



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales
ICADE

**ANALISIS DE VIABILIDAD
FINANCIERA DE CENTROS DE
MINADO DE BITCOIN Y
APROVECHAMIENTO DE CALOR,
TRABAJO FIN DE GRADO**

Autor: Ignacio Huarte Uhagón
Director: Nicolás Santamaría Vega

MADRID | Mayo de 2025

Descripción del trabajo

Este trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad financiera de llevar a cabo un proyecto de instalación de centros de minado de bitcoin, con el añadido de capturar el calor residual y venderlo a redes de distrito como suministrador de calor. Se analizarán los retornos y la inversión como si se tratase de una empresa industrial, la cual se dedicará exclusivamente a las actividades de este proyecto, con el capital necesario para llevarlo a cabo y empezando desde 0, sin deudas, cargas, empleados ni actividades anteriores.

La naturaleza del trabajo es bastante técnica y requiere de conocimientos sobre cómo funcionan las redes de calor de distrito, cómo funciona Bitcoin, sobre el minado de Bitcoin y cómo convertir el calor residual de las máquinas en un producto listo para la venta. Por lo tanto, a lo largo del trabajo se explica todo lo necesario sobre las redes de calor de distrito y cómo les venden calor los suministradores, Bitcoin, el minado de Bitcoin y el proceso de captura de calor, para que el lector pueda entender el trabajo y comprobar de dónde salen las conclusiones finales, desde las primeras hipótesis utilizadas.

Posteriormente, un análisis profundiza en qué redes de calor de distrito de Europa presentan una mejor oportunidad para vender el calor residual de los centros de minado. Se tienen en cuenta una serie de factores que resultan en una lista reducida de estas, de las que finalmente se escogen 5 para analizar financieramente.

También se exploran casos de uso de utilizar el calor residual de mineros de Bitcoin para calentar espacios de distintas maneras, con casos específicos pioneros en su sector que tratan cómo se combina exactamente el minado de Bitcoin con la industria donde operan.

Una vez hecho esto, el trabajo recorre el análisis hecho para diseñar la planta estándar del proyecto, detallando sus características y por qué se ha escogido hacer así. El objetivo es simplificar el proyecto a un prototipo de planta estándar para que sea idéntica en todas las instalaciones a lo largo de todas las ubicaciones. De esta manera se calculan todas las especificaciones de la planta en cuanto a consumo, capacidad de generación de calor y rendimiento, además de la inversión necesaria.

Con el portfolio de plantas a llevar a cabo decidido, se toman las hipótesis necesarias para cada planta según el país en el que se desarrollen. Se hacen proyecciones financieras de los estados de pérdidas y ganancias y flujos de caja libre, resultando en una TIR esperada en el periodo proyectado para cada planta individualmente como métrica de rentabilidad.

Se descartan aquellas plantas con una TIR baja o negativa. Con las restantes se hace una comparación entre la TIR estimada sin instalaciones de venta de calor y la TIR con estas

instalaciones y actividad para determinar si la venta de calor a redes de distrito suma a la rentabilidad de la planta, o al contrario, resta.

El trabajo trata un activo relativamente nuevo como es Bitcoin, y de un proceso que se ha empezado a monetizar profesionalmente hace también relativamente poco, como es el minado de Bitcoin. El minado, al estar directamente ligado al desarrollo de chips, experimenta avances y mejoras increíblemente rápidas, por lo que puede ser difícil estimar a futuro el desempeño de este o cómo será la red y la dificultad en el minado de aquí al largo plazo. Sin embargo, se hará un análisis a futuro de los factores más influyentes que afectan a este trabajo, ilustrando su posible trayectoria, por qué y cómo influirán en los resultados posiblemente en el futuro.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Justificación del proyecto	7
1.2. Objetivos	7
2. REDES DE DISTRITO	8
2.1. Introducción y descripción	8
2.2. Ventajas y desventajas	10
2.3. Escenario del mercado europeo.	11
2.4. Selección de las mejores oportunidades	14
3. BITCOIN	17
4. MINADO DE BITCOIN	19
4.1. Descripción técnica	19
4.2. Análisis estratégico: Industria y competidores	20
5. COMBINANDO REDES DE DISTRITO Y EL MINADO DE BITCOIN	22
5.1. Metodología de venta de calor a una red de distrito	22
5.2. Casos de aprovechamiento de calor	23
5.3. Ventaja competitiva frente a centros de datos	24
5.4. Descripción técnica	25
6. PROPUESTA DE VALOR	26
6.1. Diseño de la planta	26
6.1.1. Selección de mineros	26
6.1.2. Características y métricas	28
6.2. Valor añadido adicional	30
7. ANÁLISIS DE VIABILIDAD FINANCIERA	31
7.1. Hipótesis y datos de entrada asumidos	31
7.2. Metodología	33

7.3. Análisis de resultados	33
8. PROYECCIONES A FUTURO	35
8.1. Bitcoin y minado de Bitcoin	35
8.2. Redes de distrito en Europa	35
8.3. Precios de la energía en Europa	36
9. CONCLUSIÓN	37
10. DECLARACIÓN DE USO DE CHATGPT	38
11. BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tabla de la situación del mercado europeo en 2022 por país	12
Figura 2. Porcentaje de la demanda de calor abastecida por redes de distrito en 2021 en los principales países europeos	13
Figura 3. Selección de redes de calor de distrito y proyectos de baja temperatura	15
Figura 4. Gráfica de la evolución del hashrate desde los comienzos de Bitcoin	20
Figura 5. Listado de las empresas cotizadas de minado de Bitcoin más grandes por hashrate operativo	21
Figura 6. Ilustración de como funciona la transmisión de calor desde el tanque de inmersión hasta la red de distrito	26
Figura 7. Comparación entre mineros, datos técnicos	27
Figura 8. Comparación entre mineros, datos financieros	27
Figura 9. Resumen de planta	30
Figura 10. Resultados financieros con venta de calor	34
Figura 11. Resultados financieros sin venta de calor	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del proyecto

A medida que la industria de minar Bitcoin evoluciona y crece la competitividad, surge una necesidad de conseguir maneras de lograr una ventaja frente al resto de mineros para poder mantener unos buenos márgenes de negocio. Debido a la naturaleza de la industria, de la que se hablará más tarde, esto se puede hacer instalando las máquinas en una zona donde el coste energético sea inferior al resto, o innovando de algún modo.

Una manera de hacer esto es logrando aprovechar recursos que de otra manera se habrían perdido, y convirtiéndolos en un producto adicional que reporte beneficios. Una planta de minado de Bitcoin que hiciese esto tendría unos ingresos adicionales con unos costes de producción casi idénticos, mejorando su margen y, por lo tanto, su competitividad en el mercado.

El aprovechamiento de calor y su venta es una innovación identificada y compatible con las operaciones estándar de una planta de minado de Bitcoin. Capturando este calor residual que expulsan los mineros en todos los casos mientras operan, se logra formar una línea de ingresos adicional. Este proyecto trata, por lo tanto, esta idea, buscando profundizar en todos sus detalles y analizar su viabilidad.

El análisis no es sencillo e implica conocer tecnicismos sobre Bitcoin, su minado y la industria, y comprender cómo funcionan los clientes pensados para comprar el calor residual capturado, estos siendo las redes de calor de distrito de Europa. Por lo tanto, el proyecto necesitará contar con varias secciones dedicadas a profundizar en estos temas para que el lector pueda comprender al completo lo que analiza el trabajo y entender cómo se ha llegado a las conclusiones.

1.2 Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo analizar la viabilidad financiera de llevar a cabo un proyecto de desarrollar un porfolio de plantas de minado de Bitcoin que capturan calor y lo venden a la red de distrito de la zona. El objetivo final es determinar si la captura y venta de calor residual aporta a las plantas una ventaja competitiva, y poder estimar en caso de que sea así su magnitud. También tiene como objetivo evaluar los aspectos técnicos de capturar el calor residual de los mineros y de su venta a la red.

Los objetivos definidos son:

1. Analizar la viabilidad financiera de un porfolio de plantas de minado de Bitcoin capturando y vendiendo calor.

2. Estimar la rentabilidad adicional de capturar y vender calor residual en una planta de minado de Bitcoin frente a una planta de minad de Bitcoin ordinaria.
3. Investigar la viabilidad técnica de capturar el calor residual de los mineros.
4. Investigar la viabilidad de vender calor proveniente de los mineros de la planta.
5. Explicar los conceptos y temas técnicos que se traten en el proyecto, o sean relevantes a este.

Se espera que los resultados e investigaciones de este estudio puedan aportar conocimientos que sean de utilidad tanto académicamente como para aquellas empresas involucradas en este sector o que estén considerando iniciar actividades en él. Se intentará llevar a cabo un análisis imparcial que refleje unos resultados útiles y que puedan servir para tomar decisiones o servir como base para nuevas investigaciones.

Palabras clave en español: Bitcoin, minado de Bitcoin, análisis financiero, captura de calor

Palabras clave en inglés: Bitcoin, Bitcoin mining, financial analysis, heat capture

2. REDES DE DISTRITO

2.1 Introducción

Las redes de distrito las forman una distribución de tuberías, las cuales transportan el frío o el calor en forma de agua desde los puntos de suministro de la red hasta los consumidores de ese calor o ese frío a través de sistemas cerrados. Hay redes de calor de distrito o redes de frío de distrito, aunque en este trabajo me voy a centrar en las redes de calor de distrito.

Una red de calor de distrito funciona de manera que hay una o diversas fuentes de calor dispersas por la red, las cuales sirven para calentar el agua que fluye por el sistema, esencialmente suministrando calor a la red. Este agua recién calentada se pasa por tuberías de impulsión, que la sacan al resto de la red. Un consumidor de calor que quiera usar la red de distrito ha de, resumidamente, conectar el sistema de calefacción del espacio que quiera suministrar a la tubería de impulsión de la red de distrito a través de un intercambiador. Tras fluir por todo el sistema de calefacción, el agua habrá perdido temperatura al haberla transmitido a su entorno durante el proceso. Es por eso que se inyecta de vuelta a la red de distrito, pero esta vez en una tubería de retorno que la llevará de vuelta a la fuente de calor para repetir el proceso. Las redes de calor de distrito, de forma similar a otros servicios como la fibra óptica, han de pasar a una distancia mínima de sus posibles clientes para que estos se puedan conectar a las tuberías de impulsión y

retorno, y ampliar la red es un proceso que habitualmente requiere planificación, permisos y obras en los centros de las ciudades, por lo que la expansión de nuevas redes de distrito es relativamente lenta.

Las primeras redes de distrito se desarrollaron a finales del siglo XIX y funcionaban transportando calor a través de vapor de agua vía tuberías de manera muy ineficiente y con riesgos de explosiones de tuberías. La siguiente generación pasó a utilizar agua a temperaturas superiores a 100°C (LowTEMP, 2021) que circulaba por las tuberías a gran presión, sustituyendo así al vapor de agua. Con la existencia de redes de calor de distrito que funcionaban con agua, se fueron mejorando los sistemas de aislamiento de calor para mejorar la eficiencia de la red y, progresivamente, a través de innovaciones, se fueron desarrollando redes más eficientes que permitían inyectar agua a la red a menor temperatura por parte de los proveedores de calor de la red. Al perder menos calor en el recorrido, la temperatura al comienzo del recorrido puede ser más baja y aun así llegar al consumidor a la temperatura óptima, resultando en que las redes de tercera generación ya permitían el suministro de agua a temperaturas menores a 100°C (Li & Wallin, 2021).

