTUDIO	105
4.1 GRANJA EJEA DE LOS CABALLEROS (GRGS-01)	106
4.2 GRANJA PUEYO DE SANTA CRUZ (GRGS-02)	106
4.3 GRANJA HUERTO (GRGS-03).....	106
4.4 GRANJA LLARDECANS (GRGS-04)	106
4.5 GRANJA CABANILLAS (GRGS-05).....	106
4.6 GRANJA REMOLINOS (GRGS-06).....	106
4.7 VIVIENDA UNIFAMILIAR EN ATEA (VPGS-07)	106
5 METODOLOGÍA.....	107
6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	107

6.1	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CASOS DE ESTUDIO	107
6.1.1	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-01	107
6.1.2	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-02	111
6.1.3	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-03	116
6.1.4	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-04	118
6.1.5	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-05	122
6.1.6	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-06	125
6.1.7	Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio VPGS-07	126
6.2	ESTUDIO ENERGÉTICO DE LOS CASOS DE ESTUDIO	127
6.2.1	Estudio energético del caso de estudio GRGS-01	127
6.2.2	Estudio energético del caso de estudio GRGS-02	133
6.2.3	Estudio energético del caso de estudio GRGS-03	137
6.2.4	Estudio energético del caso de estudio GRGS-04	137
6.2.5	Estudio energético del caso de estudio GRGS-05	138
6.2.6	Estudio energético de una vivienda unifamiliar (VPGS-07)	139
6.3	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE LOS CASOS DE ESTUDIO	141
6.3.1	Interpretación de resultados de medición de purines del caso de estudio GRGS-03	141
6.3.2	Interpretación de resultados de medición de purines del caso de estudio GRGS-04	143
6.3.3	Interpretación de resultados de medición de purines y gases del caso de estudio GRGS-05	144
6.3.4	Interpretación de resultados de medición de gases del caso de estudio GRGS-06.....	147
6.4	COMPARATIVA DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA FRENTE A OTROS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	151
6.4.1	Comparativa de una instalación geotérmica (GRGS-05) frente a una instalación de biomasa.	151
6.4.2	Comparativa de una instalación geotérmica (GRGS-06) frente a una instalación con placas eléctricas.	
	158	
7	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	162
8	CONCLUSIONES	167
9	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	170
10	GROSARIO	171
11	ANEXOS	173
11.1	FICHA TÉCNICA DE PLACA DE AGUA DE ACERO INOXIDABLE H.P.	173
11.2	FICHA TÉCNICA DE MAQUINA PERFORADORA DE GEOTERMIA	174
11.3	FICHAS TÉCNICAS DE MORTERO GEOTÉRMICO	175
11.4	FICHAS TÉCNICA ETILENGLICOL	177
11.5	TABLA DE MTDs EN PORCENTAJE PARA REDUCCION DE EMISIONES DE AMONIACO ... 181	
11.6	LEYENDA GEODE ZONA Z2700	182
11.7	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN EJEA DE LOS CABALLEROS	183
11.8	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG ECOFOREST ECOGEO HP1 15-70	185
11.9	CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA BOMBA DE CALOR ECOGEO HP1 15-70 kW	186
11.10	LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_326 MONZÓN	187
11.11	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN EL PUEYO DE SANTA CRUZ	188
11.12	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG NIBE F135-40 Y NIBE F135-60	190
11.13	LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_324 GRAÑEN	193
11.14	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN HUERTO	194
11.15	LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_416 MAIALS	196
11.16	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN LLARDECANS	197

11.17	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG WATERKOTTE DS5110T 5075.5T Y 5085.5T	
	199	
11.18	LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_407 MORÓN DE ALMAZÁN.....	200
11.19	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN CABANILLAS.....	201
11.20	LEENDA GEOLOGICA DE HOJA MAGNA 50_321 TAUSTE	204
11.21	PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN REMOLINOS.....	205
11.22	LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_464 USED.....	207
11.23	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG WATERKOTTE DS5110T 5027 Ai - EcoTouch	
	208	
11.24	FACTURA ELÉCTRICA DE EXPLOTACIÓN GANADERA EN EJEA DE LOS CABALLEROS	209
11.25	FACTURA ELÉCTRICA DE EXPLOTACIÓN GANADERA EN EL PUEYO DE SANTA CRUZ	
	210	
11.26	PRESUPUESTO DE BIOMASA EN EL CUBO DE LA SOLANA.....	213
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	218
12.1	LIBROS Y ARTÍCULOS.....	218
12.2	NORMATIVA.....	227
12.3	PAGINAS WEB.....	227

1. ANTECEDENTES DE LA TESIS

1.1 MOTIVACIÓN

El cambio climático es un fenómeno que en los últimos años ha sido motivo de grandes controversias entre los científicos y las entidades gubernamentales, desde la primera Conferencia Mundial del Clima en 1979 hasta la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible (*UN General Assembly, 2015*).

El cambio climático se define como “*cambio significativo y duradero de patrones locales y globales del clima, ocasionados por razones naturales o causadas por los seres humanos*” (*Valderrama, 2018*). La supervivencia de los seres vivos en la tierra ha sido posible por la existencia de los gases de efecto invernadero (GEI), pero debido al desarrollo industrial de la especie humana, la deforestación y la sobreproducción agraria, se han generado en el planeta, un aumento exponencial de GEI que conlleva, un aumento de la temperatura del aire de 0,85 °C [0,65 a 1,06] de 1880 a 2012 y un ascenso en el nivel del mar por el incremento de la evaporación en el suelo y el agua. (*R.K. Pachauri & L.A. Meyerr, IPCC, 2014*)

Los países con mayor desarrollo industrial potencian su actividad económica mediante el uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo), constituyendo el 80% de la energía consumida mundial; generando altas emisiones de CO₂ y otros gases que modifican el clima aumentando la temperatura de la atmósfera; lo que se contrarresta con los países subdesarrollados que sufren las consecuencias del cambio climático con inundaciones, sequías, tormentas, etc. (*Maya Muñoz, 2020*)

La crisis sanitario mundial debido a un agente biológico, el COVID-19, que freno radicalmente la actividad económica, apenas redujo sutilmente las emisiones de gases a la atmósfera, únicamente ha demostrado la vulnerabilidad de los recursos naturales y sus limitaciones. (*Gómez LLM, 2020*)

El calentamiento global producido por la actividad humana está próximo a 1,2 °C, en relación a la era preindustrial y de acuerdo Intergovernmental Panel on Climate Change (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, 2018) no debería superarse el umbral de 1,5 o 2°C para mitigar los efectos del cambio climático. Para ello, es necesario reducir las emisiones de CO₂ en un 45% para 2030 y alcanzar a neutralizar las emisiones en 2050, tal y como se acordó en el *Acuerdo de París de 2015* (*Fernández-Reyes, R., & Águila Coghlan, J. C. ;2017*), en la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

En este sentido, la ganadería constituye uno de los principales focos de emisiones de GEI a nivel mundial, con unas 8,1 gigatoneladas (Gt) equivalentes de dióxido de carbono (*FAO 2010*), corresponde al 14,5% de las emisiones globales causadas por la actividad humana en 2013 (*Gerber, 2013*). Dichas emisiones se realizan de manera directa o indirecta y derivan principalmente del consumo energético, la producción de piensos, la fermentación entérica y la gestión de estiércol. La mayor parte de los estudios científicos se centran en las emisiones de GEI de rumiantes, que presentan tasas de emisiones por unidad animal superiores a las producidas en el sector porcino. No obstante, si se tiene en cuenta la alta productividad de la cría de cerdo y que se trata de la carne más consumida del mundo,

representando un 45% del total, se puede entender que las emisiones de GEI absolutas al año son muy superiores a las de otros animales, incluidos los rumiantes. A pesar de la extrema importancia de estudiar las emisiones del sector porcino, los estudios relativos a este sector son muy escasos y apenas existen datos registrados cuantificados.

En el sector porcino, las estrategias de mitigación de emisiones GEI para la protección del medio ambiente pasan por fomentar el uso de energías renovables, la eficiencia energética y cambios tecnológicos y estructurales en el proceso de producción. La innovación tecnológica viene marcada por la mejora en la alimentación y la optimización del tratamiento de estiércol. Para incentivar la reducción de emisiones en el sector, la Unión Europea y los países miembros establecen una serie de recomendaciones, denominadas *Mejoras Técnicas Disponibles* (MTDs), donde se incluyen, entre otras, (1) la refrigeración del purín como mecanismo de reducción de gases contaminantes; y (2) el uso de energías renovables, como la energía geotérmica, para alcanzar los objetivos de descarbonización y eficiencia energética (González Ríos, 2017).

Por otro lado, la mejora en las condiciones económicas de la población fomenta una dieta con un mayor porcentaje en proteína cárnica y un mayor consumo de carne per cápita (DAI, SUN, MÜLLER, et. al. 2021). Por lo que se considera que la demanda en el planeta va a seguir aumentando y por ello es necesario, más que nunca, desarrollar estrategias de mitigación de las emisiones GEI derivadas del sector cárnico.

1.2 OBJETIVOS

La finalidad de la presente Tesis Doctoral es realizar un análisis energético y ambiental exhaustivo de la geotermia aplicada al sector porcino, utilizando para ello información real de diferentes instalaciones ganaderas. Se establecen una serie de objetivos fundamentales:

- Definir un nuevo concepto adaptado al sector porcino con un patrón geotérmico, "puritermia".
- Obtención de evidencias sobre la rentabilidad de la implementación de la tecnología geotérmica en explotaciones ganaderas y su comparación con rentabilidades observadas en el sector doméstico, del uso de la geotermia en viviendas.
- Estudio de la eficiencia en la trasmisión de calor de intercambiadores geotérmicos horizontales y verticales, y análisis de su rentabilidad en función de la inversión inicial en perforación y/o excavación.
- Estudio de la eficiencia en la trasmisión de calor de estructuras termoactivas, y análisis de su amortización con respecto a otras instalaciones convencionales.
- Monitorización de instalaciones porcinas climatizadas con energía geotérmica para la obtención de series de datos reales de consumo energético representativas de España y equivalentes en clima mediterráneo.

- Demostrar que la geotermia en el sector porcino es mucho más rentable, si se comparara con el gasto energético generado por otra fuente de energía más contaminante.
- Demostrar que la puritermia combinada con geotermia vertical reduce la temperatura de los purines en mayor medida que una instalación con un sistema primario constituido exclusivamente con “puritermia”.
- Demostrar que las MTD's aplicadas al sector porcino a través de la geotermia, favorecen el bienestar animal y humano, por su reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, principalmente el amoniaco, para ello, por primera vez en España, se analizaran datos reales de concentraciones de amoniaco en dos salas idénticas en condiciones equivalentes con estructuras termoactivas y con ausencia de ellas.
- Establecer nuevas líneas de investigación aprovechando la energía geotérmica, utilizando las técnicas establecidas por las autoridades competentes de los países miembros de la Unión Europea.

Para finalmente poder elaborar un estudio energético, ambiental y económico de la refrigeración de purines mediante la utilización de geoestructuras termoactivas, que demuestre ser la mejor solución en el sector ganadero.

1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La presente Tesis Doctoral está dividida en cinco capítulos principales bien diferenciados que darán paso a las conclusiones.

El segundo capítulo es de introducción, contiene el estado del arte en geotermia y más específico en “puritermia”, incluyendo sus definiciones, su desarrollo actual, ventajas y aplicaciones para reducir las emisiones producidas en una granja porcina; junto con aspectos por resolver que precisan nuevas investigaciones, se concluye indicando cuales son los gases emitidos en una explotación ganadera porque han aumentado, lo que ha dado paso a una regulación a nivel europeo de acuerdo con una serie de mejoras técnicas disponibles, que han sido utilizadas para hacer distintas mediciones de emisiones en una granja. Todo ello dará una visión general de los aspectos fundamentales que se tratan en esta tesis doctoral.

Un tercer capítulo con conceptos elementales, que sin considerarlos parte de esta tesis se han introducido para una mejor comprensión de la misma, se trata da los conceptos básicos en ganadería porcina aplicados a la geotermia somera y el estudio de emisiones de gases asociados. Inicialmente, se explican los tipos de granjas porcinas y sus instalaciones térmicas y, por otro lado, se da un pequeño apartado de la formulación más elemental sobre termodinámica aplicada a la geotermia somera en una granja. Todo ello es necesario para poder entender el desarrollo de la tesis. Además, se aporta un modelo tipo de granja con las distintas partes en que se divide una instalación geotérmica de la explotación: el circuito de captación, el cuarto técnico y circuito hidráulico del interior de la instalación. El capítulo termina con el desarrollo normativo relativo a las emisiones del sector porcino, explicando las emisiones producidas en una granja y los efectos que causan en el medio ambiente, en animales y en los seres humanos.

El capítulo cuarto introduce todos los casos de estudio de la presente Tesis Doctoral. Detalla los distintos casos que constituyen la investigación realizada durante varios años, para ver la evolución de las instalaciones geotérmicas en el sector porcino, desde el estudio previo de la zona, la ejecución de la obra, hasta el análisis de su funcionamiento tras la puesta en marcha. Se han elegido los casos de éxito en función del tipo de granja, desde explotaciones de maternidad a granjas de transición; o en función del tipo de captación, geotermia vertical o geoestructura. Detallando especialmente la influencia que puede tener un aporte exterior en la captación y como afecta está a las emisiones de gases en el interior de las explotaciones. Además se ha incluido un caso de estudio de una vivienda unifamiliar que servirá como comparativa de climatización respecto a los casos anteriores.

La metodología utilizada se detalla en el quinto capítulo. Se refiere a la metodología aplicada tanto en los casos prácticos, para determinar la eficiencia energética de las instalaciones, como el análisis que es necesario llevar a cabo para obtener parámetros que determinen las variaciones de las emisiones en el interior de una granja.

En el sexto capítulo se exponen los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología expuesta en el capítulo anterior y se analizan e interpretan los diferentes parámetros que influyen en las emisiones de una granja, obtenidos en algunos de los casos de estudio y en otros resultados energéticos que pueden dar información relevante.

A partir de todos los datos anteriores estudiados y analizados, se llegará a unas conclusiones que determinarán la importancia de la geotermia en el sector porcino para la eficiencia energética y el bienestar humano y animal.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GEOTERMIA

2.1.1 Qué es la geotermia

El Consejo Europeo de la Energía Geotérmica (EGEC) define la energía geotérmica como “la energía almacenada en forma de calor en el interior de la tierra”, acepción similar a otros autores (*Dickson, Mary H., and Mario Fanell, 2004*) mientras que, el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) como “una fuente de energía renovable abundante, de explotación viable, técnica y económicamente, que evita emisiones de gases de efecto invernadero y cuya existencia en nuestro subsuelo está aprobada”.

En la actualidad, los recursos geotérmicos abarcan una gama de servicios auxiliares para la producción de energía, los científicos están trabajando en sistemas geotérmicos mejorados, que permita el paso del agua a través de una red de fracturas existentes en zonas del subsuelo, que tengan temperatura de 150-200°C y mediante pozos de inyección puedan generar vapor, aunque todavía son métodos en fase de estudio, no viables económicamente, sí que están adquiriendo un gran interés (*Rybáček, L., 2010*).

Debido a que los conocimientos de la composición y características del interior de la tierra mediante sondeos de perforación son limitados, apenas se han alcanzado 7 km de la corteza terrestre, aunque la actividad volcánica nos muestra materiales de hasta 200 km de profundidad. Aunque el mayor avance de los geólogos para conocer la composición y estructura terrestre se ha llevado a cabo mediante el estudio de ondas sísmicas (ondas S y ondas P), que nos han determinado la existencia de tres capas principales con composición química diferente (*Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., & Científicas, A. T, 2005*), son:

- La corteza, capa exterior más fina, que oscila entre los 3 kilómetros en las cordilleras oceánicas a los 70 km en los sistemas montañosos como los Andes o el Himalaya.
- El manto, capa sólida rica en sílice que alcanza profundidades de 2.900 km.
- El núcleo, capa rica en hierro, con un radio de 3.486 km.

En referencia a las propiedades físicas, el interior de la tierra se caracteriza por un aumento gradual de la temperatura, la presión y la densidad con la profundidad. La temperatura es aproximadamente 12 - 15°C a pocos metros de la superficie en la corteza terrestre, y aumenta hasta los 1.200 - 1.400°C a una profundidad de 100 km hasta alcanzar los 6.700°C del núcleo (**Fig. 2.1.**), esta variación de temperatura con la profundidad es lo que se conoce como gradiente térmico, el cual es de 33°C por km, aunque se han encontrado zonas donde varía de 30°C a 50°C por kilómetro, donde podría obtenerse fluidos con temperaturas de entre 50°C -100°C a profundidades más someras (*de la Nación, P., Recursos, R. G. S. D., MORRONE, M. A. M., & Energética, E., 2019*). Aunque únicamente se aprovecha el calor de la parte accesible de la corteza terrestre, algunos investigadores han demostrado que el flujo de calor puede proceder de procesos complejos de convección del manto superior (*Adam, 1978*).

Estructura de la Tierra

El interior de nuestro planeta está formado por cuatro capas.

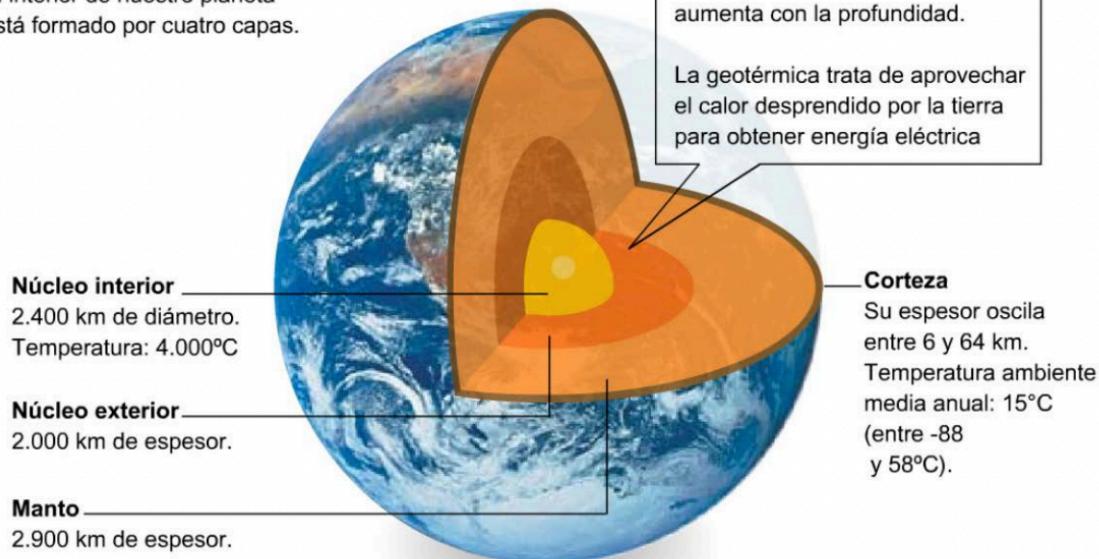


Fig. 2.1. Capas del interior de la Tierra (Cárcel Carrasco, 2015)

La energía geotérmica a pesar de ser la energía renovable inagotable más limpia, la más competitiva y estar disponible 24 horas al día, 365 días al año; en España no se ha desarrollado para la generación de electricidad, cierto es que las zonas más adecuadas para ello corresponden con áreas donde el flujo de calor es más elevado que en áreas vecinas, con temperaturas de 150°C a 350°C, como son las localizadas en las proximidades de la actividad volcánica, como por ejemplo, a lo largo de los bordes de las placas tectónicas donde los manantiales calientes, fumarolas, géiseres, etc. muestran una actividad geotérmica frecuente. A nivel mundial, países como EE. UU., el mayor productor de electricidad geotérmica (*Kagel, A., Bates, D., & Gawell, K.. 2005*), Indonesia o Italia a nivel europeo, poseen experiencia en generación de energía eléctrica (Fig. 2.2.).

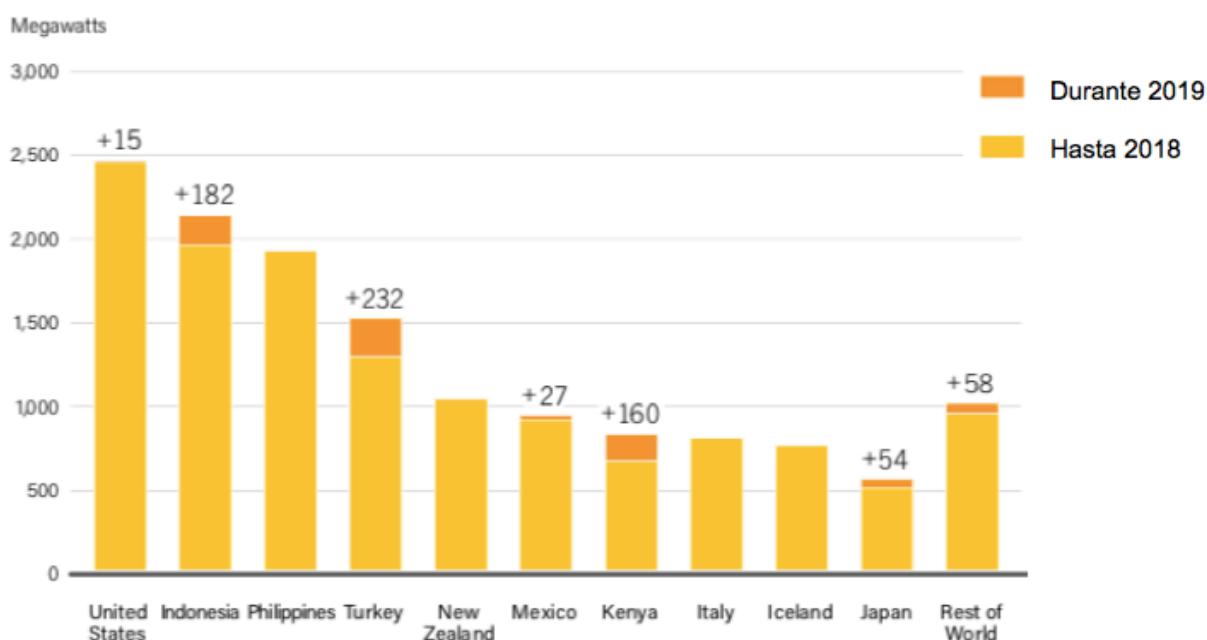


Fig. 2.2. Megavatios de Energía Geotérmica en el mundo hasta 2019 (Fuente: REN21)

2.1.2 Tipos de energía geotérmica

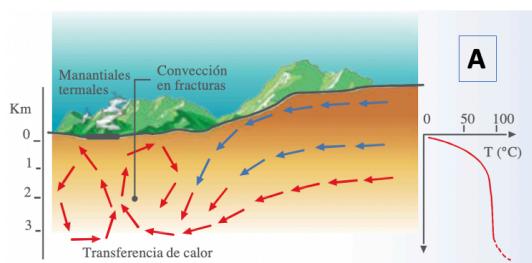
Existen diferentes criterios para clasificar la energía geotérmica basados en la temperatura de los reservorios geotérmicos, aunque el parámetro más utilizado por diversos autores viene marcado por las propiedades termodinámicas, como la entalpía, en cuyo caso, el rango de clasificación es: baja entalpía, entalpía moderada y alta entalpía (Moeck, I.S., 2014) (**Tabla 2.1.**). Otro criterio menos utilizado, de clasificación de los reservorios sería por energía (Lee, K.C. 1996) donde se utilizan dos o más propiedades termodinámicas.

Tabla 2.1. Esquema de catálogo de recursos geotérmicos por temperatura según diferentes autores (recopilación modificada de Lee, K.C., 2001)

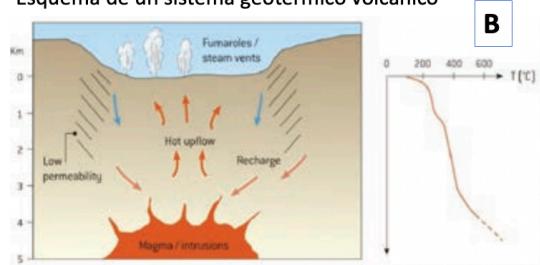
	Muffler (°C)	Hochstein (°C)	Benderitter and Cormy (°C)	Haenel et al. (°C)		
Low enthalpy	< 90	< 125	< 100	< 150		
Moderate enthalpy	90–150	125–225	100–200	–		
High enthalpy	> 150	> 225	> 200	> 150		
Sanyal	Non-electrical (°C)	Very low (°C)	Low (°C)	Moderate (°C)	High (°C)	Ultra high (°C)
	< 50–100	100–150	150–180	180–230	230–300	> 300

Los recursos geotérmicos forman parte de un sistema geológico donde intervienen factores como la litología, las fallas, las fracturas, la mecánica de rocas, la geoquímica, la geofísica, etc. parámetros que es preciso estudiar en profundidad mediante modelos geotérmicos conceptuales (**Fig. 2.3.**), sobre todo en yacimientos de media y alta entalpía para corroborar la viabilidad y sostenibilidad económica del proyecto (Marzolf, N.C., 2014).

Esquema de la circulación de agua en un sistema controlado por una falla



Esquema de un sistema geotérmico volcánico



Esquema de un sistema geotérmico de una cuenca sedimentaria

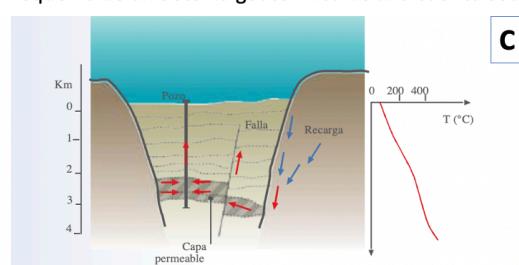


Fig. 2.3. Clasificación de diferentes sistemas geotérmicos existentes en la naturaleza a partir de modelos conceptuales (Marzolf, N.C., 2014).

En los últimos años la energía geotérmica está despertando un gran interés, debido a la alerta mundial del aumento en las emisiones de gases efecto invernadero y a la subida

exponencial de los combustibles fósiles. Por tanto, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética, la energía geotérmica de baja entalpía ha desarrollado múltiples aplicaciones de uso directo a nivel industrial y doméstico, siendo la potencia térmica instalada total de 107.727 MWt (*Lund, J. W., & Toth, A. N., 2021*), utilizada en un 58,8% para bombas de calor geotérmicas (BCG), en un 18% para baños, piscinas o similares; en un 16% para calefacción de espacios, un 3,5% para invernaderos, un 1,6% aplicaciones industriales, 1,3% en acuicultura y 0,8% para otras aplicaciones (**Fig. 2.4.**).

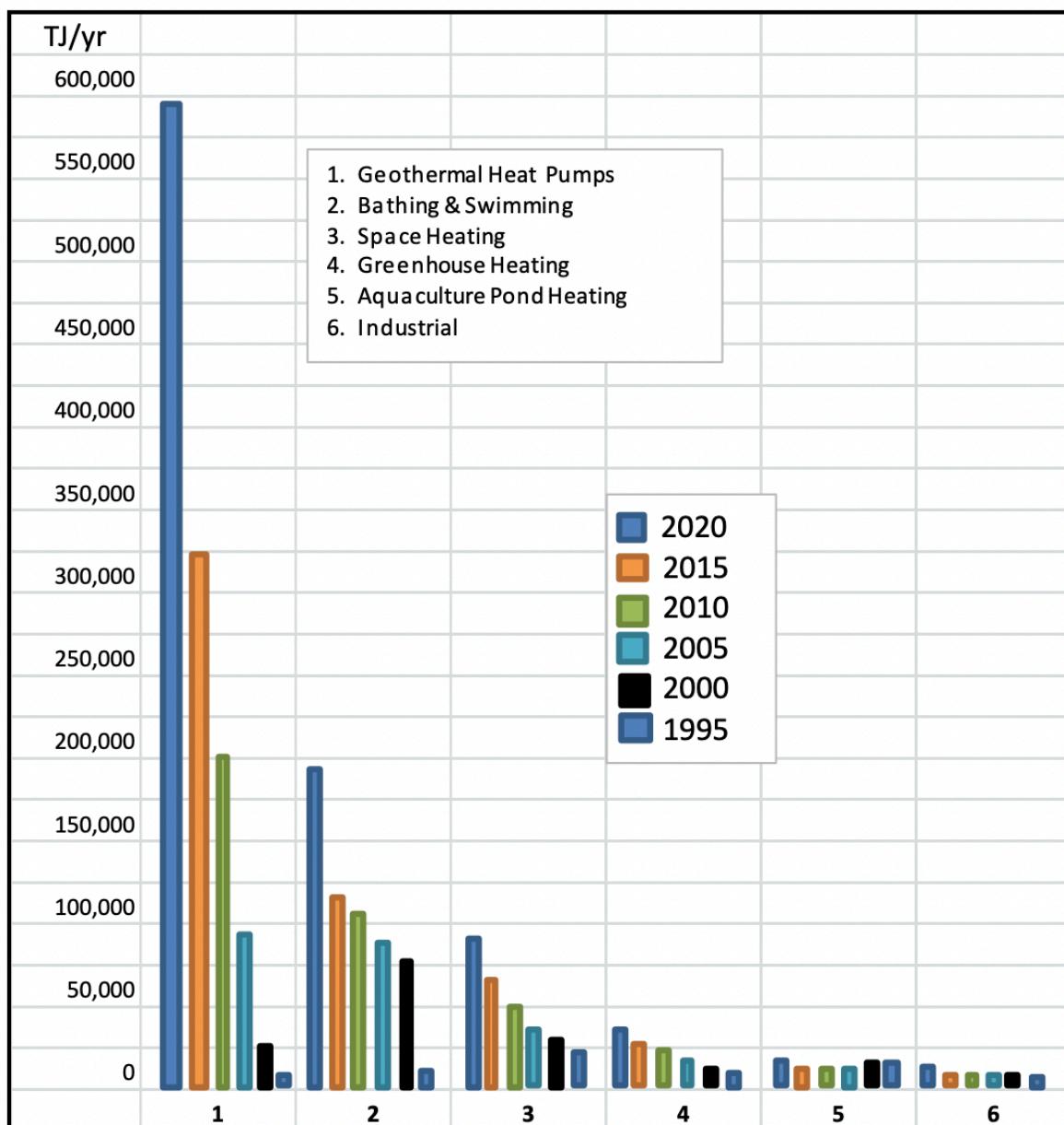


Fig. 2.4. Comparación del uso directo mundial de energía geotérmica en TJ/año de 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (*Lund, J. W., & Toth, A. N., 2021*)

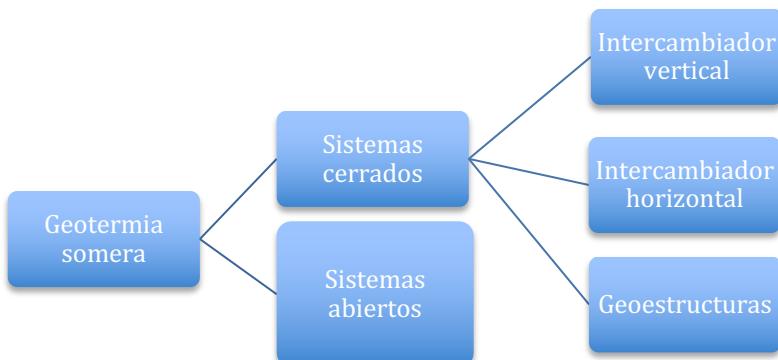
La mayor utilidad de la geotermia somera viene dada por la BCG, más adelante se explicará su funcionamiento, únicamente destacar que entre 2010 y 2015 la capacidad instalada total de BCG a escala mundial aumento a un ritmo anual del 13,2%, alcanzando 50.258 Mwt (*Lund y Boyd, 2016*), lo que representa 4,19 millones de unidades instaladas equivalentes de 12 kW (típicas para uso residencial/doméstico).

En España la potencia instalada en 2005 era de 22,28 MWt, en 2011 ya ascendía a 141 MWt (**Tabla 2.2.**), con un aprovechamiento energético de 190 GWh anuales (*Martín, M. D. C. E., 2015*), valores que han ido aumentando en los últimos años, a la vez que se sigue trabajando en mejorar la eficiencia de las BCG.

Tabla. 2.2. Potencia instalada de uso directo de energía geotérmica en los distintos países (*Martín, M. D. C. E., 2015*)

País	1995 Potencia (MWt)	2000 Potencia (MWt)	2005 Potencia (MWt)	2010 Potencia (MWt)
Austria	21,1	255,3	352	662,9
Brasil			360,1	360,1
Canadá	1,7	377,6	461	1.126
China	1.915	2.282	3.687	8.898
Finlandia		80,5	260	857,9
Francia	599	326	308	1.345
Alemania	32	397	504,6	2.485,4
Hungría	340	472,7	694,2	654,6
Islandia	1.443	1.469	1.791	1.826
Italia	307	325,8	606,6	867
Japón	319	1.167	413,4	2.099,5
México		164,2	164,7	155,8
Países Bajos		10,8	253,5	1.410,3
Nueva Zelanda	264	307,9	308,1	393,2
Noruega		6	450	3.300
Rusia	210	308,2	308,2	308,2
República Eslovaca	99,7	132,3	187,7	132,2
España			22,3	141
Suecia	47	377	3.840	4.460
Suiza	110	547,3	581,6	1.060,9
Turquía	140	820	1.177	2.084
USA	1.874	3.766	7.817,4	12.611,5

Además de disponer de una BCG, las instalaciones geotérmicas someras se caracterizan por tener acoplados a las BCG uno o varios intercambiadores geotérmicos. Y en función del tipo de intercambiador se dividen en dos grupos (*Florides y Kalogirou, 2007*): el intercambiador geotérmico abierto¹ (pozos geotérmicos) define los sistemas abiertos y los intercambiadores geotérmicos cerrados los sistemas cerrados^{2,3} (**Fig. 2.5.**). A su vez los sistemas cerrados pueden subdividirse en sistemas verticales² y horizontales³, según presenten intercambiadores geotérmicos integrados en un sondeo vertical² o integrados en excavaciones superficiales horizontales³ o en la propia estructura de cimentación⁴.



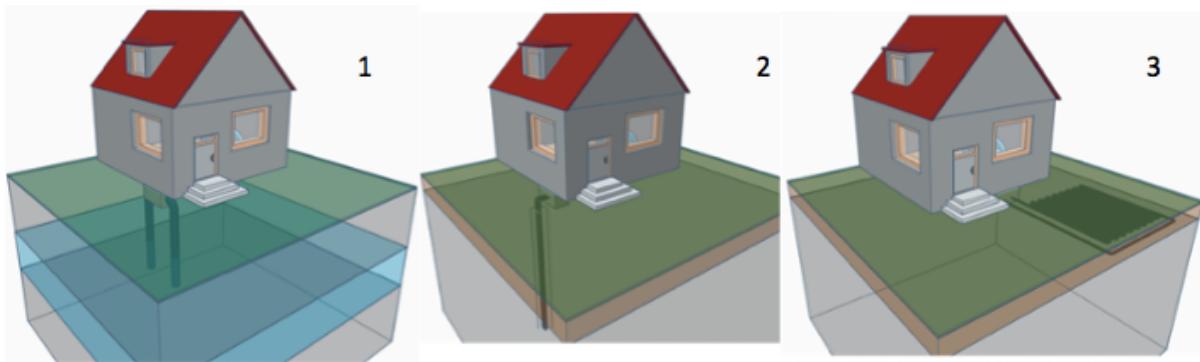


Fig. 2.5. Sistemas geotérmicos para calefacción y refrigeración de edificios (*Fuente: www.geotherm.es*)

1. Intercambiador geotérmico abierto (pozo geotérmico): En aquellas zonas donde existe un acuífero relativamente superficial, se realizan generalmente dos sondeos para construir un doblete de pozos, uno de producción, el agua es bombeada hacia la BCG donde se transfiere su energía interna (calor), para ser posteriormente devuelta al terreno mediante el otro pozo de inyección. En grandes instalaciones como hospitales suele haber varios pozos de captación y varios pozos de inyección geotérmicos. En España, el amplio desarrollo legislativo del uso de los acuíferos desincentiva el uso de sistemas abiertos.

2. Intercambiador geotérmico cerrado vertical: En función del tipo de terreno y de la demanda energética necesaria se realiza un número determinado de perforaciones, de profundidades que suelen oscilar entre los 80 y los 150 m, donde se construyen los intercambiadores geotérmicos cerrados. Estos intercambiadores se producen mediante la introducción de tuberías en forma de "U", denominadas *sondas geotérmicas* (**Fig. 2.6.**), y rellenando el espacio anular o restante con cemento termoactivo o material del terreno, formando un intercambiador geotérmico cerrado por el que circulará el fluido caloportador, el más habitual es agua o agua glicolada, pero también puede ser refrigerantes, salmueras, CO₂, aire u otros componentes que puedan mejorar la eficiencia caloportadora del circuito que transfiere calor entre el intercambiador geotérmico y la BCG.



Fig. 2.6. Dos operarios introducen una sonda geotérmica en una perforación (*Fuente propia*).

3. Intercambiador geotérmico cerrado horizontal: Cuando se dispone de una gran superficie horizontal, se pueden colocar a aproximadamente a 1,5 – 2,0 m de profundidad (**Fig. 2.7.**), una amplia red de tuberías de polietileno enterradas y conectadas entre sí mediante un colector con agua glicolada hacia la bomba de calor y viceversa.



Fig. 2.7. Distribución de tubería de polietileno en un intercambiador geotérmico horizontal (*Fuente propia*).

4. Estructuras termoactivas o geoestructuras: Consiste en introducir en elementos estructurales (losas, zapatas, muros pantalla, etc.) una red de tuberías de polietileno (**Fig. 2.8.**) conectadas entre sí mediante colectores con agua glicolada hacia la bomba de calor y viceversa, para aprovechamiento energético.



Fig. 2.8. Intercambiador geotérmico instalado en losa de hormigón (*Fuente propia*).

2.1.3 Aplicaciones y ventajas de la geotermia

La geotermia es un sistema de trigeneración (López Salinas, J. L., & Salinas, J. L. L.), es decir, es capaz de producir energía eléctrica a partir de geotermia profunda, energía térmica útil (vapor, calefacción, agua caliente (ACS)) y refrigeración a partir de la misma fuente primaria de energía.

En la presente tesis doctoral se estudiarán varios casos de generación de calor para producir ACS y/o calefacción mediante intercambiador geotérmico cerrado, ya sea vertical, horizontal o mediante la termoactivación de partes estructurales de instalaciones porcinas. No obstante, en la actualidad, el uso más frecuente es la geotermia somera directa para la climatización de edificios, piscinas, bodegas, invernaderos, etc. (Santamarta *et al.*, 2021).

Como se ha indicado con anterioridad, energía geotérmica es considerada una energía renovable que, mediante una tecnología sostenible, produce un importante ahorro energético respecto a otros sistemas convencionales de combustión de recursos fósiles (Dincer, I., Dost, S. y Li, X. ,1997). Además, requiere un escaso mantenimiento y dispone de sistemas de control externo, que facilitan su seguimiento remoto para mayor comodidad.

Las principales ventajas aparecen detalladas en la **Tabla 2.3.**

Tabla 2.3. Ventajas de la Energía Geotérmica (*Fuente propia*).

TIPOS DE VENTAJAS	DESCRIPCIÓN
ECOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> - Energía natural almacenada por el suelo. - Reduce las emisiones CO₂ a la atmósfera. - Seguridad por no haber combustión, ni humos ni residuos.
ACÚSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de ruidos.
ARQUITECTÓNICAS	<ul style="list-style-type: none"> - No existen elementos visuales externos. - Frente a otras instalaciones convencionales no es necesario sacar una chimenea. - No ocupa espacio adicional como azoteas o terrazas, necesarios en instalaciones solares térmicas o equipos de refrigeración. - Mejora la estética de la granja o el edificio a climatizar. - Cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (CTE).
ECONÓMICAS	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro superior al 70% respecto a instalaciones de gas, gasoil o electricidad. - Acceso a fondos públicos por el aprovechamiento de energías renovables. - Costes mínimos de mantenimiento respecto a sistemas tradicionales. - Menor potencia eléctrica para contratar respecto a la necesaria con otra instalación convencional. - La vida útil de una bomba de calor es superior a los 20 años.
SANITARIAS	<ul style="list-style-type: none"> - El fluido caloportador de climatización es agua con glicol (refrigerante sanitario).
OTRAS VENTAJAS	<ul style="list-style-type: none"> - Solución integral: ACS + Calefacción + Refrigeración. - No depende de las condiciones climáticas. - Aplicable tanto en nueva instalación como en otras ya existentes. - Gran desarrollo e implantación en otros países desde hace más de 40 años.

En el caso concreto del sector porcino para el calentamiento de sus explotaciones se pueden utilizar diferentes sistemas, detallados en la **Tabla 2.4**. Los sistemas de geotermia no necesitan combustión, funcionan directamente con electricidad, por 1 kW eléctrico que consume la BCG genera aproximadamente 4 - 5 kW térmicos en la granja, además de que puede aportar frío lo que no consigue ninguno de los otros sistemas de climatización.

Tabla 2.4. Mecanismos de calefacción en granjas porcinas (*Fuente propia*).

Sistema de calefacción	Alimentación
Caldera de gasoil	Gasoil
Caldera de biomasa	Pellet, cáscara de almendra, astilla, etc.
Caldera de gas	Gas natural, propano
BCG	Electricidad (1:4)
Mantas eléctricas	Electricidad (1:1)
Infrarrojos	Electricidad (1:1)

A pesar de las ventajas que presenta la energía geotérmica respecto a otras energías renovables, en España se está promocionando de forma prioritaria a la energía eólica y, especialmente en los últimos años, a la energía solar. Lo que puede hacer pensar que existe una falta de conocimiento del potencial que tiene la geotermia somera, que lleva años implantada en España y continua sin explotarse ni una mínima parte de toda la capacidad disponible.

2.2 LA PURITERMIA Y SU DESARROLLO INCIPIENTE

En la actualidad la geotermia aplicada a viviendas unifamiliares es una fuente de eficiencia energética demostrada que ha ido evolucionando hacia otros sectores industriales de mayor rango como son la climatización de granjas porcinas de maternidad y destete.

Las granjas de cría intensiva requieren mantener un ambiente térmico interior adecuado, lo que se traduce en una alta demanda de energía en la zona de descanso de los lechones, a lo largo de todo el año y mitigar las emisiones de gases para favorecer el bienestar animal. Todo ello, convierte a la energía geotérmica en una herramienta ideal, para reducir los costes energéticos y favorecer la sostenibilidad del cambio climático.

2.2.1 Qué es la puritermia

Uno de los objetivos de esta investigación es definir un nuevo concepto con un patrón geotérmico adaptado al sector ganadero, es lo que se denomina “puritermia”, consiste en una estructura termoactiva que funciona como intercambiador, cediendo calor a la BCG, esta geoestructura recibe un aporte añadido de energía térmica de los purines, que caen al fondo a través de los slats o de las láminas de hormigón perforadas, transfiriendo dicho calor al fluido de trabajo del intercambiador de calor. La BCG recibe este fluido y lo aprovecha para su funcionamiento, calentando la temperatura de salida del fluido que llegará a las placas de los lechones (**Fig. 2.9.**) (Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D. ;2021).

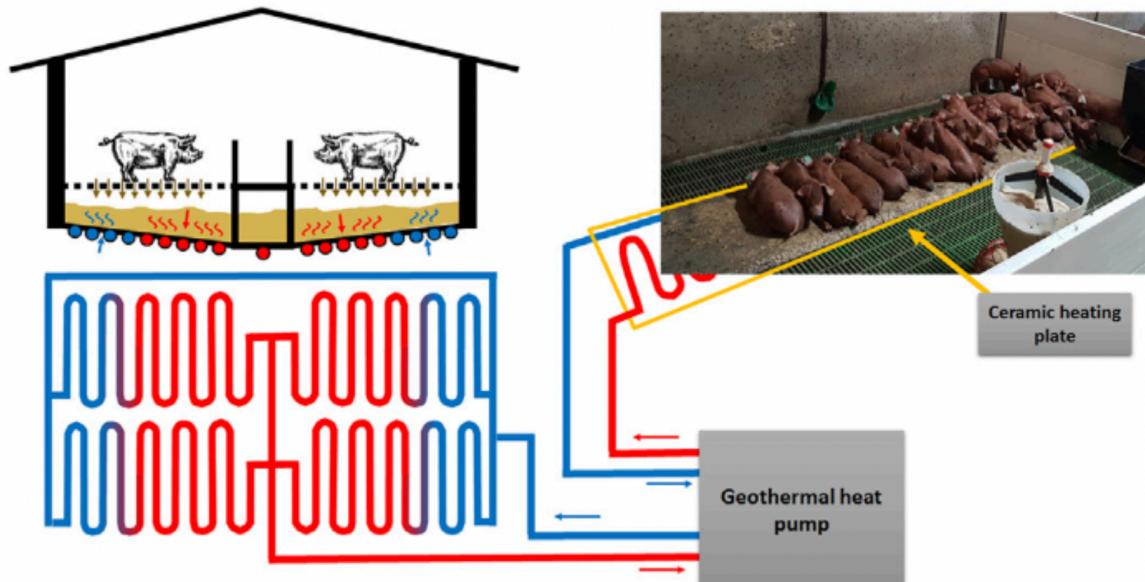


Fig. 2.9. Principio general del funcionamiento de la “puritermia” (Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D.; 2021)

2.2.2 Desarrollo actual de la puritermia

La única opción que permite simultáneamente a los ganaderos minimizar el coste de producción, reduciendo el consumo de energía y mejorando la calidad ambiental, es el uso de la energía geotérmica, con el objetivo de maximizar el crecimiento y la calidad del animal.

A pesar de las ventajas de la geotermia somera, apenas se ha desarrollado en el sector, el uso de las BCG en la ganadería está muy poco estudiado y precisa una mayor difusión y una investigación detallada.

De los estudios llevados a cabo a nivel internacional, algunos utilizan pozos de agua hidrotermal, en Serbia para calentar las granjas porcinas (Milivojevic, M., & Martinovic, M.; 2005), en el Cáucaso Norte, el agua termal de los acuíferos de la cuenca sedimentaria del Mesozoico-Cenozoico, se encuentra a 80 - 110°C a una profundidad de 1-2 km, y se aprovecha con fines agrícolas como el calentamiento de las granjas porcinas y avícolas (Kononov, V. I., Polyak, B. G., & Kozlov, B.; 2000). Otros estudios combinan la energía geotérmica de pozo vertical con la energía solar (Mun, H. S., Dilawar, M. A., Mahfuz, S., Ampode, K. M. B., Kim, Y. H., Moon, J. P., & Yang, C. J.; 2022), o un control del rendimiento de la BCG y el análisis de diferentes parámetros (temperatura, COP, consumo de energía, emisiones de CO₂, gases contaminantes...) en una graja de destete en la República de Corea (Islam, MM, Mun, HS, Bostami, AR, Ahmed, ST, Park, KJ y Yang, CJ. 2016). En Alemania se realizó un sistema donde el aire fresco se conducía entre las balsas del purín y el suelo, para acondicionar el interior de las salas de una granja de engorde (Krommweh, M. S., Rösmann, P., & Büscher, W.; 2014). Mientras que en California se utiliza la energía geotérmica en un complejo de fabricación de piensos y cría de cerdo, que aprovecha el gas metano para la producción de electricidad. (Krommweh, M. S., Rösmann, P., & Büscher, W.; 2014)

En los últimos años el uso de la energía geotérmica en el sector porcino se ha incrementado por el aumento de los precios de la energía y la normativa medioambiental,

algunos investigaciones comparan una granja con geoestructuras que enfrián el purín y calienta la explotación con la BCG frente a una granja que se calienta mediante focos de infrarrojos con un sistema de gas, concretamente, en granjas de cría de Šalčininkai (Lituania) (*Minajeva, A.; 2017*), en España se realizó un estudio teórico para una granja tipo, con un sistema de enfriamiento de purín para reducir las emisiones de amoniaco y calentar mediante BCG los alojamientos de destete y partos (*Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D.; 2021*), por último cabe destacar que en el presente informe aparecen nuevos estudios que no han sido publicados hasta ahora, de casos reales, tanto de geotermia vertical como de “puritermia” para reducir las emisiones del interior de las explotaciones mediante una BCG, que genera calor a los lechones con un mínimo consumo energético.

2.2.3 Ventajas y cuestiones por resolver en puritermia

Esta nueva tecnología tiene dos objetivos fundamentales, cubrir las necesidades energéticas con un coste mínimo y reducir las emisiones generadas por el purín.

La temperatura necesaria para la calefacción de una vivienda es aproximadamente de 25-30°C, mientras que la demandada en el lugar de descanso de los lechones asciende a 35-40°C. Además, los cerdos son muy vulnerables a las bajas temperaturas, por tanto, un importante montante de los costes globales de la cría del cerdo, van destinados a la calefacción para lograr un ambiente térmico confortable del animal (*Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D.; 2021*).

Partiendo de esa premisa, las granjas climatizadas mediante “puritermia” presentan importantes ventajas, que se intentarán demostrar en el presente estudio:

- Reducción de los costes energéticos para calefacción en comparación con otros sistemas de climatización.
- Reducir la huella de carbono.
- Sostenibilidad medioambiental en el interior de las naves, que implica una mejora de la calidad del aire por la reducción de gases contaminantes.
- Reducción de olores.
- Bienestar animal y del ser humano que trabaja en la explotación, lo que se traduce en mejorar la responsabilidad social corporativa (RSC).
- El uso de elementos estructurales reduce los costes en comparación a instalaciones geotérmicas convencionales.
- Favorecer el desarrollo de sellos de calidad en las explotaciones climatizadas mediante geotermia.

Por otro lado, a pesar de la ausencia de bibliografía se han encontrado cuestiones y problemas pendientes de resolver:

- En respuesta al intercambio de calor la estructura termoactiva se expande y se contrae generándose deformaciones y esfuerzos adicionales que habría que tener en cuenta en el diseño de la cimentación (*Galdámez, D. F. B., & Acosta, N. P. L.; 2017*), aunque al presentar un bajo salto térmico y estar en la misma dirección de la carga se han considerado que las propiedades mecánicas del hormigón no se ven comprometidas.

- Debido a que la demanda energética de la explotación es variable, siendo menor en verano y mayor en invierno, la temperatura del intercambiador también cambia, teniendo temperaturas más altas en verano lo que implica por una parte un mayor ahorro energético, pero por otra, un menor descenso de temperatura del purín y consecuentemente se interpretaría como una menor reducción de emisiones en esta época del año, pero sería necesario un estudio más profundo para ver las variaciones de temperatura a lo largo de todo el año.
- Debido al elevado coste de medidores específicos de gases contaminantes y que precisan un calibrado exhaustivo, apenas se encuentran en las explotaciones, así que se suelen deducen mediante valores teóricos, excepto algún caso de estudio detallado en este informe. Por lo que debería dotarse a las explotaciones de tecnología adecuada, para poder tener un control de los gases contaminantes reales emitidos a la atmósfera y poder realizar una comparativa más detallada entre diferentes explotaciones con intercambiador geotérmico termoactivo y sin él.

2.3 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN UNA EXPLOTACIÓN PORCINA

El aumento de la población mundial implica consecuentemente un aumento en el consumo de carne, siendo el sector ganadero con un 50% de la producción interior bruta agrícola, el que sustenta a 1.300 millones de personas en los países en desarrollo, pero esta revolución ganadera también supone un aumento de los residuos y contaminación ambiental asociada a los purines.

El purín es un residuo que contiene agua, materia orgánica, nitrógeno (2-4g/kg), fósforo (0,7-1 g/kg), potasio (0,9-1,4 g/kg) y metales como cobre, hierro, manganeso y zinc. La materia orgánica del purín se puede aprovechar mediante digestión anaerobia para la producción de biogás, dicha fuente de energía está limitada en gran medida por el alto coste de producción, por el contenido amoniacal y el elevado porcentaje de agua (90%) (*Flotats Ripoll, X., Campos Pozuelo, E., Palatsi Civit, J., & Bonmatí Blasi, A.; 2001*).

Este residuo también genera compuestos olorosos como el hidrógeno sulfuro, ácidos grasos volátiles y compuestos fenólicos; además de emisiones contaminantes atmosféricos como el amoniaco, el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso, que están vinculados a efectos potencialmente nocivos para el suelo, la atmósfera, el agua, las plantas, los animales y los seres humanos.

A raíz de los problemas ambientales generados por la industria porcina y gracias al incremento de conocimientos en el sector y la concienciación de la sociedad, surge la necesidad por parte de los Estados Miembros de la Unión Europea, de crear una normativa que proteja el medio ambiente, minimizando su contaminación, los denominados documentos *BREF (BAT References)*, impulsando a nuevas técnicas llamadas *Mejoras Técnicas Disponibles (MTDs)*, que favorecen el entorno natural a la vez que aseguren el crecimiento sostenible del sector industrial y serán de obligado cumplimiento según la normativa gubernamental de cada país. En España la regulación viene marcada por RD 306/2020, que establece que se debe reducir el 80% en las balsas exteriores y el 60% de las emisiones en las naves, respecto al valor de referencia. La presente tesis doctoral aplica la

MTD 30, MTD 13, MTD 8 y las Técnicas Emergentes del documento BREF en lo que respecta a la refrigeración del purín y el uso de bombas de calor para la eficiencia energética.

En estas líneas, España en el Real Decreto 306/2020 establece que, en el ámbito medioambiental, la producción porcina puede tener un impacto significativo, especialmente en relación con la producción de nitratos y las emisiones de amoniaco a la atmósfera y en menor medida por las emisiones de gases de efecto invernadero. En virtud de la Directiva (CE) 2016/2284, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2016, respecto a la reducción de emisiones nacionales de determinados componentes atmosféricos, se adquiere el compromiso de reducir las emisiones atmosféricas a nivel global y de acuerdo con la información publicada, se va reduciendo emisiones en varios contaminantes, aunque no ocurre lo mismo con el amoniaco (**Fig. 2.10.**), que ha presentado un aumento del 2,7% respecto a 2019, el compromiso establecido de acuerdo con los valores de 2005 era reducir un 3%, no un aumento del 0,7% actual. Este aumento en la actividad ganadera es debido principalmente al incremento de fertilizantes nitrogenados y la aparición de nuevas explotaciones ganaderas. De ahí la importancia del uso de herramientas que nos permitan disminuir los niveles de emisiones a la atmósfera (MTDs).

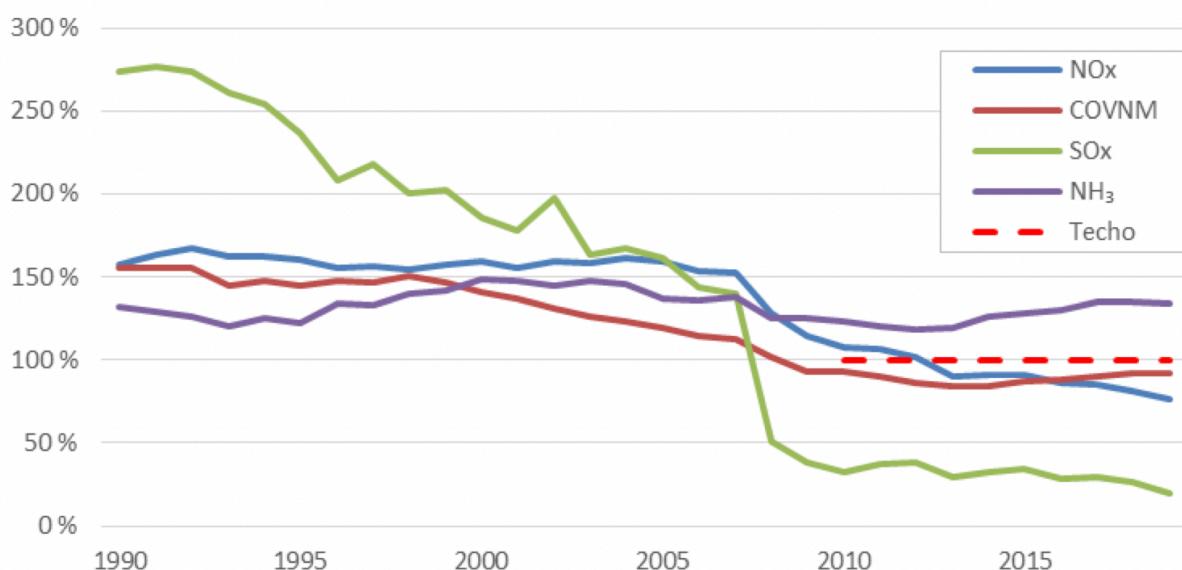


Fig. 2.10. Evolución de emisiones (%) respecto al techo de emisión (Inventario Nacional de emisiones de gases efecto invernadero - Ministerio para la transición ecológica)

La constatación del incumplimiento de los valores límite de emisiones de amoniaco permitidos en 2020 por la Unión Europea con la consecuente penalización y la falta de datos de mediciones, ha obligado a España a elaborar un sistema informático para establecer el balance de nitrógeno en una granja, esta herramienta se denomina Ecogan y está regulada por el RD del Registro - Ecogan: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y se utilizará en la metodología del presente estudio como punto de partida para medir las emisiones totales de una explotación. En último lugar la nueva Ley de la PAC de 2023 aún en desarrollo, incluye sanciones sobre comunicaciones de las MTDs.

Los gases de efecto invernadero tienen una gran influencia en el calentamiento global, de acuerdo con su capacidad de retener el calor en la atmósfera, se estandarizan en unidades de CO_2 . El metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) son los gases de efecto invernadero en la producción ganadera, su equivalencia en CO_2 se corresponde con 25 y

298 respectivamente. Esto significa que por cada kg de CH₄ emitido a la atmósfera tiene el mismo efecto que 25 kg de CO₂ y un solo kg de N₂O equivaldría a 298 kg de CO₂ (González, A. D., & Carlsson Kanyama, A.; 2007). El amoniaco (NH₃) es el gas más común en la ganadería y es el causante de efectos en la salud de animales y trabajadores, junto con las emisiones de metano (CH₄). En menor medida aparecen otros óxidos de nitrógeno (NO_x) y gas nitrógeno (N₂).

Las emisiones de amoniaco varían en función de la temperatura del purín (Saha et. al., 2010) y la acidificación del pH ayuda a su reducción (Fangueiro, D., Hjorth, M., & Gioelli, F.; 2015) aunque su uso está limitado por su peligrosidad para la salud animal y humana. Otros factores como la temperatura ambiental y la ventilación en distinta época estival también pueden reducir la concentración de amoniaco en el interior de las salas (Cartanyà, J., Blanco, G., Sancho, V., Ferrer, N., & Babot, D.; 2021).

En lo referente a los gases de efecto invernadero generados en una granja, destaca el metano producido por procesos anaerobios (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020) y su concentración dependerá de la composición de las deyecciones, de la cantidad de materia orgánica, del tiempo (IPCC, 2019) y forma de almacenamiento (Antezana et. al. 2020) y de la temperatura (Chadwick et. al. 2011).

Otro gas producido en una granja que ocasiona el efecto invernadero es el óxido nitroso, generado por la transformación microbiana del nitrógeno del purín en un proceso de *nitrificación y desnitrificación* del amonio (Wrage et. al., 2001), aunque su porcentaje no resulta significativo. Mientras que el fósforo presente en la alimentación del animal (Frontela, C., Ros, G., & Martínez, C.; 2008). que fomenta la *eutrofización* provocando la proliferación de plantas acuáticas (Hernández, C., & Fernández, M. T.; 2009), en último lugar estarían las emisiones directas de CO₂ prácticamente despreciables.

2.3.1 Medida de emisiones en una granja porcina

En la actualidad existe un organismo europeo, VERA, para probar y verificar tecnologías ambientales dentro del sector agrícola (Zhuang, S., Brusselman, E., Sonck, B., & Demeyer, P.; 2020), corresponde con una colaboración entre diferentes países como son Dinamarca, Holanda, Alemania y Flandes; aunque todavía no se está aplicando en España.

En países como Dinamarca u Holanda hace muchos años que se realizan medidas de emisiones de amoniaco. Se llevó a cabo un estudio en Holanda durante 2018 - 2020 utilizando sensores para medidas de amoniaco y metano. Se realizaron mediciones continuas en diferentes granjas significativas, con una separación de sensores de un máximo de 10 m en la sala y medida diaria cada 5 minutos y por otro lado se compararon los resultados con los datos obtenidos siguiendo los protocolos oficiales de medida de dicho país. A pesar de que el estudio dio resultados similares con algún pico ocasional en comparación con los puntos de referencia protocolarios (puntos rojos), como se observa en la Fig. 2.11., todavía se encuentran en fase de estudio y no se pueden considerar aceptable a nivel regulativo.

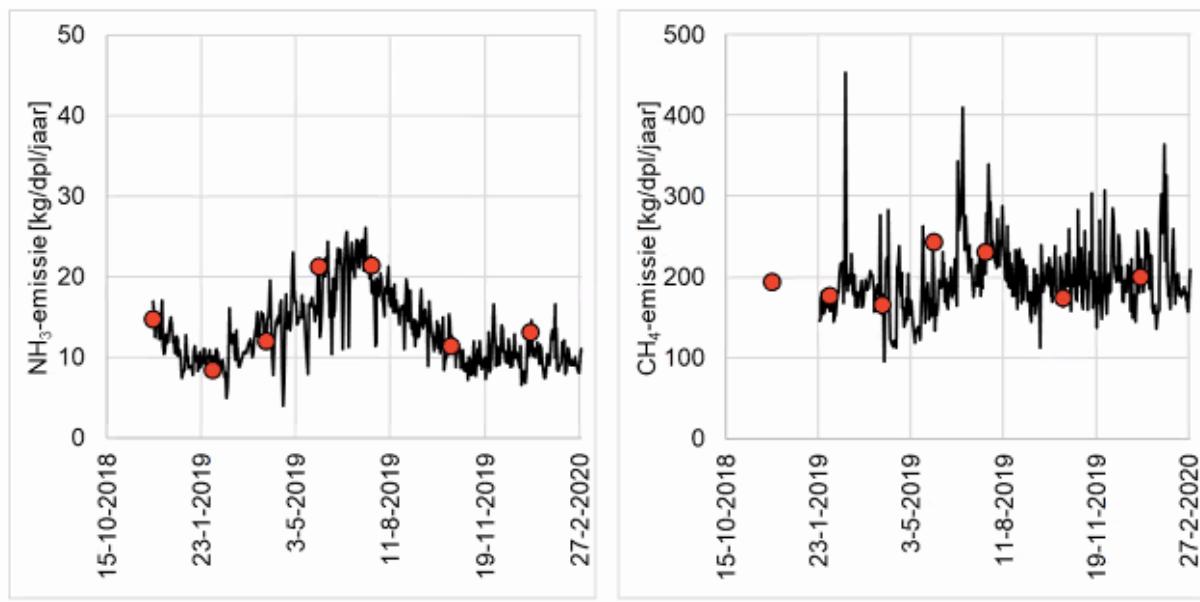


Fig. 2.11. Resultados de medidas de emisiones con sensores de bajo coste y medidas de referencia de NH₃ y CH₄ (Vonk, J., Van Dinther, D., Mosquera, J., & Oginck, N. W. M.; 2021)

Los países más estrictos con los límites de emisiones de amoniaco en una granja son Eslovaquia, Holanda, Bélgica, Dinamarca y España respecto al resto de países europeos (**Fig. 2.12.**), siendo la legislación, al menos en parte, una manera de reducir las emisiones en el sector ganadero, países como Eslovaquia ya disponen de una tasa de emisiones de amoniaco.

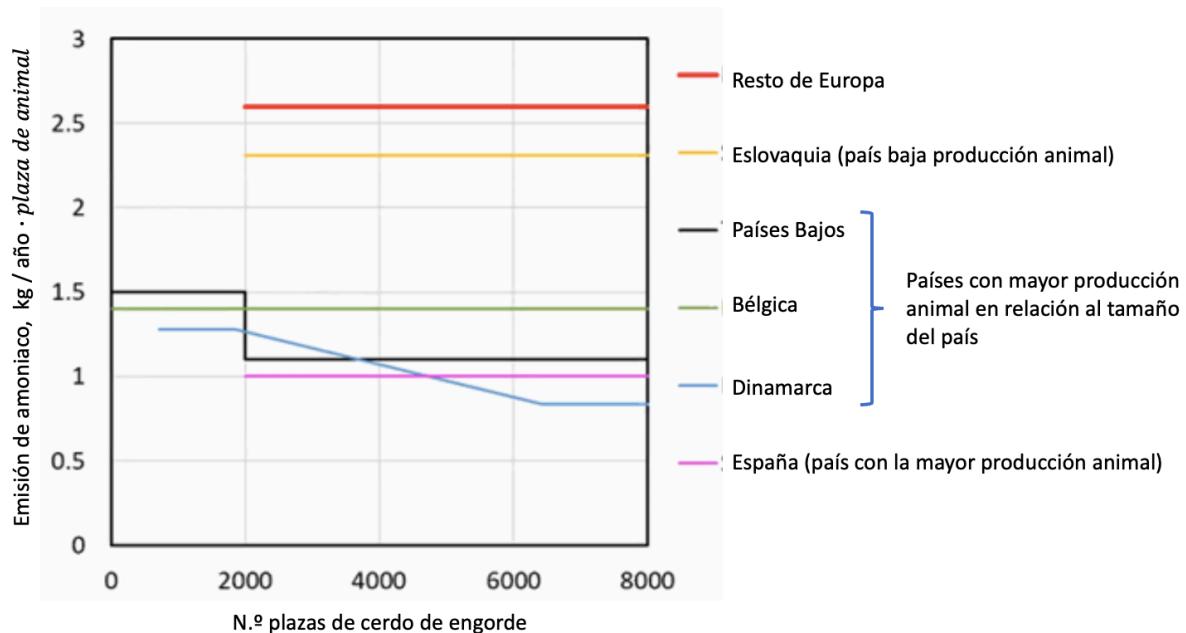


Fig. 2.12. Límites de emisiones de NH₃ en la Unión Europea (Bjerg B., 2021)

Para cuantificar las emisiones hay que tener en cuenta que dichas emisiones están condicionadas por el sistema de producción, lo que la industria denomina modelo zootécnico, el animal y el alojamiento (**Fig. 2.13**).

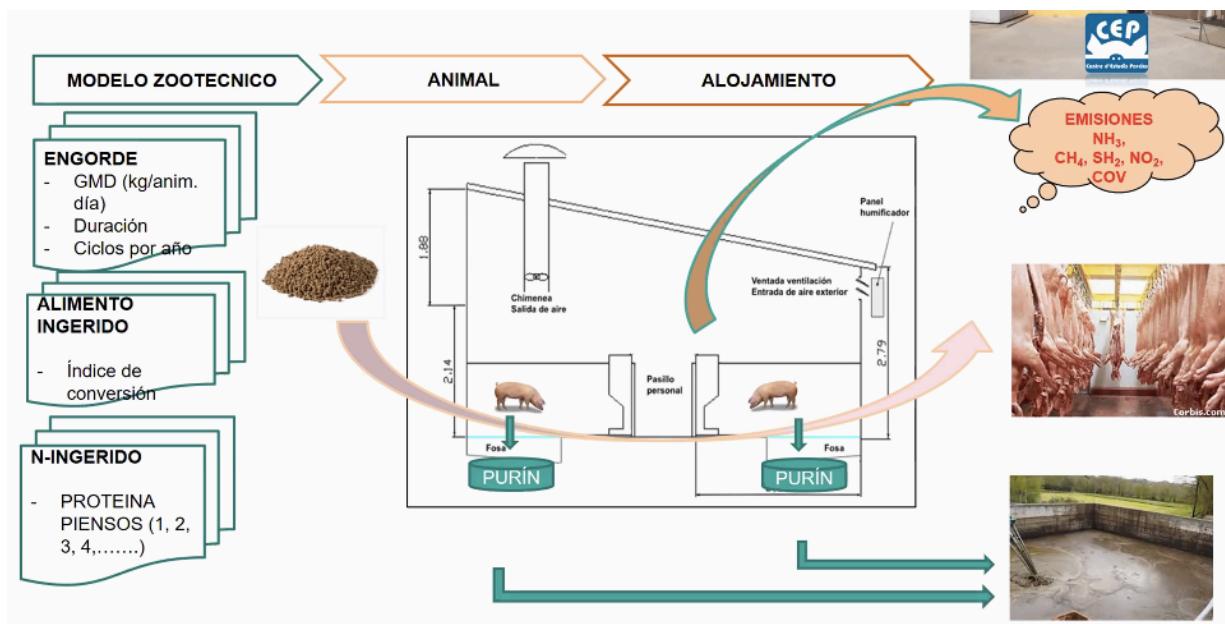


Fig. 2.13. Factores de cuantificación de emisiones en una explotación ganadera (*Grup Gestió Porcina, UdL-Agrotecnio-CEP, 2021*)

En España en los últimos años se han empezado a realizar diferentes investigaciones con el objetivo de poner al día el cálculo de las emisiones en el sector ganadero español, en concreto la colaboración científica *Cost Action LivAGE* (2017-2021) y la asociación internacional *Ammonia & Greenhouse Gas Emission from Animal Production Buildings*, con ayuda del ministerio de Agricultura y diversas asociaciones gubernamentales, para llevar a cabo distintos proyectos, tales como, *Network for Updating Emission Values in Spanish Agriculture AGL2017-90924-REDT* (2018-2020).

