

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA
PLANTA DE MINERÍA DE BITCOIN EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

ESCALANTE CANIZÁLEZ LEONEL ENRIQUE

FIGUEROA GÁMEZ KEVIN ANTONIO

RIVAS PORTILLO RAFAEL ARMANDO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERÍA ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

ING. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO:

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR INTERINO:

ING. WERNER DAVID MELÉNDEZ VALLE

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO ELECTRICISTA

TÍTULO:
**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA
PLANTA DE MINERÍA DE BITCOIN EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:
**ESCALANTE CANIZÁLEZ LEONEL ENRIQUE
FIGUEROA GÁMEZ KEVIN ANTONIO
RIVAS PORTILLO RAFAEL ARMANDO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

DOCENTE ASESOR:
ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS

SAN SALVADOR, OCTUBRE 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS

NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha martes 9 de julio de 2024, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 10:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle
Director Interino


Firma 

MSc. José Wilber Calderón Urrutia
Secretario Interino


Firma

Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. WALTER LEOPOLDO ZELAYA CHICAS
(Docente Asesor)


Firma

- ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE


Firma

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ


Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL MONTAJE DE UNA PLANTA DE MINERÍA DE BITCOIN EN EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

ESCALANTE CANIZALEZ LEONEL ENRIQUE
FIGUEROA GÁMEZ KEVIN ANTONIO
RIVAS PORTILLO RAFAEL ARMANDO

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 7.8
(siete punto ocho)

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios y a la Virgen Santísima por permitirnos culminar satisfactoriamente esta investigación. Con especial cariño, dedico este logro a los pilares de mi vida: mi madre y mi padre, quienes me han brindado su apoyo incondicional y han sido mi fuente constante de fortaleza.

Extiendo mi más sincera gratitud a mis compañeros de tesis por su compromiso y esfuerzo, ha sido un viaje con una gran experiencia en la realización de esta investigación, este logro no sería posible sin la contribución de cada uno de ustedes, gracias por su compañerismo y amistad. Finalmente, agradecido con nuestro asesor ing. Walter Zelaya, por su paciencia y confianza, por su guía y dedicación a lo largo de todo el proceso.

Leonel Escalante

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco profundamente a Dios por brindarme la fortaleza, perseverancia y sabiduría necesarias para culminar esta etapa importante en mi vida.

A mi madre Lorena Figueroa, cuyo amor incondicional y apoyo constante me acompañó en cada momento. Gracias por sus sacrificios y por confiar en mí, sin usted, este logro no habría sido posible.

Agradezco a nuestro asesor de trabajo de graduación, Walter Zelaya y a nuestro asesor externo Luis Hernández, quienes con su guía, paciencia y conocimiento me brindaron las herramientas necesarias para culminar este trabajo.

A mi familia por su apoyo incondicional, confianza y comprensión a lo largo de este proceso. Sin su motivación constante, este logro no habría sido posible. A mi tío Mario Figueroa por todo el apoyo que me brindó hasta el final de mi carrera, su apoyo ha sido fundamental para consolidar mis conocimientos y confianza a lo largo de este camino. A mi novia Estefany Rivas, por su infinita paciencia, comprensión y apoyo incondicional. Gracias por ser mi fuente de motivación en muchos momentos de este camino.

Gracias también a mis compañeros de trabajo de graduación quienes se mantuvieron comprometidos y perseverantes hasta completar esta meta, a pesar de las dificultades y desafíos que surgieron. A mis amigos, por su colaboración, palabras de ánimo y por compartir conmigo este camino de aprendizaje y esfuerzo.

Finalmente, extendo mi gratitud a todas personas que aportaron su tiempo y conocimiento, haciendo que este trabajo sea una realidad. Este es un logro conjunto, fruto de la dedicación y el compromiso de todos los que me rodearon en esta etapa.

Kevin Figueroa

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por brindarme la fortaleza necesaria para culminar con éxito este camino académico. Su presencia ha sido constante, iluminando cada paso y apoyando también a mis compañeros de equipo en cada actividad desempeñada.

Reconocer a mi padre Rafael Rivas, mi madre Margoth Portillo y mi hermana Margoth Rivas, quienes con su apoyo sincero y su paciencia han sido una pieza fundamental durante este proceso. Su comprensión y los sacrificios que han realizado para mejorar mis condiciones durante mi desarrollo académico han sido invaluableles. A Yanci Sandoval por brindarme apoyo, paciencia y amor, gracias por ser una fuente de inspiración que me ha impulsado durante este recorrido. Sin el cariño y dedicación de todos ellos, este camino habría sido más difícil de recorrer, por lo cual estaré infinitamente agradecido.

Quiero agradecer la orientación recibida por nuestro docente asesor, Ing. Walter Zelaya. Su apoyo no solo fue fundamental para llevar a cabo este trabajo, también nos brindó comprensión y respaldo en cada una de las actividades realizadas.

Particularmente, valoro el esfuerzo realizado por mis compañeros de trabajo de graduación, Kevin Figueroa y Leonel Canizález. Juntos hemos unido nuestra dedicación a lo largo de este proceso, su constancia y entrega han sido fundamentales para que podamos culminar de buena manera este trabajo. Además, mi gratitud se extiende a mis compañeros y amigos durante la carrera de Ingeniería Eléctrica en especial a David Solis y Christian Rivera, a los cuales les deseo éxitos en su carrera profesional y desarrollo personal.

Rafael Rivas

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	1
Figuras capítulo 1	1
Figuras capítulo 2	1
Figuras capítulo 3	2
Figuras capítulo 4	2
LISTA DE TABLAS	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	6
ALCANCES	7
DEFINICIONES	8
CAPÍTULO 1: BITCOIN Y SU IMPACTO EN EL SALVADOR	11
1.1 Aspectos generales de Bitcoin.....	11
1.1.1 Definición de Bitcoin.....	11
1.1.2 Funcionamiento de Bitcoin.....	13
1.1.3 Definición del valor del bitcoin	14
1.1.4 Billeteras electrónicas.....	15
1.1.5 Casas de intercambio de criptomonedas.....	16
1.2 Breve historia y evolución del bitcoin.....	17
1.2.1 2008-2010.....	17
1.2.2 2011-2013	19
1.2.3 2014-2016.....	21
1.2.4 2017-2019	23
1.2.5 2020-2023	24
1.3 Tecnología <i>blockchain</i>	26
1.3.1 Definición tecnología <i>blockchain</i>	26
1.3.2 Evolución cronológica de la tecnología <i>blockchain</i>	27
1.3.3 Clasificación de la tecnología <i>blockchain</i>	30
1.4 Adopción y regulación del bitcoin en El Salvador.....	31
1.3.1 Aprobación de la Ley Bitcoin y su forma de implementación	32

1.4.2	Impacto económico por la Ley Bitcoin en El Salvador.....	36
1.4.3	El bitcoin en El Salvador como modelo de impulso a nuevas inversiones	39
CAPÍTULO 2: PROCESO DE LA MINERÍA DE BITCOIN		41
2.1	Funcionamiento de la minería de bitcoin	41
2.2	Etapas de una transacción en Bitcoin y el rol del minero.....	44
2.3	Proof of Work.....	45
2.4	Ejemplo de minado de un bloque.....	46
2.5	Métodos de minería de criptomonedas: <i>pools</i> , solitario y en la nube	51
2.5.1	Minería en solitario.....	52
2.5.2	Minería en grupo (<i>pool</i> de minería).....	52
2.5.3	Minería en la nube	55
CAPÍTULO 3: EQUIPOS DE MINERÍA DE CRIPTOMONEDAS Y SU ADQUISICIÓN.....		57
3.1	Hardware de minería	57
3.1.1	Tipos de hardware en los procesos de minería	58
3.1.2	CPU	58
3.1.3	GPU	59
3.1.4	ASIC	61
3.1.5	Modelos ASIC para minar bitcoin.....	63
3.2	Software de minería	69
3.2.1	Tipos de software para procesos de minería de criptomonedas	69
3.2.2	Software en los <i>pools</i> de minería.....	72
3.3	Costeo y rentabilidad de los equipos en la minería de bitcoin	73
3.3.1	Costos iniciales	73
3.3.2	Costos operativos.....	77
3.3.3	Otros aspectos.....	80
3.4	Aspectos adicionales de la infraestructura y su funcionamiento.....	81
3.4.1	Aspectos de diseño para una correcta infraestructura de planta de minería.....	81
CAPÍTULO 4: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE PLANTA DE MINERÍA DE BITCOIN EN EL SALVADOR.....		87
4.1	Planificación Inicial.....	87
4.1.1	Zona de ubicación.....	88

4.1.2	Evaluación del espacio y equipo	90
4.2	Instalación de equipos ASIC	93
4.3	Enfriamiento.....	96
4.3.1	Sistemas de Enfriamiento	96
4.3.2	Flujo de Aire	98
4.4	Instalaciones eléctricas.....	99
4.4.1	Ubicación de tomacorrientes	99
4.4.2	Tableros eléctricos.....	100
4.4.3	Red de tierra.....	105
4.5	Infraestructura de la red de datos	108
4.5.1	Router	108
4.5.2	Switch	109
4.5.3	Patch panel.....	111
4.5.4	Cables de red	112
4.5.5	Rack.....	112
4.6	Evaluación económica.....	113
4.6.1	Costos de la planta de minería.....	113
4.6.2	Costos operativos.....	114
4.7	Rentabilidad de la planta de minería en El Salvador	117
4.7.1	Simulación de rentabilidad de los equipos ASIC	117
4.7.2	Resultados de la evaluación económica	127
4.8	Países con alta rentabilidad en la minería de bitcoin	134
	CONCLUSIONES	139
	RECOMENDACIONES.....	141
	REFERENCIAS.....	142
	ANEXOS	145

LISTA DE FIGURAS

Figuras capítulo 1

Figura 1.1 Evolución del valor del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2010 [1]	19
Figura 1.2 Evolución del valor del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2011-2013 [1].....	21
Figura 1.3 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2014-2016 [1].....	22
Figura 1.4 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2017-2019 [1].....	23
Figura 1.5 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2020-2023 [1].....	26
Figura 1.6 Resultados de la encuesta nacional de accesos y usos de productos y servicios financieros, realizada por el BCR. [4]	37

Figuras capítulo 2

Figura 2.1 Ejemplo de árbol de Merkel	43
Figura 2.2 Ejemplo del uso de herramienta de generador de hash SHA-256	46
Figura 2.3 Ejemplo de Merkle Root	47
Figura 2.4 Representación de un bloque.....	48
Figura 2.5 Representación de dificultad en la búsqueda de un hash válido para lograr minar un bloque.....	49
Figura 2.6 Representación de un bloque con valor de <i>nonce</i> 1	50
Figura 2.7 Representación de un bloque con valor de <i>nonce</i> 5467	50
Figura 2.8 Representación de un bloque con valor de <i>nonce</i> 2502026	51
Figura 2.9 Representación del sistema de pago PPLNS	54

Figuras capítulo 3

Figura 3.1 Gráfico de dificultad de la red Bitcoin (03-06-2023 al 03-06-2024) [21].....	59
Figura 3.2 Avalon Made A1466	64
Figura 3.3 Antminer S19 XP	65
Figura 3.4 Antminer S19 XP Hyd.....	66
Figura 3.5 Whatsminer M60S.....	66
Figura 3.6 Antminer S21.....	67
Figura 3.7 Antminer S21 Hyd.....	68
Figura 3.8 Antminer T21	68
Figura 3.9 Equipos ASIC en visita técnica a planta de minería en La Libertad	82
Figura 3.10 Montaje en infraestructura por niveles	82
Figura 3.11 Montaje en infraestructura por niveles	82
Figura 3.12 Montaje en infraestructura por niveles con equipos ASIC.....	83
Figura 3.13 Canalización de aire caliente hacia salida externa - Visita técnica	84
Figura 3.14 Montaje de equipos y sistema de refrigeración con AA.....	85

Figuras capítulo 4

Figura 4.1 Mapa de temperatura máxima promedio anual 2023 en El Salvador [22]	88
Figura 4.2 Sistema eléctrico en El Salvador [23]	89
Figura 4.3 Contenedor de 40 pies [24].....	91
Figura 4.4 Antminer S21.....	92
Figura 4.5 Propuesta de diseño de estructura.....	93
Figura 4.6 Diseño de estructura y montaje de 64 equipos ASIC, cotas en metros	94
Figura 4.7 Forma de distribución del montaje de 64 equipos ASIC, cotas en metros.....	94
Figura 4.8 Vista lateral del montaje y distribución de equipos.....	95
Figura 4.9 Vista en planta del montaje y distribución de equipos	95
Figura 4.10 Aire acondicionado de 36,000 BT.....	97
Figura 4.11 Esquema de instalación de aires acondicionados de 36,000 BTU	98

Figura 4.12 Vista en planta de esquema de separación de aire caliente	99
Figura 4.13 Tomacorriente E35805	100
Figura 4.14 Capacidades de corriente permisibles de conductores aislados según 310.16 NEC	102
Figura 4.15 Diagrama unifilar.....	104
Figura 4.16 EdgeRouter Infinity	108
Figura 4.17 Ubiquiti Switch Estándar 24.....	110
Figura 4.18 Configuración red de datos.....	111
Figura 4.19 Patch panel 24 puertos, Cat. 6 PND24-UC6	111
Figura 4.20 Armario rack 19" 18U GTLAN 31GTS1866S	113
Figura 4.21 Gráfico de la dificultad desde 24 de junio 2023 hasta 24 de junio 2024 [29].....	119
Figura 4.22 Gráfica del precio del bitcoin con respecto al USD desde el 16 enero 2024 al 23 junio 2024.....	120
Figura 4.23 Parámetros para simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine.....	121
Figura 4.24 Resultados de simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine	121
Figura 4.25 Parámetros para simulación de Bitmain S21 en WhatToMine	122
Figura 4.26 Resultados de simulación de Bitmain S21 en WhatToMine	122
Figura 4.27 Parámetros para simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine	123
Figura 4.28 Resultados de simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine.....	123
Figura 4.29 Parámetros para simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine (\$0.08/kWh) .	124
Figura 4.30 Resultados de simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine (\$0.08/kWh).....	124
Figura 4.31 Parámetros para simulación de Antminer S21 en WhatToMine (\$0.08/kWh)	125
Figura 4.32 Resultados de simulación de Antminer S21 en WhatToMine (\$0.08/kWh).....	125
Figura 4.33 Parámetros para simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine (\$0.08/kWh)	126
Figura 4.34 Resultados de simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine (\$0.08/kWh) ...	126
Figura 4.35 Costos en dólares de minar un bitcoin a nivel global [33]	136

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1 Especificaciones Antminer S21 [4]	92
Tabla 4.2 Carga térmica de la planta de minería [31].....	97
Tabla 4.3 Cuadro de carga de ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 y ST-5	101
Tabla 4.4 Cuadro de carga de ST-6	101
Tabla 4.5 Cuadro de carga de tablero general.....	101
Tabla 4.6 Cálculo de subestación.....	104
Tabla 4.7 Valores máximos permitidos de resistencia a tierra de subestación en función a su capacidad.....	105
Tabla 4.8 Factor de multiplicación para múltiples barras.....	106
Tabla 4.9 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos, Tabla NEC 250.122.....	107
Tabla 4.10 Especificaciones técnicas EdgeRouter Infinity.....	109
Tabla 4.11 Especificaciones Técnicas Ubiquiti Switch Estándar 24.....	110
Tabla 4.12 Categorías de cables de datos	112
Tabla 4.13 Presupuesto para la implementación de planta de minería.	114
Tabla 4.14 Clasificación de las tarifas en la factura eléctrica.....	115
Tabla 4.15 Pliego tarifario del servicio eléctrico en grandes demandas aplicable al usuario final desde el 15 de abril de 2024.....	115
Tabla 4.16 Promedio tarifa para grandes demandas, en media tensión con medidor horario	116
Tabla 4.17 Parámetros a utilizar en calculadora de rentabilidad de criptomonedas	119
Tabla 4.18 Cálculos del porcentaje de cambio promedio mensual de la dificultad durante el último año.....	129
Tabla 4.19 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 1.....	130
Tabla 4.20 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 2.....	131
Tabla 4.21 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 3.....	133
Tabla 4.22 Costos más altos para minar un bitcoin [33].....	137
Tabla 4.23 Costos más bajos para minar un bitcoin [33].....	137

INTRODUCCIÓN

En 2021, El Salvador se convirtió en el primer país del mundo en adoptar el bitcoin como moneda de curso legal, con el objetivo de mejorar la inclusión financiera y reducir las tarifas de remesas. Esta adopción ha provocado un intenso debate, a nivel nacional e internacional, sobre las ventajas y desventajas de la libre circulación de esta criptomoneda. Sin embargo, el auge de las criptomonedas ha transformado significativamente el panorama económico y tecnológico mundial. En el caso particular del bitcoin, se ha convertido en la criptomoneda más destacada, siendo objeto de interés tanto para inversionistas como para gobiernos.

La minería de bitcoin, es el proceso esencial mediante el cual las transacciones son validadas y registradas en la blockchain. Este proceso requiere de computadoras de alto rendimiento, una conexión a Internet con una velocidad mínima de 100 Mbps, un elevado consumo de energía eléctrica y espacios debidamente climatizados. Las fluctuaciones al alza del precio del bitcoin, ha llevado a muchos emprendedores a realizar grandes inversiones, comprando equipos y adquiriendo contratos con distribuidoras eléctricas y operadores de Internet. Esto ha dado lugar a una discusión sobre la factibilidad técnica y económica de implementar plantas para minar esta criptomoneda.

Este trabajo de graduación tiene como objetivo realizar una evaluación de los aspectos técnicos y económicos para la implementación de una planta de minería de bitcoin en El Salvador. El análisis incluirá una revisión detallada de las tecnologías disponibles y los costos implicados, tanto de hardware como de software; también, se analizarán aspectos relacionados con la Ley Bitcoin en El Salvador que regulan las criptomonedas, con la instalación eléctrica, las estructuras de montaje y el sistema de enfriamiento, que son esenciales para el funcionamiento eficiente de la planta.

Además, se utilizará un software predictivo para determinar la rentabilidad de la planta minera, con base al costo de la energía eléctrica y al precio del bitcoin. Con todo lo anterior, se pretende ofrecer una visión imparcial y completa sobre los aspectos claves a considerar para el desarrollo de la minería de bitcoin en El Salvador.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Realizar una investigación a profundidad para conocer la manera de implementar una planta de minería de bitcoin, considerando los costos iniciales en equipos, software y costos de operación y generar una proyección de rentabilidad esperada en la producción de bitcoin o fracciones del mismo.

Objetivos específicos:

- Investigar y analizar el proceso de generación de bitcoin, explorando su evolución hasta la forma más eficiente en que se lleva a cabo este proceso en la actualidad.
- Evaluar aspectos necesarios para el desarrollo o ejecución de una planta de minería de bitcoin en El Salvador, investigando los requisitos técnicos, aspectos logísticos y regulatorios.
- Realizar una estimación del costo de la implementación y operación de una planta de minería de bitcoin, en cual se tomará en cuenta el equipamiento tecnológico y los aspectos operativos, considerando condiciones específicas del país y factores para su ubicación.
- Evaluar la factibilidad económica y recuperación de la inversión en el proyecto, haciendo cálculos y simulaciones de desempeño del equipo; también, realizando proyecciones para diferentes escenarios.
- Identificar las oportunidades y retos de implementar estas plantas en El Salvador, analizando los obstáculos o facilidades que enfrentarían los inversionistas, ofreciendo así recomendaciones desde la perspectiva de la ingeniería eléctrica.

ALCANCES

- **Análisis detallado del funcionamiento de la generación de bitcoin:** Se pretende hacer un enfoque de forma completa sobre los procesos de minería de bitcoin, como lo son algunos conceptos de algoritmos matemáticos usados y características claves de la blockchain de bitcoin.
- **Estimación de costos iniciales y de operación:** Se realizarán cálculos de costos para el montaje y operación de una planta de minería de bitcoin, tomando en consideración factores principales como precios y consumo energético de los equipos mineros (GPUs, ASICs, etc.) y otros costos relacionados.
- **Proyección de la rentabilidad y riesgos a considerar:** Los datos recopilados a lo largo de la investigación serán utilizados para obtener una proyección, lo más cercana posible a la realidad, sobre la rentabilidad de una planta de minería de bitcoin en El Salvador, considerando un análisis financiero para la recuperación de la inversión y posibles ganancias, mostrando además los riesgos y desafíos que se presentan debido a la volatilidad del precio de bitcoin.

DEFINICIONES

Criptografía: Sistema mediante el cual los datos y la información de valor se almacenan o transmiten de tal manera que solo aquellos a quienes está destinado pueden leerlos, interpretarlos y procesarlos.

Criptomoneda: Es una forma de moneda digital que utiliza criptografía para garantizar la seguridad de las transacciones y controlar la creación de nuevas unidades.

Dirección criptográfica: Es una cadena de caracteres alfanuméricos que se utiliza para identificar de manera única una ubicación en una blockchain o red de criptomonedas específica. Estas direcciones se generan a partir de claves públicas y se utilizan para recibir fondos o activos digitales.

Bloque: Es una estructura de datos que contiene un grupo de transacciones válidas.

Nodo: Es una computadora o dispositivo que funciona como punto de conexión en una red de cadena de bloques. Verifican, almacenan y propagan la información en la cadena de bloques.

Halving: Reducción a la mitad de la recompensa otorgada a los mineros de criptomonedas por validar transacciones en un blockchain específico. Esto ocurre en ciclos predefinidos y se implementa para controlar la inflación y regular la oferta de la criptomoneda en cuestión.

Hashrate: Es la capacidad computacional total combinado que se utiliza para minar y procesar transacciones en una blockchain con un sistema de prueba de trabajo.

Bitlicense: Es un conjunto de regulaciones presentadas por el Departamento de Servicios Financieros del Estado de Nueva York diseñado para supervisar y regular las actividades de las empresas que trabajan con criptomonedas.

FTX: Es una plataforma de intercambio de criptomonedas con sede en Bahamas.

Token: Son un elemento que representa una cantidad de dinero fiduciario, pero que carece de curso legal. Una característica fundamental de los tokens es que son emitidos por una empresa privada para un uso específico. Además, se caracterizan por estar fabricadas con materiales de bajo valor.

Nodo minero: Es cualquier dispositivo que participa en la red manteniendo una copia de la *blockchain* y colaborando en la validación y propagación de transacciones.

Minero: Es una persona, entidad o dispositivo que realiza el proceso de minería, que es crucial para la seguridad y funcionamiento de la red *blockchain*.

Mempool: Es el área de almacenamiento temporal en cada nodo de una red *blockchain* donde se guardan las transacciones que aún no han sido confirmadas y agregadas a un bloque.

Acciones: Las acciones se refieren a unidades de trabajo computacional realizadas por los mineros dentro de un *pool* de minería. Cada acción representa un intento de resolver un problema matemático complejo y encontrar una solución válida que permita agregar un bloque a la cadena de bloques de la criptomoneda en cuestión.

Pool de minería: Consiste en una agrupación de recursos en las que varios mineros comparten potencia de cómputo en la red y, cuando se consigue minar un bloque, la compensación se reparte equitativamente al esfuerzo computacional que cada minero aporta para generarlo.

Algoritmo de consenso específico: Un algoritmo de consenso específico es un procedimiento mediante el cual todos los participantes de la red de una criptomoneda acuerdan la validez de las transacciones. Por ejemplo, la red Bitcoin utiliza el algoritmo de consenso de Prueba de Trabajo o también conocido como PoW (Proof of Work).

Hash: Es una función criptográfica que transforma una entrada de cualquier tamaño en una salida de una longitud fija, que es típicamente una cadena de caracteres. Esta salida se conoce como el “valor hash” o simplemente “hash”.

Rig: Es una configuración o ensamblaje de hardware diseñado específicamente para la minería de criptomonedas como Bitcoin, Ethereum, y otras más.

BTU: Un BTU mide la cantidad de calor que una unidad de aire acondicionado puede extraer de una habitación. A medida que la clasificación de BTU aumenta, también lo hacen el tamaño, el peso y el costo del aire acondicionado.

Protección eléctrica: Es el conjunto de medidas y dispositivos utilizados para prevenir daños en sistemas eléctricos debido a sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones, garantizando la seguridad y el correcto funcionamiento de los equipos.

Red de tierra: Es un sistema de conductores eléctricos interconectados que proporciona una referencia común de voltaje para equipos y protege contra descargas eléctricas al dirigir corrientes no deseadas, como las de fallos o rayos, hacia tierra.

CAPÍTULO 1: BITCOIN Y SU IMPACTO EN EL SALVADOR

Bitcoin es una criptomoneda que ha tenido un impacto significativo en la economía y las finanzas globales desde su creación en 2009. Se destaca porque es una moneda descentralizada, lo que quiere decir que no está controlado por un gobierno o entidad central. Este opera en una red de nodos distribuidos en todo el mundo. Bitcoin se utiliza para diversas aplicaciones, como inversión, transferencias de valor, remesas internacionales y como almacén de valor.