Las redes de calor de distrito de cuarta generación posibilitan el suministro de agua entre 60-70°C (Li & Wallin, 2021), lo cual abre las puertas a otros proveedores de calor, en forma de soluciones de aprovechamiento de calor residual de instalaciones como supermercados o centros de datos, algo en lo que profundizaré más tarde. En estas redes de calor de distrito se empiezan a implementar más bombas de calor y sistemas de almacenamiento de calor con el fin de mejorar la operabilidad de la red, haciéndola más eficiente. A largo plazo, sin embargo, las bombas de calor posiblemente puedan perder importancia por la instalación de suministradores que capturen calor residual distribuidos a lo largo de la red. Estas redes de distrito de cuarta generación están empezando a diseñarse, no habiendo muchas en este momento. Es por esto que los suministradores de calor que originan calor residual no son muy comunes, pero tienen una gran proyección a futuro a medida que las redes de calor de distrito se desarrollen.

Las redes de quinta generación se están empezando a estudiar, las cuales bajan el calor de suministro a temperaturas marginalmente por encima de la temperatura de consumo. En estas redes existe una transmisión de frío y calor entre los mismos que se conectan a la red de distrito a través de un sistema bidireccional de tuberías, edificios de forma descentralizada, facilitando el almacenaje de calor. Estas redes necesitan las bombas de calor en cada edificio para funcionar y elevar la temperatura del agua para su uso doméstico. Actualmente, no son más que un caso bajo estudio y no se pueden sacar conclusiones hacia cuándo se implementarán; sin embargo, reflejan hacia dónde se está enfocando el futuro de las redes de calor de distrito, continuando con la visión de las redes de cuarta generación. Este camino allana el paso a la implementación de más

soluciones de aprovechamiento de calor residual, al ser la temperatura de suministro cada vez más baja.

2.2 Ventajas e inconvenientes

Las redes de calor de distrito traen consigo numerosos beneficios, siendo uno de los principales la optimización de consumo energético entre los consumidores de calor que se benefician de ella. Se estima que la reducción del consumo de energía primaria puede llegar a ser entre el 30% y el 50% frente a un sistema de calefacción de calderas individuales (ARANER, s.f.) especialmente si se implementan bombas de calor y soluciones de almacenamiento de calor. En consecuencia, se experimenta una reducción en las emisiones de CO₂ si lo comparamos con un escenario en el que la fuente de calor de los consumidores son calderas independientes.

Al sustituir calderas individuales por un sistema de calefacción que abarca a todos los consumidores, se consigue un ahorro de gastos en forma de economías de escala a través de un menor mantenimiento agregado y una disminución del capital a invertir, además de que las facturas de mantenimiento no tienen que pagarlas ellos directamente. Los hogares y demás edificios también ganan espacio al no necesitar reservar metros para sus instalaciones de calefacción domésticas, porque al conectarse a la red les bastaría con unas mucho más pequeñas. Estas últimas además ofrecen mucha más flexibilidad a ampliaciones o reducciones de necesidades de calefacción con una menor inversión.

Por último, las redes de calor de distrito aportan fiabilidad a los consumidores con sistemas profesionalizados de monitorización de la red, distribución energética y, como he comentado antes, equipos de mantenimiento con un servicio de atención al cliente las 24 horas. Adicionalmente, desaparecen los gases inflamables del interior de los edificios, eliminando el riesgo de accidentes por esta causa.

Como primer inconveniente, las redes de distrito necesitan una gran inversión inicial de manera centralizada, en vez de distribuir el gasto en las instalaciones de calefacción individualmente como lo hacen las calderas, y pueden tener un coste de entre 5000 y 15000€ para los hogares u otros espacios que se quieran conectar a la red (Autarc Energy, s.f.). Desarrollar una nueva red de distrito requiere, en primer lugar, de un marco regulatorio que lo permita, y después un proceso largo de permisos y licencias, para poco a poco poder ir desplegando toda la infraestructura necesaria. La mayoría de las redes de distrito necesitan empresas con una capacidad de inversión importante para poder ser capaces de construir y mantener la red, inversión que, a falta de una regulación clara, presenta mucho riesgo para inversores. Estas circunstancias hacen que el proceso de expansión de las redes de distrito sea lento.

Los consumidores de calor de una red de distrito no tienen influencia y, por lo tanto, elección sobre el origen energético del calor, por lo que, si una red de distrito se nutre de energías fósiles, aquellos que se surtan su calor no podrán hacer nada directamente para cambiarlo. De la misma manera, existe el riesgo de depender de una red, que puede fallar o averiarse, afectando a un gran número de personas, que cuales no tendrían la capacidad de solventar el problema, sino que tendrían que esperar a que se resolviese desde la propia entidad que maneja la red de distrito.

Las redes de distrito pueden tener el inconveniente que el operador de la red cree un monopolio sobre el mercado de consumidores de calor conectados a ella, ya que desarrollar una red paralela con toda la infraestructura e inversión que esto supone no tiene mucho sentido teniendo ya una infraestructura funcional desplegada. Esto crea riesgos de subidas de precios y, por lo tanto, conlleva en ocasiones la intervención estatal en forma de control de precios. El problema aquí es que, tras una manipulación estricta del precio por parte del Estado, la operadora de la red puede encontrarse con una situación en la que el precio de venta al consumidor no cubre el coste de producir y distribuir el calor. Sin embargo, hay otras vías para conseguir un equilibrio, como por ejemplo, a través de un marco regulatorio que facilite el trabajo al operador de la red, a cambio de ciertas exigencias, como están haciendo en Países Bajos, o una reducción en el IVA a los consumidores de la red, como se ha hecho en Francia.

2.3 Escenario del mercado europeo

En 2024, en un estudio por parte de Euroheat, encontraron un total de 19.037 redes de distrito de calor entre los países europeos analizados, las cuales que suministran a 77,3 millones de habitantes, a través de un total de 194.845 kilómetros de tuberías, y que consumen 608 TWh en total (Euroheat & Power, 2024). Por supuesto, esto engloba redes muy grandes como son las de las principales ciudades, de más de 1000 kilómetros de tuberías, y redes rurales o redes que suministran solo a unos pocos edificios. Ese año las redes de calor de distrito cubrieron el 13% de la demanda de calor en el continente, con casi el 50% de la energía proveniente de fuentes renovables.

La tabla a continuación (*Figura 1*) enumera los principales países en Europa por volumen de ventas de calor a través de redes de distrito en 2022, en gigavatios hora, siendo una métrica de volumen de consumo energético. Se incluye adicionalmente la capacidad instalada de calor de distrito en gigavatios térmicos hora, que, multiplicándola por las horas totales del año (8.760), da como resultado el máximo volumen suministrado posible teóricamente. La última columna representa cómo de saturada está la red en cuanto al volumen suministrado, frente a la capacidad teórica a la que puede llegar la red en cuanto a suministro. Este indicador está lejos del 100%, ya

que no se suministra calor ni mucho menos todas las horas del año, habiendo caídas estacionales en la demanda y, más importante, la capacidad se instala tomando precauciones para poder cubrir picos de demanda, por lo que las redes con un menor porcentaje de volumen suministrado sobre volumen máximo han sido más conservadoras o tienen más estacionalidad en la demanda. Como indicador adicional del tamaño de las redes de distrito, también se puede apreciar información sobre la longitud total de las tuberías sumada de las redes de cada país.

País	Volumen suministrado (GWh/y)	Capacidad instalada (GW)	Longitud de redes (Kms)	% de volumen sobre volumen máximo
Alemania	107.231	44,0	34.180	27.8%
Polonia	59.462	53,1	22.000	12.8%
Suecia	49.902	27,9	24.300	20.4%
Finlandia	34.034	24,7	14.239	15.7%
Dinamarca	29.638	25,3	33.000	13.4%
Francia	26.206	26,8	10.480	11.2%
República Checa	20.775	38,1	7.048	6.2%
Austria	19.564	11,2	7.522	19.9%
Eslovaquia	15.033	-	-	-
Reino Unido	13.100	-	-	-

**Datos de 2022*

(Figura 1), elaboración propia.

Alemania fue el país en el que más volumen de calor fue suministrado a través de redes de calor de distrito a edificios residenciales y comerciales, aunque no cuente con la capacidad instalada más alta, que corresponde a Polonia. Esto puede ser debido, como se comentó anteriormente, a que Polonia puede tener picos de demanda más altos o una estacionalidad en la demanda mayor y, por lo tanto, su red requiera de una mayor capacidad instalada. Destacan en la parte superior de la tabla los países nórdicos, los cuales, debido a su clima frío, especialmente en invierno, tienen una gran demanda de calor, y también han desarrollado una infraestructura de redes de distrito que se distribuye por casi todo el país. Así podemos comprobar cómo su volumen suministrado en 2022 es mayor que el de otros países con mayor población, como puede ser Francia o Reino Unido.

A continuación (Figura 2), se puede ver una representación del porcentaje de calor suministrado proveniente de redes de calor de distrito sobre el total del calor suministrado para una lista de países europeos, con datos de 2021:

País	% sobre el total
Islandia	92%
Dinamarca	66%
Suecia	58%
Finlandia	45%
Estonia	45%
Latvia	45%
Lituania	44%
Polonia	40%
República Checa	40%
Serbia	26%
Austria	18%
Bosnia	17%
Suiza	11%
Eslovenia	11%
Alemania	10%
Noruega	10%

**Datos de 2022*

(Figura 2), elaboración propia.

En esta tabla se representa mejor el grado en el que las redes de distrito están desplegadas en cada país. Podemos ver cómo, por ejemplo, en Alemania, que mientras en la Tabla 1 lideraba con el mayor volumen suministrado de calor en 2022, aquí al hacer un porcentaje sobre el total, es de los países en los que las redes de calor de distrito cubren menos las necesidades de calor totales. Mientras tanto, otros países como los nórdicos en la otra tabla estaban por detrás de Alemania en calor suministrado, ya que son países más pequeños y con menos necesidades de calor, por lo que lideran la tabla en cuanto a mayor porcentaje de calor suministrado por redes de calor de distrito. Destaca Islandia, donde parece que prácticamente toda la demanda de calor de la isla está suministrada por redes de calor de distrito, y Noruega, que, aun siendo nórdico, es el único con un porcentaje tan bajo. Esta tabla nos da una idea de la capacidad de expansión que tienen las redes de distrito en muchos países y el nivel de consolidación al que pueden llegar en otros.

En Europa en 2022, el calor residual tan solo representó un 3,6% del calor total suministrado a redes de distrito, aunque es un valor conservador y difícil de medir. Las zonas donde las redes de calor de distrito están muy establecidas y donde hay un ambiente favorable en forma de planificación a la incorporación de este suministro de calor, o que gozan de incentivos fiscales para este tipo de proyectos, fueron las que más aprovecharon el calor residual como suministro de la red.

España no está entre los principales países europeos en cuanto a redes de distrito; sin embargo, la tendencia del sector es de crecimiento, tanto en número de redes como en número de edificios conectados. En 2023, según la Asociación de Empresas de Redes de Calor y Frío (ADHAC), había 533 redes de calor y frío, con un total de 6200 edificios conectados a ellas y un total de 1000 kilómetros de tuberías. La potencia instalada ascendió a 1.275 MW de calor. La comunidad autónoma que más redes de distrito tiene desplegadas es Cataluña, con aproximadamente un tercio de las del país, seguida de Castilla y León, Navarra, País Vasco y Madrid.