De los escasos estudios de mediciones de amoniaco disponibles, se destaca un estudio realizado por la Universidad de Lérida entre 2018 y 2019 (**Fig. 2.14.**) en una granja piloto. La ventilación en la granja fue natural y al generarse gases que se emiten al exterior se desconoce tanto el porcentaje de emisiones como la cantidad de caudal de aire desplazado a la atmósfera, de ahí que se utilicen diferentes modelos de medida, tanto de emisión como anemómetros (*Babot, D., Cartanya, J., D'Eletto, M., Moreno, J.A. & Blanco, G.; 2021*).

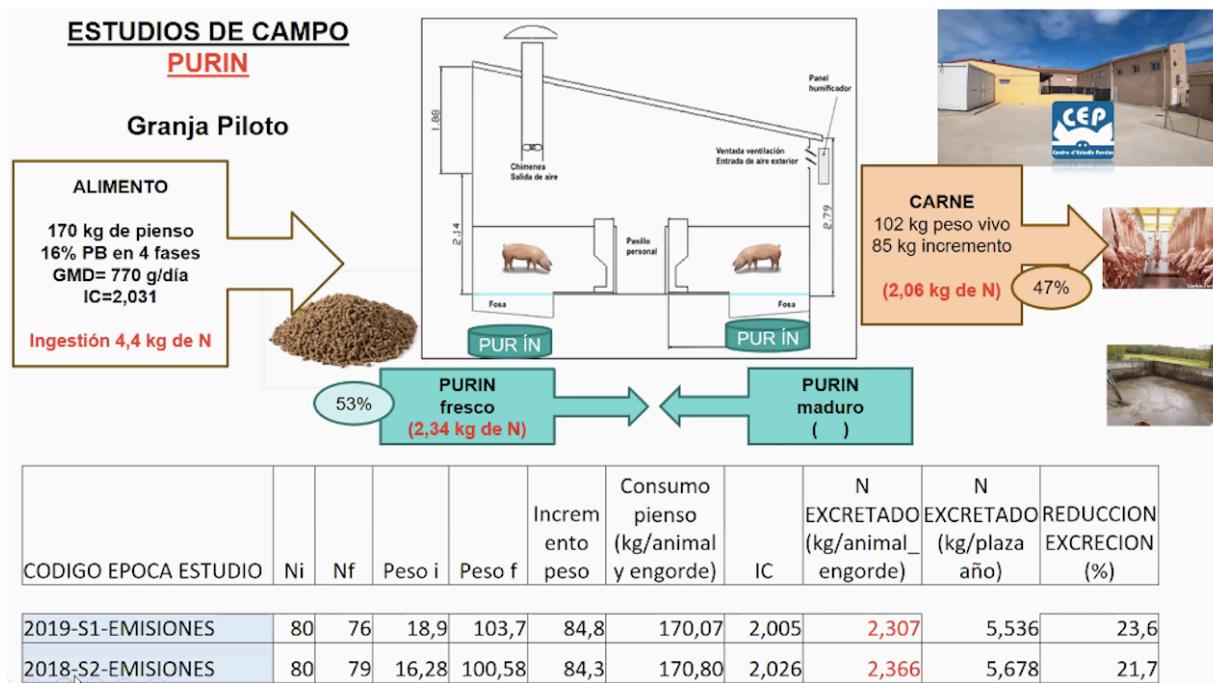


Fig. 2.14. Resultados de N excretado en granja piloto en España (Babot, D., Cartanya, J., D'Eletto, M., Moreno, J.A. & Blanco, G.; 2021)

2.3.2 Técnicas de reducción de emisiones

La mayoría de las mediciones se han llevado a cabo con el objetivo de probar la eficiencia de alguna de las técnicas de reducción de emisiones aprobadas por los documentos BREF. Esta Tesis Doctoral pretende mostrar por primera vez una comparación real de emisiones en salas idénticas con aporte de energía geotérmica y sin ella.

Por otro lado el incremento en el uso de fertilizantes también ha generado algún estudio para evaluar la aplicación de los inhibidores, el año pasado se llevó a cabo una investigación en una granja de cerdos con ventilación natural, midiendo las emisiones de amoníaco en dos habitaciones idénticas, una de control y otra con inhibidores, evaluando el tiempo se observó una reducción del 29% de emisiones entre la 4 y la 14 horas donde se aplicó el tratamiento, pero al finalizar el tratamiento se volvía progresivamente a la situación de control sin inhibidores (Calvet, S., Arrufat, B., Salaet, I., Atares, S., Sobreviela, A., Herrero, C., & Estellés, F.; 2022).

También se analizaron los purines de la balsa exterior, por un lado, un purín donde se aplicaron los inhibidores y posteriormente se acidificó, se parte de un purín con menos emisiones y al acidificar se reducen las emisiones por encima de un 75%, mientras que, en la balsa control sin inhibidores al acidificar si se reducen las emisiones, pero no de manera significativa (**Tabla 2.5.**) (Salaet, I. Jornada online Reducción de emisiones en la producción porcina, 2021).

Tabla 2.5. Flujos de NH₃ (mg N⁻²d⁻¹) (corregidos) según tratamiento con inhibidores y acidificación (*Jornada online Reducción de emisiones en la producción porcina, 2021*)

Tratamiento	Media	(Error estándar)
Control	361,1 a	86,21
Ác	279,5 ab	25,55
INH	165,6 b	40,14
Ác+INH	81,1 b	13,4

Finalmente, se valoró si ese purín pudiera suponer un aporte nutricional, aplicado por hectárea, partiendo de que dicho purín es más rico en nitrógeno y además más rico en azufre, dado que se utilizó ácido sulfúrico como inhibidor. El azufre es un componente importante en la aplicación del nitrógeno desde el punto de vista agrícola, porque genera una reducción del pH. Y los resultados iniciales obtenidos en este estudio fueron satisfactorios con una mejora en el rendimiento del 11% en trigo cosechado y un aumento en proteína en grano en un 17% (*Salaet, I. Jornada online Reducción de emisiones en la producción porcina, 2021*). Se concluyó que se trata de un primer estudio experimental, que aporta un mayor interés agronómico en aquellas zonas donde hay campo para poder aplicar ese purín, pero no ocurre lo mismo donde no hay zonas de cultivo donde aplicarlo, en ese caso no se resolvería el problema. De cualquier manera, es un punto de partida, es necesario un mayor desarrollo y análisis para poder obtener resultados concluyentes, que puedan ser aplicados en el sector.

Otra técnica para reducir emisiones también en las balsas exteriores es el uso de módulos flotantes (**Fig. 2.15.**) para cubrir las balsas y conseguir una reducción efectiva de gases de amoníaco y de efecto invernadero, como ejemplo destaca un estudio realizado en diferentes balsas, siempre comparando con una balsa de control de distintas mediciones de acuerdo con el protocolo VERA.

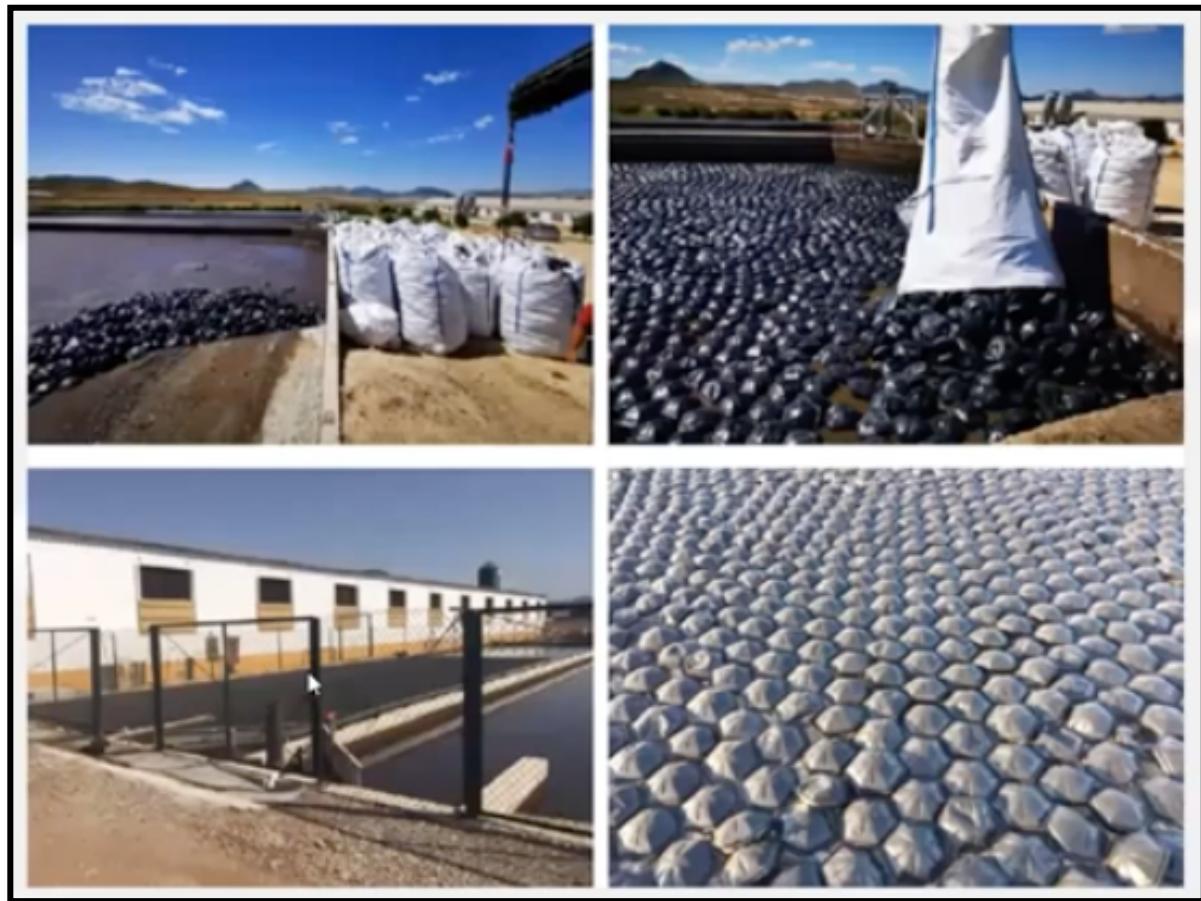


Fig. 2.15. Ejemplo de uso de bolas flotantes en balsas de purines para reducir emisiones (JISAP)

Se realizaron mediciones semanales durante las 4 estaciones; en las balsas de madres si se observaron reducciones, de metano de un 64%, del CO₂ entorno a un 38-40% y del amoniaco entorno a un 50% como datos medios, siempre considerando datos preliminares. Mientras que en un cebo donde el purín es más concentrado y había sido tratado mediante una separación previa del purín, los resultados han sido distintos y las reducciones no han sido tan significativas (*Fernández, I. M., Jornada online Reducción de emisiones en la producción porcina, 2021*).

La investigación concluyó que había mucha variabilidad estacional, y que en función del tipo de purín y las condiciones climáticas se observaban resultados diferentes; y de manera preliminar se concretó, que las balsas cubiertas son significativas para reducir las emisiones de gases contaminantes, pero siempre acompañadas por otras medidas de reducción.

Todas estas primeras investigaciones tienen un problema a la hora de establecer los costes, mientras la obligatoriedad de toma de datos en España siga condicionada por valores teóricos y no se faciliten ayudas al sector para tomar medidas reales, los ganaderos no saben realmente cuánto están emitiendo en las instalaciones, se ventila la explotación de acuerdo con el confort del animal y aparentemente el problema en el interior de la granja no estaría reflejado y aplican soluciones en las balsas exteriores ya sea con las bolas flotantes o cubriendolas con lonas.

Se ha visto que el uso de inhibidores podría ser una solución para reducir las emisiones, pero los costes de 0,90 €/m³ de purín en un corto y mediano espacio de tiempo, supone una inversión importante, durante todo el tiempo de uso de la granja. En las granjas

de estudio con puritermia de la presente tesis, la captación del sistema geotérmico supone una inversión mínima a corto plazo, siendo simultáneamente un ahorro energético al aplicar mediante una BCG calor a los lechones. También se ha indicado la reducción de las emisiones en las balsas exteriores como pueden ser las bolas flotantes anteriormente comentadas, con un precio que oscila entorno a 12-13 € por m² como punto de partida, pero nuestro estudio no se centra en las emisiones exteriores.

En definitiva, la medición de emisiones es un sistema complejo y costoso del que dependen muchas variables, así que se intentará tener el mayor número de datos posibles, para demostrar que con la puritermia se puede enfriar la inercia térmica del purín y consecuentemente reducir las emisiones.

3. CONCEPTOS BÁSICOS EN GANADERÍA PORCINA APLICADOS A LA GEOTERMIA

3.1 FUNDAMENTOS DE UNA GRANJA PORCINA Y DEMANDA TÉRMICA

3.1.1 Tipos de granjas porcinas

En España existen tres tipos principales de granjas según el ciclo vital del animal, granjas de maternidad, de destete y de cebo. Hay ganaderos que disponen del ciclo completo en un mismo sitio o puede estar distribuidos en diferentes localizaciones, próximos entre sí.

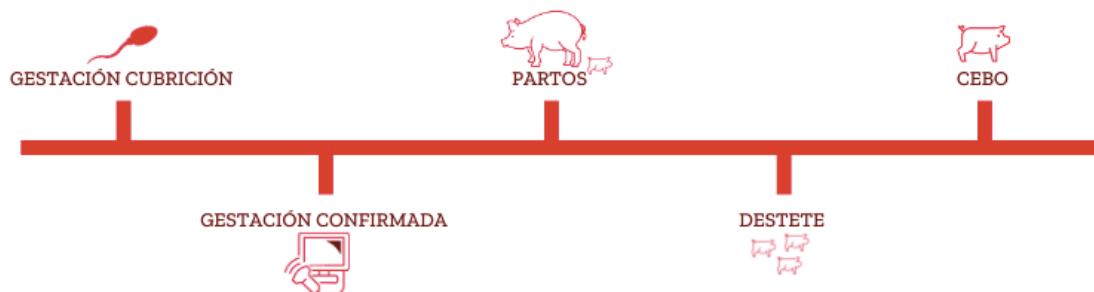


Fig. 3.1. Crecimiento de un cerdo (<https://www.aviporc.com>)

Tal y como se indica en la **Fig. 3.1.**, el ciclo productivo porcino comienza en la nave de cubrición con la entrada/reposición de cerdas del exterior de la granja y/o de las cerdas internas, las cerdas pasan a la nave de cubrición (**Fig. 3.2.**) donde la cerda será fecundada y una vez confirmada su gestación, las cerdas pasan a la nave de gestación donde permanecerá durante tres meses tres semanas y tres días, hasta una semana antes del parto, donde pasan a la nave de maternidad, y permanecerá allí un mes aproximadamente hasta que los lechones sean destetados, estos se llevarán a la nave de destete y las cerdas nuevamente a la nave de cubrición, mientras que los lechones destetados una vez se hayan desarrollado pasarán a la nave de cebo y de ahí tras su engorde al matadero.



Fig. 3.2. Nave de cubrición (Fuente propia)

3.1.1.1 Granja de maternidad

La granja de maternidad es el lugar donde se producen los partos de las hembras reproductoras y alimentación de los lechones durante los primeros días de vida, con el fin de conseguir lechones destetados. La nave de maternidad se divide en salas y estas a su vez en parideras (**Fig. 3.3.B**), donde se ubica a la madre junto a sus lechones (**Fig. 3.3.C**). Las cerdas madres permanecen allí de 21 a 28 días; las tres primeras semanas de cría de lechones más una cuarta para asegurarse de que todos los lechones cumplen las tres semanas, y alcanzan 5 - 6 kg. Posteriormente las salas de maternidad se vacían un par de días, para su limpieza y desinfección. Tras la maternidad las cerdas van a gestación negativa para recuperarse y de ahí a gestación positiva donde las inseminan hasta que se vuelven a poner en paritorios.

Esta nave requiere el uso de calefacción por mantas para los lechones y frío para la madre por evaporativos tipo *cooling* (**Fig. 3.3.A**), o manta refrescante (poco comercializada por precisar una red hidráulica independiente).

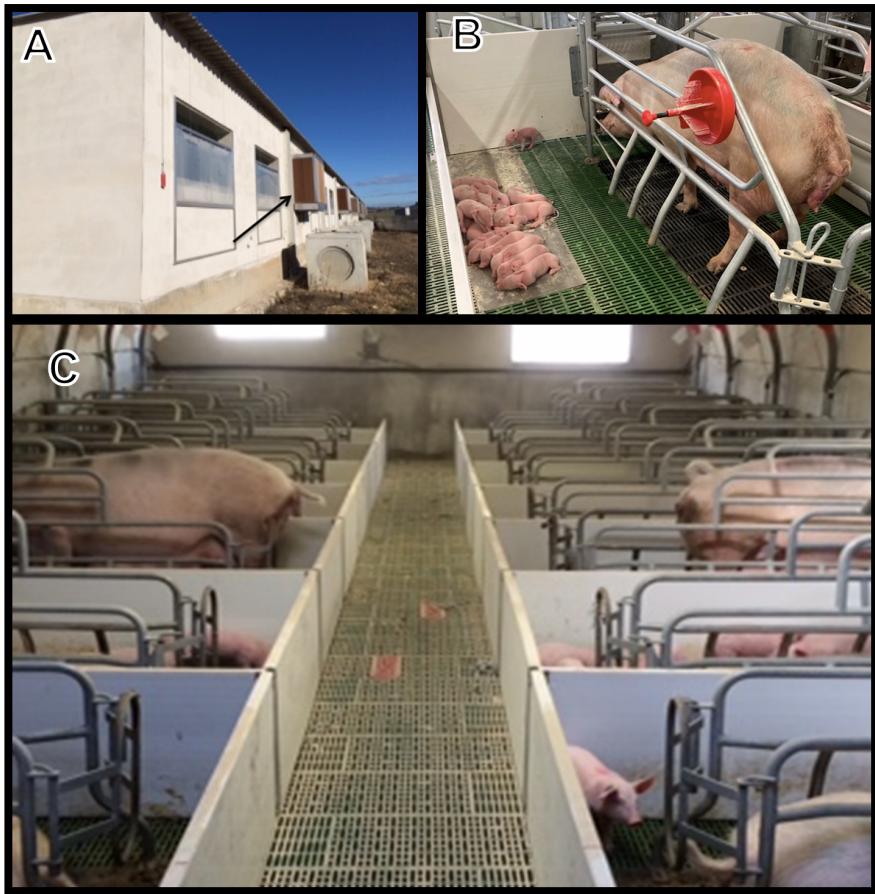


Fig. 3.3. (A) Sistemas cooling muy frecuentes en granjas de maternidad. (B) Paridera de una sala de maternidad donde se observa una celda de hembra reproductora y lechones distribuidos sobre una placa calefactada de inoxidable. (C) Distribución de las corraletas (*Fuente propia*).

3.1.1.2 *Granja de destete o transición*

La separación de los lechones de la madre se produce en la granja de destete o transición, donde empiezan a alimentarse por sí mismos a base de pienso y agua. Una variedad es lo que se conoce como *Isowean* que proviene del término *destete aislado*, y se utiliza en algunos casos para eliminar infecciones y potenciar su crecimiento. Los lechones alcanzan los 20 - 25 kg a las siete u ocho semanas permanecer en la nave.

Esta nave se divide en salas y estas a su vez en corraletas donde se alojan los lechones (**Fig.3.4.**), que se calientan por manta corrida (ocasionalmente se utiliza manta tipo *isla*, similares a las utilizadas en las salas de maternidad) y en algunos casos también se colocan *cooling* para refrescar la sala en las últimas semanas en las que el lechón permanece allí.



Fig.3.4. Corraleta de sala de destete donde aparece la manta de transición, en este caso de hormigón (*Fuente propia*).

3.1.1.3 *Granja de cebo*

Granjas donde los cerdos son alimentados para su engorde antes de llevarlos al matadero. Los cerdos alcanzan los 100-120 kg y permanecen en este lugar durante 110 días. La nave está dividida en cuadras con separadores de polipropileno, con disposición de un pasillo de manejo central y pasillos interiores. Se agrupan de 12 a 14 animales por cuadra; y precisan calefacción puntual durante las cargas en invierno, y sin refrigeración el resto del año, únicamente se utiliza ventilación natural o extractores para la renovación del aire.

3.1.2 Tipos de placas de calefacción de una granja porcina

Las granjas de maternidad y destete en España utilizan para calentar los lechones placas o mantas de calefacción, fabricadas en diferentes materiales, con distinto comportamiento y demanda energética.

Estas placas se dividen en dos grupos, las calefactadas con electricidad, donde la red de distribución es eléctrica, y las placas calefactadas con un sistema de distribución hidráulica (**Fig. 3.5.**); en ambos casos es necesario un equipo de regulación completo, concretamente las placas hidráulicas, de acuerdo a la edad del lechón se establece la temperatura de la manta, además con la centralita se controlan otros parámetros de la sala como la humedad, la ventilación o la temperatura deseada de la misma.

En el presente estudio únicamente se hará referencia a las placas hidráulicas, debido a que las placas eléctricas no son objeto de la geotermia y su eficiencia es muy baja, directamente definida por el consumo eléctrico. La oportunidad de mejora y uso de energía geotérmica es a través de las placas hidráulicas. En geotermia el calor del terreno o ambiente se transmite por advección a través de un líquido caloportador, que en nuestro caso es el agua proveniente del foco térmico subterráneo o geoestructuras como se ha definido anteriormente.

Las placas presentan una estructura interna con un circuito de tuberías, aunque su clasificación va en función de la naturaleza del componente superficial que está en contacto con los lechones (**Fig. 3.6.**).

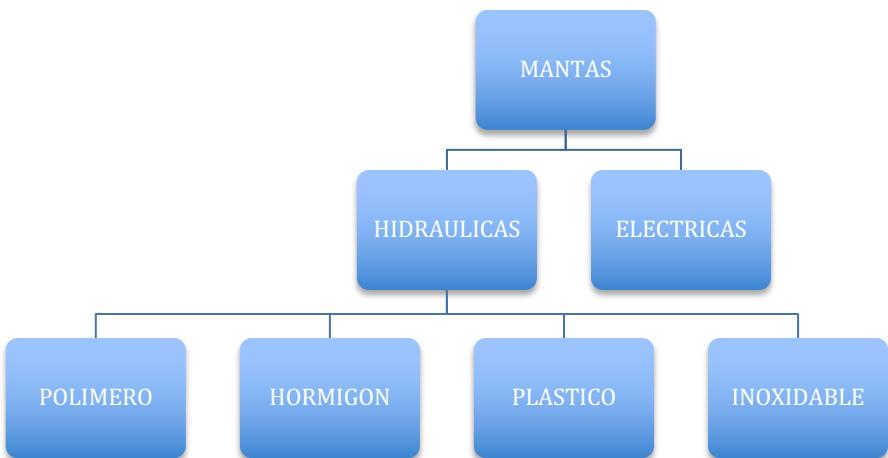


Fig. 3.5. Tipos de placas de calefacción utilizadas en el sector porcino (*Fuente propia*).

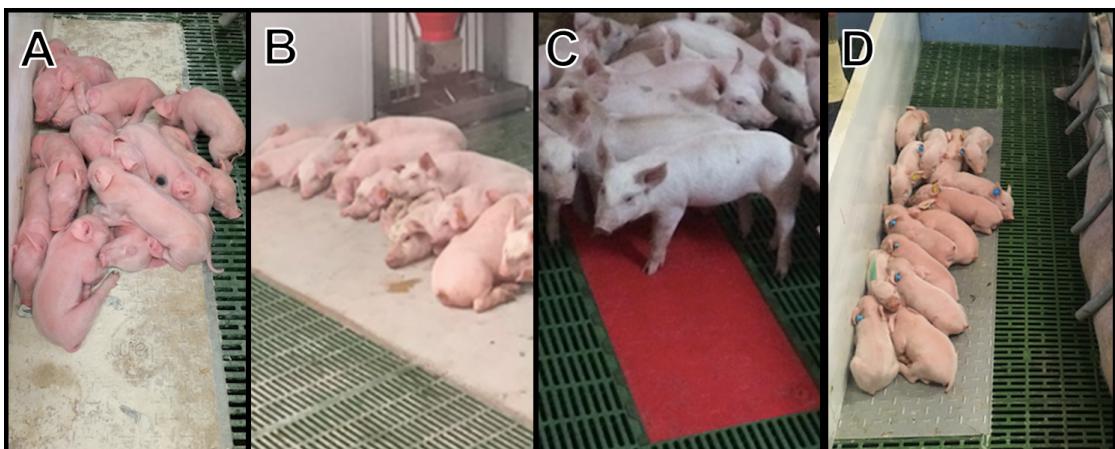


Fig. 3.6. Placa de polímero (A), placa corrida de hormigón, (B) placa de plástico (C) y placa de acero inoxidable (D) (*Fuente propia*).

En la actualidad en las granjas de maternidad las placas de los lechones tienen diferentes dimensiones, 1200 x 400 mm (estándar) o 1200 x 500 mm (nueva tendencia), cuyas características técnicas aparecen detalladas en el **anexo 11.1**, y para las cerdas 500 x 600 mm (siempre dejando libre las manos y los pies del animal para que pueda levantarse), las placas para la cerda no están muy implantadas, por precisar una red hidráulica diferente, solo aparecen en una granja piloto en Tauste (Zaragoza).

En las granjas de destete se colocan placas corridas, son líneas calefactadas de anchura de 0,50 a 1,20 m y longitudes variables en función de las dimensiones de la nave 10 - 15 m aproximadamente.

La temperatura deseada para la placa calefactada, principalmente en maternidad, guarda unos estándares establecidos por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (**Tabla 3.1.**), que pueden modificarse en función de las condiciones del animal, siempre

guardando un equilibrio entre la temperatura que necesita el lechón y el bienestar para la cerda.

Tabla 3.1. Temperatura regulada demandada durante la vida del lechón (www.mapagob.es).

Estados productivos	Zona de confort (°C)
Lechones recién nacidos	30 - 33°C
Lechones de 7 días y 7 kg	25 - 30°C
Lechones de 7 – 25 kg	23 - 27°C

3.1.3 Usos de la granja

Los usos de la granja son muy importantes para determinar la demanda de calor necesaria, que precisa una instalación para el correcto funcionamiento de esta, y varían de acuerdo con las necesidades que determine el ganadero para su explotación.

El objetivo es conseguir el bienestar y confort de las cerdas para obtener un mejor rendimiento de los animales. La permanencia del animal en cada estancia viene marcada por la **Fig. 3.7.**, donde el ciclo productivo de lechones destetados sería de 147 días o 21 lotes de una semana, cuando se desteta a 26 días y 154 días o 22 lotes cuando se desteta a 33 días. Los lotes de una semana solo son rentables en granjas > 500 cerdas con 22 cerdas por lote y aproximadamente 250 cerdos destetados a la semana. Por ejemplo, una granja de 1000 cerdas en lotes de una semana con 45 cerdas por lote, y 13 lechones vivos destetados a las cuatro semanas.

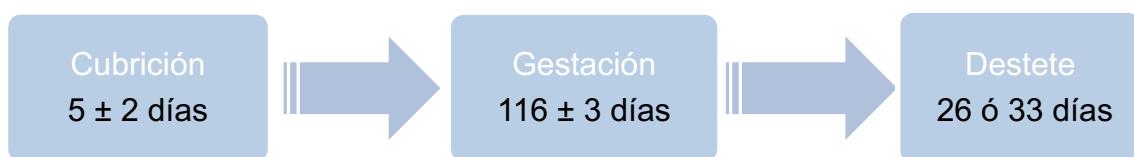


Fig. 3.7. Permanencia de los animales en cada una de las estancias (*Fuente propia*)

De acuerdo con el ciclo productivo de cada granja, lo más frecuente es que en granjas de maternidad se vacíen salas dos veces a la semana, en días no alternos, por ejemplo, lunes y jueves, y dependiendo el tamaño de las salas permanecerán vacías y desinfectadas hasta un nuevo llenado, con el siguiente lote de cerdas que vaya a parir, por lo que siempre habrá varias salas que estén vacías, que irán rotando cada semana, estas salas no precisarán calefacción durante ese periodo. Por lo que, a la hora de calcular la potencia térmica necesaria para climatizar la granja, es imprescindible conocer los usos que tiene la explotación.

En las granjas de destete el procedimiento es muy similar, inicialmente, se vacían dos salas dos días no consecutivos, por ejemplo, dos el lunes y dos el jueves, y se vuelven a llenar otras dos salas esos mismos días de esa semana, quedando siempre cuatro salas vacías a la semana. No obstante, existe un grado de variabilidad, como se ha indicado con

anterioridad, los usos dependen de las necesidades del granjero. Algunos granjeros vacían menos salas y en ese caso pueden hacerlo solo una vez a la semana. En definitiva, es muy importante conocer los usos de cada tipo de granjas y la capacidad de estas. Además, la calefacción en las granjas de destete permanecerá apagada durante el último mes en que los lechones estén en las corraletas, debido a que ya son lo suficientemente grandes como para no precisar un aporte de calor externo.

3.2 CONCEPTOS TEÓRICOS BÁSICOS Y FORMULACIÓN EN INSTALACIONES TÉRMICAS PORCINAS

3.2.1 Fundamentos termodinámicos en geotermia somera

En el S XIX con el objeto de describir el funcionamiento de las máquinas de vapor nace la ciencia de la termodinámica, es la disciplina dentro la física que estudia las transformaciones de la energía y como esta puede convertirse en trabajo, para su compresión es preciso definir una serie de conceptos fundamentales.

El término *energía* aparece vinculado a la primera ley de termodinámica, corresponde con una propiedad de la materia que le confiere la capacidad para realizar un trabajo (García Gil, A.; Garrido Schneider, E. A. & Mejías Moreno, M.; 2020). Este concepto no debe confundirse con el de *calor*, la transferencia de energía térmica durante un proceso (Alomá, E., & Malaver, M.; 2007).

Durante el S XVIII el *calor* (*Q*) fue considerado como una onda en el marco de la teoría ondulatoria del calor, posteriormente Clausius y Joule a mediados del S XIX en la plenitud de la revolución industrial, trataban de mejorar el rendimiento mecánico de las máquinas térmicas que quemaban carbón, definiéndolo como una forma de energía y S. Carnot, en su trabajo “*Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à augmenter cette puissance*” habla de *Q* como un proceso de transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro que está a diferente temperatura (Furió-Gómez, C., Solbes, J., & Furió Más, C.; 2007).

Otro térmico es el trabajo (*W*), es el producto de la fuerza y el desplazamiento, en termodinámica *W* está vinculado al cambio de volumen de un fluido. Se considera una energía en tránsito que no reside en un cuerpo (Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & García, C. R.; 2007).

Por otro lado, de 1840 a 1878 J.P. Joule llevo a cabo una serie de experimentos sobre la naturaleza del *W* y el *Q*, fundamentales para comprender un nuevo concepto de energía en termodinámica, la *energía interna*. Los experimentos consistían en colocar agua aislada en un agitador giratorio, midiendo el trabajo ejercido sobre el agua y los cambios de temperatura de esta, observándose que la temperatura original del agua podría restablecerse por una simple transferencia de calor en contacto con un objeto frío. En el experimento se añade energía al agua como trabajo, pero se extrae como calor, por lo que se deduce que esta energía está contenida en el agua de otra forma y es lo que se define como *energía interna* (*U*) (Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & García, C. R.; 2007), *U* se ha comprobado experimentalmente que no depende de la trayectoria como si lo hace *Q* y *W*. La variación de energía interna (ΔU), depende del estado inicial y final de la materia.

En el presente estudio las instalaciones geotérmicas consideradas son someras, la temperatura del terreno ($<30^{\circ}\text{C}$) presenta una diferencia térmica con las estructuras a climatizar, reducida como para una transferencia de calor directa. Se precisa realizar un trabajo mecánico para generar dos focos de temperatura varias decenas de grados centígrados superiores, para producir de forma rápida una transferencia de calor entre el subsuelo y la zona a climatizar. De ahí que para poder comprender las instalaciones geotérmicas someras es preciso establecer una equivalencia entre Q [J] y W [J]. Existen unos principios empíricos basados en la experiencia y no en razonamientos teóricos, son las leyes de la termodinámica, se destaca:

1^a Ley de la Termodinámica (Nicolás Leonard Sadi Carnot): “La energía no puede crearse ni destruirse solo puede ser transformada”. Relaciona el cambio de energía interna de un sistema con el trabajo efectuado por ese sistema y la energía calorífica que transfiere ese sistema o desde él. Y su ecuación se expresa como:

$$\Delta U = Q + W \quad \text{Eq. 3.1}$$

donde ΔU [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] es la energía interna del sistema, Q [J] es el calor transferido y W [J] el trabajo necesario realizado en el sistema.

El Q y W no son funciones de estado, su valor depende de la transformación desde su estado inicial a su estado final, mientras que la presión (P), el volumen (V) y U de un sistema, son funciones de estado que definen un nuevo concepto, *entalpia* (H), que depende únicamente del estado inicial y final del sistema. Y su ecuación se representa como:

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV) \quad \text{Eq. 3.2}$$

donde ΔU [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] es la variación de energía interna, p es la presión y V el volumen. En los reservorios geotérmicos se produce un proceso termostático a presión constante donde la variación de entalpia incluye el cambio de energía interna más el trabajo realizado (Arriaga, M.C.S.; 2012).

En geotermia somera no hay cambios de fase y las variaciones de temperatura, presión, densidad y volumen apenas son significativas, circunstancia que no se da en geotermia profunda. Gibbs describió H como una “función de calor para presión constante”. Por lo que podemos aceptar que la variación de entalpia (ΔH) [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] se corresponde con la variación de energía interna (ΔU):

$$\Delta H \approx \Delta U \quad \text{Eq. 3.3}$$

2^a Ley de Termodinámica (Rudolf Clausius): “La energía del universo permanece constante pero su entropía tiende a un máximo”. No es posible construir una máquina capaz de convertir por completo, de manera continua la energía térmica en otras formas de energía (Martínez-Silíceo, M. F., Cruz-Reyes, L. F., Flores-Monroy, L. J., García-Novo, N. Y., & Reyes-Ángeles, T.; 2022). Esta ley define un nuevo concepto, la variación de entropía de un sistema (ΔS) se define como la energía neta transferida como calor (ΔQ) dividida por la temperatura del sistema (T). Y se expresa como:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q_{rev}}{T_{abs}} \quad Eq. 3.4$$

donde ΔQ_{rev} [J] es el calor reversible absorbido por el sistema y T_{abs} [Kelvin] es la temperatura absoluta.

Para poder estudiar la transferencia de calor en el medio subterráneo es necesario comprender la estructura geológica del subsuelo, desde un punto de vista físico. Consiste en un sistema multicomponente (arenas, rocas fracturadas, calizas karstificadas, ...) de dos componentes: (1) una matriz sólida generalmente de naturaleza mineral y (2) un sistema poroso interconectado por donde discurre fluidos (aire, agua). El estudio de la transferencia de calor a escala de poro es muy complicado por la cantidad de factores que se interrelacionan, pero el estudio de la matriz sólida que la acompaña nos puede aproximar a su estudio.

La transferencia del calor se lleva a cabo por diferentes mecanismos: conducción, convección y radiación. En geotermia somera, esta transferencia se produce por conducción y convección (**Fig. 3.8**), la conducción del calor es la transferencia de energía cinética entre las partículas microscópicas que forman un sistema, mientras que la convección es el mecanismo por el cual un fluido en movimiento transporta calor almacenado como energía interna del propio fluido (García Gil, A.; Garrido Schneider, E. A. & Mejías Moreno, M.; 2020). Se considera un modelo de tres o más sistemas, constituidos por el terreno como un sistema de medio poroso multicomponente y dos o más circuitos de transferencia de calor por advección (convección forzada). El primer circuito de advección forzada, donde el propio intercambiador geotérmico forma parte del circuito primario, con un fluido caloportador de agua glicolada en sistemas cerrados, o agua subterránea en sistemas abiertos. El circuito primario consiste en un sistema que transfiere calor entre el terreno, la estructura termoactiva y la BCG. El circuito secundario, por advección forzada, transporta el calor de la BCG por colectores térmicos, al resto de la instalación térmica de la granja para ser distribuida por la misma mediante sistemas terminales como *fan-coils* o sistemas radiantes (suelos, techos, paredes, ...). En intercambiadores geotérmicos abiertos y circuitos de advección forzada el transporte de calor se realiza mediante el desplazamiento del fluido caloportador moviendo el calor almacenado como energía interna en el propio fluido desplazado.

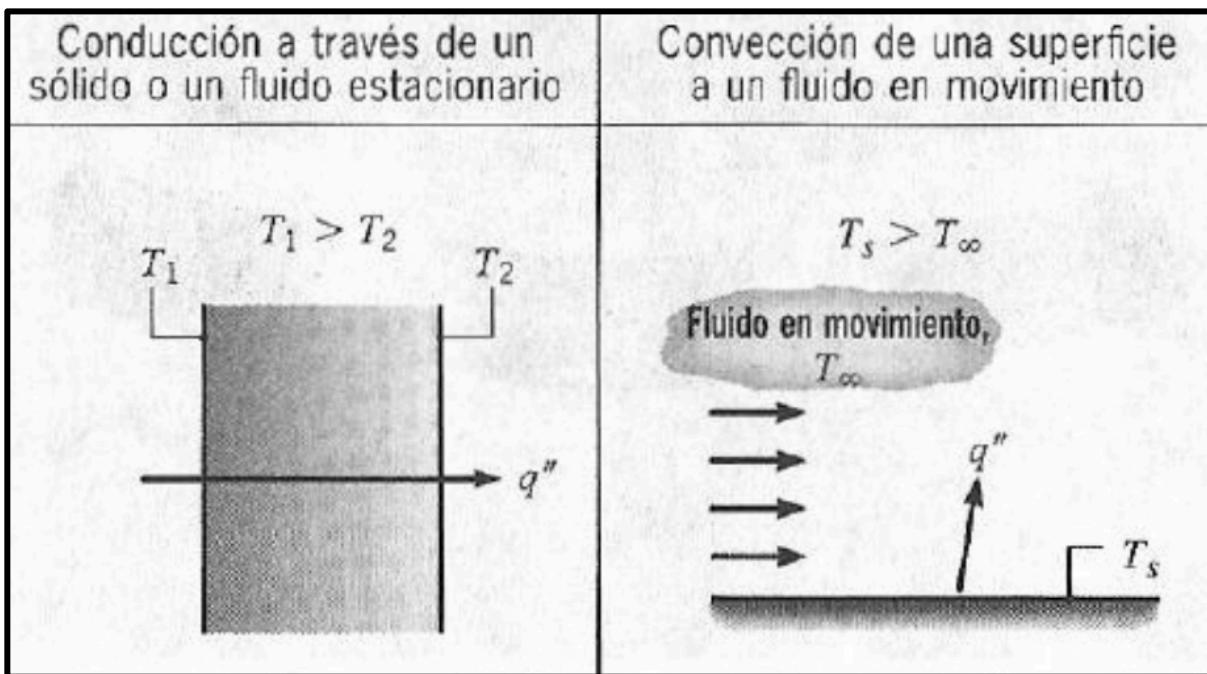


Fig. 3.8. Modelo de transferencia de calor por conducción y convección (Fernández, P., 2015).

En términos termodinámicos el proceso de cálculo presenta una importante complejidad, y al no tratarse de nuestro fundamento de estudio, se utilizará un modelo ampliamente utilizado para hablar del intercambio de calor de acuerdo con la Ley de enfriamiento de Newton en transferencia de calor por convección , que se desarrollará más adelante en el cálculo de estimación de las cargas térmicas de verano e invierno con el intercambiador de calor geotérmico y que puede resumirse en la siguiente expresión:

$$Q_{conv} = h \cdot A(T_s - T_e) \quad Eq. 3.5$$

donde h [W/m^2] es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A [m^2] es la superficie donde se produce la transferencia de calor, T_s [Kelvin] la temperatura superficial, T_e [Kelvin] la temperatura alejada de la superficie donde se produce la convección y Q_{conv} [W] es el calor transferido por convección.

De la misma manera, el mecanismo de transferencia de calor por conducción se generaliza por la Ley de Fourier, cuya ecuación es:

$$Q_{cond} = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad Eq. 3.6$$

donde k es la conductividad térmica [$W/m C$], A [m^2] es el área de transferencia de calor, $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ [C/m] es la variación de temperatura en relación con el espesor del material y Q_{cond} [W] es el calor transferido por conducción.

De acuerdo con la ecuación 3.5, cuando a una sustancia se le transfiere calor, ya sea aportándoselo o quitándoselo, se producen variaciones de temperatura, es lo que se denomina *calor sensible* (Q_{sen}). Si se produjera un cambio de fase en la sustancia parte del

calor transferido no produciría un cambio de temperatura, sino que la energía transferida estaría asociada a un cambio estructural de la sustancia, ese calor es denominado como *calor latente* (Q_{lat}), la temperatura permanecería constante durante el cambio estructural y el calor se almacenaría hasta desprenderse en el cambio de fase, y al liberarse, ese calor latente pasaría a ser nuevamente calor sensible. En la BCG ese calor latente se encuentra en el condensador y el evaporador donde se produce un cambio de fase intencionado para garantizar temperaturas estables de los mismos y comprimir - descomprimir fases gaseosas. No obstante, no se pretende estudiar ni optimizar el ciclo de operación de la BCG sino estudiar el comportamiento como reservorio geotérmico de geoestructuras en granjas porcinas, y en consecuencia este estudio se centra en el desempleo del circuito primario y el secundario donde únicamente aparece el Q_{sen} .

3.2.2 Transmisión de calor en el terreno

En geotermia somera, uno de los factores principales que determina el diseño de los intercambiadores geotérmicos es la carga térmica. Destacan otros parámetros que condicionan la transmisión del calor en el terreno como la conductividad térmica efectiva del terreno, su capacidad calorífica, la resistividad térmica del propio intercambiador geotérmico, la expansión térmica, la densidad, la difusión térmica y la viscosidad:

La capacidad calorífica: representa la cantidad de calor (Q) que se requiere para elevar un Kelvin la temperatura de un cuerpo de masa (m) determinada y se expresa como:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad Eq. 3.7$$

donde c [$J \cdot kg \cdot K^{-1}$] es la capacidad calorífica del medio, Q [J] es la cantidad de calor requerida, m [kg] es la masa del cuerpo y ΔT [Kelvin].

La conductividad térmica es la capacidad o facilidad que tiene un material para transmitir calor entre dos materiales que actúan de focos térmicos (uno de fuente y otro sumidero) a temperatura constante y se expresar con la siguiente fórmula:

$$\lambda = \rho \cdot c \frac{q \cdot l}{A \cdot \Delta T} \quad Eq. 3.8$$

donde λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] es la conductividad térmica, ρ [$kg \cdot m^{-3}$] es la densidad del material, c [$J \cdot kg^{-3} \cdot K^{-1}$] la capacidad calorífica específica del material, q [W] es el flujo de calor, ΔT [K] es la diferencia de temperatura entre el foco fuente y el foco sumidero situado a una distancia l [m] y A el área de la sección [m^2]

La conductividad térmica de un material depende de su temperatura, el agua al aumentar la temperatura aumenta su conductividad, no ocurre lo mismo en el resto de los líquidos, que al aumentar su temperatura disminuyen su conductividad. En las rocas, la conductividad viene marcada por su composición mineral, su porosidad, las fracturas o su

relleno. En la **Tabla 3.2.** y **Tabla 3.3.** se muestra la conductividad térmica de minerales y materiales de interés en geotermia somera. (Fuente: Rohsenow et al. (1998) y Shön (2011)).

Tabla 3.2. Tabla de propiedades termo-físicas de distintos minerales de utilidad en geotermia somera (Rohsenow et al., 1998 y Shön ,2011).

Mineral	Conductividad Térmica		Densidad		Capacidad calorífica	
	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]		ρ [kg·m ⁻³]		c [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Cuarzo (-α)	7,69	7,70	2.648		0,70	0,74
Cuarzo	6,5		2.648		0,75	
Olivino	3,16	5,21	3.213	4.393	0,55	0,84
Granate	3,31	5,48	4.318		0,74	
Piroxeno	4,1	5,10	3.209	3.277	0,67	0,69
Anfíbol	2,81	3,00	3.080		0,75	
Mica	0,7	2,32	2.831	2.900	0,76	0,78
Feldespato	1,68	2,31	2.560	2.760	0,63	0,75
Caolinita	2,60		2.610	2.680	0,93	
Ilita	1,90		2.600	2.900	0,81	0,82
Clorita	4,20	5,92	2.600	3.300	0,60	
Esmectita	1,90		2.000	2.600	0,86	
Minerales arcilla	1,70	5,95	1.920	2.450	0,54	0,95
Calcita	3,25	3,90	2.710		0,79	0,80
Dolomita	5,30	5,51	2.866		0,86	0,88
Halita	5,30	7,20	2.163		0,79	0,84
Anhidrita	0,90		2.963		0,75	
Yeso	1,00	1,30	2.305		1,07	

Tabla 3.3. Tabla de propiedades termo-físicas de distintos materiales de utilidad en geotermia somera (Rohsenow et al., 1998 y Shön ,2011).

	Conductividad Térmica		Densidad		Capacidad calorífica		Porosidad	
	λ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]		ρ [kg·m ⁻³]		c [kJ·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]		ϕ [-]	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Roca								
Granito	1,25	4,45	2.630	2.750	0,67	1,55	5E-04	9E-03
Basalto	1,50	2,50	2.800	3.000	0,84	1,28	6E-03	1E-02
Granodiorita	1,35	3,40	2.530	2.940	0,84	1,26	6E-04	8E-03
Caliza	0,62	6,26	2.300	2.900	0,82	1,72	6E-03	0,35
Dolomita	1,60	6,30	2.800	2.900	0,84	1,55	1E-03	0,30
Anhidrita	1,00	6,05	2.800	2.900	0,81	0,94	1E-04	0,15
Yeso	1,29	1,29	2.300	2.800	0,85	1,09	1E-04	0,15
Arenita	0,90	6,50	2.160	2.800	0,75	1,60	0,05	0,30
Limolita	0,61	2,10	2.200	2.880	0,91	1,52	0,06	0,35
Lutita	0,55	4,25	2.400	2.800	0,88	1,44	0,10	0,43
Margas	0,50	4,00	2.243	2.830	0,78	1,50	0,02	0,35

Sedimento								
Arena	0,10	2,75	1280	2.150	1,97	1,20	0,20	0,60
Arcilla	0,60	2,60	1070	1.600	0,84	1,00	0,33	0,60
Suelo	0,40	0,86	1600	2.050	1,80	1,90	0,30	0,50
Intercambiadores geotérmicos								
Polietileno	0,33		960		2,10			
Cemento termoactivo	0,80	1,50	1.100	1.400	2.00	2.20		
Agua (20°C)	0,60		1.000		4.166			
Agua + 25% Etilenglicol	0,50		1.050		3,79			
Hielo (0°C)	2,20		9.17		2,04			
Aire (seco 20°C)	0.03		1.275E-03		1.005			

La diferencia entre las temperaturas de salida y retorno del fluido caloportador, determina el rendimiento de una bomba geotérmica, cuanto más elevada sea la temperatura a la salida del bucle y con un salto térmico menor, mayor será el rendimiento del sistema, por lo que es fundamental realizar un adecuado dimensionamiento del campo de captación geotérmico.

La industria internacional utiliza una tasa de extracción específica en W/m, que tiene su origen en la VDI 4640 (VDI, V.,2000), considera 50 W·m⁻¹ como potencia pico por metro lineal de perforación en la absorción de calor (en torno a 20 W·m⁻¹ en un terreno desfavorable) y 70 W·m⁻¹ para la disipación de calor, de ahí que un intercambiador de 80-200 m, tendría entre 4-10 kW para calefacción y 5,6-14 kW para refrigeración. No obstante, esta aproximación está indicada para instalaciones con demanda térmica $\leq 30\text{kW}$ en función de la energía anual demandada en pequeños edificios (**Tabla 3.4.**) y solo puede dar una estimación rudimentaria, se precisa una predicción por parte de un geólogo experimentado para obtener unos valores fiables para un correcto aprovechamiento térmico del terreno.

Tabla 3.4. Tasas de extracción de energía específica para intercambiadores de calor de acuerdo con VDI 4640 (2001). (Erol, S., Grathwohl, P., Blum, P., & Bayer, P. ,2011).

Valores orientativos generales del subsuelo [W · m ⁻¹]	Tasas específicas de extracción de calor	
	1800 h/año [W · m ⁻¹]	2400 h/año [W · m ⁻¹]
Suelo no cohesivo	25	20
Suelo cohesivo y saturado	60	50
Roca consolidada con alta conductividad térmica	84	70

Es necesario tener en cuenta la complejidad de la geología del subsuelo que requiere un análisis exhaustivo. Los W·m⁻¹ representan potencia de extracción instantánea, y para predecir el desempeño del intercambiador geotérmico es relevante considerar el comportamiento del subsuelo a escala anual (kWh·a⁻¹). De ahí que estos valores podrían tomarse para una vivienda unifamiliar modelo, únicamente como herramienta auxiliar, pero en ningún caso para una explotación ganadera. Las rocas tienen propiedades físicas muy diferentes. Lo que sí está comprobado, como ya se ha mencionado anteriormente, es que a partir de cierta profundidad el subsuelo se comporta como un sistema termodinámico, donde la temperatura permanece constante todo el año, lo que permite comportarse como una fuente de calor fiable y predecible.

El conocimiento de las distintas técnicas geotérmicas, los avances en los sistemas de software y hardware, los nuevos modelos de simulación en 2D y 3D del subsuelo, las investigaciones en nuevos materiales y la experiencia adquirida junto con la compartida con otros profesionales del sector geotérmico, nos permiten calcular, interpretar y analizar con rigor el funcionamiento de una instalación geotérmica en una explotación porcina.

3.3 DESCRIPCIÓN DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA PORCINA

Una instalación geotérmica en una granja se puede dividir en tres partes claramente diferenciadas, el sistema primario (A), el cuarto técnico (B) y el sistema secundario (C) (**Fig. 3.9.** y **Fig. 3.10.**), todas ellas tienen que estar correctamente calculadas y ejecutadas para que el funcionamiento de la instalación sea el adecuado. En muchas ocasiones el sistema secundario se realiza independientemente de las partes A y B, y ello puede llegar a generar algún problema en la instalación. Para evitarlo y asegurar el éxito de la puesta en marcha y correcto funcionamiento de la instalación térmica, es imprescindible que la parte encargada de realizar el sistema primario y el cuarto técnico ejecute también el sistema secundario, o al menos lo supervise.

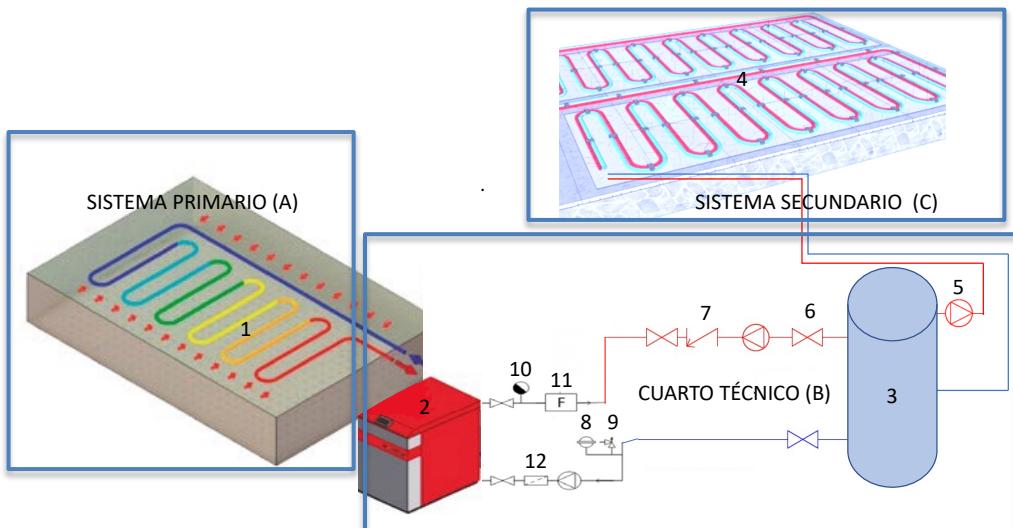


Fig. 3.9. Esquema general de instalación geotérmica en una explotación porcina (*Fuente propia*).

N.º	Icono	Descripción
1		Sistema de captación geotérmica
2		Bomba de calor

3		Depósito de inercia
4		Sistema de climatización
5		Bomba circuladora
6		Válvula de cierre
7		Válvula antirretorno
8		Vaso de expansión
9		Válvula de seguridad
10		Purgador
11		Flujostatos
12		Filtro

Fig. 3.10. Leyenda de simbólica de esquema general de instalación geotérmica en una explotación porcina (Fuente propia).

3.3.1 Sistema Primario

Un diseño adecuado del sistema primario es vital para maximizar la eficiencia de la instalación. El sistema primario incluye el circuito de captación de los intercambiadores geotérmicos. Un diseño con un excesivo número de metros de captación supone sobrecostes en la instalación. En casos de malas prácticas este defecto en el diseño del sistema primario ha terminado a cuestionar la eficiencia de las instalaciones geotérmicas, frente a otros sistemas de producción de calor (instalaciones convencionales con caldera de gasoil, biomasa, gas o instalación eléctrica). En el otro extremo, cuando los diseños consisten en un circuito demasiado corto o mal dimensionado en cuanto a diámetro, los intercambiadores geotérmicos resultan incapaces de transferir el calor y no se llegaría a cubrirse la demanda necesaria para la granja.

A continuación, se describen las tres partes en las que se divide un circuito primario: (1) la zona de captación, (2) la zona de distribución horizontal y (3) los colectores.

3.3.1.1 Zona de captación

Sin tener en cuenta los intercambiadores geotérmicos abiertos, en una granja porcina existen generalmente tres posibilidades a la hora de realizar un sistema de captación geotérmica: Intercambiadores geotérmicos cerrados en (1) sondeo vertical, en (2) excavación horizontal y (3) en geoestructuras o termoactivación de geoestructuras.

En instalaciones ya existentes, los sistemas de **captación vertical** son los más recomendados, aunque actualmente se están abriendo nuevas líneas de investigación para reducir los costes de perforación. Estos sistemas consisten en un campo o matriz de sondeos provistos de intercambiadores geotérmicos verticales en circuito cerrado. Para su diseño es necesario estudiar la geología de la zona, que nos determinará el número de sondeos geotérmicos necesarios para cubrir la demanda térmica de la granja.

Como ejemplo de orden de magnitud según experiencia, previo a un estudio geológico detallado de la zona, se puede predecir a grandes rasgos, para una granja pequeña se requiere un campo de sondeos geotérmicos de aproximadamente cinco perforaciones de 120m de profundidad, en una granja mediana de 10 a 12 perforaciones de 120 m y, una granja por encima de 3.000 madres más de 25 perforaciones de 120 m. No obstante, teniendo en cuenta el relativo alto coste de la perforación, para evitar sobrecostes innecesarios es imprescindible estimar el número exacto mediante un estudio geológico detallado para cada caso.

Las perforaciones de sondeos geotérmicos se realizan con una máquina de perforación geotérmica (**anexo 11.2**) que trabaja con un doble sistema, de encamisado y perforación a rotopercusión. Los diámetros utilizados de varillaje (generalmente $\phi 125$ mm) y tubería de revestimiento ($\phi 152$ mm) pueden variar, pero los indicados suelen ser los más utilizados en geotermia somera para intercambiadores verticales (**Fig. 3.11.A**).

Estos equipos de perforación pueden alcanzar profundidades en función del terreno de hasta 500-600 m de varillaje y hasta 200 m de encamisado. No obstante, el coste incrementa exponencialmente con la profundidad, por las operaciones de varillaje y dificultades que presenta el terreno a medida que se adquiere más profundidad. En el sector ganadero se ha optimizado el proceso de perforación hasta considerar suficiente, perforaciones de 100-120 m de profundidad.



Fig.3.11. (A) Máquina perforadora y accesorios de la misma. (B) Introducción de una sonda geotérmica en la perforación. (C) Balsa de detritus. (D) Prueba de presión en intercambiador geotérmico en "U" (sonda geotérmica) y tubo de inyección lechada termoactiva (Fuente propia).

El detritus expulsado se deposita en una balsa o contenedor (**Fig.3.11.C**), y se limpiará completamente toda la perforación hasta asegurarse que no queda ningún resto de material de perforación ni de detritus, para poder introducir una sonda geotérmica (**Fig. 3.11.B**), y en el resto del espacio anular del sondeo se inyecta un mortero geotérmico con una conductividad térmica recomendada no inferior a $2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, para que el contacto con el terreno sea completo y mantenga un equilibrio con la conductividad del terreno. Una descripción detallada de las características técnicas del mortero geotérmico se encuentra en el **anexo 11.3**.

Para controlar la velocidad de descenso de la sonda, habitualmente se utiliza un *slagman*, aparato de sujeción que evita que descienda la sonda al fondo del agujero por su propio peso, lo que podría causar una rotura en la zona de unión situada en la punta de la misma.

La sonda es una tubería en forma de "U" por la que se introdujo el fluido caloportador, en las instalaciones construidas en el marco de esta Tesis Doctoral se utilizó agua glicolada.

Además, previamente a la inyección del mortero termoactivo se rellenó la sonda de agua y se realizó un ensayo de carga hidrostática (**Fig. 3.11.D**), no superior a 4 bares, para comprobar la estanqueidad de la tubería que compone el intercambiador geotérmico y evitar que la presión del mortero pueda romper la sonda geotérmica.

Otro método de captación también utilizado en granjas ya construidas, donde la superficie de terreno disponible para excavar no es un problema, es el sistema de **captación horizontal**. Estos sistemas basados en intercambiadores geotérmicos en circuito cerrado horizontales presentan condiciones térmicas intermedias, entre las condiciones variables de la atmósfera y las profundas del terreno (<10-15 m). En sistemas de captación horizontal la temperatura del subsuelo sigue las fluctuaciones de temperaturas estacionales de la superficie amortiguadas (**Fig. 3.12.**), por lo que en invierno se tendrán temperaturas del reservorio geotérmico más frías que las correspondientes a reservorios más profundos, próximas a 3°C y en verano más calientes hasta 14°C; por lo que será necesario hacer un campo de captación de mucha mayor área. Los costes económicos son muy inferiores a un campo de captación vertical, por lo que puede resultar especialmente atractivo en explotaciones ganaderas con espacio suficiente para excavación.

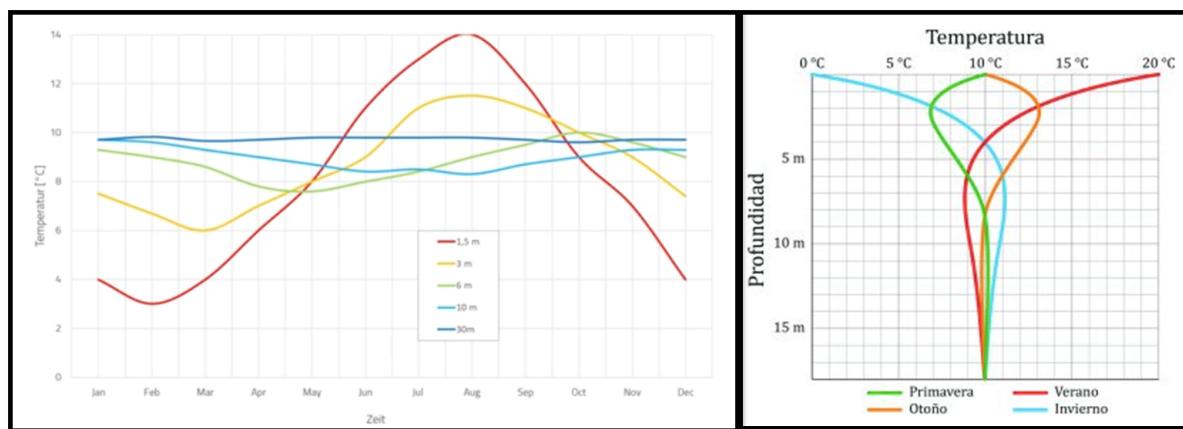


Fig.3.12. Variación de temperaturas durante el año a diferente profundidad (Fuente: www.geotherm.es)

Para la construcción de sistemas de captación horizontal entre las distintas naves de la granja, se realizaron grandes superficies excavadas de 1,5 – 2 m de profundidad, donde se distribuyó una amplia red de tuberías de polietileno (**Fig. 3.13.**), de 20 - 25 mm de espesor y 100 m de longitud, que se unen en los extremos (ida y retorno) a un colector. En función del espacio del que se disponga entre las distintas naves de la explotación y la demanda necesaria de la misma, serán necesarios un número determinado (x) de colectores con un número determinado (y) de circuitos.



Fig. 3.13. Campo de captación horizontal en explotación ganadera (*Fuente propia*).

Por último, la forma de captación geotérmica más novedosa en el sector porcino en España y Europa es la **termoactivación de geoestructuras** de las granjas. Este tipo de captación geotérmica somera se está desarrollando exponencialmente en España en los últimos años como un intercambiador de calor geotérmico embebido en la propia cimentación de la nave. Se le conoce en el sector con el nombre de *puritermia*, y se aplica en granjas de nueva construcción. (Fig. 3.14.). Además este procedimiento de termoactivación de geoestructuras tiene un doble beneficio por un lado geotérmico y por otro cumple con la *Mejoras Técnicas Disponibles* (MTDs) recomendadas por la Unión Europea, descritas en el apartado 3.4.1 de esta Tesis Doctoral.



Fig. 3.14. Ejemplos de termoactivación de los cimientos tipo losa de naves de granjas porcinas (puritermia) (*Fuente propia*).

3.3.1.2 Zona de distribución horizontal

La distribución horizontal se corresponde con una *red hidráulica* completa hasta llegar al cuarto técnico, esta distribución se realiza mediante tuberías de polietileno de diferente grosor y longitud (**Fig. 3.15. B, C**). Su diseño está condicionado siempre a no superar la pérdida de carga admisible de una determinada instalación. En un sistema de captación geotérmico horizontal, la red hidráulica une los distintos colectores de los circuitos para llegar a un colector principal en el cuarto técnico. En sistemas de captación geotérmicos verticales la red hidráulica une todos los sondeos geotérmicos para llevarlos al colector principal. Cuando el sistema de captación presenta un número elevado de sondeos geotérmicos es necesario colocar una arqueta como mecanismo de unión tal y como se observa en la **Fig. 3.15.A**.

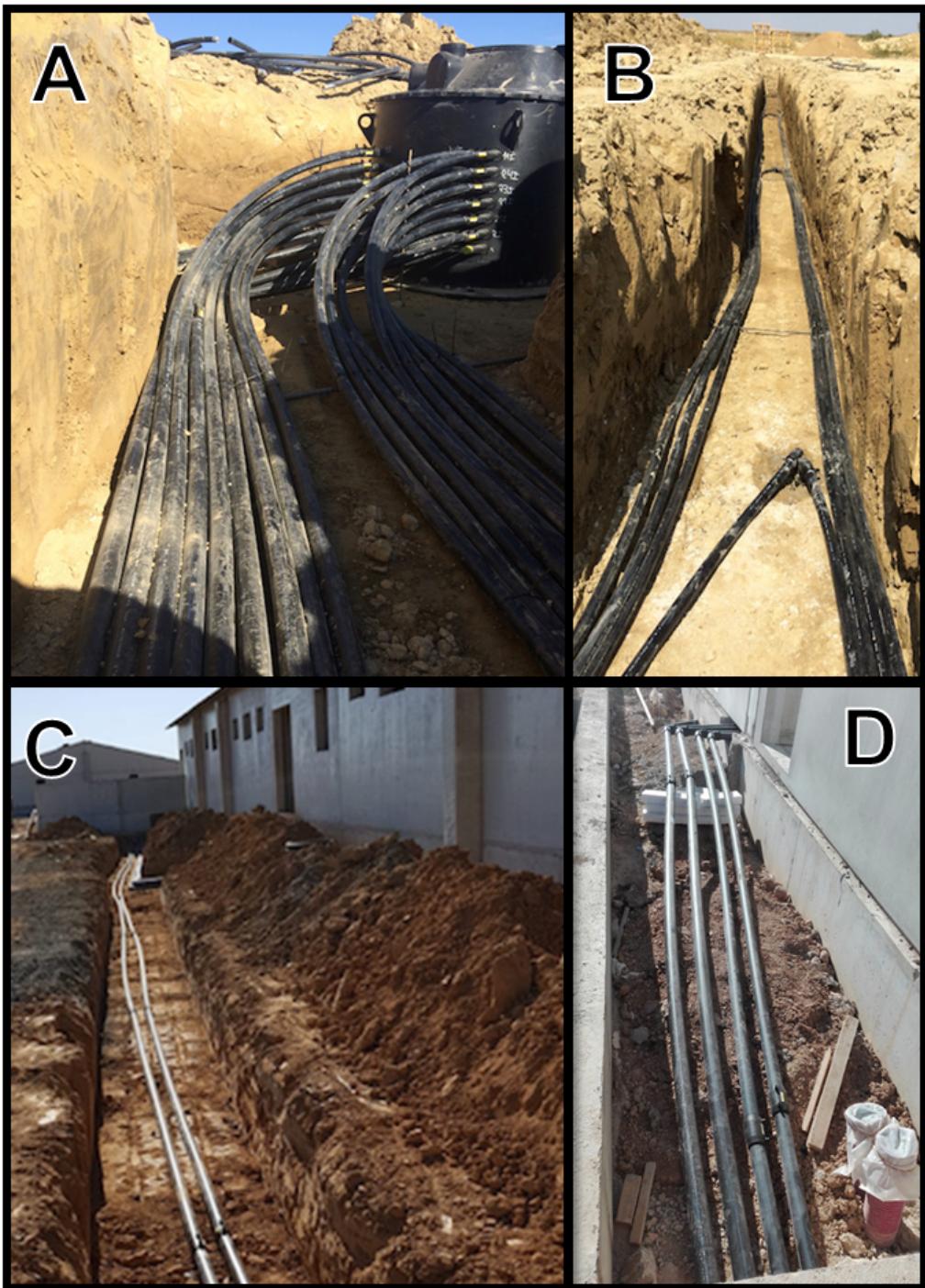


Fig. 3.15: Red hidráulica que configura la zona de distribución horizontal para pozos verticales con (A) y (B) sin arqueta. (C y D) Distribución horizontal de captación horizontal (Fuente propia).

3.3.1.3 Colectores

El colector es el dispositivo que une los distintos circuitos con distribución horizontal (red hidráulica) al llegar al cuarto técnico. Los circuitos de distribución pueden tener origen en sistemas de la captación vertical (**Fig. 3.16.A**) u horizontal (**Fig. 3.16.B**). Este colector se caracteriza por tener un elemento colector de tuberías de llegada procedentes del sistema de captación geotérmica y otro de salida donde se colocan los caudalímetros para regular el caudal que circula por cada circuito.

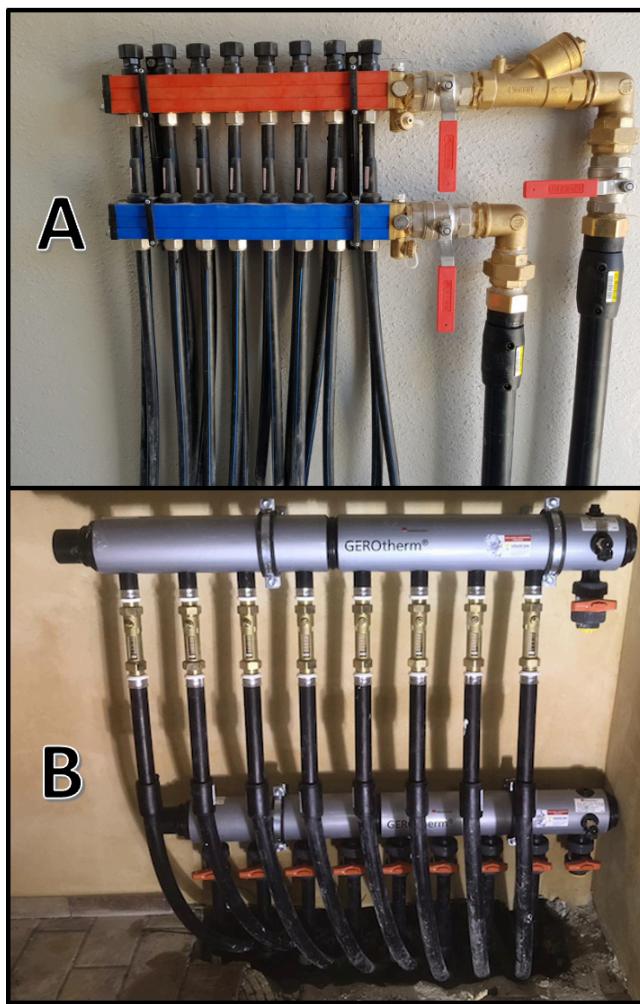


Fig. 3.16. (A) Colector de captación horizontal. (B) Colector de pozo vertical (Fuente propia).