Su adopción como moneda de curso legal en El Salvador en el 2021 marcó un hito histórico. La Ley Bitcoin establece el marco legal para la adopción de bitcoin y buscó impulsar la incursión financiera y las remesas con una menor comisión, ya que muchas familias en El Salvador dependen de remesas de trabajadores en el extranjero. La adopción de bitcoin en El Salvador ha generado un intenso debate a nivel nacional e internacional.

1.1 Aspectos generales de Bitcoin

En esta sección se pretende dar a conocer los aspectos generales de Bitcoin, dando a conocer su definición, funcionamiento, historia, entre otros. Esto permitirá relacionar y entender de mejor manera los próximos capítulos, donde se abordarán temas más específicos.

1.1.1 Definición de Bitcoin

En primer lugar, para evitar confusiones, hay que comprender que el concepto de Bitcoin tiene dos acepciones ortográficas: Bitcoin (con “B” mayúscula) hace referencia a la red de intercambio de persona a persona; es decir, el entorno virtual donde se realizan todas las operaciones; incluyendo la cadena de bloques, sus usuarios y mineros. Mientras que bitcoin (con “b” minúscula y abreviado como BTC) es la unidad monetaria. En otras palabras, Bitcoin es un software y bitcoin es una moneda.

El Bitcoin es ejecutado por un software (código fuente) que está disponible gratuitamente para que cualquiera pueda verlo e incluso adaptarlo para su propio uso. Actualmente se ejecuta en múltiples ordenadores conectados a internet a través de un protocolo de red común definido por este mismo software.

Con respecto al bitcoin (BTC) es una moneda que sirve para intercambiar bienes y servicios, al igual que el euro o el dólar estadounidense. A pesar de que el bitcoin carece de una representación física en forma de papel, se considera una moneda al igual que las demás y tiene exactamente los mismos usos, solo que, a diferencia de estas, bitcoin (BTC) es una divisa virtual que presenta novedades y se destaca por su seguridad, eficiencia y facilidad de cambio. Las monedas como tal aparecen en las transacciones que mueven valor de emisor a receptor. Estas transacciones son totalmente públicas, se pueden conocer todas las realizadas desde el inicio del sistema hasta la actualidad.

La principal diferencia al resto de las monedas es que bitcoin es descentralizado, es producido por personas y empresas de todas partes del mundo (mineros), no tiene ningún emisor central, por lo que nadie lo controla. A continuación, se muestra una lista que nos ayudará a comprender mejor qué es Bitcoin y cuáles son sus características más relevantes.

- No pertenece a ningún estado ni país y puede usarse en todo el mundo por igual.
- No es necesario revelar tu información al hacer negocios y preserva tu privacidad.
- Un bitcoin es divisible y la unidad más pequeña se conoce como satoshi (0.00000001), por lo que $1 \text{ BTC} = 100,000,000 \text{ satoshis}$.
- Su emisión es limitada y el suministro total está limitado por diseño y es de 21 millones de unidades.
- El dinero te pertenece 100%, no puede ser intervenido por nadie, ni las cuentas pueden ser congeladas.
- Se pueden comprar bitcoins con otras monedas y viceversa, como cualquier divisa normal.

1.1.2 Funcionamiento de Bitcoin

Bitcoin funciona como una red de pagos de persona a persona, con la que podemos transferir dinero electrónico (*bitcoins*), su protocolo trabaja sobre internet y permite transferir bitcoins a cualquier parte del mundo de forma rápida, económica y sin intermediarios. Para almacenar y gestionar bitcoins, los usuarios utilizan billeteras electrónicas que les permiten acceder a sus fondos y realizar transacciones. Las billeteras electrónicas contienen un par de llaves o códigos criptográficos: la llave pública y la llave privada. Las llaves públicas funcionan como direcciones criptográficas para que los participantes de la red puedan enviar y recibir bitcoins, además no contiene ninguna información específica sobre el usuario remitente o receptor. En cuanto a la llave privada, se utiliza para autorizar o firmar transacciones y controlar los fondos asociados con una dirección de Bitcoin.

Como se había mencionado antes, Bitcoin no pertenece a algún estado o país, por lo tanto, no existe un ente o servidor central que tenga control sobre la red Bitcoin. La información de todas las transacciones de Bitcoin se almacena en una red de computadoras distribuidas en todo el mundo. Los usuarios pueden enviar y recibir bitcoins de manera digital. Cada transacción se registra en un bloque de la cadena de bloques (*blockchain*). La cadena de bloques es un sistema de datos enlazados, formado por unidades llamadas bloques, que contienen información sobre todas y cada una de las transacciones, incluyendo la fecha, la hora, el valor, el comprador, el vendedor y un código de identificación único para cada intercambio. La cadena de bloques, compuesta por muchos bloques individuales, crece constantemente en longitud y abarca todas las transacciones realizadas en Bitcoin desde su lanzamiento.

Los usuarios realizan transacciones de bitcoin, ya sea comprando, enviando o intercambiando esta criptomoneda. Las transacciones se transmiten a muchos ordenadores que compiten para validar los bloques. El proceso de validación, conocido como minería, es completado por los mineros de criptomonedas que poseen grandes recursos informáticos, como inmensos sistemas de hardware. Aquellos que resuelven los problemas criptográficos más rápidamente se ganan el derecho a validar bloques de transacciones de bitcoin y añadir nuevos bloques a la cadena, además de que reciben una recompensa en bitcoins por cada bloque que validan. Inicialmente en el lanzamiento de Bitcoin la recompensa por bloque validado fue de 50

bitcoins (BTC), cada cuatro años la recompensa se reduce a la mitad. Actualmente la recompensa es de 3.125 bitcoins (BTC).

La mayoría de los mineros de esta criptomoneda trabajan en grupos de minería, compartiendo tanto la capacidad de cálculo como las recompensas de bitcoin recibidas. Tras esto, añaden bloques a la cadena de bloques de Bitcoin. Cada transacción es triplemente verificada por el emisor, el receptor y el resto de la red. Cada nuevo bloque y la información de la transacción que contiene se copia instantáneamente en todo el mundo a las versiones locales de los mineros de bitcoin, lo que crea un consenso sobre el estado actual de la cadena de bloques de Bitcoin.

1.1.3 Definición del valor del bitcoin

El valor de bitcoin (BTC) no está definido por una sola entidad como un banco central. En lugar de ello, el precio se define por la oferta y la demanda o, en términos más sencillos, por lo que la gente está dispuesta a pagar. Cuando hay más demanda de bitcoin, el precio sube. Cuando hay menos demanda, el precio baja. Históricamente, los acontecimientos financieros mundiales y la cobertura mediática han afectado al precio del bitcoin.

La oferta y la demanda dependen de varios factores. Los cambios económicos, incluidas las bajadas y subidas de los precios en los mercados de valores y bonos, así como los acontecimientos a escala mundial, como la pandemia del coronavirus y la guerra de Rusia contra Ucrania, pueden afectar a la oferta y la demanda en los mercados internacionales.

Desde la creación del primer bloque llamado “Genesis”, todas las transacciones de la red Bitcoin han seguido un proceso preciso e inalterable. Los mineros crean nuevos bloques resolviendo problemas computacionales, y nuevos bitcoins entran en circulación. La única disposición del protocolo Bitcoin que implica un cambio es en la cantidad de la recompensa de bloque que reciben los mineros en un proceso llamado *halving* o reducción a la mitad. Hace referencia a la reducción a la mitad del valor de la recompensa de bloque cada 210,000 bloques o aproximadamente cada cuatro años. El objetivo de la reducción a la mitad es disminuir la cantidad de nuevas monedas que entran en la red.

Las reducciones de las recompensas pueden afectar al precio del bitcoin. Como las recompensas se reducen a la mitad, los nuevos bitcoins escasean, y esta escasez suele hacer subir el precio, aunque esto no siempre ocurre. El valor del bitcoin se ve influido además por factores similares de oferta y demanda enumerados anteriormente, junto con el interés general por las criptomonedas y la tecnología *blockchain*.

1.1.4 Billeteras electrónicas

Una billetera electrónica, también conocida como billetera digital o *wallet*, es un software que se conecta con las diferentes *blockchain* de las distintas criptomonedas, para poder realizar operaciones con ellas. Ya sea comprar, vender o almacenar monedas digitales.

Las billeteras electrónicas contienen dos llaves o códigos criptográficos, estas son llamadas llave pública y privada con las que los usuarios pueden enviar y recibir bitcoins. Una combinación de la llave pública del destinatario y la llave pública del usuario es lo que hace posible una transacción de bitcoins.

La llave privada crea una firma única que autoriza la transacción con una criptomoneda. Es un número secreto que solo debe saber el usuario. La llave pública es una dirección criptográfica que se utiliza para recibir bitcoins.

Las billeteras electrónicas se pueden dividir en dos categorías:

Billeteras calientes (*hot wallets*): Billeteras 100% online, que pueden ser aplicaciones o incluso se pueden instalar como extensiones al navegador.

Billeteras frías (*cold wallets*): Billeteras físicas (hardware) cuya premisa común es que funcionan sin conexión a internet y son dispositivos físicos, lo que les convierte en la opción más segura.

Entre estas dos categorías existen diferentes tipos de billeteras electrónicas las cuales se mencionan a continuación.

- **Billeteras de escritorio:** Son un tipo de paquete de software que se instala en computadoras. Permiten guardar bitcoins al almacenar las claves privadas en la

computadora. Además, se puede enviar y recibir bitcoins entre distintos usuarios disponiendo de las claves necesarias. Algunas de las billeteras de escritorio más importantes son Electrum, Exodus, Bitcoin Core, Armory.

- **Billeteras móviles:** Son aplicaciones diseñadas para dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes o tabletas. Estas billeteras permiten almacenar, enviar, recibir y gestionar criptomonedas de manera conveniente. Algunas de las billeteras móviles más importantes son Trust Wallet, Coinomi, Electrum (versión móvil), Atomic Wallet.
- **Billeteras de hardware:** Son dispositivos físicos que se usan para guardar bitcoins. Estos dispositivos almacenan las claves privadas fuera de línea, lo que las hace altamente seguras. Algunas de las billeteras de hardware más importantes son Ledger Nano S, Ledger Nano X, Trezor.
- **Billeteras en línea:** También conocidas como billeteras web, son servicios en línea que le permiten al usuario almacenar, gestionar y acceder a sus criptomonedas a través de un navegador web. Algunas de las billeteras en línea más importantes son: Coinbase, Binance, Kraken, BitGo, Exodus.
- **Billeteras de papel:** Son una forma de almacenar criptomonedas de forma segura. Es un trozo de papel que actúa como una billetera de criptomonedas. Se puede considerar como una billetera fría sin custodia, lo que significa que no está conectada a internet y que está enteramente a cargo del usuario y que nadie más lo controla. Es una impresión física que contiene los datos de la dirección de la billetera. Contiene las claves privadas y públicas escritas y también en formato de código QR.

1.1.5 Casas de intercambio de criptomonedas

Las casas de intercambio, también conocidas como *exchanges*, son plataformas en línea donde se pueden realizar operaciones de compra, venta o intercambio de monedas digitales.

El origen de las exchanges se remonta al 2010. En ese año un usuario del foro bitcointalk anunció que estaba diseñando el primer *exchange* en el que se podrían comprar y vender bitcoins a cambio de dólares. [6]

Existen dos tipos de *exchanges*, centralizados y descentralizados.

Las *exchanges* centralizadas (CEX) son plataformas en línea en las que interviene un tercero de confianza que actúa como intermediario entre compradores y vendedores. Por tanto, estos *exchanges* van a controlar las entradas y salidas de fondos que se depositan en sus cuentas para llevar a cabo las operaciones. A cambio, se quedan con una comisión de intermediación.

Algunos *exchanges* centralizados más conocidos son: Coinbase, Binance, Crypto, Kraken, Bitstamp, Bitfinex, FTX.

Las exchanges descentralizadas (DEX) son plataformas que permiten a los usuarios realizar intercambios de criptomonedas de igual a igual (peer-to-peer) sin necesidad de una entidad centralizada. Por tanto, los DEX solamente ponen en contacto a los usuarios, que son los que realizan la negociación de forma directa.

Algunos *exchanges* descentralizados más conocidos son: Uniswap, SushiSwap, PancakeSwap, dYdX, 1inch, Serum DEX.

1.2 Breve historia y evolución del bitcoin

1.2.1 2008-2010

Para hablar del origen del Bitcoin es necesario hablar de Satoshi Nakamoto, Bitcoin fue creado por una persona anónima (o grupo de personas) conocida como Satoshi Nakamoto. El 1 de noviembre de 2008 un mensaje es enviado a la lista de correo sobre criptografía de *metzdowd.com* firmado por Satoshi Nakamoto y titulado “Bitcoin P2P e-cash paper”. En este mensaje se describe un nuevo sistema de efectivo electrónico llamado Bitcoin que es totalmente de usuario-a-usuario y que no está basado en terceros de confianza, además, se hace referencia a un documento técnico

titulado “Bitcoin: Un Sistema de Efectivo Electrónico Usuario-a-Usuario” en donde se explicaba el funcionamiento del protocolo propuesto.

El 9 de noviembre de 2008, el proyecto Bitcoin fue registrado en *SourceForge.net*. El 3 de enero de 2009 entró en funcionamiento la primera red usuario a usuario bajo el nombre de “Bitcoin”, luego de la puesta en marcha del primer software de código abierto para ejecutar nodos de la moneda, lo cual supuso también la creación de los primeros bitcoins y el inicio de la minería de las mismas. El primer bloque que se creó es llamado el bloque génesis (fue minado por Satoshi Nakamoto).[5] Para entender el bloque génesis, imagine un libro de contabilidad que agrega nuevas páginas (bloques) diariamente y que contiene un registro de todas las transacciones de bitcoin que se hayan realizado. La primera página de este libro se llama el bloque génesis. El 9 de enero de 2009, Nakamoto publicó el código fuente de Bitcoin versión 0.01 en *SourceForge.net*.

La primera transacción de bitcoin en el mundo sucedió el 12 de enero de 2009. Hal Finney recibió 10 bitcoins de parte de Satoshi Nakamoto. Hal Finney es una de las primeras personas en adoptar, apoyar y contribuir a Bitcoin. Las primeras transacciones de la moneda tuvieron lugar entre los individuos en el foro Bitcointalk.

El 22 de mayo de 2010, el programador Laszlo Hanyecz realizó la primera compra de un bien con bitcoins. Se compró dos pizzas por la cantidad de 10,000 bitcoins, que en ese momento tenía un valor de \$41.

La última entrada de Satoshi Nakamoto fue publicada en el foro bitcointalk.org el 12 de diciembre de 2010. Su última comunicación conocida es un correo electrónico privado enviado unos meses después a Gavin Andresen, quien luego se convirtió en el desarrollador líder de la Fundación Bitcoin.

A continuación, se muestra un gráfico con la evolución del Bitcoin durante el 2010. En el momento de la última entrada de Satoshi en el foro, se estaba negociando alrededor de 25 centavos y se acercaba a 30 centavos por bitcoin. Además, el máximo precio fue de 39 centavos de dólar estadounidense.



Figura 1.1 Evolución del valor del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2010 [1]

1.2.2 2011-2013

El 14 de junio 2011 Wikileaks comenzó aceptar bitcoins tras el bloqueo por los procesadores de pagos electrónico Visa, MasterCard y PayPal.[5] Wikileaks es una organización mediática periodística sin ánimo de lucro que publica a través de su sitio web informes anónimos y documentos filtrados con contenido sensible en materia de interés público, preservando el anonimato de sus fuentes. Tras este hecho, Bitcoin acaparó la atención del mundo, debido al beneficio que podría obtener Wikileaks utilizando Bitcoin.

Durante el 2011, sucedió un sube y baja en el valor financiero del bitcoin, alcanzando un valor récord de \$1 por unidad de BTC, incluso llegando la cotización a \$30 por unidad de BTC, pero debido a preocupaciones sobre la falta de precedentes legales sobre este nuevo sistema monetario y la no consolidación de un mecanismo de comercio, a finales de año su cotización cae a valores mínimos entre los \$2 y \$4 por unidad de BTC. [Ver Figura 1.2]

En junio de 2012 se lanza Coinbase, una de las mayores casas de intercambio bitcoin actuales. En septiembre se creó la Fundación Bitcoin con el objetivo de ser una entidad que pueda estandarizar, proteger, informar y promocionar el protocolo de código abierto que conforma el BTC como mecanismo de aceleración del crecimiento global de la moneda. El lanzamiento de la fundación Bitcoin dio un respaldo a la moneda

El primer *halving* ocurrió en noviembre de 2012. El *halving* es un proceso que reduce de forma periódica a la mitad las recompensas por la creación de bloques, con el objetivo de frenar la emisión de la moneda. La recompensa por bloque se redujo de 50 a 25 bitcoins. Cada vez que ocurre un *halving*, la oferta de nuevos bitcoins baja, lo que puede tener un impacto en el precio y la adopción de la criptomoneda.

Con respecto al precio del bitcoin, tras la caída de los precios a finales del 2011, se inició una lenta recuperación en el 2012. A finales de año el precio del bitcoin se mantuvo arriba de los \$12. (Ver Figura 1.2)

En febrero de 2013, Coinbase informaba que ya vendía más de 1 millón de bitcoins mensuales. Luego en marzo, la *blockchain* se bifurcó durante 6 horas en dos cadenas de bloques independientes con reglas de consenso diferentes. Esto provocó ventas masivas de bitcoin y caídas en su precio, aunque se recuperó al poco tiempo.

El 23 de junio de 2013 la Administración de Control de Drogas de los Estados Unidos informó que había incautado 11.02 bitcoins, fue la primera vez que un organismo gubernamental incautaba una moneda digital.

En julio de 2013, el Gobierno de Tailandia prohibió el uso del bitcoin en el país. En agosto algunos organismos gubernamentales reconocieron el valor financiero de las criptomonedas. El 29 de octubre se lanzó el primer cajero Bitcoin del mundo en una cafetería de Vancouver, Canadá.

Con respecto a la evolución de los precios del bitcoin, el 2013 fue un gran año para la criptomoneda, en abril la unidad de BTC llegó a tener un valor arriba de \$200. Durante las últimas dos semanas de junio el precio cayó aproximadamente a los \$100. El precio escaló de los \$200 el 3 de noviembre a los \$900 el 18 de noviembre. El precio de un bitcoin superó los \$1,000 el 28 de noviembre de 2013 en el Mt. Gox. A finales del año bitcoin superó los \$1200. (Ver Figura 1.2)

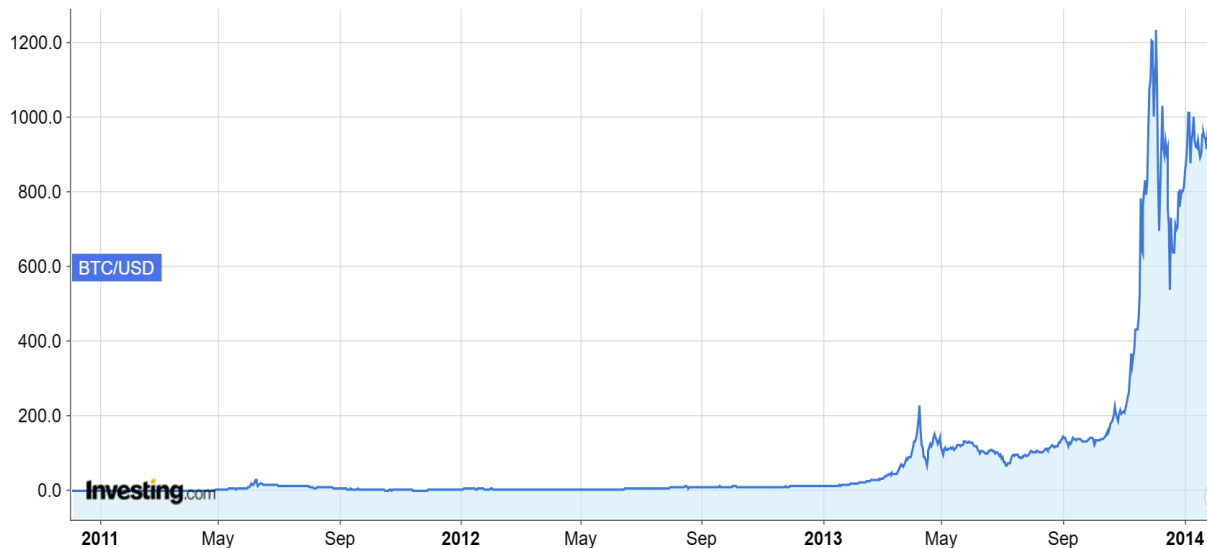


Figura 1.2 Evolución del valor del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2011-2013 [1]

1.2.3 2014-2016

Durante 2014 muchas empresas comenzaron a aceptar bitcoins. Entre ellos el desarrollador de videojuegos Zynga, el casino The D Las Vegas y el Golden Gate Hotel & Casino en el centro de Las Vegas. También importantes compañías como Dell, Newegg y Microsoft. [5]. En junio 2014, la capacidad de minería superó los 100 petahashes/segundo. [5]

En cuanto a la evolución del valor del bitcoin en 2014, el precio fue arriba de \$1,000 a principios de enero para después asentarse en el rango de \$800 a \$900 durante el resto del mes. En febrero el precio cae después del cese de actividad de Mt. Gox, para después recuperarse en torno a los \$600 a \$700. A finales del año, el precio cae en el rango de \$300 a \$400. (Ver Figura 1.3) En junio de 2015 el estado de New York lanza BitLicense. Esta licencia es diseñada específicamente para regular las actividades relacionadas con las criptomonedas y las empresas que brindan servicios relacionados en el estado de Nueva York. Fue introducida para establecer un marco regulatorio claro y proteger a los consumidores, así como para prevenir el uso de criptomonedas en actividades ilícitas como el lavado de dinero y el fraude.

En agosto de 2015, se estima que existían 160,000 comerciantes que aceptaban pagos en bitcoins. A estos, se unió Barclays y se convirtió en el primer banco comercial británico en comenzar a aceptar bitcoins para un sistema de donaciones a ONGs. [5]

A finales de 2015, el bitcoin aumentó su valor un 97%, superando los \$490 [Ver Figura 1.3]. En noviembre de ese mismo año el Financial Times publicó un estudio en el que concluía que esa rápida tasa de crecimiento estaba asociada a la popularidad de las redes socio-financieras MMM del empresario ruso Serguéi Mavrodi. [5]

En enero de 2016, la capacidad de minería superó 1 exahash/segundo. El 4 de marzo de 2016, el Gabinete de Japón reconoció que las monedas virtuales como el bitcoin tienen una función similar al dinero físico. [5]

El 9 de julio de 2016 tiene lugar el segundo *halving*. Los mineros pasan a recibir de 25 BTC a 12.5 BTC por cada bloque creado.

Entre las empresas importantes que empezaron a aceptar bitcoin durante 2016 se encuentran la mayor tienda online de Sudáfrica, Bidorbuy, la tienda online de videojuegos Steam, Uber Argentina y los Ferrocarriles Federales Suizos.

El precio del bitcoin tuvo un gran aumento de mayo a junio, comenzando en los \$450 hasta alcanzar un máximo de \$750. El 29 de diciembre se alcanzó el mejor precio del año, \$979. [Ver Figura 1.3]



Figura 1.3 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2014-2016 [1]

1.2.4 2017-2019

En abril de 2017 Japón aprobó una ley para aceptar bitcoins como método de pago legal, además Rusia anunció que legalizaría el uso de criptomonedas incluido el bitcoin. El banco en línea más grande de Noruega, Skandiabanken, integra cuentas bitcoin.

En enero de 2017, luego de tres años el precio de 1 BTC volvió a superar los \$1,000. Al finalizar el año el precio del bitcoin se disparó, llegando a un máximo histórico de toda la evolución del bitcoin, el 17 de diciembre alcanzó los \$19,783. [Ver Figura 1.4]

El 12 de enero de 2018, tras los rumores de que Corea del Sur se estaba preparando para prohibir el mercado de las criptomonedas, el precio del bitcoin cayó un 12% en los siguientes días del mes. El 18 de enero de 2018 Blockstream lanzó un sistema de procesamiento de pagos en línea para minoristas llamado “Lightning Charge”. [5]

El 5 de febrero de 2018, el precio del bitcoin bajó por debajo de los \$7,000. El 15 de noviembre el valor de mercado del bitcoin cayó por debajo de los 100 mil millones de dólares por primera vez desde octubre de 2017 y el precio del bitcoin cayó hasta los \$5,500. El 15 de diciembre el precio del bitcoin cayó, bajando a \$3,177. Este precio fue el más bajo de 2018. [Ver Figura 1.4]



Figura 1.4 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2017-2019 [1]

1.2.5 2020-2023

En el 2020 hubo una caída significativa del mercado del bitcoin debido a la incertidumbre global causada por la pandemia de COVID-19, después de haberse recuperado en el 2019 y los primeros dos meses del 2020, el 13 de marzo del 2020 el valor del bitcoin bajó aproximadamente a \$4,000. Sin embargo, el mercado se recuperó rápidamente en los meses siguientes aumentando significativamente su valor.