2.4 Selección de las mejores oportunidades

Partiendo del hecho de que las plantas de minado de Bitcoin producen agua a baja temperatura, por lo que para seleccionar las mejores oportunidades, he investigado en qué zonas de Europa están implementando redes de calor de baja temperatura. Sí es verdad que se podría utilizar una bomba de calor para calentar el agua del centro de minado de Bitcoin unos grados extra. Pero en la medida en que esto no fuera necesario se ahorrarían gastos operativos y de inversión.

El problema viene de la escasez de redes de calor de distrito de baja temperatura ya desarrolladas en Europa. He buscado los proyectos ya puestos en marcha de construcción de estas redes y proyectos con potencial a futuro en fase de planificación. Es verdad que la oferta de redes de calor de distrito se pueden suministrar de los centros de minado de Bitcoin sin demasiada ayuda por parte de bombas de calor ahora mismo no es muy grande. Pero siendo este tipo de redes el futuro del sector, se podría comenzar suministrando calor para los proyectos de redes de baja temperatura y posicionarse como un referente en el sector de cara a futuro cuando, a su debido tiempo, las redes de calor del continente evolucionen. Las redes de distrito más interesantes que he encontrado para llevar a cabo este proyecto en la actualidad están enunciadas en la tabla (*Figura 3*) a continuación:

Red	País	Ciudad	Área	Temperatura (°C)	Edificios conectados	Longitud (Kms)
Høje-Taastrup	Dinamarca	Copenhague	Østerby	73	6800	233
Brunnshög	Suecia	Lund	Brunnshög	55	-	-
Vitoria-Gasteiz	España	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz	-	-	-
Red de calor de Valladolid Oeste	España	Valladolid	Oeste	-	10200	25
Gleisdorf	Austria	Gleisdorf	Gleisdorf	50	-	-
Bunhill	Reino Unido	Islington	Bunhill	-	-	-
Beoelektrane	Serbia	Belgrado	Belgrado	55	-	750
Tartu	Estonia	Tartu	Tartu	-	54	4,6
Varsovia	Polonia	Varsovia	Varsovia	-	-	1700
Bilbao	España	Bilbao	Bilbao	-	-	-
Malinas	Bélgica	Malinas	Malinas	-	-	-

(Figura 3), elaboración propia.

En general, todas las redes aptas para instalar centros de minado de Bitcoin son en proyectos pequeños de prueba en los que ya se podría entrar teóricamente, o bien en proyectos grandes, pero a más largo plazo.

La red de Høje-Taastrup en Dinamarca está haciendo pruebas en una subred de 158 viviendas el desarrollo de una red de baja temperatura, con una segunda fase que se expande a 350 viviendas más. De entre los orígenes de calor ya considerados, se encuentra el calor residual de un centro de datos de la zona, entre otras fuentes de calor residual, por lo que presenta una oportunidad perfecta y con mucho potencial a posibles expansiones a futuro.

En Lund, Suecia, se comenzó la construcción de una nueva red de calor de distrito en 2018, con el objetivo de que sea la red de baja temperatura más grande de Europa, y un campo de pruebas para este tipo de redes. La zona que abastecerá, Brunnshög, contará según estimaciones con 40.000 personas en 2050, y será un centro de innovación. La red de distrito aprovechará calor residual de un acelerador de partículas, aunque presenta por su naturaleza una muy buena oportunidad para instalar un centro de minado de Bitcoin como suministrador de calor.

En Vitoria-Gasteiz, España, se está estudiando la construcción de una red de calor de distrito nueva en su mayoría, usando una mezcla de fuentes de calor, entre las que consideran el calor residual de cámaras frigoríficas. El proyecto es bastante grande, siendo una ciudad de aproximadamente 120.000 viviendas, y aunque no sea una red en la que poder invertir a corto

plazo, representa una buena oportunidad para considerar y planear inversiones para dentro de unos años.

La Red de Calor de Valladolid Oeste es un proyecto que se está llevando a cabo en una ciudad donde hay unas cuantas redes de calor de distrito, todas utilizando calderas centrales de biomasa como fuente de calor principal. Al ser una red en proceso de construcción, contará con los niveles de aislante modernos y, por lo tanto, una buena eficiencia térmica que la convierte en una oportunidad. La red es bastante grande para ser en España, suministrando a unas 10.200 viviendas.

Otra red que está invirtiendo en mejoras es la de Gleisdorf en Austria. Esta red utiliza la biomasa como fuente principal de calor; sin embargo, ha integrado fuentes de calor de baja temperatura a través de bombas de calor y el calor residual de las plantas de depuración de agua de la ciudad. La ciudad cuenta con 11.000 habitantes y estos desarrollos la hacen una buena opción para suministrar calor vía una planta de minado de Bitcoin.

En Islington, Reino Unido, hay un proyecto para desarrollar una red que se abastece en parte del calor residual del metro de Londres. Hay dos fases para el proyecto, llegando a abastecer a 1500 viviendas en total, y pensando en construir seis nuevas redes de calor en otras partes del municipio. La presencia de fuentes de calor residual y el hecho de que sean redes modernas convierten a Islington en un buen candidato para instalar un centro de minado de Bitcoin como suministrador de calor.

En la red de calor de distrito de Belgrado, se han hecho pruebas en una subred que suministra a un grupo de edificios y viviendas con aislamiento moderno. Se ha conseguido bajar la temperatura de suministro a 55°C y conectar una planta de producción de calor solar. El potencial de crecimiento es enorme, siendo la red de calor de distrito de Belgrado la suministradora del 50% de las necesidades de calor de la ciudad, y debido a esta subred ofrece la oportunidad para conectar un centro de minado de Bitcoin.

De la misma manera, en Tartu, Estonia, se ha desarrollado una red de baja temperatura de 4,6 km, compuesta por 54 consumidores. La red de Tartu al completo suministra a más de 1500 consumidores de la ciudad, y crece progresivamente cada año, por lo que también ofrece un buen punto de partida en la subred de baja temperatura para después poder expandir el número de centros de minado de Bitcoin a la vez que se moderniza el resto de la red de calor.

La red más grande en la lista es la de Varsovia, que suministra aproximadamente el 90% de las necesidades de calor de la ciudad. Es una red muy vieja y se está llevando a cabo un proyecto para sustituir las partes más antiguas con componentes nuevos de aislamiento moderno, además de la planificación de una red de calefacción inteligente. Por su tamaño, ofrece un potencial increíble, aunque por la misma razón también presenta un reto muy grande de modernización.

En la ciudad de Bilbao, a causa del objetivo de lograr la neutralidad climática en 2050, se ha elaborado un plan estratégico de calefacción y refrigeración 2050, en el que entra la promoción de redes de calefacción y refrigeración de baja temperatura. El estado de estas redes está en fase de estudio, pero la ciudad presenta una buena oportunidad a futuro para la instalación de centros de minado de Bitcoin que suministren a esas futuras redes de baja temperatura.

Por último, la ciudad belga de Malinas está también planeando una red de distrito de calor de baja temperatura. Con una población de 87.000 habitantes, ésta futura red moderna utilizará el calor residual de plantas de tratado de agua, centros de datos y zonas industriales. El proyecto es de gran importancia para la ciudad, y esta, al ser pequeña, no tardará demasiado en llevarlo a cabo. Por lo tanto, Malinas presenta una muy buena oportunidad a futuro para la instalación de centros de minado de Bitcoin como suministradores de calor de la red, y las subredes de Keerdok y Raghen.

De entre estas redes de distrito de calor, actualmente solo unas presentan una oportunidad inmediata de conexión a centros de minado de Bitcoin como suministradores de calor, al ser muchas de ellas proyectos a futuro. He considerado que las mejores opciones son aquellas redes que cuentan con subredes de baja temperatura ya de prueba, en las que poder entrar como suministrador a día de hoy, y que tienen un buen potencial de expansión. Por lo tanto, las redes de calor de distrito elegidas para este proyecto son cinco: la de Høje-Taastrup en Dinamarca, la de Lund en Suecia, la de Gleisdorf en Austria, la de Belgrado en Serbia y la de Tartu en Estonia. El resto será de mucho valor en el futuro cuando se establezca la red y se pueda lograr una conexión como parte de una fase dos de este proyecto. En algunas de ellas, como la red de Malinas, se podría construir y dejar lista la planta, rentabilizando el minado de Bitcoin exclusivamente hasta que se establezca la nueva red de distrito.

3. BITCOIN

Al referirme a la red Bitcoin en general en esta sección, lo haré utilizando una mayúscula en la primera letra, de manera que quede como “Bitcoin”, mientras que, al referirme a la propia moneda digital, lo haré con la primera letra en minúscula, quedando como “bitcoin”.

A día de hoy, Bitcoin está entre los 5 mayores activos del mundo por capitalización bursátil, por encima de la plata y gigantes tecnológicos americanos. Es la red descentralizada más grande y la criptomoneda más valiosa del mundo, más que todo el resto combinado. Estimo importante explicar resumidamente cómo funciona Bitcoin por la naturaleza del trabajo.

Bitcoin es esencialmente un registro que se gestiona de manera descentralizada. Un registro centralizado sería, por ejemplo, el registro de depósitos de un banco, el cual se lleva desde las instalaciones de este banco como entidad legal en una dirección física. Para manipular el registro, lo podría hacer el banco directamente u otra entidad a través del banco, como el estado queriendo congelar una cuenta. Este registro es, por lo tanto, manipulable directamente y puede ser atacado al estar a cargo de una entidad con una dirección física y localizable.

Un registro es descentralizado cuando ninguna entidad tiene control sobre él. En el caso de Bitcoin, funciona a través de nodos, los cuales no son más que simples procesadores como ordenadores comunes o pequeños dispositivos que se han fabricado con la única intención de servir como nodos. Cualquiera con un ordenador puede convertirlo en un nodo simplemente descargando un software, copiando el registro de transacciones de Bitcoin hasta ese momento de otro nodo y dejando que el ordenador funcione encendido y conectado a internet. Bitcoin funciona de manera descentralizada, ya que una persona, al mandar una cantidad “x” de bitcoin a otra persona, crea una transacción, la cual, tras pasar por un proceso en el que profundizaré más tarde, se actualiza en todos los nodos del mundo simultáneamente, o en todas las copias del registro de Bitcoin que hay, ya que los nodos son eso, básicamente. Nadie controla el registro, no hay un nodo más relevante que otro. Habría dos maneras de manipular el registro, la primera serían conseguir que más del 50% de los nodos conectados verifiquen tu versión del registro, es decir, hackear más del 50% de los nodos de la red, y la segunda apagar o destruir todos los nodos del mundo. Actualmente existen decenas de miles de nodos distribuidos por todo el planeta, haciendo un intento de estos prácticamente imposible.