En la captación horizontal se colocan colectores polimétricos, adecuados tanto para calefacción como para refrigeración. Dichos colectores se unen a la BCG mediante una red de tuberías con dimensiones adaptadas al caudal que debe circular por el conjunto de circuitos de dicho colector.

Para unir las 3 partes del sistema primario se realizan uniones con piezas de polietileno electrosoldables o de latón roscado, se presuriza el circuito con agua y propilenglicol o etilenglicol (**anexo 11.4**), a un porcentaje del 33% y por último se realizan pruebas de estanqueidad para comprobar que no existan fugas en el sistema.

3.3.2 Cuarto técnico

La sala técnica está formada por diversos componentes, se destacan aquellos que se consideran más importantes en las instalaciones térmicas de granjas porcinas:

3.3.2.1 Bomba de calor geotérmica (BCG)

Tal y como se ha explicado con anterioridad, sin considerar los primeros 10-20 m de profundidad del subsuelo que se encuentran influenciados por la estacionalidad anual de las temperaturas de superficie (**Fig. 3.12.**), la temperatura del subsuelo a más de esa profundidad permanece constante a la *temperatura de fondo* del reservorio geotérmico somero. Esta temperatura coincide razonablemente con el promedio anual de temperaturas atmosféricas más un grado o dos por gradiente geotérmico. Teniendo en cuenta la temperatura de fondo del reservorio geotérmico, su conductividad térmica y su capacidad calorífica se definirá el aprovechamiento potencial que puede hacerse de dicha energía. Si se parte de una temperatura de captación entre 12-15°C y se necesita alcanzar 40-50°C para la calefacción de la granja, se utiliza una bomba de calor geotérmica (BCG) (**Fig. 3.17.**) para alcanzar esas temperaturas mediante la aplicación de trabajo mecánico-eléctrico.

En función de la demanda necesaria de la granja y la tasa de transferencia de calor de los intercambiadores geotérmicos con el subsuelo, la BCG trabajará un número determinado de horas a lo largo del día. En una explotación ganadera la demanda es continua todo el año, pero presenta ciclos de modulación de la demanda donde en función de los usos de la misma la demanda de calor-frío será mayor o menor. Por lo que es recomendable trabajar en un régimen bivalente y utilizar dos equipos de BCG, en periodos de menos demanda únicamente será necesario el funcionamiento de una de las bombas y por otra, si hubiese una avería evitaría dejar la explotación sin climatización, evitando así consecuencias nefastas de pérdidas por mortalidad o enfermedad de los lechones hasta su reparación.

La BCG no está condicionada por las fluctuaciones atmosféricas, aunque si depende de las variaciones de temperatura, humedad relativa y específica del interior de la tierra, pero estas son mucho más suaves, lo que las convierte en unas máquinas muy eficientes capaces de trabajar en condiciones casi ideales.

La BCG utilizando estas condiciones casi ideales, transfiere calor de una fuente menos caliente a otra más caliente mediante el ciclo de compresión de vapor (ciclo inverso de Carnot), donde el fluido caloportador es un HFC (Hidrofluorocarbono) concretamente un gas inofensivo para la capa de ozono el R410A (50% CH₂F₂ & 50% CHF₂CF₃), con mayor rendimiento energético y mejores cualidades físicas.



Fig. 3.17. Bomba de calor geotérmica (*Fuente: www.geotherm.es*)

Las BCG se pueden clasificar de acuerdo con diferentes criterios, es habitual hacerlo en función de los fluidos de entrada y salida, es decir, del tipo de fluido caloportador en el circuito primario y secundario de una instalación térmica, pudiendo ser: bomba de calor agua-agua, agua-aire, aire-aire, etc. En geotermia somera se utilizan bombas de calor agua-agua, concretamente con un intercambiador de calor subterráneo integrado en el circuito primario. Las sondas geotérmicas por donde circula agua con anticongelante, que se conectan a la bomba, se denominan bombas de calor agua-agua y trabajan en un circuito cerrado.

Los elementos principales de la BCG son: condensador, evaporador, válvula de expansión y compresor (**Fig. 3.18.**).

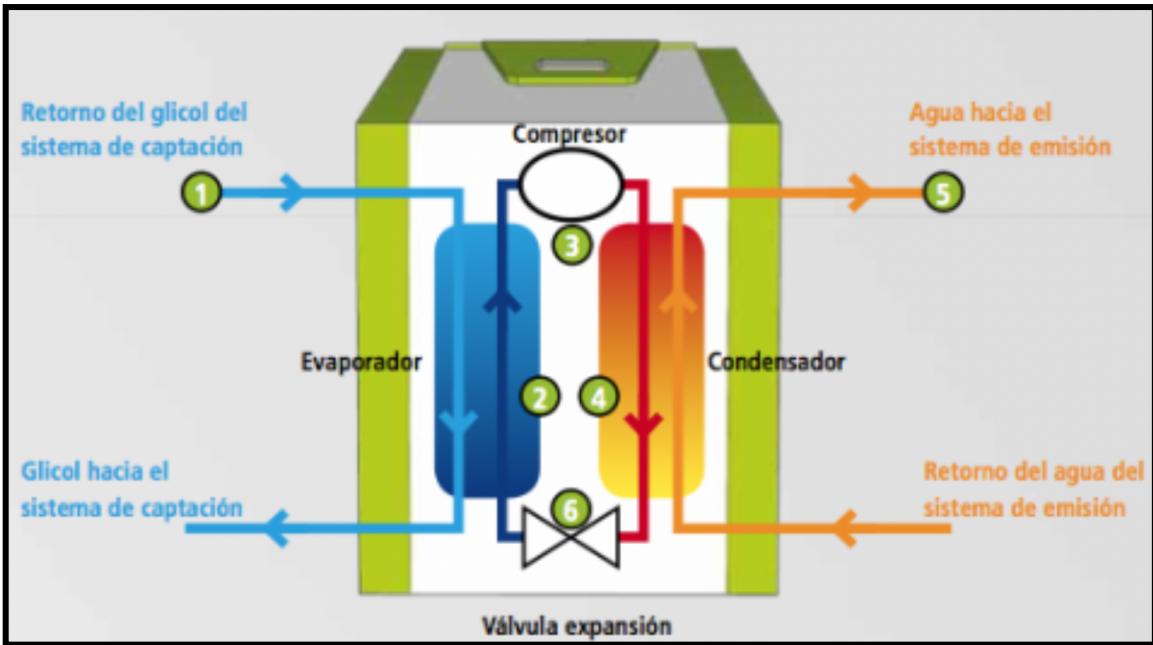


Fig. 3.18. Funcionamiento de una BCG (*Fuente: Ecoforest*)

El evaporador y el condensador son intercambiadores de calor entre dos fluidos, por una parte, en el evaporador el agua glicolada cede la energía procedente de la captación al refrigerante que circula por el circuito frigorífico, provocando su calentamiento y ebullición, este fluido refrigerante ya en estado gaseoso es aspirado por el compresor que lo comprime aumentando con ello su presión y temperatura. Después el refrigerante pasa al condensador, donde se enfriá y condensa, cediendo su calor al agua del sistema emisor (placas de calefacción) que se calentarán (modo calefacción), debido a esta transformación el refrigerante pasa a estado líquido. Finalmente, el fluido refrigerante condensado pasa a la válvula de expansión, que disminuye su presión y temperatura antes de entrar nuevamente en el evaporador para reiniciar nuevamente el ciclo (Fig. 3.19.).

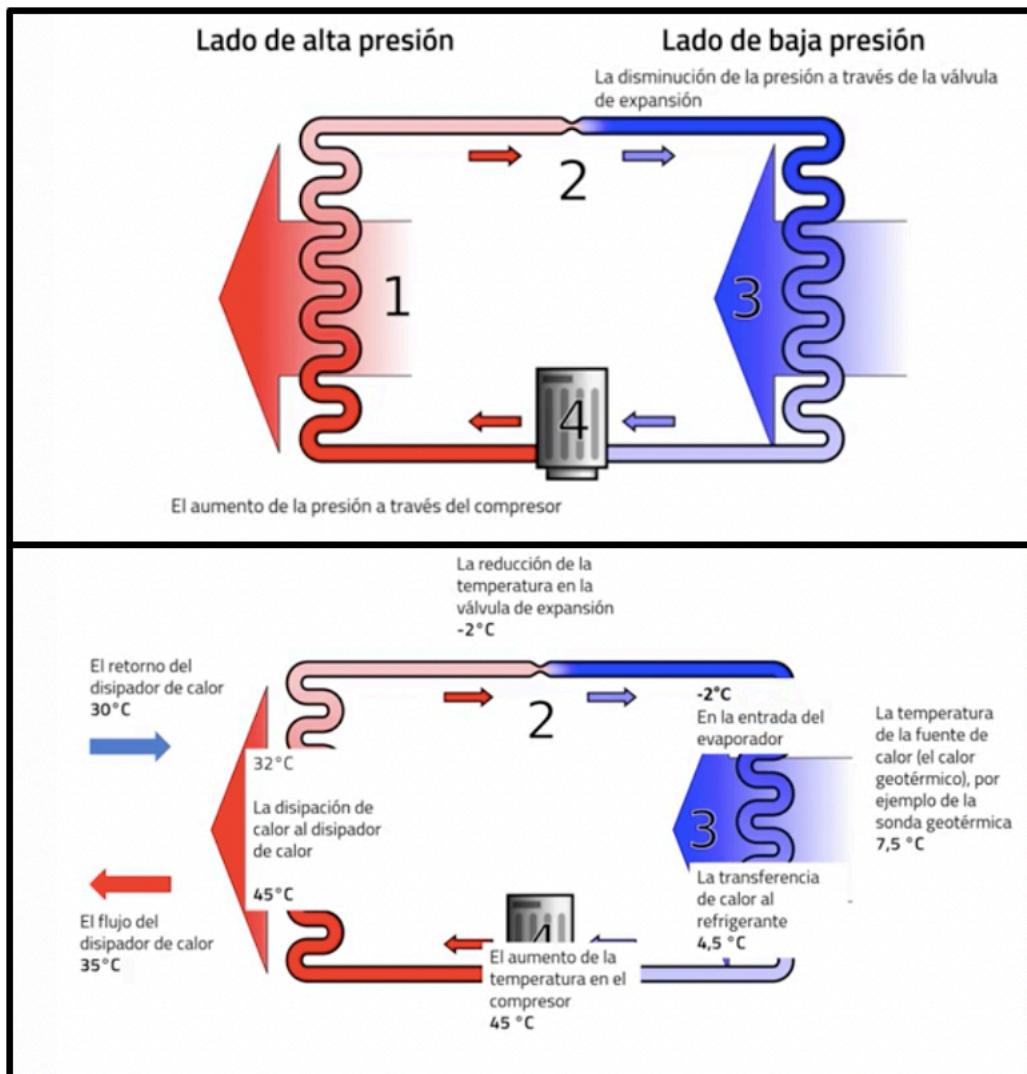


Fig. 3.19. Circuito de la BCG (Fuente: www.geotherm.es)



Fig. 3.20. Interior de una BCG Ecoforest (Fuente propia)

Actualmente existen muchas marcas y modelos diferentes, aquellas que disponen de doble compresor y consecuentemente con doble ciclo de intercambiadores o aquellos modelos que disponen de una tecnología *inverter* (aparato a la izquierda del compresor en **Fig. 3.20.**) que regulan la velocidad del compresor, evitando que el compresor funcione siempre al máximo y garantizando con ello una mayor durabilidad del mismo. Aunque en la práctica en las instalaciones de granjas porcinas, debido al gran número de horas que trabajan los compresores, una máquina con doble compresor que reparte sus horas de trabajo podría tener una vida útil mayor que una con un sistema *inverter*.

Para poder comprender la eficiencia de una BCG se debe introducir dos nuevos parámetros en nuestro estudio, el coeficiente de rendimiento o *Coefficient of Performance* (COP) para calefacción y el índice de eficiencia energética o *Energy Efficiency Ratio* (EER) para refrigeración. En nuestro estudio el rendimiento que nos interesa es el COP, que viene marcado por la potencia calorífica suministrada en unas condiciones específicas de temperatura y la potencia eléctrica consumida por el compresor en dichas condiciones de temperatura de salida de agua fría y caliente de la BCG. Una BCG presenta eficiencias $COP > 4$, es decir, que por cada kW de energía eléctrica que consume la BCG es capaz de producir más de 4 kW térmicos de la demanda que necesita la granja (**Fig. 3.21.**).

$$COP = \frac{E_t}{E_e} \quad Eq. 3.9$$

donde E_t [kWh] es la energía térmica transferida al circuito de calefacción y E_e [kWh] es la energía eléctrica de funcionamiento utilizada.

El COP define el coeficiente instantáneo de una BCG en unas condiciones específicas, sin embargo, la demanda energética y las condiciones ambientales varían a lo largo de todo el año, por tanto, es preciso definir un nuevo coeficiente que establezca el rendimiento estacional medio de la BCG, el SPF (Seasonal performance factor) o factor de rendimiento estacional, que se expresa como:

$$SPF = \frac{E_{ref}}{E_{eref}} \quad Eq. 3.10$$

donde SPF es el rendimiento estacional, E_{ref} [kWh] es la energía útil proporcionada por la BCG y E_{eref} [kWh] es la energía consumida.

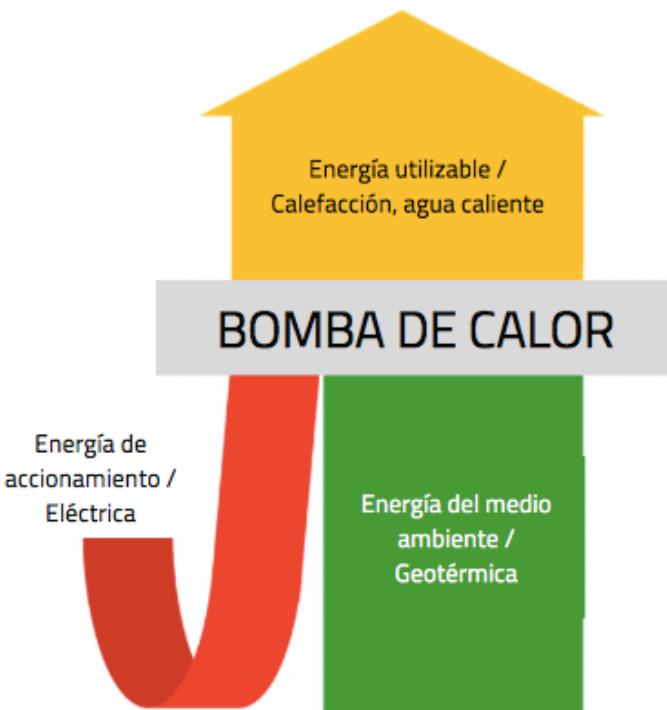


Fig. 3.21. Eficiencia de la bomba de calor (*Fuente:* www.geotherm.es)

3.3.2.2 Bombas circuladoras (o de impulsión)

Existen otros aparatos necesarios para el correcto funcionamiento de una instalación geotérmica, que sin entrar mucho en detalle son necesarios conocer; uno de ellos son las bombas circuladoras (**Fig. 3.22.**), capaces de impulsar y transportar un fluido en los circuitos primarios y secundarios. En el mercado existen gran variedad de modelos con características diferentes, únicamente se considera aquellas que sean capaces de salvar las pérdidas de carga y saltos energéticos de nuestra instalación de la manera más eficiente, tal y como exige la normativa europea.

Por un lado, tiene que ser capaz de mover un caudal significativo dado el dimensionamiento de varios pozos o metros de captación ejecutados. Mientras que, por otro lado, será necesario una pequeña bomba circuladora para la impulsión de agua desde la BCG a los acumuladores de agua.



Fig. 3.22. Bombas circuladoras (*Fuente:* Wilo)

3.3.2.3 Depósito de Inercia

Depósito con forma cilíndrica (**Fig. 3.23**), que sirve de acumulador de agua caliente, se utiliza a continuación de la bomba circuladora en la zona de calefacción, aunque una instalación de geotermia podría no ponerse, es recomendable ponerlo para cuando hay menos demanda y evitar que la BCG haga demasiados arranques.

Están hechos de acero de carbono o de acero inoxidable, y la durabilidad es mayor en inoxidable, aunque su coste es mucho más elevado.

A partir de este acumulador se distribuirá el agua calentada mediante una bomba circuladora hacia las placas de calefacción de los lechones, de ahí que tiene que estar bien aislado para que conserve el calor (**Fig. 3.23.**).



Fig. 3.23. Depósito de inercia (*Fuente propia*)

A la BCG se le programará la temperatura deseada a la que se quiere tener el depósito de inercia, a través de una sonda de temperatura, que se coloca de la mitad hacia arriba del depósito inercia, para que tenga las mínimas fluctuaciones por la estratificación del mismo. Esta temperatura de consigna debe de fijarse para un correcto funcionamiento de las explotaciones porcinas está en torno a 45 – 46°C en invierno y 40 – 41°C en verano.

3.3.2.4 Depósito de ACS y depósito de lavado de cerdas

Estos depósitos son también acumuladores con la peculiaridad de que en su interior presentan o bien una doble camisa o un serpentín, por donde circula el agua caliente en un circuito cerrado, este serpentín está colocado en la parte baja del depósito (**Fig. 3.24.A**) en contacto con el agua del consumo para calentarla; y es necesario que tenga un determinado número de m^2 , porque si es demasiado corto se juntan y no se calienta lo suficiente. De ahí que cuando los depósitos de agua caliente sanitaria (ACS) o de lavado de cerdas son superiores a 500-1.000 l, que es lo habitual en explotaciones porcinas, estos acumuladores no disponen de un serpentín suficientemente grande, por lo que es necesario colocar un

intercambiador de placas entre un fluido caliente primario (agua caliente) y un circuito secundario (agua fría) que, tras calentarse a la temperatura deseada, constituirá el ACS. Para eso se emplea el intercambiador de calor, para transferir energía térmica de un fluido a otro.

Existen varios tipos de intercambiadores, por un lado: multitubular entre carcasa cilíndrica, circulando el agua a calentar (ACS) por el espacio existente entre el haz tubular y la carcasa. Para disponer de un volumen de reserva de ACS, el haz tubular se sitúa en un depósito donde el agua además de calentarse se almacena, obteniéndose así un volumen de reserva para compensar la demanda, y a este conjunto es lo que se denomina intercambiador.

Otro tipo es el de placas (**Fig. 3.24.B**), un dispositivo que permite a dos fluidos que circulan a contracorriente, cada uno por un lado de una placa metálica corrugada, intercambiar energía térmica.

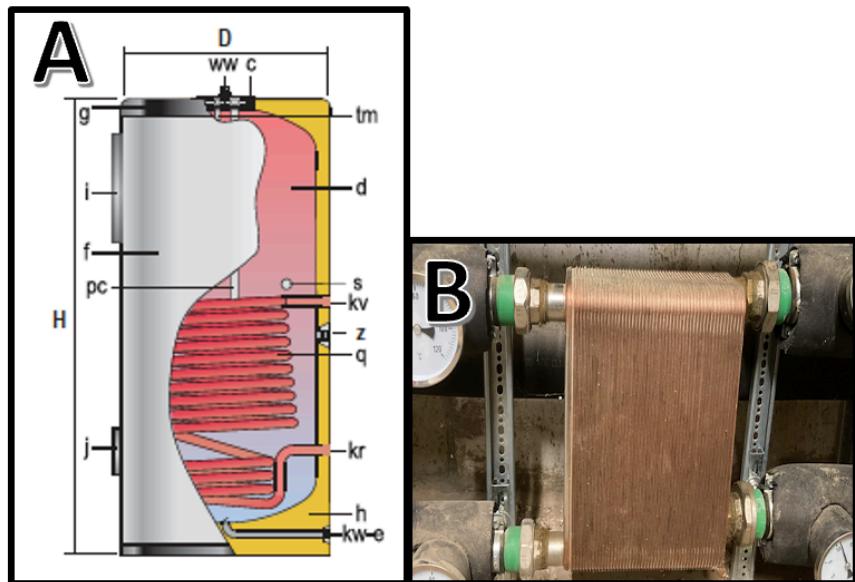


Fig. 3.24. (A) Serpentín de depósito de ACS y (B) Intercambiador de placas (Fuente propia).

Al igual que ocurre en los depósitos de inercia, los depósitos de ACS también tienen una sonda de temperatura con una consiga de aproximadamente 48 - 50°C, y para calentarlos es necesario colocar una válvula de 3V a la salida de la BCG, que se activará para hacer ACS o calentamiento del depósito de lavado de las cerdas, por alguno de los compresores de la BCG. De manera que la BCG prioriza producir calentar las duchas a calentar las placas de los lechones, hasta que este caliente dicho depósito un tiempo determinado, únicamente en ese compresor que está conectado eléctricamente con la válvula, para luego continuar generando calefacción para las placas de calefacción de los lechones.

3.3.2.5 Hidráulica y accesorios

Los aparatos anteriormente citados están unidos entre sí mediante una red hidráulica dimensionada para el correcto funcionamiento de la instalación, dicha red incluye vasos de expansión, válvulas de seguridad, purgadores, manómetros, llaves de esfera, filtros de malla, válvula antirretorno, etc.



Fig. 3.25. Red hidráulica de un cuarto técnico (*Fuente propia*)

3.3.3 Circuito Secundario

No solo es necesario realizar un buen dimensionamiento del campo de captación geotérmica y ejecutar un correcto esquema de principios de la sala técnica, sino que, el circuito de distribución del calor secundario del interior de la granja debe estar diseñado para poder trabajar con el máximo rendimiento, al suministrarle un salto térmico más bajo del que tendría en una instalación convencional de gasoil, gas, etc. donde los saltos térmicos son mucho más elevados. Y lo mismo sucede con el diámetro de la tubería al tener un volumen mayor.

El problema surge con la bioseguridad de este tipo de explotaciones, generalmente disponen de personal en plantilla para el mantenimiento de la propia instalación y este circuito secundario no siempre puede ser ejecutado por el instalador de geotermia, lo que hace imprescindible una supervisión exhaustiva por los técnicos del proyecto para que se lleve a cabo correctamente. Al no ser formar parte del análisis del presente estudio no se entrará en muchos detalles.



Fig. 3.26. Distribución hidráulica en interior de la nave (*circuito secundario*) (Fuente propia).

Al igual que ocurre en la distribución del sistema de captación, en este caso también es necesario colocar colectores (**Fig. 3.27.A**) para distribuir el fluido caloportador a los distintos sistemas de suelo radiante aislado o corrido (**Fig. 3.27.B**) según el tipo de nave y adecuado para el correcto funcionamiento de la instalación geotérmica. En ocasiones estos colectores disponen de cabezales reguladores en cada circuito en función de la temperatura deseada por la sonda de temperatura, tal y como se verá más adelante en alguno de los casos de estudio.

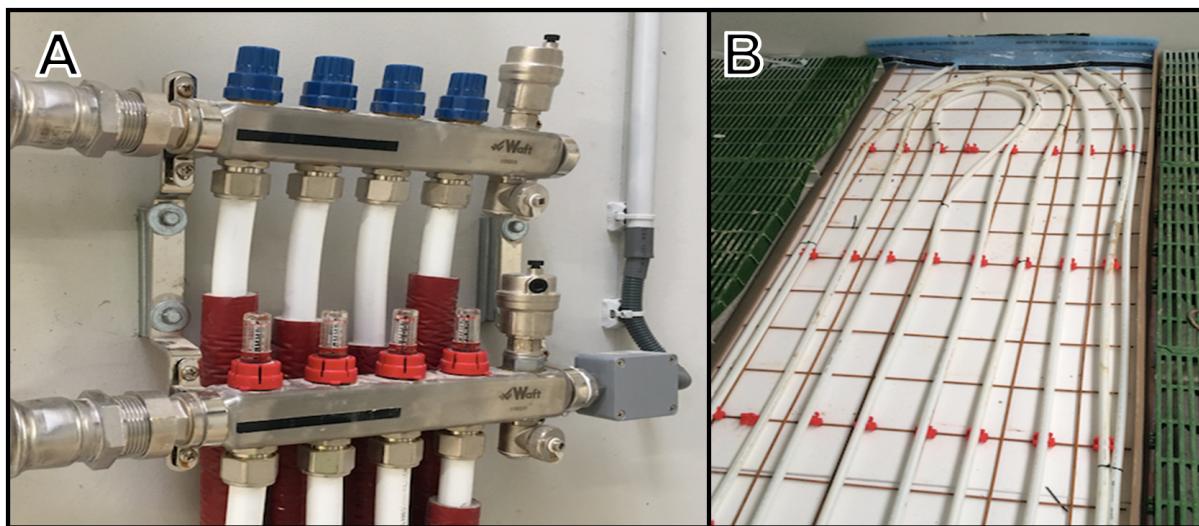


Fig. 3.27. (A) Colector de placas de maternidad y (B) suelo radiante en sala de destete (Fuente propia)

3.4 EMISIONES DEL SECTOR PORCINO

Los sistemas de calefacción de las granjas con biomasa, gasoil o gas junto con el almacenamiento de purines constituyen una fuente de gases contaminantes. Para mitigar el impacto ambiental es necesario disminuir las emisiones de CO₂ mediante el uso de energías renovables y reducir las sustancias contaminantes generadas por el purín, como el metano o el amoniaco, descendiendo la temperatura del residuo generado por el animal (Blázquez, CS, Borge-Diez, D., Nieto, IM, Maté-González, M. Á., Martín, AF, & González-Aguilera, D.; 2022) y utilizando diferentes técnicas que favorezcan la reducción de los gases generados por la explotación ganadera.

3.4.1 Mejoras Técnicas Disponibles

El aumento de la demanda de carne ha dado lugar en los últimos años a un aumento en la producción animal intensiva y un incremento en las condiciones medioambientales exigidas, ligadas a la actividad pecuaria. En las explotaciones ganaderas los residuos orgánicos se utilizaban como abono para los cultivos, no obstante, el volumen de aplicación de residuos por hectárea está limitado por el *Real Decreto 261/1996 sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias*. El aumento de dichos residuos ha generado un desequilibrio medioambiental, ya sea porque no disponen de área de cultivo suficiente próxima a la explotación, la disminución en la actividad agrícola actual o el aumento del tamaño de las explotaciones. Es precisamente el aumento de producción, uno de los principales motivos que ha provocado un incremento en la contaminación de la atmósfera, el suelo y las aguas (superficiales y de los acuíferos) debido principalmente al purín generado en las explotaciones, su manejo y almacenamiento. La calidad y composición de dichos purines determinarán las emisiones contaminantes.

La minimización de las emisiones de gases en las granjas porcinas es actualmente, un factor que está adquiriendo una gran importancia en España en los últimos años, sobre todo preocupa de manera significativa el contenido de amoniaco. Los MTDs establece unos umbrales de emisiones anuales y una serie de recomendaciones, que ya están siendo de obligado cumplimiento para las nuevas construcciones y se está implantando en las explotaciones existentes. Se entiende como MTDs: “**La fase más eficaz y avanzada de desarrollo de las actividades y de sus modalidades de explotación, que demuestren la capacidad práctica de determinadas técnicas para constituir, en principio, la base de los valores límite de emisión destinados a evitar o, cuanto ello no sea posible, reducir en general las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente y de la salud de las personas**” (<https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2016/12/16/1>).

La Resolución de la dirección general de calidad y evaluación ambiental de aprobación del inventario nacional de emisiones a la atmósfera, para la serie 1990-2019 (Edición 2021) de acuerdo con el artículo 7.1.f) del **Real Decreto 500/2020, de 26 de abril**, en referencia a las *Proyecciones de Emisiones a la Atmósfera* (SEI) de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos y de acuerdo con el cumplimiento marco de las obligaciones adquiridas por España, en el marco de la normativa comunitaria e internacional, de determinar anualmente las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos, se resumen las emisiones totales nacionales para el año 2019

(edición del Inventario Nacional de 2021) en la **Tabla 3.5.**, junto con los datos obtenidos en 2020:

Tabla 3.5. Emisiones totales de gases de efecto invernadero y principales contaminantes atmosféricos a nivel nacional de 2019 y 2020. (Inventario Nacional de emisiones de gases efecto invernadero- Ministerio para la transición ecológica. <https://www.miteco.gob.es>)

GAS EMISOR	UNIDADES kilotoneladas (kt)	
	2020	2019
Dióxido de azufre (SO_x)	127	165
Óxido de nitrógeno (NO_x)	693	716
Compuestos orgánicos volátiles (COV)	554	621
Amoniaco (NH_3)	483	474
$\text{CO}_2\text{-eq}$ brutas sin LULUCF	271.506	314.529
$\text{CO}_2\text{-eq}$ netas con LULUCF	234.894	276.952

La decisión de ejecución (UE) 2017/302 de la comisión de 15 de Febrero de 2017 establece, de acuerdo con las conclusiones de las MTDs, que estas sean las referencias para la obtención de permisos para las instalaciones, recogidas en el capítulo II de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y el Consejo, respecto a la cría intensiva de aves de corral o de cerdos, y las autoridades competentes deben fijar los valores límite de emisión que garanticen las emisiones de la explotación, y que en condiciones normales de funcionamiento, no superen los niveles asociados a las mejores técnicas disponibles que se establece en las conclusiones sobre las MTDs.

Los niveles de emisiones atmosféricos asociados a las MTDs (**Tabla 3.6.**), se refieren a masa de sustancias emitidas por plaza de animal, de acuerdo con todos los ciclos de cría realizados durante un año (es decir, kg de sustancia/plaza/año) y en condiciones estándar.

Tabla 3.6. Niveles establecidos de amoniaco asociados a las MTDs (*Decisión de ejecución (UE) 2017/302 de la comisión de 15 de febrero de 2017*)

Categoría animal	NEA-MTD (kg $\text{NH}_3 \cdot \text{plaza}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$)
Cerdas en apareamiento y gestantes	0,2 - 2,7
Cerdas en lactación (lechones incluidos)	0,4 - 5,6
Lechones destetados	0,03 - 0,53
Cerdos de engorde	0,1 - 2,6

El Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) ha considerado que el Registro General de MTDs puede ser una herramienta de gran utilidad para el sector ganadero en España, y a pesar de que las emisiones atmosféricas de una granja son bastante difusas, y de que todavía se está estudiando su medición y cuantificación, en enero de 2022 empezó a ser obligatorio su registro de acuerdo con unos niveles de emisión base, que establece MARM para el *Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR)* (**Tabla 3.7.**, **Tabla 3.8.** y **Tabla 3.9.**).

Tabla 3.7. Cuadro de cálculo de emisiones de amoniaco volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>)

CATEGORÍAS	EMISIÓN DE AMONIACO (kg NH ₃ – N/plaza y año)
Lechones de 6 a 20 kg	0,4194
Cerdos de 20 a 50 kg	2,1180
Cerdos de 50 a 100 kg	3,0036
Cerdos de 20 a 100 kg	2,5623
Madres con lechones de 0 a 6 kg	5,2981
Madres con lechones hasta 20 kg	6,3579
Cerdas de reposición	3,0036
Cerdas en ciclo cerrado	20,3442
Verracos	6,3559

Tabla 3.8. Cuadro de cálculo de emisiones de metano por fermentación entérica volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>)

CATEGORÍAS	EMISIÓN DE METANO (kg CH ₄ – N/plaza y año)
Lechones de 6 a 20 kg	1,2
Cerdos de 20 a 50 kg	1,2
Cerdos de 50 a 100 kg	1,2
Cerdos de 20 a 100 kg	1,2
Madres con lechones de 0 a 6 kg	1,5
Madres con lechones hasta 20 kg	1,5
Cerdas de reposición	1,5
Cerdas en ciclo cerrado	10,5
Verracos	1,5

Tabla 3.9. Cuadro de cálculo de emisiones de óxido nitroso por gestión de estiércol volatilizado desde el establo preparado por MARM para el PRTR (<https://prtr-es.es>)

CATEGORÍAS	EMISIÓN DE AMONIACO (kg N ₂ O – N/plaza y año)
Lechones de 6 a 20 kg	0,000445
Cerdos de 20 a 50 kg	0,002249
Cerdos de 50 a 100 kg	0,003189
Cerdos de 20 a 100 kg	0,002721
Madres con lechones de 0 a 6 kg	0,005625
Madres con lechones hasta 20 kg	0,006751
Cerdas de reposición	0,003189
Cerdas en ciclo cerrado	0,021601
Verracos	0,006749

Este Real Decreto de ordenación del sector porcino (RD 306/2020) establece estrategias para reducir las emisiones de gases en las granjas. Las presentes conclusiones sobre las MTDs se refieren a las siguientes actividades y procesos agropecuarios, en aquellas explotaciones que dispongan de más de 2.000 plazas para cerdos de cría (de más de 30 kg) o explotaciones con más de 750 plazas para cerdos, son:

- Una estrategia nutricional de acuerdo con una alimentación multifase y una reducción del contenido de proteína bruta de la alimentación.
- cría de cerdos (alojamiento)

- recogida y almacenamiento de purines
- procesado del purín
- aplicación al campo del estiércol
- almacenamiento de animales muertos

Concretamente, la *MTD30* establece que, con el fin de reducir las emisiones de amoniaco a la atmósfera en cada nave de cerdos, se debe utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas que se indican a continuación en la **Tabla 3.10.** *MTD30*.

Aunque si se profundiza en el contenido de las “*Best Available Techniques*” (BAT), en la *MTD8*, *MTD13* y especialmente en las técnicas emergentes (**Tabla 3.10.**) se encuentran aplicaciones detalladas en la presente Tesis Doctoral que se corroboran como técnicas de reducir emisiones de amoniaco.

Tabla 3.10. Especificaciones de la *MTD30*, *MTD13*, *MTD 8* y *Técnicas Emergentes (Best Available Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU)*

MTD 30	a	Un foso profundo (en el caso de un suelo total o parcialmente enrejado) solo si se utiliza en combinación con una medida de mitigación adicional, por ejemplo: - una combinación de técnicas de gestión nutricional; - sistema de limpieza de aire; - reducción del pH de la suspensión; - enfriamiento de lodos.
	b	Enfriamiento de lodos.
	c	Uso de un sistema de limpieza de aire, como: 1. Lavador de ácido húmedo; 2. Sistema de limpieza de aire de dos o tres etapas; 3. Biodepurador (o filtro biopercolador).
	d	Acidificación de lodos.
	e	Uso de bolas flotantes en el canal de estiércol.
MTD13	Con el fin de prevenir o, cuando no sea factible, reducir las emisiones de olor y/o el impacto del olor de una explotación, la MTD consiste en utilizar una combinación de las técnicas que se indican a continuación. Utilice un sistema de alojamiento que implemente uno o una combinación de los siguientes principios: - reducir la temperatura del estiércol (p. ej., mediante enfriamiento del purín) y del ambiente interior. ...	
	f	Para utilizar la energía de forma eficiente en una explotación, la MTD consiste en el uso de bombas de calor para recuperación de calor.
TÉCNICAS EMERGENTES	Tubos de refrigeración de lodos Se logra una reducción de la temperatura del lodo (generalmente menos de 12°C) instalando un sistema de enfriamiento colocado sobre el lodo, sobre el piso de concreto o colado en el piso. La intensidad de refrigeración aplicada puede ser de 10 W/m ² a 50 W/m ² para cerdas gestantes y cerdos de engorde alojados en suelos parcialmente enrejados. El sistema consta de tuberías en las que circula un refrigerante o agua. Las tuberías están conectadas a un dispositivo de intercambio de calor para recuperar energía que puede usarse para calentar otras partes de la granja. El pozo o los canales deben vaciarse con frecuencia debido a una superficie de intercambio relativamente pequeña de las tuberías.	

Técnicas para el uso eficiente de la energía: Utilización de bombas de calor para la recuperación de calor. El calor se absorbe de varios medios (agua, purines, suelo, aire, etc.) y se transfiere a otro lugar, a través de un fluido que circula en un circuito sellado según el principio del ciclo de refrigeración inverso. El calor se puede utilizar para producir agua desinfectada o para alimentar un sistema de calefacción o un sistema de refrigeración. La técnica puede absorber calor de varios circuitos, como sistemas de refrigeración de lodos, energía geotérmica, agua de lavado, reactores de tratamiento biológico de lodos o gases de escape de motores de biogás.

De acuerdo con la aprobación de este Decreto, las MTD adoptadas para granjas nuevas serán:

- Reducir el contenido de proteína bruta de la alimentación.
- **En los alojamientos reducir las emisiones de amoniaco mínimo un 60%.**
- En el almacenamiento exterior del purín reducir un mínimo del 80% las emisiones de amoniaco.

Para granjas de más de 120 UGM las medidas adoptadas deben ser (**Fig. 3.29.**):

- Un sistema de alimentación multifase con reducción del contenido de proteína bruta.
- Cumplir al menos una de las siguientes técnicas:
 - . Vaciados de las fosas de alojamiento de purines al menos 2 veces a la semana con el objeto de reducir al menos un 30% de las emisiones de gases contaminantes.
 - . Cubrir las balsas de purines en donde no se genere espontáneamente la costra que cubre la superficie, con técnicas que reduzcan las emisiones de gases al menos en un 40% con respecto a la referencia.
 - . Cualquiera otra técnica descrita en las MTDs que reduzca las emisiones de gases contaminantes equivalentes a los apartados anteriores.



Fig. 3.29. Ejemplos de reducción de amoníaco en una granja que cumplen las MTDs (Fuente: Seminario online de Emisiones Porcinas, 2021)

El último apartado de la **Fig. 3.29.** nos lleva a detallar el caso “b” anteriormente citado, uno de los apartados de la MTD30 que va a ser un factor determinante en la reducción de emisiones de gases contaminantes, con un porcentaje de reducción que aumenta a medida que la demanda de calor es mayor, pudiendo alcanzar valores superiores a los establecidos por la normativa, en las explotaciones de estudio del presente informe.

Existen otras técnicas para la reducción de las emisiones, como son el uso de fosas independientes en alojamientos de lactancia, suelos parcialmente enrejillados, etc. (**anexo 11.5**), los valores anteriores citados hablan únicamente de porcentaje de reducción de

emisiones en amoniaco, debido en gran medida al incumplimiento de los compromisos adquiridos por España con los Estados Miembros de reducir las emisiones de amoniaco en un 3% respecto a los valores de 2005. Por otra parte, apenas hay estudios de las emisiones de otros gases como el metano, que también deberían ser consideradas.

La técnica de refrigeración del purín de acuerdo con valores estimativos se corresponde con un 45% menos de emisiones de amoniaco, apenas se disponen de datos para corroborarlo, aunque en esta tesis se intentarán dar, por primera vez en España, datos reales que corroboren dicha reducción. Por otro lado, en la información facilitada por el Ministerio en el *Informe Anual de Implantación de MTDs en el sector porcino de 2021*, se han realizado cambios significativos respecto a este apartado, dado que en la versión anterior se hablaba de la refrigeración del purín mediante aguas subterráneas y en la actualidad, ya no se especifica su uso, posiblemente por falta de conocimiento, indicando únicamente que es una técnica poco utilizada. La presente Tesis Doctoral se fundamenta en la aplicación de la energía geotérmica, utilizando la termoactivación de estructuras de una granja para aprovechar la energía térmica del terreno y estructuras de la granja con el fin de producir calor y/o frío en distintas zonas de la granja, tal y como indica el documento “*Best Available Techniques*”

3.4.1.1 Emisiones nitrogenadas en una explotación ganadera

La incidencia del N sobre el medioambiente está relacionada con los procesos vitales naturales del animal, el modo en que metabolizan el alimento, una vez absorbida la proteína sufre un proceso metabólico, de manera que una fracción formará parte de los tejidos o producciones del animal (crecimiento, leche, fetos, etc.) mientras que el resto se cataboliza eliminándose por la orina en forma de urea que pasa al purín, siendo susceptible de degradarse hasta amoniaco. Por otro lado, la proteína que no se absorbe en el aparato digestivo es eliminada por las heces en forma de nitrógeno orgánico contenido en el purín. El ciclo se completa con el proceso de desnitrificación donde el ion nitrato del agua y el suelo se transforma en nitrógeno molecular (López, 2012). En condiciones de anaerobiosis también se genera óxido nitroso tras depositarse el amoniaco en el suelo (**Fig. 3.30.**).

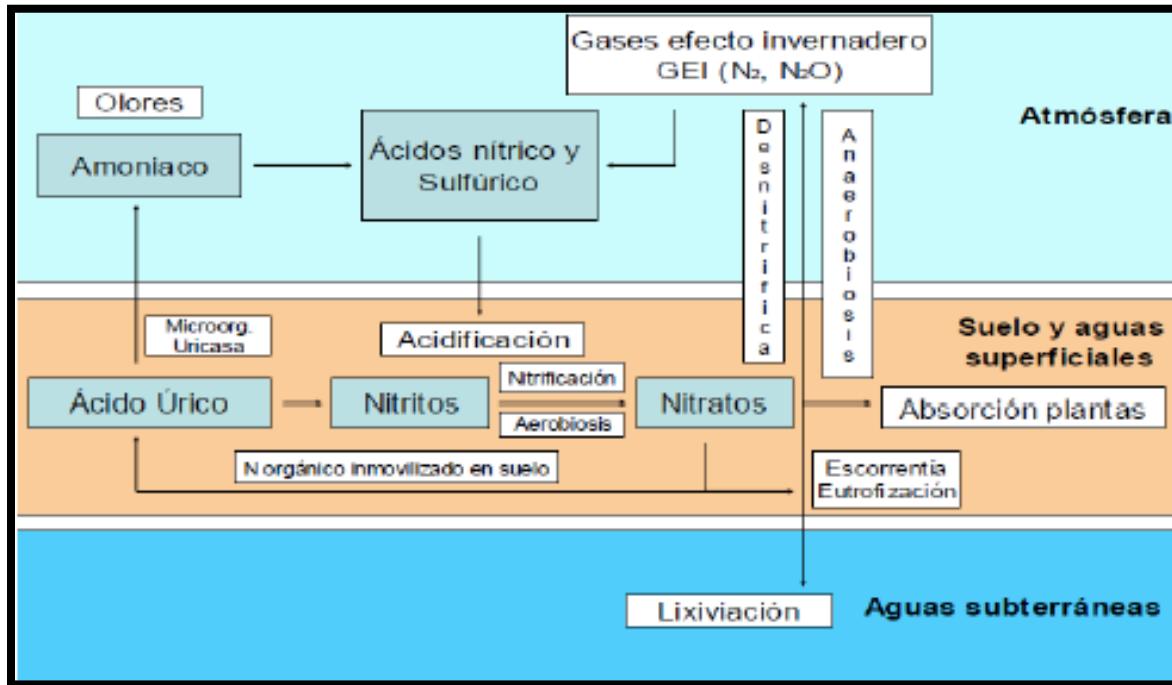


Fig. 3.30. Ciclo del nitrógeno. Principales transformaciones y emisiones ambientales (López, 2012)

El N excretado por los animales es diferente según la vía de excreción. Las emisiones de N en un cerdo representan el 51% en orina y el 16% en heces, y eso significa que más del 67% del nitrógeno está en forma ureica, y ese porcentaje se puede reducir gestionando la alimentación y otras técnicas que se explicarán más adelante. En la **Fig. 3.31.** se detalla el porcentaje de emisiones de nitrógeno y amoniaco en un animal.

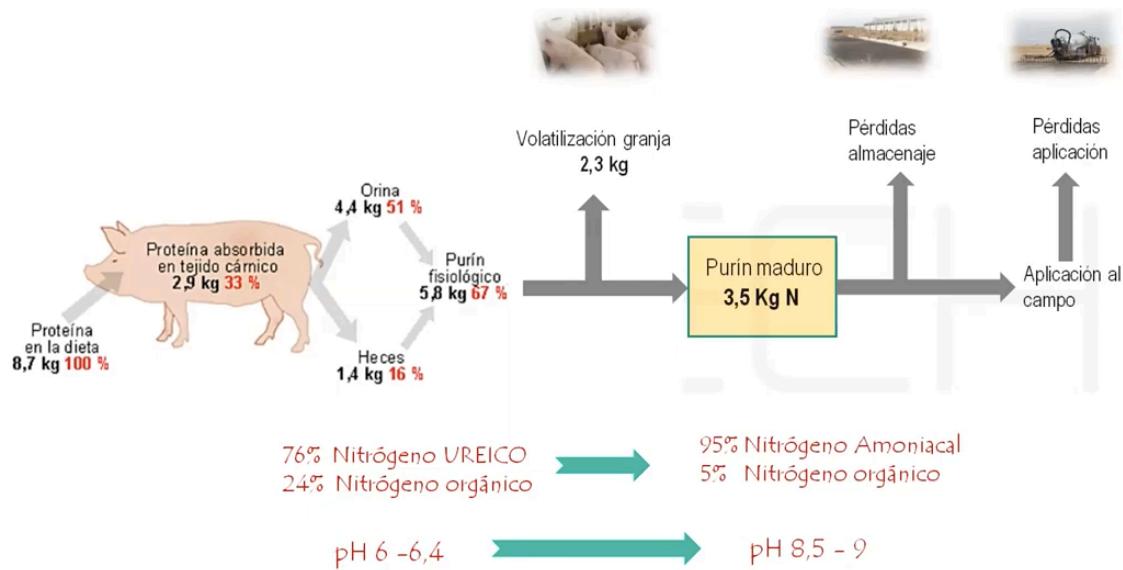


Fig. 3.31. Consumo, retención y excreta de nitrógeno en un cerdo (Fuente: Seminario online de Emisiones Porcinas, 2021)

Pero lo más característico es que más del 40% del N que emite un purín lo emite en su primer o segundo día. El purín procedente de la orina como el N orgánico procedente de las heces, se irá transformando a N amónico que se integrará en el ciclo del N, ya sea por

emisión de aire o al suelo. El ion amonio (NH_4^+) está en equilibrio químico con el amoniaco (NH_3) (Fig. 3.32.) que, al ser un gas, puede volatilizarse a la atmósfera con facilidad. Este equilibrio depende del pH, pH alcalino favorece la formación de amonio (no volátil) mientras que pH ácido favorece la formación amoniaco (volátil); otros factores como la temperatura del purín, la temperatura ambiental, la ventilación, el contenido de amonio en el purín y la superficie en contacto con el aire también condicionan este equilibrio. Este proceso se repite continuamente mientras se genera el purín y a lo largo de la recogida, almacenamiento y aplicación del mismo a la agricultura.

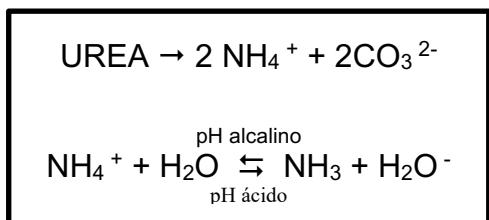


Fig. 3.32. Reacciones de transformación de urea a amoniaco (López 2012)

La variación de la concentración de NH_3 en función de la temperatura (Fig. 3.34.) y el pH (Fig. 3.33.) determina sus emisiones, de manera que una mayor temperatura supone un **aumento significativo** de amoniaco, mientras que, si se lleva a cabo un proceso de acidificación con el uso de aditivos químicos como el ácido sulfúrico, no se formaría amoniaco, quedando el ion amonio soluble en agua.

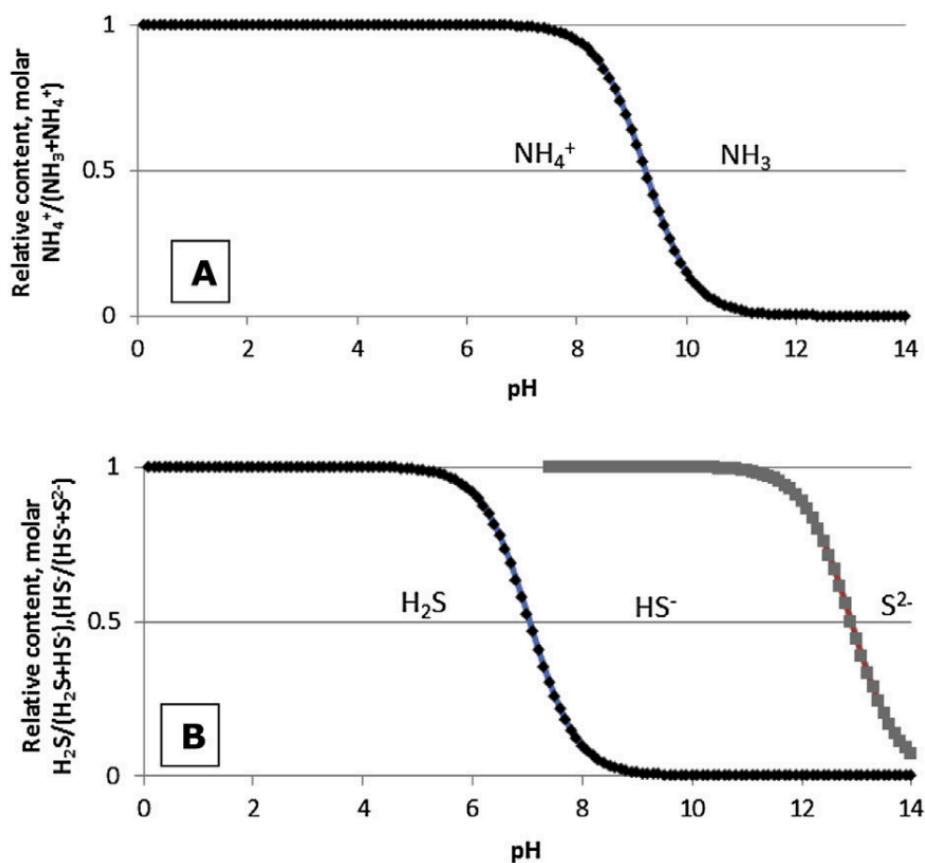


Fig. 3.33. Efecto del pH de la suspensión sobre un contenido relativo de amoniaco y tras la aplicación de sulfuro (Fangueiro, D., Hjorth, M. y Gioelli, F.; 2015)

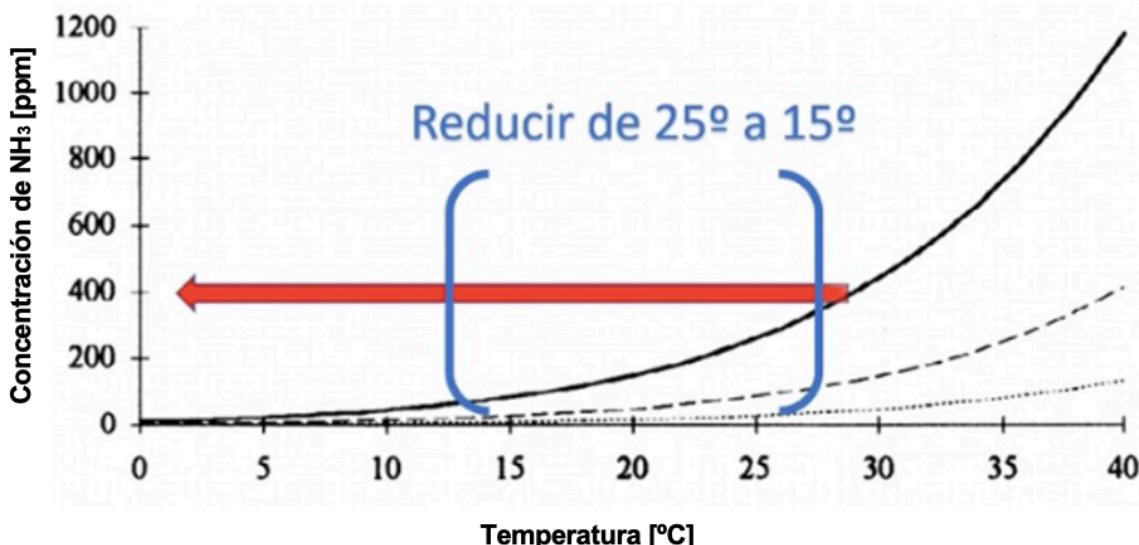


Fig. 3.34. Concentración de NH_3 en función de la temperatura (*Saha et al., 2010*)

Otro factor que tiene gran relevancia y condiciona el confort de los animales en las salas interiores es la ventilación que variará en función de la época estival, las concentraciones de amoniaco en salas con ventilación baja son más elevadas que las salas que presentan una mayor ventilación (**Fig. 3.35.**).

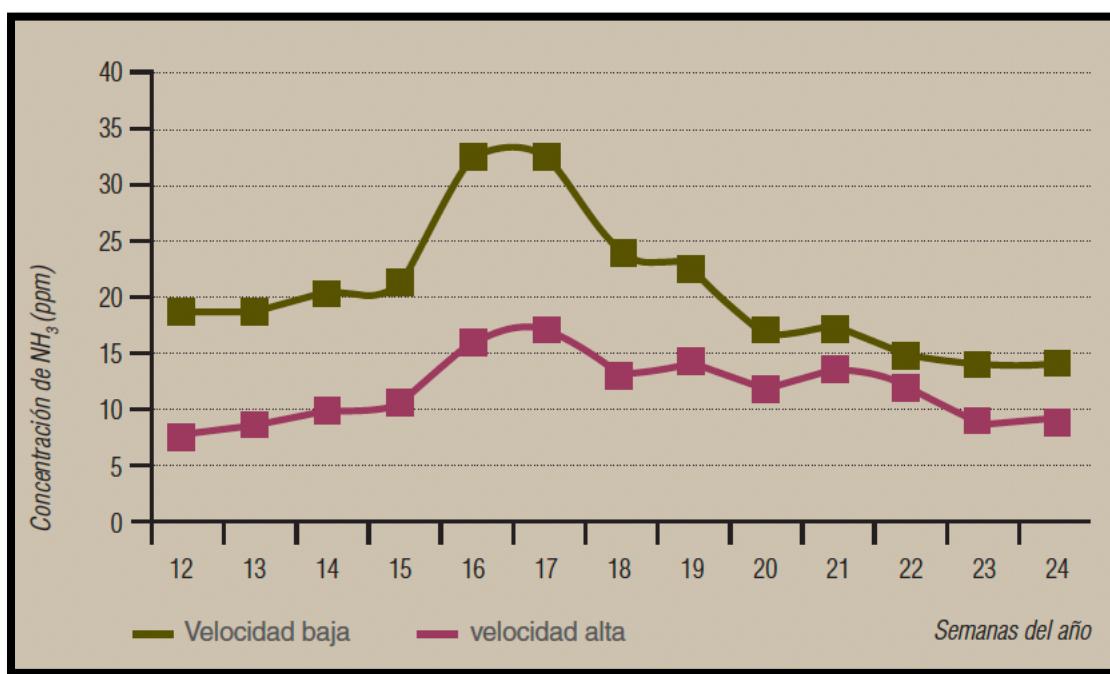


Fig. 3.35. Evolución de la concentración de amoniaco en función de la ventilación (*Cartanyà, J., Blanco, G., Sancho, V., Ferrer, N., & Babot, D.; 2021*)

Por otro lado, hay que tener en cuenta que, tanto en las fosas de purines de las salas interiores, como en las balsas de almacenamiento exteriores, el amoniaco disuelto se volatiliza a la atmósfera rápidamente (**Fig. 3.36.**) debido a la exposición de los purines con el

aire, a la velocidad del aire y a la existencia de una mayor superficie en contacto de purín con el ambiente.

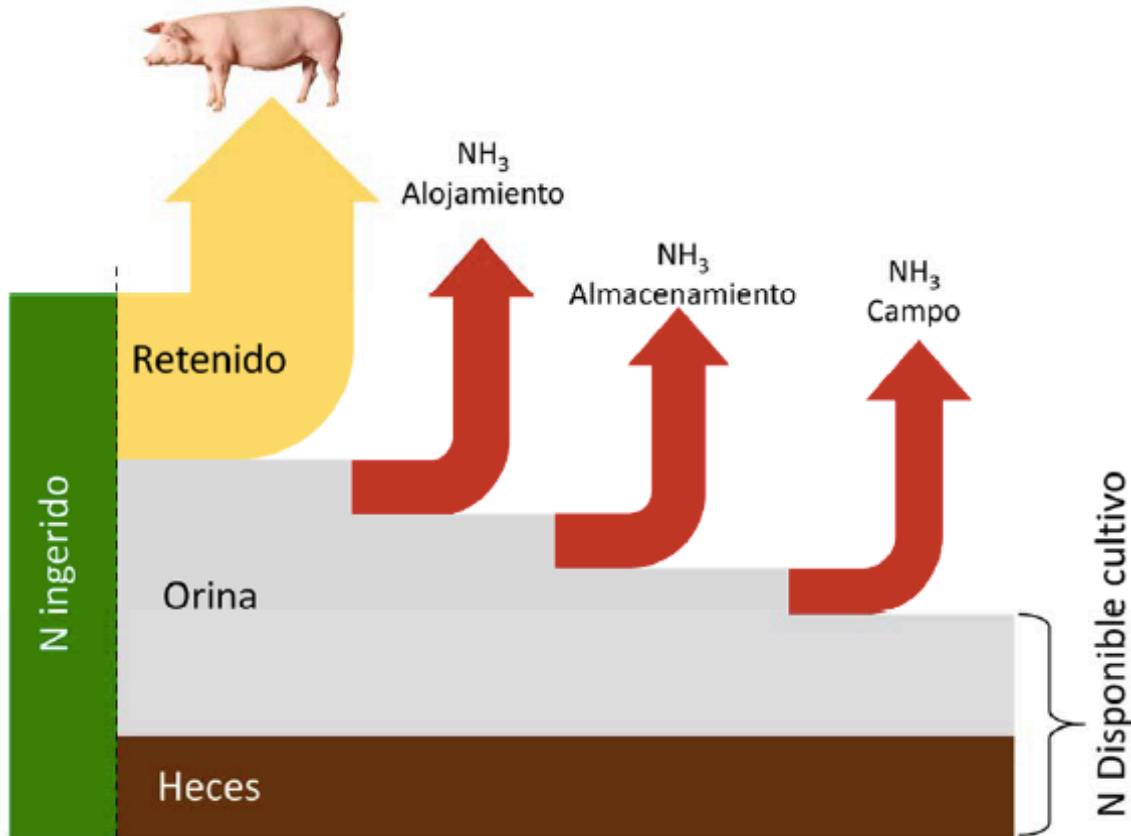


Fig. 3.36. Balance de N ingerido y su implicación de emisión a la atmósfera (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).

En España y de acuerdo con el inventario nacional de emisiones de amoniaco emitidos a la atmósfera del año 2017 (**Fig. 3.37.**), la ganadería se corresponde con la actividad económica que mayor cantidad emite, el valor que se alcanzó en 2019 fue de 79,61% del total de emisiones.



Fig. 3.37 Sectores que contribuyen a la emisión de NH_3 (MITECO, 2019)

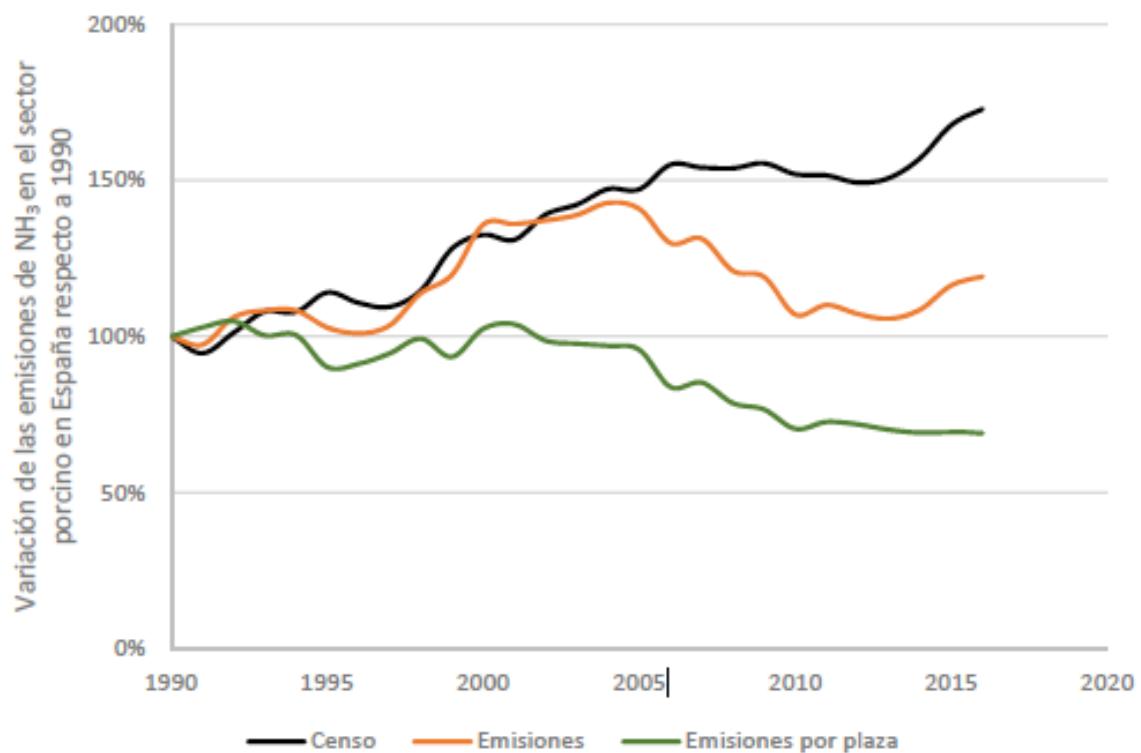


Fig. 3.38. Evolución del porcentaje de NH_3 en España en la última década de acuerdo con diferentes parámetros (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).

Tal y como se ha indicado la evolución de estas emisiones ha estado condicionada por la variación del censo porcino (**Fig. 3.38.**) y las mejoras realizadas en las explotaciones para favorecer una productividad eficiente. Algunos ejemplos de las reducciones de amoníaco obtenidas aparecen en la **Tabla 3.11.** y **Tabla 3.12.**

Tabla 3.11. Ejemplos de reducción de amoniaco en cerdas aplicando las MTDs (*Best Available Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*)

Efectos sobre la calidad del aire	Cerdas en apareamiento y gestación %↓ NH ₃	Cerdas lactantes %↓ NH ₃
Retirada frecuente con sistema de vacío	25	-
Canales de agua y purín	-	50
Retirada frecuente con lavado a chorro	40	-
Colector de estiércol	-	65
Refrigeración superficie purín	>50	>50
Fosa con paredes inclinadas	45	-
Bolas flotantes	25	25
Sistemas depuración de aire	70 – 90	70 – 90

Tabla 3.12. Ejemplos de reducción de amoniaco en lechones aplicando las MTDs (*Best Available Techniques (BAT) Industrial Emissions Directive 2010/75/EU*)

Efectos sobre la calidad del aire	Lechones destetados %↓ NH ₃	Lechones cebo %↓ NH ₃
Emparrillado parcial y fosa reducida	25 – 35	15 -20
Retirada frecuente con sistema de vacío	25	25
Emparrillado parcial y lavado a chorro o canales (en cebo)	65	40
Emparrillado parcial y acidificación	60	-
Emparrillado parcial y refrigeración	75	45
Retirada frecuente con lavado a chorro	-	40
Emparrillado parcial y paredes inclinadas	65	60 – 65
Bolas flotantes	25	25
Sistemas depuración de aire	70 – 90	70 – 90
Emparrillado parcial y cinta en V	-	70

De acuerdo con los cálculos emitidos por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación los datos de emisiones de amoniaco por gestión de estiércol serían (**Tabla 3.13.:**)

Tabla 3.13. Emisión de Amoniaco por gestión de estiércol (*código SNAP 97-2: 1005*) (*EPER-España*)

Categorías	nº de plazas A	Volatilización Establo		Volatilización Almacenamiento exterior		Volatilización de Abonado	
		kgNH ₃ -N		kgNH ₃ -N		kgNH ₃ -N	
		B	C = A x B	D	E = D x A	F	G= F x A
Lechones de 6 a 20 kg.		0,4194		0,2969		0,1780	
Cerdos de 20 a 50 kg.		2,1180		1,49992		0,8991	
Cerdos de 50 a 100 kg.		3,0036		2,1261		1,2750	
Cerdos de 20 a 100 kg.		2,5623		1,8137		1,0877	
Madres con lechones de 0 a 6 kg.		5,2981		3,77503		2,2491	

Madres con lechones hasta 20 kg.		6,3579		4,5004		2,6989	
Cerdas de reposición		3,0036		2,1261		1,2750	
Cerdas en ciclo cerrado		20,3442		14,4007		8,6361	
Verracos		6,3559		4,4991		2,6981	

3.4.1.2 Emisiones de metano en una explotación ganadera

El metano en una explotación porcina se genera debido a procesos anaerobios, tanto en el almacenamiento de los purines (balsas) como en la digestión animal. La fermentación entérica es un proceso que se produce en el aparato digestivo de determinados animales, debido a la descomposición de los alimentos ingeridos, que genera la expulsión de metano (CH_4) por el extremo del tracto digestivo. Los mecanismos principales aparecen detallados en la Fig. 3.39. que se muestra a continuación.

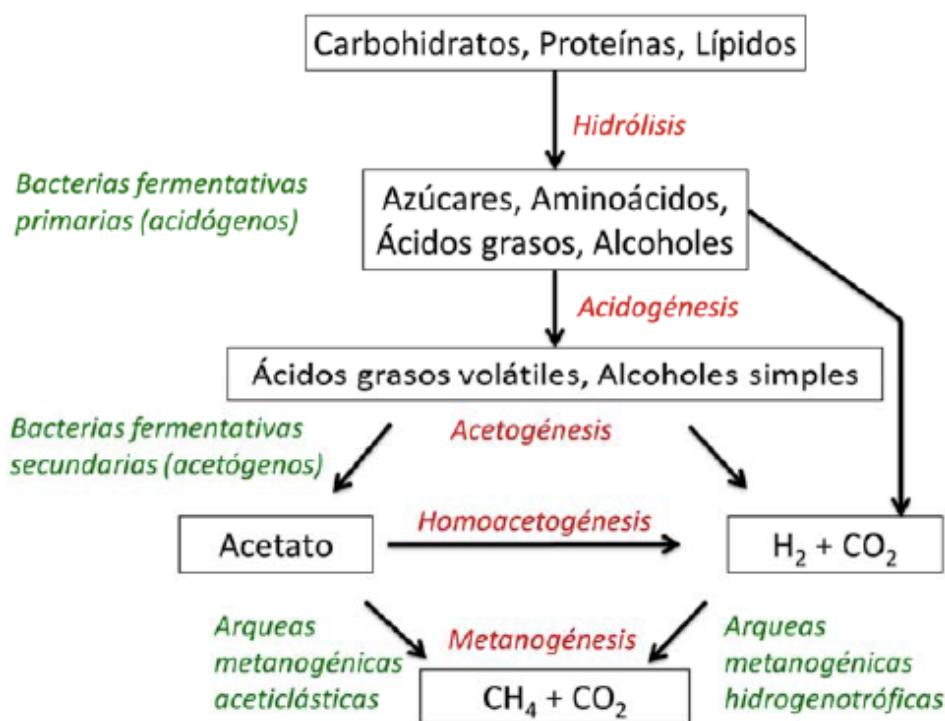


Fig. 3.39. Reacciones de degradación de compuestos orgánicos que generan metano (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020).

Los animales rumiantes como la vaca serían los que mayor cantidad de emisiones de metano generaría frente a las aves que apenas emiten, el cerdo es un animal con un aparato digestivo con un sólo compartimento, al disponer de una mayor limitación microbiana en el estómago se situaría en unos valores muy inferiores de emisiones de metano respecto a los rumiantes, además se ha ido reduciendo debido a la adecuación de los ingredientes de su dieta, sobre todo su contenido en fibra, para hacer más rentable su aprovechamiento energético y nutritivo, favoreciéndose la hidrólisis frente a la fermentación anaeróbica siempre controlando la flora intestinal del animal (Fig. 3.40.). Es precisamente la mejora en la alimentación del animal lo que ha permitido una disminución de emisiones de CH_4 en España en los últimos años.

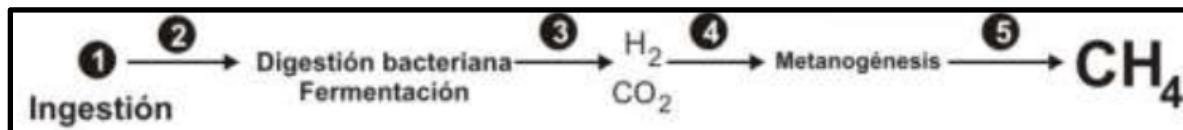
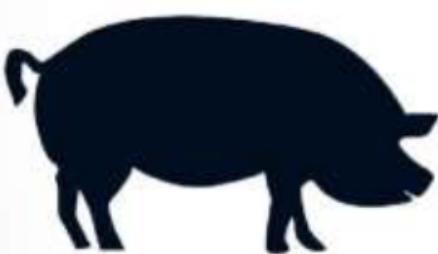


Fig. 3.40. Proceso de fermentación entérica en animales (MITECO)

El metano que excreta el animal está relacionado con fuentes de calor a través de las heces, la orina y el propio calor que desprende el animal. Y del mismo modo que ocurre con el amoniaco, el porcentaje de metano depende de varios factores como son: cantidad de materia orgánica, composición de las deyecciones, la temperatura y el tiempo y forma de almacenamiento.