El 11 de mayo de 2020 ocurrió el tercer *halving* de Bitcoin. La recompensa por bloque pasó de 12.5 BTC a 6.25 BTC, lo que tuvo un impacto en la economía minera de Bitcoin y en las expectativas del mercado.

A lo largo del 2020, varias empresas e inversores institucionales comenzaron a invertir en Bitcoin como una reserva de valor y cobertura contra la inflación. En octubre, Square Inc. anunció la compra de 4,709 bitcoins por un valor de aproximadamente \$50 millones en ese momento. En diciembre de 2020, el valor del bitcoin superó su máximo histórico anterior y continuó su ascenso, superando los \$20,000 y llegando casi a \$30,000 a finales de año. [Ver Figura 1.5].

El inicio del 2021 fue excelente para el aumento del valor del bitcoin. En enero el bitcoin aumentó su precio, superando los \$40,000. En febrero, Tesla, liderada por Elon Musk, anunció la compra de 1,500 millones de dólares en bitcoin, lo que impulsó aún más la adopción institucional y el interés en las criptomonedas en general. De febrero a mediados de abril, el valor del bitcoin aumentó y superó los \$60,000. El 24 de marzo de 2021, Tesla empieza aceptar bitcoins como forma de pago.

En mayo de 2021, el mercado de bitcoin experimentó una corrección significativa, en parte debido a las preocupaciones medioambientales sobre el consumo de energía eléctrica en la minería de bitcoins y las declaraciones de Elon Musk sobre la suspensión de los pagos de bitcoin para Tesla. El 19 de mayo su valor se redujo, teniendo un valor aproximado de \$30,000.

El 7 de septiembre de 2021, El Salvador se convirtió en el primer país en adoptar bitcoin como moneda de curso legal, lo que generó debates sobre la adopción de bitcoin y otras criptomonedas por parte de otros países en el futuro. El 10 de noviembre de 2021 el valor del bitcoin volvió a batir máximos históricos y acercarse a los \$69,000. [Ver Figura 1.5]

En el 2022 fueron uno de los años menos positivos para bitcoin. A lo largo del año ocurrieron ciertos incidentes que aceleraron la caída del mercado, llevando a bitcoin a ubicarse más de un 60% por debajo de los casi \$69,000 que alcanzó en noviembre de 2021. A finales de febrero de 2022 las tensiones entre Rusia y Ucrania escalaron a un punto en el que la nación soviética inició una incursión armada sobre Ucrania. El conflicto armado en curso hizo sentir su peso sobre las economías locales e internacionales incluyendo el precio del bitcoin. El precio del bitcoin cayó por debajo de los \$40,000, niveles de precios que no se veían desde agosto de 2021. [Ver Figura 1.5] En abril del 2022 la República Centroafricana se convierte en el segundo país del mundo en reconocer el bitcoin como una moneda de curso legal.

En noviembre de 2022 colapsa el segundo *exchange* más grande del mundo, FTX. Las malas prácticas de sus responsables se hicieron públicas en un artículo en Coindesk que provocaron rumores de insolvencia. El 11 de noviembre la empresa anunció su bancarrota. Tras este acontecimiento el valor del bitcoin cae por debajo de los \$16,000. [Ver Figura 1.5]

En la primera mitad del 2023, el mercado de criptomoneda lidió con el efecto del colapso de FTX y la bancarrota de varias empresas relacionadas con las criptomonedas. Durante este período, la industria también fue testigo de una renovada demanda institucional de BTC y la aparición de *Ordinals* en la red *blockchain*. Los *Ordinals* son una forma de crear NFT en la red Bitcoin en la que los objetos digitales son almacenados directamente en la contabilidad de la red, eliminando la dependencia de servidores de terceros y logrando NFT realmente permanentes e inalterables. Las inscripciones de *Ordinals* surgieron en las redes de Bitcoin durante la primera mitad del año, permitiendo inscripciones de texto, audio e imágenes en la denominación más pequeña de Bitcoin, Satoshi. Los *Ordinals* llevó las transacciones diarias promedio de Bitcoin a un nivel récord, lo que generó tarifas de red más altas.

Hong Kong, Singapur, Reino Unido y Nigeria introdujeron políticas *pro-blockchain* diseñadas para atraer a más empresas de criptomonedas a sus regiones. En medio de estos eventos, el precio del bitcoin se disparó aproximadamente un 80% en el primer semestre del 2023. Se duplicó de alrededor de \$16,600 (1 de enero) a más de \$30,000 (30 de junio). [Ver Figura 1.5]



Figura 1.5 Evolución del precio del bitcoin en \$ (dólar estadounidense), año 2020-2023 [1]

1.3 Tecnología *blockchain*

En este capítulo se abordará el concepto de la *blockchain*, una tecnología revolucionaria que sirve como la base para la operación de Bitcoin y muchas otras criptomonedas. En esta sección se explorará el funcionamiento de la *blockchain*, su evolución y se comentará su importancia no solo en el ámbito de las criptomonedas, sino en otras industrias que están adoptando esta tecnología por sus aplicaciones en seguridad, trazabilidad y automatización de procesos.

1.3.1 Definición tecnología *blockchain*

La “*blockchain*” o también llamada “cadena de bloques” por su traducción del inglés, es un tipo de tecnología que se centra en un registro distribuido, es decir, una base de datos con el objetivo principal de registrar y verificar información de forma segura y transparente tales como documentación digital, transacciones, etc, manteniendo bloques de información ordenados y protegidos mediante la criptografía.

La tecnología *blockchain* es bastante utilizada en los procesos de criptomonedas tales como el bitcoin y se pueden considerar como una base sólida para estas debido a su utilidad, pero esta posee diferentes usos que van más allá que solo las criptomonedas.

En los procesos de criptomonedas como lo es el bitcoin, la cadena de bloques es una base de datos descentralizada y segura, explicada de otra forma, se refiere a que no posee una autoridad central o un intermediario que tenga un control total de datos o las transacciones que se generen con respecto a la criptomoneda, esto se logra debido a su estructura que está conformada en bloques de información enlazados de forma cronológica y secuencial (siguen un orden), teniendo esto como su principio (descentralización de forma segura).

La cadena de bloques contiene un conjunto de transacciones y un registro de tiempo totalmente únicos una vez que se completa un bloque, es decir, que maneja su propio conjunto de información con una sola y única dirección en el mundo, se agrega a la cadena de bloques existente de manera permanente lo cual añade una característica muy distintiva que llamaremos “inmutabilidad” (algo que no se puede cambiar o modificar), una vez que se añade información a la cadena, es extremadamente difícil modificarla o eliminarla.

En esencia, la *blockchain* se puede considerar como una gigantesca base de datos que recopila y almacena información de manera compartida y descentralizada. Este enfoque da lugar a un registro singular, pero simultáneamente genera copias sincronizadas, lo que imposibilita cualquier manipulación de los datos generando una estructura sólida

1.3.2 Evolución cronológica de la tecnología *blockchain*

Evolución 1991-2008, Primeros años de la tecnología *blockchain*

El nacimiento y origen de la tecnología *blockchain* se remonta a 1991, cuando Stuart Haber y W. Scott Stornetta dieron forma y un principio a una visión que más tarde se convertiría en lo que hoy se conoce como *blockchain*. Como punto de partida se centraron en la creación de una cadena de bloques protegida criptográficamente que garantizara que nadie pudiera alterar las marcas de tiempo de los documentos registrados. En 1992, realizaron una importante actualización al sistema al incorporar árboles de Merkle (“*árbol Merkle*” es una estructura de datos en forma de

árbol utilizada en criptografía y tecnologías de registro distribuido utilizado para verificar la integridad de los datos en un conjunto de información). El nombre de “árbol de Merkle” proviene del matemático estadounidense Ralph Merkle, quien propuso esta técnica. La incorporación de la estructura en forma de árbol ocasionó una mejora que aumentó la eficiencia y permitió almacenar más documentos en un solo bloque. No obstante, no sería sino hasta 2008 que la historia de la *blockchain* comenzaría a ganar un protagonismo significativo.

Evolución de *blockchain* Etapa 1 (2008-2013)

En los años comprendidos entre 2008 y 2013, se marcó el inicio de la tecnología *blockchain* con la aparición de la criptomoneda bitcoin. El bitcoin es solo una de las aplicaciones que utiliza esta innovadora tecnología conocida como *blockchain*.

Bitcoin vio la luz en 2008 cuando Satoshi Nakamoto publicó un artículo técnico que describe un sistema de efectivo digital “*peer-to-peer*” por sus siglas en inglés, “P2P” o “*red entre pares*” traducido al español, P2P representa una interacción entre usuarios sin necesidad de un intermediario central. Nakamoto creó el bloque génesis que fue el origen de una serie de bloques que se interconectan, dando origen a una cadena de bloques que transportaba una variedad de información y transacciones.

Desde la presentación de bitcoin, que es una aplicación de *blockchain*, surgieron numerosas aplicaciones que buscaban aprovechar los principios y capacidades de la tecnología de registro digital. La historia de *blockchain* comenzó a llenarse de una amplia gama de aplicaciones a medida que la tecnología tendía a evolucionar.

Evolución de *blockchain* Etapa 2 (2013-2015)

En el período de 2013 a 2015, se podría considerar como un resurgimiento de la tecnología *blockchain* considerándola como la era de *blockchain* 2.0 con el desarrollo de Ethereum. Vitalik Buterin, uno de los primeros contribuyentes al código de Bitcoin, percibió que el bitcoin poseía limitantes y estas no permitían aprovechar todas las capacidades de la tecnología *blockchain*. Dadas las limitaciones que esta presentaba, Vitalik Buterin, programador de origen Ruso, cofundador de “*Ethereum*”, comenzó a trabajar en una nueva *blockchain* que fuera más versátil y pudiera realizar múltiples funciones además de actuar como una red *peer-to-peer* (P2P). Así nació

Ethereum en 2013 como una nueva *blockchain* pública con funcionalidades más amplias que bitcoin.

Esta evolución marcó un punto crucial en la historia de *blockchain*. Ethereum se distinguió de la *blockchain* de bitcoin debido a que permitía a las personas el poder de registrar activos. Esta característica expandió las funcionalidades de Ethereum, convirtiéndola de una simple criptomoneda en una plataforma para el desarrollo de aplicaciones descentralizadas.

Esta nueva *blockchain* fue lanzada oficialmente en 2015. La *blockchain* de ethereum se ha convertido en una de las aplicaciones más destacadas de la tecnología *blockchain*, gracias a su capacidad para respaldar contratos inteligentes y aplicaciones descentralizadas, así como a su activa comunidad de desarrolladores.

Evolución de *blockchain* Etapa 3 (2018 - actualidad)

A partir de 2018, se inauguró la era de *blockchain* 3.0, que representa el futuro de la tecnología. Esta etapa de la historia y evolución de *blockchain* no se limita a bitcoin y ethereum, sino que involucra una serie de proyectos que aprovechan todas las capacidades de esta tecnología. Algunas de estas nuevas aplicaciones incluyen NEO (una plataforma *blockchain* de código abierto que se originó en China y se conoce comúnmente como el "Ethereum chino"). El nombre NEO proviene de la palabra griega "neos", que significa "nuevo" o "joven". Originalmente, se llamaba AntShares y se renombró como NEO en junio de 2017. La función principal de NEO se utiliza para la creación de contratos inteligentes y activos digitales en la cadena de bloques. Permite a los desarrolladores crear aplicaciones descentralizadas y procesos automáticos mediante la programación de contratos inteligentes. Otro proyecto que aprovecha las capacidades de dicha tecnología es IOTA (esta es una criptomoneda y una plataforma *blockchain*) esta tecnología está diseñada específicamente para el "*Internet de las cosas*" traducido al español proveniente de las siglas en inglés "IoT" (Internet of Things). El nombre IOTA se deriva de la palabra "IoT" antes mencionada esta hace referencia a su estructura de interconexión de dispositivos en línea.

También han surgido otras *blockchain* de segunda generación, como Monero, Zcash y Dash, (criptomonedas) que se centran en la privacidad y la seguridad de las transacciones.

1.3.3 Clasificación de la tecnología *blockchain*

La tecnología *blockchain* se ha desarrollado en varias formas a lo largo del tiempo. Según el World Economic Forum (Foro Económico Mundial), actualmente existen tres tipos principales de tecnología de registro distribuido, que son: sistema público, sistema privado y sistema híbrido.

Sistema público:

Carácter abierto: Este tipo de *blockchain* es de acceso público y abierto para cualquier persona que desee unirse a la red y participar en las transacciones. No se requiere permiso para acceder a la red.

Descentralización completa: La red es completamente descentralizada y no está bajo el control de ninguna entidad central o autoridad. Cualquier usuario puede validar transacciones y agregar bloques a la cadena de bloques.

Ejemplos: Bitcoin y Ethereum son ejemplos notables de sistemas públicos de *blockchain*.

Sistema privado:

Acceso restringido: En este caso, el acceso a la red de *blockchain* está restringido y controlado por una entidad o grupo selecto de participantes. Se requiere permiso para unirse a la red.

Mayor control: A diferencia de los sistemas públicos, los sistemas privados permiten un mayor control sobre quiénes pueden participar y validar transacciones en la red.

Ejemplos: Algunas empresas y organizaciones utilizan sistemas de *blockchain* privados para gestionar sus procesos internos y registros de transacciones.

Sistema híbrido:

Combinación de público y privado: Los sistemas híbridos combinan características de los sistemas públicos y privados. Pueden permitir acceso público a ciertas partes de la red mientras mantienen áreas privadas con acceso restringido.

Flexibilidad: Esto proporciona una mayor flexibilidad en términos de quiénes pueden participar y qué información es pública o privada.

Ejemplos: Algunos proyectos de *blockchain* implementan un enfoque híbrido para adaptarse a las necesidades específicas de su uso, como la cadena de suministro y la gestión de registros de atención médica.

Considerando todo lo anterior podemos decir que *blockchain* es una tecnología versátil que se utiliza para garantizar la seguridad, la transparencia y la confiabilidad en una amplia gama de aplicaciones tales como las diferentes criptomonedas existentes actualmente, desde transacciones financieras hasta la gestión de datos. Su capacidad para eliminar intermediarios y proporcionar un registro inmutable de eventos lo hace valioso en muchas industrias de las criptomonedas.

1.4 Adopción y regulación del bitcoin en El Salvador

El auge del dinero electrónico ha ido expandiendo a números significativos en todo el mundo a tal punto que la mayoría de la población que tiene acceso a este considera que es más práctico manejar su mayoría de ingresos de forma electrónica y hay un cierto grado de seguridad contra diferentes tipos de hurtos.

Durante el año 2021 se presentó una conferencia llamada “Conferencia Bitcoin Miami” en la cual el 5 de junio de 2021, durante el segundo día de la conferencia, Jack Mallers, fundador de una destacada aplicación de pagos con bitcoin, ofreció una presentación que llevaba por título “Un pequeño paso para Bitcoin, un gran salto para la humanidad”. Durante esta exposición, Mallers compartió un video del presidente Nayib Bukele, en el cual anunciaba su intención de enviar una propuesta de ley a la asamblea legislativa. El objetivo de esta propuesta era convertir al bitcoin en una moneda de curso legal en El Salvador. Hasta ese momento, el tema de las criptomonedas, y en particular del bitcoin, había sido prácticamente inexistente en la discusión pública de El Salvador. No se habían realizado previamente debates ni anuncios por parte del gobierno dirigidos a la población salvadoreña en relación con esta medida.

En el video presentado por Nayib Bukele en la conferencia Miami Bitcoin 2021, el presidente explicó que esta iniciativa tenía el propósito de “ayudar en el corto plazo a crear empleos e inclusión financiera”. Esta declaración representó el único marco de análisis proporcionado respecto a los objetivos de política pública detrás de la medida. A pesar de la notoriedad global de

esta decisión, no se tiene conocimiento de ningún otro criterio o factor que haya influido en la elección del bitcoin como la criptomoneda a ser legalizada. Tampoco se disponen de detalles sobre el inicio de las conversaciones entre el gobierno salvadoreño y empresarios extranjeros vinculados al bitcoin. Algunas investigaciones periodísticas han logrado rastrear ciertas conversaciones entre los hermanos del presidente Bukele y empresarios relacionados con el bitcoin hacia finales de mayo de 2021, apenas unos días antes del anuncio presidencial en Miami.

Durante las conversaciones realizadas, se discutió no solo la intención de convertir al bitcoin en moneda de curso legal, sino también la posibilidad de introducir una criptomoneda nacional distinta al bitcoin, con el respaldo de fondos públicos, como parte de un plan más amplio. Tan solo tres días después del anuncio realizado por el presidente Bukele durante la conferencia Bitcoin de Miami 2021, específicamente el 8 de junio de 2021, la ministra de economía presentó ante la asamblea legislativa el proyecto de Ley Bitcoin. Esta iniciativa, que ha generado un amplio debate en el país, marca un hito significativo en la historia económica y financiera de El Salvador, y plantea importantes interrogantes y desafíos para sus ciudadanos.

1.4.1 Aprobación de la Ley Bitcoin y su forma de implementación

En El Salvador, el 7 de septiembre de 2021, se aprobó una ley trascendental conocida como la “Ley Bitcoin”, un decreto de gran importancia que marcó un hito histórico al convertir al país en la primera nación del mundo en oficialmente adoptar el Bitcoin como moneda de curso legal.

La iniciativa fue presentada por el presidente Nayib Bukele, quien canalizó su propuesta a través de la ministra de economía, estableciendo un contacto directo con la Asamblea Legislativa de El Salvador. Esta propuesta se denominó oficialmente como el “Proyecto de la Ley Bitcoin en El Salvador” o simplemente “Ley Bitcoin.” Sorprendentemente, esta nueva legislación se promulgó en un lapso de tiempo notablemente breve, apenas cinco horas después de su presentación ante la asamblea legislativa. Durante este periodo, se llevó a cabo una discusión que, aunque relativamente corta, no superó las 2 horas y 21 minutos de duración. La Ley Bitcoin, compuesta por un total de 16 artículos, tiene como objetivo principal promover la inclusión

financiera de la población salvadoreña. Este análisis se encuentra detallado en el artículo “Bitcoin y Finanzas Públicas en El Salvador”.

El propósito fundamental de esta ley es regular el estatus del bitcoin como una moneda de curso legal en El Salvador, otorgándole pleno poder liberatorio y sin restricciones para su uso en cualquier tipo de transacción, ya sea esta de carácter público o privado, tal como lo establece el Artículo I del Decreto N° 57. La estructura de estos primeros artículos es notablemente simple y hace declaraciones bastante generales, lo cual podría parecer inadecuado dada la importancia económica del instrumento financiero que se está legalizando.

Artículo. 1.- La presente ley tiene como objeto la regulación del bitcoin como moneda de curso legal, irrestricto con poder liberatorio, ilimitado en cualquier transacción y a cualquier título que las personas naturales o jurídicas públicas o privadas requieran realizar.

A pesar de que bitcoin es una de las criptomonedas más populares a nivel mundial, su uso predominante es como un activo de inversión a largo plazo. Esto se debe a su histórico crecimiento en precio, lo cual motiva a las personas a mantenerlo como inversión en lugar de utilizarlo como medio de intercambio. Este hecho financiero plantea un desafío directo a la ley, ya que genera dificultades y confusión al intentar implementar su función como método de pago, especialmente en situaciones de alta volatilidad en el precio del bitcoin, lo que complica la fijación de precios en esta criptomoneda.

Los artículos del 4 al 6 de la ley regulan el tratamiento fiscal de las transacciones en bitcoin, permitiendo el pago de impuestos en esta criptomoneda y eximiendo las ganancias derivadas de su intercambio, ya sea en transacciones del sector privado o público, de impuestos sobre las ganancias de capital. Aunque la legalización de los pagos de impuestos con bitcoin representa un avance, es importante destacar que conlleva riesgos significativos para las finanzas públicas, debido a la marcada volatilidad de esta criptomoneda. No obstante, la ley no aborda de manera específica cómo se manejan las posibles pérdidas o ganancias que puedan surgir al aceptar bitcoin como medio de pago para impuestos. Además, hasta el momento, no se han dado a conocer regulaciones secundarias que aborden estos riesgos. En consecuencia, aún no está claro cómo se abordarán estos desafíos en el contexto de las limitaciones de liquidez de las finanzas públicas.

El artículo 7 de la Ley Bitcoin en El Salvador ha sido objeto de gran controversia desde su promulgación. Este artículo establece la obligación de que todo agente económico acepte pagos en bitcoin cuando así le sea ofrecido por quien adquiere un bien o servicio. La falta de precisión legal en esta disposición generó una serie de inquietudes, especialmente en lo que respecta al pago de salarios y otras compensaciones. Durante el período que transcurrió entre la aprobación de la ley y su entrada en vigencia, que se fijó para 90 días después de su promulgación, se mantuvo un debate constante sobre esta disposición. Desde diversos sectores de la sociedad civil se propusieron enmiendas a la ley para excluir explícitamente el pago de salarios y otras compensaciones de esta obligación, pero todas estas propuestas fueron rechazadas por el gobierno. Además, las declaraciones de varios funcionarios gubernamentales eran contradictorias o carecían de claridad en cuanto a la interpretación de esta disposición legal.

Los artículos posteriores de la ley establecen obligaciones generales para el Estado en cuanto a proporcionar alternativas para el uso de bitcoin por parte de la población y permiten al gobierno crear la estructura necesaria para la implementación de la ley. Nuevamente, la legislación es bastante concisa y no proporciona detalles sobre el tipo de instituciones que se planean crear ni sobre los costos financieros asociados. La única mención directa a los costos y la institucionalidad que se establecerán se encuentra en el artículo 14, que establece la creación de un fideicomiso administrado por el Banco de Desarrollo de El Salvador (BANDESAL).

En una de las disposiciones finales de la ley, se ordena al Banco Central de Reserva (BCR) y a la Superintendencia del Sistema Financiero emitir la normativa necesaria para la aplicación de la ley antes de que transcurran los 90 días que preceden a su entrada en vigor. Hasta la fecha, se han publicado en el portal del BCR dos normativas relacionadas con la participación de las entidades financieras en el ecosistema de bitcoin y los procedimientos de autorización para las plataformas de servicios de esta criptomoneda.

La adopción de bitcoin en El Salvador implicó la puesta en marcha de infraestructuras esenciales para facilitar su uso por parte de la población. En este contexto, el Gobierno salvadoreño desarrolló la *Chivo Wallet* (billetera digital respaldada por el fideicomiso de bitcoin administrado por BANDESAL), durante su lanzamiento la *Chivo Wallet* fue distribuida en plataformas como Play Store, Apple Store y App Gallery, esta aplicación permite a los ciudadanos realizar transacciones en bitcoin, recibir y enviar fondos, así como realizar compras.

Los requisitos para registrarse en la aplicación como tal eran disponer de un teléfono inteligente con acceso a internet, un documento de identificación salvadoreño (DUI o pasaporte) y un número de teléfono válido. Aunque la *Chivo Wallet* es exclusiva para transacciones realizadas dentro de El Salvador, los ciudadanos salvadoreños en el extranjero también pueden registrarse, siempre que cumplan con los requisitos mencionados. Cada persona puede tener una única cuenta de persona natural asociada a su documento de identificación.

La versatilidad de la billetera *Chivo Wallet* se extiende a su uso global, ya que puede ser utilizada en cualquier parte del mundo con acceso a internet. Además, ofrece la conveniencia de enviar dinero sin intermediarios las 24 horas del día, los 7 días de la semana, sin comisiones, y permite el retiro de fondos en dólares en cualquier momento. Asimismo, brinda a los usuarios la flexibilidad de gestionar tanto bitcoin como dólares estadounidenses. Esta iniciativa representa un paso significativo hacia la inclusión financiera y la adopción de tecnologías emergentes en El Salvador.

El gobierno de El Salvador ha llevado a cabo campañas de educación pública destinadas a familiarizar e incentivar a la población con el funcionamiento de bitcoin y la billetera digital *Chivo wallet* ya que esta es un software como tal que se usa para el manejo de la criptomoneda bitcoin.

Durante el proceso de impartir información de carácter educativo con respecto a la funcionalidad del software de la billetera, se brindó un bono de \$30 dólares en bitcoin para aquellos que descarguen y se registren en la aplicación. Según los resultados de la encuesta de evaluación realizada en el año 2021, llevada a cabo por la Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas" (UCA), se revela que un 56.6% de la población salvadoreña optó por utilizar la billetera virtual. Sin embargo, en dicha encuesta se refleja que, del total de descargas, el 55% de las personas la ocuparon una sola vez para el retiro de los \$30 dólares proporcionados por el Gobierno Salvadoreño.