Bitcoin está programado para limitar el suministro de bitcoins a 21 millones. El suministro de nuevos bitcoins se hace a través de un proceso llamado “minado”, el cual es extremadamente relevante en este trabajo sobre el cual profundizaré posteriormente. De forma resumida, la red tiene un calendario de minado programado, en el cual cada 10 minutos se reparten bitcoins a un minero en forma de recompensa. Esta recompensa, siendo una cantidad de bitcoin, se divide por dos cada cuatro años, por lo que si la recompensa cada 10 minutos era de 25 bitcoins hace cuatro años, ahora serían 12,5. Así sucesivamente hasta que la recompensa se vuelve infinitesimalmente pequeña y cesa una vez se han creado y repartido los 21 millones de bitcoins. Esto es una cualidad principal de Bitcoin y no se puede cambiar sin romper la red tras una votación de los nodos, resultando en un derivado con esta cualidad cambiada, lo cual es muy improbable.

4. MINADO DE BITCOIN

4.1 Descripción técnica

El minado de Bitcoin utiliza a día de hoy dispositivos electrónicos desarrollados específicamente para esa función. Hace muchos años se podía minar bitcoin con un ordenador convencional y tener éxito, pero a medida que la red se ha ido haciendo más popular, la competencia ha ido creciendo hasta el punto en el que necesitas uno de estos dispositivos llamados “mineros” para poder llegar a sacar una mínima rentabilidad fiable.

Como comenté anteriormente, el minado de bitcoins se produce en forma de recompensas. Estas provienen de una fusión que hacen los mineros para la red, una función indispensable. Las transacciones de la red no se hacen instantáneamente, sino que cuando una se “manda” por un usuario, queda en forma de solicitud en la red, en una especie de cola de espera de transacciones a hacer. Cada 10 minutos se crea un “bloque”, el cual es esencialmente un espacio limitado para transacciones, en el que se meten todas las que quepan. Los mineros de la red compiten por minar el bloque, o ser ellos quienes tengan el privilegio de encontrarlo, y cuando lo hacen, las transacciones que han cabido dentro de él se efectúan y se actualizan en los nodos. El minero que ha encontrado el bloque recibe una recompensa por parte de la red Bitcoin en forma de nuevos bitcoins, que actualmente es de 3,125 bitcoins, y además recibe pago por parte de las transacciones en la cola de espera, que pagan al minero por tener preferencia en el bloque y ser reconocidas antes. Las que no quepan en el primer bloque esperarán al siguiente y así sucesivamente.

Todos los mineros están hechos de chips, que son la base del minado. Estos chips son los que buscan el bloque, y por lo tanto un dispositivo de un solo chip puede minar un bloque y recibir recompensas, pero los dispositivos con muchos chips tienen más posibilidades. Estos chips se dedican a producir cadenas de unos y ceros muy largas, a las cuales se les denomina “hashes”, y la mayoría produce millones cada segundo, que se denomina “hashrate”, significando número de hashes por segundo. Si un chip produce una cadena de unos y ceros de una dificultad suficiente, se queda con el bloque, o en otras palabras, lo mina. La red va ajustando la dificultad de minado automáticamente en función de la cantidad de hashes que se produzcan en agregado por todos los chips en el mundo para mantener el tiempo entre el minado de un bloque y otro fijo en 10 minutos.

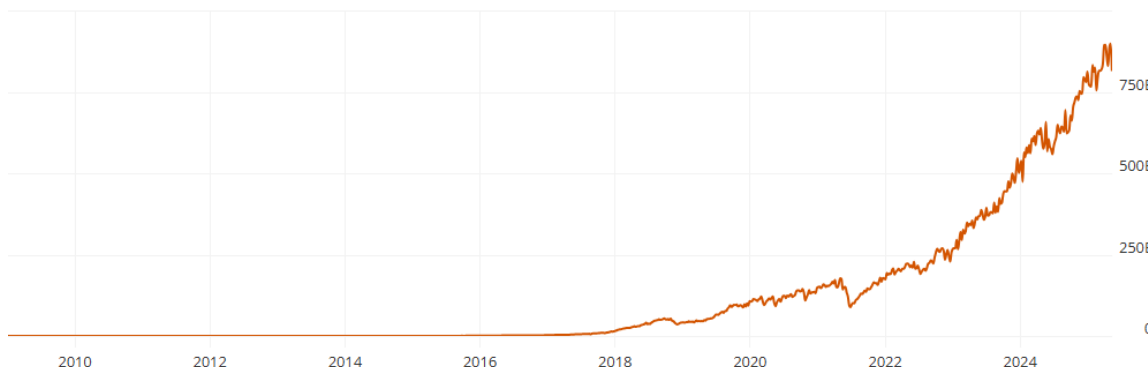
Teniendo un dispositivo o varios como persona individual, se puede intentar minar un bloque por cuenta propia, pero es increíblemente improbable que esto suceda, ya que al fin y al cabo compites contra el mundo entero. Lo que se suele hacer es formar grupos de muchas personas con mineros, que pondrán a disposición el hashrate de estos a favor del grupo, de este modo creando concentraciones de hashrate más grandes y con más probabilidad de conseguir minar un bloque. Si lo consiguen, se distribuyen las recompensas entre todos en función del porcentaje de hashrate

que contribuya sobre el total del grupo. De este modo se consiguen beneficios más estables y seguros para conseguir amortizar la inversión en mineros de manera más previsible. Estos grupos se denominan “pools”.

4.2 Análisis estratégico: Industria y competidores

La actividad principal de este proyecto es, al fin y al cabo, el minado de Bitcoin, lo que representará el grueso de los ingresos, por lo que el análisis de los competidores en esta industria debería ser en principio el más relevante. Sin embargo, la industria de minado de Bitcoin no es una industria donde un competidor se pueda diferenciar de otro por vías de imagen de marca o marketing. Lo único relevante al estudiar competidores de la industria son métricas y datos de la eficiencia de los equipos de minado, coste medio de la electricidad y necesidades de inversión, entre otras. En resumen, la manera de crecer más rápido que el resto en esta industria es siendo más eficientes, ya que a la red Bitcoin, que es al final la que distribuye los ingresos, no le importa nada más que el hashrate.

Cuanto más hashrate, significa más competencia y se necesitarán mineros más potentes para conseguir los mismos resultados que se conseguían a un hashrate más pequeño, básicamente. La gráfica a continuación enseña la evolución del hashrate desde el inicio de Bitcoin:



(Figura 4), (Bitcoin Visuals, 2025)

Se puede comprobar cómo el hashrate sube a un ritmo casi exponencial, estando en la actualidad aproximadamente en los 848 Exa Hashes por segundo (EH/s).

Dentro de esta cifra de hashrate se pueden encontrar varios tipos de mineros. Los primeros serían los mineros profesionales, los cuales tienen grandes granjas de mineros y cuentan con mucho capital para asumir inversiones muy potentes. Su único objetivo es sacar el máximo rendimiento a sus instalaciones, con una cierta constancia y previsibilidad sobre sus ingresos, por eso suelen

minar dentro de los pools que se comentaron anteriormente. Empresas destacadas dedicadas a la minería de Bitcoin son Marathon Digital, la cual cotiza en el NASDAQ (Ticket: MARA) con una capitalización de mercado de aproximadamente \$5,49 mil millones. Marathon Digital reportó en el primer trimestre de 2025 un hashrate de la compañía de 54,3 EH/s, lo que equivale a un 15,6% del total. Hay un total de 24 empresas cotizadas cuya actividad es la minería de Bitcoin, y se estima que el número supera las 100 si les sumamos las empresas mineras no cotizadas. La tabla a continuación enumera las diez empresas cotizadas más grandes dedicadas a la minería de Bitcoin en orden por el hashrate en operación actualmente:

Compañía	Hashrate operativo (EH/s)	Capitalización de mercado (€)	País
Marathon Holdings, Inc.	57,7	4.83 mil millones	Estados Unidos
CleanSpark, Inc.	40,1	1.60 mil millones	Estados Unidos
IREN Limited	36,6	1.29 mil millones	Australia
Cango Inc.	29,9	361 millones	China
Riot Platforms, Inc.	29,3	2.69 mil millones	Estados Unidos
Core Scientific, Inc.	18,1	2.28 mil millones	Estados Unidos
Bitfarms Ltd.	17,2	332 millones	Canadá
Cipher Mining, Inc.	13,5	970 millones	Estados Unidos
Bitdeer Technologies Group	12,4	2.40 mil millones	Singapur
Hut 8 Corp.	9,3	1.43 mil millones	Canadá

(Figura 5), elaboración propia.

Se puede apreciar que la gran mayoría de estas empresas líderes en el sector provienen de EEUU, y que la capitalización de mercado no está tan correlacionada con el hashrate operativo, debido a que la eficiencia de costes es muy importante en este negocio, principalmente las necesidades de CAPEX y el coste energético para lograr una buena rentabilidad y generación de caja.

Además de las empresas dedicadas a esta actividad, hay una gran cantidad de individuos que poseen sus propios mineros y, por lo tanto, suman hashrate. Entre ellos hay un poco de todo; hay quienes deciden optar por un retorno seguro y previsible y minan a través de los pools. Sin embargo, hay muchos otros, especialmente un movimiento muy grande dentro del espacio de la minería actualmente llamado Bitaxe, que minan en solitario. Esto quiere decir que estos mineros arriesgan a encontrar un bloque solo con su hashrate, compitiendo contra el hashrate total o todo el resto de los mineros del mundo, con el incentivo de que si lo consiguen, se podrán quedar con la totalidad de la recompensa. Los Bitaxe están siendo muy populares, ya que son muy pequeños,

no hacen ruido prácticamente y no se calientan casi nada, lo que permite a cualquiera tenerlos en casa.

Actualmente, el 95% del hashrate proviene de pools de minado, mientras solo el 5% corresponde a mineros independientes.

5. COMBINANDO REDES DE DISTRITO Y EL MINADO DE BITCOIN

5.1 Metodología de venta de calor a una red de distrito

El calor suministrado se paga en megavatios térmicos hora (MWth), como indicador del volumen de calor inyectado en la red.

Al negociar el precio de compra de calor con un nuevo suministrador de calor, la operadora de la red de distrito solo aceptará un trato si el nuevo suministrador presenta una alternativa de precio más barata que con la que ya contaba la red de distrito. Por otro lado, el suministrador de calor solo aceptará un acuerdo con el que cubra sus gastos de generación de calor.

En las negociaciones entre una red de distrito y un futuro suministrador de calor, ambas partes evalúan la inversión necesaria y determinan cuál de ellas deberá realizar una mayor para lograr la conexión y el suministro de calor a la red. La parte que tenga que asumir una mayor inversión también estará asumiendo un mayor riesgo, y por lo tanto es un factor importante en la negociación del precio o condiciones del contrato a firmar entre ambos. Mientras que el suministrador de calor prefiere un retorno de su inversión más a corto plazo, la red de distrito mira más a largo plazo. Una posible solución a esto es acordar un calendario de pagos de suministro en el que los pagos iniciales son más grandes y se compensan con pagos más reducidos en el futuro.

En una red de distrito con múltiples suministradores, habrá distintos costes de suministro de calor para estos, y por lo tanto distintos precios de suministro posibles. La red de distrito siempre querrá tener la opción de suministrarse con el calor más barato posible, lo que significa no cerrarse a cambiar el volumen de calor que compra a los suministradores en función del precio de venta que estos puedan ofertar. Se puede dar el caso en el que la red acuerde con el suministrador una cantidad mínima de compra de calor asegurada, suficiente para que al suministrador le compense el trato y dejando el resto de un volumen sin obligación de compra, según las necesidades y preferencias de la red.