La cantidad de metano que se produce por cada kilogramo de materia orgánica es lo que se conocer como potencial de emisiones de metano (BMP), actualmente el BMP en los purines de cerdo se encuentra entre 390 y 480 ml de metano por gramo de sólido volátil, aunque diversos estudios han demostrado que, esta cantidad varía en función de composición de la deyección y consecuentemente, tal y como se ha comentado de la dieta, que es diferente acorde a la edad de crecimiento del animal, de manera que los cebaderos serán las granjas que más alto tengan el BMP (Fig. 3.42.).

Por otro lado, la temperatura favorece la composición bacteriana y consecuentemente el aumento del contenido de metano al igual que el tiempo (Fig. 3.41.), de manera que cuanto mayor es el tiempo de acumulación del purín mayor será la concentración de BMP. A temperaturas inferiores a 15°C la producción de metano es baja, pero **aumenta exponencialmente** a medida que la temperatura sube por encima de 15°C (Chadwick et. al. 2011).

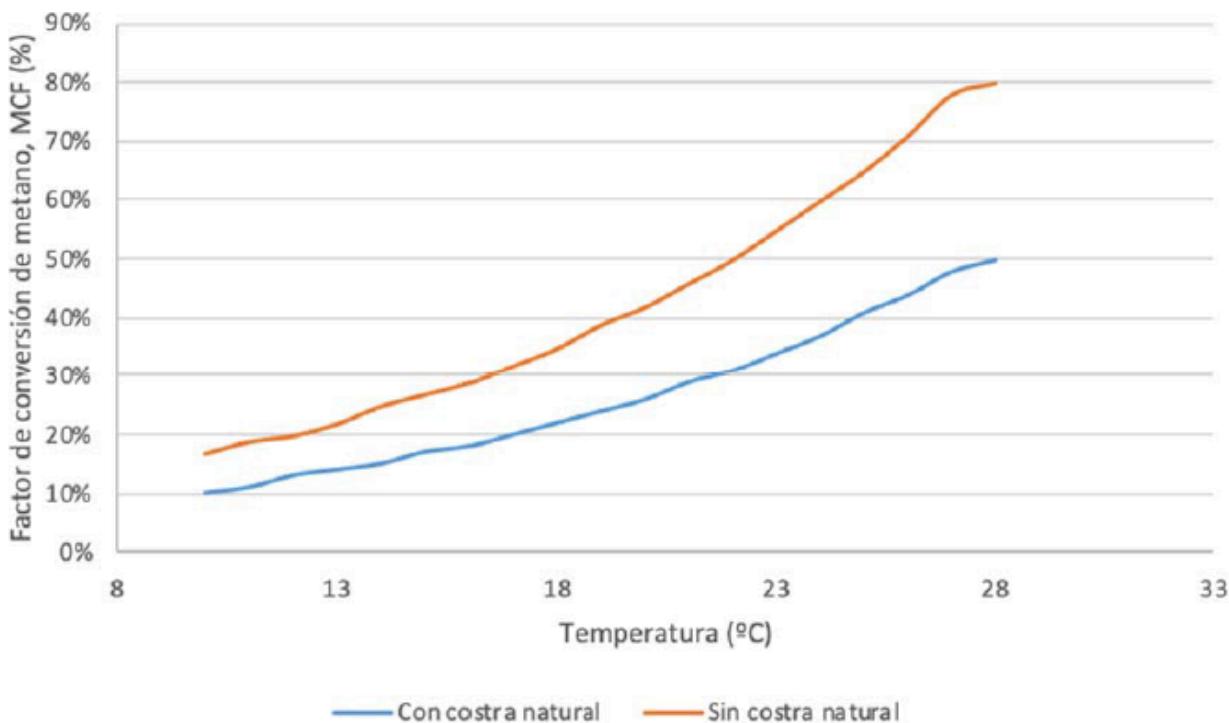


Fig. 3.41. Evolución de la concentración de BMP en función de la temperatura (Fuente: IPCC, 2019).

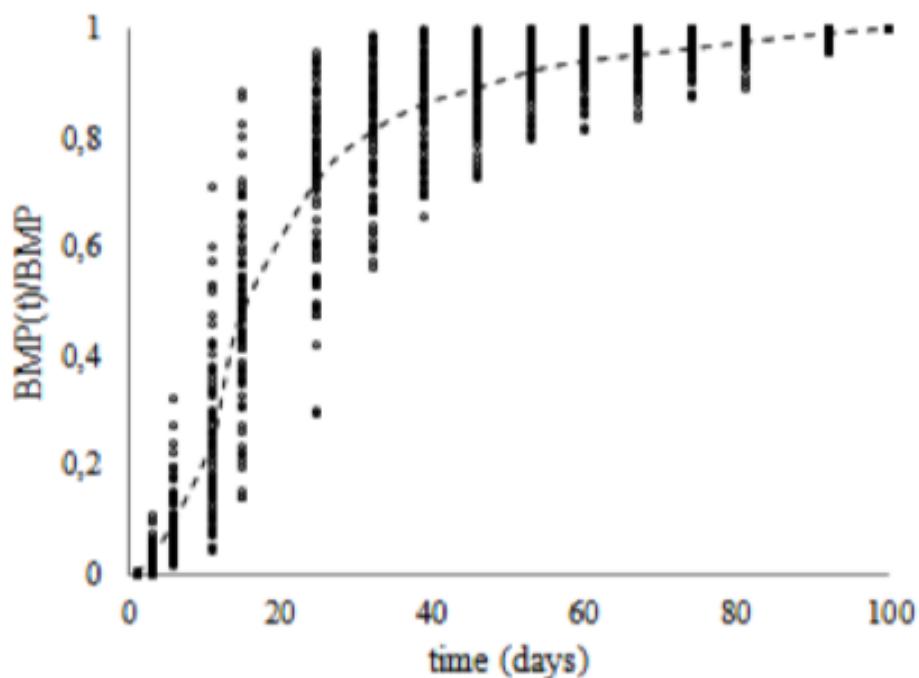


Fig. 3.42. Evolución de la concentración de BMP en función del tiempo (Antezana et. al., 2020).

Este metano que se genera de manera espontánea también podría controlarse como *biogestores* de manera que el CH₄ se convertiría en fuente de energía renovable obteniéndose biogás y generándose fertilizantes más estables.

Las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol aparecen en la **Tabla 3.14**, mientras que las emisiones en los alojamientos por fermentación entérica se muestran

en la **Tabla 3.15.** de acuerdo con el PRTR.

Tabla 3.14. Emisión de Metano por gestión de estiércol (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España)

Categorías	N.º de plazas A	Excreción media de sólidos volátiles	Peso específico del metano	Producción potencial de metano	Factor de conversión de metano provincial	Factor de emisión	Emisión de metano
		kg	kg/m ³	kg/m ³ VS	E	kg CH ₄ /plaza F= (BxCxDxE)	kg CH ₄ G= A x F
		B	C	D			
Lechones de 6 a 20 kg.		28,93	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	0,1780	
Cerdos de 20 a 50 kg.		76,78	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	0,8991	
Cerdos de 50 a 100 kg.		166,92	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	1,2750	
Cerdos de 20 a 100 kg.		133,54	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	1,0877	
Madres con lechones de 0 a 6 kg.		445,12	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	2,2491	
Madres con lechones hasta 20 kg.		445,12	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	2,6989	
Cerdas de reposición		178,05	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	1,2750	
Cerdas en ciclo cerrado		1.185,14	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	8,6361	
Verracos		445,12	0,67	0,45	<i>Tabla I</i>	2,6981	

Tabla I

Provincia	Factor de conversión de metano	Provincia	Factor de conversión de metano
La Coruña	0,19819	Soria	0,19562
Lugo	0,19603	Valladolid	0,19603
Orense	0,19602	Zamora	0,19600
Pontevedra	0,20033	Madrid	0,19818
Asturias	0,19682	Albacete	0,20034
Cantabria	0,19817	Ciudad Real	0,20037
Álava	0,19602	Cuenca	0,19680
Guipúzcoa	0,19819	Guadalajara	0,19601
Vizcaya	0,19687	Toledo	0,20049
Navarra	0,19683	Alicante	0,20773
La Rioja	0,19681	Castellón de la Plana	0,20345
Huesca	0,19602	Valencia	0,20741
Teruel	0,19684	Murcia	0,20770
Zaragoza	0,19827	Badajoz	0,20742
Barcelona	0,19830	Cáceres	0,20351
Gerona	0,20031	Almería	0,20750
Lérida	0,19604	Cádiz	0,21291
Tarragona	0,20338	Córdoba	0,20763
Baleares	0,21270	Granada	0,20038
Ávila	0,19603	Huelva	0,21271
Burgos	0,19600	Jaén	0,20345
León	0,19562	Málaga	0,20759
Palencia	0,19550	Sevilla	0,21290
Salamanca	0,19683	Las Palmas	0,21970
Segovia	0,19602	Santa Cruz de Tenerife	0,21307

Tabla 3.15. Emisión de Metano por fermentación entérica (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España)

Categorías	N.º de plazas A	Factor de emisión kg CH ₄ /plaza B	Emisión de metano kg CH ₄ C= A x B
Lechones de 6 a 20 kg.		1,2	
Cerdos de 20 a 50 kg.		1,2	
Cerdos de 50 a 100 kg.		1,2	
Cerdos de 20 a 100 kg.		1,2	
Madres con lechones de 0 a 6 kg.		1,5	
Madres con lechones hasta 20 kg.		1,5	
Cerdas de reposición		1,5	
Cerdas en ciclo cerrado		10,5	
Verracos		1,5	

En definitiva, debido a la expansión más lenta del metano en comparación con otros gases emitidos en una granja y los lavados frecuentes en los interiores, se considera que las emisiones de metano se acumulan principalmente en las balsas exteriores.

3.4.1.3 Emisiones de óxido nitroso en una explotación ganadera

La formación de óxido nitroso es debida a la transformación microbiana del nitrógeno del purín, por el proceso de nitrificación y desnitrificación del amonio (**Fig. 3.43.**). Se generan en la propia instalación, aunque mayoritariamente aparece durante la aplicación del estiércol en el campo, y va a ser junto con el metano los gases de efecto invernadero generados en la explotación.

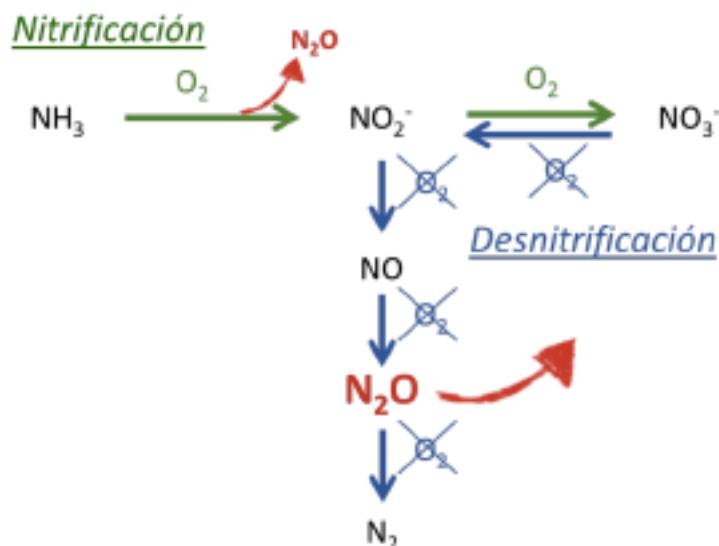


Fig. 3.43. Proceso de nitrificación y desnitrificación que generan la emisión de óxido nitroso (Wragge et. al., 2001).

Debido a las características determinadas en que se producen estos procesos, el porcentaje de óxido nitroso en una explotación ganadera no supera el 0,5% total de contaminantes atmosféricos procedentes del sector porcino (**Fig. 3.44.**).

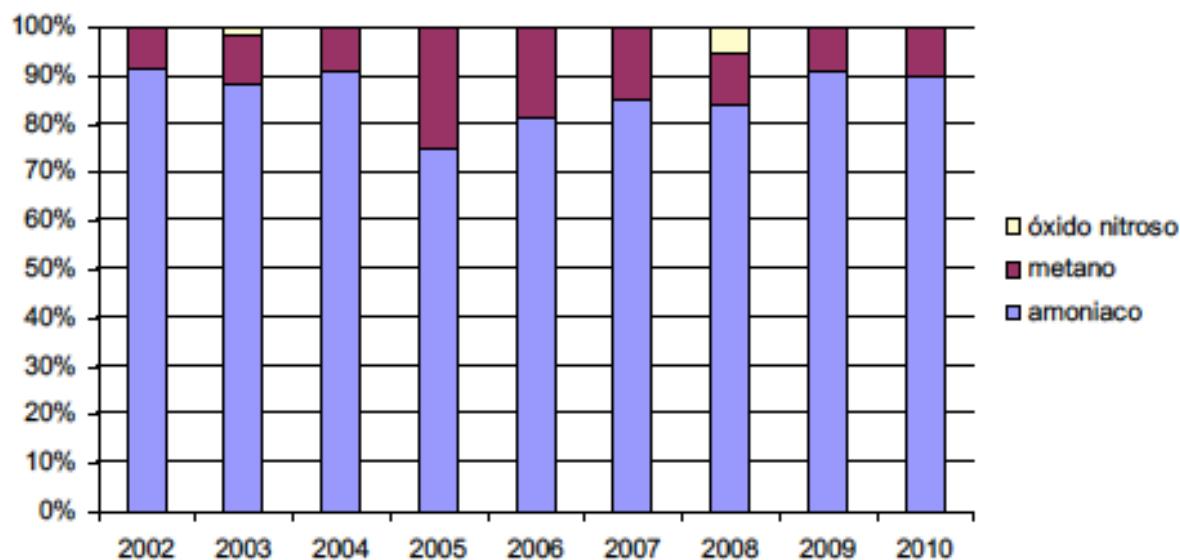


Fig. 3.44. Porcentaje de gases principales emitidos por una explotación porcina (PRTR España, 2012)

En la siguiente **Tabla 3.16.** se observan las emisiones de óxido nitroso por animal en el almacenamiento y en el abonado.

Tabla 3.16. Emisión de óxido nitroso por gestión de estiércol (código SNAP 97-2: 1005) (EPER-España)

Categorías	nº de plazas A	Emisiones de Óxido Nitroso en el almacenamiento		Emisiones de Óxido Nitroso en el abonado	
		kgN ₂ O-N		kgN ₂ O-N	
		H	I = H x A	J	K = J x A
Lechones de 6 a 20 kg.		0,000445		0,0067	
Cerdos de 20 a 50 kg.		0,002249		0,0337	
Cerdos de 50 a 100 kg.		0,003189		0,0478	
Cerdos de 20 a 100 kg.		0,002721		0,0408	
Madres con lechones de 0 a 6 kg.		0,005625		0,0843	
Madres con lechones hasta 20 kg.		0,006751		0,1012	
Cerdas de reposición		0,003189		0,0478	
Cerdas en ciclo cerrado		0,021601		0,3239	
Verracos		0,006749		0,1012	

3.4.1.4 Otras emisiones de gases en una explotación ganadera

El fósforo es un mineral fundamental presente en la alimentación del animal, que aparece en el pienso de manera orgánica e inorgánica, si se utilizan cereales ricos en fitasas (Frontela, C., Ros, G., & Martínez, C.; 2008). se favorece la digestibilidad y se reduce su excreción (Dourmad, J. Y., & Sève, B.; 1997). Esta eliminación, mayoritariamente por las heces, contribuye a la eutrofización o enriquecimiento de nutrientes del agua que provoca un

crecimiento añadido de las plantas acuáticas, lo que genera un desequilibrio ecológico del medio (Hernández, C., & Fernández, M. T.;2009).

Por último, las emisiones directas de CO₂ son debidas a procesos aeróbicos de degradación de compuestos orgánicos (la respiración de los animales, su metabolismo, ...) pero se consideran prácticamente despreciables a escala global en comparación con otras fuentes de emisión.

Este estudio se refiere a las emisiones generadas por el animal, no se detalla la huella de carbono generada por la utilización de agua ni electricidad en las explotaciones.

3.4.2 ¿Cómo afecta la ganadería al medio ambiente?

Las emisiones medioambientales de una granja, como hemos indicado anteriormente dependen principalmente de la producción del purín, y pueden resumirse en función de la actividad de alojamiento, el almacenamiento del purín y la gestión del mismo (Fig. 3.45.).

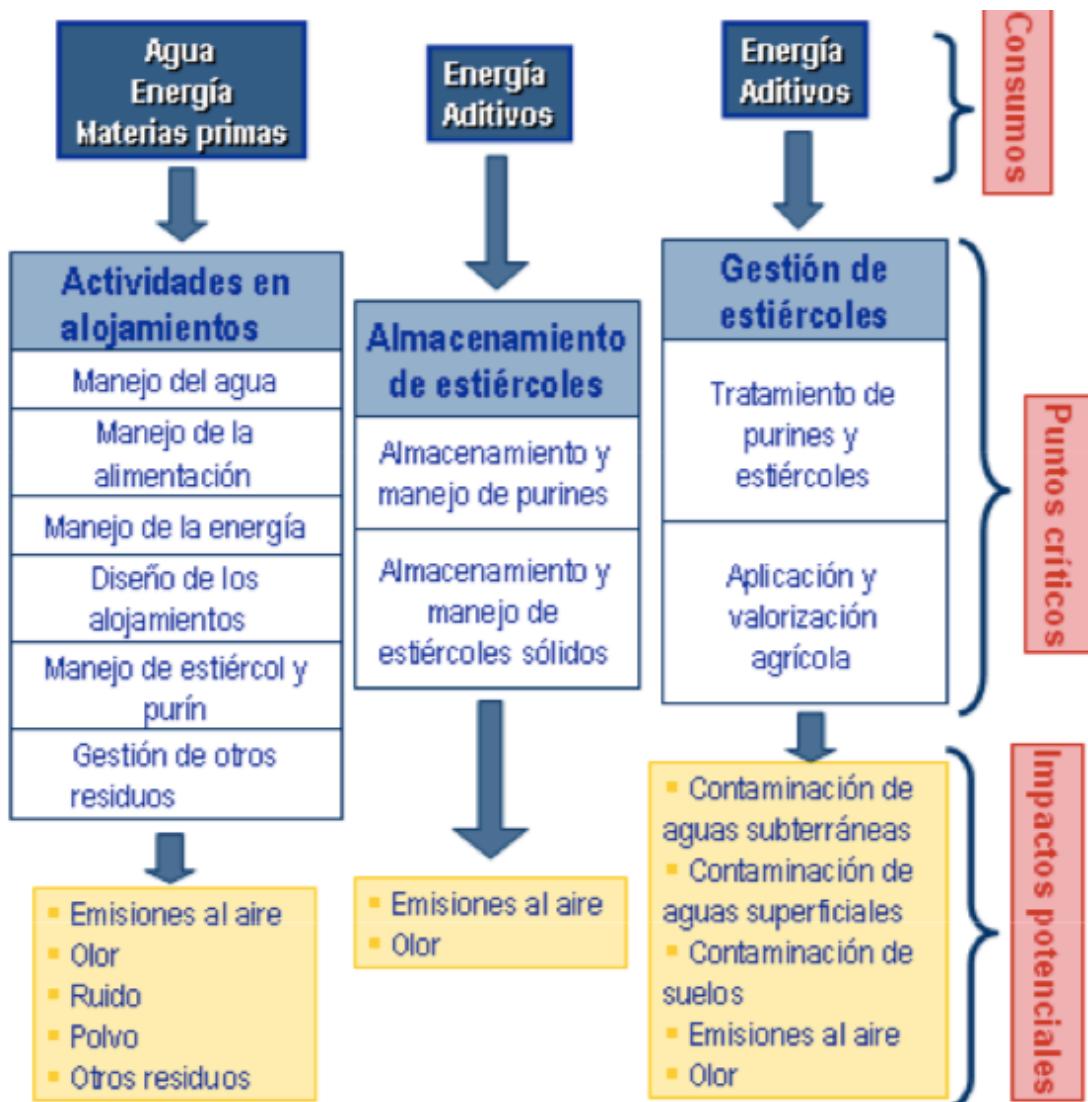


Fig. 3.45. Impactos potenciales y puntos críticos en una explotación ganadera (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006)

- Emisiones al aire: contaminación en forma de gases debido principalmente al metabolismo animal.
- Emisiones al suelo y el agua: provocan eutrofización en el agua superficial, contaminación difusa de agua subterránea por nitratos y acidificación en suelos y agua (**Fig. 3.46.**) debido a elementos como el nitrógeno (N) y el fósforo (P).

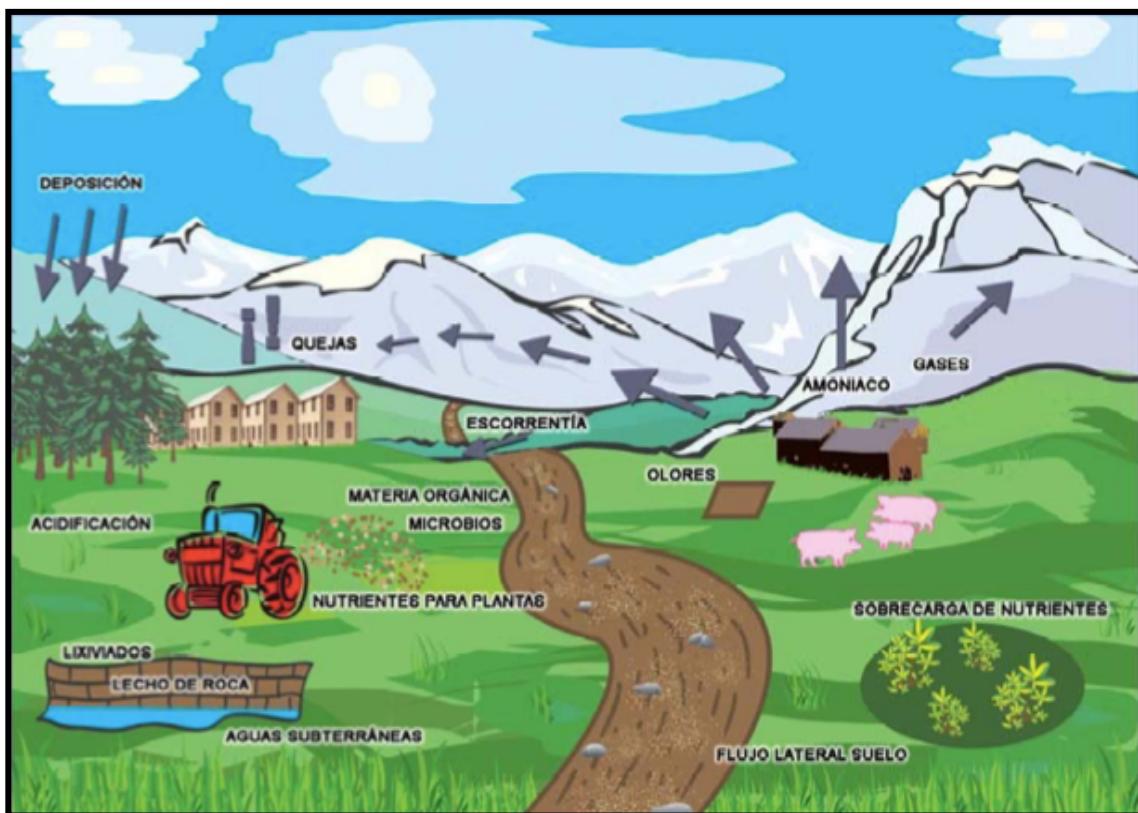


Fig. 3.46. Efectos medioambientales en relación con la cría intensiva de ganado (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006)

Los gases emitidos por las explotaciones además de tener efecto en el medio ambiente también causan problemas en los animales y en los trabajadores de la explotación, debido fundamentalmente a la acción del amoniaco y están condicionados a que «no se ven» y además debido a su facilidad de dispersión es difícil determinar la magnitud de emisiones de una granja, a pesar de todo ello, en el presente estudio vamos a tomar distintas medidas, mediante sensores y aparatos instrumentales en las explotaciones de estudio para su posterior análisis e interpretación.

3.4.2.1 Efectos medioambientales

Gases como el amoniaco pueden ser transportados grandes distancias, por lo que su efecto no es exclusivo al entorno de la granja, sino que afecta a nivel global. Cuando se

deposita favorece a la acidificación del medio y la eutrofización, que terminan dañando los ecosistemas naturales.

El satélite IASI permitió observar las concentraciones de amoniaco (Van Damme et. al., 2018) siendo las tonalidades rojas donde se presenta mayor concentración (**Fig. 3.47.**).

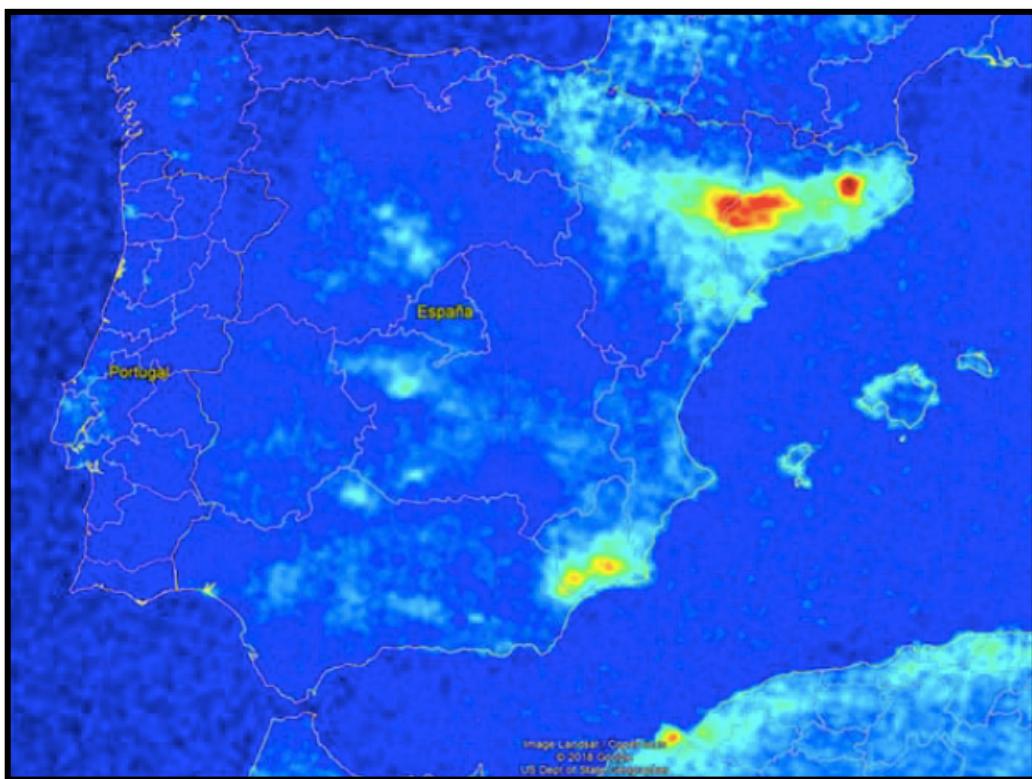


Fig.3.47. Mapa de puntos calientes de NH₃ en España medidos por satélite (*Martín Van Damme Nature - VOL 564 - 6 2018*)

De acuerdo con los datos del *Inventario de emisiones de gases en España de 2017*, que contribuyen al cambio climático causado por el efecto invernadero, el 11% correspondería a la agricultura, de los cuales el 6% corresponde con la cría de animales y la gestión de sus deyecciones (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020); en concreto en una explotación ganadera serían los gases de CH₄, emitidos a la atmósfera por un burbujeo en los purines, y de N₂O (**Fig. 3.48.**), pero además de afectar al aumento de la temperatura global el N₂O contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y el CH₄ interviene en la formación de un contaminante dañino para la salud y los ecosistemas, el ozono troposférico (Owens et. al., 1982). La reducción de emisiones de estos gases no solo mitigaría el cambio climático, sino que mejoraría la calidad del aire, de ahí la importancia de la ventilación interior en las granjas.

El sector porcino español emitió 2,2% del total nacional de emisiones de acuerdo con el *Inventario nacional de emisiones de 2017* de los cuales se emitieron 319.000 toneladas de CO₂ procedente de óxido nitroso y aproximadamente 6,2 millones de toneladas de CO₂ de gas metano, de los cuales solo el 10% procedía de la fermentación del animal siendo la mayor contribución los purines de las explotaciones (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré,

J., & Babot Gaspa, D.; 2020). La mayoría de los gases de efecto invernadero proceden de la combustión fósil de los purines, aun así, el objetivo sigue siendo neutralizar el carbono en todos los sectores.

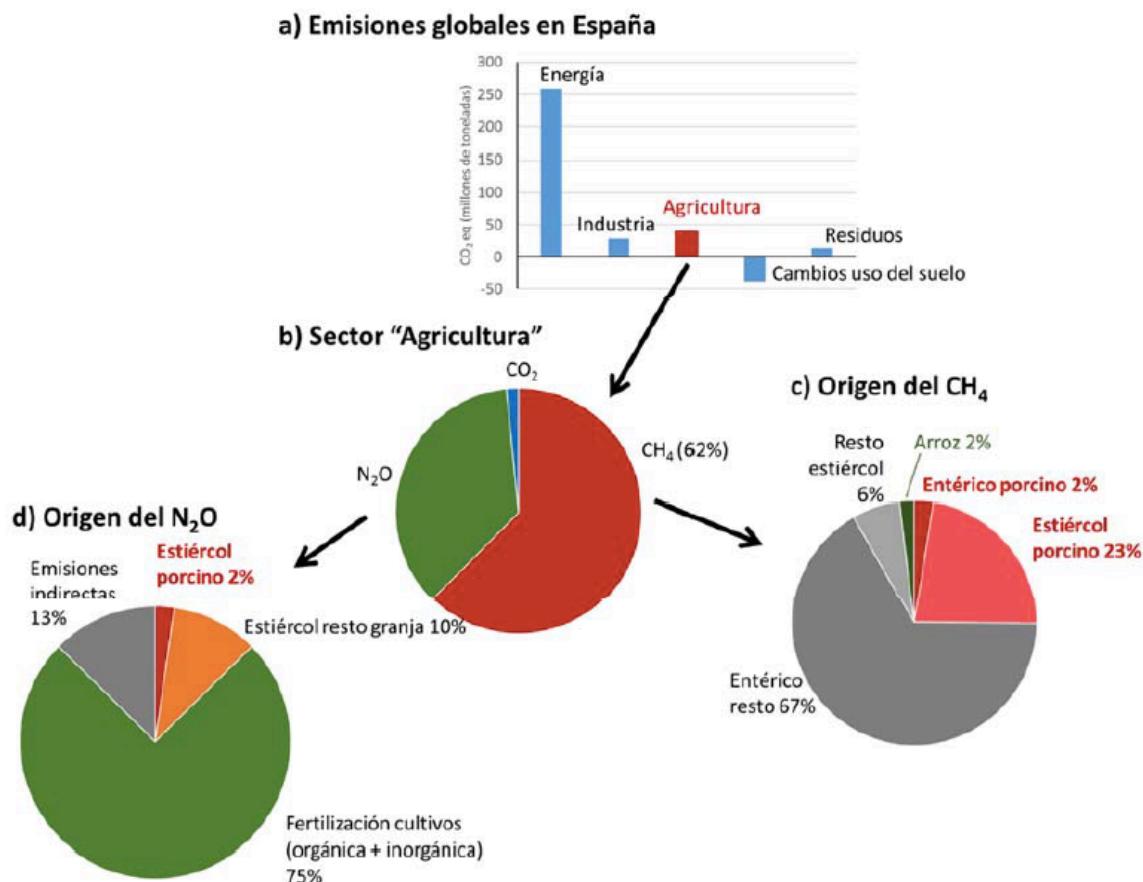


Fig. 3.48. Emisiones de gases de efecto invernadero (N₂O y CH₄) en agricultura en España (Calvet, S., Estellés, F., Cartanyà Ferré, J., & Babot Gaspa, D.; 2020)

Pero existen efectos medioambientales que afectan al bienestar humano cuando aparecen, en aguas subterráneas destinadas al consumo humano (**Fig. 3.49.**) contenidos elevados de nitratos (>50 mg/l). Se produce fundamentalmente al mal uso de técnicas inadecuadas de abonado nitrogenado.

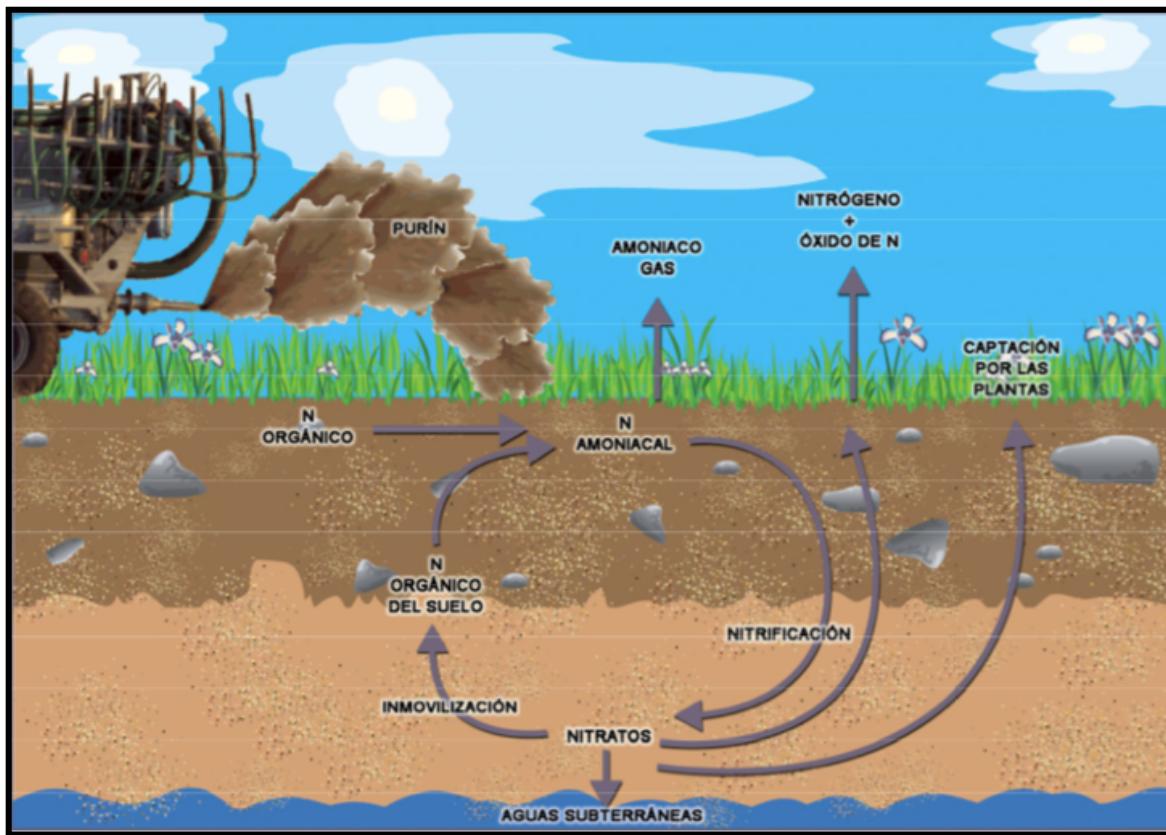


Fig. 3.49. Principales transformaciones y emisiones del nitrógeno al medio ambiente (De Ganadería, S.P.E.S. & de cerdos intensiva; 2006)

Por otra parte, se puede generar contaminación de las aguas superficiales debido a procesos de eutrofización causando un exceso de nutrientes en el agua, de ahí que esté totalmente prohibido el vertido de purines sobre las aguas superficiales, también puede producirse su contaminación en los almacenamientos de los purines por lixiviado o por fugas o incidentes involuntarios. O incluso por contaminación aérea directa.

3.4.2.2 Efectos en el bienestar humano y animal

El amoniaco es un gas fácilmente detectable por el olfato, por el mal olor, irritante cuando se acumula en salas poco ventiladas. Los umbrales de exposición son de 7,0 y 11,0 ppm para preservar la salud del ser humano y del cerdo respectivamente, por encima de esos valores pueden causar enfermedades graves. La alta concentración provoca rojez y picores en los ojos y enfermedades en las vías respiratorias del ser humano y el animal; y consecuentemente tiene un impacto negativo sobre el bienestar animal, provocando alteraciones en el comportamiento animal como el raboteo (comida del rabo) y otras enfermedades consecuencia de la debilidad del animal, además de una disminución del consumo de alimento, reducción del ritmo de crecimiento y la disminución de los parámetros productivos de carne.

Las recientes investigaciones científicas de los animales expuestos a concentraciones

aéreas de amoniaco durante un tiempo determinado muestran una información confusa, con resultados significativos en algunos estudios y otros sin alteraciones significativas en los animales.

Entre las pruebas científicas destaca un estudio en 18 cerdas cruzadas con una exposición aérea de amoniaco de 0,10 a 25 mg/m³, se observa una alteración en las fibras musculares y un aumento en el contenido de grasa debido a la alteración del metabolismo de los lípidos; lo que genera un impacto negativo en la calidad de la carne del animal. Mientras que la exposición a 35 mg/m³ causó un aumento del contenido de grasa cruda en el músculo esquelético y una interferencia en el metabolismo de los aminoácidos no solo de los animales sino también es aplicable a la afección en los humanos (*Tang, S., Xie, J., Zhang, S., Wu, W., Yi, B., & Zhang, H.; 2019*).

Por otro lado la afección en lechones destetados debe estudiarse con mayor número de animales para poder obtener resultados significativos, por una parte existen estudios que establecen que exposiciones prolongadas de 50 ppm no afectan al aumento del peso del cerdo, aunque los límites recomendados no deben superar los 20-50 ppm en las corraletas (*Von Borell, E., Eslinger, K. M., Schnitz, A. L., Zhao, Y., & Mitloehner, F. M.; 2007*), mientras que otros estudios científicos demuestran que el consumo de alimento está relacionado con la cantidad de emisiones a la que está expuesto el animal (**Tabla 3.17.**).

Tabla 3.17. Peso corporal de los cerdos jóvenes expuestos al amoniaco aéreo (*Day, 1965*)

N.º de animales	[NH ₃] (ppm)	Peso por semana (kg)					[alimento] (kg/día)
		0	1	2	3	4	
6	0	8,40	11,21	14,40	18,03	22,16	0,491
6	50	8,40	10,81	13,60	16,83	20,56	0,434
6	100	8,40	10,19	12,35	14,95	18,06	0,345
6	150	8,40	10,19	12,36	14,97	18,08	0,346

Otro ejemplo sería un estudio realizado en dos ensayos durante 5 semanas en 36 cerdos, con una temperatura ambiental de 21°C, una humedad relativa de 77%, con un peso inicial promedio de 54 kg repartidos en corraletas de 2,7 x 4,9 m y con unos niveles de concentración de amoniaco de (10, 50, 100 y 150 ppm) (*Drummond, J. G., Curtis, S. E., Simon, J., & Norton, H. W.; 1980*), donde esta exposición aérea tuvo un efecto negativo sobre el consumo alimentario y la ganancia diaria promedio (**Fig. 3.50**).

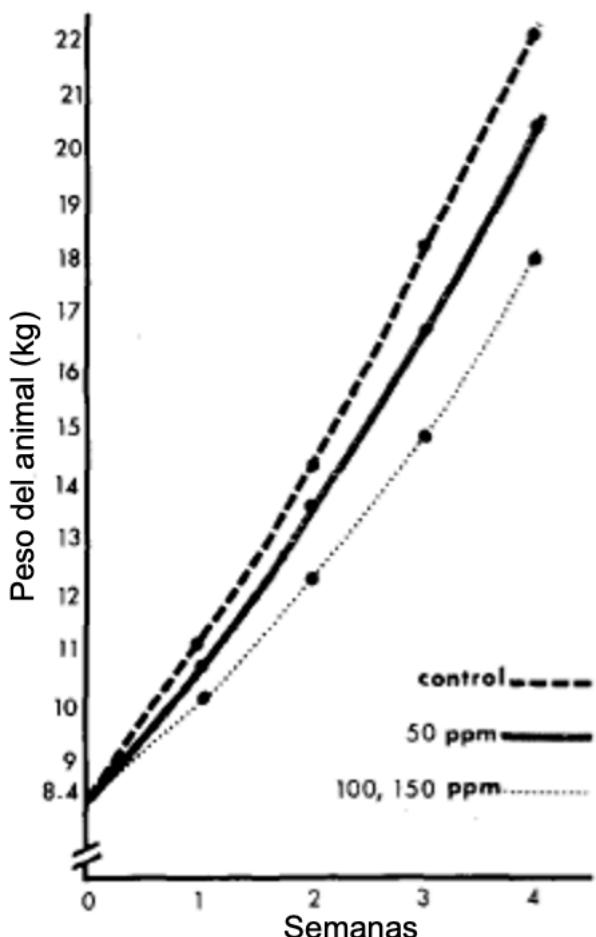


Fig. 3.50. Curvas de crecimiento de cerdos jóvenes expuestos a concentraciones de amoniaco (Drummond, Curtis, Simon and Norton, 1980)

Por otro lado, existen estudios del comportamiento del animal, durante 14 días y abastecidos con comida y agua, en diferentes estancias con concentraciones de amoniaco (0, 10, 20 y 40 ppm) (Jones, J. B., Burgess, L. R., Webster, A. J. F., & Wathes, C. M.; 1996) permitiéndole la movilidad en los diferentes compartimentos, separados únicamente por un plástico, se observó una mayor estancia en los espacios menos contaminados un 53.4% en los compartimentos con 0 ppm, un 26.9% en los de 10 ppm, 7.1% en los de 20 ppm y 5.1% en los de 40 ppm. Además, en el estudio se observó un mayor consumo de alimento en los espacios menos contaminados.

En conclusión, los datos patológicos de Hamilton y col. (1993) y los datos inmunológicos de Urbain et. al. (1994) recomiendan concentraciones de 10 a 15 ppm donde se reduce la resistencia a infección y en ningún caso se superen las 20 ppm (Stombaugh, D. P., Teague, H. S., & Roller, W. L.; 1969). Inicialmente el cerdo solo muestra una sensación de malestar por las concentraciones de amoniaco que empeora en el bienestar animal a medida que aumenta el tiempo de exposición (Fig. 3.51.).

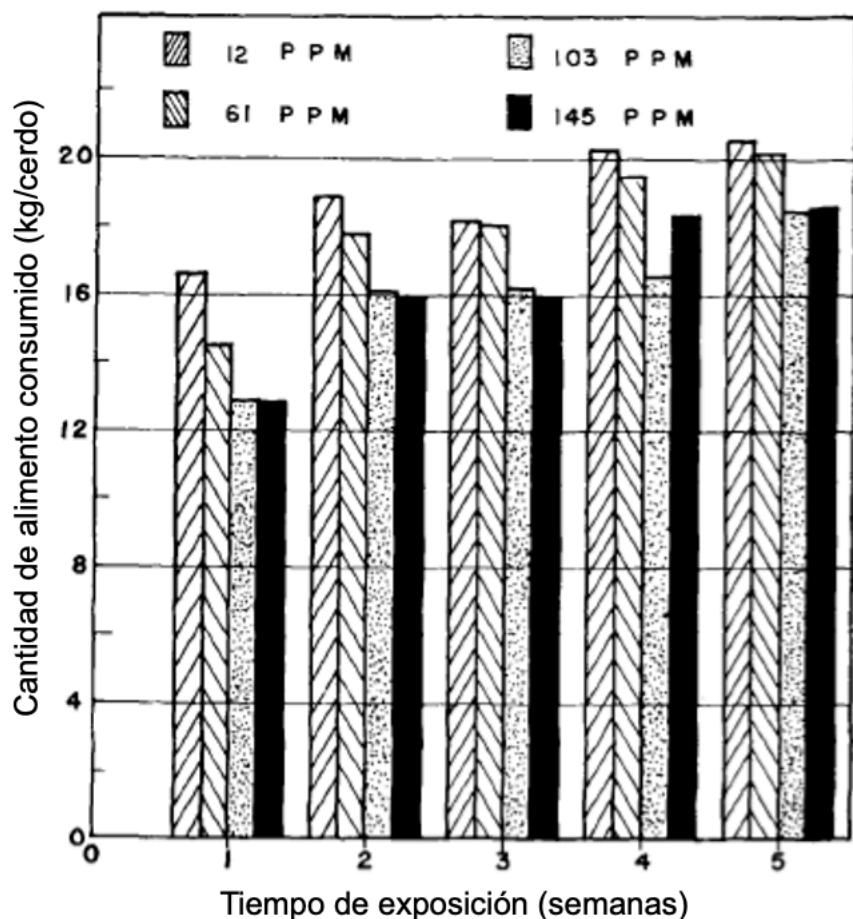


Fig. 3.51. Concentraciones de amoniaco y comida consumida semanalmente por cerdo (*Stombaugh, Teague and Roller, 1969*)

Además de afectar al crecimiento y la alimentación como hemos indicado, el amoniaco existente en el ambiente del alojamiento del animal puede generarle estrés (Cheng, Z., O'Connor, E. A., Jia, Q., Demmers, T. G. M., Wathes, C. M., & Wathes, D. C.; 2014) aunque no se han obtenido datos concluyentes, si pudiera ser debido a la alimentación o al metabolismo del animal.

Por otro lado, si existen varios estudios relacionados con enfermedades respiratorias, donde se observa una mayor frecuencia de tos en los animales al someterlos a alta exposición de gases contaminantes y otros problemas respiratorios más significativos. En un estudio experimental se expuso durante 6 días a un conjunto de animales a niveles de 25ppm de amoniaco (Urbain, B., Gustin, P., Charlier, G., Coignoul, F., Lambotte, J. L., Grignon, G., ... & Ansay, M.; 1996), concentraciones relativamente bajas, pero se observó irritación nasal y alteraciones funcionales de la contracción del músculo liso traqueal, concluyéndose que los problemas remitían a concentraciones por debajo de 9 ppm.

En el caso de los lechones destetados la información precisa un mayor desarrollo experimental, por una parte algunos estudios no asocian enfermedades respiratorias con la exposición de amoniaco, en otros se establecen límites entorno a 20-50 ppm de amoniaco (Von Borell, E., Eslinger, K. M., Schnitz, A. L., Zhao, Y., & Mitloehner, F. M.; 2007), mientras que los más concluyentes determinan que, lechones expuestos durante varios días a valores por encima de 80 ppm de amoniaco, revelan lesiones pulmonares significativas con engrosamiento de los tabiques alveolares, células inflamatorias y producción excesiva de

moco (*Wang, X., Wang, M., Chen, S., Wei, B., Gao, Y., Huang, L., ... & Li, X.; 2020*). Se concluyo que dichas pruebas pueden ayudar a entender la toxicidad del amoniaco en los pulmones.

4. CASOS DE ESTUDIO

A continuación, se presentan diferentes casos de estudio (Fig. 4.1.) en distintos puntos de la geografía española, en la provincia de Huesca, los dos primeros casos corresponden a granjas de destete, una en Ejea de los Caballeros, con captación geotérmica vertical y otra en el Pueyo de Santa Cruz que utiliza una estructura termoactiva para calentar placas de calefacción de alto rendimiento ambos con un análisis de eficiencia energética, el tercer caso en Huerto es una granja de maternidad y destete con captación también con geoestructura como el segundo caso, donde además de la eficiencia energética se analiza cómo afecta la captación a la temperatura del purín en el interior de la explotación.

El cuarto caso es una granja en Llardecans en la provincia de Lleida, con un sistema de captación combinado de geoestructura y pozo vertical y el quinto caso es en Cabanillas en la provincia de Soria, es una granja de mayor capacidad con características similares a el caso de estudio de Huerto donde además se ha realizado por un lado el cálculo informatizado de emisiones de amoniaco y por otro una comparativa con biomasa de otra granja de idénticas dimensiones y funcionamiento. Los dos últimos casos son en la provincia de Zaragoza, el primero es una granja de maternidad en Remolinos donde a diferencia de los casos anteriores se ha realizado una medición de gases reales y una comparativa con una instalación eléctrica, para terminar con un estudio en una vivienda unifamiliar en Atea que sirve de comparativa respecto a todos los casos anteriores.

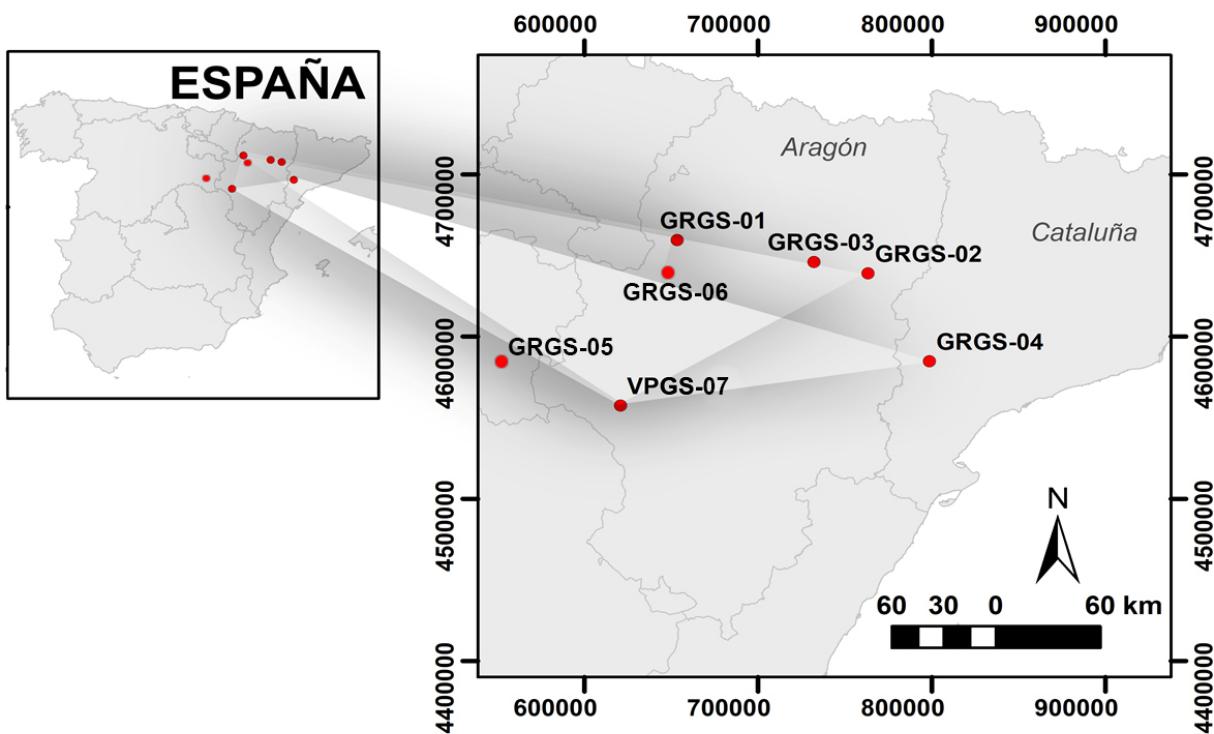


Fig. 4.1. Ubicación geográfica de los distintos casos de estudio.

4.1 GRANJA EJEA DE LOS CABALLEROS (GRGS-01)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.2 GRANJA PUEYO DE SANTA CRUZ (GRGS-02)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.3 GRANJA HUERTO (GRGS-03)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.4 GRANJA LLARDECANS (GRGS-04)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.5 GRANJA CABANILLAS (GRGS-05)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.6 GRANJA REMOLINOS (GRGS-06)

Contenido protegido disponible en la versión completa

4.7 VIVIENDA UNIFAMILIAR EN ATEA (VPGS-07)

Contenido protegido disponible en la versión completa

5 METODOLOGÍA

Contenido protegido disponible en la versión completa

6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

6.1 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CASOS DE ESTUDIO

6.1.1 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-01

Se realizó el cálculo del intercambiador geotérmico (ver apartado de metodología), que junto con un análisis de la geología de la zona, determinó la capacidad térmica del terreno y el número de perforaciones necesarias (24 a 125 m de profundidad) para conseguir la potencia calorífica de la instalación (140 kW).

En este caso de estudio podría haberse realizado alguna perforación más, pero al no precisar una temperatura de demanda muy alta por tratarse de una granja de destete y al disponer de una superficie importante de captación horizontal entre los pozos, no se consideró necesario.

6.1.1.1 Horas de funcionamiento

Las horas de funcionamiento en el cálculo son estimativas, una vivienda tiene un consumo muy inferior al que precisa una granja, que exige demanda las 24 horas del día. Los lechones en sus primeros días de vida requieren calefacción continua, y su nacimiento se produce por lotes como ya se ha explicado anteriormente. De manera que de las 8.760 horas anuales, el funcionamiento de las BCG en una granja es muy significativo. Siendo de aproximadamente 500 horas en los meses de invierno (principalmente noviembre, diciembre, enero y febrero), mientras que en los meses de verano (junio, julio y agosto) el consumo se reduce a más de la mitad (**Tabla 6.1.**) debido a la elevada temperatura exterior. En España, las granjas en verano utilizan un sistema de refrescamiento del ambiente mediante evaporativos, con una ventilación natural, que consiste en regenerar el aire continuamente para reducir el porcentaje de gases en las salas.

Tabla 6.1. Horas de funcionamiento mensuales de la BCG en Ejea de los Caballeros

HORAS FUNCIONAMIENTO MENSUAL	INVIERNO	VERANO
	500	250

En esta explotación las BCG están entre 5.300 – 5.600 horas en funcionamiento a lo largo del año, si se considera un balance anual, sería entorno a un 60% del día en uso, además las BCG cuando hay una máquina maestra y una esclava, como es este caso, tienden a repartirse las horas, para que los compresores trabajen de manera equitativa.

6.1.1.2 COP

Otro factor relevante es el COP, va a indicar el consumo real de la instalación, comparando el consumo si se tuviese una instalación con placas eléctricas, muy frecuente en el sector porcino (antes de la subida exponencial de la luz), frente a la instalación geotérmica actual, de manera que por cada kW eléctrico consumido se genera un promedio de 4 kW térmicos. Mientras que en una instalación eléctrica esta relación sería de 1kW eléctrico por 1 kW térmico.

En la gráfica de valores de COP homologados suministrada por el fabricante de las BCG (**Fig.6.1.**), se observa que de acuerdo con los rangos de temperatura reales de captación, T^a primario entre 10/7°C y con un rendimiento de compresor al 100%, el COP sería entorno a 4,3 valor teórico.

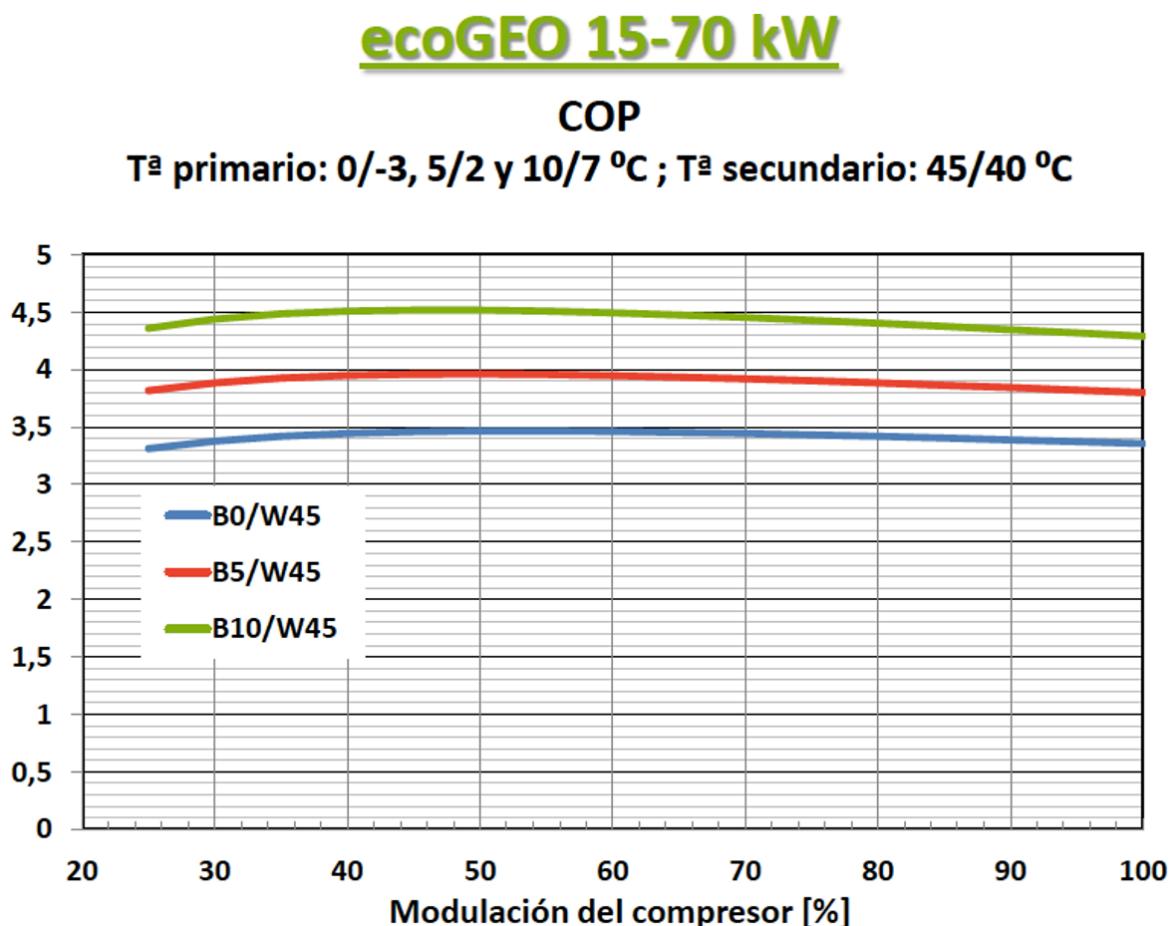


Fig. 6.1. COP de BCG ecoGEO 15-70 kW de acuerdo con las temperaturas del sistema 1º y 2º, y el funcionamiento del compresor (*Ecoforest*)

En los valores de COP obtenidos de los contadores externos, se puede observar que el COP a finales del mes de diciembre de 2020 se reduce considerablemente, valores entorno a 2,7 (**Tabla 6.2.**). Esto es debido a que uno de los compresores sufrió una avería y al tratarse de una época de mucho frío, fue necesario poner en funcionamiento la caldera eléctrica de apoyo. Es sin duda un ejemplo claro de cómo el COP se reduce drásticamente, el consumo eléctrico sube y por tanto el gasto en la factura para el cliente se eleva de manera sustancial. Por lo que si las placas calefactadas fuesen eléctricas en lugar de ser hidráulicas los costes energéticos serían muy elevados para la demanda que tiene la granja diariamente.

Tabla 6.2. Resultados de COP obtenidos a partir de los contadores externos de la granja de Ejea de los Caballeros

VALORES DE CONTADORES EXTERNOS		
FECHA	COP	OBSERVACIONES
18/04/17	4,44	
10/05/17	4,42	
10/06/17	4,46	
16/07/17	4,11	3 naves en uso
02/09/17	3,96	
10/10/17	3,94	
13/11/17	3,99	
30/11/17	4,00	
11/01/18	3,87	
05/03/18	3,79	
08/03/18	3,79	
10/04/18	3,77	
11/05/18	3,77	
20/06/18	3,78	
31/10/18	3,83	
03/01/19	3,86	
07/10/19	3,91	
30/12/20	2,73	Avería compresor enciende caldera eléctrica
07/11/22	4,20	

Por otra parte es importante destacar también que estos contadores también contabilizan el consumo de las bombas circuladoras de la instalación como se ha indicado anteriormente, de ahí que sus valores son inferiores a los que me marca el contador interno de las BCG (**Tabla 6.3.**).

Tabla 6.3. Resultados de COP_{mensual} obtenidos a partir de los contadores de las BCG en la granja de Ejea de los Caballeros

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/17	-	-
02/17	-	-
03/17	5,30	5,22
04/17	4,99	4,96

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/18	3,77	3,75
02/18	3,79	3,73
03/18	3,91	3,87
04/18	4,02	3,97

05/17	4,57	4,52
06/17	4,25	4,21
07/17	4,17	4,15
08/17	4,09	4,06
09/17	4,02	3,95
10/17	4,05	4,08
11/17	4,17	4,49
12/17	3,64	3,71

05/18	4,33	4,62
06/18	5,50	5,38
07/18	6,01	6,13
08/18	6,03	6,07
09/18	6,05	6,00
10/18	5,24	5,49
11/18	4,81	4,84
12/18	4,63	4,66

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/19	4,26	4,54
02/19	4,37	4,45
03/19	4,55	4,52
04/19	4,49	4,50
05/19	4,75	4,74
06/19	5,37	5,34
07/19	5,75	5,69
08/19	6,00	5,72
09/19	5,00	5,33
10/19	5,10	5,00
11/19	4,70	4,70
12/19	4,00	4,00

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/20	4,15	4,29
02/20	4,31	4,49
03/20	4,58	4,75
04/20	4,63	4,79
05/20	4,96	4,98
06/20	5,69	5,54
07/20	5,92	5,92
08/20	6,04	6,05
09/20	5,87	5,86
10/20	5,15	5,27
11/20	4,83	4,82
12/20	4,33	3,84

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/21	4,40	4,59
02/21	4,67	4,66
03/21	4,86	4,84
04/21	4,64	4,72
05/21	4,52	4,65
06/21	4,87	4,78
07/21	5,11	4,98
08/21	5,11	4,98
09/21	5,21	4,96
10/21	5,32	4,39
11/21	4,46	4,61
12/21	4,45	4,62

MES	COP _{mensual}	
	M1	M2
01/22	3,73	3,68
02/22	3,74	3,70
03/22	4,06	4,10
04/22	4,24	4,26
05/22	4,65	4,45
06/22	4,92	4,66
07/22	4,94	4,68
08/22	5,09	4,82
09/22	4,44	4,75
10/22	4,06	4,64
11/22	3,71	4,63
12/22	3,95	4,03

En la **tabla 6.3.** se observa como en los meses de verano el COP puede llegar a alcanzar valores de 6, por lo que por 1 kW eléctrico de consumo se alcanzan valores de 6 kW térmicos de demanda, lo que implica un ahorro muy significativo mientras que en los meses de invierno los valores promedio de COP están entorno a 4, que considerando el uso continuo de demanda de calefacción y la necesidad de 34-36°C sobre superficie de placa, es un resultado muy positivo.

Tabla 6.4. Resultados de SPF obtenidos a partir de los consumos anuales térmicos y eléctricos de las BCG en la granja de Ejea de los Caballeros

AÑO	ELÉCTRICO (kWh)	TERMICO (kWh)	SPF	Observaciones
2017	84.353	345.707	4,10	Desde 04/19
2018	86.724	373.433	4,31	
2019	58.391	278.205	4,76	Hasta 09/19
2020	98.082	470.290	4,79	
2021	101.453	451.741	4,45	
2022	90.193	446.497	4,95	

Esta granja es de nueva construcción por lo que inicialmente se parte de salas completamente vacías, que progresivamente se van llenando de animales, pero por el sistema de ventilación que presentan en los primeros meses es necesario una temperatura de salida del condensador más elevada, para asegurarse que los animales se adaptan bien y no tengan diarreas u otras enfermedades causadas por el frío por una mala adaptación, de ahí el mayor consumo producido en 2017 a pesar de que la granja estaba incompleta y de que se arrancase la instalación en marzo (**Tabla 6.4.**). Pero aparte de ese pequeño gasto inicial, a medida que va pasando el tiempo se busca alcanzar el bienestar animal con el mínimo consumo necesario, para ello la temperatura de consigna del depósito de inercia se va modificando progresivamente a lo largo del año.

6.1.1.3 Temperatura de captación

Otro factor es la temperatura de la captación, por un lado es necesario dejar una separación entre pozos no inferior a 6 m para que no haya interacción térmica entre ellos, en este caso se dejaron 8 m, para asegurar que cada pozo trabaje de manera independiente, pero al tener una demanda continua de calor, la temperatura del sistema de captación está disminuyendo progresivamente, no es elevada pero si continua, por lo que en algún momento sería recomendable realizar una inversión del ciclo, una buena alternativa sería el enfriamiento de las salas en los meses más calurosos, porque así los pozos se calentarían y recuperarían su temperatura inicial, a la vez que aumentarían su rendimiento pero para ello se precisaría una distribución diferente.

En 2021 se realizó un mantenimiento de la instalación y se colocó glicol en el circuito de captación para evitar la congelación del evaporador, además de una actualización del software junto con una regulación de parámetros lo que permitió un aumento de temperatura de captación pasando de 5,8-7°C de la época más desfavorable a valores de 6,5-8,1°C en las mismas condiciones.

6.1.2 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-02

En la **Figura 6.2.** aparece detallado el ciclo completo de climatización de la granja que tal y como se ha indicado con anterioridad, está estructurado en 3 partes bien diferenciadas: circuito de captación, cuarto técnico y circuito secundario.

Fig. 6.2. Sistema gráfico de ciclo completo de climatización de una granja con puritermia. (Contenido protegido)

6.1.2.1 Horas de funcionamiento

Con los datos tomados se saben las horas que han estado en funcionamiento los compresores de las BCG durante el primer año de funcionamiento (**Tabla 6.5.**), de manera que de las 8.760 horas que tiene el año, el compresor EP14 de la máquina máster estuvo 927 horas, el EP15 2.112 horas y de la máquina esclava, el EP14 986 horas y el EP15 130 horas (debido a que estuvo apagado inicialmente). En esta granja la demanda de calefacción es menor que en el caso de estudio anterior, al tratarse de placas de alto rendimiento y necesitar una menos temperatura en superficie que una granja de maternidad. El compresor que más tiempo ha estado funcionando no llega al 25%, por lo que se puede concluir que la vida útil de los compresores va a ser larga, al no estar mucho tiempo en funcionamiento.

Tabla 6.5. Horas y porcentaje de funcionamiento anual de cada compresor de las BCG en Granja del Pueyo de Santa Cruz

COMPRESOR	BCG	HORAS	PORCENTAJE (%)
EP14	máster	927	11
EP15	máster	2.112	24
EP14	esclava	986	11
EP15	esclava	130	1

6.1.2.2 COP

De acuerdo con los consumos de kilovatios eléctricos y térmicos se obtienen los siguientes COP instantáneos de toda la instalación geotérmica (**Tabla 6.6., Tabla 6.7. y Tabla 6.8.**), a medida que se va estabilizando se observa que el COP en los meses fríos esta entorno a 4, no se considera las mediciones inferiores a 3 porque es muy probable que sea un fallo de la pila del contador o que coincida la medición con la apertura de demanda en 2 salas previamente vacías, dado que la necesidad térmica en diciembre es superior a la de octubre y noviembre de 2020, de manera que, por cada kilovatio eléctrico que gasta genera 4 kilovatios de calor en el primer año de funcionamiento.

Tabla 6.6. COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz durante los meses más fríos de 2020.

FECHA	COP	OBSERVACIONES
14/10/20	2,94	Possible fallo de la pila del contador
15/10/20	3,5	
16/10/20	3,6	
17/10/20	3,4	
18/10/20	3,3	
19/10/20	3,3	

20/10/20	3,3	
21/10/20	4,0	
22/10/20	3,7	
24/10/20	3,6	
25/10/20	3,6	
02/11/20	3,3	
04/11/20	3,0	
08/11/20	2,8	
10/11/20	2,5	
11/11/20	3,4	
15/11/20	2,8	
16/11/20	2,7	
18/11/20	2,9	
20/11/20	2,8	
21/11/20	3,0	
22/11/20	2,9	
24/11/20	2,9	
25/11/20	3,8	
26/11/20	3,3	
27/11/20	4,2	
28/11/20	4,3	
29/11/20	4,3	
30/11/20	4,3	
01/12/20	4,3	
02/12/20	4,4	
03/12/20	4,2	
04/12/20	4,4	
05/12/20	4,0	
06/12/20	4,2	
07/12/20	4,2	
08/12/20	4,2	
09/12/20	4,5	
10/12/20	4,2	
11/12/20	4,1	
13/12/20	4,1	
14/12/20	4,0	
16/12/20	4,2	
18/12/20	4,1	
19/12/20	4,1	
20/12/20	4,1	
21/12/20	4,1	
23/12/20	4,0	
26/12/20	4,0	
30/12/20	3,9	

Tabla 6.7. COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz durante los meses más fríos de 2021.