Durante el proceso de lanzamiento del software de la billetera digital se destinaron fondos en la creación de cajeros automáticos de bitcoin y estos a su vez se instalaron en ubicaciones con puntos estratégicos en todo el país, además cada establecimiento cuenta con personal capacitado para atender y resolver los requerimientos de los usuarios.

El método de pago con criptomonedas gracias a la adopción del bitcoin proporciona a los consumidores flexibilidad y agilidad al momento de pagar con la criptomoneda en lugares como

supermercados, restaurantes de renombre y tiendas de electrónica. No obstante, la incorporación de bitcoin como método de pago no ha estado exenta de desafíos. La inherente volatilidad de esta criptomoneda ha generado dificultades para los negocios que deben enfrentar las fluctuaciones en su valor. En respuesta a esta situación, algunos empresarios y emprendedores salvadoreños han decidido convertir de inmediato sus ingresos en bitcoin a dólares estadounidenses con el fin de reducir este riesgo. Mientras tanto, otros han optado por mantener una porción de sus ganancias en forma de criptomoneda, con la esperanza de que su valor aumente a largo plazo.

1.4.2 Impacto económico por la Ley Bitcoin en El Salvador

Desde el anuncio de la implementación de bitcoin en El Salvador como moneda de curso legal, se ha planteado su utilidad como herramienta destinada a promover la inclusión financiera, con el objetivo de acercar el sistema financiero a la población y, específicamente, reducir los costos asociados con las transferencias de remesas hacia el país. Esta estrategia cobra aún más relevancia considerando las cifras reveladas por la “encuesta nacional de capacidades financieras” realizada por el Banco Central de Reserva en 2022 [Ver Figura 1.7], donde se evidenció que sólo el 27.8% de la población adulta posee con una cuenta de ahorro, además se revela que del total de personas que poseen una cuenta de ahorro, el 84.0% tiene su cuenta en bancos, el 8.1% en federaciones cooperativas, el 3.7% en bancos cooperativos, el 3.0% en otras instituciones y solamente 1.2% en sociedades de ahorro y crédito. En este contexto, bitcoin emerge como una alternativa disruptiva que permite a las personas llevar a cabo transacciones financieras sin depender de una cuenta bancaria tradicional, ofreciendo una solución accesible y global que podría tener un impacto significativo en la mejora de la calidad de vida y la promoción de la inclusión financiera en el país.

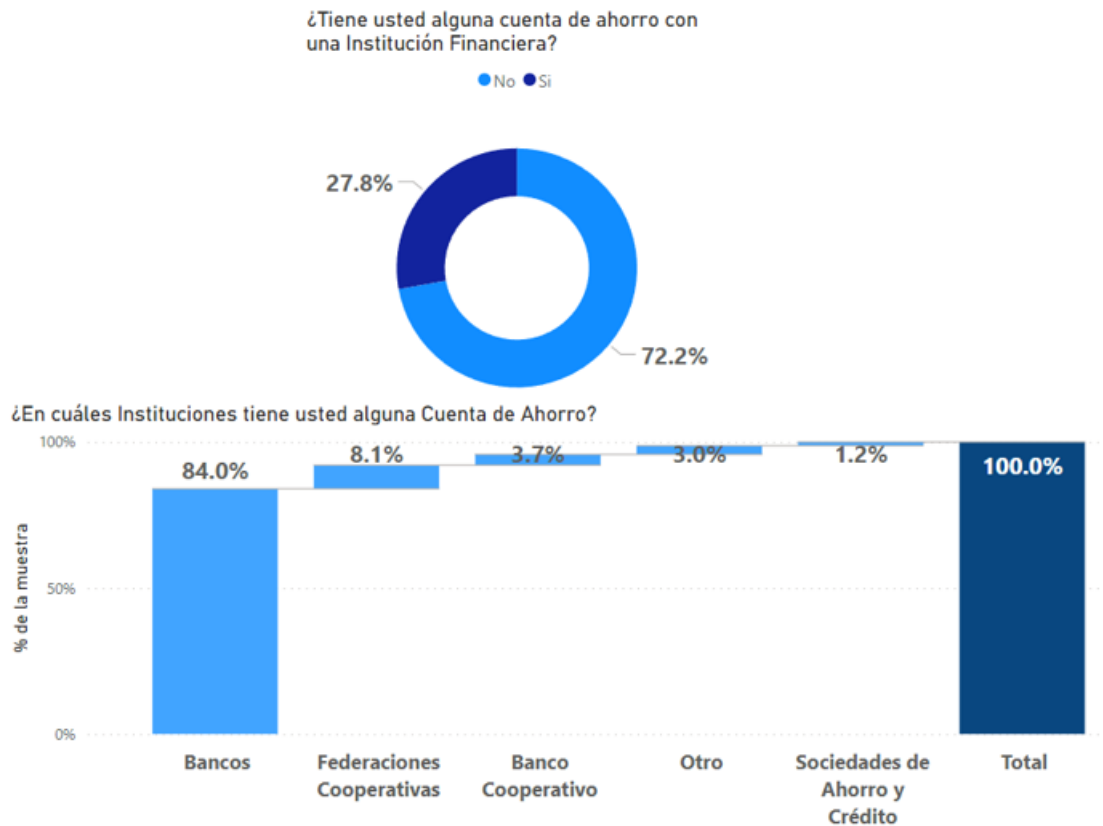


Figura 1.6 Resultados de la encuesta nacional de accesos y usos de productos y servicios financieros, realizada por el BCR. [4]

Las remesas internacionales desempeñan un papel crucial en la economía salvadoreña, representando el 28% del Producto Interno Bruto (PIB) en el año 2021. Además, son un factor socioeconómico de gran relevancia para los hogares salvadoreños, ya que constituyen una fuente importante de ingresos para cubrir necesidades básicas como alimentación y vivienda. En este contexto, contar con una herramienta eficiente, segura y económica para transferir remesas sería un beneficio significativo para la población de El Salvador. El gobierno señaló la eliminación de los costos de transacción en las remesas como uno de los principales beneficios de la adopción de bitcoin como moneda de curso legal en el país. Según la encuesta de hogares de propósitos múltiples del 2019 realizada por el Banco Central de Reserva, el 82.5% de la población salvadoreña destinan las remesas para suplir sus necesidades de alimentación y vivienda, lo que subraya aún más la importancia de facilitar el acceso a estas remesas a través de soluciones financieras eficientes.

En el período comprendido entre enero y mayo de 2022, tan solo el 1.65% del total de las remesas recibidas en El Salvador se canalizaron a través de billeteras de criptomonedas. A pesar del mayor costo asociado a estas transacciones, las personas que envían remesas continúan utilizando los métodos tradicionales para hacerlo. Las razones detrás del fracaso de la iniciativa gubernamental de reemplazar los medios tradicionales de envío de remesas con la billetera Chivo aún no se han aclarado por completo, y requerirían un análisis detenido y una recopilación de opiniones de las personas que envían remesas a El Salvador. Sin embargo, desde una perspectiva financiera, el traslado de remesas a través de la billetera Chivo conllevaba un riesgo implícito relacionado con la volatilidad del precio del bitcoin, que en algunas ocasiones podría resultar en una pérdida significativa de los fondos transferidos, superando cualquier costo asociado con los métodos de envío tradicionales.

Hasta la fecha, se ha calculado que la inversión necesaria para llevar a cabo la implementación de bitcoin en El Salvador asciende a un total de al menos 205 millones de dólares americanos. Esta cifra engloba diversos gastos, entre los que se destacan los \$150 millones de dólares destinados a poner en funcionamiento el Fideicomiso de Bitcoin, otros 2 millones de dólares para adquirir tecnología de comunicaciones, \$23.3 millones de dólares asignados al "Proyecto Cripto Friendly", debe aclarar que no hay documentos oficiales que describan en qué consiste este proyecto, finalmente, \$30 millones de dólares americanos destinados a financiar el bono de incentivo relacionado con la billetera electrónica *Chivo wallet*. Es importante señalar que, según datos de la encuesta nacional de capacidad financiera realizada por el Banco Central de Reserva en el 2022, únicamente el 34.8% de la población tiene conocimiento acerca de las billeteras digitales. Además, es relevante mencionar que estos costos pueden no abarcar las adquisiciones de bitcoin anunciadas por el presidente Nayib Bukele, ya que estos anuncios se han realizado únicamente a través de su cuenta personal de X (antes Twitter), lo que ha generado dificultades para determinar la fuente de los fondos públicos utilizados en dichas compras.

En el proceso de monitoreo de la cuenta en la red social X del presidente Nayib Bukele, se han identificado un total de 12 anuncios relacionados con la compra de bitcoin, con un costo acumulado estimado de aproximadamente \$119.2 millones de dólares; sin embargo, no ha sido posible obtener información pública oficial acerca de la fuente de los recursos utilizados para estas adquisiciones, los precios de compra y la valoración de las compras de bitcoin anunciadas.

Hasta la fecha del 20 de enero de 2023, el valor del portafolio de compras de bitcoin en el mercado asciende a un poco más de \$116.9 millones de dólares, lo que representa una pérdida cercana a los \$2.3 millones, equivalente a más del 1.94% de la inversión inicial. Esta situación pone de manifiesto las contradicciones en el enfoque del gobierno en relación con el Bitcoin, ya que esta criptomoneda ha sido utilizada tanto como moneda de curso legal como un activo de inversión especulativa. A pesar de las declaraciones del ministro de Hacienda Alejandro Zelaya que afirman que estas compras de bitcoin, a pesar de las caídas en su precio, "no generan pérdidas" debido a que se consideran inversiones a largo plazo, es necesario tener en cuenta los impactos en la liquidez y la salud financiera del gobierno en el corto plazo.

1.4.3 El bitcoin en El Salvador como modelo de impulso a nuevas inversiones

El bitcoin en El Salvador ha sido otorgado el estatus de moneda, a diferencia de otros países donde se considera un activo. Esta distinción es de gran relevancia en el contexto fiscal, dado que, al ser clasificado como moneda en lugar de activo, según el artículo 5 de la Ley Bitcoin, no estará sujeto al impuesto sobre las ganancias de capital. Esta circunstancia representa una ventaja significativa para los inversores de bitcoin que obtengan beneficios a partir de las variaciones de su precio a lo largo del tiempo. En otras palabras, aquellos inversores que consideran a bitcoin como un activo en el que desean invertir a largo plazo se ven especialmente beneficiados por esta regulación.

Además, es necesario tener en cuenta los artículos 4 y 6 de la Ley Bitcoin. El primero establece que se pueden efectuar pagos de obligaciones tributarias en bitcoin, mientras que el segundo indica que el dólar se utilizará como referencia para fines contables. Estos 2 artículos permiten que las personas aprovechen la notable volatilidad del bitcoin en su beneficio y les brindan la oportunidad de reducir su carga fiscal. El sistema fiscal de El Salvador tiene la particularidad de no cobrar impuestos a la propiedad, lo que puede ser un atractivo para las personas y empresas que deseen establecer operaciones en el país. Esta exención de impuestos a la propiedad puede significar una reducción significativa en los costos totales relacionados con la adquisición de inmuebles para vivienda o la instalación de oficinas físicas. Esta ventaja fiscal

puede resultar beneficiosa para aquellos que consideren invertir o establecerse en El Salvador, ya que reduce la carga tributaria asociada a la propiedad y facilita el proceso de traslado y expansión de negocios en el país.

Aunque es un hecho que, de cada diez salvadoreños, seis se oponen a la decisión del gobierno de Nayib Bukele de adoptar bitcoin como una segunda moneda nacional, es evidente que existe un extenso trabajo por delante antes de que la población pueda comenzar a disfrutar de los beneficios de esta adopción de bitcoin.

CAPÍTULO 2: PROCESO DE LA MINERÍA DE BITCOIN

La minería de criptomonedas es un proceso relevante para aquellos que ingresan al mundo de las monedas digitales, especialmente si hablamos de la minería de bitcoin. Este proceso combina una complejidad de algoritmos que a su vez se ven resueltos por hardware y software especializado cuyo funcionamiento es mantener una red financiera totalmente segura y sin intermediarios.

Los denominados mineros de criptomonedas desempeñan un papel importante dentro de la red *blockchain*, parte de sus funciones es asignar el hardware y software adecuado para el tipo de criptomoneda a minar y de esta forma aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles.

Uno de los objetivos principales dentro de la minería de criptomonedas es generar transacciones de forma transparente y así mantener una integridad y seguridad dentro de la *blockchain* haciendo uso del software y hardware. Este proceso es denominado *PoW*, del inglés “*Proof-of-Work*” (Prueba de Trabajo), dicho proceso es el encargado de verificar la validez y la resolución correcta de un algoritmo que posteriormente será parte de la cadena de bloques, como, por ejemplo, en la red bitcoin dará lugar a nuevas unidades de moneda bitcoin. El mantener una seguridad alta dentro de la red bitcoin da como resultado el evitar gastos duplicados de las monedas, incorporación de monedas falsas, algoritmos sospechosos, etc.

Esto de minar criptomonedas, conlleva cumplir con los procesos de transacción y validación de algoritmos dentro de la *blockchain* y al completar estos procesos, los mineros reciben compensaciones y comisiones, de esta forma se concluye el proceso de minería de criptomonedas.

2.1 Funcionamiento de la minería de bitcoin

Cuando los usuarios realizan transacciones en la red de Bitcoin, los pagos o transferencias de la criptomoneda no se confirman inmediatamente. Estas transacciones se envían a un pool denominado mempool o pool de memoria. Este concepto se refiere a la acumulación de transacciones pendientes y sin confirmar en la blockchain. Un nodo minero es responsable de recolectar transacciones no confirmadas de la mempool y reunir las en un bloque candidato. Luego

el minero intenta validar el bloque candidato. El trabajo de un minero es verificar la validez de estas transacciones pendientes, validando los bloques candidatos. Para validar un bloque, el minero debe resolver un problema criptográfico que requiere gran poder de recursos informáticos. Sin embargo, al validar un bloque, el minero recibe una recompensa del bloque que consiste en las criptomonedas recién creadas, y las comisiones de las transacciones.

Paso 1: Hashing de transacciones

El proceso inicial para minar un bloque implica la selección de transacciones pendientes de la mempool, que luego se procesan individualmente mediante una función hash. Cada vez que un conjunto de datos pasa por la función hash, se produce un *output* de tamaño fijo conocido como hash.

Dentro del ámbito minero, el hash de una transacción se compone de una combinación de 64 caracteres alfanuméricos que actúa como una identificación única. Este hash representa toda la información contenida en la transacción.

Aparte del hashing y agregar cada transacción individualmente, el minero también agrega una transacción personalizada conocida como *coinbase*, en la que se envía a sí mismo la recompensa del bloque. Esta transacción es de gran importancia, pues es la que crea monedas nuevas (que nunca han circulado) cuando se añade un bloque a la *blockchain*.

Paso 2: Crear un árbol de Merkle

Después de que cada transacción ha sido sometida al proceso de hashing, los hashes se estructuran en lo que se conoce como un árbol de Merkle). Un árbol Merkle, es una estructura de datos dividida en varias capas que tiene como finalidad relacionar cada nodo con una raíz única asociada a los mismos. Este árbol se forma al agrupar los hashes de las transacciones en pares y luego someter estos pares al proceso de hashing.

Las nuevas salidas de los hashes se agrupan en pares y se someten nuevamente al proceso de hashing. Este procedimiento se repite hasta que se obtiene un único hash, tal como se muestra en la Figura 2.1. Este último hash se conoce como *Merkle Root*, y es básicamente el hash "raíz" que representa todos los hashes anteriores que se utilizaron para generarlo.

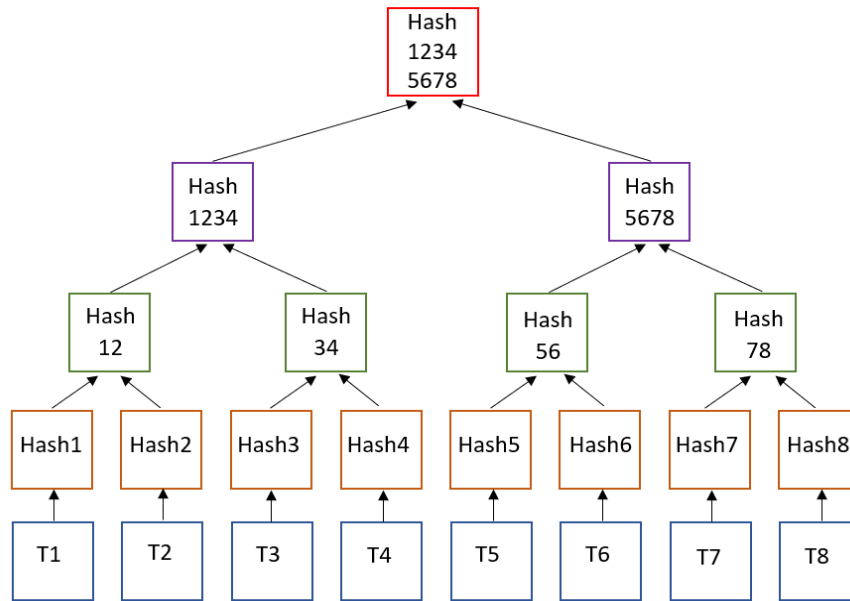


Figura 2.1 Ejemplo de árbol de Merkel

Paso 3: Encontrar un encabezado del bloque válido (hash de bloque)

El encabezado (header) de cada bloque sirve como una identificación única para cada bloque individual, lo que significa que cada bloque tiene su propio hash único. Cuando los mineros crean un nuevo bloque, combinan el hash del bloque anterior con el root hash de su bloque candidato, para generar el hash de un nuevo bloque, además de agregar un número arbitrario llamado nonce.

Por lo tanto, mientras intentan validar un bloque candidato, los mineros deben combinar el hash raíz, el hash del bloque anterior y el nonce, y luego procesarlos mediante una función hash. Su objetivo es repetir este proceso varias veces hasta que pueda crear un hash válido.

El root hash y el hash del bloque anterior son fijos y no pueden ser alterados. Por lo tanto, los mineros deben ajustar el valor del nonce repetidamente hasta que encuentren un hash que cumpla con ciertos criterios de validez. Para ser considerado válido, el hash resultante (del bloque) debe ser menor que un valor objetivo específico, determinado por el protocolo. En la minería de bitcoin, este valor objetivo implica que el hash del bloque debe comenzar con un cierto número de ceros, lo que se conoce como la dificultad de minería.

Paso 4: Propagar el bloque minado

Como se ha comentado, los mineros deben repetidamente someter el encabezado del bloque a la función de *hash* con diferentes valores de *nonce*. Este proceso se repite hasta que encuentran un hash de bloque válido. Una vez encontrado, el minero que lo descubre propaga este bloque a la red. Los demás nodos verifican la validez del bloque y su *hash*; Si todo está en orden, añaden el nuevo bloque a su copia de la *blockchain*.

En este punto, el bloque candidato se convierte en un bloque confirmado, y todos los mineros se preparan para minar el siguiente bloque. Los mineros que no lograron encontrar un hash válido descartan su bloque candidato, reiniciando así la competencia por la minería.

2.2 Etapas de una transacción en Bitcoin y el rol del minero

Para entender el sistema de Bitcoin, es de importancia comprender el proceso de una transacción en Bitcoin y el papel que desempeña el minero para obtener una recompensa.

En una transacción de bitcoin, intervienen dos actores, los cuales son:

- **Usuarios normales:** Son los usuarios regulares del sistema Bitcoin. Utilizan bitcoins para comprar y pagar bienes y servicios, generando así transacciones en el sistema.
- **Mineros:** Individuos que ponen a disposición sus equipos y la potencia de minado que estos poseen para resolver problemas criptográficos en la red Bitcoin.

A continuación, se detalla un ejemplo del proceso de una transacción en la red bitcoin:

1. Ana decide comprar un producto en línea de Carlos y elige pagar con bitcoins. Ana inicia una transacción desde su billetera de bitcoins, especificando la cantidad de bitcoins que desea transferir a la dirección de la billetera de Carlos.
2. Una vez que Ana ha iniciado la transacción, esta se difunde a través de la red P2P de Bitcoin. La transacción se propaga de nodo en nodo hasta que llega a varios mineros en la red.

3. El minero recibe la transacción de Ana y la verifica. Para hacerlo, comprueba que Ana tiene suficientes bitcoins en su billetera para completar la transacción y que la transacción cumple con todas las reglas y protocolos de la red Bitcoin.
4. Después de verificar la transacción de Ana, el minero la incluye en un nuevo bloque de transacciones. Este bloque también puede contener transacciones de otros usuarios de Bitcoin que han sido verificadas y agrupadas en el mismo bloque. El minero comienza a trabajar en la resolución de un problema criptográfico, conocido como Prueba de Trabajo (PoW), para agregar este bloque a la cadena de bloques de Bitcoin.
5. Una vez que el minero ha resuelto el problema criptográfico y ha encontrado una solución válida, envía el nuevo bloque completo a la red P2P de Bitcoin. Este bloque incluye la transacción de Ana hacia Carlos, así como otras transacciones confirmadas.
6. Los nodos de la red Bitcoin reciben el nuevo bloque y lo validan. Cada nodo actualiza su copia local del libro mayor de Bitcoin (la cadena de bloques) incluyendo el nuevo bloque de transacciones. Los nodos verifican que el bloque cumpla con todas las reglas de consenso de la red. Una vez que un nodo ha verificado el bloque, lo añade a su copia de la cadena de bloques y lo propaga a otros nodos en la red.

2.3 Proof of Work

El sistema de Prueba de Trabajo o *Proof of Work (PoW)* es un protocolo que verifica que los participantes de una red completen exitosamente una tarea computacional, generalmente costosa, como requisito para acceder a los recursos de la red. En la red Bitcoin es parte importante para prevenir el doble gasto.

En un sistema de base de datos es necesario gestionar la información para actualizar, mantener, eliminar y añadir nueva información. En el sistema de Bitcoin, la *blockchain* actúa como una base de datos descentralizada que registra de manera inmutable todas las transacciones realizadas. Sin embargo, la descentralización se debe a la criptografía y el mecanismo de consenso. La criptografía se utiliza para garantizar la seguridad y la autenticidad de las transacciones, mientras que el mecanismo de consenso, en el caso de Bitcoin, es la Prueba de Trabajo (PoW),

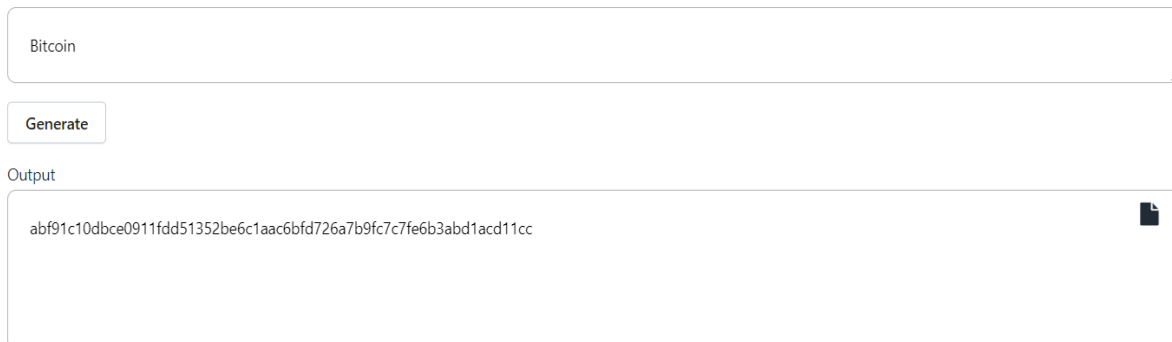
que se utiliza para determinar qué transacciones son válidas y cómo se agregan a la cadena de bloques. Estos elementos trabajan en conjunto para crear un sistema descentralizado y seguro.

En un sistema basado en Prueba de Trabajo (PoW) como el de Bitcoin, las transacciones se anuncian en la red. Los nodos las incluyen en un bloque candidato y, para que una transacción sea considerada válida, dicho bloque debe ser validado y añadido a la *blockchain*.

La incorporación de bloques a la *blockchain* ocurre aproximadamente cada diez minutos. Durante este proceso, los nodos dedican tiempo y esfuerzo computacional para intentar agregar y validar los bloques, aquí es donde entra en juego el concepto de Prueba de Trabajo. Una vez que el bloque ha sido validado, las transacciones se confirman y los registros de todos los nodos de la red se actualizan con el nuevo bloque de transacciones. El nodo que logra validar el bloque es recompensado con nuevos bitcoins y con tarifas de transacción asociadas a ese bloque. Esta recompensa incentiva a los mineros a participar en la red y a dedicar recursos computacionales a la seguridad de la misma. En conclusión, la Prueba de Trabajo garantiza la confirmación y seguridad de las transacciones a través del consenso de la red y la construcción de bloques, logrados mediante el trabajo computacional realizado por los mineros.

2.4 Ejemplo de minado de un bloque

Para realizar una ejemplificación de cómo se mina un bloque haremos uso de una herramienta generadora de SHA-256, la cual convierte cualquier entrada de datos a un hash.