Es posible también encontrar acuerdos en donde la red de distrito participa directamente en los costes de desarrollo de la planta del suministrador, a cambio de un precio reducido de venta de calor y un acuerdo de suministro de calor a la red a largo plazo.

Las posibilidades, como en toda negociación, son muy diversas, aunque en el caso de los suministradores de calor residual, los precios de compra de calor por parte de la red son menores que los que paga la red a otros suministradores. Esto se debe a que el origen de este calor es a causa de otra actividad, siendo la venta de calor una fuente de ingresos secundaria para aquellos y por lo tanto su coste de producción es muy reducido, por lo que se aceptan precios muy bajos, que cubran los gastos de capturar ese calor e inyectarlo, pero no de las instalaciones en general.

5.2 Casos de aprovechamiento de calor

Este trabajo se ha inspirado en intentos de capturar calor de mineros de Bitcoin que ya se han desarrollado, implementado y comercializado exitosamente. Hay muchos casos como este en el que dispositivos con uno o varios mineros de Bitcoin calientan espacios, piscinas, invernaderos y demás.

El primero de estos ejemplos son los calefactores de aire que aprovechan el calor residual de un minero en su interior para calentar el espacio a su alrededor, compitiendo contra los calefactores de aire convencionales. Estos calefactores de aire dan beneficios en forma de bitcoin al estar enchufados, pero consumen más electricidad, con el objetivo de que los beneficios superen el incremento en el gasto energético. Ejemplos de estos son marcas como Heatbit, 21energy, Migodi o d-central.

De la misma manera, hay calefactores que utilizan el calor residual de mineros de Bitcoin para calentar circuitos de agua, a la vez que se refrigeran con la misma. Este tipo de calefactores se ha empleado en piscinas climatizadas, circuitos de calefacción de viviendas y suelos radiantes, entre otros. Un ejemplo es la marca Asicdip, que vende un tanque de inmersión de este tipo listo para que el cliente seleccione los mineros y conectarlo a las tuberías necesarias, asegurando lograr una capacidad de calefacción de 15 metros cuadrados por cada minero instalado ((Asicdip, 2025). Migodi también ofrece un calefactor de agua, y la marca Constellation Heating vende este tipo de calefactores especializados en calentar piscinas.

Se han comercializado calefactores de este tipo para uso industrial; principalmente son calefactores de aire, pero más grandes que los no industriales, usando más mineros y teniendo un alcance de área mucho mayor. La empresa 21energy vende varios de este tipo, con el más grande pudiendo calentar hasta 360 metros cuadrados. Otro ejemplo de calefacción industrial usando

mineros de Bitcoin es el caso de un invernadero en Países Bajos cuya calefacción funciona utilizando una serie de mineros dispersos por el invernadero (Cointelegraph, 2023).

5.3 Ventaja competitiva frente a centros de datos

Se han llevado a cabo una serie de proyectos de centros de datos, con la intención de utilizar el calor residual de estos para calentar agua, de manera muy parecida a la que detalla este trabajo. Más importante aún, leyendo sobre el futuro de suministradores de calor residual en las redes de distrito, se comentan muy a menudo a los centros de datos como candidatos. Debido al clima frío del norte del continente, Europa ha atraído mucha inversión en centros de datos que aprovechan la refrigeración que aporta el clima para conseguir una mejor eficiencia. Esta gran expansión de centros de datos en el continente es lo que lleva a pensar qué hacer con el calor residual que estos generan, y la solución de que se conviertan en suministradores de las redes de calor de distrito que abundan en los países europeos parece lógica.

Sin embargo, los centros de datos presentan limitaciones en cuanto a su capacidad de suministrar agua caliente a las redes de distrito. En primer lugar, los centros de datos tradicionales refrigerados por aire son capaces de capturar calor hasta una temperatura entre 25°C y 35°C (Lund et al., 2018), siendo esta muy insuficiente, aunque en teoría se podría alcanzar un rango de captura de calor de entre 50°C - 60°C si son refrigerados con líquido, que ya sería un rango de temperatura muy adecuado. Además de esto, los centros de datos que se están construyendo normalmente están localizados en zonas apartadas de las ciudades y, por lo tanto, de las redes de distrito, a excepción de pequeños centros de datos que sí pueden estar cerca o dentro de las ciudades; sin embargo, estos no tienen una capacidad de generación de calor muy grande. En consecuencia, el tener que transportar el agua caliente una distancia muy grande, incrementa significativamente las pérdidas de temperatura.

La solución sería un sustituto que en un espacio compacto sea capaz de tener una capacidad de generación de calor grande y la posibilidad de capturar calor a temperaturas cercanas a la que utiliza la red de distrito. De este modo se podría conectar esta planta a la red de distrito sin pérdidas de calor, con un suministro de calidad y posibilitando un rápido despliegue por no necesitar la construcción de una tubería de larga distancia para lograr la conexión. Esto es lo que ofrece un centro de minado de Bitcoin. Los mineros convierten en promedio el 95% de la energía que consumen en calor, haciéndolos una fuente de calor muy eficiente. Según un análisis interno de Marathon Digital, los mineros refrigerados con líquido refrigerante a través de un sistema de captura de calor de doble circuito pueden calentar agua hasta los 75°C (MARA, 2024). Según sus datos internos, Marathon Digital asegura que la capacidad de producción de calor de una planta

de minado de Bitcoin de dos megavatios de potencia instalada puede llegar a ser suficiente como para suministrar calor a aproximadamente 4.000 personas en un espacio de 225 metros cuadrados.

Los centros de minado de Bitcoin ofrecen como ventaja adicional la capacidad de adaptarse a cada red de distrito según las necesidades específicas de estas, ya que, a diferencia de los centros de datos, su tamaño no lo dictamina una demanda de consumo adicional, como puede ser el requerimiento de una capacidad fija de almacenaje de datos para consumidores que tienen los centros de datos. De este modo, los centros de minado de Bitcoin son más flexibles a las propias necesidades de la red de distrito.

La ventaja competitiva de los centros de minado de Bitcoin frente a los centros de datos es clara en cuanto a:

1. Mayor capacidad de generación de calor (volumen).
2. Capacidad para calentar el agua a una temperatura mayor.
3. Necesidad de menos espacio para suministrar el mismo calor.
4. Posibilidad de ubicar una alta capacidad calorífica dentro de una ciudad y al lado de una red de distrito promedio en una zona urbana.
5. Flexibilidad.

Los centros de minado de Bitcoin ofrecen, por lo tanto, unas sinergias mucho mayores con las redes de distrito. Aprovechando ventajas de densidad calorífica, de espacio, de proximidad y de adaptabilidad completa, crean una alternativa a los centros de datos convencionales determinante.

5.4 Descripción técnica

Para lograr capturar el calor de un grupo de mineros, se necesita emplear un sistema que los refrigere y después sea capaz de transmitir el calor capturado a un volumen de agua. La manera más eficiente de capturar calor de los mineros es a través de una refrigeración de inmersión. En este método se sumergen los mineros al completo en un líquido refrigerante, por lo que el 100% del calor producido por estos se disipa en el líquido, haciéndolo más eficiente en este aspecto. De esta manera, los mineros están fuera del alcance de partículas en el aire que de otra manera se acumularían en ellos, logrando así extender su vida útil un 30% más frente a los mineros refrigerados por aire (Naueihed, 2023). Este método de refrigeración aporta además otras ventajas como mayor eficiencia energética, menor ruido y mayor densidad de mineros por metro cuadrado. El líquido empleado para esto, sin embargo, no puede ser agua convencional como la que fluye por nuestras tuberías, por lo que se usa un líquido refrigerante específico o agua destilada para imposibilitar que sirva de conductor eléctrico.

Por ello se necesita un sistema de inmersión de doble ciclo, el cual funciona con un primer ciclo en el que el líquido refrigerante absorbe el calor liberado por los mineros y lo lleva hasta un intercambiador de calor. Ahí pierde temperatura para después volver a pasar por los mineros, en un circuito cerrado accionado por una bomba hidráulica. El segundo ciclo es el del agua convencional que fluye por el intercambiador para absorber el calor del líquido refrigerante e impulsarlo a través de la red de distrito, en el caso de este trabajo. Una vez que ha fluido por la red y necesita volver a coger temperatura, vuelve a pasar por el intercambiador. A continuación, se puede ver este proceso representado gráficamente:



Figura 6, (MARA, 2023)

6. PROPUESTA DE VALOR

6.1 Diseño de la planta

En esta sección, el objetivo es crear un modelo de planta estándar que se pueda replicar en todas las ubicaciones elegidas para instalar un centro de minado de Bitcoin, teniendo todas, por lo tanto, la misma capacidad instalada, suministrando el mismo volumen de calor y a la misma temperatura. De esta manera se simplifica el poder hacer una proyección y no se entra en tanto tema técnico, que sería más apropiado para un trabajo de ingeniería.

6.1.1 Selección de mineros

Los componentes principales de las plantas son los mineros, que serán los que ingresen recompensas en forma de bitcoin, y produzcan el calor que después se capturará. Hay dos tipos de mineros: los que se refrigeran con líquido exclusivamente y los que se refrigeran en principio con aire, pero pueden ser sumergidos en líquido refrigerante como alternativa. Por las características de la planta en este trabajo, los mineros buscados son aquellos que pueden ser refrigerados por aire o sumergidos en líquido refrigerante, ya que, como se ha visto anteriormente,

se ha elegido un método de refrigeración de inmersión. Hay una gran cantidad de empresas dedicadas a la producción y venta de mineros, por lo que para poder decidir hay que hacer un pequeño análisis del sector. A continuación, se puede ver una tabla de los mineros que representan los principales candidatos:

Minero (Modelo)	Marca	Eficiencia (TH/J)	Hashrate (TH/s)	Potencia (Vatios)	Temperatura máxima de operación	Precio (\$)	Ruido (Decibelios)
Sealminer A2 Pro Hyd	BitDeer	14.9	515	7675	70	7500	10
Bitmain Antminer S21XP (Inmersión)	Bitmain	15	380	5676	45	7368	50
MICROBT WhatsMiner M66S++ (Immersion ready)	Whatsminer	15,5	348	5394	45	6229	50
Canaan Avalon A1566I	Canaan	18,07	249	4500	50	3212	

(Figura 7), elaboración propia.

Es necesario recalcar que las cifras de potencia, eficiencia y hashrate no son fijas ni exactas, y cambian dependiendo de factores como el ambiente donde trabajan los mineros. Estas cifras pueden tener una desviación de un incremento o reducción del 10%.

De entre todos estos, el único modelo que no está hecho específicamente para ser refrigerado vía inmersión es el Sealminer A2 Pro Hyd, y se le tendrían que hacer unos ajustes para los que está preparado el minero. Como elemento adicional de la comparativa, podemos ver una tabla que estima los ingresos y el periodo hasta cubrir costes de los cuatro modelos:

Minero (Modelo)	Beneficio por día (€)	Precio (€)	Cubrir costes (Meses)
Sealminer A2 Pro Hyd	9.84	6696	56.71
Bitmain Antminer S21XP (Inmersión)	7.35	6579	74.59
MICROBT WhatsMiner M66S++ (Immersion ready)	7.28	5562	63.66
Canaan Avalon A1566I	3.88	2868	61.59

(Figura 8), elaboración propia.