FECHA	COP
01/01/21	3,8
02/01/21	3,7
03/01/21	3,7
06/01/21	3,8
07/01/21	4,0
08/01/21	3,9
10/01/21	3,8
11/01/21	3,7
13/01/21	3,7
14/01/21	4,1
15/01/21	3,9
16/01/21	3,8
17/01/21	3,7
18/01/21	3,8
19/01/21	3,8
20/01/21	4,1
21/01/21	4,0
22/01/21	4,0
23/01/21	4,0
24/01/21	4,0
25/01/21	3,9
26/01/21	4,0
28/01/21	4,1
29/01/21	4,0
01/02/21	4,0
02/02/21	3,9
03/02/21	4,2
04/02/21	4,1
07/02/21	4,0
10/02/21	4,1
13/02/21	4,1
16/02/21	4,0
17/02/21	4,0
19/02/21	3,8
24/02/21	3,7
25/02/21	3,6
26/02/21	3,6
28/02/21	3,7
01/03/21	3,7
02/03/21	3,8
03/03/21	3,9
04/03/21	3,8
05/03/21	3,9
08/03/21	3,8
09/03/21	3,7

10/03/21	4,0
11/03/21	3,8
12/03/21	3,8
13/03/21	3,8
14/03/21	3,8
15/03/21	3,8
16/03/21	3,8
17/03/21	4,1
18/03/21	3,9
19/03/21	3,9
09/06/21	4,1
10/06/21	4,2
11/06/21	4,0
19/11/21	3,9
22/11/21	4,0
25/11/21	3,9
30/11/21	3,9
01/12/21	3,7
02/12/21	3,3
03/12/21	3,2
04/12/21	3,1
08/12/21	3,0
12/12/21	3,2
15/12/21	3,4
16/12/21	3,5
18/12/21	3,4
21/12/21	3,8
22/12/21	3,9
23/12/21	4,0
24/12/21	3,8
28/12/21	3,8
29/12/21	4,2
30/12/21	4,0
31/12/21	4,0

Tabla 6.8. COP instantáneo en granja de Pueyo de Santa Cruz a principios de 2022.

FECHA	COP
01/01/22	4,0
03/01/22	4,0
04/01/22	4,0
05/01/21	4,3
06/01/21	4,1
07/01/21	4,1
08/01/21	4,0
10/01/22	4,0

Por la experiencia personal en este tipo de instalaciones, podría confirmar que en los años sucesivos el COP va a subir, al estabilizarse el funcionamiento de la instalación. El ganadero ya tiene un mejor control de su explotación y sabe que temperatura tiene que pedir de consigna, en cada momento del ciclo vital del animal, para poder llegar a la temperatura de calefacción que permita su bienestar y un mejor desarrollo, a la vez que no se malgaste energía. Poner una calefacción más alta implicaría que los animales no se colocarían en la placa, mientras que una placa fría generaría que se apelotonasen entre ellos, y en ambos casos podrían aparecer enfermedades como diarreas y desequilibrio en el animal, que impediría un adecuado crecimiento del mismo o un aumento de la mortalidad en la explotación.

6.1.2.3 Temperatura de captación

En esta instalación donde se realiza captación mediante purítermia, tal y se ha explicado, aprovecha el calor del purín, que se encuentra, a 38-39°C durante todo el año, este está en contacto con el sistema hidráulico de captación geotérmica, de ahí que en la **Fig. 4.22.** se observen temperaturas de captación muy elevadas (valores promedio de 20 - 22°C), incluyendo en la **Fig. 4.23.**, que corresponde a un mes más gélido (valores promedio de 13,5 - 15°C), además al tener una captación distribuida en todas las naves, la temperatura todavía es mayor de lo que cabría esperar en una geoestructura, ya sea con purítermia o sin ella, de acuerdo con la demanda necesaria para la climatización de las placas de calefacción. En las **Fig. 4.22.** y **Fig. 4.23.** se observa la temperatura del colector independientemente si está encendido o no uno o dos de sus compresores, pero se puede apreciar una diferencia clara, con picos o temperaturas más elevadas cuando no tiene demanda de calefacción, o se ha alcanzado la temperatura de consigna parándose los compresores y consecuentemente dejando de circular caudal de agua por el sistema.

Si se tratase de una captación vertical al tener una demanda continua de calefacción con el paso de los años los pozos se irían enfriando ligeramente, como está ocurriendo en el primer caso de estudio, si no se deja de calentar o no se invierte el ciclo, pero en este caso no sucede, dado que la geoestructura recibe un aporte extra continuo del calor del purín. Valores de 20-25°C en el circuito primario rozan la excelencia, y dependiendo el fabricante de la bomba de calor pueden obtenerse valores de COP muy elevados, de hecho muchos de ellos no disponen de gráficas para estas temperaturas o no mejoran su rendimiento tanto como debería al no tenerlas diseñadas para trabajar en dichas condiciones.

6.1.3 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-03

En este caso de estudio a pesar de disponer de menos superficie a climatizar 632m² frente a los 710m² del caso anterior, la distribución hidráulica es mayor y la demanda térmica en las placas de maternidad también es más elevada, de ahí que se precisó mayor potencia calorífica 125kW (de acuerdo con la temperatura estimada del circuito de captación), y no se realizó más captación por no disponer de ninguna geoestructura con aporte de purín sin construir, cubriendose la demanda con los 5.400 m.l. de la geoestructura en maternidad.

6.1.3.1 Horas de funcionamiento

De acuerdo con los datos tomados anteriormente de las horas de funcionamiento de las bombas de calor entre noviembre de 2020 y noviembre de 2021 y entre marzo de 2022 y marzo de 2023, una vez realizado el promedio de uso de los compresores y considerando los 365 días del año se establece que las BCG han estado aproximadamente 4.000 horas en funcionamiento (**Tabla 6.9.**), lo que equivale a porcentaje de 45 - 49% anual.

Tabla 6.9. Porcentaje de funcionamiento anual de BCG en granja de Huerto.

Fecha	Horas de funcionamiento correlativas de BCG (h)	Horas de funcionamiento anuales (h)	Porcentaje funcionamiento (%)
05/11/20	1.671	4.309	49
07/11/21	5.980		
27/03/22	8.371	3.945	45
13/03/23	12.176		

6.1.3.2 COP

Otra información relevante obtenida de los datos tomados de manera aleatoria de consumos es el COP de la instalación, en este caso el COP se corresponde con la instalación geotérmica completa (**Tabla 6.10.**) incluidas las bombas circuladoras necesarias para la distribución de la red hidráulica.

Tabla 6.10. COP reales obtenidos en granja de Huerto.

FECHA	COP
07/09/20	3,6
16/09/20	3,8
16/11/20	3,7
26/04/21	3,2
17/05/21	3,2
05/07/21	3,5
13/03/23	3,5

Si se compara con las **Tabla 4.7.** y **Tabla 4.15.** de potencias y COP indicados por el fabricante de la BCG instaladas en esta explotación, para temperaturas de captación por encima de 10°C y temperaturas de calefacción de 45°C debería dar resultados más altos, entorno a 4,22 y 4,30 respectivamente. Es cierto que no se ha valorado el SPF, y los datos son aleatorios e incluye el consumo de las bombas circuladoras, pero lo que posiblemente considere este fabricante es la temperatura del condensador que en este caso supera los

50°C, y las tablas si marcan valores más acorde con los resultados obtenidos. A pesar de todo ello por 1 kW eléctrico que gasta la instalación completa genera hasta 3,8 kW térmicos.

6.1.3.3 Temperatura de captación

Si se compara los valores promedio de temperatura de captación de entrada y salida (**Tabla 6.11.**) en distintos años de manera aleatoria de un mes frío, un mes templado y un mes caluroso se observa una diferencia de hasta 10°C entre el verano y el invierno, esto es debido a que la demanda es mayor en invierno al tener las salas climatizadas de manera natural y por tanto más frías.

Tabla 6.11. Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales.

Fecha	T _{entrada} captación (°C)	T _{salida} captación (°C)
01/23	9-15	6-16
03/22	12-18	8-19
07/21	18-25	15-25

Por otro lado, como se ha indicado, en esta explotación no se realizó la captación con el objetivo de cumplir con las MTDs en todos los establecimientos interiores, debido a que únicamente se podía poner puritermia en las zonas que se habían ampliado, por lo que si se compara con el caso de estudio anterior, que también dispone de puritermia, se observan valores de temperatura de captación inferiores, sobre todo en los meses de invierno donde la demanda es mayor, temperaturas entorno a 6-9°C frente a los 15-16°C que había en la granja del Pueyo.

6.1.4 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-04

De acuerdo con la información tomada durante los cinco años que la instalación ha estado en funcionamiento, se pueden interpretar diferentes resultados de una instalación con un sistema combinado de captación vertical y horizontal que calienta placas calefactadas en dos naves, una de maternidad y otra de destete.

6.1.4.1 Horas de funcionamiento

Las BCG han repartido las horas de funcionamiento de los compresores, para aumentar la durabilidad de los mismos, de manera que en los primeros años han trabajado una media de 12.694 horas, mientras que en los dos últimos años (descontando 2 meses que no se tomaron medidas) las BCG estuvieron en funcionamiento 11.457 horas, lo que equivale aproximadamente a las 6.300 horas anuales que aparecen en la **Tabla 6.12.**, en

este caso por un lado tiene una mayor demanda que en los casos anteriores, aunque un uso de las BCG del 70% anual, no implica que estén los 4 compresores en funcionamiento, sino que a diferencia de las BCG NIBE que arrancaban progresivamente los compresores hasta llegar a consigna y luego se paran, en este caso mantienen la temperatura próxima a consigna con uno, dos o tres compresores tras el arranque.

Tabla 6.12. Horas de funcionamiento anuales de BCG en granja de Llardecans

Fecha	Horas anuales de funcionamiento	Horas de uso compresor (%)
2020-2021	6.347	72
2021-2023	6.260	71

6.1.4.2 COP

Como en los casos anteriores partiendo de los consumos eléctricos y térmicos de las BCG se puede obtener el COP_{mensual} y a partir de este el SPF de la instalación (**Tabla 6.13.**). En 2020 el SPF fue de 3,8 mientras que en 2021 y 2022 el SPF subió hasta valores de 5. Esta diferencia es debido a que en diciembre de 2020 durante una visita de mantenimiento, se observó que las BCG tenían una temperatura de consigna de 50°C, muy por encima de la calculada para el correcto funcionamiento de la instalación y de la demanda deseada. La causa fue posiblemente algún fallo de corriente y al reiniciarse las BCG tomaron ese valor por defecto, que vendría establecido por fábrica. Pero una vez que se produjo una regulación de la temperatura de consigna entorno a 43 - 44°C, y un mayor control en las centralitas de las salas para que las placas de los lechones alcanzasen la temperatura máxima de 37-38°C deseados en las primeras semanas, se observó que por 1 kW eléctrico consumido por la instalación se han generado en los últimos años 5 kW térmicos, era innecesario tenerlo a 48-50°C, y así se evita un mayor consumo de las BCG.

De cualquier manera no se han tomado los primeros valores como significativos, debido a que la granja arranco con un llenado progresivo de animales por sala y además se realizaron diversas pruebas hasta no estar a pleno rendimiento. Por tanto, si se comparan los resultados obtenidos para una temperatura de captación de 5-10°C que se corresponde con la situación real y una temperatura de impulsión de calefacción entorno a 45°C, si se cumplen los valores establecidos por el fabricante de COP de 3,9 a 4,4. Incluso en aquellos casos en que la temperatura de consigna es inferior a 45°C, como ocurre en los últimos años, los valores de SPF están entorno a 5, lo que supone para la granja un ahorro altísimo en comparación con otras sistemas de calefacción tradicional.

Tabla 6.13. Coeficiente de rendimiento de BCG en granja de Llardecans

Fecha		COP 5075.5T	COP 5085.5T	COP TOTAL
Año	Mes			
2020	1	2,8	2,9	2,8
	2	2,9	2,9	2,9
	3	2,9	3,1	3,0
	4	2,8	3,4	3,1

	5	2,9	3,7	3,3
	6	2,9	3,7	3,3
	7	3,3	4,1	3,7
	8	3,3	4,0	3,7
	9	3,2	3,9	3,5
	10	3,1	3,8	3,4
	11	4,2	4,4	4,3
	12	4,5	4,5	4,5
	SPF	3,2	3,9	3,6
 				
2021	1	4,5	4,5	4,5
	2	4,7	4,7	4,7
	3	4,9	4,8	4,8
	4	4,9	4,9	4,9
	5	5,3	5,2	5,3
	6	5,8	5,6	5,7
	7	5,8	5,6	5,7
	8	6,1	5,8	6,0
	9	5,8	5,5	5,6
	10	5,0	5,0	5,0
	11	4,6	4,6	4,6
	12	4,5	4,4	4,4
SPF				
 				
2022	1	4,5	4,3	4,4
	2	4,4	4,4	4,4
	3	4,5	4,4	4,5
	4	4,7	4,6	4,7
	5	5,4	5,2	5,3
	6	5,8	5,6	5,7
	7	6,0	5,7	5,8
	8	6,0	5,8	5,9
	9	5,9	5,7	5,8
	10	5,3	5,1	5,2
	11	5,1	4,9	5,0
	12	4,9	4,8	4,9
SPF				
 				
2023	1	4,7	4,5	4,6
	2	4,8	4,6	4,7
 				

Lo mismo se observa en los COP instantáneos de las BCG (**Tabla 6.14.**), y en el COP_{mensual} a partir de la diferencia de los valores acumulativos tomados de los contadores externos (**Tabla 6.15.**), pero en este caso incluye todas las bombas circuladoras de calefacción que hay en el cuarto técnico.

Tabla 6.14. Coeficiente de rendimiento instantáneo de BCG en granja de Llardecans.

Fecha	COP BCG 5075	COP BCG 5085
10/6/19	4,7	-
13/01/20	2,7	2,7
28/05/20	3,2	-
16/11/20	4,1	4
01/12/20	3,6	3,5
24/05/21	4,4	4,4
31/05/21	5,7	4,1
20/03/23	4,2	4,1

Tabla 6.15. Coeficiente de rendimiento mensual de los contadores externos en granja de Llardecans.

Fecha	Consumo eléctrico mensual (kWh)	Consumo térmico 810 mensual (kWh)	Consumo térmico 811 mensual (kWh)	Consumo térmico mensual total (kWh)	COP
6/10/21	10.229	18.218	17.953	36.171	3,54
10/11/21	26.965	44.683	44.002	88.685	3,29
13/12/21	30.612	46.135	45.839	91.974	3,00
7/01/22	23.674	36.307	36.346	72.653	3,07
7/02/22	31.206	44.495	44.673	89.168	2,86
8/03/22	28.096	41.194	40.128	81.322	2,89
13/04/22	32.075	48.531	49.136	97.667	3,04
9/05/22	20.658	32.817	32.880	65.697	3,18
2/09/22	55.358	107.099	105.481	212.580	3,84
11/10/22	19.877	38.827	37.522	76.349	3,84
3/11/22	14.688	26.538	25.564	52.102	3,55
7/12/22	26.915	42.895	43.229	86.124	3,20
20/03/23	82.901	135.680	135.084	270.764	3,27

En general se observa que con el paso del tiempo la instalación baja los consumos de las BCG hasta estabilizarse y alcanzar unos valores óptimos para su correcto funcionamiento, y a la hora de interpretar resultados debe regirse por el SPF porque va a ser el que dé el valor significativo.

6.1.4.3 Temperatura de captación

La temperatura de captación se mantiene tras dos años de funcionamiento de la instalación, el pozo no pierde temperatura, como suele ocurrir en las instalaciones convencionales de captación vertical con demanda de calor, porque recibe el aporte de la puritermia, obteniéndose valores de captación promedio de 6 a 10°C, en condiciones de temperatura de consigna deseada de 44°C para los meses de invierno y valores de captación promedio de 9 a 14°C para calentar el depósito de inercia a 42°C en los meses de verano.

6.1.5 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-05

Se realizó una captación con puritermia en todas las naves para climatizar las placas de los lechones y calentar dos depósitos de ACS en total una demanda térmica aproximada de 220 kW que varía en función de las temperaturas de consigna deseadas y la época estival.

6.1.5.1 Horas de funcionamiento

A partir de la información tomada de las BCG en referencia a las horas de funcionamiento de los compresores se toman medidas cuando la granja está trabajando a pleno rendimiento, como puede ser 2021 y 2022, por un lado se observa que los compresores EP14 de la BCG maestra y la esclava 1, trabajan menos horas que el resto, esto es debido a que el sistema hidráulico dispone a la salida de los mismos de una válvula de 3V que deja paso hacia un lado cuando hay demanda de ACS y para el otro cuando la demanda es de calefacción, con un sistema de retardo que limita las horas de trabajo del compresor. De cualquier manera se ha tomado como valor el promedio de horas de todos los compresores (**Tabla 6.16.**). Por lo que al año las BCG están 6.739 horas lo que equivale a 76% de horas anuales (**Tabla 6.17.**). Si se hiciera un estudio energético exhaustivo comparado con los otros casos de estudio habría que descontar las horas de trabajo en que los compresores no están trabajando para climatizar las placas de los lechones.

Tabla 6.16. Horas de funcionamiento acumuladas de BCG en granja de Cabanillas.

Fecha	Horas acumuladas	Observaciones
14/11/21	4.497	
18/10/22	9.918	
17/11/22	11.236	Se estiman 1.318 h del 19/10/22 al 17/11/22

Tabla 6.17. Porcentaje de horas de funcionamiento anual de BCG en granja de Cabanillas.

Fecha	Horas de funcionamiento anuales (h)	Porcentaje funcionamiento (%)
18/10/21 a 17/11/22	6.739	76

6.1.5.2 COP

La presente Tesis Doctoral tiene como uno de los objetivos principales la eficiencia energética, de ahí que sea importante destacar como ya se ha hecho en los casos anteriores el COP de la instalación, por un lado se obtiene el COP instantáneo (**Tabla 6.18.**) a partir de los resultados tomados de los contadores, y por otra parte el COP real (**Tabla 6.19.**) a partir de la diferencia de dichos valores. Hay que considerar que el COP de esta instalación a diferencia del resto de casos de estudio, incluye la producción de dos circuitos de ACS y las bombas circuladoras de la instalación.

Tabla 6.18. COP instantáneo obtenido en granja de Cabanillas.

Fecha	COP instantáneo
21/04/21	3,2
26/04/21	3,2
13/07/21	3,4
12/11/21	3,4
14/11/21	3,4
05/01/22	3,5
23/02/22	3,6
28/02/22	3,6
20/04/22	3,7
09/05/22	3,7
03/10/22	3,6
17/10/22	3,6
28/11/22	3,6
03/04/22	3,6

Tabla 6.19. COP real obtenido en granja de Cabanillas.

Fecha	diferencia de contador eléctrico (kWh)	diferencia de contador térmico (kWh)	COP real
26/04/21	4.293	14.750	3,4
13/07/21	53.685	216.344	4,0
12/11/21	83.135	285.886	3,4
14/11/21	1.450	5.890	4,1

05/01/22	15.399	60.410	3,9
23/02/22	55.168	216.810	3,9
28/02/22	5.678	21.810	3,8
20/04/22	65.150	264.588	4,1
09/05/22	24.272	93.746	3,9
03/10/22	127.248	426.676	3,4
17/10/22	11.165	54.079	4,8
28/11/22	39.725	152.651	3,8
03/04/22	137.038	490.119	3,6

Se puede observar como en los dos últimos años el COP se mantiene estable entorno a valores de 4, bastante alto si se tiene en cuenta la alta demanda, llegando a valores de consigna de hasta 50°C y que da servicio a otros sistemas además de la calefacción, esto es debido a la elevada temperatura de captación.

6.1.5.3 Temperatura de captación

Si se analizan los valores obtenidos en las gráficas de temperatura del circuito de captación (**Fig. 4.64** y **Fig. 4.65.**), junto con la **Tabla 4.42.** se observa que los valores de salida de la BCG están entorno a 12°C los meses más fríos y 14°C los meses más calurosos, mientras que la temperatura del fluido caloportador una vez atravesada la geoestructura vuelve a valores de 16°C en los meses de invierno y a 19°C en verano (**Tabla 6.20.**). En ambos casos son temperaturas altas con apenas 2-3°C de variación entre las estaciones lo que favorece que el COP de la instalación sea tan elevado a pesar de la alta demanda de la misma.

Tabla 6.20. Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales.

Fecha	T _{entrada} captación (°C)	T _{salida} captación (°C)
01/22	16,0	12,0
03/23	16,5	11,5
04/23	16,5	12,0
08/21	19,0	14,5
09/22	18,5	14,0
10/22	18,0	13,0
11/21	16,5	11,5

Esta instalación cumple con las MTDs en el interior de las naves porque la geoestructura abarca la superficie de todas las naves, y disponer de más de 25.000 metros de captación supone una mayor temperatura del sistema de captación.

6.1.6 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio GRGS-06

En este caso de estudio se tomó datos principalmente para el análisis de las emisiones, no se valoró la eficiencia energética detallada de la instalación aunque si se hizo para realizar una comparativa con otros sistemas de climatización que se detalla más adelante en la presente Tesis Doctoral.

6.1.6.1 Horas de funcionamiento

La instalación se puso en funcionamiento a final de abril de 2020 cuando ya había animales en la granja así que se ha considerado que para noviembre de dicho año, de acuerdo con los lotes en que se hacen en la explotación, la granja ya estaba a pleno rendimiento. Por tanto para hacer el balance anual se toman los valores promedio desde noviembre de 2020 a noviembre de 2021, de modo que las BCG trabajan 3.912 h anuales (**Tabla 6.21.**), lo que equivale a un porcentaje anual del 45%.

Tabla 6.21. Porcentaje de funcionamiento anual de BCG en granja de Remolinos.

Fecha	Horas de funcionamiento correlativas de BCG (h)	Horas de funcionamiento anuales (h)	Porcentaje funcionamiento (%)
18/11/20	2.738	3.912	45
13/11/21	6.650		

6.1.6.2 Temperatura de captación

De acuerdo con los valores aleatorios de la **Tabla 4.55** tomados del circuito de captación, de 21 a 16,5°C en verano y de 14,6 a 10,6°C en invierno se observa que la diferencia es de 6-7°C entre los extremos estivales, debido a una menor demanda en verano, similar a los casos anteriores, aunque el salto térmico del circuito de captación se mantiene durante todo el año en 4°C (**Tabla 6.22.**).

Tabla 6.22. Temperaturas de entrada y salida de captación en distintas épocas estivales en granja de Remolinos.

Fecha	T _{salida} captación (°C)	T _{entrada} captación (°C)
04/23	16,6	12,4
06/20	17,2	13,4
08/21	21,0	16,5
11/20	14,6	10,6

Como ya ocurrió en el caso de estudio de Huerto, la captación no es en toda la estructura de ahí que la temperatura de captación sea inferior respecto a los casos de estudio donde la captación era en todas las naves.

6.1.7 Interpretación de resultados de eficiencia energética del caso de estudio VPGS-07

Al tratarse de una zona muy fría solo se ha utilizado el suelo refrescante durante 1 mes en verano, esta inversión del ciclo recupera la temperatura del pozo, únicamente funciona la bomba circuladora de pozo, sin arrancar el compresor de la BCG. En los meses calurosos, de junio a septiembre, la BCG ha producido mayoritariamente ACS, teniendo una demanda muy baja de calefacción, incluso en 2021 la calefacción se paró en los meses de verano, mientras que la demanda de calefacción en los meses más fríos, de noviembre a febrero, ha sido superior al 90% para poder calentar la vivienda., como se observa en la **Tabla 6.23**.

Tabla 6.23. Porcentaje de demanda de calefacción o ACS en vivienda unifamiliar en Atea.

AÑO	CALEFACCIÓN (%)	ACS (%)
2018	94	6
2019	94,8	5,2
2020	83,2	16,8
2021	84,8	15,2
2022	91,7	8,3

6.1.7.1 Horas de funcionamiento

Una vivienda doméstica tiene unas horas de funcionamiento de la BCG de 1.800 a 2.400 horas anuales lo que facilita la mayor durabilidad de la instalación, a pesar de estar incluido el uso de ACS. Corresponde con un 20% anual, que si se compara con los casos de estudio anteriores por encima de 6.000 horas anuales, supone menos de un tercio de las horas de consumo.

6.1.7.2 COP

Se observa un SPF real de 4,9 en 2021 **Tabla 6.24.** debido a un mayor control de la instalación por parte del cliente, en los últimos años. Respecto a los casos anteriores no hay grandes diferencias de SPF, lo que si es cierto, es que en una vivienda si se controla la temperatura en función del consumo el SPF está por encima de 4.

Tabla 6.24. SPF de una vivienda unifamiliar en Atea.

AÑO	ELÉCTRICO (kWh)	TÉRMICO (kWh)	SPF
2018	125,7	478	3,8
2019	3.728,2	16.173	4,3
2020	2.369,9	9.815,2	4,2
2021	2.122,3	9.888,5	4,9

6.1.7.3 Temperatura de captación

Respecto a la temperatura de captación al tratarse de un terreno altamente conductor y que la demanda anual no es muy elevada se observa que en el tiempo que lleva en funcionamiento, superior a 4 años, los pozos no han sufrido un enfriamiento significativo, con aproximadamente 14°C de entrada en los meses más calurosos, y 11 °C en los más fríos, frente a los 11°C y los 7°C de salida respectivamente.

El salto térmico se mantiene en 3 - 4°C y lo mismo ocurre con la diferencia de temperatura en distintos períodos estivales.

6.2 ESTUDIO ENERGÉTICO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

6.2.1 Estudio energético del caso de estudio GRGS-01

De acuerdo con la toma de datos y la información facilitada por el cliente se ha realizado un análisis energético del primer año de funcionamiento completo del sistema de climatización mediante energía geotérmica (2018) y un análisis de coste por lechón de los 3 primeros años con energía geotérmica.

En una explotación ganadera la factura eléctrica es diferente a la factura de una vivienda, siempre se mueven en 3 rangos, ya sea por franjas horarias o por franjas de consumo (ver **anexo 11.24**). Se consideraron los valores de kW y costes (€) de toda la explotación que aparecen en las facturas eléctricas (ver ejemplo de la factura de febrero de 2018 en **anexo 11.24**) comparado con los valores de consumo eléctricos de las BCG y sus costes promedio (**Tabla 6.25.**).

Tabla 6.25. Medidas de costes y consumos eléctricos en kWh en toda la explotación y de las BCG en el primer año de funcionamiento a pleno rendimiento en la granja de Ejea de los Caballeros.

MES	CONSUMOS ELÉCTRICO TOTAL DE LA GRANJA	COSTE ELÉCTRICO TOTAL DE LA GRANJA	CONSUMO ELÉCTRICO DE BCG	COSTE ELÉCTRICO DE BCG
	(kWh)	(€)	(kWh)	(€)
01/18	28.249	2.680	15.151	1.437
02/18	25.881	2.435	16.052	1.510
03/18	25.022	2.698	11.492	1.239

04/18	19.675	2.253	10.447	1.196
05/18	14.680	1.663	6.093	690
06/18	10.158	1.292	2.469	314
07/18	13.347	1.570	1.754	206
08/18	12.807	1.520	1.971	234
09/18	12.224	1.450	2.081	247
10/18	13.937	1.610	4.873	563
11/18	19.870	2.682	6.166	832
12/18	22.620	2.912	8.175	1.052
TOTAL	218.470 kWh	24.765 €	86.724 kWh	9.522 €

De acuerdo con la suma de las facturas eléctricas de toda la explotación y los costes energéticos de 2018 de las BCG (**Tabla 6.25**) se puede concluir que el coste energético de la geotermia equivale a un 38% del consumo de toda la explotación, siendo más alto en los meses de invierno e inferior en los meses de verano como ya se ha indicado con anterioridad.

La explotación se puso en marcha en febrero de 2017 y hasta abril del mismo año no estuvo en funcionamiento la geotermia, así que los dos primeros meses (febrero y marzo) la climatización se llevó a cabo mediante la caldera eléctrica, con los siguientes resultados **Tabla 6.26.** (datos de facturas facilitadas por el cliente), si se compara con el gasto de la geotermia en el mes de abril, el gasto anual de toda la explotación fue casi el 50% menos, por lo que prácticamente en igualdad de condiciones, la geotermia supuso un ahorro muy significativo. La comparación no puede hacerse con los meses de 2018 porque en ese momento la granja no funcionaba a pleno rendimiento y al principio arrancó con 2 de las 3 naves disponibles, es decir con 10.000 lechones y no con los 15.000 actuales.

Tabla 6.26. Costes eléctricos de la explotación ganadera en Ejea de los Caballeros con caldera eléctrica (02/17 y 03/17) y con BCG (04/17).

FECHA	COSTE ELÉCTRICO TOTAL DE LA GRANJA (€)
02/17	2.407,37
03/17	2.912,92
04/17	1.303,92

El punto más relevante es el consumo de kWh eléctricos que gasta la explotación en geotermia respecto a lo que gastaría si no dispusiese de este sistema renovable, para ello se compara los kWh consumidos reales de geotermia con los kWh térmicos que ha demandado la explotación para el calentamiento de los lechones, de acuerdo con el coste energético (facturas facilitadas por el cliente de 2018, 2019 y 2020).

En 2021 se produjo una subida exponencial del coste de la luz, considerándose un precio medio de 0,14 €/kW, en la actualidad debido a los últimos acontecimientos en el sector energético sigue en alza, teniendo un coste de 0,24 €/kW para 2022, lo que se ve reflejado en un aumento todavía mayor en el ahorro anual en la instalación (**Tabla 6.27.**) pasando de 30.000 € de ahorro de los tres primeros años a los 85.000 € actuales. Y no se ha añadido el sobrecoste necesario de potencia contratada en la factura eléctrica para una instalación convencional.

Tabla 6.27. Comparativa de ahorro de kWh térmicos y eléctricos en las BCG en Ejea de los Caballeros.

AÑO	CONSUMO ELÉCTRICO DE BCG (kWh)	CONSUMO TÉRMICO DE BCG (kWh)	COSTE ELÉCTRICO DE BCG (€)	COSTE TÉRMICO DE BCG (€)	AHORRO (€)
2018	86.724	373.433	8.850	38.108	29.258
2019	58.391	278.205	7.240	34.495	27.255
2020	98.082	470.290	9.028	43.289	34.260
2021	101.453	451.741	14.203	63.244	49.040
2022	90.193	446.497	21.646	107.159	85.513
AHORRO TOTAL					225.327 €

Por tanto, sin tener en cuenta las ayudas gubernamentales que puede tener una instalación con energía renovable. En los primeros 4,5 años de funcionamiento, se ha pagado el coste de la instalación completa, 197.750 € (ver **anexo 11.7.**), incluido el campo de captación vertical, que corresponde con la partida más elevada. Y este ahorro ha ido en aumento al llevar a cabo un mayor control de temperaturas a lo largo del 2020 y 2021, y a medida que el coste de la luz ha aumentado, de ahí que se puede concluir que la instalación esta amortizada.

Por otro lado, el cliente nos ha facilitado la producción real de lechones en su instalación durante los primeros 3 años (**Tabla 6.28.**, **Tabla 6.29.** y **Tabla 6.30.**), lo que ha permitido determinar el gasto por lechón en calefacción anual en esta instalación climatizada con energía geotérmica (**Fig. 6.3.**, **Fig. 6.4.** y **Fig. 6.5.**)

Tabla 6.28. Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2018.

2018	CONSUMO ELECTRICO TOTAL (kW)	CONSUMO ELECTRICO BCG (kW)	FACTURA TOTAL (€)	GASTOS GEOTERMIA (€)	LECHONES VENDIDOS (UNIDAD)	COSTE REAL KW €/kW	COSTE POR LECHON CALEFACCÓN (€)
01/18	28.249	15.151	2.680	1.437	9.367	0,09487	0,15
02/18	25.881	16.052	2.435	1.510	7.941	0,09408	0,19
03/18	25.022	11.492	2.698	1.239	7.491	0,10783	0,17
04/18	19.675	10.447	2.253	1.196	7.610	0,11451	0,16
05/18	14.680	6.093	1.663	690	8.386	0,11328	0,08
06/18	10.158	2.469	1.292	314	9.430	0,12719	0,03
07/18	13.347	1.754	1.570	206	7.753	0,11763	0,03
08/18	12.807	1.971	1.520	234	10.409	0,11869	0,02
09/18	12.224	2.081	1450	247	6.090	0,11862	0,04

10/18	13.937	4.873	1.609	563	8.171	0,11545	0,07
11/18	19.870	6.166	2.682	832	7.275	0,13498	0,11
12/18	22.620	8.175	2.911	1.052	8.831	0,12869	0,12

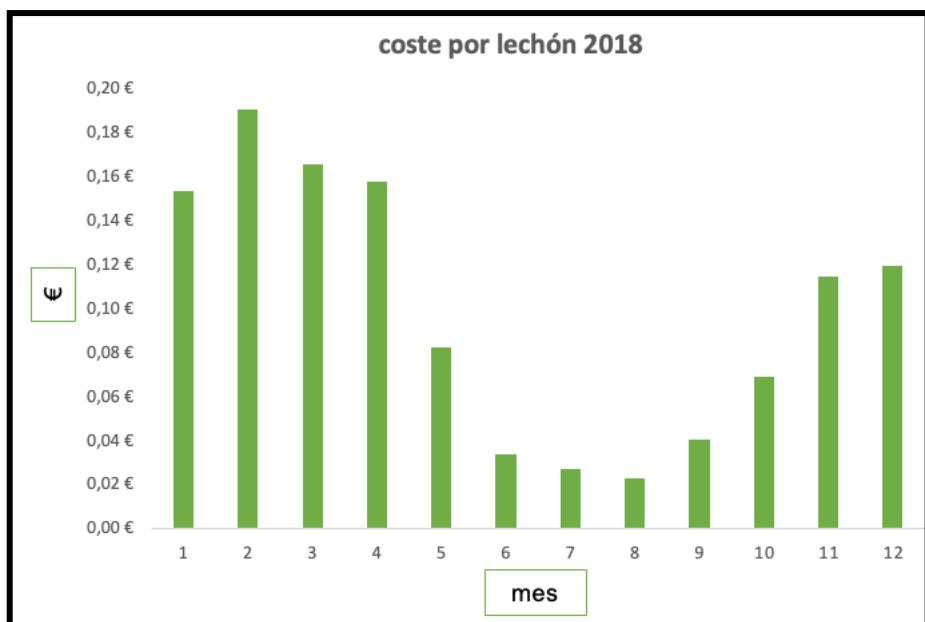


Fig. 6.3. Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2018

Tabla 6.29. Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2019

2019	CONSUMO ELECTRICO TOTAL (kW)	CONSUMO ELECTRICO BCG (kW)	FACTURA TOTAL (€)	GASTOS GEOTERMIA (€)	LECHONES VENDIDOS (UNIDAD)	COSTE REAL KW €/kW	COSTE POR LECHON CALEFACCIÓN (€)
01/19	24.014	11.841	2.746	1.354	7.764	0,11435	0,17
02/19	17.601	8.597	2.139	1.045	8.095	0,12153	0,13
03/19	18.593	8.075	2.258	981	7.910	0,12144	0,12
04/19	15.803	7.940	1.962	986	9.014	0,12415	0,11
05/19	11.594	6.441	1.566	870	6.731	0,13507	0,13
06/19	7.701	3.150	1.213	496	5.773	0,15751	0,09
07/19	8.536	3.607	1.278	540	6.070	0,14972	0,09
08/19	8.543	3.778	1.249	552	6.468	0,14620	0,09
09/19	9.897	4.962	1.406	705	4.493	0,14206	0,16
10/19	13.809	13.303	1.776	1.711	7.145	0,12861	0,24
11/19	21.651	11.222	2.508	1.300	6.698	0,11584	0,19
12/19	28.484	9.851	2.989	1.034	8.272	0,10494	0,12

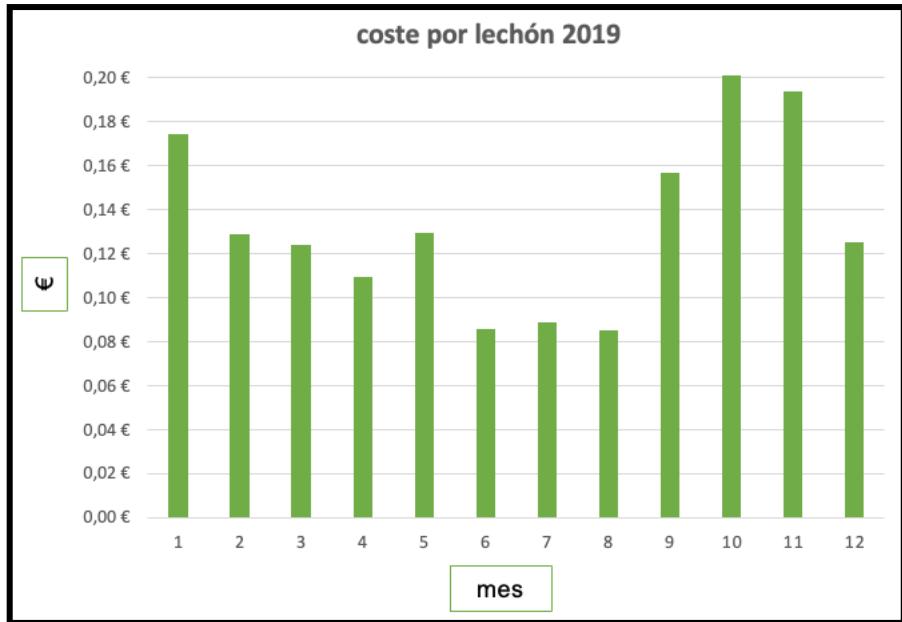


Fig. 6.4. Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2019.

Tabla 6.30. Valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2020

2020	CONSUMO ELECTRICO TOTAL (kW)	CONSUMO ELECTRICO BCG (kW)	FACTURA TOTAL (€)	GASTOS GEOTERMIA (€)	LECHONES VENDIDOS UNIDAD	COSTE REAL KW €/kW	COSTE POR LECHON CALEFACCIÓN (€)
01/20	33.970	13.303	2.967	1.162	7.139	0,08734	0,16
02/20	26.842	11.222	2.241	937	5.467	0,08349	0,17
03/20	21.309	9.851	1.781	823	8.830	0,08358	0,09
04/20	18.891	9.466	1.363	683	9.393	0,07215	0,07
05/20	16.302	7.443	1.181	539	6.756	0,07245	0,08
06/20	9.109	3.739	992	407	7.210	0,10890	0,06
07/20	7.490	2.617	939	328	6.476	0,12537	0,05
08/20	7.470	3.405	946	431	7.834	0,12664	0,06
09/20	8.144	4.779	1.026	602	6.013	0,12598	0,1
10/20	12.624	8.780	1.293	899	5.405	0,10242	0,17
11/20	17.739	10.316	1.796	1.044	6.654	0,10125	0,16
12/20	24.404	13.161	2.280	1.230	7.694	0,09343	0,17



Fig. 6.5. Gráfico de coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros en 2020.

Se observa como en los meses de junio, julio y agosto los costes por lechones se reducen considerablemente llegando a valores de 0,02 €/lechón, esto es debido a que en los meses más cálidos, al estar las salas con mayor temperatura, las placas de los lechones no demandan tanto calor, mientras que en los meses de invierno el coste asciende incluso a 0,19€/lechón al tener una mayor demanda. No se ha considerado el coste de 0,20 €/lechón de octubre de 2019 porque es cuando se produjo la avería en la BCG y el coste real incluye el uso de la caldera eléctrica; aunque si se ha repercutido en el global anual (**Tabla 4.16.**) donde se indica el promedio de coste por lechón anual de acuerdo con los lechones vendidos (realmente se calentaron más lechones porque existe una tasa de mortalidad en la explotación, pero no se han contabilizado).

Tabla 6.31. Resumen de valores reales y coste por lechón de calefacción en explotación porcina en Ejea de los Caballeros

FECHA	2018	2019	2020
CONSUMO ELECTRICO TOTAL (KW)	218.470	186.226	204.294
CONSUMO ELECTRICO BCG (KW)	86.724	92.767	98.082
FACTURA TOTAL (€)	24.763	23090	18.805
GASTOS GEOTERMIA (€)	9.521	11.573	9.086
LECHONES VENDIDOS (UNIDAD)	98.754	84.433	84.871
COSTE POR LECHON (€)	0,10	0,14	0,11
SFP	4,31	4,76	4,79

6.2.2 Estudio energético del caso de estudio GRGS-02

Conociendo el coste de la factura eléctrica facilitada por el cliente (ver ejemplo en **anexo 11.25.**) y el consumo de las BCG se puede determinar el gasto diario que ha tenido la instalación en los meses más fríos. Dicho consumo puede variar si coincide con el encendido de alguna sala, de ahí la importancia de los ciclos de la granja, para su correcta interpretación, y si el precio de la luz ha sufrido alguna subida significativa, de cualquier manera puede observarse gastos diarios de 2 a 12€ (**Tabla 6.32.**), siendo un valor promedio de 8 € diarios en los meses más fríos durante 2020 y principios de 2021.

Tabla 6.32. Coste eléctrico diario en granja de Pueyo de Santa Cruz de instalación geotérmica durante los meses más fríos durante 2020 y 2021.

FECHA	PRECIO (€)
17/10/20	6,66
18/10/20	6,00
19/10/20	6,48
20/10/20	5,34
21/10/20	7,86
22/10/20	7,14
24/10/20	5,88
04/11/20	3,54
10/11/20	2,46
11/11/20	4,08
15/11/20	2,84
16/11/20	2,58
18/11/20	3,45
21/11/20	6,96
22/11/20	7,14
25/11/20	10,26
26/11/20	5,67
28/11/20	6,24
29/11/20	6,36
30/11/20	5,76
01/12/20	4,50
02/12/20	8,82
03/12/20	9,18
04/12/20	9,30
05/12/20	8,34
06/12/20	9,66
07/12/20	10,20
08/12/20	9,84
09/12/20	12,72
10/12/20	11,34
11/12/20	11,34
14/12/20	10,14

16/12/20	11,52
18/12/20	11,61
19/12/20	10,98
20/12/20	9,90
23/12/20	9,24
26/12/20	9,06
02/01/21	7,62
03/01/21	8,04
08/01/21	11,31
14/01/21	10,86
20/01/21	15,18
23/01/21	12,00
25/01/21	10,14

Mientras que a finales de 2021 como se ha indicado anteriormente, se produjo una subida exponencial del coste de la electricidad, pasando de un promedio de precio de kilovatio de 0,06€/kWh a 0,18€/kWh, una subida muy significativa, por lo que se observa un aumento en el coste diario de la instalación geotérmica (**Tabla 6.33.**) De manera que de gastar de 2 a 12 € diarios paso a pagar de 13 a 50 € diarios.

Tabla 6.33. Coste eléctrico diario en granja de Pueyo de Santa Cruz de instalación geotérmica durante los meses más fríos durante 2021 y 2022.

FECHA	PRECIO (€)
22/11/21	28,98
25/11/21	28,50
30/11/21	27,07
01/12/21	18,00
02/12/21	19,26
03/12/21	13,86
04/12/21	13,86
08/12/21	13,37
12/12/21	15,84
15/12/21	18,18
16/12/21	17,10
18/12/21	22,59
21/12/21	25,02
22/12/21	30,78
23/12/21	23,40
24/12/21	28,26
28/12/21	30,69
29/12/21	30,96
30/12/21	30,78
31/12/21	31,86
01/01/22	36,18
03/01/22	30,15

04/01/22	32,76
05/01/22	42,30
06/01/22	51,30
07/01/22	55,44
08/01/22	41,22

Por otro lado con las facturas eléctricas de noviembre de 2020 a febrero de 2021, facilitadas por el cliente, se puede hacer una comparación detallada con los datos de consumo tomados diariamente, inicialmente se debe indicar que el cliente tiene un sistema de facturación dividido en 3 períodos (**Tabla 6.34.**), con una potencia contratada de 32 kW. No es necesario mayor potencia de contratación porque las bombas de calor gastan una cuarta parte de lo que consumen, 11,8 kW por cada BCG, como se indica en la ficha técnica (**anexo 11.12.**)

Tabla 6.34. Consumos de facturas eléctricas en granja de Pueyo de Santa Cruz.

FECHA DE FACTURA ELECTRICA	N.º (DIAS)	PERIODO 1 (KW)	PERIODO 2 (KW)	PERIODO 3 (KW)	TOTAL (KW)
26/10/2020 a 30/11/2020	35	4.576	8.377	4.915	17.868
01/12/2020 a 25/01/2021	56	6.221	11.755	7.816	25.792
26/01/2021 a 28/02/2021	33	4.105	9.856	10.213	24.174

Con los contadores externos que se han colocado en la instalación geotérmica y la toma de datos diaria que se realizó de las medidas (**Tabla 6.35.**), se puede saber los kilovatios que se gastaron de geotermia en esas fechas de facturación.

Tabla 6.35. Consumos de instalación geotérmica mensual en granja de Pueyo de Santa Cruz.

FECHA FACTURA ELECTRICA	MEDIDAS CONSUMO GEOTERMIA (KW)	CONSUMO REAL DE GEOTERMIA (KW)
26/10/2020 a 30/11/2020	7.997	10.704
01/12/2020 a 25/01/2021	10.779	19.955
26/01/2021 a 28/02/2021	20.180	26.573

Y a partir de los datos anteriores se puede concluir que en esta explotación de destete, en Noviembre de 2020 solo el 15% de la facturación eléctrica corresponde a la geotermia, en Diciembre de 2020 y Enero de 2021, que serían los meses más fríos correspondería a un 36% de la factura (**Tabla 6.36.**), aun teniendo en cuenta que Enero de 2021 fue un mes muy frío debido a la borrasca Filomena que causó temperaturas muy por debajo de las habituales para esa época del año, y en febrero de 2021 volvió a disminuir hasta un 26%. Los meses de verano ese consumo todavía es menor debido a que la temperatura exterior es más elevada, por lo que la demanda es inferior y el porcentaje de gasto eléctrico de geotermia, respecto a la factura eléctrica total de la granja es insignificante, frente a gasto importante en ventilación en los meses de verano, incluso en el mes de agosto la instalación permanece apagada por no considerarla necesaria para el calentamiento de los lechones.

Tabla 6.33. Porcentaje de consumo eléctrico de geotermia respecto a la facturación eléctrica total en granja de Pueyo de Santa Cruz.

FACTURA ELÉCTRICA (FECHA)	PORCENTAJE DE GEOTERMIA (%)
26/10/2020 a 30/11/2020	15
1/12/2020 a 25/1/2021	36
26/1/2021 a 28/2/2021	26

Tal y como se ha indicado anteriormente, se puede saber el kilovatio eléctrico consumido con geotermia en los meses más fríos (**Tabla 6.37.**) y su coste promedio de 8,6€ diarios , se corresponde con el coste real que se ha anotado diariamente.

Tabla 6.37. kW eléctrico de geotermia y su coste diario en granja de Pueyo de Santa Cruz

FACTURA ELÉCTRICA (FECHA)	CONSUMO ELÉCTRICO (kW)	COSTE DIA (€)
26/10/2020 a 30/11/2020	77,34	4,64 €
01/12/2020 a 25/01/2021	163,86	9,83 €
26/01/2021 a 28/02/2021	193,73	11,62 €

Por último se realiza una comparativa de consumo, de un mes frío como puede ser diciembre de 2020 con diciembre de 2021, a raíz de la última subida del coste del kilovatio (**Tabla. 6.38.**). Se observa que el coste de la geotermia en diciembre de 2021 pasa a ser el doble a pesar de haber gastado 7.000 kilovatios menos, debido a un regulación exhaustiva por parte del cliente en función de las necesidades de la granja.

Teniendo en cuenta que hasta 2020 era muy frecuente en el sector ver instalaciones climatizadas con placas eléctricas, frente a instalaciones de geotermia prácticamente inexistentes. El coste actual de dichas instalaciones se hace casi insostenible porque pagan 4 veces más en la factura eléctrica, sin contar la subida ni el sobre coste de la mayor potencia de contratación necesaria, frente a una instalación con geotermia, uno de los sistemas más eficientes en la actualidad.

Tabla 6.38. Comparativa de consumo y coste eléctrico real en Granja del Pueyo de Santa Cruz en diciembre de 2020 y 2021.

	Consumo eléctrico (kW)	Consumo térmico (kW)	Coste kW eléctrico (€)	Coste real geotermia (€)	Coste térmico (€)
Dic-20	4.857	19.972	0,06	291,42	1.198,32
Dic-21	3.636	13.128	0,18	622,62	2.363,04

En definitiva el ahorro energético de esta granja es altísimo, una vez que la granja está con los 12.000 lechones gasta 37.081 kWh anuales que corresponden a 2.224 € en su primer año completo de funcionamiento.

6.2.3 Estudio energético del caso de estudio GRGS-03

De acuerdo con los datos que aparecen indicados por el fabricante en el **anexo 11.12.** en referencia a la potencia eléctrica consumida por la BCG en condiciones 10/45°C, que son los que más se asemejan a la instalación dentro del rango que aparece en la ficha técnica, nos dan un consumo de 11,82 kW para la F135-40 y 17,60 kW para la F135-60 que si se multiplica por las 4.309 horas de funcionamiento anuales reales se corresponden con 126.770 kW anuales, como las temperaturas demandadas son un poco superiores entorno a 47- 48°C en los meses de invierno este dato podría considerarse un poco más elevado. Pero se van a tomar los datos reales del contador tomados anteriormente, el consumo eléctrico de septiembre 2020 a junio de 2021 fue de 111.287 kW, faltan de contabilizar los meses más calurosos, donde los consumos son mínimos, julio y agosto, se considera 8.500kWh equivalentes a esos meses, por lo que se obtiene un valor de 119.787 kW eléctricos anuales (**Tabla 6.39.**), que a 0,10 €/kW (precio del kW hasta mediados de 2021) se obtienen resultados de consumo por debajo de 12.000 € anuales para una granja de 436 parideras y 8 salas de destete con dos líneas corridas de calefacción.

Tabla 6.39. Gasto anual de geotermia en granja de Huerto.

Consumo eléctrico anual (kWh)	Coste kW estimado (€)	Coste anual geotermia (€)
119.787	0,10	11.978

6.2.4 Estudio energético del caso de estudio GRGS-04

En este caso de estudio el cliente dispone de la factura eléctrica dividida en periodos como en los casos anteriores, sabiendo los costes por kW mensual, **Tabla 6.40**, en el año 2022, un año donde se produjo una subida significativa del coste del kW, se obtienen los costes energéticos mensuales de las BCG que calientan las placas de los lechones. La media de 2022 tuvo un coste por kW de 0,3 €, mientras que en los años anteriores este coste era una tercera parte.

Tabla 6.40. Gastos mensuales de instalación geotérmica de 2022 en granja de Llardecans.

Año	Mes	Consumo eléctrico BCG (kWh)	Coste real (kWh)	Coste factura eléctrica (€)
2022	1	46.686	0,2978	13.903
	2	41.540	0,2977	12.365
	3	44.313	0,3965	17.572
	4	37.484	0,2667	10.000
	5	25.218	0,2576	6.498
	6	17.133	0,2881	4.937
	7	17.692	0,3481	6.159
	8	16.194	0,4094	6.631
	9	18.305	0,3463	6.339

	10	28.205	0,2231	6.295
	11	31.600	0,1972	6.232
	12	34.723	0,2750	9.552
	TOTAL	359.093	0,3003	106.484

En la **Tabla 6.41** donde aparecen los consumos eléctricos con un promedio entorno a los 350.000 kWh anuales y unos costes eléctricos desde junio de 2019 que se arrancó la instalación, se puede observar una diferencia importante en el gasto la explotación respecto al consumo energético sirva de ejemplo un año como 2020 con un coste de 0,12€/kW (aproximado de 0,10 a 0,14 kW en los 3 primeros años de funcionamiento de la instalación), habiendo consumido 100.000 kW anuales más que en 2022, el cliente ha pagado menos de la mitad en la factura eléctrica.

Tabla 6.41. Consumo y costes energéticos anuales de una instalación geotérmica desde el arranque de la instalación en una granja de Llardecans.

Fecha	Consumo eléctrico (kWh)	Coste real promedio (kWh)	Coste factura eléctrica (€)
2019	127.955	0,12	15.354
2020	451.398	0,12	54.167
2021	305.675	0,12	36.681
2022	359.093	0,30	106.484

Si no se dispusiese de una instalación geotérmica y fuese eléctrica, sin contar el sobrecoste de contratación de potencia eléctrica necesaria, los consumos reales serían los consumos térmicos (**Tabla 6.42**), siendo un año como 2022 con un precio mayor del coste del kW, de tener que pagar 106.000 € a pagar 528.000€, más de 400.000€ en un año.

Tabla 6.42. Consumo y costes energéticos anuales de una instalación tradicional en una granja de Llardecans.

Fecha	Consumo térmicos (kWh)	Coste real promedio (kWh)	Coste factura eléctrica (€)
2020	1.643.486	0,12	197.218
2021	1.500.513	0,12	180.062
2022	1.762.126	0,3	528.638

6.2.5 Estudio energético del caso de estudio GRGS-05

Se toman los kWh eléctricos obtenidos de los dos últimos años de funcionamiento de la instalación ganadera y se obtienen los siguientes resultados, **Tabla 6.43.**, que sabiendo el coste del kW facilitado por el cliente se obtiene el gasto anual de la instalación (**Tabla 6.44.**). El consumo de kW eléctricos entre abril de 2021 y abril de 2022 es parecido, se habla de

consumos importantes 325.000 y 350.000kWh por ser una instalación de 3.000 cerdas, la diferencia está en el coste del kW desde el arranque de la instalación hasta 2021 el coste del kW no llegaba a 0,1€ y desde 2022 hasta la actualidad este precio se ha duplicado pasando a 0,21€ por kW y consecuentemente de pagar 31.500 € anuales por la instalación de geotermia el cliente ha pasado a pagar 72.800 €, si se comparase con una instalación eléctrica el coste se multiplicaría por 4 llevando a una situación insostenible económicamente al ganadero.

Tabla 6.43. Consumo eléctrico anual de geotermia en granja de Cabanillas.

Fecha	Consumo eléctrico (kWh)	Consumo eléctrico anual (kWh)	Observaciones
21/04/21	119.464	-	
20/04/22	442.713	323.249	
19/04/23	793.326	350.612	Se consideran 11.165 kWh del 3/4/23 a 19/04/23

Tabla 6.44. Gasto anual de geotermia en granja de Cabanillas.

Año	Consumo eléctrico anual (kWh)	Coste kW estimado (€)	Coste anual geotermia (€)
21/04/21 a 20/04/22	323.249	0,09743	31.494
20/04/22 a 19/04/23	350.612	0,20755	72.769

6.2.6 Estudio energético de una vivienda unifamiliar (VPGS-07)

Se disponen de las facturas eléctricas desde diciembre de 2019 hasta diciembre de 2022, donde aparecen los kW eléctricos totales consumidos en la vivienda, que como ya se ha indicado anteriormente sabiendo los kW de geotermia se conoce el porcentaje de consumo de geotermia respecto a la factura total (**Tabla 6.45.**) de manera que el mes más frío, la geotermia supuso entorno al 60% de la factura, frente a un mes de agosto con apenas un 8% de consumo para la producción de ACS.

Tabla 6.45. Porcentaje de consumo de la geotermia en la factura eléctrica de una vivienda unifamiliar en Atea.

FECHA	kW totales consumidos	kW geotermia	% geotermia
dic-19	1127	745,5	66,1
ene-20			
feb-20	926	561,9	60,7
mar-20			
abr-20	756	293	38,8
may-20			
jun-20	709	93,9	13,2
jul-20			

ago-20	725	60	8,3
sept-20			
oct-20	954	397	41,6
nov-20			
dic-20	1666	870,8	52,3
ene-21			
feb-21	1196	330,4	27,6
mar-21			
abr-21	661	243,2	36,8
may-21			
jun-21	607	45,8	7,5
jul-21			
ago-21	662	45,6	6,9
sept-21			
oct-21	1034	440	42,6
nov-21			

Hasta mayo de 2021 la factura estaba dividida en dos períodos punta y valle, y a partir de esa fecha el consumo de kW se dividió en 3 períodos punta, llano y valle en función del consumo en una determinada franja horaria, por tanto en la factura sale detallado cuánto se gasta en cada horario, pero en la geotermia no se puede separar así que se ha hecho un promedio de coste de los 2 o 3 períodos para saber cuánto han costado los kW de geotermia tal y como aparece en la **Tabla 6.46**.

Tabla 6.46. Coste de los kW de geotermia en una vivienda unifamiliar en Atea.

FECHA	Coste kW totales (€)	Promedio Coste kW (€)	Coste kW geotermia (€)
dic-19	123,51	0,11883167	88,59
ene-20			
feb-20	102,41	0,11866652	66,68
mar-20			
abr-20	85,88	0,11864533	34,76
may-20			
jun-20	85,99	0,11864533	11,14
jul-20			
ago-20	87,7	0,11860784	7,12
sept-20			
oct-20	109,57	0,11860353	47,09
nov-20			
dic-20	191,87	0,11860308	103,28
ene-21			
feb-21	134,3	0,11860496	39,19

mar-21			
abr-21	74,47	0,11861	28,85
may-21			
jun-21	78,19	0,216507	9,92
jul-21			
ago-21	82,25	0,2097345	9,56
sept-21			
oct-21	145,42	0,235076	103,43
nov-21			

En definitiva si hacemos un resumen de los últimos 3 años (**Tabla 6.47.**), la vivienda ha tenido un consumo de aproximadamente 5.500 kW, de los cuales 2.000 kW corresponden a la geotermia menos del 40%, con unos costes anuales que han ido aumentando de acuerdo con el sobrecoste generado en la factura eléctrica a lo largo de los años, llegando a pagar actualmente 0,24€/kW.

Tabla 6.47. kW anuales y costes totales de una vivienda unifamiliar en Atea.

FECHA	kW totales consumidos	kW geotermia	% geotermia	Coste kW totales	Coste kW geotermia
2020	5.197	2.151	38	595,1	255,4
2021	5.826	1.975	29	706,5	294,2
2022	5.534	2.063	37	1.375,5	512,9

6.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE EMISIONES DE GASES DE LOS CASOS DE ESTUDIO

6.3.1 Interpretación de resultados de medición de purines del caso de estudio GRGS-03

Una vez que se han obtenido todos los datos posibles disponibles en los parámetros y medidores de la granja, que puedan ser de interés a la hora de interpretar los resultados de medición de purines, se calcula el volumen del purín acumulado en cada uno de los alojamientos y la temperatura promedio del mismo, a partir de los datos de la **Tabla 4.26.**, tanto en las salas que disponían de puritermia bajo la losa de los purines como de las salas que no tienen puritermia, obteniéndose los resultados que aparecen en la **Tabla 6.48.**

Tabla 6.48. Toma de datos de purines de los alojamientos en la granja de Huerto.

Sala	Volumen de purín (m ³)	T _{media} purín (°C)	Puritermia
1	121,80	20,7	SI
2	87,00	22,2	SI
3	108,75	20,5	SI
4	104,40	20,7	SI
5	5,88	22,1	NO
6	9,24	23,5	NO
7	13,86	23,7	NO
8	29,76	24,7	NO

En la **Tabla 4.26** donde aparecen todos los datos medidos de temperatura de purín, se observa que las salas 6, 7 y 8, se obtienen valores de temperaturas más elevados, coincidiendo con salas sin puritermia, en algunos casos la diferencia de temperatura entre una sala con puritermia y otra sin ella, llega a 4°C. En esta consideración hay que tener en cuenta el volumen, a un mayor volumen de purín debería indicar una mayor temperatura del mismo, lo cual se ve reflejado en la sala 8 respecto a las salas 5, 6 y 7 sin puritermia, pero en las salas 1, 2, 3 y 4 con refrigeración de purín esto no sucede. Las salas con puritermia son más grandes dando valores de temperatura inferiores a pesar de que el volumen del mismo es hasta 20 veces mayor. A la inversa si se observa en la sala 5 una menor temperatura respecto a las salas 6, 7 y 8, acorde con un volumen de purín más bajo.

Esta información va a ser un factor muy significativo que demuestra que la puritermia aplicada en el interior de las explotaciones porcinas reduce temperatura del purín, y si se reduce temperatura de purín se reducen emisiones, como se ha indicado en el capítulo 2 de la presente Tesis Doctoral. La **Fig. 6.6.** muestra la secuencia de valores aleatorios de temperatura de purín en cada sala, siendo las salas 1, 2, 3, 4 y 5 con temperaturas inferiores, las cuatro primeras con puritermia y la 5 con un volumen de purín de 5m³ insignificante en comparación con las cuatro salas anteriores.

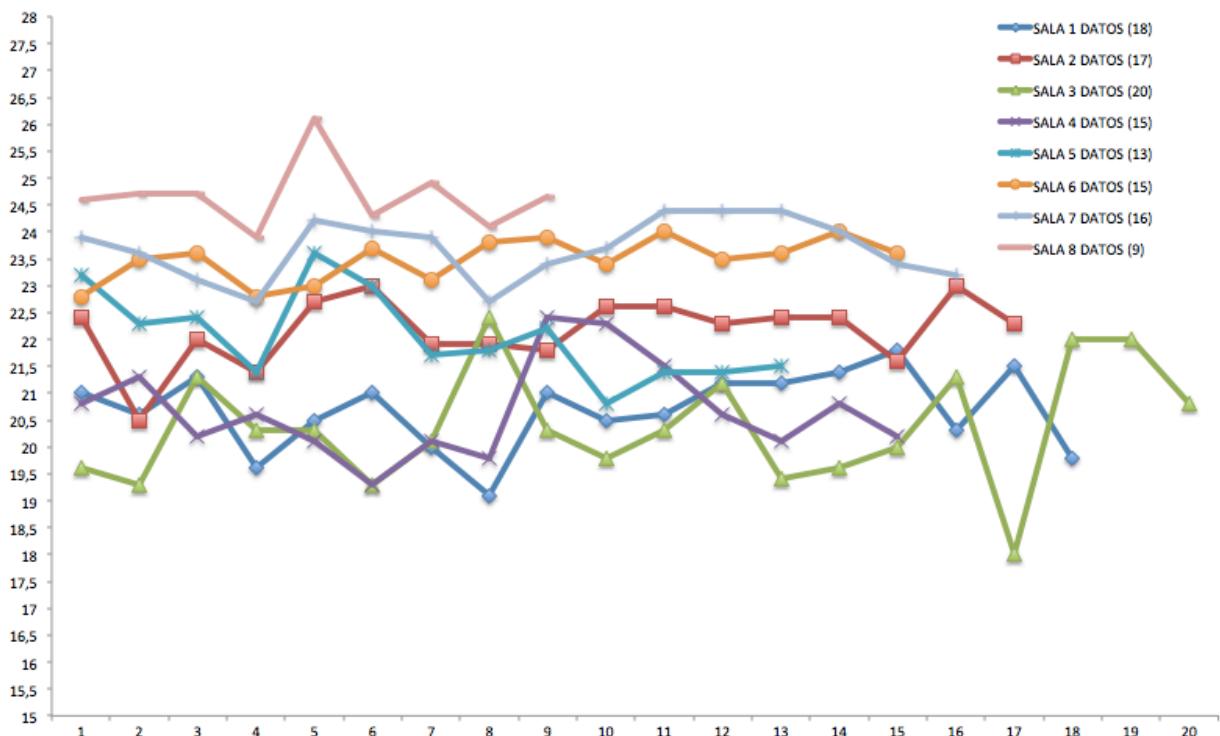


Fig. 6.6. Gráfica de comparativa de temperatura de purines de diferentes salas en la granja de Huerto.

6.3.2 Interpretación de resultados de medición de purines del caso de estudio GRGS-04

Tomados los datos del interior de las salas que pueden ser de interés para la presente Tesis Doctoral, se calcula como ya se hizo en la granja de Huerto, el volumen de purín acumulado y la temperatura promedio (**Tabla 6.49.**), a partir de los valores tomados en la **Tabla 4.40** y **Tabla 4.39** respectivamente.

Tabla 6.49. Toma de datos de purines de los alojamientos en granja de Llardecans.

Sala	Volumen de purín (m ³)	T _{media} purín (°C)	Puritermia
1	83,58	20,5	SI
2	88,64	20,5	SI
3	157,02	21,9	NO
4	146,61	21,1	NO

A partir de la **Tabla 4.39** donde aparecen todos los datos medidos de temperatura de purín, se observa similitud en la gráfica de la **Fig. 6.7.** entre las salas 1 y 2 con puritermia, y entre las salas 3 y 4 sin puritermia, el valor promedio de las salas con puritermia es menor 20,5°C frente a 21,9 y 21,1°C de las salas sin puritermia.



Fig. 6.7. Gráfica de comparativa de temperatura de purines de diferentes salas en granja de Llardecans.

Aunque debido al alto porcentaje de ventilación hasta un 85% en la tercera sala y a la alta concentración de purín no se pueden sacar conclusiones significativas, habría que considerar una gran cantidad de variables, las mediciones se realizaron en la parte superior de las balsas de purines tanto en las salas de maternidad como en las de destete, ambas cubiertas por slat de plástico, mientras que en gestación el suelo es de hormigón, siendo este último de un mayor grosor y con menos rejillas, no se ha analizado hasta qué punto puede influir en las emisiones del purín y en la temperatura del mismo, pero la concentración de gases en el hormigón es más elevada, y al estar tan próxima a la superficie sería un indicador más que podría alterar el resultado de las mediciones. Además se desconoce el comportamiento del purín, al estar tanto tiempo depositado en naves comparadas diferentes en distribución, número de animales y otras características de las mismas.

6.3.3 Interpretación de resultados de medición de purines y gases del caso de estudio GRGS-05

6.3.3.1 Mediciones de purines

Partiendo de la toma de datos en las salas se calcula el volumen de purín de las mismas y la temperatura promedio de este obteniéndose los resultados que aparecen en la **Tabla 6.50**.

Tabla 6.50. Volumen y temperatura media de los purines en los alojamientos interiores en la granja de Cabanillas.

Sala	Volumen purín (m ³)	T _{media} purín (°C)	Puritermia
1	44,84	21,57	si
2	42,22	21,34	si
3	28,69	20,87	si
4	20,79	20,00	si
5	56,43	23,13	si
6	5,41	23,72	no

Si se analizan los resultados obtenidos (**Fig. 6.8.**), las salas 1, 2, 3, corresponden a salas de maternidad idénticas donde la temperatura media del purín esta entorno a 21-21,5°C, la numero 3 dispone de un menor número de cerdas y muchas de ellas aún no han parido, por lo que el volumen del purín acumulado es menor junto con un 10% más de ventilación de la sala, todo ello hace que la temperatura del purín sea algo inferior no alcanzando los 21°C, pero en cualquier caso se puede considerar que dichas salas siguen un mismo patrón.

Las salas 4 y 5 son salas de destete, idénticas en dimensiones pero presentan características diferentes, por un lado la sala 4, los lechones son más grandes, están en la 8^a semana, generan más cantidad de purín, pero en este caso puede ser que la balsa se haya limpiado recientemente porque apenas hay 6 cm de purín, lo que facilita por un lado que la temperatura de la captación sea más fría, que junto a una ventilación elevada del 71% hacen que la temperatura del purín sea de tan solo 20°C, dichos valores se contrarrestan con la sala 5, donde la ventilación es muy baja, 26 %, solo 7900 m³ en la sala, con una humedad acumulada del 68% y 17 cm de purín tres veces más que la sala 4, dando como consecuencia una temperatura de purín de 23°C.

Finalmente si se analizan los valores de la última sala, sala 6 de recria sin puritermia, donde los lechones apenas alcanzan los 4,5 kg y una superficie de 35 m² frente a 330 m² de las salas de destete o los 360 m² de las de maternidad, y a pesar de disponer de apenas 5m³ de purín frente a los 40 m³ de maternidad o 50 m³ de destete, tenemos temperaturas de purín próximas a los 24°C, 3°C por encima de las salas de partos.