Bitcoin

Generate

Output

abf91c10dbce0911fdd51352be6c1aac6bfd726a7b9fc7c7fe6b3abd1acd11cc

Figura 2.2 Ejemplo del uso de herramienta de generador de hash SHA-256

Cuando realizamos una entrada de datos en el generador de hash, para el ejemplo que se muestra en la Figura 2.2 la entrada de datos es la palabra “Bitcoin” el hash resultante es “abf91c10dbce0911fdd51352be6c1aac6bfd726a7b9fc7c7fe6b3abd1acd11cc”, este hash resultante únicamente le corresponde a la palabra “Bitcoin”. Si la entrada de datos es modificada, el hash resultante será completamente distinto.

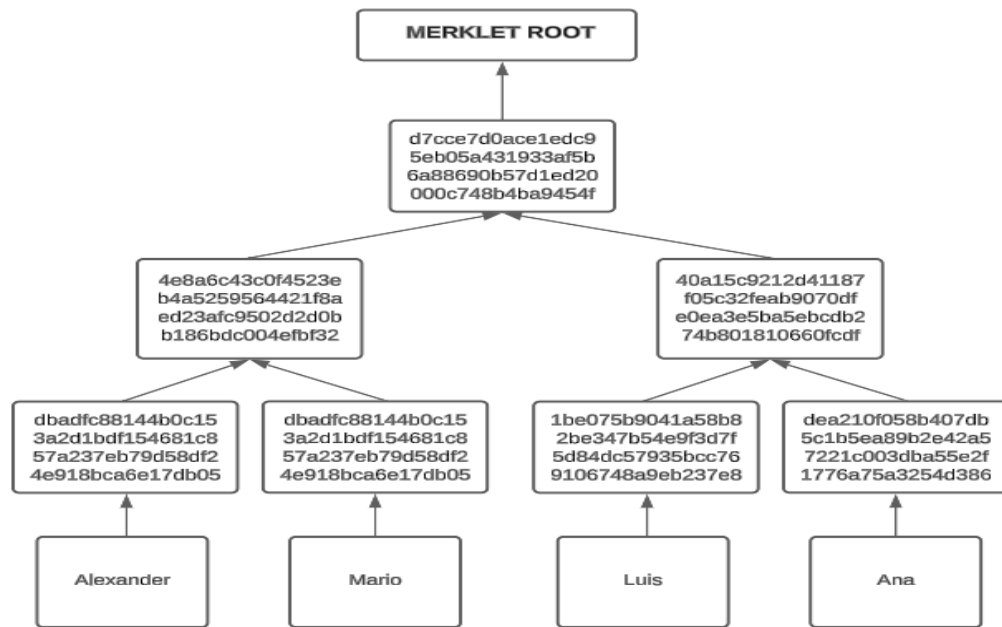


Figura 2.3 Ejemplo de Merkle Root

El primer paso que realiza un minero es validar las transacciones y posteriormente “hashearlas”, por simplicidad usaremos el nombre de personas para las transacciones.

En la Figura 2.3 tenemos cuatro transacciones, Alexander, Mario, Luis y Ana. Para garantizar la integridad de estas transacciones, primero se calcula el hash de cada transacción individualmente. Luego, se agrupan las transacciones en pares, Alexander y Mario, y Luis y Ana. Se calcula el hash de cada par de transacciones, resultando dos nuevos hashes, uno para el par Alexander y Mario, y otro para el par Luis y Ana.

Posteriormente, se agrupan estos dos nuevos hashes en otro par y se calcula un nuevo hash para este par. Se repite este proceso de agrupar en pares y se calcula el último hash, el cual recibe el nombre de root hash o Merkle Root. El root hash o Merkle Root representa todos los hashes previos que han sido utilizados para generar y verificar la integridad de todos los datos, debido a que, si alguien intenta alterar algún dato en el conjunto, se notará porque el hash raíz resultante ya

no coincidirá con el hash raíz original. Esto hace que los árboles de Merkle sean útiles en sistemas donde la integridad de los datos es crucial.

Para minar un bloque se debe tener presente los siguientes parámetros:

- **Nonce:** Es un número aleatorio el cual el minero debe encontrar. Su función es ajustar el hash de un bloque para que cumpla con ciertos requisitos, como la dificultad de minería. [12]
- **Versión del código:** Es un número que indica la versión del software utilizado para crear o interpretar un bloque en la blockchain. Permite mantener la compatibilidad entre diferentes versiones de software.
- **Hash del bloque anterior:** Es el hash del bloque anterior en la cadena de bloques. Cada bloque en una blockchain contiene el hash del bloque anterior, lo que crea una cadena de bloques en orden cronológico imposible de romper.
- **Dificultad:** Es un valor que determina cuán difícil es encontrar un hash válido para un nuevo bloque en la blockchain. Cuanto mayor sea la dificultad, más tiempo y esfuerzo se requiere para encontrar el hash correcto.
- **Timestamp** (define el tiempo): Es una marca de tiempo que indica cuándo se creó un bloque en la blockchain. Ayuda a mantener un registro ordenado y cronológico de las transacciones.

Un bloque se puede representar de la siguiente manera:

Bloque 15
Nonce: xx
Datos (transacciones): Alexander → a Mario 1 BTC Luis → a Ana 0.62 BTC
Hash del bloque anterior: 0000000000000000000000009877235e8ff0c2e74e81847a679c9aaa108a5e4500b6
Hash obtenido: xx

Figura 2.4 Representación de un bloque

El objetivo para lograr minar un bloque es encontrar un *hash* del bloque que cumpla con ciertos requisitos de *dificultad*. Para hacer esto, los mineros deben modificar el *nonce* (que es una parte del encabezado del bloque), calcular el hash del bloque con ese nuevo *nonce* y verificar si el *hash* resultante cumple con los criterios de *dificultad*. Si no cumple, el minero ajusta el *nonce* y repite el proceso. Este ciclo se repite hasta millones de veces por segundo hasta que se encuentra un *hash* que cumpla con los requisitos.

El *nonce* es crucial, porque permite a los mineros variar la entrada para el cálculo del *hash* sin cambiar ninguna otra información en el bloque. Esto les da la capacidad de generar diferentes resultados de *hash* y, por lo tanto, se busca un *hash* que cumpla con los requisitos de *dificultad*.

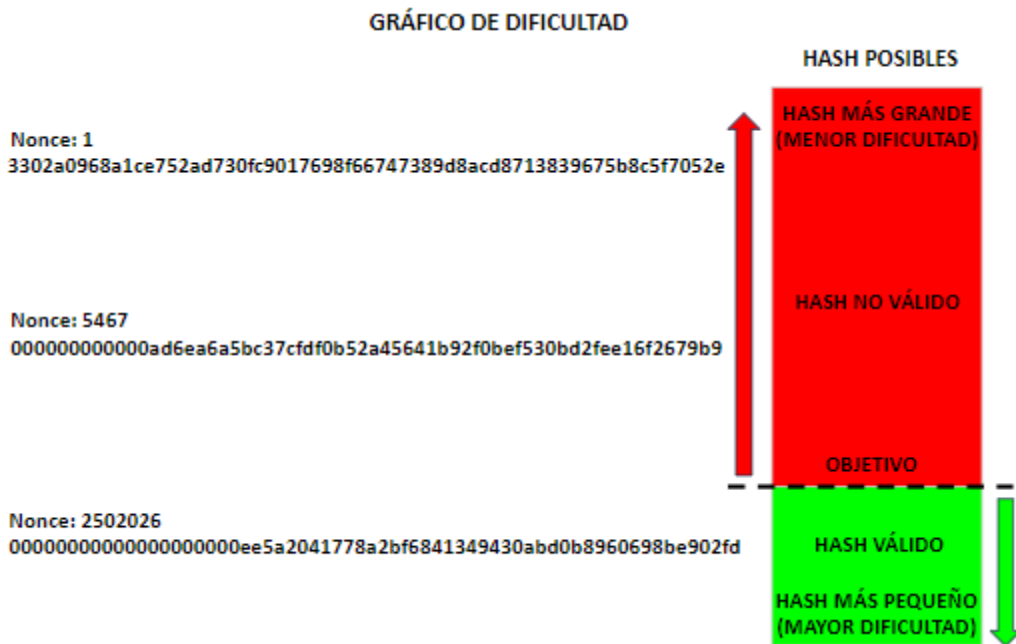


Figura 2.5 Representación de dificultad en la búsqueda de un hash válido para lograr minar un bloque

La dificultad para lograr minar un bloque en Bitcoin se muestra en la Figura 2.5. Se observa que al variar el *nonce*, se genera un hash aleatorio que debe cumplir con un objetivo específico. En la actualidad, este objetivo implica que el hash generado debe comenzar con 20 ceros para ser considerado válido. Este requisito demuestra la complejidad y el esfuerzo computacional necesario para validar y agregar un nuevo bloque a la cadena.

Para ilustrar la función del *nonce* y la *dificultad* en el proceso de minado de un bloque en la red de Bitcoin, a manera de ejemplo se establece un valor inicial de *nonce* de "1". Tras calcular

el *hash* del bloque utilizando este *nonce* inicial, se obtiene un resultado hexadecimal que se muestra en la Figura 2.6.

Bloque 15
Nonce: 1
Datos (transacciones): Alexander → a Mario 1 BTC Luis → a Ana 0.62 BTC
Hash del bloque anterior: 0000000000000000000009877235e8ff0c2e74e81847a679c9aaa108a5e4500b6
Hash obtenido: 3302a0968a1ce752ad730fc9017698f66747389d8acd8713839675b8c5f7052e

Figura 2.6 Representación de un bloque con valor de *nonce* 1

Al observar este hash, se nota que es mayor el objetivo definido por la red. Esto indica que el hash está por encima del objetivo de dificultad mostrada en la Figura 2.5. En términos simples, no cumple con los criterios de dificultad requeridos por la red para validar un bloque, dado que el hash no satisface los requisitos de dificultad, se entiende que se debe intentar nuevamente. Aquí es donde entra en juego el *nonce*, ajustando el valor del *nonce* a uno nuevo, se puede recalcular el hash del bloque. Este proceso se repite hasta que se encuentre un hash que cumpla con los criterios de dificultad establecidos por la red.

Bloque 15
Nonce: 5467
Datos (transacciones): Alexander → a Mario 1 BTC Luis → a Ana 0.62 BTC
Hash del bloque anterior: 0000000000000000000009877235e8ff0c2e74e81847a679c9aaa108a5e4500b6
Hash obtenido: 00000000000ad6ea6a5bc37cfd0b52a45641b92f0bef530bd2fee16f2679b9

Figura 2.7 Representación de un bloque con valor de *nonce* 5467

2.5.1 Minería en solitario

La minería en solitario, como su nombre lo indica, es la minería que trabaja de forma independiente para resolver los bloques en la *blockchain*, y así recibir las compensaciones sin unirse a un grupo de mineros. Cuando un minero solitario resuelve un bloque de transacciones, recibe la compensación completa del bloque, que consta de la compensación del bloque y las tarifas de transacción asociadas.

Como minero independiente, tendría que hacer una inversión inicial significativa y costos continuos que pueden no estar cubiertos por sus ingresos mineros. Los mineros solitarios tienen el riesgo de no recibir compensaciones dado que estas son variables y dependen de su potencia de procesamiento para poder resolver bloques. Pueden pasar períodos largos sin recibir compensaciones debido a la competitividad que existe de parte de los demás mineros para poder validar bloques.

La minería en solitario puede ser más adecuada para aquellos mineros con una potencia de hash significativa y que están dispuestos a asumir el riesgo con respecto a la variabilidad en las compensaciones.

2.5.2 Minería en grupo (*pool* de minería)

Un *pool* de minería o grupo de minería es una asociación de mineros de criptomonedas que se unen para combinar los recursos y potencia de procesamiento para aumentar las posibilidades de resolver y validar los bloques en la *blockchain* y así recibir compensaciones de manera más regular y predecible.

Cuando un minero se une a un *pool* de minería, este contribuye con su potencia de procesamiento al grupo minero. Cuando el grupo minero resuelve y valida un bloque, las compensaciones se distribuyen ya sea proporcionalmente a la contribución de potencia de cada minero o de la manera que el *pool* de minería lo establezca. En los grupos mineros generalmente puede haber ciertas comisiones o tarifas. Esta tarifa ayuda a cubrir los costos operativos del grupo.

La minería en *pools* comenzó cuando la dificultad de la minería aumentó hasta el punto de que los mineros con menos capacidad de procesamiento podían tardar siglos en generar un bloque. La solución a este problema fue que los mineros agruparan sus recursos para poder generar bloques más rápidamente y, por lo tanto, recibir una parte de la compensación del bloque de manera constante, en vez de esperar largos períodos de tiempo para obtener una compensación de forma aleatoria. [9]

Existen diversos métodos de pago empleados por los grupos de minería. A continuación, se mencionan los más utilizados:

- **Pay Per Share (PPS):** (traducido al español *Pago Por Participación*). Ofrece a los mineros un pago por cada acción válida que contribuyen al *pool*. Independientemente si se resuelve un bloque o no, el minero tendrá un pago de las acciones válidas que aporte. Este método de pago garantiza que los participantes reciben una compensación constante.

Una acción o acciones se refiere a las unidades de trabajo computacional realizadas por los mineros dentro de un *pool* de minería. Cada acción representa un intento de resolver un problema matemático complejo y encontrar una solución válida que permita agregar un bloque a la cadena de bloques de la criptomoneda en cuestión.

Cada acción vale una determinada cantidad de BTC o de cualquier otra criptomoneda. El valor de las acciones se calcula en función de la probabilidad del número de acciones necesarias para que un *pool* resuelva un bloque. Por ejemplo: si un grupo minero necesita 1000 acciones válidas para resolver un bloque, y la compensación al resolver este bloque es de 3.125 BTC (en el momento de escribir el documento), entonces cada acción vale 0.003125 BTC (3.125 BTC/1000 acciones).

- **Pay Per Last N Shares (PPLNS):** (traducido al español *Pago Por Último Número de Participaciones*). En este tipo de pago, los mineros reciben compensaciones únicamente cuando el *pool* de minería resuelve un bloque. El cálculo de la compensación de los mineros se basa en las acciones válidas que hayan contribuido durante un período de tiempo específico, conocido como “ventana temporal”. Cuando el *pool* resuelve un bloque, retrocede en el tiempo hasta esta ventana temporal y verifica las acciones válidas contribuidas por cada minero durante ese período. Luego, los mineros reciben una parte de la compensación del bloque en función de sus contribuciones válidas dentro de esta ventana

de tiempo. En la Figura 2.9 se representa lo recién explicado sobre el sistema de pago PPLNS. Este método de pago incentiva a los mineros a contribuir consistentemente al esfuerzo de minería del *pool*, ya que las compensaciones se basan en su actividad reciente, en lugar de la frecuencia de resolución de bloques del *pool*.

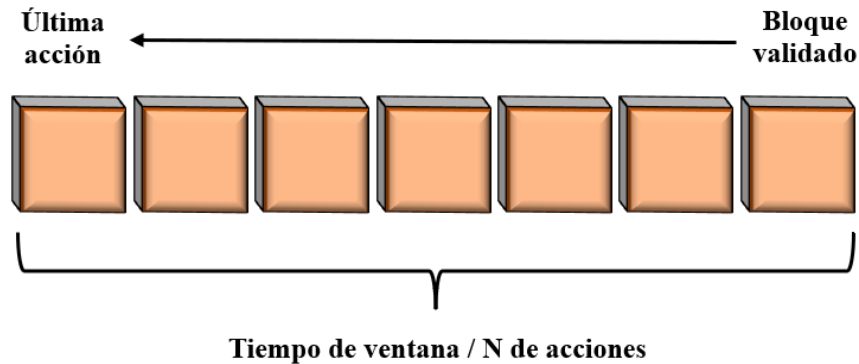


Figura 2.9 Representación del sistema de pago PPLNS

- **Full Pay Per Share (FPPS):** (traducido al español *Pago Completo Por Participación*). Es un método de pago utilizado en pools de minería de criptomonedas. En este método, cuando se encuentra un bloque, el grupo divide la compensación del bloque entre los mineros participantes. Además de la compensación del bloque, los mineros también reciben un pago por procesar las transacciones incluidas en ese bloque.

Con FPPS, el grupo de minería incluirá la compensación de la *tarifa de transacción* en los pagos realizados a los mineros. Esto significa que los mineros reciben una compensación completa por todas las acciones válidas que contribuyen, incluyendo las tarifas de transacción asociadas. Esta característica contrasta con el método PPS (*Pay Per Share*), donde la compensación de la tarifa de transacción no está incluida en los pagos realizados a los mineros.

- **PPS+:** Es una combinación única de los métodos de pago PPS y PPLNS. En este método, la compensación por bloque minado se determina utilizando el modelo PPS, lo que significa que los mineros reciben una compensación fija por cada acción válida que contribuyen al *pool* de minería. Sin embargo, lo que hace único a PPS+ es que el cargo por servicio de minería o la tarifa de transacción se calcula utilizando el modelo PPLNS. Esto

significa que, además de la compensación fija por acción, los mineros también reciben una parte de las tarifas de transacción recolectadas por el *pool* de acuerdo con el método de pago PPLNS.

- **Pago proporcional (Prop):** Un método de pago proporcional distribuye una compensación minera de acuerdo con una cantidad de acciones válidas proporcionadas durante la ronda. Cuando se encuentra un bloque, la compensación se reparte entre los mineros de forma proporcional a la cantidad de acciones válidas que aporta cada miembro.

Para comenzar con la minería de grupos, la elección del grupo es importante. Al evaluar las opciones, se deben considerar aspectos como la tarifa del *pool*, la reputación, los ciclos de pago, la forma de pago y el tamaño del grupo minero, entre otros. Es fundamental considerar estos aspectos antes de tomar la decisión de unirse a un determinado grupo.

2.5.3 Minería en la nube

La minería de criptomonedas en la nube, es un servicio que permite generar beneficios minando criptomonedas sin la necesidad de disponer del hardware o infraestructura propia. En lugar de eso, se alquila la potencia de procesamiento de un proveedor de minería en la nube.

Básicamente, se contrata un servicio proporcionado por empresas especializadas que permiten a los usuarios alquilar poder de procesamiento o *hashrate* desde sus instalaciones remotas. Estas empresas poseen y operan grandes plantas dedicados a la minería de bitcoins u otras criptomonedas. Los usuarios contratan estos servicios mediante un contrato, pagando una tarifa fija o variable según el poder de procesamiento contratado y la duración del contrato. A cambio, los usuarios reciben una parte de las criptomonedas generadas por la granja minera en función del poder de procesamiento que hayan alquilado. Este modelo permite a las personas involucrarse en la minería de criptomonedas sin tener que lidiar con la compra, instalación y mantenimiento de equipos mineros especializados, así como con los costos de electricidad y refrigeración asociados.

Al elegir un proveedor de minería en la nube, es fundamental asegurarse de la reputación del proveedor para garantizar la seguridad y rentabilidad de la inversión. La reputación de una

empresa puede determinarse mediante la investigación de opiniones y testimonios de otros usuarios, así como la verificación de su historial y trayectoria en el mercado de criptomonedas.

Uno de los proveedores de servicios de minería en la nube más reconocidos es Binance. Binance, una de las plataformas de intercambio de criptomonedas más grandes, también ofrece servicios de minería en la nube. Su amplia experiencia en el sector y su sólido historial la convierten en una opción atractiva para aquellos interesados en la minería en la nube.

Otro proveedor es Genesis Mining, es una de las empresas más grandes y reconocidas en el sector de la minería en la nube. Fundada en 2013, ofrece una amplia gama de servicios de minería en la nube, permitiendo a los usuarios minar varias criptomonedas sin la necesidad de comprar y mantener hardware costoso.

CAPÍTULO 3: EQUIPOS DE MINERÍA DE CRIPTOMONEDAS Y SU ADQUISICIÓN

En el mundo de las criptomonedas, uno de los elementos fundamentales para el éxito de una planta de minería es la selección adecuada del hardware y software que se utilizará. La evolución tecnológica en este campo ha permitido el desarrollo de equipos especializados que maximizan la eficiencia energética y la capacidad de procesamiento, elementos clave para generar rentabilidad. En este capítulo, exploraremos los diferentes tipos de hardware diseñados específicamente para la minería de criptomonedas, con un enfoque particular en bitcoin, y el software que facilita su operación.

Otro apartado que se tomará en cuenta es la rentabilidad en la minería, que depende en gran medida del equilibrio entre los costos asociados y los ingresos generados por el proceso de minería. Uno de los factores más determinantes en este equilibrio es el costo de los equipos de minería, que varían significativamente dependiendo del tipo de hardware utilizado.

Además de la inversión inicial en la adquisición de los equipos, es crucial tener en cuenta los costos operativos, como el consumo energético, internet y actualizaciones del hardware. Estos factores impactan directamente en el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial y comenzar a generar ganancias. En este contexto, la fluctuación del valor de las criptomonedas y la dificultad creciente del proceso de minería también juegan un papel importante en la determinación de la rentabilidad a largo plazo.

3.1 Hardware de minería

En el contexto de minería de criptomonedas, el hardware se refiere a los dispositivos físicos utilizados para realizar el proceso de minado, que implica resolver complejos problemas criptográficos para validar transacciones en la *blockchain* de Bitcoin y recibir a cambio recompensas en forma de nuevos bitcoins. Estos equipos pueden variar desde computadoras personales hasta dispositivos totalmente especializados o diseñados para este entorno, por ejemplo, equipos ASIC (Circuitos Integrados de Aplicación Específica).

3.1.1 Tipos de hardware en los procesos de minería

Existen diversos tipos de hardware para la minería de criptomonedas, que abarcan desde opciones más accesibles económicamente hasta dispositivos con un mayor costo. Los equipos de minería más comunes incluyen los CPU, GPU y ASIC.

Inicialmente, el bitcoin fue minado utilizando la capacidad de procesamiento de los CPU, pero más tarde, los mineros migraron hacia los GPU por su mayor capacidad de procesamiento. La evolución continuó con la adopción de los ASIC, que se consideran actualmente la mejor opción para la minería de bitcoin, debido a su capacidad de procesamiento de alta velocidad y eficiencia energética, haciendo que sean más rentables que otras alternativas de hardware. Las innovaciones en hardware de minería de criptomonedas se han centrado en mejorar la eficiencia energética y la capacidad de procesamiento.

3.1.2 CPU

La Unidad Central de Procesamiento conocida por sus siglas CPU, (del inglés *Central Processing Unit*) es un componente del hardware dentro de computadoras, teléfonos inteligentes, y otros dispositivos programables. Es responsable de ejecutar instrucciones de los programas mediante la realización de operaciones básicas aritméticas, lógicas, de control y de entrada/salida. Su importancia radica en su capacidad para influir directamente en el rendimiento general del sistema.

El funcionamiento de la CPU se puede dividir en tres actividades principales: *fetch* (recuperación), *decode* (decodificación) y *execute* (ejecución). Durante el ciclo de *fetch*, la CPU recoge las instrucciones de la memoria del ordenador. Luego, en el ciclo de *decode*, interpreta estas instrucciones y finalmente, en el ciclo de *execute*, realiza la acción requerida. Este proceso se repite millones de veces por segundo, permitiendo que el ordenador realice operaciones complejas a partir de instrucciones básicas. [1]

La minería con CPU es el tipo de minería más básico, en el cual se utiliza el procesador de una computadora para resolver y validar los bloques en la cadena de bloques. En las primeras monedas que se minaron en la red Bitcoin se utilizaron CPU, debido a que la dificultad de la red era mucho menor y las CPU podían competir eficazmente en la validación de bloques, sin embargo, con el tiempo esta ha aumentado significativamente. La dificultad aumenta con el tiempo a medida que más mineros compiten por validar transacciones y asegurar la red. Como resultado, se requiere más potencia de cómputo para obtener compensaciones de bitcoin significativas. En la siguiente figura se muestra el gráfico de dificultad de la red Bitcoin medido en *hashes/segundo* durante el período del 3 de junio 2023 al 3 de junio 2024.



Figura 3.1 Gráfico de dificultad de la red Bitcoin (03-06-2023 al 03-06-2024) [21]

En la actualidad la minería de bitcoin con CPU es prácticamente obsoleta e ineficiente en comparación con los hardware más nuevos. Aunque algunas criptomonedas más nuevas y menos conocidas pueden ser minadas con éxito utilizando CPU. Sin embargo, la rentabilidad de esta actividad puede variar y es importante considerar factores como los costos del consumo de energía eléctrica, hardware y de otros elementos necesarios en la planta de minado.

3.1.3 GPU

La Unidad de Procesamiento Gráfico conocida por sus siglas GPU (del inglés *Graphics Processing Unit*) es un coprocesador dedicado al procesamiento de gráficos u operaciones de coma

flotante, para aligerar la carga de trabajo del CPU en aplicaciones como los videojuegos o aplicaciones 3D interactivas.

La representación de coma flotante (en inglés, *floating point*) es una forma de notación científica usada en las computadoras con la cual se pueden representar números reales extremadamente grandes o muy pequeños de una manera muy eficiente, compacta y con la que se pueden realizar operaciones aritméticas.