El beneficio por día está calculado a través de un estimador de ingresos web que utiliza el hashrate del minero, hashrate de la red en ese momento, precio por Bitcoin en ese momento y coste energético. Este beneficio es susceptible a los cambios en estas variables, algunas de las cuales

pueden ser relativamente volátiles. Sin embargo, estas variables cambian de la misma manera para todos los mineros, por lo que el uso de esta métrica para la comparativa es de gran ayuda. El problema en el uso de estas variables vendrá en la proyección de estos ingresos más adelante.

Se ha asumido un precio de la energía de 0,08 €/kWh para todos los mineros, y el precio en euros de los mineros se ha obtenido partiendo del precio en dólares y haciendo el cambio a euros a un tipo de cambio de 1,12 dólares por cada euro.

Se puede ver cómo el Sealminer A2 Pro Hyd ofrece un rendimiento mayor en cuanto a hashrate y eficiencia frente a los otros, siendo también el minero que cubre costes antes. Además de esto, es capaz de gestionar temperaturas más altas, algo muy importante en este proyecto. Por estas razones, el Sealminer A2 Pro Hyd será el modelo elegido para los centros de minado de Bitcoin de este proyecto.

6.1.2 Características y métricas

Además de los mineros, la planta ha de contar con las siguientes instalaciones para poder operar:

1. Tanques de inmersión
2. Intercambiador de calor
3. Bomba de calor
4. Estaciones de conexión a la red de distrito
5. Red de tuberías
6. Cableado e instalaciones eléctricas
7. Oficina de supervisión
8. Equipos de seguridad y vigilancia

En esta sección se ha llevado a cabo una estimación siempre conservadora de las posibilidades y métricas de la planta, con el objetivo de que el análisis sea relevante, y en todo caso la realidad pueda ser mejor y no al revés.

El diseño de la planta comienza por decidir su potencia instalada. Al haber una oferta de redes de distrito de baja temperatura limitada en estos momentos, con la mayoría siendo subredes de prueba, lo más sensato es diseñar una planta pequeña, que sea fácil de integrar en esas subredes que cuentan con una cantidad de viviendas y edificios relativamente reducida. La potencia instalada será, por lo tanto, cercana a 1 MW.

Partiendo de esa base, cabrían cinco tanques de inmersión, cada uno conteniendo 24 mineros de 7675 vatios de potencia cada uno. Esta cifra es el punto intermedio en un rango de consumo, dependiendo de condiciones en el ambiente del minero y el modo de consumo en que puede ser puesto. La potencia instalada total de mineros sería de 921 KW. Posteriormente, se ha de tener en

cuenta los 100 KW de potencia instalada de la bomba de calor, y otros 50 KW de para las bombas hidráulicas y demás componentes eléctricos de la planta, también dejando un margen de precaución.

Asumiendo una eficiencia térmica del 85% la planta tendría una capacidad de suministro de 18.788 KWh/día. Cada tanque de inmersión sería capaz de calentar agua desde los 45°C hasta los 65°C a un ritmo de 1,87 litros por segundo. La planta, por lo tanto, tendría la capacidad en estas condiciones de procesar 9,35 litros por segundo. Se ha elegido poner el tope en 65°C para no superar el límite de 70°C que tienen los mineros como rango seguro para funcionar. Los 45°C provienen de investigar las temperaturas de retorno en las redes de distrito seleccionadas, y poniendo unos grados menos también como margen.

La planta tendría, por lo tanto, el potencial de suministrar bajo estos parámetros 807.840 litros cada día, o 807,84 metros cúbicos de agua caliente. Basándonos en una planta similar a esta ya desarrollada en Finlandia por Marathon Digital, podemos estimar que una planta de 1 MW como la de este proyecto podría abastecer a aproximadamente 2.000 viviendas. La planta de minado de Bitcoin de Marathon Digital es de 2 MW y abastece calor a 11.000 residentes de una pequeña ciudad. La cantidad de viviendas suministradas cambiará en función del promedio de personas por vivienda en cada país. En este caso se hizo la estimación con la cifra de 2,78 personas por vivienda, el promedio de Finlandia en 2020 (Hoffman, 2024). Se ha decidido que la mejor referencia para estimar la capacidad de suministro, al ser un tema complejo técnicamente es una comparable de un caso real, en vez de intentar hacer un cálculo propio.

La planta deberá contar con una bomba de calor capaz de elevar la temperatura de este volumen de agua entre 5°C y 15°C como precaución y para asegurar que en cualquiera de las redes de distrito llegue el agua suministrada a la temperatura de impulsión sobradamente.

El diseño de los tanques de inmersión está inspirado en un tanque de inmersión de 24 mineros que se comercializa actualmente (Bitmars, 2025). Cada uno ocupa un área de 1,85 metros cuadrados, pero para dejar un espacio de un metro entre ellos se necesitaría dedicarles 6,1 metros cuadrados a cada uno, resultando en un total de 30,4. Hay que sumar el espacio que ocuparán los intercambiadores de calor con las tuberías que llegan hasta estos y la bomba de calor. También habría que sumarle la sala de gestión de la planta, un espacio para almacenar productos necesarios para su operabilidad, como líquido refrigerante y las estaciones de conexión a la red de distrito. Un espacio de 200 metros cuadrados debería bastar para lograr instalar todo esto en su interior.

En resumen, la planta de minado de Bitcoin a replicar en todas las ubicaciones de este proyecto tiene las siguientes características:

Resumen de la planta	
Nº de mineros	120
Nº de tanques de inmersión	5
Mineros por tanque	24
Potencia instalada mineros (KW)	921.000
Potencia instalada Bomba de calor (KW)	100.000
Potencia instalada adicional	50
Potencia instalada total (KW)	1.071
Hashrate total (TH/s)	61.800
Capacidad de suministro (KWh/día)	18.788
Capacidad para calentar, volumen de agua por tanque (Litros/s)	1,87
Capacidad para calentar, volumen total (Litros/s)	9,35
Volumen suministrado (Litros/día)	807.840
Viviendas promedio suministradas	5.628
Superficie (m ²)	200

(Figura 9), elaboración propia.

6.2. Valor añadido adicional

Los centros de minado de Bitcoin ofrecen muchas ventajas a la zona donde se instalan. Para empezar, contribuyen a la economía local generando ingresos y creando puestos de trabajo a personas de la zona, ya sea directa o indirectamente para su tramitación, diseño, construcción y mantenimiento.

Son una fuente de calor residual capaz de suministrar a miles de personas de los alrededores agua caliente todo el año, siendo independientes a otros cambios de demanda a diferencia de los centros de datos, y 100% fiables siempre y cuando tengan acceso a la electricidad que necesitan para funcionar. Además, el hecho de que la fuente de calor sea calor residual contribuye a reducir la dependencia de energías fósiles en las redes de calor de distrito, lo cual es un problema que se está intentando solucionar en todos los países de Europa donde abundan estas.

Estas plantas son además muy fáciles de desconectar y conectar cuando se necesite, y esto es importante porque pueden ayudar en tareas de monitorización de la red eléctrica local cuando se necesite reducir la demanda energética o incrementarla. De este modo, las plantas de minado de Bitcoin podrían ayudar en la estabilización de la red eléctrica y contribuir a su seguridad, sumando a evitar un percance como el sucedido en España y Portugal este mismo año. Si se

instalasen suficientes plantas como estas a lo largo del país podrían servir como estabilizador de consumo a nivel nacional.

7. ANÁLISIS DE VIABILIDAD FINANCIERA

7.1. Hipótesis y datos de entrada asumidos

Se han asumido las siguientes hipótesis para alimentar al modelo financiero:

1. Las inversiones son a fecha 01/09/2025.
2. Las plantas comienzan a operar el 01/01/2026.
3. Los mineros calentarán agua de la red 20°C.
4. Se asume 0 deuda.
5. El beneficio por minero el primer año se ha fijado en la cifra de 9,84€ vista anteriormente, aunque habría que recoger el ingreso al día, siendo éste 22,3€.
6. Los ingresos de minado se reducirán en un 5% anual hasta su reemplazo, como previsión al crecimiento del hashrate y asumiendo que el precio de Bitcoin se mantiene igual, ante la dificultad de proyectarlo.
7. Se ha asumido un precio de venta de calor de 0,07€/KWh (Epp, 2022). Esta cifra está basada en un artículo que detalla instalaciones de generación de calor solar, según el cual, vendiendo este calor a la red de distrito local por esta cifra. Se mantendrá constante durante el periodo analizado.
8. El coste por minero es de 6.696€, con un descuento del 5% por volumen.
9. El precio de los tanques de inmersión es de 3.214€, un 5% más caro que la comparativa directa al asumir un coste extra para hacer ajustes que les permitan trabajar a mayor temperatura (Bitmars, 2025).
10. El precio de la bomba de calor es de 9.000€. Para calentar el volumen de agua de la planta (9,35 litros/s) 15°C, se necesitaría una bomba de unos 65KW de potencia; con esta de 100KW se tiene una seguridad adicional (Flexpro Industry, 2025).
11. Los intercambiadores de calor cuestan 2.298€ cada uno. Cada tanque requiere de un intercambiador de calor según su potencia instalada de 184 KW. Se han elegido unos capaces de procesar 210 KW para tener margen de error (Piscinas y Productos, 2025).
12. Se estima usar 205 metros de tuberías PP-R con aislamiento de espuma elastomérica, con un coste total entre estas, válvulas y accesorios de 60.000€.
13. Gastos de cableado e instalación de 150.000€.

14. Se necesitarán 750 litros de líquido refrigerante por tanque; a 210€ por 20 litros y con un 5% de descuento por volumen, el coste sería de 37.506€. Se repone un 20% al año.
15. Coste de la oficina de supervisión de 200€ por metro cuadrado, y un total de 20 metros cuadrados, resultando en 4.000€.
16. Vida útil de los mineros de 6 años.
17. Inflación del 2%
18. El número promedio de meses de uso de calefacción en cada país, estimado contando los días de temperaturas inferiores a 15°C es de:
 - a. Suecia: 7,5
 - b. Estonia: 7,5
 - c. Dinamarca: 7
 - d. Austria: 6,5
 - e. Serbia: 6
19. Los precios de la electricidad (€/KWh) promedios de mercado de PPAs en cada país según Statista (Statista, 2024); se asume que incrementarán al ritmo de la inflación. Se asume poder contratar un PPA también al tener un tamaño considerable y planes para permanecer operando más de 10 años:
 - a. Suecia: 0,141
 - b. Estonia: 0.067
 - c. Dinamarca: 0.112
 - d. Austria: 0.097
 - e. Serbia: 0.107
20. Vida útil de los mineros de 5 años y del resto de las instalaciones de 10. Depreciación lineal.
21. Se estima que los cobros y pagos son instantáneos.
22. Mantenimiento anual por valor del 5% de la inversión inicial.
23. Precios de alquiler de un espacio comercial por metro cuadrado de:
 - a. Tartu: 10€
 - b. Belgrado: 20€
 - c. Lund: 22€
 - d. Gleisdorf: 15€
 - e. Østerby: 25€
24. Sueldos de 5000€ al mes por operarios.

7.2. Metodología

Debido a los cambios en cada país en los precios de la energía, tiempo de duración del invierno y precios del alquiler, entre otras cosas, se han proyectado los flujos de caja libres para cada planta independientemente, usando las hipótesis vistas anteriormente. El periodo de proyecciones es de 10 años, suficiente para terminar con la vida útil de todas las instalaciones según el supuesto de la vida útil de estas.