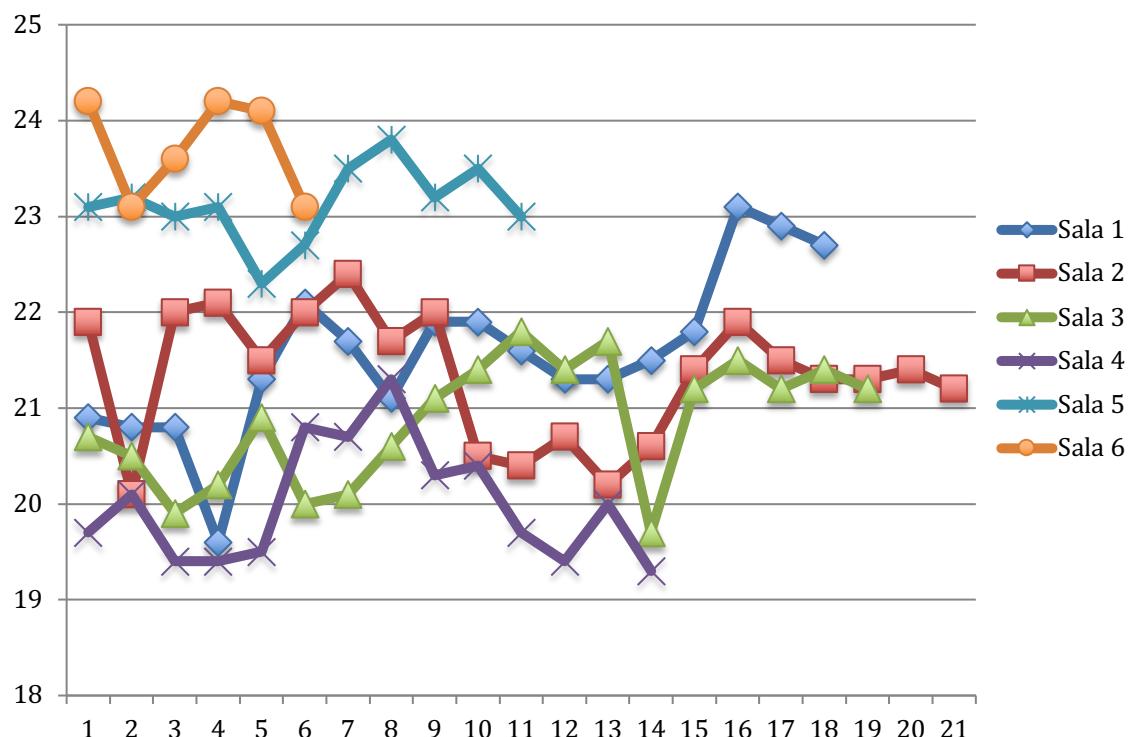


Fig. 6.8. Gráfica de temperatura de purines de diferentes salas en la granja de Cabanillas.

6.3.3.2 Mediciones de gases teórico

En esta granja de acuerdo con el criterio establecido en el capítulo 5 de metodología de la presente Tesis Doctoral de medición de emisiones en granjas, establecido por el Ministerio que desarrolla el sistema informático Ecogan se obtienen los siguientes resultados para una granja con 13.045 plazas ocupadas:

■ Excreta de N de la granja	75.204,94 kg N/año
■ Emisiones totales de NH ₃	21.881,01 kg NH ₃ /año
■ Emisiones totales de N ₂ O	162,38 kg N ₂ O /año
■ Emisiones totales de N ₂	121,81 kg N ₂ /año
■ Emisiones totales de NO _x	13,34 kg NO _x /año
■ Emisiones totales de CH ₄	64.441,89 kg CH ₄
■ Excreta de P de la granja	17.330,34 kg/año
■ Excreta de P ₂ O ₅ de la granja	39.692,07 kg/año

6.3.4 Interpretación de resultados de medición de gases del caso de estudio GRGS-06

En todos los casos anteriores de la presente Tesis Doctoral se ha realizado un estudio de la eficiencia energética junto con el análisis de temperatura de purines en algunos de ellos, finalmente en el último caso de estudio de una granja se ha realizado una medición real de concentración de gases, para hacer una valoración de hasta qué punto la refrigeración del purín mediante un sistema de geoestructura reduce las emisiones.

Aunque no se han tenido en cuenta en este caso ni la semana del ciclo de vida del lechón, ni la curva de la ventilación de cada una de las salas, si se ha intentado hacer una comparativa lo más real posible al tratarse de salas idénticas, por lo que se puede considerar como una primera valoración de resultados obtenidos entre salas con purítermia y salas sin ella. Para ello de acuerdo con los valores medidos en el interior de las salas se han realizado unas gráficas por un lado de la concentración de CO₂ (**Fig. 6.9.**), de la humedad (**Fig. 6.10.**), de la temperatura ambiental (**Fig. 6.11.**) y del NH₃ (**Fig. 6.12.**) de las salas. Observándose variaciones entre las diferentes salas sobre todo en las concentraciones de NH₃.

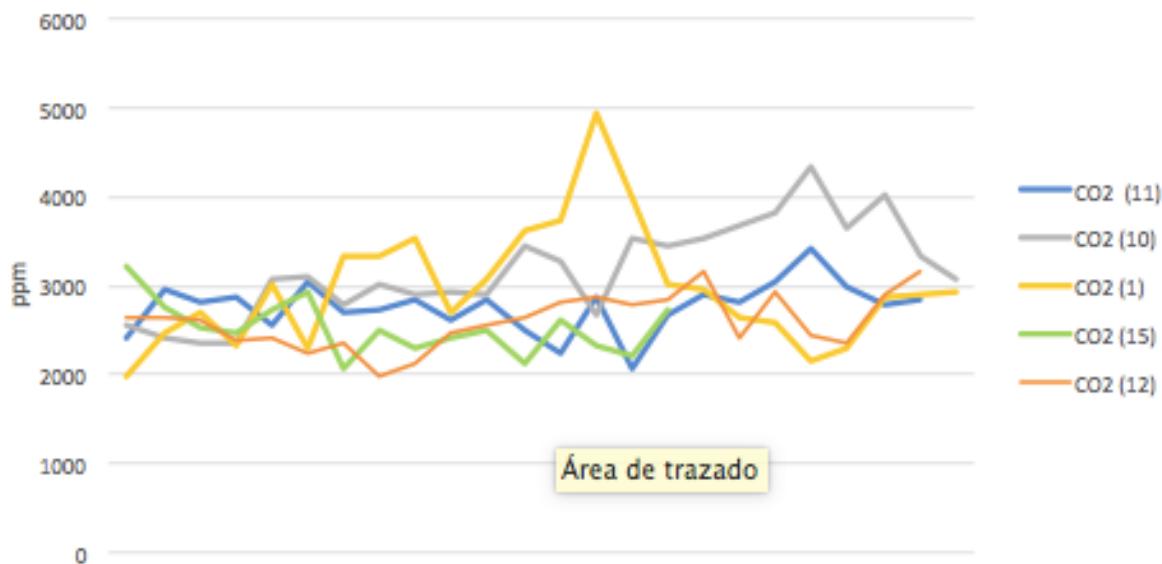


Fig. 6.9. Gráfica de mediciones de CO₂ en granja Remolinos.

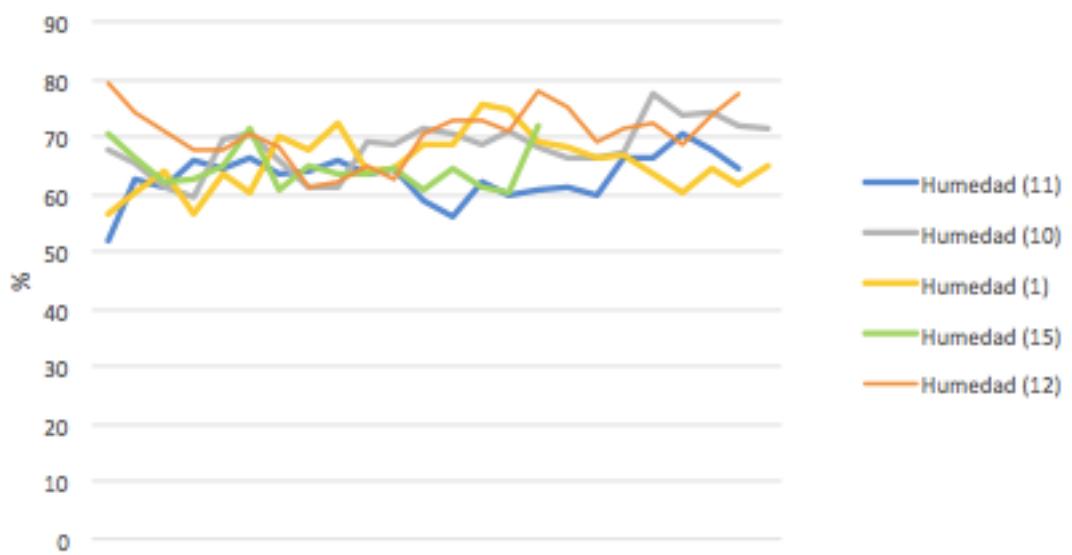


Fig. 6.10. Gráfica de mediciones de humedad en granja Remolinos.

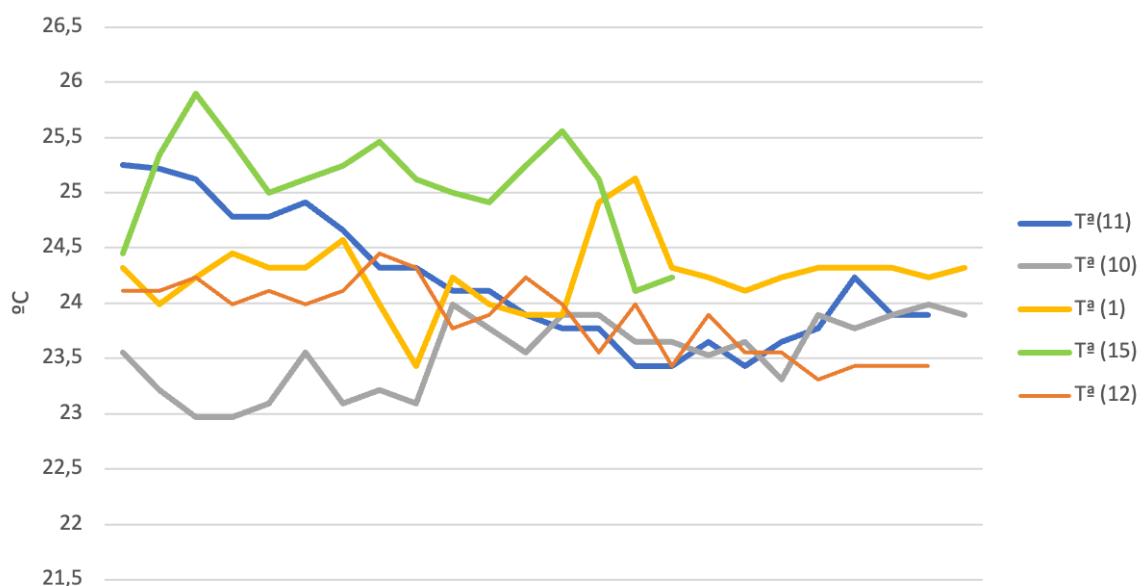


Fig. 6.11. Gráfica de mediciones de temperatura en granja Remolinos.

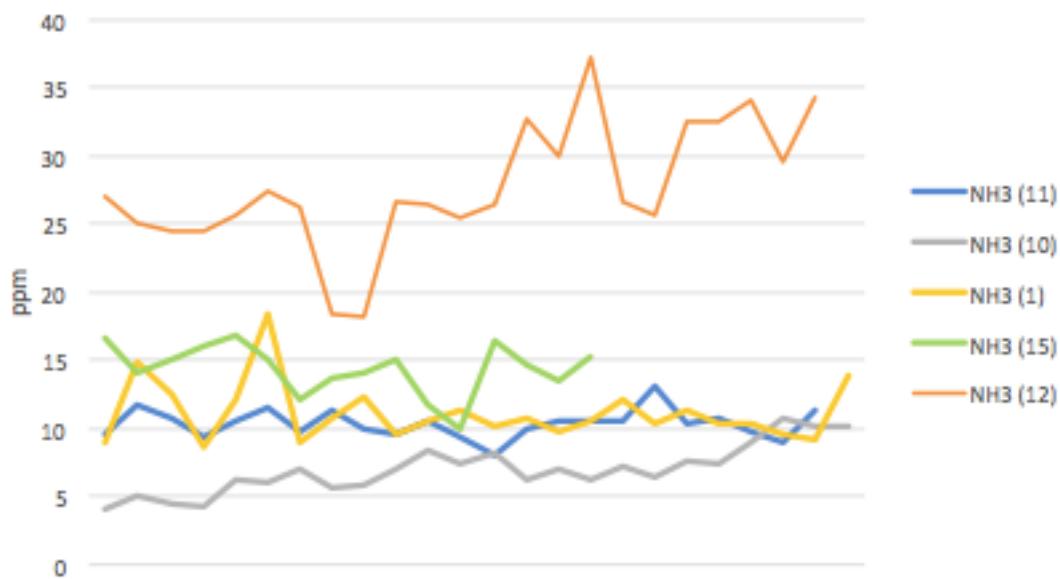


Fig. 6.12. Gráfica de mediciones de amoniaco en granja Remolinos.

Finalmente se ha realizado un promedio de todos los valores obtenidos de las concentraciones de gases, en el caso del CO₂ (**Fig. 6.13.**) no se han observado variaciones significativas, en cambio en el NH₃ si se observa que la sala 10 y la sala 11 que son las que tienen purítermia, tienen menor concentración de NH₃ 9,9 y 6,9 ppm (**Fig. 6.14.**) y además están por debajo de los umbrales establecidos por las MTDs, de manera que el animal no se ve afectado por el NH₃ a diferencia de que si afecta al bienestar del animal el contenido de NH₃ en las salas 1, 12 y 15.

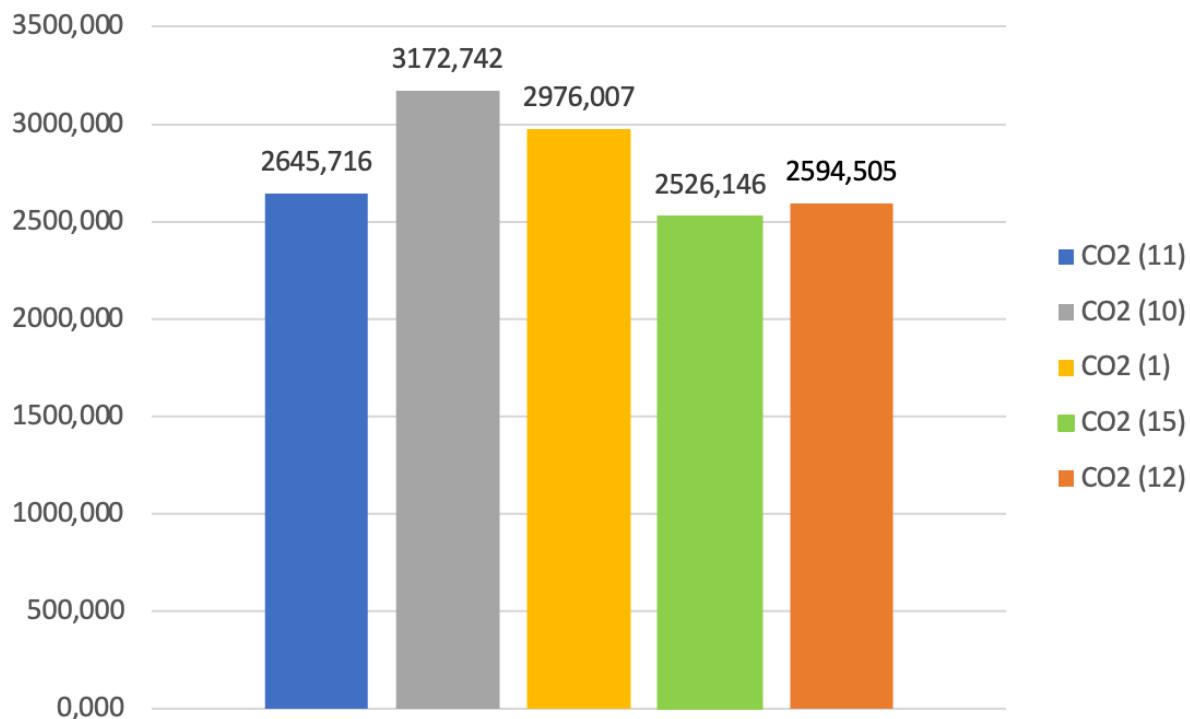


Fig. 6.13. Gráfica de valores medios de concentraciones de CO₂ en granja Remolinos.

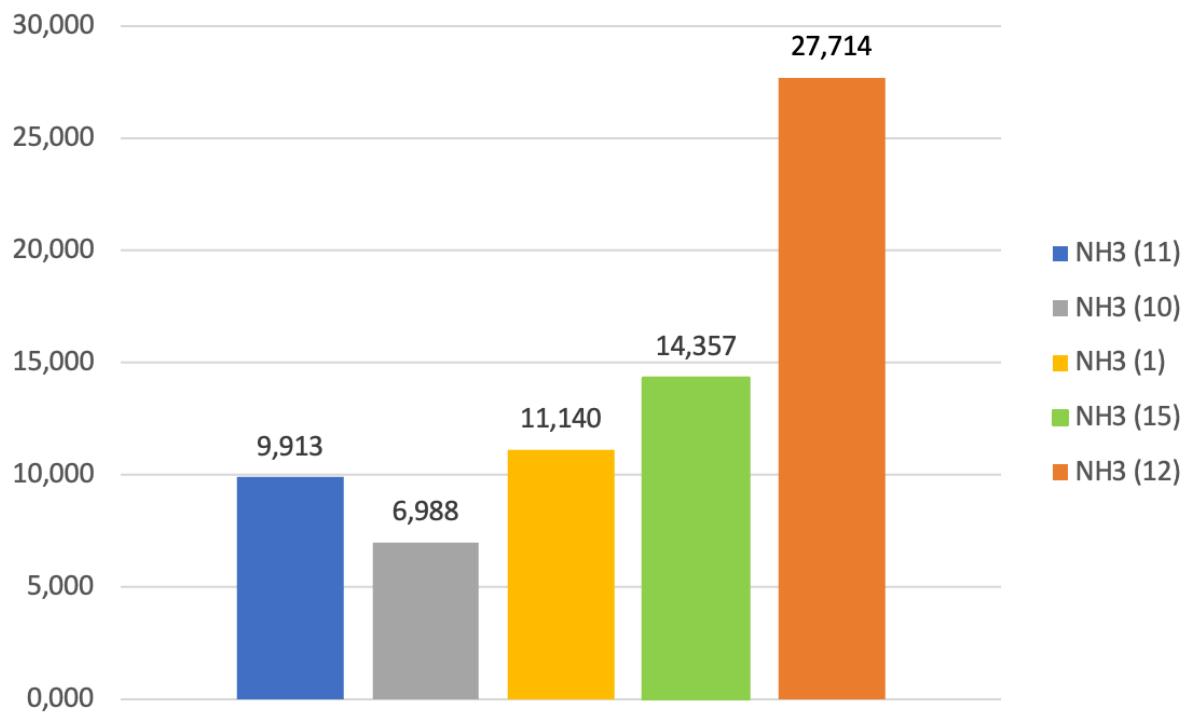


Fig. 6.14. Gráfica de valores medios de concentraciones de amoniaco en granja Remolinos.

Por último estos valores promedio no son significativos en referencia a la temperatura ambiente (**Fig. 6.16.**) que está condicionada con la ventilación de la sala, cabe destacar que en la sala 12 sin purítermia la humedad es más elevada (**Fig. 6.15.**) muy parecida a la sala 10 y consecuentemente el contenido de NH₃ como se indicó con anterioridad puede ser mayor, en este caso la sala 12 triplica su concentración respecto a las salas con purítermia.

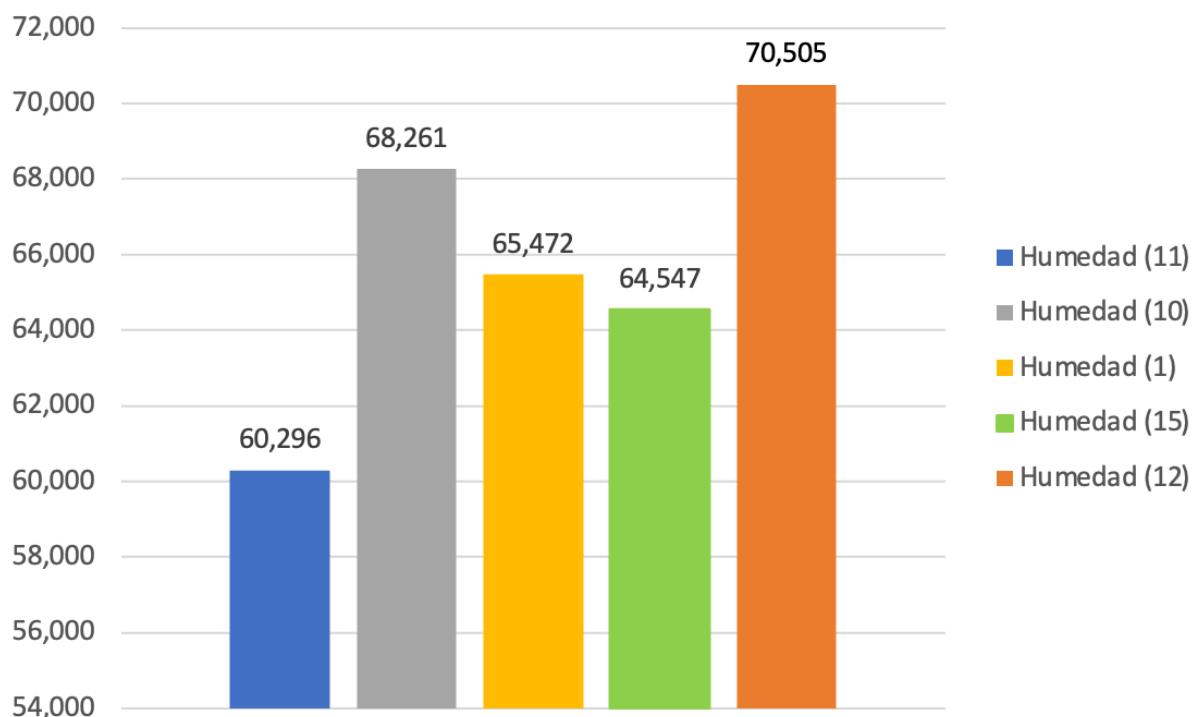


Fig. 6.15. Gráfica de valores medios de humedad en granja Remolinos.

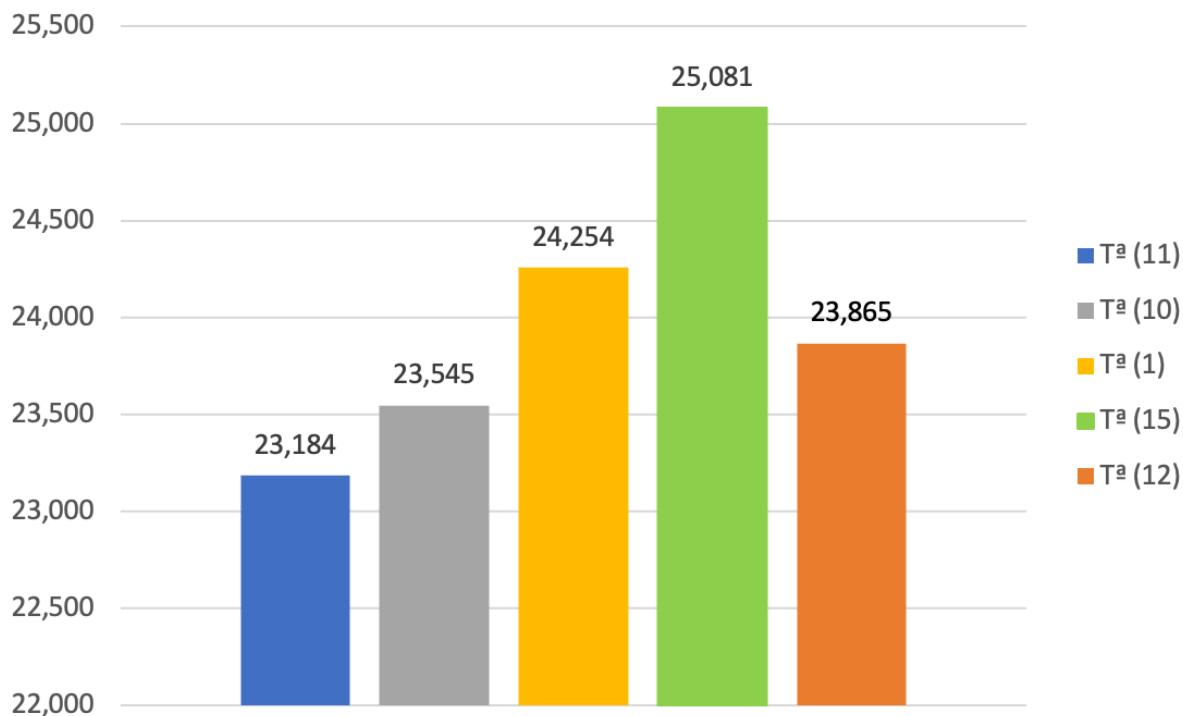


Fig. 6.16. Gráfica de valores medios de temperatura en granja Remolinos.

6.4 COMPARATIVA DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA FRENTE A OTROS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

6.4.1 Comparativa de una instalación geotérmica (GRGS-05) frente a una instalación de biomasa.

Se van a comparan dos instalaciones idénticas, la instalación de Cabanillas climatizada con geotermia frente a una instalación ganadera situada en la población del Cubo de la Solana también en la provincia de Soria climatizada con una biomasa de astilla, ambas explotaciones se encuentran a apenas 40 km de distancia de ahí que las condiciones climáticas sean prácticamente las mismas.

Como se ha explicado con anterioridad las instalaciones disponen de una nave de maternidad con 680 placas hidráulicas de alto rendimiento de dimensiones 0,50 m x 1,50 m y otra nave de destete con 660 m² a climatizar. Las condiciones de trabajo y potencias son diferentes: porque la geotermia trabaja a 45°C mientras que la biomasa necesita mayor temperatura para su correcto funcionamiento, se está comparando una BCG con una caldera con un quemador de combustible, en este caso astilla, que trabaja a una temperatura de 90-110°C y consecuentemente las potencias necesarias también son diferentes, **Tabla 6.51**.

Tabla 6.51. Temperaturas de trabajo y potencia de diferentes sistemas de climatización de dos explotaciones idénticas

Sistema de climatización	T de trabajo	Potencia
Biomasa	110-90°C	500 kW
Geotermia	45°C	180 kW

En la instalación geotérmica, la potencia está repartida en 3 BCG de 60 kW cada una mientras que la biomasa dispone de una única caldera de 500 kW y una caldera de apoyo para momentos puntuales, dicha caldera es de gasoil de 400 kW.

Como ya se han indicado los costes de la geotermia, se van a indicar los costes de la biomasa, que son por un lado la cantidad de astilla consumida, luego los costes de electricidad de la caldera de biomasa, los costes de gasoil y por último los costes de personal.

En la **Tabla 6.52.** de detalla la información facilitada por el cliente de toneladas (Tn) de astilla suministrada a la explotación del Cubo de la Solana, el precio del porte del transporte y el coste mensual de Tn del combustible durante 2020.

Tabla 6.52. Toneladas consumidas y costes de la instalación del Cubo de la Solana climatizada con biomasa durante 2020.

Fecha	Neto (Tn)	PORTE (€)	Precio (€/Tn)	Total (€)
07/01/20	8,93	70	94,06	910
15/01/20	9,13	70	92,00	910
27/01/20	9,79	70	85,80	910
27/01/20	9,37	70	89,65	910
04/02/20	10,09	70	83,25	910
17/02/20	9,79	70	85,80	910
19/02/20	9,65	70	87,05	910
27/02/20	9,89	70	84,93	910
09/03/20	8,79	70	95,56	910
09/03/20	8,79	70	95,56	910
13/03/20	11,17	70	75,20	910
17/03/20	9,91	70	84,76	910
18/03/20	9,45	70	88,89	910
25/03/20	9,79	70	85,80	910
01/04/20	9,93	70	84,59	910
07/04/20	9,51	70	88,33	910
17/04/20	9,55	70	87,96	910
27/04/20	9,03	70	93,02	910
29/04/20	8,31	70	101,08	910
08/05/20	8,87	70	94,70	910
08/05/20	8,27	70	101,57	910
11/05/20	8,27	70	101,57	910
12/05/20	22,15	125	86,68	2.045
20/05/20	10,65	70	78,87	910

01/06/20	11,73	70	163,68	1.990
09/06/20	10,65	70	78,87	910
15/06/20	10,31	70	79,44	889
25/06/20	8,87	70	94,70	910
06/07/20	8,83	70	95,13	910
15/7/20	10,41	70	80,69	910
16/07/20	10,33	70	81,32	910
17/7/20	9,43	70	86,85	889
23/07/20	10,59	70	79,32	910
03/08/20	20	150	95,00	2.050
21/08/20	20,84	150	91,17	2.050
11/09/20	7,75	70	108,39	910
14/09/20	8,67	70	96,89	910
29/09/20	8,97	70	93,65	910
30/09/20	8,15	70	103,07	910
08/10/20	8,07	70	104,09	910
14/10/20	19,84	150	94,76	2.030
16/10/20	20,3	150	92,61	2.030
27/10/20	8,59	70	97,79	910
13/11/20	10,57	70	79,47	910
17/11/20	21,36	150	88,01	2.030
26/11/20	21,18	150	88,76	2.030
11/12/20	20,49	150	91,75	2.030
23/12/20	21,32	150	88,18	2.030
TOTAL	556,33	4.055 €	91,97 € promedio	54.853 €

De manera que en el año 2020 se han gastado 556,33 Tn de astilla a un precio medio de 91,67 € sin contar los portes anuales que corresponden a 4.055 €, en total el consumo anual de astilla de la caldera de biomasa en 2020 ha sido de 54.853 €, pero para hacer una comparativa más real vamos a tomar los datos desde marzo de 2021 hasta febrero de 2022 (**Tabla 6.53.**) donde se gastaron 72.340€ en astilla.

Tabla 6.53. Costes de astilla del Cubo de la Solana de marzo de 2021 a febrero de 2022.

Fecha	Importe (€)
03/21	7.020 €
04/21	6.370 €
05/21	6.580 €
06/21	4.100 €
07/21	5.670 €
08/21	4.550 €
09/21	5.460 €
10/21	3.640 €
11/21	7.490 €
12/21	6.820 €

01/22	7.800 €
02/22	6.840 €
TOTAL	72.340 €

La granja del Cubo de la Solana tiene un consumo anual de 841.376,37 kWh anuales (**Fig. 6.17.**) de los cuales la caldera de biomasa aunque utiliza astilla para generar calor tiene un consumo eléctrico (**Tabla 6.54.**), inicialmente una resistencia eléctrica enciende la astilla en el quemador y durante el uso de la caldera también se precisa electricidad para los ventiladores, el motor del tornillo sinfín y un pequeño consumo para la electrónica, en total se ha estimado un gasto de 3.064 € en electricidad desde marzo de 2021 hasta febrero de 2022.

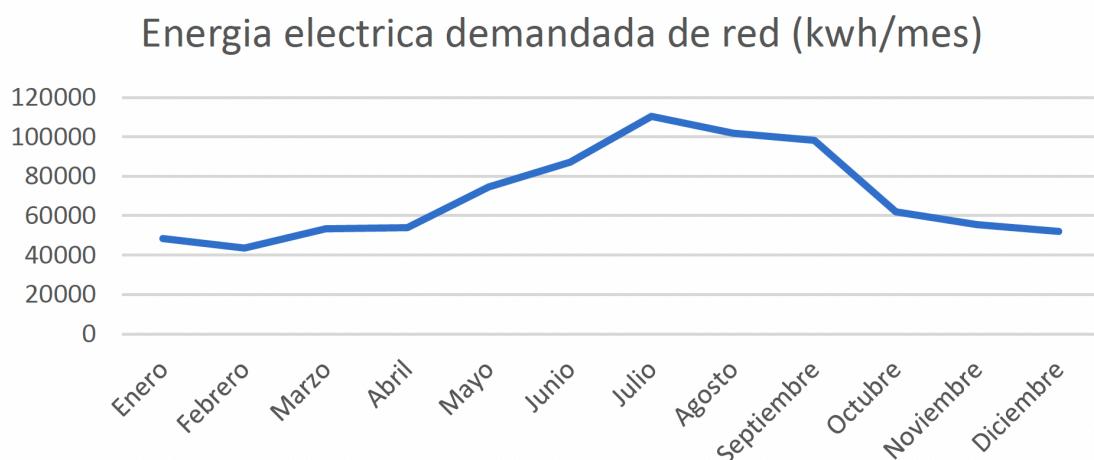


Fig. 6.17. Gráfica de energía eléctrica consumida anual en granja del Cubo de la Solana (Copiso)

Tabla 6.54. Costes de electricidad de caldera de biomasa del Cubo de la Solana de marzo de 2021 a febrero de 2022.

Fecha	Consumo eléctrico (kW)
03/21	2.305
04/21	2.261
05/21	2.906
06/21	3.179
07/21	3.515
08/21	3.589
09/21	3.098
10/21	2.306
11/21	1.888
12/21	1.922
01/22	1.865
02/22	1.805
TOTAL (kW)	30.638

Precio kW	0,10 €
TOTAL (€)	3.064 €

Por otro lado, el gasto de la caldera de apoyo de gasoil, que gasto 3.921€ anuales (**Tabla 6.55.**) que se pone en funcionamiento para la limpieza y mantenimiento de la caldera de biomasa.

Tabla 6.55. Costes anuales de la caldera de gasoil en la granja del Cubo de la Solana.

Fecha	Coste gasoil (€)
01/21	1.325,25
10/21	2.595,74
TOTAL (€)	3.920,99 €

Y por último el coste de personal, a diferencia de la geotermia, la biomasa precisa un cuidado continuo para su funcionamiento por una parte la retirada de las cenizas, que se estima en 4 h a la semana y por otra la descarga de la astilla que trae el repartidor hasta el depósito donde se acumula, en este caso se considera que el suministro se hace 2 veces a la semana dedicando 3 h aproximadamente del tiempo del trabajador, en total son 7 h a la semana, un operario que trabaja 40 h a la semana tiene un salario bruto mensual de 2.000€ del cual 350 € lo dedica a la biomasa, lo que corresponde con un coste de personal de 4.200€ anuales (**Tabla 6.56.**).

Tabla 6.56. Costes anuales de la caldera de gasoil en la granja del Cubo de la Solana.

Tiempo	Coste personal (€)
1 mes	350
1 año	4.200 €

En resumen el gasto total de biomasa de marzo de 2021 a febrero de 2022 fue de 85.525 € (**Tabla 6.57.**) frente a los 31.494 € que gasto la geotermia. Se han incluido en el presente estudio los presupuestos de ambas instalaciones, por un lado el presupuesto de geotermia de Cabanillas (**anexo 11.19**) y por otro el presupuesto de biomasa facilitado por el cliente del Cubo de la Solana (**anexo 11.26**). Hay que tener en cuenta que la instalación geotérmica se realizó en 2020 mientras que la biomasa se puso en funcionamiento en 2016, así que habría que añadir un sobrecoste en los precios del presupuesto de biomasa que se estima entorno al 20% del total.

Tabla 6.57. Costes totales de la biomasa de marzo de 2021 a febrero de 2022 en la granja del Cubo de la Solana.

Concepto	Gastos (€)
Astilla	72.340
Electricidad	3.064
Gasoil	3.921
Personal	4.200
TOTAL	85.525 €

La astilla es un biocombustible sostenible precisa una zona de acopio y uno equipo de manejo para su suministro en la caldera, de ahí que la instalación de biomasa tuvo unos gastos extra antes de ponerla en funcionamiento, **Tabla 6.58.**

Tabla 6.58. Presupuesto de la instalación de biomasa en la granja del Cubo de la Solana.

Concepto	Gastos (€)
Presupuesto actualizado	142.996
Presupuesto de caldera de gasoil	5.000
Depósito de astilla	20.000
Manitú de manejo de acopio	40.000
TOTAL	207.996 €

Debido a los conflictos internacionales de los últimos años, se ha producido un aumento significativo en los costes de materiales, incluido el coste de la energía a nivel mundial por lo que para poder hacer una comparativa más real se va a considerar un precio actual estimativo. Descontando la ahorro producido por la instalación de las placas fotovoltaicas (**Tabla 6.60.**) en ambas explotaciones que se instaló a raíz de este aumento en el costes energéticos (**Tabla 6.59.**).

Tabla 6.59. Producción eléctrica de fotovoltaica y consumo eléctrico de dos instalaciones, con biomasa y geotermia respectivamente.

	Producción eléctrica de placas fotovoltaicas	Consumo eléctrico de biomasa	Consumo eléctrico de geotermia	Consumo eléctrico total de la granja
kW anuales	264.690 kW	30.638 kW	350.612 kW	593.618
Precio kW	0,20 €	0,20 €	0,20 €	0,20 €
TOTAL	52.938 €	6.128 €	70.122 €	118.724 €

Tabla 6.60. Consumo eléctrico anual de una instalación geotermia y una instalación de biomasa con apoyo de placas fotovoltaicas.

	Consumo eléctrico (€)	Porcentaje de consumo (%)
Geotermia	38.855 €	59%
Biomasa	3.395 €	5%

Por lo que los costes actuales de la biomasa serían los que aparecen en la **Tabla 6.61.**, mientras que los costes de geotermia serían los 38.855 € indicados en la **Tabla 6.60.**

Tabla 6.61. Costes totales de la biomasa de 2023 en la granja del Cubo de la Solana.

Concepto	Gastos (€)
Astilla	88.978
Electricidad	3.395
Gasoil	7.019
Personal	4.200
TOTAL	103.592 €

A la hora de realizar una comparativa real se tiene que calcular la amortización de los activos, en este caso serían la instalación geotérmica y la instalación de biomasa, el plan de amortización de un bien son 10 años que se supone el coste anual que aparece en la **Tabla 6.62.** en este caso es 20.800 € para la biomasa y 22.000 € para la geotermia.

Tabla 6.62. Plan de amortización de dos instalaciones, la biomasa y la geotermia.

BIEN	AÑO				
	1º	2º	3º	4º	5º
Biomasa	20.800	20.800	20.800	20.800	20.800
Geotermia	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000

BIEN	AÑO				
	6º	7º	8º	9º	10º
Biomasa	20.800	20.800	20.800	20.800	20.800
Geotermia	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000

Una vez que ya se conoce el plan de amortización se calcula el coste de consumo anual en dicho periodo, aunque los precios varían se va a considerar los actuales para que sea lo más real posible, de manera que el coste de consumo sería el consumo más el gasto amortizable (**Tabla 6.63.**), de manera que al año se gastan 124.392 € de biomasa frente a 60.855 € en geotermia, lo que produce un ahorro anual de 63.536 € (**Tabla 6.64.**) en dos instalaciones idénticas con apoyo de placas fotovoltaicas.

Tabla 6.63. Coste de consumo de dos instalaciones, la biomasa y la geotermia.

BIEN	AÑO				
	1º	2º	3º	4º	5º
Biomasa	124.392	124.392	124.392	124.392	124.392
Geotermia	60.855	60.855	60.855	60.855	60.855

BIEN	AÑO				
	6º	7º	8º	9º	10º
Biomasa	124.392	124.392	124.392	124.392	124.392
Geotermia	60.855	60.855	60.855	60.855	60.855

Tabla 6.64. Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación de biomasa en condiciones idénticas.

	GASTO (€)
Biomasa	124.392
Geotermia	60.855
AHORRO	63.536 €

Una vez se conoce el ahorro se calcula el retorno de la inversión (**Tabla 6.65.**) a partir de la ecuación 4.1 para saber en cuanto tiempo se pagaría la inversión si se compara la instalación geotérmica con una instalación de biomasa.

$$\text{Retorno de la inversión} = \frac{\text{Diferencia de inversión}}{\text{Ahorro anual}} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Tabla 6.65. Retorno de la inversión de la geotermia de Cabanillas respecto a la biomasa del Cubo de la Solana.

Retorno de la inversión	0,2 años
-------------------------	----------

Eso significa que en poco más de 2 meses se ha amortizado la inversión de la instalación geotérmica, y a partir de ahí la instalación de Cabanillas ahorra aproximadamente 63.500€ anuales con respecto a la instalación del Cubo de la Solana.

6.4.2 Comparativa de una instalación geotérmica (GRGS-06) frente a una instalación con placas eléctricas.

A continuación se detalla una comparativa a partir de los valores facilitados por el cliente de la granja de Remolinos, el caso A se correspondería con una instalación con placas eléctricas frente al caso B, que corresponde al caso de estudio GRGS-06, climatizado con

geotermia, ambas granjas de maternidad con 780 placas de calefacción. Sabiendo los costes de las facturas eléctricas se obtienen los resultados que aparecen en la **Tabla 6.66.**

Tabla 6.66. Costes detallado de factura mensual de una instalación eléctrica frente a una instalación geotérmica (valores de 2021).

	CASO A	CASO B
Coste total de factura eléctrica	7.041,15 €	1.524,38 €
Energía	5.420,57 €	1.084,11 €
Potencia	1.249,07 €	337,09 €
Impuesto de electricidad	341,00 €	72,66 €
Alquiler de contador	30,51 €	30,51 €

Se trata de dos instalaciones reales equivalentes, lógicamente la demanda de la BCG es mínima, cuatro veces inferior a la necesaria que debe contratarse en un sistema eléctrico (**Tabla 6.67.**).

Tabla 6.67. Datos de demanda y consumo de dos instalaciones reales climatizadas con electricidad y con geotermia respectivamente.

	CASO A	CASO B
Sistema de climatización	Electricidad	Geotermia
Demanda en kW	150 kW	30 kW
Consumo anual	459.900 kWh	91.980 kWh
Coste factura mensual	7.041 €	1.524 €
Ahorro factura eléctrica	5.517 €	
SPF	5	

El ahorro mensual se corresponde a 5.517 € en la factura eléctrica, que equivaldría a 66.204 € anuales, pero hay que considerar todos los parámetros, de manera que los gastos generados por una instalación hidráulica en el caso de estudio agua – agua, llevan unos gastos extra iniciales que no lleva una instalación eléctrica y que se debe descontar a la hora de hacer una comparativa lo más real posible. Por un lado los elementos necesarios del cuarto técnico (BCG, bombas circuladoras y sistema hidráulico) es lo que sería el coste de la geotermia, y por otro lado el coste de la instalación hidráulica de las placas de calefacción, frente al coste que supondría la instalación eléctrica de las mismas (**Tabla 6.68.**).

Tabla 6.68. Costes de inversión de una instalación eléctrica y una instalación geotérmica.

	Potencia kW	Inversión
Proyecto geotérmico	30	277.000 €
Proyecto eléctrico	150	36.807 €
Diferencia de inversión		240.193 €

Ahorro anual		66.204 €
--------------	--	----------

De la misma manera que se hizo en el caso de Cabanillas con la comparativa de biomasa, hay que calcular la amortización de los activo (**Tabla 6.69.**), en este caso son de 3.681€ para la instalación eléctrica frente a 27.700 € de la geotermia.

Tabla 6.69. Plan de amortización de dos instalaciones, la eléctrica y la geotermia.

BIEN	AÑO				
	1º	2º	3º	4º	5º
Eléctrica	3.681	3.681	3.681	3.681	3.681
Geotermia	27.700	27.700	27.700	27.700	27.700

BIEN	AÑO				
	6º	7º	8º	9º	10º
Eléctrica	3.681	3.681	3.681	3.681	3.681
Geotermia	27.700	27.700	27.700	27.700	27.700

A continuación se indican los costes de consumo anual, que sería el consumo más el gasto amortizable (**Tabla 6.70.**) de manera que al año se gasta 88.175 € de la instalación eléctrica frente a 45.993 € de la geotermia, lo que produce un ahorro anual de 42.182 € (**Tabla 6.71.**) de dos instalaciones idénticas una con un sistema eléctrico y otra climatizada mediante geotermia.

Tabla 6.70. Coste de consumo de dos instalaciones, la eléctrica y la geotermia en 2021.

BIEN	AÑO				
	1º	2º	3º	4º	5º
Eléctrica	88.175	88.175	88.175	88.175	88.175
Geotermia	45.993	45.993	45.993	45.993	45.993

BIEN	AÑO				
	6º	7º	8º	9º	10º
Eléctrica	88.175	88.175	88.175	88.175	88.175
Geotermia	45.993	45.993	45.993	45.993	45.993

Tabla 6.71. Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación eléctrica en condiciones idénticas (precios de 2021).

	GASTO (€)
Eléctrica	88.175
Geotermia	45.993
AHORRO	42.182 €

Por último se calcula el retorno de la inversión, de acuerdo con la ecuación 4.1 de manera que considerando los precios de 2021 la instalación estaría amortizada en 5,6 años (**Tabla 6.72.**), mientras que si esta comparativa se realiza con los precios actuales (**Tabla 6.73.**), los cuales han supuesto más del doble de subida en la factura eléctrica y la tendencia futura no indica que vaya a disminuir, lo que se traduce en una amortización en poco más de 2 años (**Tabla 6.74.**).

Tabla 6.72. Retorno de la inversión de la geotermia de Remolinos respecto a una instalación eléctrica en 2021.

Retorno de la inversión	5,6 años
-------------------------	----------

Tabla 6.73. Ahorro anual de una instalación de geotermia frente a una instalación eléctrica en condiciones idénticas (precios de 2023).

	GASTO (€)
Eléctrica	172.669
Geotermia	64.286
AHORRO	108.383 €

Tabla 6.74. Retorno de la inversión de la geotermia de Remolinos respecto a una instalación eléctrica en 2023.

Retorno de la inversión	2,2 años
-------------------------	----------

A todos estos valores reales de geotermia hay que añadir el confort que tiene una placa hidráulica respecto a una eléctrica,

7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados de la evaluación de eficiencia energética de los casos de estudio indicados en el apartado anterior y la potencia de las instalaciones se obtienen los valores que aparecen en la **Tabla 7.1**. En esta tabla se observa que al aumentar la potencia para cubrir la demanda, aumenta el consumo y consecuentemente las horas de funcionamiento de los compresores de las BCG.

De los casos de estudio, la instalación con menos horas se corresponde con la vivienda unifamiliar (VPGS-07) con apenas un 20% de consumo anual, a continuación si las placas son de alto rendimiento estarían las granjas de destete, en la presente Tesis Doctoral sería el caso GRGS-02 con un consumo similar de horas de trabajo, con 3.912 horas anuales estaría el caso de estudio GRGS-06 con una única nave a calefactar, la nave de maternidad, estando el cuarto técnico ubicado en el centro de la misma lo que favorece a una mejor trasmisión del calor, le seguiría el caso de estudio GRGS-03 con un 49% anual del uso de los compresores, que dispone de 2 naves contiguas. Por último los casos GRGS-04 y GRGS-05 con un 71 y 76% respectivamente, ambas están formadas de una nave de maternidad y otra nave de destete de grandes dimensiones separadas entre sí, en el caso GRGS-04 la distancia de las naves es superior a 50 m, lo que implica una mayor red hidráulica del sistema secundario y una mayor demanda térmica para alcanzar la temperatura deseada en la última placa de la sala más alejada. El sobrecoste de horas de trabajo de los compresores en el caso GRGS-05 es debido a la demanda adicional de ACS para lavado de los animales y ACS para las duchas del personal de la granja. Finalmente el caso de estudio GRGS-01 no se considera al tratarse de unas placas de hormigón que precisan una mayor potencia calorífica en comparación con el resto de los casos anteriores.

Tabla 7.1. Resultados de consumos en función de potencia contratada de los casos de estudio de la presente Tesis Doctoral.

CASOS DE ESTUDIO	Potencia eléctrica demandada (kW)	Consumo anual (kWh)	Calefacción anual (h)	Superficie calefactada (m ²)	SPF
VPGS-01	1,2	2.122	1.780	80	4,9
GRGS-02	23,6	37.081	1.549	710	4,0
GRGS-06	29,4	91.980	3.912	468	5,0
GRGS-03	29,4	119.787	4.309	632	3,8
GRGS-01	30,0	92.500	5.431	960	4,7
GRGS-04	32,4	359.093	6.260	870	5,0
GRGS-05	52,8	350.612	6.739	1.170	4,0

Otro aspecto a tener en cuenta en el análisis de la eficiencia energética de los casos de estudio viene marcado por el SPF, la demanda es exclusivamente de calefacción en todos los casos estudiados y está condicionado por la temperatura demandada, que corresponde con un valor fijo de temperatura de consigna del depósito de inercia, no presentan una curva en función de la temperatura exterior como suele ser lo más frecuente en las instalaciones geotérmicas, y pese a trabajar con valores entorno a 45°C o superior, muy por encima de la temperatura necesaria para una vivienda, caso de estudio VPGS-07, los valores de SPF están entorno a 4, llegando en algunos casos a valores de 5, esto es debido a que la temperatura de retorno de captación en las geoestructuras es superior incluso a pesar de las grandes tiradas de distribución del sistema hidráulico secundario.

Por otro lado el COP también está condicionado por la temperatura de captación (**Tabla 7.2.**), a menor temperatura de retorno más trabajo debe hacer la BCG para alcanzar la temperatura de consigna, esta temperatura de captación, como se ha indicado, viene marcada por el medio de absorción de calor. Considerando las condiciones climáticas más desfavorables, los sistemas cerrados de captación vertical, donde el aporte procede del terreno (GRGS-01 y VPGS-07), la temperatura puede disminuir hasta valores de 6°C, muy bajos en comparación a los que se obtienen de las estructuras termoactivas (GRGS-02, GRGS-03, GRGS-04, GRGS-05 y GRGS-06) que de acuerdo con la conductividad del hormigón reciben un aporte continuo del calor del purín de los animales, y puede alcanzar valores de hasta 20-25°C en los meses de verano lo que supone un mayor ahorro energético en comparación con otras instalaciones geotérmicas que no dispongan de esta fuente de energía continua. Mientras que en invierno cuando la ventilación de la salas disminuye y por tanto las emisiones en el interior aumentan, la puritermia favorece la reducción de emisiones con temperaturas de retorno próximas a 15°C, cumpliendo las MTDs a la vez que se consigue una mayor eficiencia energética de la BCG.

Tabla 7.2. Temperaturas de captación de los casos de estudio de la presente Tesis Doctoral.

CASOS DE ESTUDIO	T impulsión (°C)	T de retorno (°C)
GRGS-01 (Ejea de los Caballeros)	5,8	6,8
GRGS-02 (Pueyo de Santa Cruz)	12,2	16,4
GRGS-03 (Huerto)	6,8	10,9
GRGS-04 (Llardecans)	6,0	10,0
GRGS-05 (Cabanillas)	12,0	16,0
GRGS-06 (Almenara)	10,6	14,6
VPGS-01 (Atea)	6,7	10,5

Existiría otro factor que condicionaría el COP, es el funcionamiento de la BCG, dependiendo el fabricante de la misma puede presentar un sistema inverter, que regula el uso de los compresores progresivamente (GRGS-01), o un sistema todo o nada cuando no disponen de este sistema, en el resto de las instalaciones de estudio al disponer de varias BCG inicialmente arranca un compresor y cuando ve que no alcanza la temperatura de consigna arranca un segundo y así progresivamente, teniendo en ambos casos un sistema complejo que precisa un estudio detallado de su funcionamiento. Una vez se ha alcanzado la temperatura de consigna la regulación para volver a arrancar la BCG no debería permitir que descendiese más de 4-5°C el depósito de inercia para que el COP instantáneo no descienda demasiado por lo que su regulación precisa un tiempo de uso de la BCG en distintas épocas estivales.

En definitiva la eficiencia energética inicialmente vendrá marcada por el mayor aprovechamiento de los recursos que nos aporte el sistema, en una granja donde las necesidades energéticas son más elevadas el ahorro que genera la geotermia respecto a una vivienda es mucho mayor.

Otro de los puntos más relevantes de la presente Tesis Doctoral es la reducción de emisiones, a pesar de que como se ha comentado con anterioridad, medir los parámetros que afectan a las emisiones es muy costoso económicamente e implica muchos puntos de medida para obtener valores precisos, además requiere de equipos especializados con un margen de error mínimo y todo ello condicionado por un gran número de variables que son distintas en cada instalación.

Por otro lado en el presente estudio no se ha profundizado en la ventilación, es un factor que controla el ambiente de los alojamientos interiores, reducir la temperatura interior y el flujo del aire sobre la superficie del purín disminuye las emisiones de amoniaco, siempre que la renovación del aire y la temperatura sea la adecuada para el bienestar animal y se mantengan sus rendimientos de producción. Mientras que por el contrario, una temperatura elevada, muy frecuente en los meses de verano en España por la ventilación natural (**Fig.7.1.**) y una renovación del aire insuficiente puede generar una variación en el comportamiento del animal, ensuciando las zonas limpias para refrescarse, lo que supone un aumento en las emisiones de amoniaco.

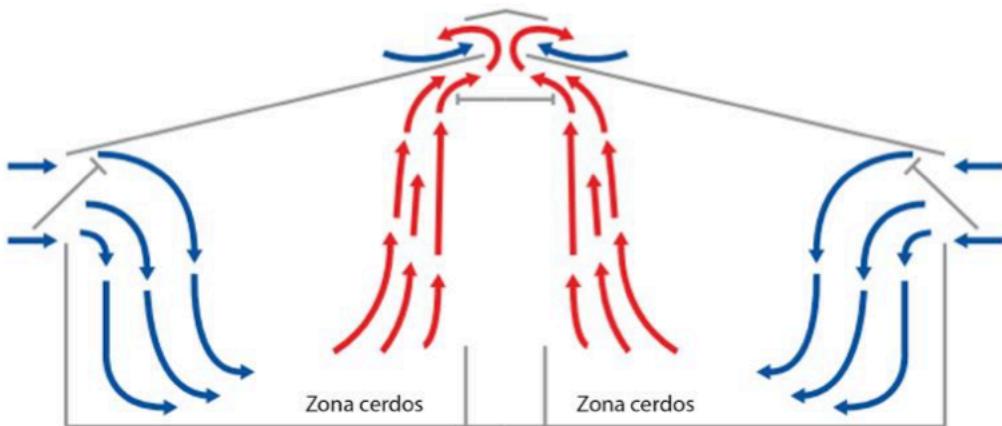


Fig. 7.1. Fluido de aire en ventilación natural de una sala de cría de cerdo (*Agriculture and Horticulture Development Board, 2019*).

En esta Tesis Doctoral se han considerado salas idénticas con la misma ventilación, un aumento en el volumen de purín implica que la temperatura del purín aumenta tal y como se observa en las salas 5, 6 y 7 en el caso de estudio GRGS-03 pasando de 22,1°C a 23,7°C y en las salas 3 y 4 del caso de estudio GRGS-04 pasando de 21,1°C a 21,9°C, ambos casos corresponde con salas sin puritermia. Si se hace esta misma comparación con igual ventilación pero con puritermia no siempre se cumple el mismo patrón, porque se está refrigerando los purines con el sistema de captación.

Lo que si se cumple es que en todas las salas con puritermia en comparación con salas sin puritermia, la temperatura del purín es siempre inferior, tanto si las salas de puritermia son iguales (GRGS-04), incluso si son de mayores dimensiones que las que no contienen puritermia (GRGS-05) o si el volumen acumulado de purín es mayor (GRGS-03), lo que verifica que la puritermia reduce temperatura del purín llegando incluso hasta 4°C de diferencia (**Tabla 7.3.**), siempre considerando un porcentaje de ventilación similar, una ventilación muy elevada valores del 85,1% (sala de gestación de GRGS-04) no se considerarían porque aunque también se ha reducido la temperatura, las corrientes de aire pueden influir en los resultados.

Tabla 7.3. Variaciones de temperatura comparando salas de purítermia y salas sin ella.

Casos de estudio	Volumen (m ³)	Temperatura de purín (°C)	Purítermia	ΔT (°C)	Ventilación (%)
GRGS-03	5-9	22,1-23,5	no	4	63
	14-30	23,7-24,7	no		63
	100	20,5	si		66
GRGS-04	157	21,9	no	1,4	85,1
	88	20,5	si		70,3
GRGS-05	5	23,7	no	2	27
	56	23,1	si		26
	44-42	21-21,5	si		30

Al reducir la temperatura del purín se reduce la concentración de gases emitidos a la atmósfera, en el presente estudio se ha analizado más concretamente el NH₃, tal y como se indicó en el capítulo 3 de la presente Tesis Doctoral, y como aparece demostrado en el caso de estudio GRGS-06 (**Tabla 7.4.**), donde se comparan salas idénticas contiguas de una nave de maternidad. Las salas con purítermia 10 y 11 disponen de una tercera parte de concentración de amoniaco respecto a las salas sin purítermia, sala 12 contigua a las anteriores y cumplen con los valores establecidos en las MTDs.

Tabla 7.4. Comparación de concentración de amoniaco en el interior de salas con purítermia y salas sin ella.

Casos de estudio	Salas	NH ₃] (ppm)	Purítermia
GRGS-06	10	6,988	si
	11	9,913	si
	12	27,714	no

Por último en este capítulo se discute el análisis comparativo del caso de estudio GRGS-06 con 30 kW contratados frente a una instalación eléctrica que precisa 150 kW para el mismo tamaño y características de la granja, ese sobrecoste de potencia contratada supone consecuentemente una cantidad fija que hay que abonar por kW contratado, que será independiente del consumo y además la energía consumida será cuatro veces mayor, ambos factores generan un sobrecoste en la factura eléctrica en la explotación eléctrica. En contraposición una instalación eléctrica tiene unos costes inferiores a los que supone una instalación geotérmica, ya no solo del cuarto técnico sino también de la distribución hidráulica necesaria de calefacción. A pesar de todo ello en la comparativa de GRGS-06 el retorno de la inversión es de 5,6 años si se considera el precio del kW anterior a finales de 2021, mientras que con el precio del kW actual la instalación de geotermia tendría un retorno de inversión de 2,2 años. Lo que supone a partir de ese momento, un ahorro anual en el caso de estudio GRGS-06 superior a 100.000 € respecto a una instalación eléctrica. Muy significativo considerando que hasta 2021 las instalaciones eléctricas eran las más frecuentes en el sector ganadero.

Por otro lado el caso de estudio GRGS-05 se ha comparado con una instalación de biomasa en dos explotaciones idénticas, el presupuesto de la geotermia fue un 10% superior a la biomasa, pero los costes anuales de consumo son inferiores en la instalación geotérmica,

incluso tras duplicarse el precio del coste de electricidad en los últimos dos años y sin considerar las placas fotovoltaicas. Estas se instalaron con posterioridad en la granja de biomasa, mientras que en el caso de estudio GRGS-05 se instalaron inicialmente para reducir el consumo eléctrico. De manera que el ahorro generado anualmente entre una instalación de geotermia con puritermia y una de biomasa es superior a 64.700 € (Ver **Tabla 7.5.**).

Tabla 7.5. Ahorro de una instalación de geotermia frente a una instalación de biomasa.

Fecha	Gastos de biomasa (€)	Gastos de geotermia (€)	Placas fotovoltaicas	Ahorro instalación geotermia / instalación de biomasa (€)
2021	85.525	31.494	no	54.031
2022	106.325	70.122	no	36.203
2022	103.592	38.855	si	64.737

8 CONCLUSIONES

El objetivo principal de la presente Tesis Doctoral ha sido introducir una nueva rama de la geotermia en auge en el sector porcino y definir una nueva terminología, la **puritermia**, para contribuir en su definición formal en España. Esta nueva rama de la geotermia tiene su propia metodología, al introducir un nuevo método de intercambiador geotérmico como geoestructuras termoactivadas, que reciben un aporte continuo de purín que es almacenado en la misma. La presente Tesis Doctoral, además de introducir el concepto de puritermia en España, ha demostrado las grandes ventajas económicas y ambientales de la puritermia. Es necesario tener en cuenta que la geotermia ya se considera la tecnología de climatización más eficiente, la puritermia se demuestra en esta Tesis Doctoral, aún más eficiente y con unas ventajas ambientales con capacidad de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en la huella de carbono de las granjas.

Se ha demostrado como la utilización de instalaciones térmicas en granjas basadas en tecnologías y metodologías propias de la puritermia se traducen en una mayores rendimientos con **mayores coeficientes de rendimiento**. Mediante el uso de balsas de purines termoactivadas en combinación con intercambiadores geotérmicos horizontales (cimentaciones termoactivadas generalmente) se ha demostrado que las temperaturas de sistemas de captación de las instalaciones térmicas son mucho mayores que los valores obtenidos en un intercambiadores geotérmicos convencionales verticales. Estas conclusiones han sido obtenidas gracias al estudio de cinco casos de estudios representativos de la puritermia en España, en los casos de estudio GRGS-02, GRGS-03, GRGS-05 y GRGS-06 respecto al caso de estudio GRGS-01 definidos en la presente Tesis Doctoral.

Además, los coeficientes de rendimiento de instalaciones con puritermia se mantienen **especialmente eficientes durante picos de demanda** de calor invernales frente a la geotermia convencional. Las temperaturas de retorno de estas geoestructuras (temperatura de captación de la bomba de calor agua-agua, o BCG) se mantienen muy elevadas ($\sim 15^{\circ}\text{C}$) en las condiciones más desfavorables invernales, coincidente con épocas del año donde la demanda de calefacción necesaria para cubrir las necesidades de los lechones es muy alta, lo que supone una eficiencia energética mucho más elevada en comparación con otras instalaciones geotérmicas convencionales y seguridad para los propietarios de las granjas. Esta ventaja para la calefacción de la puritermia se sigue manteniendo de forma destacada pasado el pico de demanda invernal de calefacción, debido a que el sector porcino precisa calefacción 365 días al año con un promedio del 60% de uso, en comparación con el 20% de horas de trabajo de la BCG que se necesita en el sector doméstico (VPGS-07).

A su vez, se ha demostrado que los **costes de perforación son mucho más reducidos** en puritermia que en geotermia convencional. El caso de estudio GRGS-01 con costes de perforación de más de 828 €/kW (precios corregidos a 2020) frente a los 275 €/kW que son necesarios en el caso de estudio GRGS-02 para las geoestructuras (precios de 2020). Aunque las potencias entre dichas instalaciones son diferentes (140 kW y 80 kW respectivamente) se puede apreciar claramente que los costes se reducen en un factor de más de **tres veces**.

Asimismo, los estudios comparativos realizados en la presente Tesis Doctoral muestran como una instalación de puritermia presentan un **ahorro muy superior frente a instalaciones de biomasa y eléctricas**, con ahorros económicos de hasta casi 65.000 € y superior a los 100.000 € respectivamente.

Por tanto, la presente Tesis Doctoral presenta por primera vez en España y posiblemente a nivel internacional, de acuerdo con la revisión bibliográfica científica acometida, una **monitorización de datos reales** de consumos energéticos de instalaciones (geotérmicas) con puritermia desarrolladas en el sector porcino. Esta labor de monitorización y recopilación de datos sin precedentes en esta nueva rama de la geotermia ha permitido, tras aplicar la metodología establecida, observar experimentalmente el grado de ahorro energético en los nuevos métodos de intercambiadores específicos de la puritermia. Se han observado **valores de SPF próximos a 5**, a pesar de que las temperaturas promedio demandadas en una granja están en torno a 45 °C para poder calentar el suelo radiante donde se colocan los lechones recién nacidos. Hecho significativo, teniendo en cuenta que a mayor temperatura de demanda de un sistema de climatización la eficiencia disminuye drásticamente de forma no lineal.

Esta Tesis Doctoral, además de demostrar la eficiencia energética de nuevas estructuras termoactivadas propias de la puritermia, aborda otro objetivo todavía si cabe más importante que el anterior, la **reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)**.

Esta tesis ha estudiado las posibilidades de la puritermia para cumplir la normativa europea de Mejoras Técnicas Disponibles (MTD30 2014/738/UE) que obliga a reducir las emisiones GEI, y que propone la refrigeración del purín como una técnica aprobada por los países miembros para reducir emisiones de amoniaco (GEI) de hasta en un 45%. Esta Tesis Doctoral ha demostrado, por primera vez en España, concretamente en los casos de estudio GRGS-03, GRGS-04 y GRGS-05 que **la puritermia reduce la temperatura del purín, llegando incluso a valores de hasta 4°C** menos que aquellas salas que no disponen de puritermia. Además, en las instalaciones híbridas con captación vertical y geoestructura termoactivada, la temperatura del intercambiador disminuye, caso de estudio GRGS-04, que al disponer de una temperatura constante más baja de pozo favorece la reducción de la temperatura del purín. Y aunque la normativa no lo especifica la concentraciones de otros gases como el metano también se ven reducidos.

En esta Tesis Doctoral, además de verificar la reducción de temperatura del purín en las balsas interiores de purines, se ha comprobado la reducción de concentraciones de amoniaco gaseoso en salas de acuerdo con la metodología indicada, utilizando dispositivos de medición de alta precisión en salas con puritermia y sin ella, ambas con características idénticas, concretamente las salas 10 y 11 con puritermia con concentraciones de 6,9 y 9,9 ppm frente a la sala 12 sin puritermia con valores de 27,7 ppm en el caso de estudio GRGS-06. Valores muy significativos si se tiene en cuenta los umbrales de 7 ppm para el ser humano y 11 ppm para el animal que establecen las MTDs para favorecer el bienestar humano y animal respectivamente. Ello demuestra que la puritermia contribuye de forma relevante en el bienestar animal y del ser humano que trabaja en la explotación.

Como conclusión final, esta Tesis Doctoral supone un notable avance, no sólo por la introducción de una disciplina científica dentro de la geotermia, sino por su aportación de datos exhaustivos reales de explotación geotérmica en instalaciones térmicas de granjas porcinas reales, así como los novedosos análisis energéticos y ambientales. Los resultados son trascendentales para el sector porcino, en el camino de la transición energética. Los ganaderos se enfrentan a una creciente regulación de las emisiones en el sector desde mediados de 2022. En la actualidad, la falta de registro y de medios efectivos ha impedido la disminución de las concentraciones de amoniaco que debía haberse producido en 3% para 2019, y en su lugar aumento un 0,7%. Esto se debe también al aumento del consumo de carne, supone un problema muy grave de sostenibilidad por las emisiones con respecto al techo de 2 °C en el calentamiento global. De ahí la importancia de establecer nuevas medidas

y fomentar el uso de energías renovables como la geotermia y, concretamente la puritermia por ser una energía limpia renovable que no genera emisiones y como se ha demostrado en la presente Tesis Doctoral, la única capaz de reducirlas al mismo tiempo de forma efectiva.

En definitiva, se puede confirmar que la puritermia consigue la sostenibilidad económica rentabilizando la actividad de la explotación, la sostenibilidad ambiental reduciendo la huella de carbono y la sostenibilidad social de la población favoreciendo la producción cárnica. Una llave maestra para hacer frente al cambio de modelo productivo del sector cárnico crecientemente condicionado por las evidencias científicas del cambio climático, la regulación europea asociada y el mercado para conseguir una sostenibilidad global y a la vez mantener la calidad de vida actual.

9 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La falta de estudios analíticos, sobre todo, en el interior de las explotaciones ganaderas, plantean la necesidad de realizar futuras investigaciones más detalladas, pero para ello es necesario una mayor financiación económica en el sector, tanto desde la iniciativa pública como privada, que pueda determinar de manera real las concentraciones de gases contaminantes tanto en el interior de las explotaciones como en el exterior de las mismas. Los aparatos de medición tienen un alto coste, y precisan una calibración continua lo que todavía encarece más su uso. Las continuas mejoras que se están realizando en el sector para mejorar el bienestar animal y humano llevan asociadas mediciones de gases GEI, pero se trata de medidas poco precisas cuantificando su presencia aún de manera inadecuada. Esta situación proporciona información de que sí se están reduciendo emisiones, pero no se sabe con exactitud su cantidad y calidad (tipo de emisión GEI), cuanto se está reduciendo, siendo esta Tesis Doctoral uno de los pocos estudios que aportan los primeros indicios y corroboran esta tendencia.

En la presente Tesis Doctoral la información de emisiones que se ha llevado a cabo es sobre el amoniaco, debería estar acompañado por otras mediciones de gases como el metano también muy presente en el sector ganadero, pero no se dispone de una instrumentación adecuada por lo que será interesante en futuras líneas de investigación.

Otro punto de interés futuro sería el análisis de la eficiencia energética aplicando la energía geotérmica en las balsas exteriores de las explotaciones ganaderas (que ya se está empezando a ejecutar en el sector privado) o el uso de geoestructuras con intercambiadores en espiral en el interior de las salas, y cuantificar en ambos casos el grado de reducción de emisiones en el medio ambiente, mediante el análisis y mediciones de los niveles de gases contaminantes de las mismas.

También se podría valorar de manera más exhaustiva como la variación en la dieta animal, combinada con el bienestar que le ha generado la reducción de emisiones, por el uso de la energía geotérmica en el interior de las salas, mejora la calidad de la carne, una variable muy importante que debe tenerse en cuenta en futuros estudios.

Y el que posiblemente sea el más demandado en el sector ganadero, el estudio de la rentabilidad de la energía geotérmica (convencional) para la refrigeración de las salas de cebo de las explotaciones ganaderas en los meses más calurosos para favorecer la mejor calidad de la carne en los meses de verano.

A partir de los puntos anteriores podrían desarrollarse otros nuevos, lo que está claro es que, la energía geotérmica, incluyendo la puritermia, es la energía renovable más eficiente en el sector porcino, y la única que reduce las emisiones en el interior de las explotaciones y que dado su potencial es necesario una mayor inversión para el desarrollo y estudio de sus múltiples aplicaciones.