En los últimos años, las GPU se han utilizado ampliamente en la minería de bitcoin debido a su capacidad para realizar cálculos intensivos en paralelo, lo que las hace eficientes para tareas de minería. Sin embargo, en la actualidad, la minería de bitcoins utilizando GPU se ha vuelto poco rentable para muchos debido al aumento significativo en la dificultad de la red de Bitcoin y la caída en el precio de bitcoin en algunos momentos. Como resultado, algunos mineros han optado por cambiar a otras criptomonedas más rentables, debido a su menor dificultad de la red comparada con la de Bitcoin.

Al utilizar equipos GPU para minería de bitcoin se deben considerar diversos factores importantes, como las siguientes:

- **Capacidad de procesamiento (*hashrate*):** La capacidad de procesamiento de una GPU se mide en *hashrate*, que es la velocidad a la que se realizan los cálculos criptográficos para minar criptomonedas. Cuanto mayor sea el *hashrate*, mayor será la oportunidad de obtener una compensación tras la validación del bloque.
- **Eficiencia energética:** La eficiencia energética es importante en la minería de criptomonedas, ya que afecta directamente a los costos operativos. Es necesario buscar una GPU que ofrezca un equilibrio entre el consumo de energía y el *hashrate*.
- **Memoria VRAM:** La Memoria de Acceso Aleatorio para Video (del inglés *Video Random Access Memory*) de las GPU utilizadas para la minería de criptomonedas cumple varias funciones importantes, tales como:

Almacenamiento de datos temporales: La VRAM almacena temporalmente los datos necesarios para realizar cálculos y procesamientos relacionados con la minería de criptomonedas. Algunos algoritmos de minería, requieren una cantidad significativa de datos para realizar los cálculos necesarios.

Gestión de texturas e imágenes: La VRAM se utiliza para almacenar texturas e imágenes que se utilizan en el proceso de renderizado, pero en el contexto de la minería de criptomonedas, esto se traduce en el manejo eficiente de los conjuntos de datos necesarios para resolver algoritmos específicos.

Una cantidad suficiente de VRAM puede contribuir al rendimiento general de la GPU durante la minería. Algunos algoritmos de consenso pueden beneficiarse de una mayor capacidad de VRAM, ya que les permite manejar conjuntos de datos más grandes de manera más eficiente. Al elegir una GPU para minería, es aconsejable considerar los requisitos específicos del algoritmo y la cantidad de VRAM necesaria para obtener un rendimiento eficiente.

- **Ancho de banda de memoria:** El ancho de banda de memoria se refiere a la cantidad de datos que pueden transferirse entre la GPU y la memoria en un período de tiempo dado. Un ancho de banda más alto puede mejorar el rendimiento en ciertos casos.
- **Refrigeración:** La capacidad de enfriamiento de la GPU es importante, especialmente si se planea construir un *rig* de minería con varias tarjetas. Las tarjetas con sistemas de enfriamiento más eficientes pueden ser preferibles en ciertos casos.
- **Precio y disponibilidad:** El costo de la GPU y su disponibilidad en el mercado son factores críticos. La rentabilidad de la minería también dependerá de la inversión inicial y del tiempo que lleve recuperar esa inversión.

3.1.4 ASIC

Los equipos ASIC (del inglés *Application Specific Integrated Circuit*), traducido al español como Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas, es un tipo de circuito integrado diseñado para realizar una tarea específica de manera eficiente y rápida. La función de un ASIC es ofrecer una solución optimizada para aplicaciones específicas, por lo tanto, se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones en la electrónica, las telecomunicaciones y la informática.

La minería con ASIC es un tipo de minería muy eficiente y se utiliza para minar principalmente criptomonedas como el bitcoin. Los ASIC son considerados la mejor opción para la minería de bitcoins debido a su capacidad de procesamiento de alta velocidad y eficiencia energética, esto los hace mucho más rentables que utilizar CPU o GPU.

En el caso de la minería de criptomonedas, los ASIC están diseñados para algoritmos de consenso específicos, solamente pueden realizar una sola tarea específica de manera rápida y eficiente. Por lo tanto, no sería efectivo para minar otras criptomonedas con algoritmos diferentes. A diferencia de los CPU y GPU que pueden realizar una amplia variedad de tareas. Si se quiere minar bitcoins, el hardware ASIC estará diseñado para trabajar con el algoritmo SHA-256.

Al utilizar equipos ASIC para minería de bitcoin se deben considerar diversos factores importantes, como las siguientes:

- **Costos iniciales:** Al adquirir un equipo ASIC para minería de bitcoin, se debe considerar algunos costos, tales como: costo del equipo, costos de envío y tarifas de importación.
- **Capacidad de procesamiento (*hashrate*):** La capacidad de hash es la velocidad a la que el equipo puede realizar los cálculos criptográficos para añadir bloques a la cadena de bloques de Bitcoin. Mientras mayor sea el *hashrate* mayor serán las posibilidades de poder validar un bloque. Por lo tanto, es importante tener una buena capacidad de procesamiento.
- **Consumo de energía eléctrica:** La energía que consumen los equipos ASIC es un factor importante para determinar los costos operativos y de rentabilidad. Este tipo de equipos consume una gran cantidad de energía. En la actualidad existen equipos ASIC que consumen más de 7000 W.
- **Eficiencia energética:** La eficiencia energética es determinante para minimizar los costos operativos. La eficiencia energética se puede expresar de la siguiente manera: $\text{Eficiencia} = \frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Capacidad de procesamiento}}$.
- **Enfriamiento:** Es necesario tomar en cuenta el sistema de enfriamiento con el que disponen los equipos para garantizar un rendimiento óptimo y una vida útil prolongada del equipo. A continuación, se presentan los sistemas de enfriamiento que disponen los mineros ASIC:

1. Refrigeración por aire: Existen ASIC que utilizan ventiladores para generar un flujo de aires que disipa el calor generado por los componentes internos. Los disipadores de calor están conectados a los chips para ayudar a transferir el calor del dispositivo.
 2. Refrigeración líquida: Existen ASIC más avanzados que utilizan sistemas de enfriamiento líquido. Esto implica el uso de bloques de agua u otros fluidos especializados que entran en contacto directo con los chips del equipo. El agua absorbe el calor y se lleva a través de tuberías a un radiador, donde se disipa.
 3. Inmersión en líquido: Se utilizan fluidos dieléctricos (no conductores de electricidad), sumergiendo por completo los equipos ASIC. Esto proporciona un enfriamiento eficiente al rodear completamente los componentes con el líquido.
 4. Refrigeración externa: En países cálidos como El Salvador, es necesario utilizar un sistema de refrigeración externo. Es una solución adicional para mejorar la eficiencia térmica y reducir las temperaturas operativas de los equipos ASIC.
- **Ruido:** El ruido generado por los equipos ASIC es un aspecto significativo a considerar. La mayoría de los equipos ASIC están equipados con ventiladores. Estos ventiladores pueden generar ruido significativo. Por lo tanto, se debe considerar la ubicación de los equipos. Colocar el equipo en un espacio cerrado o en una ubicación con aislamiento acústico ayuda a reducir la transmisión del ruido al entorno circundante. Además, en entornos de mineras grandes, es importante ubicar los equipos en espacios aislados, en zonas no habitadas.

3.1.5 Modelos ASIC para minar bitcoin

Tomando en cuenta los factores vistos en el apartado 3.1.4, a continuación, se muestran algunos de los equipos ASIC con mejor eficiencia en la minería de bitcoin.

- **Avalon Made A1466**

El Avalon 1466 es fabricado por Canaán y funciona con el algoritmo SHA-256 que ejecuta una tasa hashrate máximo de 150Th/s para un consumo de 3230W.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 150Th/s
- **Consumo potencia:** 3300W
- **Tamaño:** 271x192x292mm
- **Peso:** 13kg
- **Nivel de ruido:** 75dB
- **Enfriamiento:** Ventilador 12050
- **Temperatura:** -5°C a 35°C
- **Humedad:** 10% a 90%



Figura 3.2 Avalon Made A1466

- **Antminer S19 XP (140Th)**

El equipo ASIC Antminer S19 XP es fabricado por Bitmain, funciona con el algoritmo de minería SHA-256 con un hashrate de 140Th/s, un consumo energético de 3010W. Fue uno de los mejores equipos que se lanzaron en el 2022.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 140Th/s
- **Consumo potencia:** 3010W
- **Tamaño:** 195x290x400mm
- **Peso:** 14.5kg
- **Nivel de ruido:** 75dB
- **Temperatura:** 5°C a 45°C
- **Humedad:** 5% a 95%



Figura 3.3 Antminer S19 XP

- **Antminer S19 XP Hyd (255Th)**

El equipo ASIC S19 XP Hyd es fabricado por Bitmain, funciona con el algoritmo SHA-256, ejecuta una tasa hashrate máximo de 255Th/s, tiene un consumo energético de 5304W. El sistema de refrigeración por agua reduce instantáneamente el calor generado durante la minería, ayuda a prolongar la vida útil de este equipo y reduce el ruido.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 255Th/s
- **Consumo potencia:** 5304W
- **Tamaño:** 410x170x209mm
- **Peso:** 13.1kg
- **Enfriamiento:** Refrigeración por agua
- **Nivel de ruido:** 50dB
- **Temperatura:** 5°C a 40°C
- **Humedad:** 10% a 90%



Figura 3.4 Antminer S19 XP Hyd

- Whatsminer M60S

El equipo Whatsminer M60S, es fabricado por MicroBT, funciona con el algoritmo SHA-256, ejecuta una tasa hashrate máximo de 186Th/s, tiene un consumo energético de 3441W. Tiene un desempeño potente en general, minimiza los costos de energía y ofrece una solución minera rentable.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 186Th/s
- **Consumo potencia:** 3441W
- **Tamaño:** 430x155x226mm
- **Peso:** 13.5kg
- **Nivel de ruido:** 75dB
- **Temperatura:** -5°C a 35°C
- **Humedad:** 5% a 95%



Figura 3.5 Whatsminer M60S

- **Antminer S21 (200Th)**

El equipo ASIC Antminer S21 es fabricado por Bitmain, funciona con el algoritmo de minería SHA-256 con un hashrate de 200Th/s, con un consumo energético de 3500W.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 200Th/s
- **Consumo potencia:** 3500W
- **Tamaño:** 400x195x290mm
- **Nivel de ruido:** 75dB
- **Temperatura:** 0°C a 40°C
- **Humedad:** 10% a 90%



Figura 3.6 Antminer S21

- **Antminer S21 Hyd (200Th)**

El equipo ASIC Antminer S21 Hyd es fabricado por Bitmain, funciona con el algoritmo de minería SHA-256 con un hashrate de 335Th/s, un consumo energético de 5360W.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 335Th/s
- **Consumo potencia:** 5360W
- **Tamaño:** 410x170x209mm

- **Enfriamiento:** Hidroenfriamiento
- **Nivel de ruido:** 50dB
- **Temperatura:** 5°C a 45°C
- **Humedad:** 5% a 95%



Figura 3.7 Antminer S21 Hyd

- **Antminer T21 (190Th)**

El equipo ASIC Antminer T21 es fabricado por Bitmain, funciona con el algoritmo de minería SHA-256 con un hashrate de 190Th/s, con un consumo energético de 3610W.

Las especificaciones del equipo se muestran a continuación.

- **Hashrate:** 190Th/s
- **Consumo potencia:** 3610W
- **Tamaño:** 400x195x290mm
- **Nivel de ruido:** 75dB
- **Temperatura:** 5°C a 40°C
- **Humedad:** 10% a 90%



Figura 3.8 Antminer T21

3.2 Software de minería

El software destinado a la minería de bitcoin es una aplicación informática específicamente diseñada para facilitar y perfeccionar el proceso minero. Su función primordial radica en coordinar y supervisar las actividades de los nodos de la red. Este software implementa algoritmos de consenso, como el Proof of Work (PoW). Además de gestionar la comunicación entre los nodos para asegurar la integridad y coherencia de la red, algunas soluciones de software incorporan funciones avanzadas, como la participación en *pools* de minería, donde diversos mineros colaboran para incrementar sus posibilidades de compensación.

La relevancia del software especializado en la extracción de criptomonedas se centra en su habilidad para delegar el procesamiento del hardware minero a la totalidad de la red de Bitcoin y recibir tareas completadas por otros participantes en la red minera. También suministra información estadística detallada, que abarca aspectos como la velocidad, el hashrate, la velocidad del ventilador, y supervisa la entrada y salida de datos de los equipos mineros, ofreciendo un conjunto completo de métricas para evaluar y mejorar su rendimiento.

3.2.1 Tipos de software para procesos de minería de criptomonedas

A continuación, se realiza una descripción acerca de algunos de los softwares más empleados en el proceso de minería de bitcoin.

- **CGMiner**

CGMiner destaca como un software de código abierto diseñado específicamente para la minería de criptomonedas, siendo una opción predilecta entre entusiastas y mineros profesionales debido a su versatilidad y potencia, desarrollado en el lenguaje de programación C (lenguaje creado en 1972). CGMiner ha desempeñado un papel integral en el ecosistema de minería durante más de una década.

En cuanto a sus especificaciones técnicas, CGMiner ofrece una flexibilidad notable al ser compatible con diversos algoritmos de minería. Desde el algoritmo SHA-256 utilizado por Bitcoin

mencionado en el capítulo 1, hasta algoritmos más recientes como Equihash y X11, permite a los usuarios minar una variedad de criptomonedas. Además, su versatilidad se extiende a las plataformas, siendo compatible con sistemas operativos como Windows, Linux y Mac OS. Aunque utiliza una Interfaz de Línea de Comandos (CLI) (del inglés *Command Line Interface*), aparentemente menos amigable para los principiantes, esta característica proporciona un control sobre cada aspecto del proceso de minería, los usuarios pueden ajustar configuraciones como la velocidad del ventilador, la frecuencia del procesador, la selección del *pool* de minería, y muchas otras opciones específicas que no siempre son accesibles en interfaces gráficas de usuario. [18]

La versatilidad de CGMiner también se refleja en su capacidad para ser utilizado con una amplia gama de hardware desde tarjetas gráficas, hasta hardware de minería especializado como ASIC. Esta adaptabilidad permite a los mineros ajustar su hardware según las condiciones cambiantes del mercado. Además, el software incluye funciones de monitoreo y control remoto a través de interfaces web, permitiendo a los usuarios supervisar y ajustar sus operaciones de minería desde cualquier ubicación con acceso a internet.

- **Hive OS**

Hive OS se destaca como una solución completa y eficiente para la gestión de operaciones de minería de criptomonedas. Al adoptar un enfoque basado en la nube, esta plataforma proporciona a los mineros un entorno centralizado que facilita la supervisión y optimización de sus operaciones en tiempo real. La interfaz de usuario intuitiva de Hive OS simplifica la administración al permitir a los usuarios gestionar múltiples *rigs* desde una ubicación única, lo que agiliza significativamente las tareas administrativas y ofrece una visión holística de la operación minera. En este contexto, un *rig* se refiere a un conjunto de hardware especializado utilizado para la minería de criptomonedas. Estos *rigs* se componen por tarjetas gráficas, ASIC, GPU, placas base, fuentes de alimentación y otros elementos necesarios para realizar el proceso de minería. La plataforma Hive OS permite a los usuarios administrar y supervisar eficientemente estos *rigs* desde una ubicación central, simplificando así la gestión de la minería de criptomonedas.

La versatilidad de Hive OS se refleja en su amplia compatibilidad con diversos tipos de hardware, desde tarjetas gráficas, hasta hardware especializado como los ASIC. Esta adaptabilidad no solo permite a los mineros ajustar su configuración según sus necesidades específicas, sino que

también facilita la diversificación de operaciones para aprovechar las oportunidades cambiantes en el mercado de criptomonedas.

En términos de algoritmos de minería, Hive OS brinda a los usuarios la capacidad de minar diversas criptomonedas según sus preferencias y estrategias. Su compatibilidad con una variedad de algoritmos, como Ethash y Equihash, aumenta la flexibilidad operativa y la capacidad de adaptación a las condiciones del mercado.

Hive OS va más allá de la gestión de hardware al ofrecer herramientas avanzadas de monitoreo en tiempo real. Las alertas personalizadas permiten a los mineros estar al tanto de cualquier cambio significativo, proporcionando una respuesta rápida ante posibles problemas o ajustes necesarios. Este software también se destaca por su enfoque proactivo en la optimización del consumo de energía y la eficiencia del hardware, contribuyendo a la sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo de las operaciones mineras. [17]

Además, facilita y automatiza la conexión e interacción con pools de minería y la automatización de los pagos simplifican la gestión financiera para los mineros, liberándose de tareas administrativas tediosas y permitiéndoles concentrarse en maximizar sus ganancias.

- **BFGMiner**

BFGMiner se establece como una poderosa herramienta de código abierto diseñada para la minería eficiente de criptomonedas. Diferenciándose por su enfoque de alto rendimiento, BFGMiner proporciona a los mineros un conjunto integral de características para supervisar, controlar y optimizar sus operaciones mineras.

La versatilidad de BFGMiner se manifiesta en su capacidad para gestionar diversos dispositivos de minería, desde tarjetas gráficas hasta ASIC. Esta adaptabilidad permite a los usuarios personalizar su configuración para abordar las necesidades específicas de sus operaciones, ofreciendo una flexibilidad esencial en el dinámico panorama de la minería de criptomonedas. [19]

Además, se destaca por su amplia compatibilidad con múltiples algoritmos de minería, incluyendo SHA-256, Scrypt y otros más recientes. Esta capacidad de abordar diversos algoritmos proporciona a los mineros la opción de diversificar sus actividades y aprovechar oportunidades emergentes en el mercado de criptomonedas.

La interfaz de línea de comandos (CLI) de este software ofrece a los usuarios experimentados un control detallado sobre la configuración y ejecución del software. Esta característica es apreciada por aquellos que buscan ajustar finamente su rendimiento según las condiciones cambiantes del mercado y las características específicas de su hardware. Además de su capacidad técnica, BFGMiner es reconocido por su enfoque proactivo en la eficiencia energética y el monitoreo en tiempo real. Los mineros pueden optimizar el consumo de energía y recibir alertas instantáneas ante cambios significativos, lo que permite respuestas rápidas a eventos que podrían afectar el rendimiento de la minería.

3.2.2 Software en los *pools* de minería

Cuando un minero se integra a un *pool* de minería, comúnmente es el propio *pool* el cual se encarga de suministrar a los mineros el software específico necesario para conectarse a su plataforma. Este software ha sido meticulosamente configurado para operar eficientemente dentro de la infraestructura y los requisitos particulares del *pool* en cuestión.

Una vez que un minero decide unirse al *pool*, se le proporcionan detalladas instrucciones sobre cómo configurar el software de minería para establecer una conexión efectiva con el servidor del *pool*. Estas instrucciones incluyen información crucial como la dirección del servidor, el puerto de conexión, así como el nombre de usuario y la contraseña. Estos parámetros son esenciales para que el software pueda comunicarse de manera efectiva y participar activamente en la resolución de bloques.

La elección de unirse a un *pool* de minería conlleva beneficios significativos para los mineros individuales. La colaboración con otros mineros en el *pool* implica la combinación de recursos de procesamiento, aumentando así las posibilidades de resolver bloques y recibir compensaciones de manera más regular. Además, los *pools* suelen ofrecer interfaces de usuario intuitivas que proporcionan estadísticas detalladas sobre el rendimiento de la minería, permitiendo a los mineros supervisar su contribución al proceso.

Se deben seguir cuidadosamente las instrucciones proporcionadas por el *pool* y utilizar el software recomendado. Esto asegura una integración adecuada con la infraestructura del *pool* y maximiza la eficiencia en la minería colectiva.

Las funciones que realiza el software son las siguientes:

1. Conecta los dispositivos al *pool*.
2. Recibe los trabajos de minería de la red.
3. Realiza la minería.
4. Envía las soluciones al *pool* junto con el hashrate que aportó cada minero.
5. Recibe información del *pool*.

3.3 Costeo y rentabilidad de los equipos en la minería de bitcoin

El costeo y la rentabilidad de los equipos de minería son aspectos importantes a considerar en la minería de bitcoin. A continuación, se muestran algunas consideraciones importantes sobre este tema:

3.3.1 Costos iniciales

Los equipos de minería de criptomonedas pueden tener costos iniciales significativos, que incluyen el precio de compra del hardware, los costos de envío, impuestos y tarifas de importación.

- **Costo del equipo**

El costo de los equipos en la minería de bitcoin puede variar según varios factores, como la marca, el modelo, la potencia de hash, la eficiencia energética y la disponibilidad en el mercado.

Comprar mineros de bitcoin implica encontrar un proveedor confiable en equipos ASIC. Se puede buscar en línea sitios especializados o en plataformas de comercio electrónico.

A continuación, se muestran algunos de los sitios web para comprar equipos ASIC, sin embargo, es importante asegurarse de investigar sobre la reputación de los proveedores, comparar precios y especificaciones técnicas antes de realizar una compra:

- **NHASH**

NHASH es una empresa china que se encarga de suministrar mundialmente, equipos mineros de criptomonedas. Para ingresar a su web debemos ingresar al siguiente enlace: <https://nhash.net/>.

- **MINETHEASIC**

Minetheasic es una plataforma profesional de reseñas de mineros ASIC. La plataforma ha recopilado datos sobre más de 200 categorías de mineros ASIC para ayudar a los usuarios a tomar decisiones de compra más informadas. Esta plataforma puede proporcionar información valiosa sobre los diferentes modelos de mineros disponibles en el mercado. Para ingresar a su web debemos ingresar al siguiente enlace: <https://minetheasic.com/>.

- **Tienda de BITMAIN**

BITMAIN es el fabricante líder mundial de equipos de minería de moneda digital a través de su marca ANTMINER, que ha mantenido durante mucho tiempo una participación de mercado global y una posición de liderazgo en tecnología, sirviendo a clientes en más de 100 países y regiones. El centro de investigación y desarrollo de la compañía está situado en Singapur y cuenta con múltiples sucursales y subsidiarias en todo el mundo, incluidos, entre otros, Hong Kong, Estados Unidos, Malasia, Kazajstán, Emiratos Árabes Unidos, Lituania y Paraguay.

Desde su página web se puede obtener información y comprar hardware de minería de bitcoin <https://shop.bitmain.com/?coin=BTC%2FBCH%2FBSV>.

- **Agentes de importación**

Una manera eficaz de importar este tipo de hardware, es tener un agente de importación personal, estas empresas o individuos se especializan en proporcionar servicios de importación personalizados, ayudando a otros a traer productos del extranjero. Algunos de las características y servicios que pueden ofrecer se mencionan a continuación:

- Ayuda en la identificación de productos viables y rentables para importar.
- Búsqueda y verificación de proveedores.
- Asistencia en la negociación de precios y términos de venta con los proveedores.
- Coordinación del transporte desde el proveedor hasta el país de destino.
- Monitorización y actualización del estado de los envíos.
- Asistencia en caso de problemas con los productos importados, como daños o discrepancias en los pedidos.

Estos agentes pueden ayudar a simplificar el proceso de importación, minimizar riesgos y asegurar que los productos lleguen a tiempo y en buen estado.

- **Costos de envío**

Los costos de envío es un factor importante a considerar puesto que puede afectar a la viabilidad económica de la inversión. A continuación, se muestra los detalles a tomar en cuenta:

- **Peso y dimensiones:** Los mineros ASIC suelen ser dispositivos pesados y con un volumen considerable, pueden pesar de 10, 15, 20 kg o más, esto incrementa significativamente los costos de envío.
- **Origen y Destino:** El costo de envío varía considerablemente según el lugar de origen y el destino final. En particular, los envíos desde fabricantes en China a América Latina, pueden ser más costosos debido a la distancia involucrada. Sin embargo, es necesario negociar cuando se realizan pedidos grandes, algunos proveedores posiblemente ofrecen descuentos en el envío o incluso envío gratuito para pedidos grandes.
- **Método de Envío:** Existen dos opciones para el envío de mercancía, el aéreo y marítimo, sin embargo, es preferible considerar el envío marítimo puesto que es mercancía de gran volumen y resulta más económico.
- **Seguro de Envío:** El seguro es esencial para proteger contra pérdidas o daños durante el tránsito. Aunque esto añade un costo adicional, proporciona una seguridad importante para una inversión de alto valor.

Los costos de envío son un componente crucial a considerar al planificar la adquisición de mineros ASIC. Entender los factores que influyen en estos costos y emplear estrategias para

optimizarlos puede significar la diferencia entre una operación rentable y una no rentable. Una gestión cuidadosa y una planificación anticipada son esenciales para asegurar la viabilidad económica de una planta de minería de Bitcoin.

- **Tarifas e impuestos de importación**

En El Salvador, la importación de hardware de minería ASIC está sujeta a diversas tarifas e impuestos que se deben considerar al momento de realizar la importación. Estos equipos importados están sujetos a los Derechos Arancelarios a la Importación (DAI), al Impuesto al Valor Agregado (IVA) y tasas por servicios como almacenaje en la aduana. La siguiente información ha sido investigada directamente del sitio web oficial de la Dirección General de Aduanas [20].