El cálculo ha comenzado con una cuenta de pérdidas y ganancias. Se ha sumado la depreciación de vuelta al resultado neto para llegar al flujo de caja operativo, asumiendo que los periodos de cobro y pago son 0, por lo que no habría que tener en cuenta estas partidas. Posteriormente, se han proyectado todas las partidas de inversión en las instalaciones, que sumadas al flujo de caja de operaciones dan un flujo de caja libre por planta.

Al tener los flujos de caja libres en cada año, se ha podido calcular una TIR para cada planta. Aquellas plantas con una TIR cercana a 0 o negativa se han descartado, y en las de TIR positiva se ha proyectado un flujo de caja libre de la planta sin las instalaciones necesarias para la venta de calor, ni los ingresos de la venta de calor. De este modo se puede obtener una TIR de la planta en el supuesto de que venda calor a la red de distrito, y en el supuesto de que no, y por lo tanto hacer una comparación.

7.3. Análisis de resultados

Los precios altos de energía de Suecia, Dinamarca, Austria y Serbia imposibilitan financieramente la instalación de las plantas de minado de Bitcoin, ya que se obtiene una TIR cercana a 0 o negativa en todas ellas. Queda, por lo tanto, como proyecto viable el desarrollo de la planta de Estonia.

Las proyecciones financieras para esta planta son las siguientes:

Planta - Estonia			01/09/2025	01/01/2026	01/01/2027	01/01/2028	01/01/2029	01/01/2030	01/01/2031	01/01/2032	01/01/2033	01/01/2034	01/01/2035
Inflación				2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Ingresos de minado			0	976,740	927,903	881,508	837,432	795,561	976,740	927,903	881,508	837,432	795,561
Ingresos venta de calor			0	300,843	306,860	312,997	319,257	325,642	332,155	338,798	345,574	352,485	359,535
Ingresos totales			0	1,277,583	1,234,763	1,194,505	1,156,689	1,121,203	1,308,895	1,266,701	1,227,082	1,189,918	1,155,096
Coste de electricidad planta			0	-569,899	-581,297	-592,923	-604,782	-616,877	-629,215	-641,799	-654,635	-667,728	-681,082
Coste de electricidad Bomba de calor			0	-23,909	-24,387	-24,875	-25,372	-25,880	-26,397	-26,925	-27,464	-28,013	-28,573
Sueldos			0	-60000	-61200	-62424	-63672.48	-64945.9296	-66244.8482	-67569.7452	-68921.1401	-70299.5629	-71705.5541
Alquiler			0	-24000	-24480	-24969.6	-25468.992	-25978.3718	-26497.9393	-27027.8981	-27568.456	-28119.8251	-28682.2216
Costes totales			0	-677,808	-691,364	-705,192	-719,296	-733,681	-748,355	-763,322	-778,589	-794,160	-810,044
Depreciación			0	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714	-182334.714
Resultado antes de impuestos			0	417,440	361,064	306,978	255,059	205,187	378,205	321,044	266,158	213,423	162,718
Impuestos			0	-91837	-79434	-67535	-56113	-45141	-83205	-70630	-58555	-46953	-35798
Resultado Neto			0	325,603	281,630	239,443	198,946	160,046	295,000	250,414	207,604	166,470	126,920
Flujo de caja operativa			0	507937.8095	463964.289	421777.7982	381280.7528	342380.283	477334.6159	432749.0314	389938.2355	348804.3989	309254.4019
Mineros			-763393					-842847					
Mantenimiento			0	-55073	-56174	-57298	-58444	-59613	-60805	-62021	-63262	-64527	-65817
Tanques de inmersión			-16071										
Bomba de calor			-9000										
Tuberías, accesorios y válvulas			-60000										
Cableado e instalación			-150000										
Intercambiadores de calor			-11490										
Estaciones de conexión a la red			-50000										
Líquido refrigerante			-37506	-7501	-7651	-7804	-7960	-8120	-8282	-8448	-8617	-8789	-8965
Oficina de supervisión			-4000										
Total inversión			-1101460	-62574	-63826	-65102	-66404	-910580	-69087	-70469	-71878	-73316	-74782
Flujo de caja libre			-1101460	445364	400139	356676	314876	-568199	408248	362280	318060	275489	234472
TIR				29.88%									

(Figura 10), elaboración propia.

Se puede ver cómo la TIR de la planta en el periodo proyectado alcanza 29,88%.

Las proyecciones de la planta sin las instalaciones de venta de calor ni los ingresos de esta actividad son las siguientes:

Planta - Estonia			01/09/2025	01/01/2026	01/01/2027	01/01/2028	01/01/2029	01/01/2030	01/01/2031	01/01/2032	01/01/2033	01/01/2034	01/01/2035
Inflación				2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%	2%
Ingresos de minado			0	976,740	927,903	881,508	837,432	795,561	976,740	927,903	881,508	837,432	795,561
Coste de electricidad planta			0	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226	-555,226
Sueldos			0	-60000	-61200	-62424	-63672.48	-64945.9296	-66244.8482	-67569.7452	-68921.1401	-70299.5629	-71705.5541
Alquiler			0	-24000	-24480	-24969.6	-25468.992	-25978.3718	-26497.9393	-27027.8981	-27568.456	-28119.8251	-28682.2216
			0	-639,226	-640,906	-642,620	-644,368	-646,151	-647,969	-649,824	-651,716	-653,646	-655,614
Depreciación			0	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714	-160285.714
			0	177,228	126,711	78,602	32,779	-10,876	168,485	117,793	69,506	23,501	-20,339
Impuestos			0	-38990	-27876	-17292	-7211	2393	-37067	-25915	-15291	-5170	4475
Resultado Neto			0	138,238	98,835	61,310	25,568	-8,483	131,418	91,879	54,215	18,331	-15,864
Flujo de caja operativa			0	298523.5275	259120.2675	221595.4425	185853.2962	151802.8234	291704.1533	252164.5058	214500.5656	178616.5217	144421.3135
Mineros			-763393					-763393					
Mantenimiento			0	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143	-43298.5143
Tanques de inmersión			-16071										
Tuberías, accesorios y válvulas			-15000										
Cableado e instalación			-30000										
Líquido refrigerante			-37506	-7501	-7651	-7804	-7960	-8120	-8282	-8448	-8617	-8789	-8965
Oficina de supervisión			-4000										
Total inversión			-865970	385962	307005	231802	160162	-671491	371542	292297	216800	144860	76294
Flujo de caja libre			-865970	385962	307005	231802	160162	-671491	371542	292297	216800	144860	76294
TIR				20.44%									

(Figura 11), elaboración propia.

La TIR de la planta con las instalaciones de venta de calor y los ingresos de esta es más elevada que la de la planta sin estas instalaciones ni ingresos (29,88% frente a 20,44%).

Se puede concluir de estos resultados que equipar a las plantas de minado de Bitcoin para la venta de calor residual a la red de distrito incrementa su rentabilidad, aunque el factor más importante para considerar su instalación sigue siendo en cualquier caso el precio de la electricidad. Una localización con un precio de electricidad más bajo, pero que no tenga la posibilidad de

suministrar calor a una red de distrito, será más rentable que otra localización con un precio de la electricidad más alto y que sí pueda vender calor. La planta más rentable se consigue, por lo tanto, en el caso de poder lograr un precio de electricidad bajo y, adicionalmente, la posibilidad de vender calor a la red, como el caso de Estonia.

La venta de calor a la red incrementa la rentabilidad de una planta, pero no llega a ser el factor determinante, como en el caso del precio de la electricidad, para decidir dónde instalarla.

8. PROYECCIONES A FUTURO

8.1. Bitcoin y minado de Bitcoin

Debido a su volatilidad histórica y actual, el precio de Bitcoin es muy difícil de predecir e intentarlo no serviría de mucho. Sin embargo, se puede proyectar su uso. Desde junio de 2020, la cantidad de Bitcoin atesorada por compañías ha crecido un 587% (River Financial, 2024), con compañías como Strategy en EEUU liderando la estrategia de atesoramiento de Bitcoin. Últimamente, se anuncia una nueva empresa de estrategia de atesoramiento de Bitcoin por lo menos cada mes. También se han introducido ETFs de Bitcoin que han tenido un récord de entradas de capital. La tendencia de Bitcoin continuará siendo al alza, con cada vez más empresas que lo tendrán en tesorería y también cada vez más empresas dedicadas a actividades relacionadas con Bitcoin.

Se espera que el desarrollo de mineros más potentes incremente el hashrate global, como ha estado pasando desde que se inició la minería comercial. El movimiento de minería descentralizada también seguirá creciendo probablemente, por lo que los ingresos de las pools de minado deberían reducirse. En el largo plazo, las comisiones de transacción deberán ser suficientes como para hacer de la minería algo rentable a medida que las recompensas se vayan reduciendo hasta llegar a 0.

8.2. Redes de distrito en Europa

La tendencia de las redes de distrito en Europa es de crecimiento ascendente en número, extensión, consumidores y eficiencia en prácticamente todos los países. Los objetivos de descarbonización de los países europeos aumentan la necesidad de desarrollar las redes de distrito, al representar estas una alternativa más limpia y eficiente de calefacción que un sistema de calderas individuales.

En Alemania, por ejemplo, se puso en marcha un plan para acelerar la expansión de redes de distrito, con un presupuesto de 3.000 millones de euros hasta 2026. Desde septiembre de 2022 hasta marzo de 2024, se aprobaron 1.200 proyectos en el país.

De forma similar, en Francia se aprobaron ayudas por valor de 840 millones de euros en 2024. También cuentan con incentivos fiscales en forma de un IVA reducido en la compra de calor de la red a suministradores de calor renovable.

En Países Bajos se ha aprobado una ley para desincentivar el gas natural como suministrador de calor. Se espera que como resultado 500.000 personas se conecten a redes de distrito para 2030.

En el Reino Unido, el gobierno estima que en torno al 20% del calor total demandado será suministrado por redes de distrito en 2050, comparado con el 3% actual. Se han constituido también fondos de ayuda para los nuevos proyectos de desarrollo y renovación de redes en el país.

En los países nórdicos donde ya hay mucha red de distrito, se han acelerado los esfuerzos por eliminar las caderas de energías no renovables.

Se estima que en Europa habrá ocho millones de viviendas adicionales conectadas a redes de distrito para el año 2030.

(Euroheat & Power, 2024)

8.3. Precios de la energía en Europa

Los precios de la energía en Europa son difíciles de predecir; por un lado hay una gran cantidad de proyectos que, de cumplirse, incrementarían la oferta de electricidad lo suficiente como para bajar los precios de esta considerablemente. Según un estudio de dos investigadores de la Universidad de Cambridge publicado en la revista 'Nature Energy', se podrían experimentar reducciones en el precio de la energía por país de entre el 13% y el 44% para 2030. (Expansión, 2025).

Sin embargo, al igual que hay muchos proyectos que incrementan la oferta de electricidad en el mercado, hay muchos otros que demandan una gran cantidad de esta, como son los centros de datos.

9. CONCLUSIÓN

La venta del calor residual de una planta de minado de Bitcoin a una red de distrito es perfectamente viable técnicamente, aunque en estos momentos, debido a su escasez, el número de redes donde esto es posible sea reducido debido a la escasez de redes de baja temperatura. Sin embargo, se espera que estas comiencen a desarrollarse en mayor cantidad a corto plazo, por lo que las posibles localizaciones en Europa para instalar una planta de estas características deberían incrementar en los años venideros.