10 GROSARIO

- Acidificación: Incremento de la acidez natural del suelo como consecuencia del aumento de iones H⁺
- Anaerobiosis: Procesos metabólicos que se producen en ausencia de oxígeno.
- Anemómetro: Aparato de medida para determinar la velocidad del aire tanto en zonas interiores como en el exterior
- Bomba geotérmica: Equipo capaz de extraer el calor de una zona fría con temperatura constante y enviarlo a una zona caliente, compuesto por un evaporador, un condensador, una válvula de expansión y un compresor.
- Compuestos fenólicos: Sustancias que poseen estructuras moleculares con fenol, anillo aromático unido a un grupo hidróxilo.
- Cost Action: Acción de coordinación entre distintos países de la unión europea y el entorno.
- Desnitrificación: Conjunto de transformaciones químicas y biológicas por las que se produce nitrógeno molecular.
- Digestión anaerobia: Proceso por el cual la materia orgánica es degradada microbiológicamente hasta gas metano, en un ambiente carente de oxígeno.
- Eutrofización: Enriquecimiento de nutrientes en el agua que genera la aparición de algas y plantas acuáticas que consumen gran cantidad de oxígeno.
- Esquema de principios: Plano donde aparecen todos los elementos de la instalación con diámetros y elementos de unión, debidamente señalizados con su simbología, hasta las BCG u otros aparatos.
- Fitasas: Enzimas exógenas de origen vegetal que mejoran la calidad nutricional del cerdo y contiene un alto contenido de P.
- K-Flow: Regulador automático de caudal, que dispone de un cartucho calibrado y verificado para un caudal nominal (Qn) seleccionado, trabajando dentro de un rango de presión.
- Lípidos: Compuestos orgánicos, constituidos por C, H, O principalmente, y ocasionalmente por S, N y P. Siendo las grasas un ejemplo de lípidos en el organismo animal.
- Ley de gradiente térmico: La temperatura aumenta 1°C por cada 33 m de profundidad adicional.
- Máquina de Carnot: Máquina con un cilindro con pistón relleno de un gas ideal y dos depósitos, uno fuente de calor cedido y otro de calor absorbido con una eficiencia térmica del 100%.
- Sistema inverter: Sistema que regula la velocidad del compresor de la bomba de calor.

- Sonda geotérmica: tubería doble de polietileno de 40 mm de espesor PN16 PE100 y 3,7 mm de pared, que está conectada en la punta con una curva con forma de “U”.
- Slagman: Aparato que sirve como guía mecánica que se emplea para introducir la sonda geotérmica en el interior de la perforación.
- Slat: Suelo con agujeros utilizado en las granjas, similar a una parrilla, que actúa como drenaje para que las heces y la orina caiga a la fosa del purín favoreciendo la comodidad y la higiene de los animales.
- Válvula de 3V: Llave con 3 entradas/salidas que a través de un mecanismo eléctrico direcciona el flujo hacia una salida u otra.

11 ANEXOS

11.1 FICHA TÉCNICA DE PLACA DE AGUA DE ACERO INOXIDABLE H.P.

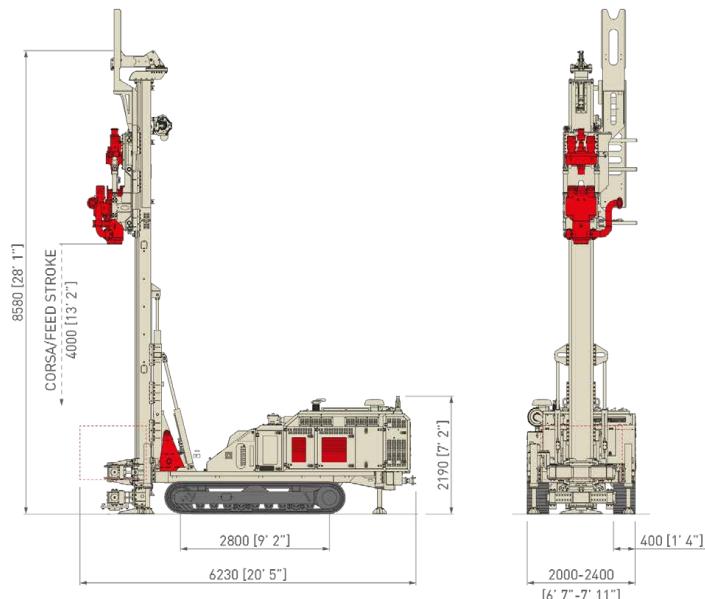
Contenido protegido disponible en la versión completa

11.2 FICHA TÉCNICA DE MAQUINA PERFORADORA DE GEOTERMIA



GEO 900 GT

 COMACCHIO
DRILLING HI-TECH



Rotazione - Rotazione
Rotary - Rotary

m.s.	i.s.		
Potenza Motore Engine Power	kW HP	126 - 160	169 - 215
Livello Emissioni Emission Level	-	Stage 3A / Tier3 - Stage 5 / Tier 4 final (HT line)	
Corsa Mast Mast Feed Stroke	mm ft	4.000 - 5.030	13' 1" - 16' 6"
Forza di Spinta Feed Force	daN lbs	7.000 - 19.500	15,736 - 43,837
Forza di Tiro Retract Force	daN lbs	15.000 - 19.500	33,721 - 43,837
Coppia Rotary Rotary Torque Range	daNm lb*ft	* 600 - 1.100 ** 850 - 3.600	* 4,425 - 8,113 ** 6,269 - 26,552
Giri Rotary Rotary Speed Range	rpm	* 70 - 170 ** 18 - 78	
Serraggio Morse Clamp Range	mm in	45 - 365	1" ¾ - 14" ¾
Peso Weight	kg lbs	15.000 - 18.000	33,000 - 39,700

* Testa Superiore / Upper Head - ** Testa Inferiore / Lower Head



I dati tecnici sono indicativi e soggetti a modifiche senza preavviso. / Specifications shown are only indicative and subjected to change without prior notice.

La scheda tecnica non riflette tutti i possibili allestimenti della macchina. Richiedi ulteriori informazioni [cliccando qui](#).
This is a simplified data sheet that does not show all possible rig configurations. For further information [click here](#).

11.3 FICHAS TÉCNICAS DE MORTERO GEOTÉRMICO

 <p>HORMIGONES PAMPLONA, S.A. CONTROL DE CALIDAD (Tf. 948 36 80 36)</p>	FICHA TECNICA DE PRODUCTO
--	----------------------------------

Producto: Myrsac 460E

Descripción: RELLENO PARA APLICACIÓN GEOTÉRMICA DE ELEVADA CONDUCTIVIDAD



DEFINICIÓN

Mortero seco de cemento de retracción controlada para aplicación mecánica. Compuesto por cemento gris, filler calizo, arena silicea, bentonita y otros aditivos para mejorar la trabajabilidad. Debido a sus componentes el producto no está considerado como toxicópolis por lo que no existe ningún tipo de riesgo en este tipo de usos.

APLICACIONES

El producto está concebido para el relleno de perforaciones que se realizan en los sistemas destinados a la obtención de energía geotérmica, por lo que sus principales características son:

- Gran fluidez (autonivelante) para garantizar un perfecto relleno
- Elevada transmisión térmica

PRESENTACIÓN

El material se suministra premezclado en seco preparado para su uso con la única adición en obra del agua necesaria para su amasado. SACOS: Sacos de 25 kg de dos hojas de papel paletizado a razón de 1200 kg/palet (48 sacos) que se protege con funda de plástico retráctil.

MODO DE EMPLEO

Ajustar el sistema de la máquina de inyección que regula la presión de agua y su dosificación mediante el hidrómetro. El producto en polvo se amasa con la cantidad de agua indicada y se aplica inyectándolo mecánicamente.

ALMACENAMIENTO

El producto ensacado se almacenará en lugar cerrado y protegido de la humedad, recomendando su uso antes de seis meses a partir de la fecha de fabricación del producto indicada en el envase.

RECOMENDACIONES DE USO

Mantener constante el agua de amasado para no alterar las resistencias mecánicas. La temperatura de aplicación debe estar comprendida entre 5 y 30°C

MYRSAC 460E	
CE	€
Hormigones Pamplona, S.A. Pol.Talluntxe, II, Edif. CTH, 31192 - Tajonar (Navarra) 08	
EN 13813 CT-C20-F5	
Mortero autonivelante de relleno para aplicación geotérmica	
Reacción al Fuego: A1 Emisión de sustancias corrosivas: CT Permeabilidad al vapor de agua: PND Resistencia a compresión: C20 Resistencia a flexión: F5 Resistencia al desgaste: PND Aislamiento acústico: PND Absorción acústica: PND Resistencia térmica: PND Resistencia química: PND	

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Agua de amasado	-	%	18 ± 1
Consistencia	UNE-EN 13454-2	mm	> 275
Resistencia a compresión	UNE-EN 13829-2	MPa	> 20
Resistencia a flexión	UNE-EN 13829-2	MPa	> 5
Trabajabilidad	UNE-EN 1015-9	min	> 120
Densidad aparente del polvo	-	kg/dm ³	1,30 ± 0,1
Densidad aparente de la pasta	UNE-EN 1015-6	kg/dm ³	2,05 ± 0,1
Densidad aparente endurecido	UNE-EN 1015-10	kg/dm ³	1,95 ± 0,1
Contenido en cloruros	UNE-EN 1015-17	%	< 0,01
Conductividad Térmica (Valor Calculado)	UNE-EN 12664	W/m·K	1,9 ± 0,1
Consumo (saco de 25 Kg)	-	Litros	14,5 ± 1
Finura (Retenido)			
- 1000 µm	UNE-EN 1015-1		0
- 63 µm			< 55

El fabricante NO SE RESPONSABILIZA de los perjuicios ocasionados por el producto y motivados por una incorrecta aplicación de este, ante la inobservancia de las recomendaciones expuestas en la ficha.

FICHA TECNICA DE PRODUCTO

Actualizado: 1 jul 10

Pág. 1 de 1

Construcción

Hoja de Datos de Producto
Edición 23/01/2013
Identificación nº
Versión nº 1
Sika® GeoTherm -819 (VP)

Sika® GeoTherm -819 (VP)

Mortero de elevada fluidez y alta conductividad térmica para aplicación en geotermia

Descripción del Producto

Sika® GeoTherm -819 (VP) es un mortero monocomponente de alta fluidez, formulado específicamente para proporcionar una elevada transmitancia térmica, siendo muy apto para aplicaciones en instalaciones geotérmicas.

Usos

Sika® GeoTherm -819 está indicado para la realización de todo tipo de aplicaciones en Geotermia, como por ejemplo:

- Sondeos de aplicación geotérmica en edificación residencial y no residencial
- Aplicación en sistemas geotérmicos de perforación vertical y horizontal
- Aplicación en geotermia de baja entalpia.

Características/Ventajas

- Buena Conductividad térmica.
- Permite la creación de zonas con alta transmitancia de calor captando la temperatura del terreno en capas inferiores y la transmitiendo ésta a las capas superiores sin apenas pérdida de la misma.
- Buena fluidez. Buena trabajabilidad para aplicación por bombeo.
- Mortero sin exudación y con alta cohesividad.
- Exento de cloruros y partículas metálicas.

Datos del Producto

Forma

Apariencia/Colores Polvo Gris

Presentación Sacos de 25 kg

Almacenamiento

Condiciones de Almacenamiento/ Conservación 12 meses desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados en lugar seco y fresco, al resguardo de las heladas.

Datos Técnicos

Composición química Cemento Portland resistente a sulfatos; áridos silíceos y cargas minerales seleccionadas y aditivos específicos

Densidad $1,71 \pm 0,05 \text{ kg/l}$ (densidad aparente en fresco) EN-1015-10

Granulometría Max 1 mm EN-1015-1



11.4 FICHAS TÉCNICA ETILENGLICOL

Ficha técnica

Producto: GEOFLUX EG

GEOFLUX EG Anticongelante concentrado para instalaciones de Energía Geotérmica

Composición Química:

Líquido de coloración rojiza compuesto por un 90% de etilenglicol al que se añaden aditivos anticorrosión, antiespumantes, biocidas e inhibidores de formación de depósitos.

Descripción del producto:

Geoflux EG es anticongelante concentrado ideal para instalaciones geotérmicas, con protección antiheladas desde -45°C hasta -5°C. Geoflux EG ha sido formulado a base de etilenglicol, eliminando de su formulación aminas y fosfatos.

Geoflux EG es nocivo por ingestión, por lo que debe manipularse manteniendo unas precauciones mínimas y evitando el contacto con la piel y ojos.

Aparte de las excelentes propiedades termofísicas de Geoflux EG, el formulado incluye aditivos especiales que actúan en distintos frentes específicos con el fin de asegurar la durabilidad y el correcto funcionamiento de la instalación geotérmica. Las propiedades más destacadas de Geoflux EG se enumeran a continuación:

- Gran estabilidad térmica
- No corrosivo tanto en desgaste químico como galvánico.
- Protección contra microorganismos y especialmente "legionela".
- Inhibidor de formación de depósitos.
- Minimización de la cantidad de oxígeno ambiental y formación de burbujas.

Propiedades Físicas:

PROPIEDAD	VALOR	NORMA
Aspecto:	Líquido rojizo	
Densidad (20°C)	1,11 Kg/l	ASTM D1122
Viscosidad (20°C)	20-50 cps	DIN 51562
Valor del pH (20°C)	7-9	ASTM D 1287
Reserva de alcalinidad*	>7	ASTM D 1121
Punto de ebullición	>175°C	ASTM D 1120
Punto de congelación (70%)	<-40 °C	ASTM D 1177
Contenido de agua	<10%	DIN 51 777

* Despues de tres meses (Junio-Agosto) expuesto de forma discontinua a la acción de la luz solar en frasco de cristal transparente.

Estos datos corresponden a los valores medios de producción. No tienen la consideración de una especificación del producto. Los valores característicos pormenorizados forman parte de una especificación del producto independiente.

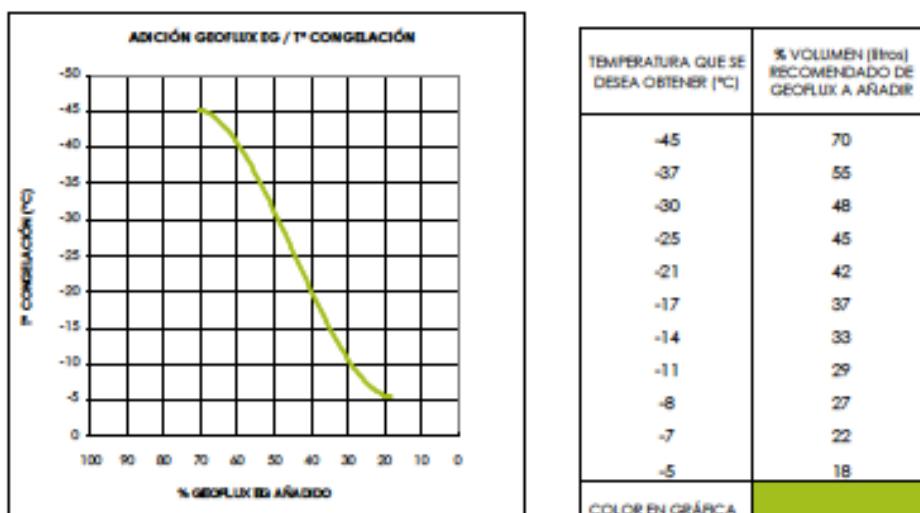
Geoflux EG es un concentrado que requiere la adición de AGUA DESTILADA para ajustar sus temperaturas de trabajo. No obstante, se recomienda utilizar concentraciones de Geoflux EG entre 35% y 70% para garantizar las propiedades del producto.

Renuncia de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no exime al usuario de la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestras indicaciones no constituyen una garantía jurídicamente vinculante respecto de la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. Es responsabilidad del receptor de nuestros productos observar las reglamentaciones y normativas correspondientes. Fecha de emisión: Agosto 2012. Fecha Rev01: Enero 2014. Esta revisión anula a revisiones anteriores.

REV.01/Fecha revisión Enero 2014.

Página 1 de 4

La siguiente gráfica muestra la dilución de producto recomendada por Quimacer para las distintas temperaturas de trabajo.



Los valores mostrados en estas gráficas se han obtenido a partir de bibliografía técnica, y de ensayos internos en el laboratorio de Quimacer 'Test de congelación. Método ensayo QC-010'. (Temperatura mínima mantenida durante 3 horas y 1 atm de presión).

Propiedades Químicas:

Geoflux EG es un líquido rojizo y de olor tenue compuesto por etilenglicol, y aditivos anticorrosivos y antiespumantes.

El paquete de aditivos del producto se ha reforzado con:

- Inhibidores de corrosión que aportan una protección duradera contra la corrosión y la degradación, tanto de partes metálicas como de otras partes de carácter plástico o polimérico
- Inhibidores de formación de cualquier tipo de depósito.
- Biocidas con el fin de evitar la proliferación de bacterias en situaciones de parada o de funcionamiento inadecuado.
- Agentes secuestrantes de oxígeno para disminuir en lo posible la concentración de éste en el sistema cerrado de circulación secundaria.

Geoflux EG garantiza un rendimiento del sistema de energía solar elevado y uniforme puesto que asegura la estabilidad de todos los sistemas mecánicos presentes en el circuito.

Geoflux EG no ataca a las juntas típicamente utilizadas usadas en instalaciones geotérmicas. La información siguiente ha sido elaborada en base a ensayos propios en Quimacer S.L. e investigación bibliográfica.

Renuncia de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no exime al usuario de la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestras indicaciones no constituyen una garantía jurídicamente vinculante respecto de la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. El responsable del receptor de nuestros productos observar las reglamentaciones y normativas correspondientes. Fecha de emisión: Agosto 2012. Fecha Rev01: Enero 2014. Esta revisión anula a revisiones anteriores.

Tabla 1: Compatibilidad del Geoflux EG (dilución 50%) con elastómeros comunes	
Caucho butílico	IIR
Caucho etileno-propileno-dieno hasta 140 °C	EPDM
Elastómeros fluorocarbonados	FPM
Caucho hasta 85 °C	NR
Poliacetales	POM
Polibutenos	PB
Polietileno blando / duro	PE-LD, PE-HD
Polietileno reticulado	PE-X
Polipropileno	PP
Cloruros de polivinilo	PVC
Cauchos de estireno-butadieno hasta 100 °C	SBR

Las resinas fénlicas, las resinas de urea, el cloruro de polivinilo blando y los elastómeros a base de poliuretanos no son resistentes. En general y dada la variedad de métodos y composiciones utilizadas en la preparación de elastómeros, se recomienda llevar a cabo una prueba de adecuación para Geoflux EG antes de su utilización por vez primera. Esto es particularmente importante en casos de utilización de elastómeros como materiales para las membranas de los depósitos de compensación según DIN 4807.

Efecto anticorrosivo:

Geoflux EG lleva un exceso de aditivos anticorrosión para garantizar su eficacia en un amplio intervalo de concentración. La formulación de los aditivos se ha hecho en base a una tecnología híbrida, la cual para proporciones agua:anticongelante 66:34% cumplen completamente con los límites marcados por la norma ASTM D-1384.

Tabla 2: Resultados test anticorrosion según ASTM D 1384		
Material	Ganancia/pérdida peso x superficie	Velocidad corrosión mm x año
Cobre	0.07 mg/cm ²	0.001 mm
Acero	-0.20 mg/cm ²	0.010 mm
Aluminio	0.03 mg/cm ²	-0.005 mm
Pares Galvánicos		
Cobre-Aluminio	0.04 mg/cm ²	0.001 mm
Cobre-Acero	0.05 mg/cm ²	0.002 mm
Aluminio-Acero	-0.04 mg/cm ²	-0.004 mm
Aluminio-Cobre	-0.05 mg/cm ²	-0.005 mm
Acero-Cobre	0.20 mg/cm ²	0.020 mm
Acero-Aluminio	0.20 mg/cm ²	0.020 mm

Renuncia de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no asume la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestras indicaciones no constituyen una garantía jurídicamente vinculante respecto de la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. El receptor de nuestros productos observar las reglamentaciones y normativas correspondientes. Fecha de emisión: Agosto 2012. Fecha Rev01: Enero 2014. Esta revisión anula a revisiones anteriores.

La tabla 2 muestra los resultados de los test anticorrosión: Estos tests han sido realizados por LABCYP (Laboratorio de Ensayos, Corrosión y Protección) de la Universidad de Cádiz, conforme a la normativa estándar.

Dada la naturaleza del producto, este análisis debe ser adaptado por el usuario dependiendo del uso final y el agua utilizada puesto que depende de la concentración.

Observaciones:

Con el fin de asegurar la máxima eficacia y durabilidad de la instalación geotérmica en la que **Geoflux EG** va a ser utilizado se recomienda seguir los siguientes consejos:

- Los sistemas deben ser cerrados, con el fin de evitar la entrada de oxígeno atmosférico en la medida de lo posible
- Las instalaciones no deben contener intercambiadores de calor, acumuladores de calor, depósitos o tubos galvanizados en el primario porque los polialcoholes pueden disolver el zinc.
- **Geoflux EG** es químicamente inerte. Pero dada la variedad de materiales en los sistemas desarrollados por cada fabricante, es preciso asegurarse de que los materiales de las juntas y uniones son resistentes, según las indicaciones del fabricante, a la temperatura máxima alcanzada por el fluido.
- Debe retirarse la escoria que se forme en los distintos componentes de cobre de la instalación, ya que las mezclas de polialcoholes/agua caliente pueden hacer que se desprenda.
- Los vasos de compensación de membrana deben cumplir los requisitos de DIN 4807.
- Hay que asegurarse de que entre los componentes de la instalación que están en contacto con el **Geoflux EG** no existen corrientes eléctricas inducidas (peligro de corrosión).
- Al llenar el sistema se tiene que comprobar que no han quedado bolsas de aire.

Presentación:

Geoflux EG se encuentra disponible en bidones de plástico de 5 y 25 litros, y en barriles de 210 litros. A petición del cliente se puede suministrar en tanques de 1000 litros.

Manipulación:

Manipular el **Geoflux EG** con las precauciones de higiene industrial adecuadas y respetar las prácticas de seguridad. Observar las indicaciones de la Hoja de Seguridad.

Geoflux EG se considera no tóxico. En caso de vertido en pequeñas concentraciones, no son de esperar variaciones en la función del lodo activado de una planta depuradora biológicamente adaptada.

Para este producto, **Quimacer S.L.** dispone de una Hoja de Seguridad conforme al Reglamento CLP según 1907/2006/CE (REACH), 453/2010/EC, 2015/830/EU.

Renuncia de Responsabilidad: Debido a la gran variedad de factores que pueden influir en la transformación y aplicación de nuestros productos, la información facilitada no exime al usuario de la responsabilidad de llevar a cabo sus propios controles y ensayos. Asimismo, nuestras indicaciones no constituyen una garantía jurídicamente vinculante respecto de la existencia de determinadas propiedades ni tampoco respecto de la idoneidad para un uso específico. Es responsabilidad del receptor de nuestros productos observar las reglamentaciones y normativas correspondientes. Fecha de emisión: Agosto 2012. Fecha Rev01: Enero 2016. Esta revisión anula a revisiones anteriores.

11.5 TABLA DE MTDs EN PORCENTAJE PARA REDUCCION DE EMISIONES DE AMONIACO

TÉCNICAS RECOMENDADAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE AMONIACO		REDUCCIÓN EMISIONES DE AMONIACO EN COMPARACIÓN CON LA REFERENCIA (% NH ₃)	TÉCNICA DE REFERENCIA
ALIMENTACIÓN ANIMAL	<p>Disminución del % de la Proteína Bruta en la dieta Alimentación multi-fase Adición controlada de aminoácidos esenciales Utilización de aditivos autorizados para reducir el nitrógeno total excretado</p>	0-10% Reducción del contenido de nitrógeno amoniacal total (NAT) en los purines 0-10% Reducción en las emisiones de NH ₃	
SISTEMAS DE ALOJAMIENTO CERDOS	<p>CERDAS EN APAREAMIENTO Y GESTANTES</p> <p>Retirada frecuente (2 veces semana) del estiércol con sistema de vacío Retirada frecuente (2 veces semana) del estiércol con lavado a chorros Canaletas de aclarado Refrigeración de la superficie del estiércol / purín Bolas flotantes en la superficie del estiércol (cat. 2) Alojamiento (en grupo) con compartimentos de alimentación y foso de estiércol con paredes inclinadas Refrigeración de la superficie del estiércol Técnicas de depuración del aire</p> <p>CERDAS LACTANTES</p> <p>Bolas flotantes en la superficie del estiércol (cat. 2) Refrigeración de la superficie del estiércol Canal de agua y estiércol Bandera inferior para el estiércol / Colector de estiércol Técnicas de depuración del aire</p> <p>LECHONES DESTETADOS</p> <p>Bolas flotantes en la superficie del estiércol (cat. 2) Retirada frecuente (2 veces semana) del estiércol con sistema de vacío Suelo parcialmente emparrillado con foso reducido Suelo parcialmente emparrillado y recogida en líquido acidificado Suelo parcialmente emparrillado y lavado a chorros Suelo parcialmente emparrillado y canaletas de aclarado Suelos parcialmente emparrillados y canal de estiércol con paredes inclinadas Suelo parcialmente emparrillado y refrigeración de la superficie del estiércol Técnicas de depuración del aire</p> <p>EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN</p> <p>Suelo parcialmente emparrillado con foso reducido Retirada frecuente (2 veces semana) del estiércol con sistema de vacío Bolas flotantes en la superficie del estiércol (cat. 2) Suelo parcialmente emparrillado con canal de agua y de estiércol Retirada frecuente (2 veces semana) del estiércol con lavado a chorros Canaletas de aclarado Suelo parcialmente emparrillado y refrigeración de la superficie del estiércol Suelos parcialmente emparrillados con canal de agua y canal de estiércol con paredes inclinadas Suelos parcialmente emparrillados y retirada por separado de las fracciones líquidas y sólidas del estiércol mediante cintas en V (cat. 2) Técnicas de depuración del aire</p>	25 40 40 45 25 45 45 70-90	EMPARRILLADO TOTAL CON FOSO DE ALMACENAMIENTO DEBAJO
ALMACENAMIENTO DE PURINES	<p>Almacén sin cubrir y sin costra (Referencia)</p> <p>Costra Natural</p> <p>Materiales ligeros (paja) flotantes</p> <p>Permitir la formación de una costra natural reduciendo la mezcla e introduciendo el estiércol por debajo de la superficie (cubierta flotante) (cat. 1)</p> <p>Cubiertas flotantes de "baja tecnología" (p. e., paja picada, turba, cortezas, etc.) (cat. 2)</p> <p>Acidificación purín (pH 6)</p> <p>Sustitución de balsas, etc. por tanques cubiertos o tanques abiertos altos (profundidad > 3 m) (cat. 1)</p> <p>Piezas geométricas flotantes</p> <p>Bolas arcilla flotantes</p> <p>Bolas LECA y Hexa-Covers flotantes (cat. 1)</p> <p>Cubiertas neumáticas</p> <p>Lamina de plástico flexible (cubierta flotante) (cat. 1)</p> <p>Cubierta rígida</p> <p>Cubierta flexible</p> <p>Tapa "ajustada", techo o estructura con forma de tienda (cat. 1)</p> <p>Bolsa estiércol o Bolsas de almacenamiento (cat. 1)</p>	0 40 40 40 40 50 30-60 60 60 60 60 60 60 60 60 60 80 80 80 100	
APLICACIÓN DEL ESTIÉRCOL Y PURINES	<p>APLICACIÓN DE PURINES AL CAMPO</p> <p>Distribución en abanico (Ref.)</p> <p>Disolución activa de los purines de > 4% MS a < 2% MS, para usar en riego</p> <p>Aplicación en bandas de los purines con tubos colgantes</p> <p>Aplicación en bandas con zapatas colgantes</p> <p>Acidificación purín (pH 6)</p> <p>Incorporación de los purines aplicados en superficie EN 24 HORAS</p> <p>Incorporación de los purines aplicados en superficie EN 4 HORAS</p> <p>Incorporación de los purines aplicados en superficie INMEDIATAMENTE (0-4 H)</p> <p>Inyección superficial de purines (surco abierto) (profundidad de inyección <5cm)</p> <p>Inyección de Cultivos/pastizal purines (surco cerrado) (surco superficial 5-10cm ; inyección profunda >15cm)</p> <p>APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL SÓLIDO AL CAMPO</p> <p>Incorporación del estiércol aplicado en superficie EN 24 HORAS</p> <p>Incorporación del estiércol aplicado en superficie EN 12 HORAS</p> <p>Incorporación del estiércol aplicado en superficie EN 4 HORAS</p> <p>Incorporación del estiércol aplicado en superficie INMEDIATAMENTE (0-4H)</p>	0 30 30-35 30-60 50 30 45-65 70-90 70 80-90 30 50 45-65 60- 90	APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL SÓLIDO Y PURINES SIN TRATAR SOBRE TODA LA SUPERFICIE DEL SUELO ("A VOLEO"), SIN ENTERRARDO POSTERIOR Y SIN SELECCIONAR EL MOMENTO EN EL QUE SE MINIMICE LA PÉRDIDA DE NH₃.

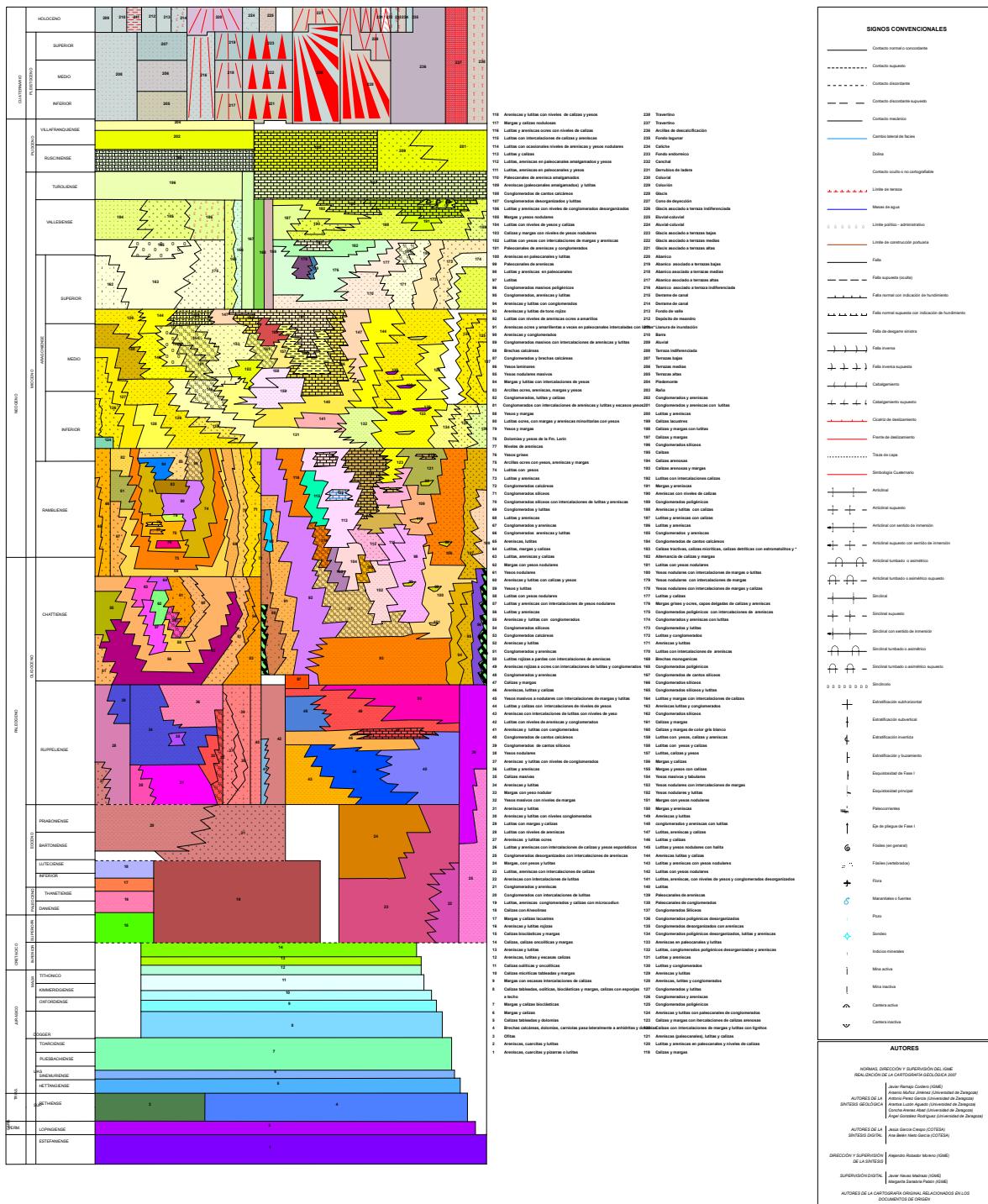
11.6 LEYENDA GEODE ZONA Z2700

MAPA GEOLÓGICO CONTINUO DE ESPAÑA

CUENCA DEL EBRO



Instituto Geológico
y Minero de España



11.7 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN EJEA DE LOS CABALLEROS

CAMPO DE PERFORACIÓN	
Unidades	Concepto
<u>PERFORACIONES VERTICALES</u>	
1	P/A Desplazamiento, implantación y retirada de un equipo de perforación de geotermia convencional
3.250	m.l. perforación de D.152 mm incluso introducción de sonda geotérmica simple de 40mm exterior, espesor 3,7 y longitud 100-125 m (PN/16 PE100) e inyección de mortero bentonita-cemento hasta los 15 kg/m.l.
	kg. De inyección de mortero en exceso a las tasas señaladas (0,20 €/kg)
	Total de la medición s/IVA
	95.630 €
<u>CONEXIÓN HORIZONTAL</u>	
850	m.l. polietileno alta densidad PE100 DN40
1	Arqueta colectora de 24 salidas incluyendo llaves de corte, sistema de carga, purga, circuitos, pruebas arqueta colectora de 24 salidas incluyendo llaves de corte, sistema de carga, purga, circuitos.
38	Manguitos y Codos electrosoldables DN40
1	Mano de obra limpieza vertical de pozos, instalación de tuberías y aislamiento, pruebas, desplazamientos y transporte
	Total de la medición s/IVA
	13.880 €

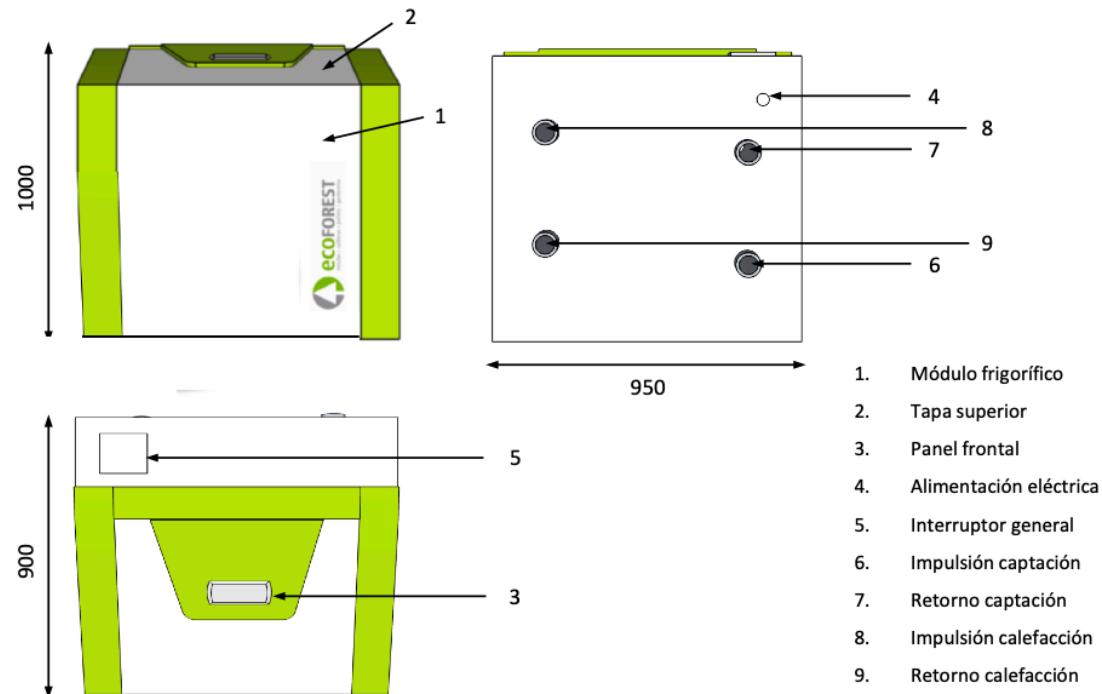
SALA TÉCNICA	
Unidades	Concepto
1	Bomba de calor geotérmica ECOFOREST modelo HP1 15-70 R410A – 3x400V.)
1	Bomba de calor geotérmica ECOFOREST modelo HP1 25-100 (R410A – 3x400V.)
1	Colector geotérmico para realizar cascada de bombas de calor en el lado FUENTE.
1	Colector geotérmico para realizar cascada de bombas de calor en el lado USO.

2	Bomba circulación circuito primario
2	Bomba circulación circuito secundario calor a inercia
2	Grupos de seguridad hidráulico 2" Incluye vasos de expansión, purgador y separador de aire, manómetro, válvula de seguridad, llaves de esfera, filtro de malla, ...
2.400	Glicol
1	Tubería de PPR y otros materiales de distintos diámetros, codos, racores, aislantes, ...
1	Instalación y materiales eléctricos, ...
1	Montaje e Instalación, Regulación, Pruebas, Puesta en marcha.
1	Mano de obra de sala técnica
Total de la medición s/IVA	
88.240 €	

PRESUPUESTO TOTAL	
Medición S/IVA del Campo de Perforación	95.630 €
Medición S/IVA del Captación horizontal	13.880 €
Medición S/IVA de la Sala Técnica	88.240 €
Total de la medición s/IVA	197.750 €

11.8 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG ECOFOREST ECOGEO HP1 15-70

ecoGEO HP



Bombas Geotérmicas ecoGEO HP DATOS TÉCNICOS		Unidad	ecoGEO HP1			ecoGEO HP3		
			12-40	15-70	25-100	12-40	15-70	25-100
Aplicación	Calefacción y ACS	-	•	•	•	•	•	•
	Friό activo	-				•	•	•
Refrigerante	Tipo	-			R410A			
	Compresor	-			Scroll con Inverter de Danfoss			
	Válvula expansión	-			Electrónica Carel			
Componentes	Intercambiadores	-			Placas Alfa Laval			
	Depósito de líquido	-			Incluido, 5 litros			
	Filtro-secador	-			Incluido			
	Visor de líquido	-			Incluido			
Datos eléctricos	400 V / 50 Hz, 3/N/PE~	-	•	•	•	•	•	•
	Protección magnetotérmica	A	25	32	50	25	32	50
	Potencia calorífica ¹	kW	12-40	15-70	25-100	12-40	15-70	25-100
Eficiencia	COP ¹	-	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5	4,6-5
	Consumo eléctrico ¹	kW	3,5-15	4,5-20	6,5-30	3,5-15	4,5-20	6,5-30
	EER ²	-	--	--	--	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5
Círculo frigorífico	Carga refrigerante	kg	10,5	11	14,5	10,5	11	14,5
	Presión funcionamiento máxima	bar			42			
	Tipo aceite compresor	-			POE			
	Carga aceite compresor	kg			--			
Círculo climatización	Temperatura máxima/mínima	°C			Calefacción: 55/20 ; Refrigeración (ecoGEO HP3): 20/6			
	Presión funcionamiento máxima	bar			3			
	Caudal nominal ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$)	l/h	2000-7000	2500-12000	4300-17200	2000-7000	2500-12000	4300-17200
Círculo captación	Temperatura máxima/mínima	°C			Calefacción: 20/-15; Refrigeración (ecoGEO HP3): 60/-			
	Presión funcionamiento máxima	bar			3			
	Caudal nominal ($\Delta T=3^{\circ}\text{C}$)	l/h	2500-8500	3200-15000	5400-21700	2500-8500	3200-15000	5400-21700
	Anticongelante recomendado ³	-			Propilenglicol/agua con punto de congelación -17 ±2 °C			
Insonorización	Nivel emisión sonora ⁴	dB	--	--	--	--	--	--
Dimensiones	Alto x ancho x fondo	mm			1000 x 950 x 900			
Peso	Peso en vacío (sin embalaje)	kg	280	320	350	280	320	350

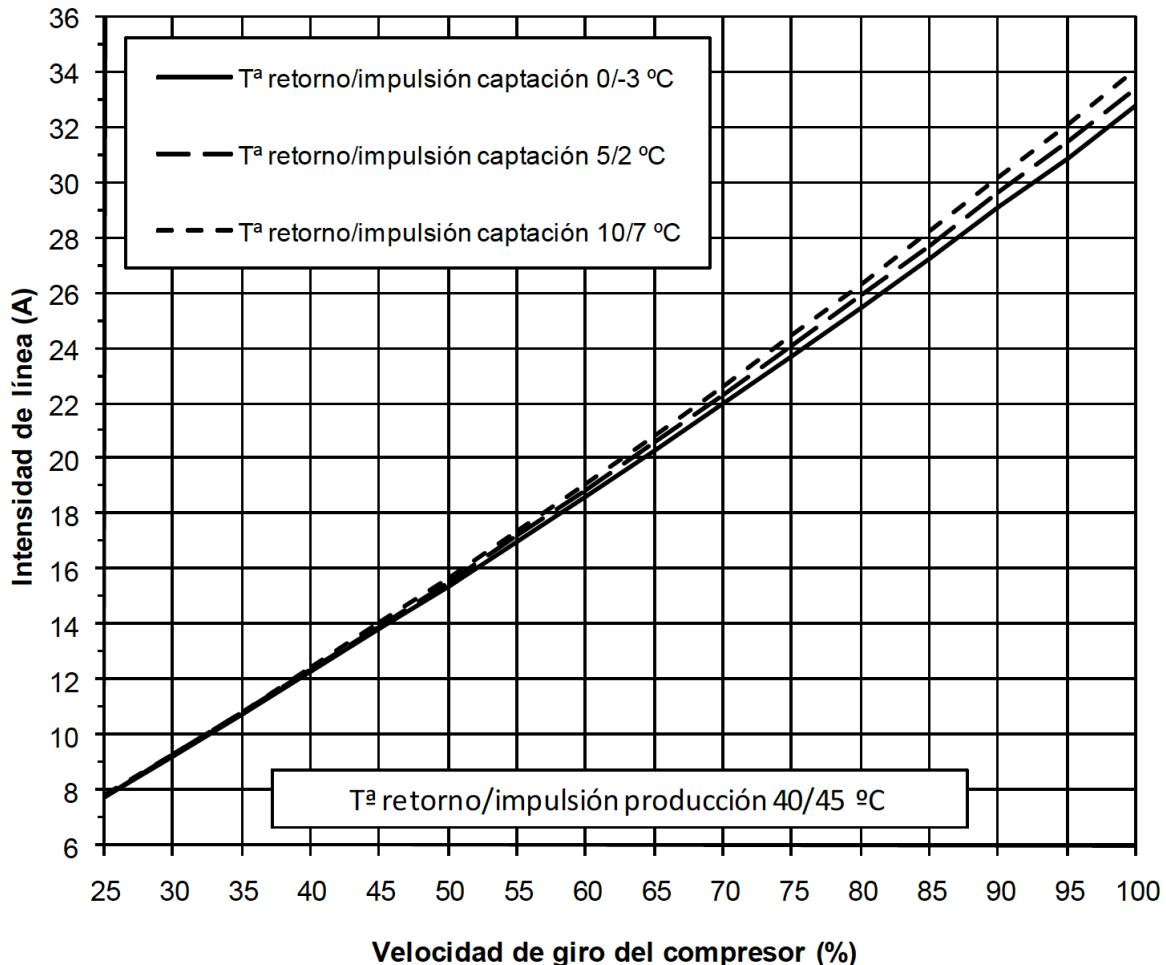
1) Conforme a EN 14511, 0/-3 – 30/35 °C.

2) Conforme a EN 14511, 7/12 – 30/35 °C. Pendiente calificación

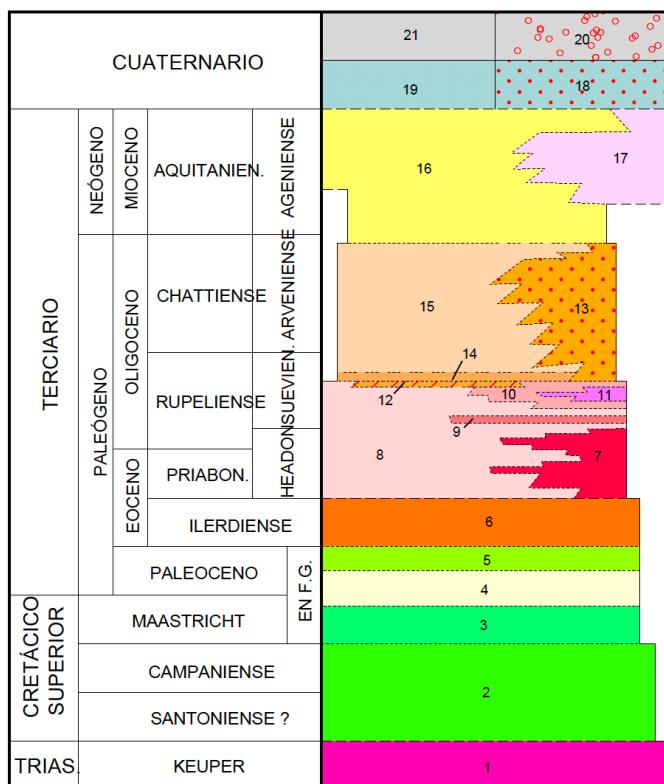
3) Consultar siempre las regulaciones regionales antes de utilizar el medio anticongelante.

4) Conforme a EN 14511. Pendiente calificación

11.9 CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA BOMBA DE CALOR ECOGEO HP1 15-70 kW



LEYENDA



- 21 Brechas, arenas y limos. Depósitos de ladera y aluvial-coluvial
- 20 Conglomerados, arenas y limos. Fondos de valle y terrazas bajas
- 19 Brechas, conglomerados, arenas y lutitas. Glacis degradado y laderas altas
- 18 Conglomerados, arenas y limos. Terrazas altas
- 17 Conglomerados y brechas calcáreas entre lutitas rojas. Fm de Baells
- 16 Paleocanales de areniscas y conglomerados silíceos entre lutitas rojas. Fm de Sariñena
- 15 Paleocanales de areniscas y conglomerados silíceos entre lutitas rojas. Fm de Peralta Superior
- 14 Lutitas rojas con intercalaciones de areniscas en paleocanales. Fm de Peralta Inferior
- 13 Conglomerados y brechas calcáreas. Fm de Calasanz
- 12 Calizas, lutitas, arenas y yesos. Fm de Peralta
- 11 Brechas y conglomerados calcáreos. Fm de Peralta
- 10 Areniscas y lutitas rojas con estratificación horizontal. Fm de Peralta
- 9 Calizas, lutitas y gypsarenitas. Fm de Salinar
- 8 Yesos nodulares y lutitas grises. Fm de Barbastro
- 7 Areniscas, lutitas y yesos nodulares. Fm de Salinar
- 6 Calcareitas con alveolinas. Fm de Ager
- 5 Calizas micríticas con Microcodium
- 4 Lutitas versicolores con intercalaciones de yesos y carniolas
- 3 Calizas micríticas con carofitas y silex
- 2 Calizas con rudistas
- 1 Lutitas versicolores

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

.....	Contacto concordante	Contacto concordante supuesto
- - - - -	Contacto discordante	-----	Falla conocida
- - - - -	Falla supuesta	-----	Falla con indicación de hundimiento
▲ ▲ ▲ ▲ ▲	Cabalgamiento conocido	▲ ▲ ▲ ▲	Cabalgamiento supuesto
↓ ↓ ↓ ↑	Anticinal	← ↓ ↓ →	Anticinal con sentido de inmersión
↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Sinclinal	↑ ↑ ↑ ↑ ↑	Sinclinal supuesto
+	Estratificación subhorizontal	+	Estratificación invertida
-	Estratificación	◇	Sondeo
—	Traza de capa		

11.11 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN EL PUEYO DE SANTA CRUZ

PRESUPUESTO GEOTERMIA CAPTACIÓN HORIZONTAL

DESCRIPCIÓN	CANT.
Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5085.5T - Serie 1 DS5110T (R410A - 3x400V.) Potencia (B0/W45): 61,9 kW. COP (B0/W45): 3,5 Potencia (B5/W45): 69,5 kW. COP (B5/W45): 3,9 Potencia (B10/W45): 77,7 kW. COP (B10/W45): 4,4	1
Depósito de inercia GREENHEISS para climatización 2500l	1
Sonda de temperatura inercia	1
CAPTACIÓN HORIZONTAL	
Superficie de captación (m2)	1775
Colector geotérmico REHAU polimérico premontado de 9 vías Incluye racores de conexión para tubo 20x2,0 mm y kit de termómetros	7
Tubería captación horizontal	6300
Mano de obra instalación de tubería de captación horizontal Instalación de tubería de captación de calor en salas de edificio maternidad	1
BOMBAS DE CIRCULACIÓN	
Bomba de circulación circuito captación	1
Bomba de circulación circuito bomba de calor a inercia	1
OTROS ELEMENTOS HIDRÁULICOS	
Grupos de seguridad hidráulico Incluye vasos de expansión, purgador y separador de aire, manómetro, válvula de seguridad, llaves de esfera, filtro de malla...	2
Glicol	600
INSTALACIÓN SALA DE MÁQUINAS	
Tubería PPR y otros componentes de distintos materiales, diámetros, codos, racores, aislantes, etc para instalación de sala de máquinas.	1
Caldera eléctrica de 24 kW Colocada junto a depósito de inercia	1
Instalación y materiales eléctricos.	1
Montaje e instalación, Regulación, Pruebas, Puesta en marcha.	1

CONEXIÓN COLECTORES CAPTACIÓN A SALA MÁQUINAS

Tubería PE100 con soldadura por electrofusión, reguladores de caudal k-flow en cada colector, otros elementos hidráulicos y materiales para conexión de los colectores de captación geotérmica a sala máquinas, enterradas por los pasillos del edificio de captación y enterrada por el exterior hasta sala de máquinas. 1

Se estima que la sala de máquinas se ubica en el pasillo central situado en la nave central de las 3 naves de captación estando cada nave a 15m una de otra, según indicaciones facilitadas por el solicitante.

No incluye materiales ni mano de obra de conexión y distribución entre sala de máquinas y mantas en maternidad.

Mano de obra conexión captación a sala de máquinas.

1

Total de la medición s/IVA	73.500 €
-----------------------------------	-----------------

11.12 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG NIBE F135-40 Y NIBE F135-60



IP 21

3x400 V

3x400 V		24	30	40	60
Datos de potencia según EN 14511					
0/35					
Potencia nominal (P_H)	kW	23,00	30,72	39,94	59,22
Potencia eléctrica (P_E)	kW	4,94	6,92	8,90	13,72
$COP_{EN14511}$	-	4,65	4,44	4,49	4,32
0/45					
Potencia nominal (P_H)	kW	21,98	29,74	38,90	56,12
Potencia eléctrica (P_E)	kW	5,96	8,34	10,61	16,02
$COP_{EN14511}$	-	3,69	3,57	3,67	3,50
10/35					
Potencia nominal (P_H)	kW	30,04	40,08	51,71	78,32
Potencia eléctrica (P_E)	kW	5,30	7,24	9,81	15,08
$COP_{EN14511}$	-	5,67	5,53	5,27	5,19
10/45					
Potencia nominal (P_H)	kW	29,28	39,16	50,79	74,21
Potencia eléctrica (P_E)	kW	6,34	8,84	11,82	17,60
$COP_{EN14511}$	-	4,62	4,43	4,30	4,22
Datos de potencia según EN 14825					
Potencia calorífica nominal (designh)	kW	28	35	46	67
SCOP _{EN14825} clima frío, 35 °C / 55 °C	-	5,0 / 4,0	4,9 / 3,8	5,0 / 3,9	4,7 / 3,8
SCOP _{EN14825} clima medio, 35 °C / 55 °C	-	4,8 / 3,8	4,7 / 3,6	4,8 / 3,8	4,6 / 3,7
Valor nominal de energía, clima medio					
Clase de eficiencia de caleamiento de espacio, 35 °C / 55 °C	-	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++	A++ / A++
Clase de eficiencia de caleamiento de espacio del sistema, 35 °C / 55 °C 1)	-	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++	A+++ / A++
Datos eléctricos					
Tensión nominal		400V 3N ~ 50 Hz			
Intensidad máxima de servicio, bomba de calor ³⁾	A _{rms}	20,5	25,3	29,5	44,3
Intensidad máx. de servicio, compresor	A _{rms}	8,4	11,1	13,1	19,9
Tamaño de fusible recomendado	A	25	30	35	50
Corriente de inicio	A _{rms}	29	30	42	53
Impedancia máxima admisible en el punto de conexión ²⁾	oh-mios	-	-	-	0,4
Potencia total, bombas de salmuera r ³⁾	W	6 – 360	6 – 360	35 – 730	40 – 1250
Potencia total, bombas de medio de caleamiento	W	5 – 174	5 – 174	5 – 174	5 – 174
Clase de protección		IP 21			

3x400 V		24	30	40	60
Circuito refrigerante					
Tipo de refrigerante		R407C		R410A	
Refrigerante GWP		1.774	1.774	1.774	2.088
Cantidad de llenado	kg	2 x 2,0	2 x 2,0	2 x 1,7	2 x 1,7
CO ₂ equivalente	T	2 x 3,55	2 x 3,55	2 x 3,02	2 x 3,55
Valor de corte, presostato HP	MPa	3,2 (32 bar)			4,2 (42 bar)
Diferencia, presostato HP	MPa	-0,7 (-7 bar)			
Valor de corte, presostato LP	MPa	0,08 (0,8 bar)		0,2 (2 bar)	
Diferencia, presostato LP	MPa	0,07 (0,7 bar)			
Valor de corte, transmisor de presión baja (LP)	MPa	0,08 (0,8 bar)		0,2 (2,0 bar)	
Diferencia, transmisor de presión baja	MPa	0,01 (0,1 bar)			
Circuito de colector					
Presión máx. sistema de colector	MPa	0,6 (6 bar)			
Caudal mínimo	l/s	0,92	1,23	1,59	2,36
Caudal nominal	l/s	1,18	1,62	2,09	3,10
Presión externa máxima disponible al caudal nominal ³⁾	kPa	92	75	92	78
Temp. mín./máx. retorno de colector	°C	consulte la gráfica			
Temp. mín. solución anticongelante saliente	°C	-12			
Circuito del medio de calentamiento					
Presión máxima, sistema de medio de calentamiento	MPa	0,6 (6 bar)			
Caudal mínimo	l/s	0,37	0,50	0,64	0,92
Caudal nominal	l/s	0,54	0,73	0,93	1,34
Presión externa máx. disponible al caudal nominal	kPa	78	72	70	50
Temp. mín./máx. del medio de calentamiento	°C	consulte la gráfica			
Potencia acústica (L_{WA}) según EN 12102 a 0/35	dB(A)	47	47	47	47
Nivel de presión acústica (L_{PA}) valores calculados según EN ISO 11203 a 0/35 y a una distancia de 1 m	dB(A)	32	32	32	32
Conexión de tuberías					
Diámetro de tubo CU de salmuera		G50 (2" externo) / G40 (1 1/2" interno)			
Diámetro de tubos CU de medio de calentamiento		G50 (2" externo) / G40 (1 1/2" interno)			

1)En la eficiencia notificada para el sistema se considera el regulador de temperatura del producto.

2)Impedancia máxima admisible en el punto de conexión a la red según EN 61000-3-11. Las corrientes de arranque pueden provocar huecos de tensión breves que pueden afectar a otros equipos en condiciones desfavorables. Si la impedancia en el punto de conexión a la red es superior a la indicada, es posible que se produzcan interferencias. Si la impedancia en el punto de conexión a la red es superior a la indicada, consulte a su compañía eléctrica antes de comprar el equipo.

3)Estas especificaciones técnicas se refieren a la bomba de colector suministrada.

Varios

Varios		24	30	40	60
Aceite del compresor					
Tipo de aceite			POE	POE	POE
Capacidad	l	2 x 1,9	2 x 1,1	2 x 1,9	2 x 1,9
Dimensiones y peso					
Anchura	mm		600		
Fondo	mm		620		
Altura	mm		1.800		
Altura de techo necesaria ¹⁾	mm		1.950		
Peso, bomba de calor completa	kg	320	330	345	346
Peso, solo módulo de refrigeración	kg	130	135	144	144
Referencia de pieza 3x400V ²⁾		065 297	065 298	065 299	065 300
Referencia de pieza 3x400V ³⁾				065 301	065 302

1)Sin las patas, la altura es de unos 1930 mm.

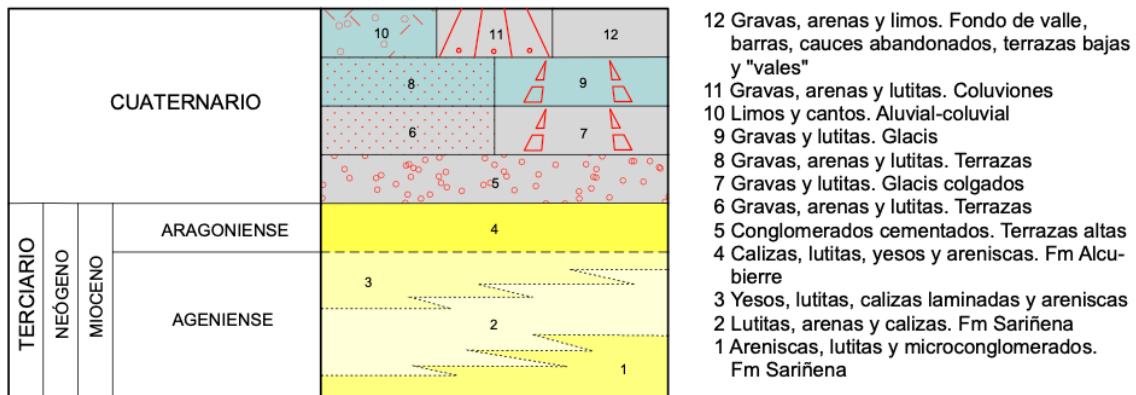
2)24 and y 30 kW con bomba de salmuera interior. 40 and y 60 kW con la bomba de salmuera exterior entregada.

3)40 y 60 kW sin la bomba de salmuera exterior entregada.

Modelo	F1345-40							
Tipo de bomba de calor	<input type="checkbox"/> Aire-agua <input type="checkbox"/> Aire de renovación-agua <input checked="" type="checkbox"/> Salmuera-agua <input type="checkbox"/> Agua-agua							
Bomba de calor de baja temperatura	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No							
Calentador de inmersión integrado para calor adicional	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No							
Calefactor combinado con bomba de calor	<input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No							
Clima	<input checked="" type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Frio <input type="checkbox"/> Cálido							
Temperatura	<input checked="" type="checkbox"/> Media (55 °C) <input type="checkbox"/> Baja (35 °C)							
Normas aplicadas	EN-14825							
Potencia calorífica nominal	Prated	46	kW	Eficiencia energética estacional de calefacción de espacios		η_s	143	%
Potencia declarada para calefacción de espacios a carga parcial y a una temperatura exterior T_j				Coeficiente de rendimiento declarado para calefacción de espacios a carga parcial y a una temperatura exterior T_j				
$T_j = -7^\circ\text{C}$	Pdh	38,2	kW	$T_j = -7^\circ\text{C}$		COPd	3,33	-
$T_j = +2^\circ\text{C}$	Pdh	39,1	kW	$T_j = +2^\circ\text{C}$		COPd	3,79	-
$T_j = +7^\circ\text{C}$	Pdh	19,9	kW	$T_j = +7^\circ\text{C}$		COPd	4,21	-
$T_j = +12^\circ\text{C}$	Pdh	20,1	kW	$T_j = +12^\circ\text{C}$		COPd	4,51	-
$T_j = \text{biv}$	Pdh	38,4	kW	$T_j = \text{biv}$		COPd	3,41	-
$T_j = \text{TOL}$	Pdh	37,8	kW	$T_j = \text{TOL}$		COPd	3,19	-
$T_j = -15^\circ\text{C}$ (si TOL < -20 °C)	Pdh		kW	$T_j = -15^\circ\text{C}$ (si TOL < -20 °C)		COPd		-
Temperatura bivalente	T_{biv}	-5,7	°C	Temperatura del aire exterior mín.		TOL	-10,0	°C
Potencia del intervalo cíclico	Psych		kW	Eficiencia del intervalo cíclico		COPyc		-
Coeficiente de degradación	Cdh	0,99	-	Temperatura de caudal máx.		WTOL	65,0	°C
Consumo de energía en modos que no sean el modo «activo»								
Modo desactivado	P_{OFF}	0,002	kW	Apoyo externo		Psup	8,2	kW
Modo desactivado por termostato	P_{TO}	0,050	kW	Potencia calorífica nominal				
Modo de espera	P_{S8}	0,007	kW	Tipo de energía utilizada		Eléctrica		
Modo de calentamiento del cárter	P_{CX}	0,080	kW					
Otras elementos								
Control de la potencia	Variable			Caudal de aire nominal (aire-agua)				m^3/h
Nivel de potencia acústica, en el interior/en el exterior	L_{WA}	47 / -	dB	Caudal nominal del medio de calentamiento			4,07	m^3/h
Consumo energético anual	Q_{HE}	25.093	kWh	Caudal de salmuera, bombas de calor salmuera-agua o agua-agua			7,77	m^3/h

11.13 LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_324 GRAÑEN

LEYENDA



SÍMBOLOS CONVENCIONALES



11.14 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN HUERTO

PRESUPUESTO GEOTERMIA

CAPTACIÓN EN BALSA DE PURINES

DESCRIPCIÓN	CANT.
Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5045.5T - Serie 2 DS5050T (R410A - 3x400V.) Potencia (B0/W45): 32,8 kW. COP (B0/W45): 3,5 Potencia (B5/W45): 37,1 kW. COP (B5/W45): 3,9 Potencia (B10/W45): 41,7 kW. COP (B10/W45): 4,3	2
Tarjeta MODBUS WATERKOTTE para cluster	1
Depósito de inercia para climatización WATERKOTTE 4000I	1
Sonda de temperatura inercia	2
CAPTACIÓN HORIZONTAL	
Superficie de captación (m²)	1500
Colector geotérmico REHAU polimérico premontado de 7 vías Incluye racores de conexión para tubo 20x2,0 mm y kit de termómetros	8
Tubería captación horizontal	5600
Mano de obra instalación de tubería de captación horizontal Instalación de tubería de captación de calor en balsa de purines	1
BOMBAS DE CIRCULACIÓN	
Bomba de circulación circuito captación	2
Bomba de circulación circuito bomba de calor a inercia	2
OTROS ELEMENTOS HIDRÁULICOS	
Grupos de seguridad hidráulico Incluye vasos de expansión, purgador y separador de aire, manómetro, válvula de seguridad, llaves de esfera, filtro de malla...	4
Glicol	1800
INSTALACIÓN SALA DE MÁQUINAS	
Tubería PPR y otros componentes de distintos materiales, diámetros, codos, racores, aislantes, etc para instalación de sala de máquinas.	1
Instalación y materiales eléctricos...	2
Montaje e instalación, Regulación, Pruebas, Puesta en marcha.	1
(continua...)	

CONEXIÓN COLECTORES CAPTACIÓN A SALA MÁQUINAS

Tubería PE100 con soldadura por electrofusión, reguladores de caudal k-flow en cada colector, otros elementos hidráulicos y materiales para conexión de los colectores de captación geotérmica a sala máquinas, enterrada por el exterior desde la balsa de purines hasta sala de máquinas. 1

Se estima que la sala de máquinas se ubica inmediatamente junto al edificio de maternidad y de forma que dista 200 metros de la balsa de purines, según indicaciones facilitadas por el solicitante.

No incluye materiales ni mano de obra de conexión y distribución entre sala de máquinas y mantas en maternidad.

Mano de obra conexión captación a sala de máquinas.

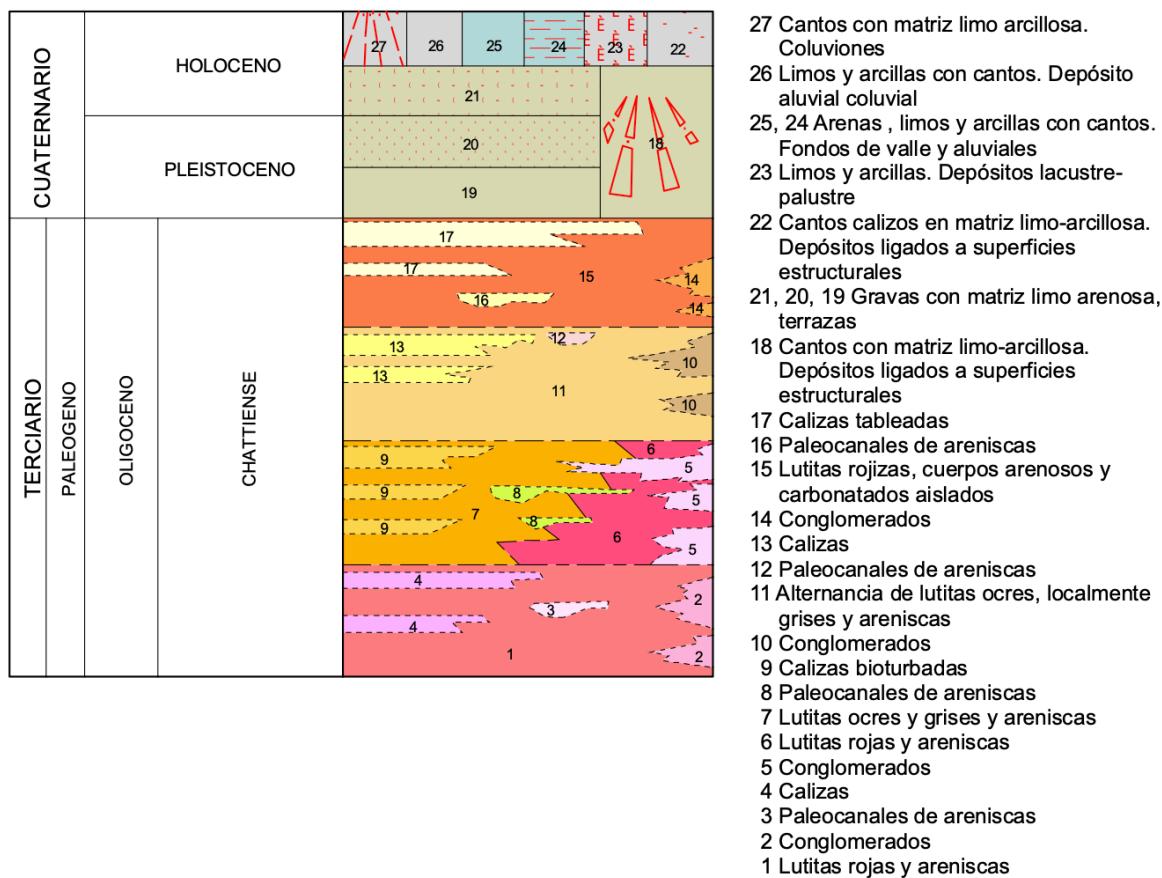
1

TOTAL VALORACIÓN

Total de la medición s/IVA	97.900 €
-----------------------------------	-----------------

11.15 LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_416 MAIALS

LEYENDA



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

-----	Contacto concordante	-----	Contacto discordante
-----	Cambio lateral de facies	-----	Contacto entre unidades genético-sedimentarias
—	Estratificación	○	Manantiales o fuentes
○	Pozo	○○	Sondeo
▲	Estación pluviométrica	▲	Estación termopluv.
●	Indicios minerales	Anh	Anhidrita
Arc	Arcilla común	Arn	Arenisca
Clz	Caliza		

11.16 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN LLARDECANS

CAMPO DE PERFORACIÓN VERTICAL	
Unidades	Concepto
<u>PERFORACIONES VERTICALES</u>	
1	P/A Desplazamiento, implantación y retirada de un equipo de perforación de geotermia convencional
750	m.l. perforación de D.152 mm incluso introducción de sonda geotérmica simple de 40mm exterior, espesor 3,7 y longitud 100-125 m (PN/16 PE100) e inyección de mortero bentonita-cemento hasta los 15 kg/m.l.
	kg. De inyección de mortero en exceso a las tasas señaladas (0,20 €/kg)
<u>CONEXIÓN HORIZONTAL</u>	
300	m.l. polietileno alta densidad PE100 DN40
1	Colector de 6 salidas incluyendo llaves de corte, sistema de carga, purga, circuitos.
24	Manguitos y Codos electrosoldables DN40
1	Mano de obra limpieza vertical de pozos, instalación de tuberías y aislamiento, pruebas, desplazamientos y transporte
Total de la medición s/IVA	
42.390 €	

PURITERMIA Y SALA TÉCNICA	
Unidades	Concepto
<u>SALA TÉCNICA</u>	
1	Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5075.5T (Serie DS5110T (R410A – 3x400V.))
1	Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5085.5T – Serie DS5110T (R410A – 3x400V.)
1	Tarjeta MODBUS para clúster
1	Depósito de inercia para climatización WATERKOTTE 4000 I
2	Sonda de temperatura inercia
1	Colector geotérmico para realizar cascada de bombas de calor en el lado FUENTE.
1	Colector geotérmico para realizar cascada de bombas de calor en el lado USO.