Las importaciones normalmente pagan impuestos, a excepción de aquellas que la legislación establece como exentas, dependiendo del tipo de mercancías o la calidad que ostente el importador.

El primero de los tributos, o impuestos como se llaman comúnmente, son los Derechos Arancelarios a la Importación (DAI) los cuales están contenidos en el Arancel Centroamericano de Importación, en el cual se establecen los porcentajes que debe pagar cada una de las mercancías que ingresan al país, aplicándose porcentajes distintos dependiendo del tipo de mercancías, que van desde aquellos productos que están con un 0%, pasando luego a un grupo de mercancías que pagan 5%, 10% y 15%, además tenemos otro grupo de mercancías que pagan 20 y 25%, teniéndose también mercancías que pagan un 30 y 40%.

Para el cálculo del DAI se suma el costo del artículo más el costo del flete o costo del envío y el total se multiplica por el porcentaje del producto o productos a importar.

$$\text{DAI} = (\$ \text{ de artículo} + \$ \text{ flete}) \times \text{porcentaje correspondiente}$$

Además de este impuesto debe de pagarse el Impuesto a la Transferencia de Bienes Muebles o la Prestación de Servicios, comúnmente conocido como Impuesto al Valor Agregado o IVA. Este es un 13% que se aplica sobre la sumatoria del valor en aduanas o base imponible y el DAI que se ha establecido para los bienes sujetos a importación.

La base imponible es el valor sobre el cual se cobran los impuestos en la aduana. Se conoce comúnmente como el valor en aduanas de las mercancías.

Para el cálculo del valor en Aduana se inicia por establecer el valor pagado o por pagar de los bienes objeto de importación, que es normalmente el valor de la factura o documento de compra de los bienes, agregando a éste, el precio pagado por el transporte de las mercancías, el cual normalmente es reflejado en el documento de transporte que haya emitido el transportista de las mercancías y agregando la prima de seguro que se haya contratado para el envío de los bienes. Vale mencionar que en el caso que no se haya contratado una póliza de seguro para el traslado de los bienes, la Ley de Simplificación Aduanera dispone que debe de establecerse aplicando un 1.25% sobre el valor FOB en caso que las mercancías provengan de la región centroamericana y si proceden de fuera de la región debe de aplicarse un 1.50% sobre el valor FOB.

La fórmula para establecer el valor en aduanas normalmente es: VALOR EN ADUANAS = FOB + FLETE + SEGURO.

Obtenido el VALOR EN ADUANAS, se puede calcular el IVA de la siguiente manera:

$$\text{IVA} = (\text{VALOR EN ADUANAS} + \text{DAI}) \times 1.13$$

3.3.2 Costos operativos

Además de los costos iniciales, se deben considerar los costos operativos continuos, que incluyen el consumo de energía eléctrica, las tarifas de pool de minería, así como los costos de conectividad a Internet.

- **Consumo de energía eléctrica**

El costo de la electricidad es uno de los factores más críticos en la minería de Bitcoin debido a la gran cantidad de energía que consumen los equipos. Como se ha mencionado

anteriormente, los equipos ASIC son mucho más eficientes en términos de energía que otros tipos de hardware. Sin embargo, su consumo sigue siendo considerable; por ejemplo, un Antminer S21 Pro consume aproximadamente 3.51 kWh cada hora.

Las tarifas eléctricas varían significativamente según la ubicación. Por ejemplo, en algunos lugares de China y en países como Islandia, Venezuela o Paraguay, las tarifas pueden ser tan bajas como \$0.03 por kWh debido a subsidios gubernamentales o abundancia de energía hidroeléctrica como el caso de Paraguay. En cambio, en muchos lugares de Europa o Estados Unidos, las tarifas pueden superar los \$0.10 por kWh. En el caso de El Salvador el precio de la energía eléctrica puede superar los \$0.18 por kWh.

Se debe considerar que, a mayor costo por kWh, menor será la rentabilidad de la minería. Además, es crucial negociar tarifas especiales con distribuidoras de energía.

Para calcular el costo mensual de electricidad de un equipo de minería, se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{Costo mensual de electricidad} = \text{Potencia del equipo (kW)} \times \# \text{ horas/día} \times \# \text{ días/mes} \times \text{tarifa de electricidad/kWh}$$

Ejemplo:

- Potencia del equipo: 3.51 kW (Antminer S21 Pro)
- Horas por día: 24h (regularmente un equipo minero estará encendido todo el día)
- Días por mes: 30 días
- Tarifa de electricidad: \$0.19/kWh

$$\text{Consumo mensual de Electricidad} = 3.51 \text{ kW} \times 24 \text{ h/día} \times 30 \text{ días/mes} = 2,527.2 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo Mensual de Electricidad} = 2,527.2 \text{ kWh} \times \$0.19/\text{kWh}$$

$$\text{Costo Mensual de Electricidad} = \$480.16$$

El costo de la electricidad es un componente esencial en la rentabilidad de la minería de bitcoin. Los mineros deben evaluar cuidadosamente las tarifas eléctricas y buscar formas de optimizar el consumo de energía para maximizar las ganancias. Los cálculos y estrategias mencionadas son esenciales para planificar una operación de minería rentable y sostenible.

- **Tarifas de pool de minería**

Las tarifas de los *pools* de minería son un aspecto importante a considerar cuando se evalúa la rentabilidad de la minería de Bitcoin. Como se había mencionado antes en el capítulo 2, los *pools* permiten a los mineros agrupar sus recursos para aumentar las posibilidades de resolver un bloque y recibir una recompensa. Sin embargo, a cambio de este servicio, los *pools* cobran tarifas que pueden variar según el tipo de *pool* y su estructura de tarifas.

Al seleccionar un *pool* de minería, es esencial analizar las estructuras de tarifas y calcular cómo afectarán tus ingresos netos. Las calculadoras de rentabilidad de minería pueden ser útiles para simular diferentes escenarios y ayudar a tomar una decisión informada. En el capítulo 4, se utilizarán este tipo de herramientas para hacer la simulación de la rentabilidad de una planta de minería.

- **Internet**

El costo operativo del internet en la minería de bitcoin representa una parte fundamental de los gastos operativos. Para operaciones de minería de bitcoin, la estabilidad y la velocidad del internet son cruciales para minimizar el tiempo de inactividad cuando se realicen los procesos de minería. Con respecto al ancho de banda, la demanda no es tan alta como en otras actividades tecnológicas.

Los proveedores de servicios de internet en El Salvador, como Claro y Tigo ofrecen planes de internet que varían en costo y velocidad. Los planes adecuados para una planta de minería de bitcoin pueden tener un costo entre \$40 y \$100 mensualmente. También se puede tener en consideración conexiones redundantes para asegurar la estabilidad de la red de internet, de esta manera cuando una conexión de internet falle, la otra entra en operación.

Además de las conexiones a internet convencionales en el país, recientemente, ha comenzado a operar Starlink, el servicio de internet satelital de alta velocidad de SpaceX. En El Salvador, Starlink promete velocidades de descarga de entre 40 Mbps y 200 Mbps y latencia de 20 a 60 ms. El costo inicial de Starlink incluye la compra del kit de hardware (antena parabólica y router) que ronda los \$350, más un costo mensual aproximadamente de \$59.

En comparación con otros costos operativos, como la electricidad y el hardware, los gastos en internet pueden parecer menores, pero son esenciales para garantizar la continuidad y eficiencia

de las operaciones mineras. Así, una comprensión clara y precisa de estos costos es vital para la planificación y ejecución exitosa de proyectos en este campo.

3.3.3 Otros aspectos

- **Eficiencia energética**

La eficiencia energética del equipo de minería es un factor crucial para determinar su rentabilidad a largo plazo. La función primordial del hardware de minería de Bitcoin es convertir eficientemente la electricidad en Bitcoin. Al elegir un equipo ASIC, la mejor opción es aquel que ofrece la mayor eficiencia energética. Un equipo con alta eficiencia energética reduce significativamente los costos de electricidad por cada bitcoin extraído, lo cual es esencial para optimizar la rentabilidad de la operación minera.

- **Dificultad de la red**

La dificultad de la red de la criptomoneda que se está minando también juega un papel importante en la rentabilidad de los equipos de minería. A medida que aumenta la dificultad de la red, puede resultar más difícil para los mineros obtener recompensas de manera rentable. Se debe considerar la dificultad proyectada al invertir en nuevo hardware. Puesto que un aumento en la dificultad puede hacer que el hardware menos eficiente se vuelva rápidamente no rentable. A medida que la dificultad aumenta, se necesita más energía (y por lo tanto más costos) para minar la misma cantidad de bitcoin. Con respecto a las recompensas, la dificultad afecta directamente la cantidad de bitcoin que un minero puede esperar obtener. Una mayor dificultad significa menores recompensas a menos que el precio de bitcoin también aumente.

- **Precio de la criptomoneda**

El precio actual y futuro de la criptomoneda que se está minando es otro factor determinante en la rentabilidad de la minería. Si el precio de la criptomoneda cae por debajo de los costos operativos, la minería puede volverse no rentable.

3.4 Aspectos adicionales de la infraestructura y su funcionamiento

Por definición se comprende que la infraestructura corresponde a un conjunto de elementos de montaje necesarios con el fin de obtener un correcto funcionamiento, este puede ser un sistema o servicio, Si se aplica el concepto anterior de infraestructura dentro de la minería de bitcoin, este hace referencia a cada uno de los elementos necesarios aparte del software y hardware para un correcto funcionamiento de la planta de minería.

En el proceso de diseño de infraestructura, se puede realizar una *ingeniería de detalle*, la cual permite una visualización más definida de cada componente o elemento correspondiente dentro del montaje de los equipos, se puede considerar que es de carácter fundamental dentro del montaje y ubicación de cada uno de estos equipos implementados para una planta de minería de bitcoin. Un buen diseño de infraestructura y distribución de espacios es un proceso bastante complejo y este puede marcar una gran diferencia en la eficiencia, seguridad y autonomía de los equipos en operación.

3.4.1 Aspectos de diseño para una correcta infraestructura de planta de minería

- **Estructura de soporte para montaje de equipos mineros**

Es importante conocer las características técnicas de los equipos que se ocuparan para una planta de minería de bitcoin, anteriormente se han mencionado algunas de ellas como por ejemplo, capacidad de procesamiento, consumo de energía, eficiencia, sin embargo, para este caso se tiene un enfoque en recrear una estructura capaz de soportar el peso y espacio del conjunto de equipos, por lo tanto, para llevar a cabo la tarea se tomará en cuenta las características físicas como lo son sus dimensiones y peso.

Considerando los equipos ASIC como principales en los procesos de minería de bitcoin, estos poseen dimensiones de aproximadamente 115 mm de base por 215 mm de largo y 350 mm de profundidad, los valores han sido tomados de equipos en contacto físico durante visita técnica, estas pueden variar dependiendo del equipo.



Figura 3.9 Equipos ASIC en visita técnica a planta de minería en La Libertad

Existen estructuras en el campo industrial que se acoplan muy bien a lo requerido de acuerdo al tipo de montaje de los equipos ASIC, aclarando, que no es la única forma, sin embargo, es muy eficiente, esta consta de una estructura tipo estante metálico, un tipo (estructura metálica industrial para almacenaje en bodega.



Figura 3.10 Montaje en infraestructura por niveles



Figura 3.11 Montaje en infraestructura por niveles

Como se observa en la Figura 3.10 y 3.11, la estructura tipo estante metálico se adapta a las dimensiones requeridas debido a que esta cuenta con montajes verticales y estantes horizontales de ajuste, lo cual es una característica bastante útil para este caso en específico del montaje de los equipos ASIC, puesto que da la ventaja de dimensionarlos a una cantidad de espacio horizontal (equipos por fila) y dimensión en vertical (altura de los equipos).

Por tanto, si se toma el modelo de estructura tipo industrial de bodega y se acopla a un diseño acorde a la necesidad del proyecto de minería para de los equipos tipo ASIC, se vuelve bastante eficiente como se observa en la ilustración de la figura 3.12.



Figura 3.12 Montaje en infraestructura por niveles con equipos ASIC

Este tipo de estructura se vuelve bastante complejo para el montaje de los equipos ASIC de minería como se observa en la Figura 3.12, se acopla a diferentes dimensiones y es capaz de soportar una carga bastante considerable, sin embargo, se requiere de un estudio estructural previamente de acuerdo al dimensionamiento de la magnitud de la planta de minería, por ejemplo, un conjunto de 500 equipos ASIC, la estructura debe ser capaz de soportar el peso del conjunto por lo tanto se debe corroborar con un estudio para obtener los resultados esperados.

- **Temperaturas y ambientes ideales para los equipos**

Los equipos utilizados en los procesos de minería como el bitcoin, en este caso los equipos ASIC, son equipos que generan una gran cantidad de calor debido a que estos realizan procesos

intensivos y con rapidez, por tanto, ocupan su máximo de potencia de minería de esta forma su demanda de energía es alta y está sujeta a una transformación en calor.

A pesar que los dispositivos ASIC son equipos altamente diseñados y optimizados, estos presentan una conversión de energía en calor debido a que estos procesos demandan una gran cantidad de energía eléctrica como se menciona anteriormente, esta energía es consumida por los dispositivos, posteriormente se convierte en energía en forma de calor como subproducto del proceso intenso de minería, por lo tanto, esto representa un punto de consideración dentro de la infraestructura debido a que las temperaturas de un equipo puede rondar entre los 60 °C y 80 °C y estas temperaturas pueden afectar el correcto funcionamiento del sistema de minería o planta de minería de criptomoneda.

En consideración a lo anterior se requiere que el entorno de instalación posea una temperatura ambiente ideal para las instalaciones donde se operan estos dispositivos debe oscilar entre 15 °C y 35 °C, es el rango de temperatura óptimo para el equipo según fabricante (Bitmain).

Una estrategia utilizada para disipar el exceso de calor es segmentar o separar la salida de aire caliente de los equipos, evitando así la saturación térmica. Esto permite que el flujo de temperatura se mantenga en constante movimiento gracias a la circulación de aire. Por un lado, el equipo recibe aire a temperatura ambiente correspondiente al entorno del sistema, y luego de su proceso de enfriamiento, expulsa el aire caliente por la parte trasera. Esta expulsión puede realizarse mediante una canalización adecuada, diseñada para soportar altas temperaturas.



Figura 3.13 Canalización de aire caliente hacia salida externa - Visita técnica

Es importante considerar que, para el sistema de enfriamiento mencionado, es necesario dividir o segmentar la salida de aire caliente de la entrada de enfriamiento del equipo. Esto es esencial para asegurar un flujo de aire adecuado hacia el equipo. Como se observa en la figura 3.13, la canalización debe conducir el aire caliente a una salida completamente externa al sistema. Además, se puede mejorar la eficiencia del sistema implementando equipos de enfriamiento adicionales como aires acondicionados, configurados a temperaturas entre los 18°C y 21°C, lo que mantendrá temperaturas más equilibradas para los equipos de minería como se observa en la Figura 3.14.



Figura 3.14 Montaje de equipos y sistema de refrigeración con AA

Considerar que el ambiente o entorno de instalación de los equipos ASIC debe estar en ausencia de polvo la mayor parte del tiempo, esto es muy importante, ya que la presencia de este afecta a la electrónica de los equipos, lo que puede desencadenar fallas y paro del funcionamiento del conjunto de minería. El polvo puede causar sobrecalentamiento al obstruir los ventiladores y las rejillas de ventilación, impidiendo el flujo de aire adecuado, además, puede provocar cortocircuitos al acumularse en los circuitos y contactos eléctricos. Por tanto, es importante mantener una ausencia de polvo en la infraestructura en general para no reducir el rendimiento del conjunto de equipos en función de procesos de minería y así mantener el mismo nivel de operación dentro de la planta de minería.

Otra de las estrategias eficaces para mantener los equipos ASIC a temperaturas óptimas es implementar refrigeración líquida. Este sistema implica la circulación de agua u otro líquido

refrigerante a través de tuberías conectadas al sistema, lo que resulta en un enfriamiento más eficiente comparado con los métodos tradicionales de enfriamiento por aire. La refrigeración líquida puede absorber y disipar el calor de manera más eficaz, manteniendo los equipos operando a temperaturas más bajas y estables. Esto no solo mejora la eficiencia energética de los equipos, sino que también prolonga su vida útil y reduce el riesgo de fallos asociados al sobrecalentamiento. Además, la refrigeración líquida puede ser particularmente útil en entornos con altas densidades de calor o donde el espacio para la ventilación es limitado, proporcionando un método de enfriamiento silencioso y efectivo.

CAPÍTULO 4: PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE PLANTA DE MINERÍA DE BITCOIN EN EL SALVADOR

El diseño e implementación de una planta de minería de bitcoin requiere una correcta planificación para garantizar una operación eficiente, segura y rentable. Este capítulo se centra en una propuesta y evaluación de una planta de minería en El Salvador, abordando aspectos clave como la selección de equipos ASIC, el diseño eléctrico, las estructuras de montaje y el sistema de enfriamiento.

En este estudio, se ha seleccionado un contenedor de 40 pies como el espacio óptimo para la instalación de 64 equipos ASIC Antminer S21, seleccionados por su rendimiento y eficiencia energética. Se contemplan estructuras metálicas diseñadas específicamente para maximizar el uso del espacio dentro del contenedor para el montaje de los equipos. Además, se ha abordado el dimensionamiento del sistema eléctrico para satisfacer las necesidades de la planta de minería. Para garantizar un funcionamiento eficiente y mantener una temperatura óptima, se ha diseñado un sistema de enfriamiento que incluye aires acondicionados y espacios de separación adecuados entre los equipos.

Finalmente, se presenta un presupuesto de inversión detallado que incluye todos los costos de implementación, desde la adquisición de equipos hasta la instalación eléctrica y de refrigeración, evaluando así la viabilidad económica y el retorno de la inversión del proyecto, realizando cálculos y simulaciones de rendimiento evaluando la eficiencia operativa bajo diferentes escenarios, considerando factores como la dificultad de la red y el costo de la electricidad.

4.1 Planificación Inicial

La planificación inicial de una planta de minería de bitcoin comienza con una evaluación de la ubicación, el espacio disponible y la selección adecuada de equipos. La zona de ubicación es un factor crítico, ya que debe cumplir con requisitos claves como el acceso a una fuente estable de energía eléctrica, buenas condiciones climáticas para minimizar los costos de enfriamiento y la

cercanía a proveedores de servicios y suministros esenciales. La infraestructura del espacio seleccionado debe ser adecuada para alojar los equipos de minería, garantizando una distribución óptima que permita el flujo de aire y la disipación de calor, lo cual es esencial para mantener la eficiencia operativa.

Una de las decisiones más importantes en esta etapa es la selección de los equipos y la cantidad de equipos a instalar que dependerá de la capacidad del espacio, así como de los objetivos de producción esperados.

4.1.1 Zona de ubicación

En la Figura 4.1, muestra la temperatura máxima anual en El Salvador durante 2023, las zonas más cálidas del territorio se observan a lo largo de la costa y en los alrededores de los embalses con temperaturas que superan los 36 °C, mientras que, en las zonas de montaña se observan en el rango de 22 °C a 24 °C representando las zonas con los registros más bajos. [1]

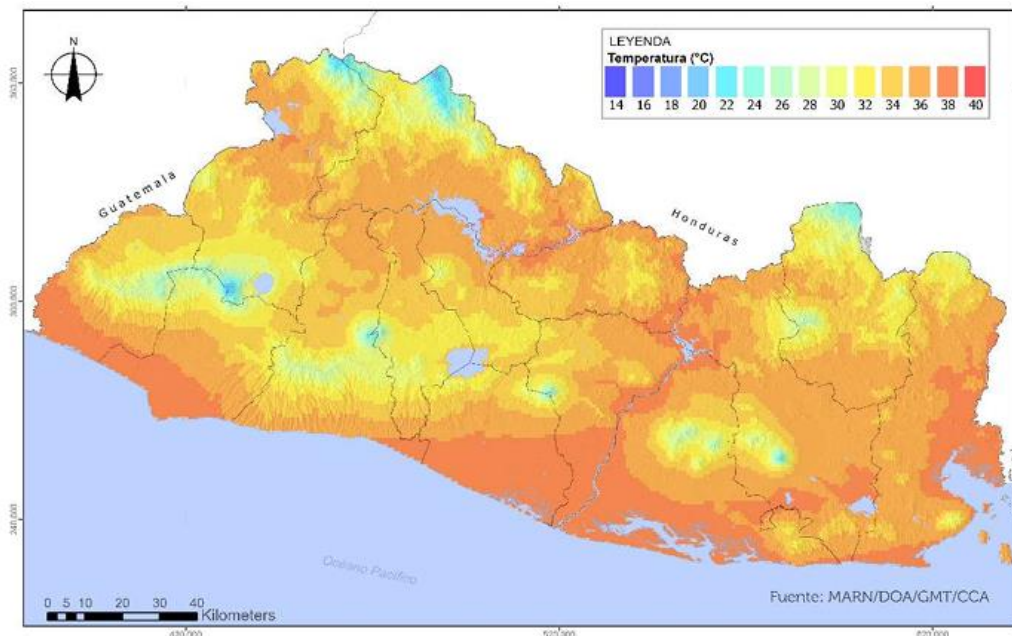


Figura 4.1 Mapa de temperatura máxima promedio anual 2023 en El Salvador [22]

Ubicar la planta de minería en un clima frío, es ideal debido a múltiples ventajas técnicas, económicas y ambientales. Un clima frío proporciona un enfriamiento natural para los equipos de

minería, reduciendo el riesgo de sobrecalentamiento y los costos de mantenimiento. Además, disminuye el consumo energético al reducir la necesidad de sistemas de refrigeración, esto ofrece un entorno estratégico que maximiza estos beneficios, asegurando una operación minera sostenible y eficiente.

Además de los aspectos climáticos, es fundamental considerar que la zona de ubicación disponga de redes de distribución eléctrica adecuadas. En El Salvador, el sistema eléctrico se conforma como se muestra en la Figura 4.2. Las diferentes centrales de generación con las que cuenta el país generan a un voltaje de 13.8 kV, posteriormente el sistema de transmisión cuenta con 40 líneas de transmisión a 115 kV, con una longitud total de 1,072.48 km y 4 líneas a 230 kV, 2 de ellas para interconectarse con Guatemala y Honduras y 2 líneas de refuerzos internos, con una longitud total de 284 km y 4 tramos de la línea SIEPAC. El propietario y responsable del mantenimiento y expansión del sistema de transmisión es la Empresa Transmisora de El Salvador (ETESAL).

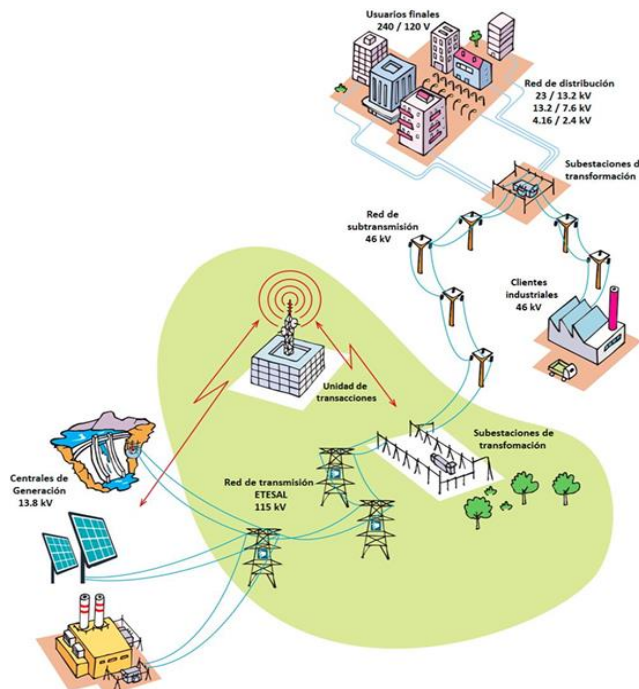


Figura 4.2 Sistema eléctrico en El Salvador [23]

El voltaje de distribución en media tensión es de 23/13.2 kV, 13.2 / 7.6 kV, 4.16 / 2.4 kV y 46 kV únicamente a usuarios con gran demanda. La distribución es llevada a cabo por entidades poseedoras y operadoras de instalaciones, cuya finalidad es la entrega de energía eléctrica en redes

de bajo voltaje. Debido a sus características, las empresas de distribución operan en condiciones reguladas de tarifas y calidad de entrega del suministro; no obstante, lo anterior, y con base en los principios de la regulación existente en El Salvador, la competencia en la distribución está permitida. [23]

4.1.2 Evaluación del espacio y equipo

La evaluación del espacio y los equipos para una planta de minería de bitcoin es crucial para garantizar una operación eficiente y rentable. El tamaño del espacio debe ser suficiente para acomodar los equipos de minería, sistemas de refrigeración, infraestructura eléctrica y espacio para el personal. En cuanto a los equipos, es fundamental seleccionar ASIC avanzados y eficientes, evaluando su capacidad de procesamiento, consumo energético y costo para optimizar el retorno de inversión.