Las plantas de minado de Bitcoin aportan un valor añadido a las zonas donde se instalan. Para empezar, son un suministrador constante de calor, inmunes a ningún otro cambio en la demanda por otro cliente alternativo que pueda cambiar la producción de la planta. Crean empleo y actividad empresarial directamente en la zona donde se instalan. Adicionalmente, pueden ayudar en el equilibrio de la red eléctrica al estar completamente disponibles para apagarse o encenderse rápidamente según esta lo necesite.

El análisis financiero evidencia el incremento en rentabilidad de añadir instalaciones de captura y venta del calor residual a la red de distrito. Esto se ve a través de una TIR más grande en la planta de Estonia con estas instalaciones frente a la misma planta sin ellas (29,88% frente a 20,44%). Es, por lo tanto, factible desarrollar plantas de minado de Bitcoin que capturen y vendan el calor residual, como se describe en el trabajo, siempre y cuando sea posible.

El trabajo demuestra cómo, mientras la posibilidad de captura y venta de calor residual incrementa la rentabilidad de la planta, no debería ser el factor determinante en la elección del lugar donde desarrollar esta. El precio de la electricidad sigue siendo lo más importante a tener en cuenta, mientras que la posibilidad de venta de calor residual debería ser una consideración secundaria, hecha al comparar lugares con un coste energético bajo. A medida que se desarrollen más redes de distrito de baja temperatura, será más probable encontrar una localización que cumpla con ambas condiciones.

Las proyecciones a futuro de las redes de distrito son buenas. Se espera una mayor cantidad de estas, más eficientes, y más viviendas conectadas. Hay muchos proyectos a lo largo del continente que cuentan con mucho apoyo institucional, por lo que, a largo plazo, el número de redes de baja temperatura debería aumentar considerablemente. También hay buenas previsiones en cuanto al precio de la energía, como se ha visto antes, lo cual es realmente importante. El uso de Bitcoin está en alza, con cada vez más empresas integrándolo en su tesorería, especialmente en EE. UU. Nuevos productos financieros están siendo ofrecidos al público y empresas se están creando cada vez más empresas del ecosistema Bitcoin, lo cual es un buen indicador de la tendencia de mercado.

Todas estas consideraciones hacen presagiar un futuro prometedor a las plantas de minado de Bitcoin con aprovechamiento y venta de calor.

10. DECLARACIÓN DE USO DE CHATGPT

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea.

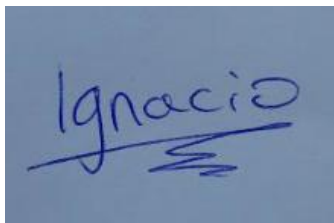
Por la presente, yo, Ignacio Huarte Uhagón estudiante de E2 e inglés de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "ANALISIS DE VIABILIDAD FINANCIERA DE CENTROS DE MINADO DE BITCOIN Y APROVECHAMIENTO DE CALOR", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Crítico:** Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.
3. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
4. **Metodólogo:** Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.
5. **Estudios multidisciplinares:** Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
6. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para

que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 21 de Mayo de 2025

A handwritten signature in blue ink on a light blue background. The signature reads "Ignacio" in a cursive script, followed by a horizontal line and a small flourish.

Firma: _____

11. BIBLIOGRAFÍA

ARANER. (s.f.). *District heating and cooling: Advantages*.

<https://www.araner.com/blog/district-heating-cooling-advantages>

Asicdip. (s.f.). *Crypto boiler*. <https://asicdip.com/en/crypto-boiler>

Bitdeer. (s.f.). *Bitdeer product page*. <https://www.bitdeer.com/shop/product/P250331000002>

Bitmars. (s.f.). *FogHashing Immersion Cooling Suite B24D*.

<https://bitmars.io/es/product/foghashing-immersion-cooling-suite-b24d-24-miners/>

Canaan. (s.f.). *AvalonMiner A1566i*. <https://shop.canaan.io/products/avalon-miner-a1566i-249t?VariantsId=10487>

CityExpert. (2024). *Business premises for rent in Belgrade: Prices, locations and tips*.

<https://cityexpert.rs/blog/en/real-estate-market/business-premises-for-rent-in-belgrade-prices-locations-and-tips-for-2024>

Cointelegraph. (2023, mayo 6). *Flower-powered Bitcoin miner heats greenhouses in the Netherlands*. <https://es.cointelegraph.com/news/flower-powered-bitcoin-miner-heats-greenhouses-in-the-netherlands>

Constellation Heating. (s.f.). *Products*. <https://constellationheating.com/products/>

Danfoss. (s.f.). *District heating*. <https://www.danfoss.com/en/markets/district-energy/dhs/district-heating/#tab-articles-and-whitepapers>

DBDH. (s.f.). *Pricing heat sources for district heating networks*. <https://dbdh.org/pricing-heat-sources-for-district-heating-networks/>

Districlima. (s.f.). *[Documento sobre climatización urbana]*.

https://www.districlima.com/es/?preview=1&option=com_dropfiles&format=&task=frontfile.download&catid=19&id=2&Itemid=1000000000000

Epp, B. (2022, 21 de junio). *Sweden: Growing number of feed-in contracts with district heating providers*. Solarthermalworld. <https://solarthermalworld.org/news/sweden-growing-number-feed-contracts-district-heating-providers/>

Euroheat & Power. (2023). *DHC market outlook, insights & trends 2023*.

https://api.euroheat.org/uploads/DHC_Market_Outlook_Insights_Trends_2023_47ff212ebe.pdf

Euroheat & Power. (2024). *Final market outlook 2024*.

https://api.euroheat.org/uploads/Final_Market_Outlook_2024_0efcdb4b7e.pdf

Euroheat & Power. (2024). *Final market outlook 2024*.
https://api.euroheat.org/uploads/Final_Market_Outlook_2024_0efcdb4b7e.pdf

Expansión. (2025, febrero 9). *Las energéticas apuestan por el calor digital*.
<https://www.expansion.com/empresas/energia/2025/02/09/67a8ad71e5fdeaaf418b458d.html>

ewz. (s.f.). *District heating*. <https://www.ewz.ch/en/business-customers/real-estate/educational-content/district-heating.html>

Flexpro Industry. (s.f.). *Agua-agua calentador bomba 12 kW*. <https://www.flexpro-industry.com/e-commerce/es/water-source-pump-industry/201-aguaagua-calentador-bomba-12kw.html>

Fortune Business Insights. (s.f.). *Europe district heating market*.
<https://www.fortunebusinessinsights.com/es/europe-district-heating-market-107608>

GIGATES. (s.f.). *GIGATES project*. <https://www.gigates.at/index.php/en/gigates/project>

Global Market Insights. (s.f.). *Europe district heating market*.
<https://www.gminsights.com/es/industry-analysis/europe-district-heating-market>

Hashrate Index. (2023, octubre 24). *A look inside an immersion and hydro bitcoin mine*.
<https://hashrateindex.com/blog/a-look-inside-an-immersion-and-hydro-bitcoin-mine/>

Hashrate Index. (2023, octubre 30). *A deep dive into the Heatcore HS20 hydro mining system and WhatsMiner M63S*. <https://hashrateindex.com/blog/a-deep-dive-into-the-heatcore-hs20-hydro-mining-system-and-whatsminer-m63s/>

Heatcore. (s.f.). *X-Series products*. <https://heatcore.tech/products/x-series/>

International Energy Agency (IEA). (s.f.). *Homepage*. <https://iea.org>

Invest in Estonia. (s.f.). *Infrastructure and premises*. <https://investinestonia.com/business-in-estonia/infrastructure-and-premises/>

Li, H., & Wallin, F. (2021). *District heating in future urban areas: System design and techno-economics*. *Energy*, 235, 121376.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221007696>

LowTEMP. (2021). *Contracting and payment models*. https://www.lowtemp.eu/wp-content/uploads/2021/06/PPT_Contracting-and-payment-models.pdf

Lund, H., et al. (2018). *The status of 4th generation district heating: Research and results*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 30–39.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117314314>

- MARA. (2023, septiembre 21). *Immersion-cooled Bitcoin mining explained*. <https://www.mara.com/posts/immersion-cooled-bitcoin-mining-explained>
- MARA. (2024, abril 3). *Heating with hashes: Digital asset compute offers a sustainable solution for district heating*. <https://www.mara.com/posts/heating-with-hashes-digital-asset-compute-offers-a-sustainable-solution-for-district-heating>
- Nasdaq. (2024, enero 31). *Marathon uses Bitcoin mining heat to warm town of 11,000 in Finland*. <http://nasdaq.com/articles/marathon-uses-bitcoin-mining-heat-town-11000-finland>
- NetZeroCities. (s.f.). *District heating resource*. <https://netzerocities.app/resource-878>
- Piscinas y Productos. (s.f.). *Intercambiador de calor 210 kW AstralPool WaterHeat EVO*. <https://www.piscinasyproductos.com/products/6091-intercambiador-de-calor-agua-agua-tit-210-kw-astralpool-waterheat-evo>
- Popovski, E., Pohl, R., Huber, A., & Djukic, A. (2021). *A review of district energy systems in Europe: Benefits and barriers*. Energy, 235, 121377. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178721000862>
- Red de Ciudades por el Clima. (2024). *Redes de calor y frío municipales con fuentes renovables*. https://redciudadesclima.es/sites/default/files/2024-02/29_Redess%20de%20calor%20y%20fr%C3%81o%20municipales%20con%20fuentes%20renovables.pdf
- River Financial. (2024). *Business Bitcoin Report 2024*. <https://river.com/learn/files/business-bitcoin-report-2024.pdf>
- Solarthermalworld. (2023, diciembre 12). *Sweden: Growing number of feed-in contracts for district heating providers*. <https://solarthermalworld.org/news/sweden-growing-number-feed-contracts-district-heating-providers/>
- Statista. (2024). *Quarterly prices of wind and solar PPAs in Europe*. <https://www.statista.com/statistics/1482793/quarterly-prices-wind-solar-ppa-europe/>
- Sustainable Energy Authority of Ireland. (s.f.). *District heating and cooling: Appendix B - Network costs*. <https://www.seai.ie/sites/default/files/publications/District-Heating-and-Cooling-Appendix-B-Network-Costs.pdf>
- Terahash. (s.f.). *Bitcoin Energiesysteme*. <https://terahash.space/anlagenbau/bitcoin-energiesysteme/>

Unlock Blockchain. (s.f.). *Revolutionizing Bitcoin mining: Cooling methods for enhanced efficiency*. <https://www.unlock-bc.com/110085/revolutionizing-bitcoin-mining-cooling-methods-for-enhanced-efficiency/>

WEDISTRICT. (2020). *District heating and cooling stock at EU level (WP2 D2.3)*. https://www.wedistrict.eu/wp-content/uploads/2020/11/WEDISTRICT_WP2_D2.3-District-Heating-and-Cooling-stock-at-EU-level.pdf

WhatsMiner. (s.f.). *Miner M63S*. <https://shop.whatsminer.com/products/details/76?skuId=171>

ZeusBTC. (s.f.). *Asic Miner details*. <https://es.zeusbtc.com/Asic-Miner/Asic-Miner-Details.asp?ID=3604>