2	Bomba circulación circuito primario
2	Bomba circulación circuito secundario calor a inercia
2	Grupos de seguridad hidráulico 2" Incluye vasos de expansión, purgador y separador de aire, manómetro, válvula de seguridad, llaves de esfera, filtro de malla, ...
2.800	Glicol
1	Tubería de PPR y otros materiales de distintos diámetros, codos, racores, aislantes, ...
1	Instalación y materiales eléctricos, ...
1	Montaje e Instalación, Regulación, Pruebas, Puesta en marcha.
1	Mano de obra de sala técnica
PURITERMIA	
7.500	m.l. de captación horizontal de tubería de polietileno PE100 PN16 20 mm
2	Colector geotérmico polimérico premontado de 8 vías (incluye racores de conexión y kit de termómetros)
2	Colector geotérmico polimérico premontado de 9 vías (incluye racores de conexión y kit de termómetros)
2	Colector geotérmico polimérico premontado de 10 vías (incluye racores de conexión y kit de termómetros)
2	Colector geotérmico polimérico premontado de 11 vías (incluye racores de conexión y kit de termómetros)
Total de la medición s/IVA	
119.025 €	

PRESUPUESTO TOTAL	
Medición S/IVA del Campo de Perforación	42.390 €
Medición S/IVA de la Sala Técnica y Puritermia	119.025 €
Total de la medición s/IVA	
161.415 €	

11.17 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG WATERKOTTE DS5110T 5075.5T Y 5085.5T

Información técnica

DS5110T - R410A | Gama de potencias 48 - 112 kW

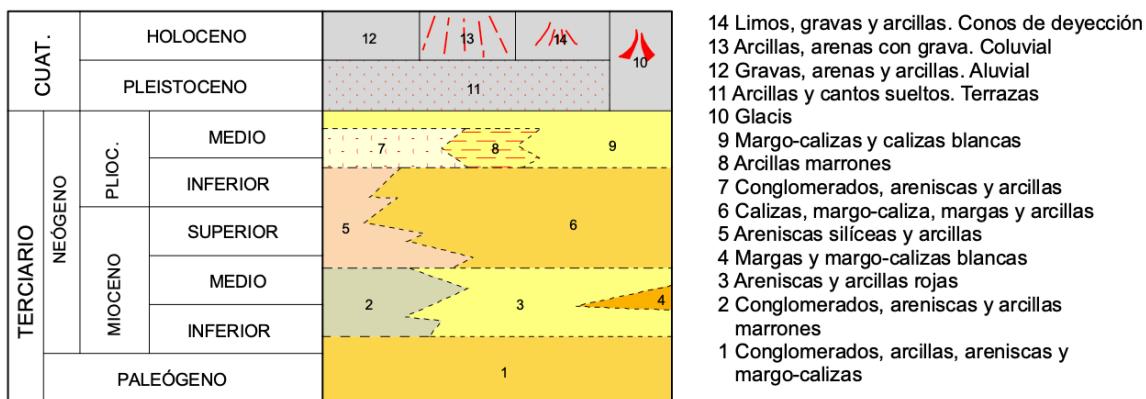
DS5110T con R410A	5063.5T	5075.5T	5085.5T	5095.5T	5112.5T
Fuente de calor: agua subterránea					
Potencia consumida / entregada W10/W35 ³⁾	kW	10,6 / 63,2	12,1 / 75,2	13,8 / 85,0	15,6 / 95,2
COP a W10/W35 ³⁾		5,73 (5,97) ⁵⁾	5,90 (6,19) ⁵⁾	5,85 (6,16) ⁵⁾	5,77 (6,09) ⁵⁾
Potencia consumida / entregada W10/6//B8/4//W35 ¹⁾	kW	10,6 / 59,6	12,1 / 70,8	13,8 / 80,2	15,5 / 89,6
COP a W10/6//B8/4//W35 ¹⁾		5,7 ⁵⁾	5,9 ⁵⁾	5,87 ⁵⁾	5,81 ⁵⁾
Caudal agua subterránea ¹⁾	m ³ /h ($\Delta t=3K$)	15,3	18,3	20,7	23,0
Pérdida de presión en evaporador	mca	2,2	2,5	2,7	2,9
Caudal agua subterránea mínimo ^{2) 1)}	m ³ /h ($\Delta t=6K$)	7,7	9,2	10,4	11,5
Caudal agua calefacción ¹⁾	m ³ /h ($\Delta t=5K$)	10,9	13,0	14,6	16,4
Pérdida de presión en condensador	mca	1,1	1,3	1,4	1,5
Límite de operación					W10/W63
Fuente de calor: captación vertical y horizontal					
Potencia consumida / entregada B0/W35 ³⁾	kW	10,4 / 47,6	12,0 / 56,6	13,6 / 64,2	15,2 / 71,4
COP a B0/W35 ³⁾		4,45 (4,57) ⁵⁾	4,58 (4,72) ⁵⁾	4,58 (4,71) ⁵⁾	4,56 (4,70) ⁵⁾
Caudal agua fuente de calor ⁴⁾	m ³ /h ($\Delta t=3K$)	11,9	14,3	16,2	18,0
Pérdida de presión en evaporador	mca	1,7	1,9	2,0	2,1
Caudal agua calefacción	m ³ /h ($\Delta t=5K$)	8,2	9,7	11,1	12,3
Pérdida de presión en condensador	mca	0,7	0,8	0,8	0,9
Límite de operación			B-5/W50	B0/W55	B5/W58
Compresor			Scroll completamente hermético en tandem		
Datos eléctricos 3 x 400V, 50 Hz					
Corriente de arranque (no reducida)	A	132	140	143	171
Corriente de arranque reducida ⁵⁾	A	77	81	84	101
Corriente máxima de operación	A	42	44	50	62
Magneto-térmico compresor	A	C50A	C50A	C63A	C80A
Magneto-térmico control	A			B10A	C80A
Capacidades, dimensiones, pesos y conexiones					
Peso del equipo	kg	312	327	338	357
Conexiones fuente de calor / calef.			junta plana R2" ext		370
Dimensiones L X A x P	mm		1100 x 1300 x 850		

¹⁾ Uso de aguas subterráneas con intercambiador como fuente de calor ²⁾ A W10/W35 y $\Delta t=6K$. ³⁾ Tolerancias según EN 12900 y EN 14511.

⁴⁾ 70% agua + 30% etilenglicol ⁵⁾ COP del compresor

11.18 LEYENDA GEOLÓGICA DE HOJA MAGNA 50_407 MORÓN DE ALMAZÁN

LEYENDA



SÍMBOLOS CONVENCIONALES

The diagram illustrates various geological contact types and stratification indicators:

- Contacto concordante**: Indicated by a horizontal dashed line.
- Contacto discordante**: Indicated by a horizontal dashed line with a short vertical tick at the top.
- Contacto paraconforme**: Indicated by a horizontal dashed line with a short vertical tick at the bottom.
- Contacto entre Cuaternarios**: Indicated by a red dashed line.
- Límite de terraza**: Indicated by a horizontal line with red tick marks.
- Sinclinal**: Indicated by a horizontal line with three downward-pointing arrows.
- Estratificación subhorizontal**: Indicated by a horizontal line with a plus sign (+).
- Estratificación**: Indicated by a horizontal line with a minus sign (-).
- Dirección de paleocorriente**: Indicated by a horizontal arrow pointing right.

11.19 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN CABANILLAS

ISBRAN GEOTERMIA	ANEXO DE CONTRATO Instalación de geotermia para ACS y calefacción por suelo radiante	Ref: CAB19_01 Hoja 1 de 3
DETALLE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN PARA INSTALACIÓN DE COPISO EXPLOTACION PORCINA CABANILLAS		3 de abril de 2019

SALA TÉCNICA Y EQUIPAMIENTO

1 Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5145.5T - Serie 1 DS5240T (R410A - 3x400V.)

- Potencia (B0/W45): 107,0 kW. COP (B0/W45): 3,6
- Potencia (B5/W45): 120,8 kW. COP (B5/W45): 4,0
- Potencia (B10/W45): 136,1 kW. COP (B10/W45): 4,5

1 Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5095.5T - Serie 1 DS5110T (R410A - 3x400V.)

- Potencia (B0/W45): 69,2 kW. COP (B0/W45): 3,6
- Potencia (B5/W45): 77,6 kW. COP (B5/W45): 4,0
- Potencia (B10/W45): 86,8 kW. COP (B10/W45): 4,4

1 Depósito de inercia GREENHEISS para climatización 4000l

1 Depósito de inercia GREENHEISS para climatización 3000l

1 Depósito acumulador GREENHEISS para ACS 3000l

1 Intercambiador de calor WATERKOTTE para ACS

3 Sondas de temperatura inercia (ACS)

BOMBAS DE CIRCULACIÓN

1 Bomba de circulación circuito captación para 5145.5T

1 Bomba de circulación circuito bomba de calor a inercia para 5114.5T

1 Bomba de circulación circuito captación para 5095.5T

1 Bomba de circulación circuito bomba de calor a inercia para 5095.5T

1 Bomba de circulación circuito bomba de calor a ACS

No está incluida:

- la bomba de circulación de sala de máquinas a distribución a mantas.
- La acometida eléctrica hasta la sala de máquinas.

OTROS ELEMENTOS HIDRÁULICOS.

Vasos de expansión, purgadores, manómetros, válvulas de seguridad y filtros de malla.

	ANEXO DE CONTRATO Instalación de geotermia para ACS y calefacción por suelo radiante	Ref: CAB19_01 Hoja 2 de 3 3 de abril de 2019
<i>DETALLE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN PARA INSTALACIÓN DE COPISO EXPLOTACION PORCINA CABANILLAS</i>		

INSTALACIÓN SALA MÁQUINAS

Tubería PPR y otros componentes de distintos materiales, diámetros, codos, racores, aislantes, etc para instalación de sala de máquinas.

CONEXIÓN COLECTORES CAPTACIÓN A SALA MÁQUINAS

Tubería PE100 con soldadura por electrofusión, reguladores de caudal k-flow en cada colector, otros elementos hidráulicos y materiales para conexión de los colectores de captación geotérmica a sala máquinas, enterradas por los pasillos de las naves y enterrada por el exterior hasta sala de máquinas atravesando naves intermedias.

Se considera que la sala de máquinas se ubica en el pasillo central de la nave "partos", en la parte más cercana a la nave "gestación" y que entre naves hay una distancia de 15 metros, según planos e indicaciones facilitadas por el solicitante.

No está incluida:

- la tubería de conexión entre sala de máquinas y mantas de calefacción.

CAPTACIÓN HORIZONTAL

Se estiman para ubicar en la losa de hormigón de las 3 naves del nuevo proyecto un total de 11.815 m2.

18 Colector geotérmico polimérico premontado de 10 vías

Incluye racores de conexión para tubo de 20 x 2,0 mm y kit de termómetros.

18000 metros de tubería de captación horizontal

No está incluido :

- el mallazo de sujeción u otro sistema de sujeción para la tubería de captación geotérmica.
- El movimiento de tierras o perforación en caso de ser necesario.

MANO DE OBRA

Está incluida la mano de obra de :

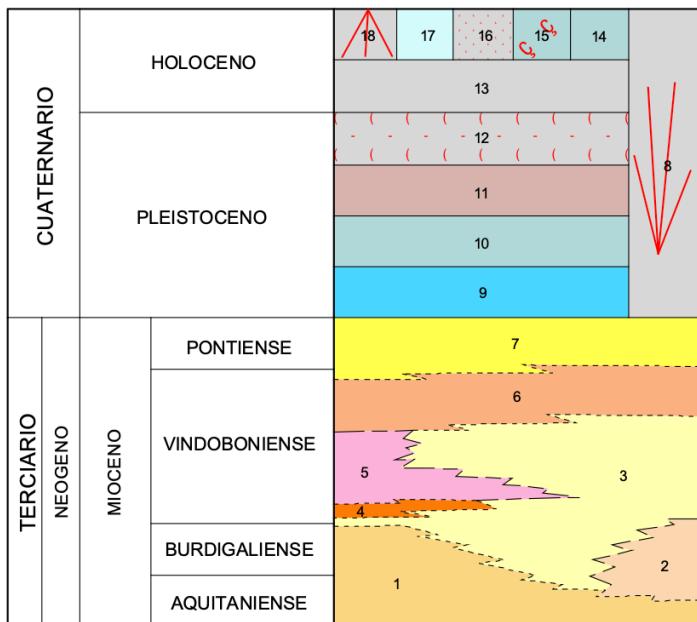
- Instalación de tubería de captación horizontal.
- conexión captación a sala de máquinas
- instalación de materiales eléctricos
- instalación, montaje, regulación pruebas y puesta en marcha de sala técnica.

ISBRAN  GEOTERMIA	ANEXO DE CONTRATO Instalación de geotermia para ACS y calefacción por suelo radiante	Ref: CAB19_01 Hoja 3 de 3 3 de abril de 2019
<i>DETALLE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN PARA INSTALACIÓN DE COPISO EXPLOTACION PORCINA CABANILLAS</i>		

TOTAL PRESUPUESTO GEOTERMIA.....220.000 € IVA NO INCLUIDO

11.20 LEENDA GEOLOGICA DE HOJA MAGNA 50_321 TAUSTE

LEYENDA



- 18 Conos de deyección.
- 17 Islas fluviales.
- 16 Barra de acreción lateral actual.
- 15 Meandro abandonado.
- 14 Terraza de inundación (llanura aluvial): Gravas, arenas, limos y arcillas.
- 13 Terraza 5 del Ebro, glacis y aluvial en la zona de los afluentes: Gravas, arenas, limos y arcillas.
- 12 Terraza 4 y glacis: Gravas más o menos cementadas con niveles de caliche y materia orgánica.
- 11 Terraza 3 y glacis: Gravas poco cementadas.
- 10 Terraza 2 y glacis: Gravas con costra de caliche.
- 9 Terraza 1: Gravas con costra de caliche.
- 8 Glacis: Gravas, arenas y limos.
- 7 Yesos, arcillas y limos yesíferos.
- 6 Arcillas calcáreas y limos pardo rojizos y grises con calizas arcillosas blanquecinas
- 5 Arcillas calcáreas y limos pardo rojizos con calizas arcillosas blanquecinas y areniscas (paleocanales).
- 4 Yesos y arcillas calcáreas grises.
- 3 Arcillas calcáreas y limos rojizos y grises con capas delgadas de areniscas y limolitas muy eventualmente.
- 2 Yesos, arcillas, limos y esporádicamente areniscas (paleocanales).
- 1 Arcillas calcáreas pardo rojizas y grises con calizas arcillosas blanquecinas.

SÍMBOLOS CONVENCIONALES

-----	Contacto discordante	-----	Cambio lateral de facies
-----	Nivel de terraza de inundacion	-----	Barras de acreción lateral actual
-----	Nivel de terraza 5-10 m.	-----	Nivel de terraza 10-20 m.
-----	Nivel de terraza 20-30 m.	-----	Nivel de terraza 60-70 m.
-----	Nivel de terraza 90-100 m.	—	Estratificación

11.21 PRESUPUESTO GEOTÉRMICO EN REMOLINOS

CAPTACIÓN HORIZONTAL Y CUARTO TÉCNICO

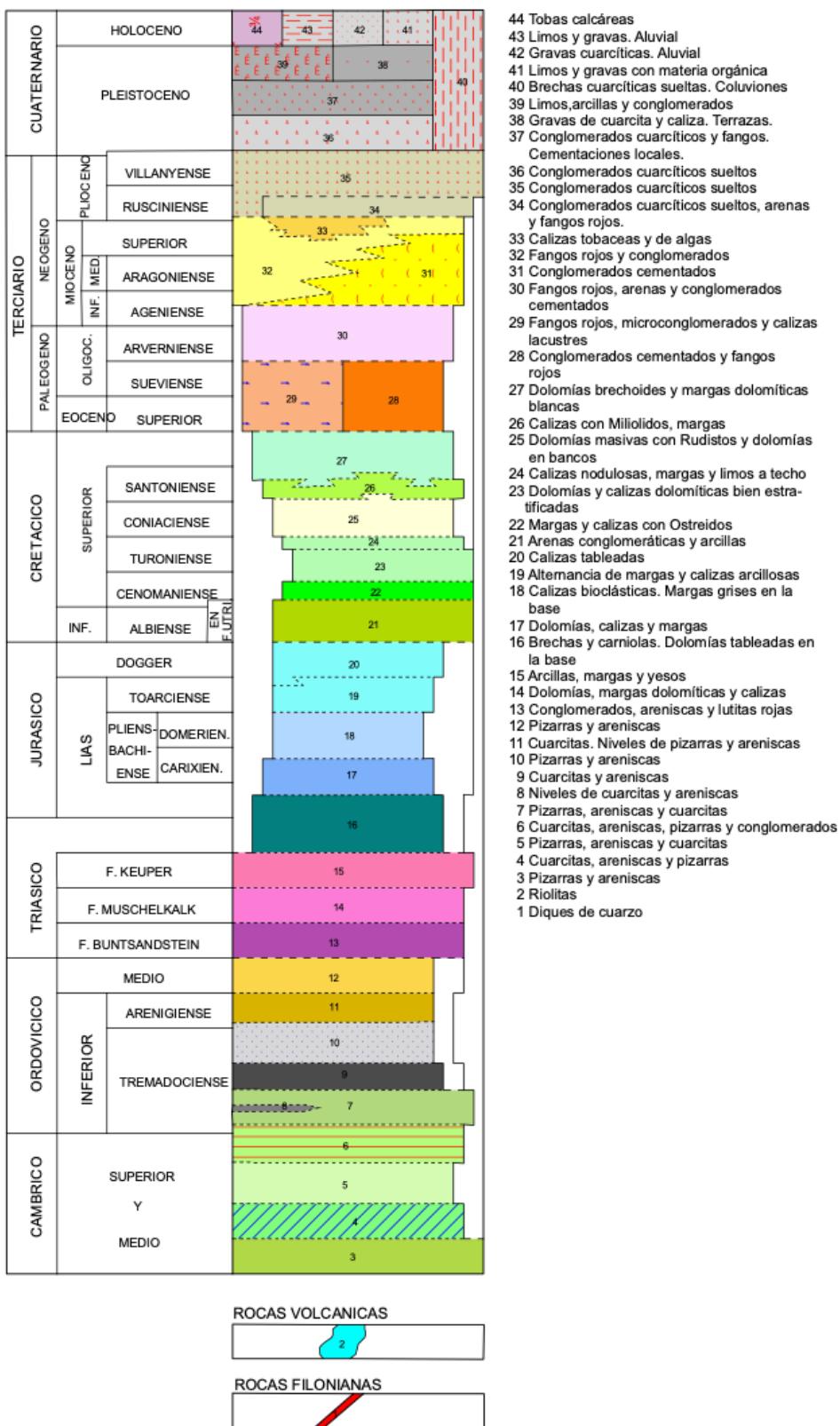
UNIDAD	CONCEPTO
1	Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5075.5T – Serie EcoTouch 5050T (R410A – 3x400V.) <i>Potencia (B0/W45): 54,7 kW. COP (B0/W45): 3,5 Potencia (B5/W45): 62,6 kW. COP (B5/W45): 3,9 Potencia (B10/W45): 68,8 kW. COP (B10/W45): 4,4</i>
1	Bomba de calor geotérmica WATERKOTTE modelo 5063.5T – Serie EcoTouch 5050T (R410A – 3x400V.) <i>Potencia (B0/W45): 46,3 kW. COP (B0/W45): 3,5 Potencia (B5/W45): 51,9 kW. COP (B5/W45): 3,9 Potencia (B10/W45): 58,0 kW. COP (B10/W45): 4,3</i>
1	Tarjeta MODBUS WATERKOTTE para clúster
1	Depósito de inercia para climatización WATERKOTTE 4000I
2	Sonda de temperatura inercia
CAPTACIÓN HORIZONTAL	
9	Colector geotérmico REHAU polimérico premontado de 9 vías <i>Incluye racores de conexión para tubo 20x2,0 mm y kit de termómetros</i>
8.100	Tubería captación horizontal
1	Mano de obra instalación de tubería de captación horizontal <i>Instalación de tubería de captación de calor en salas de edificio de maternidad</i>
BOMBAS DE CIRCULACIÓN	
2	Bomba de circulación circuito captación
2	Bomba de circulación circuito bomba de calor a inercia
OTROS ELEMENTOS HIDRAÚLICOS	
4	Grupos de seguridad hidráulico <i>Incluye vasos de expansión, purgador y separador de aire, manómetro, válvula de seguridad, llaves de esfera, filtro de malla, ...</i>
1400	Glicol
INSTALACIÓN SALA DE MÁQUINAS	
1	Tubería de PPR y otros componentes de distintos materiales, diámetros, codos, racores, aislantes, etc. para instalación de sala de máquinas
2	Instalación y materiales eléctricos,
1	Montaje e Instalación, Regulación, Pruebas, Puesta en marcha.
1	Gastos de transporte
CONEXIÓN COLECTORES CAPTACIÓN A SALA MÁQUINAS	
1	TUBERÍA PE100 con soldaduras por electrofusión, reguladores de caudal k-flow en cada colector, otros elementos hidráulicos y materiales para conexión de los colectores de captación geotérmica a sala máquinas, enterradas por los pasillos del edificio de maternidad y enterradas por el exterior hasta sala de máquinas. Se estima que la sala de máquinas se ubica en el pasillo central entre el edificio de maternidad y el edificio de gestación.(No incluye materiales ni mano de obra de conexión

	y distribución entre sala de máquinas y mantas de maternidad.)
1	Mano de obra conexión captación a sala de máquinas.

Total de la medición s/IVA

100.000,00 €

LEYENDA



11.23 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE BCG WATERKOTTE DS5110T 5027 Ai - EcoTouch

Información técnica

EcoTouch DS 5027 Ai | Gama de potencias 6 - 26 kW

DS 5027 Ai con R410A (NC y RC)	5008.5	5010.5	5012.5	5014.5	5017.5	5020.5	5023.5	5027.5	
Fuente de calor: agua subterránea									
Potencia consumida / entregada W10/W35	kW ¹⁾	1,2 / 8,0	1,5 / 9,8	1,9 / 12,3	2,1 / 13,9	2,6 / 18,0	3,1 / 19,9	3,7 / 23,1	4,2 / 26,3
COP a W10/W35 ³⁾		6,50	6,80	6,68	6,89	6,96	6,38	6,14	6,00
Caudal agua subterránea	m ³ /h ($\Delta t=3K$)	1,9	2,4	3,0	3,4	4,3	4,8	5,6	6,3
Caudal agua subterránea mínimo	m ³ /h	1,0	1,2	1,5	1,7	2,1	2,4	2,8	3,2
Caudal agua calefacción	m ³ /h ($\Delta t=5K$)	1,4	1,7	2,1	2,4	3,1	3,4	4,0	4,5
Límite de operación									
Compresor									
Fuente de calor: captación vertical y horizontal									
Potencia consumida / entregada B0/W35	kW ¹⁾	1,2 / 5,9	1,5 / 7,3	1,9 / 9,2	2,1 / 10,3	2,6 / 13,3	3,2 / 15,0	3,6 / 17,4	4,1 / 19,7
COP a B0/W35 ³⁾		4,7	4,9	5,0	4,9	5,0	4,7	4,8	4,8
Caudal agua fuente de calor ²⁾	m ³ /h ($\Delta t=3K$)	1,5	1,8	2,3	2,6	3,4	3,7	4,4	4,9
Caudal agua calefacción	m ³ /h ($\Delta t=5K$)	1,0	1,2	1,6	1,8	2,3	2,6	3,0	3,4
Límite de operación									
Compresor									
Datos eléctricos 3 x 400V, 50 Hz (versión 1 x 230 V, 50 Hz)									
Corriente de arranque (no reducida)	A	26 (58)	38 (67)	46 (98)	43 (128)	51,5 (115,5)	64	75	101
Corriente de arranque limit. (opc.) ⁴⁾	A	13 (45)	19 (45)	23 (45)	22 (45)	26 (45)	32	38	51
Corriente máxima de operación	A	5,5 (16,0)	6,0 (16,0)	7,0 (22,0)	8,0 (26,0)	10,3 (31,0)	11,8	15,0	15,0
Magneto-térmico compresor	A	C16A(C20A)	C16A(C20A)	C16A(C25A)	C16A(C32A)	C16A(C32A)	C16A	C20A	C20A
Magneto-térmico control	A					B10A			
Potencia resistencia eléctrica	kW					6			
Capacidades, dimensiones, pesos y conexiones									
Peso del equipo	kg	163	155	161	163	172	178	178	183
Conexiones fuente de calor / calef.					junta plana G 1 1/4" a / G 1 1/4" a				
Dimensiones L X A x P	mm				750 x 1470 x 611				

¹⁾ Tolerancias según EN 12900 y EN 14511. ²⁾ 70% agua + 30% etilenglicol

³⁾ Según DIN EN 14511. ⁴⁾ De serie en versiones 1 x 230 V.

11.24 FACTURA ELÉCTRICA DE EXPLOTACIÓN GANADERA EN EJEA DE LOS CABALLEROS

 RESUMEN DE LA FACTURA <p>Fecha Factura: 01 de marzo de 2018 Fecha Devengo: Periodo facturación: del 01/02/2018 al 28/02/2018 Factura nº: Total Factura 2.946,07 €</p>	Datos del Cliente Razón Social: NIF/CIF: E Dir.Fiscal: Dir.Suministro: CUPS: ES0031: Modalidad de Contrato: Tarifa Óptima	ES COPIA Electricidad																														
Facturación																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; width: 30%;">CONCEPTO</th><th style="text-align: left; width: 40%;">CALCULO</th><th style="text-align: right; width: 30%;">IMPORTE</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TERMINO DE ENERGIA VARIABLE</td><td>P1: 4.645 kWh x 0,098795 Eur/kWh = 458,9 Eur P2: 9.775 kWh x 0,085944 Eur/kWh = 840,1 Eur P3: 11.461 kWh x 0,062752 Eur/kWh = 719,2 Eur</td><td style="text-align: right;">2.018,20</td></tr> <tr> <td>FACTURACION POTENCIA PERIODOS</td><td>P1: 59,5 kW x 59,475288 Eur/kW = 3.538,78 Eur P2: 62,4 kW x 36,676813 Eur/kW = 2.288,63 Eur P3: 66,56 kW x 8,410411 Eur/kW = 559,8 Eur 6.387,21 Eur x 1 MESES / 12 MESES</td><td style="text-align: right;">532,27</td></tr> <tr> <td>DESCUENTO SOBRE LOS TERMINOS DE ENERGIA</td><td>3 % sobre 2.018,2 Eur = -60,55 Eur</td><td style="text-align: right;">-60,55</td></tr> <tr> <td>DESCUENTOS SOBRE LA ENERGIA</td><td>6 % sobre 2.018,2 Eur = -121,09 Eur</td><td style="text-align: right;">-121,09</td></tr> <tr> <td>DESCUENTOS SOBRE LA ENERGÍA</td><td>5 % sobre 2.018,2 Eur = -100,91 Eur</td><td style="text-align: right;">-100,91</td></tr> <tr> <td>IMUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD</td><td>5,11269632 % sobre 2.267,92 Eur</td><td style="text-align: right;">115,95</td></tr> <tr> <td>ALQUILER DE EQUIPOS DE MEDIDA</td><td></td><td style="text-align: right;">50,90</td></tr> <tr> <td>IVA NORMAL</td><td>21 % sobre 2.434,77 EUR</td><td style="text-align: right;">511,30</td></tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Total Factura</td><td style="text-align: right;">2.946,07 EUR</td></tr> </tbody> </table>			CONCEPTO	CALCULO	IMPORTE	TERMINO DE ENERGIA VARIABLE	P1: 4.645 kWh x 0,098795 Eur/kWh = 458,9 Eur P2: 9.775 kWh x 0,085944 Eur/kWh = 840,1 Eur P3: 11.461 kWh x 0,062752 Eur/kWh = 719,2 Eur	2.018,20	FACTURACION POTENCIA PERIODOS	P1: 59,5 kW x 59,475288 Eur/kW = 3.538,78 Eur P2: 62,4 kW x 36,676813 Eur/kW = 2.288,63 Eur P3: 66,56 kW x 8,410411 Eur/kW = 559,8 Eur 6.387,21 Eur x 1 MESES / 12 MESES	532,27	DESCUENTO SOBRE LOS TERMINOS DE ENERGIA	3 % sobre 2.018,2 Eur = -60,55 Eur	-60,55	DESCUENTOS SOBRE LA ENERGIA	6 % sobre 2.018,2 Eur = -121,09 Eur	-121,09	DESCUENTOS SOBRE LA ENERGÍA	5 % sobre 2.018,2 Eur = -100,91 Eur	-100,91	IMUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD	5,11269632 % sobre 2.267,92 Eur	115,95	ALQUILER DE EQUIPOS DE MEDIDA		50,90	IVA NORMAL	21 % sobre 2.434,77 EUR	511,30	Total Factura		2.946,07 EUR
CONCEPTO	CALCULO	IMPORTE																														
TERMINO DE ENERGIA VARIABLE	P1: 4.645 kWh x 0,098795 Eur/kWh = 458,9 Eur P2: 9.775 kWh x 0,085944 Eur/kWh = 840,1 Eur P3: 11.461 kWh x 0,062752 Eur/kWh = 719,2 Eur	2.018,20																														
FACTURACION POTENCIA PERIODOS	P1: 59,5 kW x 59,475288 Eur/kW = 3.538,78 Eur P2: 62,4 kW x 36,676813 Eur/kW = 2.288,63 Eur P3: 66,56 kW x 8,410411 Eur/kW = 559,8 Eur 6.387,21 Eur x 1 MESES / 12 MESES	532,27																														
DESCUENTO SOBRE LOS TERMINOS DE ENERGIA	3 % sobre 2.018,2 Eur = -60,55 Eur	-60,55																														
DESCUENTOS SOBRE LA ENERGIA	6 % sobre 2.018,2 Eur = -121,09 Eur	-121,09																														
DESCUENTOS SOBRE LA ENERGÍA	5 % sobre 2.018,2 Eur = -100,91 Eur	-100,91																														
IMUESTO SOBRE LA ELECTRICIDAD	5,11269632 % sobre 2.267,92 Eur	115,95																														
ALQUILER DE EQUIPOS DE MEDIDA		50,90																														
IVA NORMAL	21 % sobre 2.434,77 EUR	511,30																														
Total Factura		2.946,07 EUR																														

11.25 FACTURA ELÉCTRICA DE EXPLOTACIÓN GANADERA EN EL PUEYO DE SANTA CRUZ

en^desa

luz

Endesa Energía, S.A.U.
CIF A81948077.
C/Ribera del Loira, nº 60 28042 - Madrid.

DATOS DE LA FACTURA

IMPORTE FACTURA: 1.869,50 €

Nº de factura

Referencia: 0

Fecha emisión factura: 16/03/2021

Fecha operación: 01/02/2021

Fecha de cargo: 23/03/2021

Periodo de facturación: del 30/11/2020 al 26/01/2021 (57 días)

RESUMEN DE LA FACTURA Y DATOS DE PAGO

Potencia	441,24 €
Energía	1.009,42 €
Otros	20,21 €
Impuestos	398,63 €
Total	1.869,50 €

(Detalle de la factura en el reverso)
Notificación de la fracción 2de la factura número
P8Z101Y0002705 por importe (EUR) de: 304,76.
Esta factura sustituye a la factura : PNR101N0029723

Forma de pago: Domiciliación bancaria

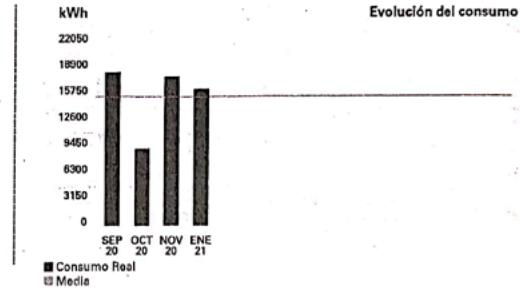
Versión: 0002

Su pago se justifica con el correspondiente importe bancario

INFORMACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

Consumo en el periodo

Desglose de consumos detallados en hoja anexa.



Su consumo medio diario en el periodo facturado ha sido de 32,80 €
Su consumo medio diario en los últimos 14 meses ha sido de 40,75 €
Su consumo acumulado del último año ha sido de 61.874 kWh

Endesa Energía, S.A.U. Unipersonal, inscrita en el registro mercantil de Madrid, tomo 14.751, libro U, folio 206,
Serie 8º, Hoja M-206-381, CIF A81948077. Domicilio Social: C/Ribera del Loira, nº 60 28042 - Madrid.

10CC2004-17/03/21 NOD/7258NNNN



Endesa Energía, S.A.U.
CIF A81948077.
Carretera del León, nº 60 28042 - Madrid.

DATOS DE LA FACTURA (HOJA ANEXA)

IMPORTE FACTURA: 1.869,50 €

Nº de factura:

Referencia: 08

Fecha emisión factura: 16/03/2021

Fecha operación: 01/02/2021

Fecha de cargo: 23/03/2021

Periodo de facturación: del 30/11/2020 al 26/01/2021 (57 días)

DESGLOSE DE CONSUMOS

Consumo		
Consumo	Periodo 1	2.731 kWh
	Periodo 2	5.918 kWh
	Periodo 3	7.739 kWh
Reactiva	Periodo 1	0 kVArh
	Periodo 2	0 kVArh
	Periodo 3	0 kVArh

LECTURA

	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6	Total
Activa	Lectura estí	10.008	17.711	10.201	0	4.173	12.102
	L.Ant real	8.501	13.699	7.651	0	2.970	9.491
	F. multiplicador	1	1	1	1	1	1
	Consumo	2.407	4.012	3.210	0	1.203	3.611
Reactiva	Ajuste	324	703	918	0	0	0
	Lectura	1.949	3.391	528	0	749	1.547
	L.Ant	1.949	3.391	528	0	749	1.547
	F. multiplicador	1	1	1	1	1	1
Maxímetro	Consumo	0	0	0	0	0	0
	Ajuste	0	0	0	0	0	0
	Lectura	27.200	27.200	27.200	27.200	27.200	27.200
	Maxímetro						

DESGLOSE DE PRECIOS

Precio Consumo (€/kWh)	Potencia			Reactiva		
	Potencia contratada	Potencia demanda	Potencia a facturar	Cos φ	Precio (€/kVArh)	A facturar (kVArh)
Periodo 1	32,000	27,200	27,200	1,00	0,000000	0
Periodo 2	32,000	27,200	27,200	1,00	0,000000	0
Periodo 3	32,000	27,200	27,200	0,000000	0,000000	0
(1) Precio medio kWh				(2) Reactiva a facturar		

(1) Precio medio resultante en función de la distribución de su consumo en los distintos períodos (€/kWh).

Precio medio kWh = $\Sigma (\text{consumo periodo} \times \text{precio consumo periodo}) / \text{consumo total}$

(2) Energía reactiva a facturar (kVArh).

Reactiva a facturar = $\Sigma (\text{reactiva a facturar periodo 1 y 2})$

Se factura la energía reactiva que sobrepasa el 33% de la activa (no se computa el periodo 3).

DATOS DEL CONTRATO

Titular del contrato: GUARDERIA PORCINA LAS PLETAS SL
 NIF: B22421358
 Dirección de suministro: LUGAR POLIGONO 6-276 PUEYO DE,
 SANTA CRUZ HUESCA, HUESCA
 Producto contratado: TARIFA econfianza 3.1A
 Potencia contratada: 32,000 kW 32,000 kW 32,000 kW
 CUPS: ES0031300841400001GA0F

Número de contador: 088516004
 Referencia del contrato: 081007348372
 Su comercializadora: Endesa Energía S.A.U.
 Peaje de acceso: 3,1A
 Fin de contrato de suministro: 23/07/2021
 (renovación anual automática)

DETALLE DE LA FACTURA

ELECTRICIDAD

Facturación Potencia Periodo 1	27,2 kW x 31 días x 0,161676 Eur/kW y día	136,33 €
Facturación Potencia Periodo 1	27,2 kW x 26 días x 0,162119 Eur/kW y día	114,65 €
Facturación Potencia Periodo 2	27,2 kW x 31 días x 0,099701 Eur/kW y día	84,07 €
Facturación Potencia Periodo 2	27,2 kW x 26 días x 0,099974 Eur/kW y día	70,70 €
Facturación Potencia Periodo 3	27,2 kW x 31 días x 0,022863 Eur/kW y día	19,28 €
Facturación Potencia Periodo 3	27,2 kW x 26 días x 0,022925 Eur/kW y día	16,21 €
Facturación del Consumo	8.913 kWh x 0,061592 Eur/kWh	548,97 €
Facturación del Consumo	7.475 kWh x 0,061599 Eur/kWh	460,45 €
Impuesto electricidad	1.450,66 Eur x 5,11269632 %	74,17 €
Alquiler equipos de medida y control		20,21 €
Total Base Imponible		1.545,04 €
IVA normal (21%)	21% s/ 1.545,04	324,46 €
TOTAL IMPORTE FACTURA		1.869,50 €

La estructura de su peaje pasará a ser la que le corresponda según lo regulado en los Artículos 6, 7 y 9 de la Circular 3/2020 de la CNMC publicada en el BOE del 24 de enero de 2020, en el plazo y en las condiciones establecidas en dicha Circular y en la legislación vigente.

Contrato acceso: 50004985756 | Fecha fin de Contrato acceso: 23/07/2021

INFORMACIÓN FACTURACIÓN ATR					
Término de potencia		Término energía			
Potencia kW/mes	Precio según RD	Importe	Consumo	Precio según RD	Importe
Período P1	27,200	0,161897	251,01	2,731	0,014335
Período P2	27,200	0,099837	154,79	5,918	0,012754
Período P3	27,200	0,022893	35,49	7,739	0,007805
Total		441,29			175,03

APLICADOS 26 DIAS A 2,889774 EUR Y 31 DIAS A 2,889774 EUR
 APLICADOS 26 DIAS A 0,011631 EUR Y 31 DIAS A 0,011631 EUR
 La Tarifa de Acceso se calcula de acuerdo con el RD 1164/2001 y con los precios que reglamentariamente se establezcan [actualmente en vigor Orden TED/1271/2020 (BOE 22-12-2020)].

NOTIFICACIONES

Notificación de la fracción 2do de la factura número PBZ101Y0002705 por importe (EUR) de: 304,76.
 Esta factura sustituye a la factura : PNR101N0029723

INFORMACIÓN DE SU PRODUCTO

Su Tarifa B2B de Endesa ha sido actualizada el 01/01/2020 trasladando las variaciones reguladas en la Orden TEC/1258/2019 de 20 de diciembre, en la Orden 362/2018 de 6 de abril y en la Resolución de 2 de diciembre de 2019 de la Secretaría de Estado de Energía. Con la tarifa B2B su empresa disfruta de un precio muy competitivo en su tarifa eléctrica. Si quiere ahorrar todavía más, desplace parte de su consumo al periodo valle.

ATENCIÓN AL CLIENTE: CONSULTAS, GESTIONES Y RECLAMACIONES 24 HORAS



800760266 (tlf. gratuito)

www.endesaclientes.com

atencioncliente@endesonline.com



Reclamaciones
C/ Ribera del Loira 60
28042 Madrid



Urgencias
900 84 89 00
(tlf. gratuito)



CALOR NATURAL

Nº de OFERTA	Fecha	Nº de Cli./Prov.	PRESUPUESTO				
Ref.	Descripción		Cantidad	Precio	% Dto.	Imp. Dto.	Total
STK500	Tulimax STK500 VARIO** Construida en chapa de acero de 8mm. Intercambiador de calor con pasos de humos verticales. Potencia nominal de 500Kw. Rango de potencial para astilla 80-501 Kw Modelo estándar: abertura para el quemador frontal. Opcional: abertura del quemador izquierda o derecha. Mantenimiento y limpieza de los pasos de humos, opcional , derecha,izquierda o por la parte superior de la caldera.		1,000	33.980,0	22,00	7.475,60	26.504,40
STK500C	Compartimento de cenizas modelo 500 kw.		1,000	2.690,00	22,00	591,80	2.098,20
	Adaptador de chimenea de la salida rectangular de la caldera a diámetro 200mm		1,000	230,00	22,00	50,60	179,40
37080500	Quemador saatotuli 500kw. Tomillo de alimentación de 190mm de ala y 200 mm exterior. Limpieza automática de la parrilla de combustión mediante mecanismo hidráulico,(movimiento parrillas). Combustión controlada de la biomasa con generadores de aire primario y secundario. Cámara de combustión refrigerada por aire. Interior del quemador construido en cerámica térmica y parrillas de fundido refractario.		1,000	13.725,0	22,00	3.019,50	10.705,50

Continúa en la siguiente página

Total Bruto	Gastos	Descuentos	Bases	I.V.A.	Cuotas	Rec.	Cuotas

Observación

FORMA DE PAGO

TOTAL FACTURA



CALOR NATURAL

Nº de OFERTA	Fecha	Nº de Cli./Prov.	PRESUPUESTO				
Ref.	Descripción		Cantidad	Precio	% Dto.	Imp. Dto.	Total
C/880	25/01/2016						
70170045	Tubo de alimentación en dos partes 50mm.		1,000	105,00	22,00	23,10	81,90
30050190	Ampliación del tornillo de alimentación.		4,000	518,00	22,00	455,84	1.616,16
70040020	Pulverizador Sprinkieri AVTA 10 antirretorno de llama. Sistema de seguridad, detector de temperatura mecanico.		2,000	327,00	22,00	143,88	510,12
70040021	Pulverizador de agua . Boquilla equipo antirretorno de llama.		2,000	73,00	22,00	32,12	113,88
37010570	Control de sistema C570E Unitronics. Regulación hidráulica Pantalla táctil Detector de llama Retroceso de llama Control de equipo PT100 control sistema de agua Control sistema de extracción de humos Sensores de nivel del silo. Control de temperatura en caldera, mmonimientos de suelo, motores, sistema hidráulico, ventiladores primero y secundario regulados por variador, histórico de alarmas... Depresor digital de humos. GSM modem.		1,000	18.440,0	22,00	4.056,80	14.383,20
30090115	Extractor de cenizas horizontal, diámetro 150mm con un solo tornillo sinfín. Para calderas de 200- 500Kw.		1,000	3.060,00	22,00	673,20	2.386,80
Continúa en la siguiente página							
Total Bruto	Gastos	Descuentos	Bases	I.V.A.	Cuotas	Rec.	Cuotas

Observación

TOTAL FACTURA

FORMA DE PAGO



CALOR NATURAL

Nº de OFERTA	Fecha	Nº de Cli./Prov.	PRESUPUESTO				
Ref.	Descripción		Cantidad	Precio	% Dto.	Imp. Dto.	Total
70240011	Motor de extracción de humos 1,5 kw. Modelo de 200- 500Kw.		1,000	3.130,00	22,00	688,60	2.441,40
10001001	Railes de alimentación.		2,000	1.550,00	22,00	682,00	2.418,00
10001006	Arrastradores de suelo max 9m y ancho max 1700mm: Fijaciones del cilindro hidráulico.		2,000	4.170,00	22,00	1.834,80	6.505,20
70220012	Canal tornillo de alimentación 390 x 355 incluidas uniones acorde a proyecto.		1,000	2.250,00	22,00	495,00	1.755,00
70170081	Tornillo de alimentacion 190mm para suelo móvil.		6,000	360,00	22,00	475,20	1.684,80
70130020	Cilindros hidráulicos de arrastradores.		2,000	1.500,00	22,00	660,00	2.340,00
70130098	Motor hidráulico 55LR Y 12,2 KW Movimiento sistema de arrastrador de suelo.		1,000	4.675,00	22,00	1.028,50	3.646,50
10001054	Motor de alimentación principal		2,000	1.570,00	22,00	690,80	2.449,20
Continúa en la siguiente página							
Total Bruto	Gastos	Descuentos	Bases	I.V.A.	Cuotas	Rec.	Cuotas

Observación

FORMA DE PAGO

TOTAL FACTURA



CALOR NATURAL

Nº de OFERTA _____ Fecha _____ Nº de Cli./Prov. _____
C/880 25/01/2016

PRESUPUESTO

Ref.	Descripción	Cantidad	Precio	% Dto.	Imp. Dto.	Total
70020181	Sensores inductivos. Nivel de contenedores para alimentación principal.	4,000	56,00	22,00	49,28	174,72
30030005	Sistema de alimentación en ángulo de 90° con motores y transmisión.	1,000	3.625,00	22,00	797,50	2.827,50
70020610	Sistema de sensores y celulas de llenado en presilo.	3,000	560,00	22,00	369,60	1.310,40
LIMPIEZA	LIMPIEZA DE LOS PASOS DE HUMOS PARA LA CALDERA TULIMAX.	1,000	4.900,00	100,00	4.900,00	

COMPUESTO POR:

Válvulas de descarga neumática.

Depositos de aire comprimido.

Manguitos para el conexionado neumático.

Autómata para el control de las descargas de aire.

Compresor no incluido.

CAB	Cableado eléctrico de la caldera a los cuadros de control: Parrilla regibán Manguera corrugada Cables y manqueras electricas.	1,000	3.700,00	3.700,00
-----	--	-------	----------	----------

Continúa en la siguiente página

Total Bruto	Gastos	Descuentos	Bases	I.V.A.	Cuotas	Rec.	Cuotas
-------------	--------	------------	-------	--------	--------	------	--------

Observación

FORMA DE PAGO

TOTAL FACTURA



CALOR NATURAL

Nº de OFERTA _____ Fecha _____ Nº de Cli./Prov. _____

PRESUPUESTO

C/880 25/01/2016

Ref.	Descripción	Cantidad	Precio	% Dto.	Imp. Dto.	Total
ENSABLA	Ensamblaje y puesta en marcha de los equipos.	1,000	3.250,00			3.250,00

TRANSP Transporte desde Finlandia a Almazan. 1,000 5.400,00 5.400,00

NO ESTA !Las chapas (madera o hierro) necesarias para completar el silo y su cubierta.

No está incluido el conexionado hidráulico y térmico a la chimenea.

Los medios de elevación y descarga de los equipos serán provistos por el cliente.

No está incluida la obra civil en paredes y suelos para la ubicación de la caldera, silo y chimenea.

Ni cualquier otro elemento no desgriado en este presupuesto.

CONDICI CONDICIONES ECONOMICAS. 1,000
Forma de pago : 40% a la confirmación de pedido, 40% a la salida de los equipos de fábrica en Finlandia y el 20% restante a los 30 días de la llegada de los equipos a sus instalaciones

Total Bruto	Gastos	Descuentos	Bases	I.V.A.	Cuotas	Rec.	Cuotas
			98.482,2	21,00	20.681,28		
98.482,28							

Observación

FORMA DE PAGO

TOTAL FACTURA
119.163,56 Euros

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

12.1 LIBROS Y ARTÍCULOS

- Adam, A. (1978). Geothermal effects in the formation of electrically conducting zones and temperature distribution in the Earth. *Physics of the Earth and planetary interiors*, 17(2), P21-P28.
- AHDB. (2019). Agriculture and Horticulture Development Board.
- Alomá, E., & Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 387-400.
- Álvarez-Rodríguez, J., Guillén, R., Babot, D., Forcada, F. (2013). Niveles de amoníaco y características del purín en un cebadero porcino en el valle del Ebro. Influencia de la orientación y la exposición a los vientos dominantes.
- Arriaga, M. C. S. (2012). Termodinámica del fluido geotérmico en condiciones supercríticas. *Geotermia*, 45.
- Aznar Cano, I. (2020). Resolución de la dirección general de calidad y evaluación ambiental de aprobación del inventario nacional de emisiones a la atmósfera para la serie 1990-2019 (Edición de 2021). CSV: GEN-b9dd-75bc-5b01-4af8-df57-4b39-9725-ce13:
<https://sede.administracion.gob.es/pagSedeFront/servicios/consultaCSV.htm>
- Balsari, P., G. Airolidi, et al. (2007). "Ammonia emissions from farmyard manure heaps and slurry stores—Effect of environmental conditions and measuring methods." *Biosystems Engineering* 97(4): 456-463.
- Barrio Pérez, A. (2019). Proyecto de ejecución de planta de producción de biogás para el autoabastecimiento energético de explotación porcina, ubicada en el término municipal de El Cubo de la Solana (Soria).
- Benderitter, Y., & Cormy, G. (1990). Possible approach to geothermal research and relative cost estimate. *Small geothermal resources*, 61-71.
- Blázquez, C. S., Borge-Diez, D., Nieto, I. M., Maté-González, M. Á., Martín, A. F., & González-Aguilera, D. (2021). Investigating the potential of the slurry technology for sustainable pig farm heating. *Energy*, 234, 121258.
- Blázquez, CS, Borge-Diez, D., Nieto, IM, Maté-González, M. Á., Martín, AF, & González-Aguilera, D. (2022). Bombas de calor geotérmicas para refrigeración de purines y calefacción de granjas: impacto y reducción de la huella de carbono en granjas porcinas. *Sostenibilidad*, 14 (10), 5792.

- Calvet, S., Arrufat, B., Salaet, I., Atares, S., Sobreviela, A., Herrero, C., ... & Estellés, F. (2022). A urease inhibitor reduces ammonia emission in fattening pigs reared on slatted floor in summer conditions. *Biosystems Engineering*, 221, 43-53.
- Calvet, S; Estellés, F.; Cartanyà J. y Babot, D. Edición Universidad de Valencia, Interporc Spain, Universidad de Lérida (2020). Guía para la minimización de las emisiones de gases en las granjas porcinas. ISBN 978-84-9144-249-3.DOI 10.21001/minimización.emisiones.granjas.porcinas.2020
- Cárcel Carrasco, F. J., & Martínez Márquez, D. (2015). La energía geotérmica de baja entalpía. *3C Tecnología*, 4(3), 96-108.
- Cartanyà, J., Blanco, G., Sancho, V., Ferrer, N., & Babot, D. (2021). Efecto de dos niveles de ventilación sobre las emisiones de amoniaco y los rendimientos productivos en cerdos de engorde en primavera-verano. SUIS Nº 177, 10-15.
- Cheng, Z., O'Connor, E. A., Jia, Q., Demmers, T. G. M., Wathes, C. M., Wathes, D. C. (2014). Chronic ammonia exposure does not influence hepatic gene expression in growing pigs. *Animal*, 8(2), 331-337.
- Chowdhury, A., L. Rong, et al. (2014). Review of ammonia emissions from a pig house slurry pit and outside storage. Denmark, The Danish Environmental Protection Agency.
- De Ganadería, D. P. E. S., & de cerdos, Intensiva (2006). Asistencia Técnica para la implantación de la directiva IPPC en España.
- De la Nación, P., Recursos, R. G. S. D., MORRONE, M. A. M., & Energética, E. (2019). ENERGÍA GEOTÉRMICA.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (2004). ¿Qué es la energía geotérmica? *Pisa: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR*.
- Dincer, I., Dost, S. y Li, X. (1997). Análisis de rendimiento de sistemas de almacenamiento de calor sensible para aplicaciones térmicas. *Revista Internacional de Investigación Energética*, 21 (12), 1157-1171.
- Done, S. H., Chennells, D. J., Gresham, A. C. J., Williamson, S., Hunt, B., Taylor, L. L., Bland, V., Jones, P., Armstrong, D., White, R.P., Demmers, T.G.M., Teer, N., Wathes, C.M. (2005). Clinical and pathological responses of weaned pigs to atmospheric ammonia and dust. *Veterinary Record*, 157(3), 71-80.
- Driving factors of direct greenhouse gas emissions from China's pig industry from 1976 to 2016 Xiao-wen DAI, Zhanli SUN, Daniel MÜLLER Pages 319-329

- Dourmad, J. Y., & Sève, B. (1997). Consumo, Utilización y perdidas de fosforo y nitrogeno en la producción porcina. La situación en Francia. *Oeste (Bretaña+Loira)*, 46(76), 55.
- Drummond, J. G., Curtis, S. E., Simon, J., Norton, H. W. (1980). Effects of aerial ammonia on growth and health of young pigs. *Journal of Animal Science*, 50(6), 1085-1091.
- Dumrauf, A. G., & Cordero, S. (2004). ¿Qué cosa es el calor? Interacciones discursivas en una clase de Física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 3(2), 123-147
- EPA (1993). Space Conditioning: The Next Frontier - the Potential of Advanced Residential Space Conditioning Technologies for Reducing Pollution and Saving Consumers Money, U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430-R-93-004.
- Erol, S., Grathwohl, P., Blum, P., & Bayer, P. (2011). Estimation of heat extraction rates of GSHP systems under different hydrogeological conditions. *Masterarbeit, Universität Tübingen, Tübingen*.
- Escribano Martín, E. (2020). Evaluación mediante herramientas SIG de la contribución de la energía geotérmica superficial en la transición energética de la Región de Murcia: estudio comparativo.
- Fangueiro, D., Hjorth, M., & Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry—a review. *Journal of environmental management*, 149, 46-56.
- Fernández, P. (2015). Transferencia de calor.
- Fernández-Reyes, R., & Águila Coghlan, J. C. (2017). Un periodismo en transición ante el V informe del IPCC, El acuerdo de París y Los objetivos de desarrollo sostenible. *Ámbitos: Revista Internacional de Comunicación*, 37, 1-13.
- Flotats Ripoll, X., Campos Pozuelo, E., Palatsi Civit, J., & Bonmatí Blasi, A. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. *Porci*, (65), 51-65.
- Frontela, C., Ros, G., & Martínez, C. (2008). Empleo de fitasas como ingrediente funcional en alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(3), 215-220
- Furió-Gómez, C., Solbes, J., & Furió Más, C. (2007). La historia del primer principio de la termodinámica y sus implicaciones didácticas.
- Galdámez, D. F. B., & Acosta, N. P. L. (2017). Analogías entre flujo de agua y calor en suelos, y su importancia en las estructuras termoactivas.

- García Blanco, J. (2012). Proyecto de Construcción y Climatización mediante geotermia de una explotación porcina de producción de lechones en Renedo de Esgueva (Valladolid).
- García Gil, A.; Garrido Schneider, E. A. & Mejías Moreno, M. (2020). Geotermia Somera: Fundamentos Teóricos y Aplicación. Instituto Geológico y Minero de España.
- García Gil, A.; Goetzl, G.; Klonowski, M. R.; Borovic, S.; Boon, D.P.; Abesser, C.; Janza, M.; Herms, I.; Petitclerc, E.; Erlström, M.; Holecek, J.; Huntet, T.; Vandeweijer, V.P.; Cernak, R.; Mejías Moreno, M.; Epting, J. (March 2020). Governance of shallow geothermal energy resources. Energy Policy. Volumen 138, 11283.
- Gavrilova, O., Leip, A., Dong, H., MacDonald, J. D., Gomez Bravo, C. A., Amon, B., ... & Widiawati, Y. (2019). Emissions from livestock and manure management.
- Gerber, P.J.; Steinfeld, H.; Henderson, B.; Mottet, A.; Opio, C.; Dijkman, J.; Falucci, A.; Tempio, G. 2013. Tac- kling Climate Change through Livestock a Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities. FAO, Roma.
- Giner Santonja, G., Georgitzikis, Konstantinos et. al. (2017). "Intensive Rearing of Poultry or Pigs" 3.3.6.1. Emissions from the whole-farm process chain for the rearing of poultry: 200-203
- Gómez LLM (2020) El desafío Ambiental: enseñanzas a partir de la COVID-19. MediSan. 24(04):728-743
- González, A. D., & Carlsson Kanyama, A. (2007). Emisiones de gases de efecto invernadero con alto potencial de calentamiento global: el sector agropecuario. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 11.
- González Ríos, Isabel. (2017). Actuales desafíos en ahorro y eficiencia energética en España: incidencia en la protección ambiental. *e-Pública: Revista Electrónica de Direito Público*, 4(2), 353-388. Recuperado el 25 de julio de 2021, de http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2183-184X2017000200016&lng=pt&tlng=es.
- Griffing, E. M., M. Overcash, et al. (2007). "A review of gaseous ammonia emissions from slurry pits in pig production systems." Biosystems Engineering 97(3): 295-312.
- Haenel, R., Rybach, L., & Stegema, L. (1988). Fundamentals of geothermics. *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination: with Guidelines and Recommendations of the International Heat-Flow Commission*, 9-57.

- Hernández, C., & Fernández, M. T. (2009). El Maestrazgo promueve la correcta gestión del purín. *MG Mundo ganadero*, 20(217), 46-48.
- Hochstein, M. P. (1988). Assessment and modelling of geothermal reservoirs (small utilization schemes). *Geothermics*, 17(1), 15-49.
- Hongliang Wang, Weitong Long, Dave Chadwick, Geord L Velthof, Oene Oenema, Wenqi Ma, Junjun Wang, Wei Qin, Yong Hou, Fusuo Zhang. Can dietary manipulations improve the productivity of pigs with lower environmental and economic cost? A global metaanalysis. (2019)
- Ilsters, A., Ziemelis, I., & Kristutis, I. (2009). Possibilities of heat pump usage for heating piglet resting places. *Engineering for Rural Development*. Jelgava, 28, 29.
- Instituto Geológico y Minero de España (1991). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Used (464) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1991). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Ejea de los Caballeros (284) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1988). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Morón de Almazán (407) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1991). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Maials (416) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1990). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Almudevar (285) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1991). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Grañen (324).
- Instituto Geológico y Minero de España (1990). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Monzón (326) .
- Instituto Geológico y Minero de España (1975). Mapa geológico de España Escala 1: 50.000. Hoja de Tauste (321).
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. edited by R. K. Pachauri and L. A. Meyer. Geneva, Switzerland
- Islam, MM, Mun, HS, Bostami, AR, Ahmed, ST, Park, KJ y Yang, CJ (2016). Evaluación de una bomba de calor geotérmica de fuente terrestre para ahorrar energía y reducir las emisiones de CO₂ y gases nocivos en una granja de cerdos. *Energía y Edificios* , 111 , 446-454.

- Jones, J.B., Burgess, L.R., Webster, A.J.F., Wathes, C.M. (1996). Behavioural responses of pigs to atmospheric ammonia in a chronic choice test. *Animal Science* 63, 437-445.
- Kagel, A., Bates, D., & Gawell, K. (2005). A guide to geothermal energy and the environment.
- Kestin, J. (1978). *Trabajo disponible en energía geotérmica* (Nº COO-4051-25). Brown Univ., Providence, Rhode Island (EE.UU.). división de Ingeniería.
- Kononov, V. I., Polyak, B. G., & Kozlov, B. (2000). Geothermal development in Russia: Country update report 1995-1999. In *Proceed. of the World Geothermal Congress* (Vol. 1, pp. 201-206).
- Krommweh, M. S., Rösmann, P., & Büscher, W. (2014). Investigation of heating and cooling potential of a modular housing system for fattening pigs with integrated geothermal heat exchanger. *Biosystems Engineering*, 121, 118-129.
- Lee, K. C. (2001). Classification of geothermal resources by exergy. *Geothermics*, 30(4), 431-442.
- Llain Arenilla, Shirley and Hawkins Rada, Cindy. Climate Change and Forced Migration. *Migr. Inter* [online]. 2020, vol.11 [cited 2021-07-24], e1846. Available from:<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-89062020000100106&lng=en&nrm=iso>. Epub Oct 02, 2020. ISSN 2594-0279. <https://doi.org/10.33679/rmi.v1i1.1846>.
- López García, Cristina. Universidad de Murcia: Estrategias Nutricionales en la Alimentación de Cerdos de Engorde para Mitigar la Excreción de Nitrógeno y Fósforo al Medio Ambiente (2012).
- López Salinas, J. L., & Salinas, J. L. L. Cogeneración y trigeneración.
- Lund, J. W., & Toth, A. N. (2021). Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 90, 101915.
- Martín, M. D. C. E. (2015). *Análisis de la energía geotérmica de baja temperatura en terrenos volcánicos. Aplicaciones a la construcción en Tenerife* (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante).
- Martínez, J. (1ª Edición 2013 ES). Geotermia.
- Martínez-Silíceo, M. F., Cruz-Reyes, L. F., Flores-Monroy, L. J., García-Novo, N. Y., & Reyes-Ángeles, T. (2022). Segunda Ley de la Termodinámica. *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, 9(18), 48-51.
- Maya Muñoz, Guillermo. Cambio climático: ¿la humanidad culpable? *Ens. Econ.* [online]. 2020, vol.30, n.56 [cited 2021-07-24], pp.7-10. Available from:

- Mburu, M. (2009). Aprovechamiento de la energía geotérmica. *Exploración de recursos geotérmicos*, 1-11.
- Milivojevic, M., & Martinovic, M. (2005). Geothermal energy possibilities, exploration and future prospects in Serbia. In *Proceedings*.
- Minajeva, A. (2017). Analysis of alternative energy sources and their use in the pig breeding farm during the winter period. In *International scientific conference RURAL DEVELOPMENT 2017* (pp. 364-369).
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2017). Guía de las Mejoras Técnicas Disponibles para reducir el impacto ambiental de la ganadería. <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/05547.pdf>
- Moeck, ES (2014). Catálogo de tipos de juegos geotérmicos basados en controles geológicos. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, 37 , 867-882.
- Mun, HS, Dilawar, MA, Mahfuz, S., Ampode, KMB, Kim, YH, Moon, JP y Yang, CJ (2022). Efectos de un sistema combinado de calefacción geotérmica y solar como fuente de energía renovable en una granja de cerdos y estimación del consumo de energía utilizando un modelo de predicción basado en inteligencia artificial. *Animales*, 12 (20), 2860.
- Pacheco Naranjo, A. (2012). Aprovechamiento del recurso geotérmico a través de las cimentaciones y otras estructuras.
- Pérez, F. A. (2010). Prácticas de manejo del lechón en maternidad: estrategias para mejorar su sobrevida y aumentar la productividad. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria*, 11(1), 1-21.
- Petersen, S. O., N. Dorno, et al. (2013). "Emissions of CH₄, N₂O, NH₃ and odorants from pig slurry during winter and summer storage." *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 95(1): 103-113.
- Raynal-Villasenor, J.A. Cambio climático global: una realidad inequívoca. *Ing. invest. y tecnol.* [online]. 2011, vol.12, n.4 [citado 2021-07-24], pp.421-427. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432011000400006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 1405-7743.
- Reguero Calvo, S. (2019). Análisis energético, exergético y económico de una planta geotérmica de generación de energía eléctrica en España.

- REN21. (2019). Global Overview. Recuperado el 23 de agosto de 2019, de Renewables 2019 Global Status Report: https://www.ren21.net/gsr-2019/chapters/chapter_01/chapter_01/
- Rybach, L. (2010, April). The future of geothermal energy and its challenges. In *Proceedings world geothermal congress* (Vol. 29).
- Rzeźnik, W. (2015). "Effect of heat recovery from deep litter piggery on greenhouse gases and ammonia emissions." *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 60: 72-75
- Santamarta, Juan C., Alejandro García-Gil, María del Cristo Expósito, Elías Casañas, Noelia Cruz-Pérez, Jesica Rodríguez-Martín, Miguel Mejías-Moreno, Gregor Götzl, and Vasiliki Gemeni6 (2021). "The clean energy transition of heating and cooling in touristic infrastructures using shallow geothermal energy in the Canary Islands." *Renewable Energy* no. 165 (1):712-718.
- Sanyal, S. K. (2005, January). Classification of geothermal systems—a possible scheme. In *Thirtieth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* (Vol. 2, No. 02). Stanford, California: Stanford University.
- Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. *Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, 29-34.
- Silenciador LPJ. Evaluación de los recursos geotérmicos de los Estados Unidos – 1978. USGS; 1979. Circular 790: 163p.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & García, C. R. (2007). *Introducción a la termodinámica en ingeniería química* (No. 660.296 9 S724i 2003.). McGraw-Hill.
- Stombaugh, D. P., Teague, H. S., Roller, W. L. (1969). Effects of atmospheric ammonia on the pig. *Journal of Animal Science*, 28(6), 844-847.
- Tang, S., Xie, J., Wu, W., Yi, B., Liu, L., Zhang, H. (2020a). High ammonia exposure regulates lipid metabolism in the pig skeletal muscle via mTOR pathway. *Science of The Total Environment*, 139917.
- Tang, S., Xie, J., Zhang, S., Wu, W., Yi, B., Zhang, H. (2020b). Atmospheric ammonia affects myofiber development and lipid metabolism in growing pig muscle. *Animals*, 10(1), 2.
- Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., & Cientficias, A. T. (2005). *Ciencias de la Tierra* (Vol. 1). Madrid: Pearson Educación.
- UN General Assembly. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development A/RES/70/1, p. 14. Retrieved from <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html> [Links]

- Urbain, B., Gustin, P., Charlier, G., Coignoul, F., Lambotte, J. L., Grignon, G., Foliguet, B., Vidic, B., Beerens, D., Prouvost, J.F., Ansay, M. (1996). A morphometric and functional study of the toxicity of atmospheric ammonia in the extrathoracic airways in pigs. *Veterinary Research Communications*, 20(4), 381-399.
- Valderrama, José O. (2018). Huella del Carbono Cambio Climático, Gestión Sustentable y Eficiencia Energética. *Información tecnológica*, 29(4), 1-2. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400001>
- Valderrama, J. O., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12
- VDI, V. (2000). 4640/1, Thermal use of the underground-Fundamentals, approvals, environmental aspects, VDI-4640, Part 1. *Verein Deutscher Ingenieure*.
- Von Borell, E., Eslinger, K. M., Schnitz, A. L., Zhao, Y., Mitloehner, F. M. (2007). Acute and prolonged effects of ammonia on hematological variables, stress responses, performance, and behavior of nursery pigs. *Journal of swine health and production*, 15(3), 137-145.
- Vonk, J., Van Dinther, D., Mosquera, J., & Ogink, N. W. M. (2021). Ontwikkel – en validatieprotocol meetinstrumenten Livestock Reserch rapport, No. 1285). Wageningen Livestock Research. <https://doi.org/10.18174/536495>
- Wang, X., Wang, M., Chen, S., Wei, B., Gao, Y., Huang, L., Liu, C., Huang, T., Yu, M., Zhao, S.H., Li, X. (2020). Ammonia exposure causes lung injuries and disturbs pulmonary circadian clock gene network in a pig study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 205, 111050.
- Xing, H., Peng, M., Li, Z., Chen, J., Zhang, H., Teng, X. (2019). Ammonia inhalation-mediated mir-202-5p leads to cardiac autophagy through PTEN/AKT/mTOR pathway. *Chemosphere*, 235, 858-866.
- Zeeman, G., & Gerbens, S. (2002). CH₄ emissions from animal manure. In *Background Papers IPCC Expert Meetings on Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. /IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme* (pp. 339-348).
- Zhang, J., Li, C., Tang, X., Lu, Q., Sa, R., & Zhang, H. (2015). High concentrations of atmospheric ammonia induce alterations in the hepatic proteome of broilers (*Gallus gallus*): an iTRAQ-based quantitative proteomic analysis. *PLoS one*, 10(4), e0123596.

- Zhuang, S., Brusselman, E., Sonck, B., & Demeyer, P. (2020). Validation of five gas analysers for application in ammonia emission measurements at livestock houses according to the VERA test protocol. *Applied Sciences*, 10(15), 5034.
- Walter Orestes Antezana, J. (2016). PhD Thesis: Análisis de los factores que influyen en las emisiones de amoniaco y metano de purines porcinos: composición del purín y factores nutricionales.

12.2 NORMATIVA

- Real Decreto 306/2020, de 11 de febrero, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las granjas porcinas intensivas, y se modifica la normativa básica de ordenación de las explotaciones de ganado porcino extensivo.
- Renewables 2020. Global Status Report. Paris: REN21Secretariat) ISBN 978-3-948393-00-7
- DECISIÓN DE EJECUCIÓN (UE) 2017/302 DE LA COMISIÓN de 15 de febrero de 2017

12.3 PAGINAS WEB

- <https://geotermia.ch/geotermia/>
- <https://geotherm.es> Dimensionamiento y supervisión de instalaciones geotérmicas
- https://www.3tres3.com/articulos/dimensiones-y-diseno-de-las-instalaciones-porcinas_1827/ Bjarne K. Pedersen 11 abril 2007
- <https://www.fao.org/gleam/results/es/>
- https://info.igme.es/cartografiadigital/datos/geode/leyendas/LEYE_Z2700.pdf
- <https://muchomasqueunsecante.com>. Objetivo: El amoniaco (28/02/2021)
- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/Inventario-GEI.aspx>
- <https://www.mercolleida.com/es>

- https://prtr-es.es/data/images/emisiones_granjas_marm-43DC75A337B522C2.pdf
- https://www.3tres3.com/cotizaciones-de-porcino/espana_2/