- **Espacio**

Para el diseño de la planta de minería de bitcoin, se utilizará un contenedor de 40 pies (12.00 metros) como estructura principal. Este contenedor, que tiene dimensiones estándar de aproximadamente 12.00 metros de largo, 2.60 metros de ancho y 2.40 metros de alto como se muestra en la Figura 4.3, ofrece una solución práctica y eficiente. Los beneficios de utilizar un contenedor incluyen su movilidad y flexibilidad, ya que puede ser transportado y reubicado fácilmente según las necesidades operativas. Además, los contenedores están diseñados para ser duraderos, lo que proporciona un entorno seguro y protegido para los equipos de minería. La capacidad de sellar y aislar adecuadamente el contenedor también facilita el control de temperatura y humedad, factores críticos para el funcionamiento óptimo de los equipos de minería. Por último, el uso de un contenedor puede reducir significativamente los costos iniciales de construcción en comparación con una estructura permanente.

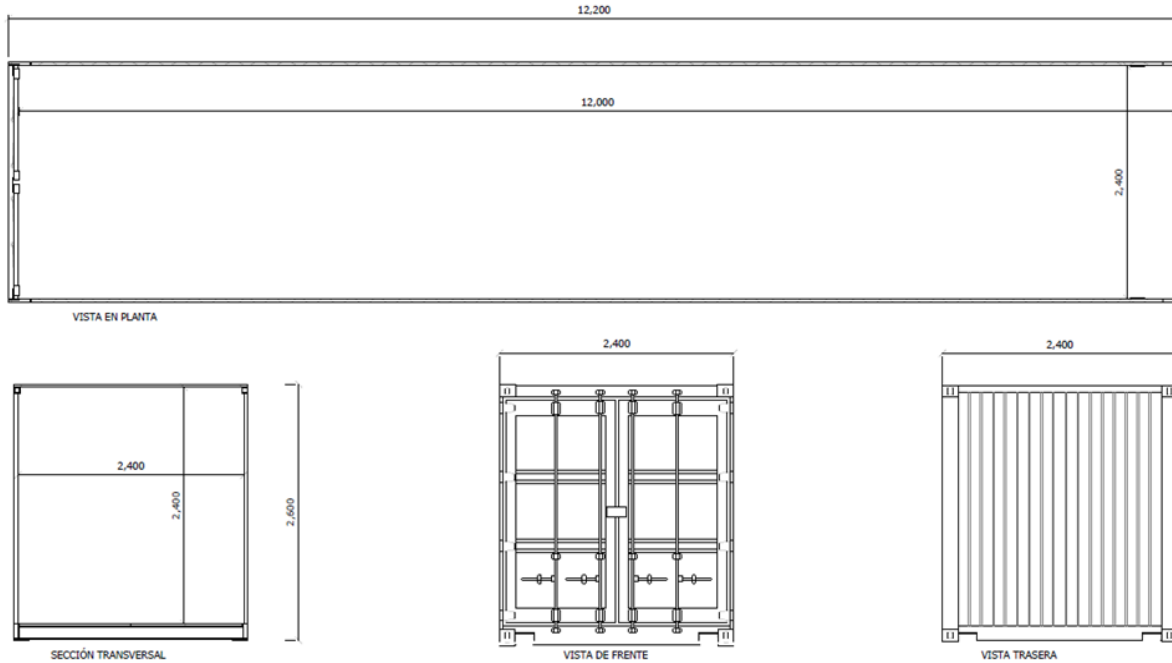


Figura 4.3 Contenedor de 40 pies [24]

- **Selección del equipo ASIC**

En los capítulos anteriores se ha destacado que el hardware más eficiente y rentable para la minería de bitcoin es el ASIC. Por esta razón, en el estudio que se presenta se utilizarán equipos ASIC.

La selección del equipo adecuado es crucial para garantizar el éxito de una planta de minería de bitcoin. Para la elección del equipo ASIC, se evaluaron varios factores clave, incluyendo la capacidad de procesamiento, el consumo energético y el costo inicial de los equipos. Estos criterios son esenciales para maximizar la rentabilidad y eficiencia de la operación minera.

El equipo seleccionado para este estudio es el Antminer S21 el cual se muestra en la Figura 4.4, reconocido por su rendimiento superior en la minería de bitcoin. A continuación, se detallan algunas de sus características más destacadas.

Parámetro	Antminer S21
Algoritmo	SHA-256
Hashrate	200Th/s
Consumo energético	3500W
Eficiencia energética	0.0175j/Gh
Voltaje de entrada AC de fuente de alimentación	220V ~277V
Rango de frecuencia de entrada de fuente de alimentación	50Hz ~ 60Hz
Dimensiones	40 x 19.5 x 29 cm
Peso	15.4kg
Nivel de ruido	75dB
Temperatura	0°C - 40°C
Humedad	10% - 90%

Tabla 4.1 Especificaciones Antminer S21 [4]



Figura 4.4 Antminer S21

- **Cantidad de equipos ASIC**

La planta de minería contará con una capacidad de 64 equipos ASIC, la cantidad de 64 equipos puede ofrecer una base sólida para una posible expansión a futuro, siendo posible añadir más equipos para aumentar la capacidad de minería. Además, representa aproximadamente un consumo energético de 225 kW, una cantidad significativa pero manejable dentro de las capacidades de las infraestructuras eléctricas industriales en El Salvador.

4.2 Instalación de equipos ASIC

En la estructura de montaje se debe cumplir la seguridad en la instalación de los equipos ASIC, de tal manera que soporte el peso del conjunto de equipos. Una estructura de montaje adecuada no solo facilita la gestión de las altas temperaturas generadas por los ASIC, sino que también contribuye a la organización y accesibilidad de los equipos en el sistema. Para este propósito, se ha adoptado una estructura tipo estante metálico, reconocida por su durabilidad, capacidad de carga y flexibilidad que nos ayudará en la configuración de montaje de los equipos ASIC.

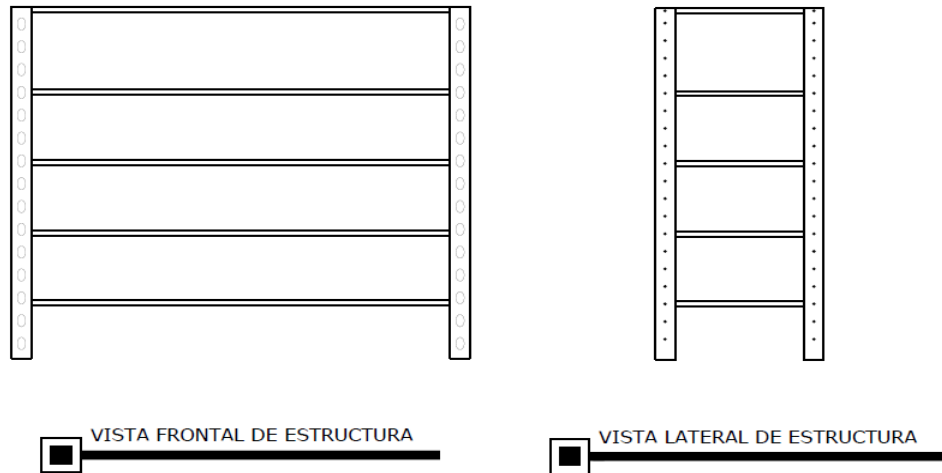


Figura 4.5 Propuesta de diseño de estructura

Como se observa en la Figura 4.5, se ha seleccionado un estante metálico por sus características robustas y versátiles. Este tipo de estante es conocido por su durabilidad y resistencia, siendo capaz de soportar cargas pesadas sin deformarse. Además, los estantes metálicos ofrecen una gran flexibilidad, lo que permite ajustar y configurar los niveles y longitudes según las necesidades específicas de montaje de los equipos ASIC. La excelente conductividad térmica del metal es otra característica clave, ya que facilita la disipación del calor generado por los equipos durante su funcionamiento.

En la Figura 4.6 se muestra el diseño propuesto junto al montaje de los equipos ASIC, el cual se ha intentado aprovechar al máximo las ventajas del tipo de estructura de soporte. En primer lugar, su capacidad de carga asegura que múltiples dispositivos puedan ser montados de manera segura y estable.

En segundo lugar, la flexibilidad en la configuración permite optimizar el espacio disponible, facilitando tanto la instalación inicial como futuras expansiones. Además, la accesibilidad proporcionada por estos estantes simplifica las tareas de mantenimiento y supervisión, permitiendo realizar ajustes y reparaciones de manera eficiente, tomando en cuenta lo anterior y según el dimensionamiento de nuestro espacio a disposición se han colocado 64 equipos ASIC.

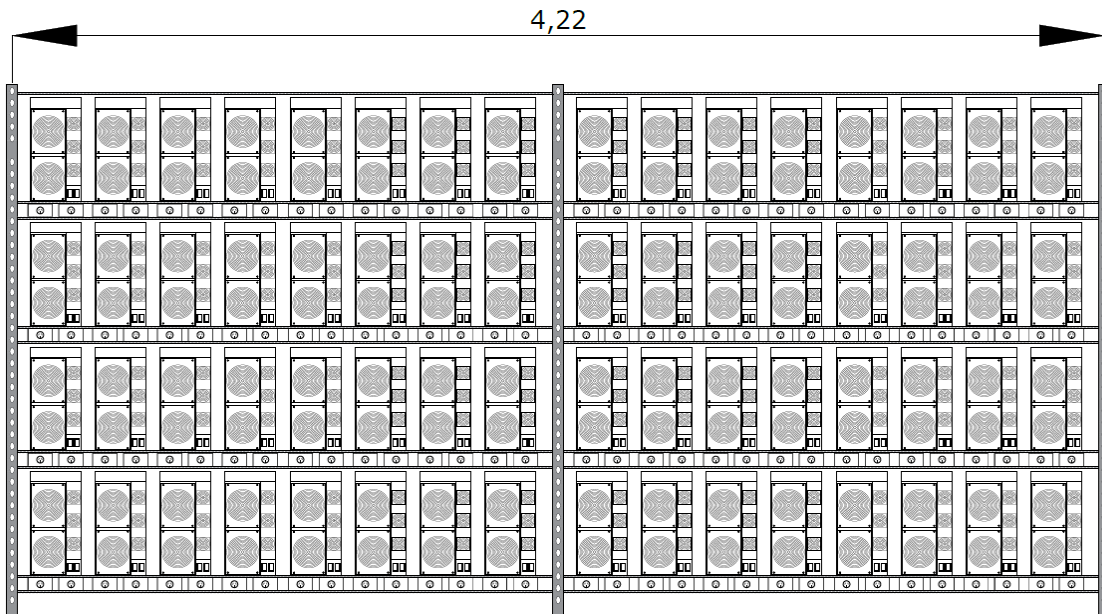


Figura 4.6 Diseño de estructura y montaje de 64 equipos ASIC, cotas en metros

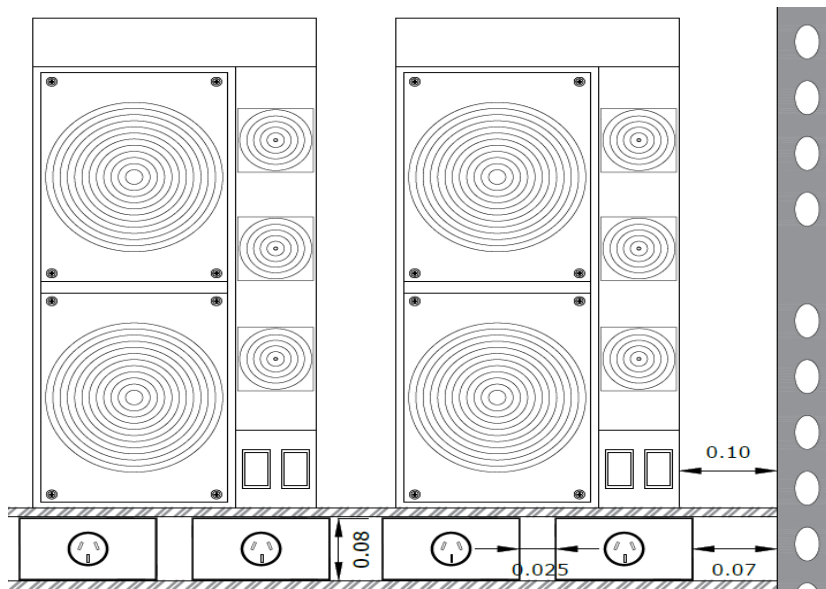


Figura 4.7 Forma de distribución del montaje de 64 equipos ASIC, cotas en metros

En la Figura 4.7 se realiza un acercamiento para visualizar en detalle el montaje de los equipos en infraestructura, teniendo una separación entre equipos de 5 cm, de igual forma se observa los niveles para conexión eléctrica asignados a cada equipo, dicho nivel cuenta con 8 cm correspondiente al tamaño del toma y con una separación de 20 cm, de tal forma, que no estén sin espaciamiento entre ellos, de esta forma se garantiza que al presentar falla o mantenimiento puede quitarse uno o varios sin afectar al otro de la par.

Se debe considerar las necesidades específicas de los ASIC dentro del contenedor de 40 pies, que corresponde a nuestro espacio disponible. La distribución se ha planificado cuidadosamente para asegurar que se ocupe el espacio de forma eficiente, maximizando la capacidad y optimizando el flujo de aire y la gestión térmica, esto se puede observar en las Figura 4.8 y Figura 4.9. Este enfoque garantiza no solo la organización y accesibilidad de los equipos, sino también la efectividad del sistema de enfriamiento del cual se hablará más adelante, a su vez se ha considerado el diseño para tener una facilidad de mantenimiento.

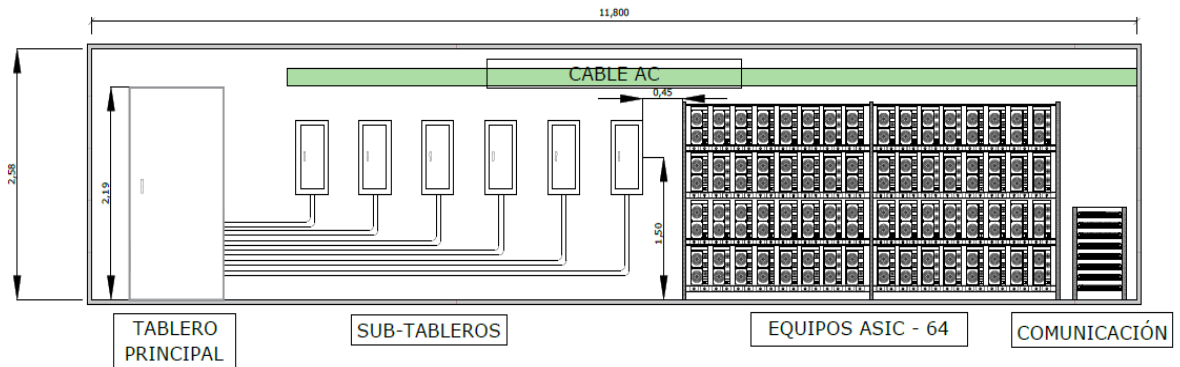


Figura 4.8 Vista lateral del montaje y distribución de equipos

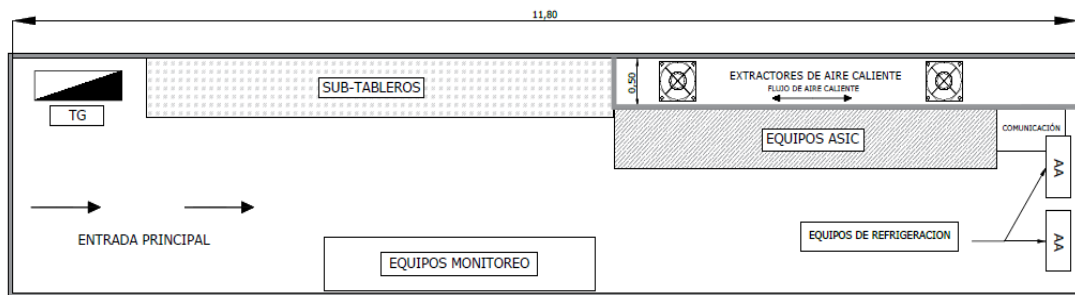


Figura 4.9 Vista en planta del montaje y distribución de equipos

4.3 Enfriamiento

El enfriamiento de una planta de minería de bitcoin, es un aspecto esencial para garantizar el rendimiento y para prolongar la vida útil de los equipos ASIC. Dado que estos equipos generan grandes cantidades de calor durante su operación, implementar un sistema de enfriamiento eficiente es clave para evitar sobrecalentamientos y fallos que puedan reducir la productividad, aumentar los costos operativos o dañar completamente los equipos. La elección del sistema adecuado depende del tamaño de la planta, las condiciones climáticas de la ubicación y el presupuesto disponible, siendo el enfriamiento un factor decisivo para la sostenibilidad y rentabilidad de la operación minera.

4.3.1 Sistemas de Enfriamiento

El sistema de enfriamiento que se considera en la planta de minería son aires acondicionados, por tanto, los cálculos de diseño se basan en esta tecnología. Este sistema está diseñado para mantener una temperatura constante y adecuada en las instalaciones, asegurando que los equipos de minería operen dentro de sus parámetros térmicos óptimos. La elección de aires acondicionados se basa en su capacidad para proporcionar un enfriamiento preciso, lo cual es crucial para evitar el sobrecalentamiento de los equipos y asegurar la máxima eficiencia energética y operativa de la planta de minería.

Para realizar el cálculo de la capacidad total de los aires acondicionados es necesario conocer el área a utilizar y la carga térmica, la carga térmica se refiere al calor que se genera en el sitio que el aire acondicionado debe anular.

El cálculo de la carga térmica en la planta de minería se calcula en la Tabla 4.2, en la cual el total de BTU es de 45,700, para cada equipo ASIC se consideran 700 BTU.

Parámetro	Cantidad	BTU por unidad	BTU total
Personas	1	500	500
Equipos	64	700	38,800
Luminarias	2	200	400
Total de BTU			45,700

Tabla 4.2 Carga térmica de la planta de minería [31]

$$Ct = \text{área [m}^2] \times \frac{BTU}{m^2} + \text{carga termica}$$

Utilizando la ecuación anterior en la cual Ct hace referencia a la capacidad total de aire acondicionado, se obtiene:

$$Ct = 28.80 \text{ m}^2 \times \frac{650 \text{ BTU}}{m^2} + 45,700 \text{ BTU}$$

$$Ct = 64,420 \text{ BTU}$$

Obteniendo como resultado una capacidad total requerida de 64,420 BTU, por lo tanto, es necesario la instalación de 2 equipos de aire acondicionados de 36,000 BTU con tecnología INVERTER, similar al mostrado en la Figura 4.10, para cumplir con la capacidad requerida.



Figura 4.10 Aire acondicionado de 36,000 BT

En la Figura 4.11 se presenta un esquema detallado de la instalación de dos unidades de aire acondicionado de 36,000 BTU cada una. El diagrama muestra las distancias mínimas

consideradas para su correcta instalación, destacando una separación de 0.50 cm respecto al techo del contenedor.

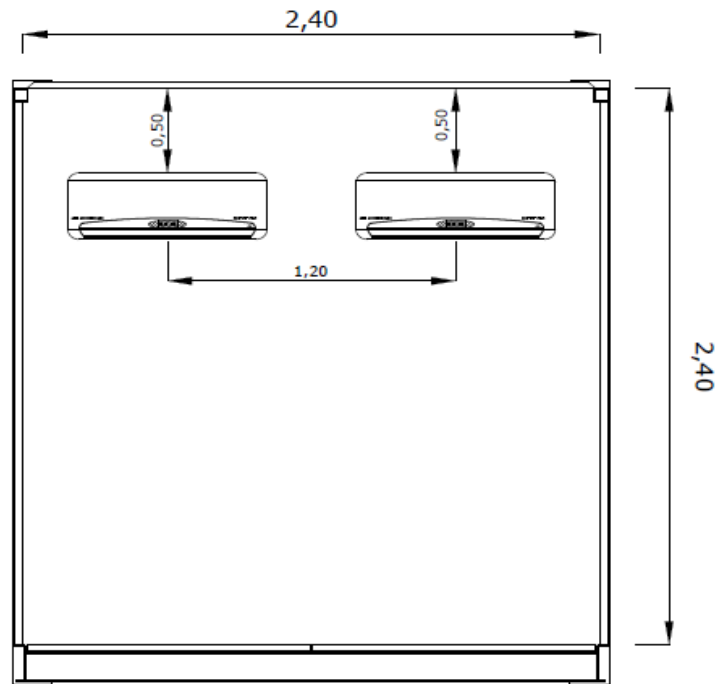


Figura 4.11 Esquema de instalación de aires acondicionados de 36,000 BTU

4.3.2 Flujo de Aire

Separar el aire caliente producido por los ASIC, del aire frío producido por los aires acondicionados en el contenedor, es importante para mantener la eficiencia operativa y el funcionamiento de los equipos. Los ASIC generan una cantidad significativa de calor durante su funcionamiento, y si este calor no se gestiona adecuadamente, puede provocar un sobrecalentamiento del equipo, reduciendo su rendimiento y aumentando el riesgo de fallos técnicos.

Para lograr la separación eficiente del aire caliente del aire frío, se considera la instalación de un tabique de panel de yeso (tabla roca) a 0.5 metros de distancia del panel lateral del contenedor. En la parte superior del espacio dedicado al aire caliente, se colocan cuatro extractores de aire como se muestra en la Figura 4.12. Esta práctica permite mantener una temperatura adecuada dentro del contenedor y evita el recalentamiento de los equipos. La pared se posiciona detrás de los 64 ASIC, lo cual asegura la extracción efectiva del aire caliente generado por los

ventiladores en funcionamiento. En la parte delantera de los ASIC, reciben aire frío producido por los aires acondicionados, y la pared mantiene la separación de los aires frío y caliente.

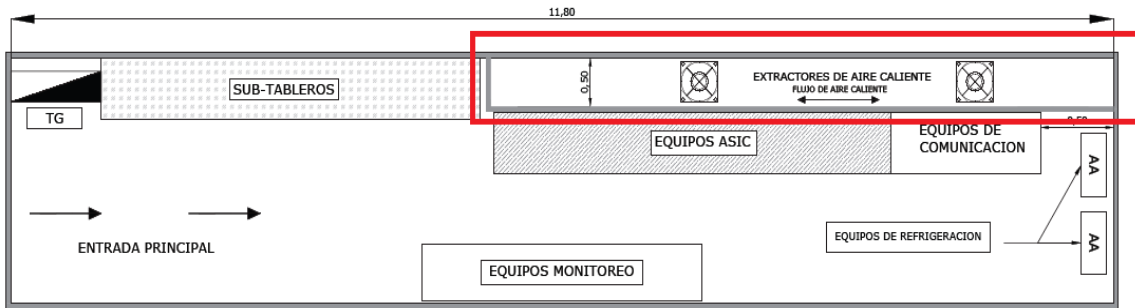


Figura 4.12 Vista en planta de esquema de separación de aire caliente

4.4 Instalaciones eléctricas

Para la implementación de la planta de minería de bitcoin, el diseño eléctrico constituye un aspecto fundamental que garantiza el funcionamiento eficiente y seguro de los equipos. Para el funcionamiento de la planta de minería, se llevará a cabo el diseño eléctrico para un contenedor que posee 64 equipos ASIC, aires acondicionados que son esenciales para mantener la temperatura óptima dentro del contenedor y luminarias. Este diseño incluirá el dimensionamiento de protecciones eléctricas, el calibre de los conductores, los tableros eléctricos y la subestación eléctrica, asegurando así la estabilidad y seguridad del suministro eléctrico.

4.4.1 Ubicación de tomacorrientes

La planta de minería posee un total de 64 ASIC Antminer S21 los cuales demandan una potencia de 3500 W cada uno y con un voltaje de alimentación de 220 - 277 V.

Cálculo de corriente de un ASIC Antminer S21:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{3500 \text{ W}}{240 \text{ V}} = 14.58 \text{ A}$$

Cálculo de protección eléctrica:

$$CB = 20A * 0.8 = 16 A$$

$$CB = 20A/2P$$

Para cada Antminer S21, que requiere una corriente de 14.58 A, es necesario utilizar una protección de 20A/2P para 2 tomacorrientes. Esto se debe a que se trata de una carga continua y la protección adecuada garantiza la seguridad y el correcto funcionamiento del equipo; además, se considera un circuito independiente para cada par de tomacorrientes que alimentará cada ASIC. Esta configuración es preferible en términos de rendimiento, ya que, si se conectaran varios ASIC en un mismo circuito, cualquier falla, mantenimiento o reemplazo de un ASIC afectaría la producción de los otros conectados al mismo circuito. Al tener circuitos separados, se asegura que la operación de los ASIC restantes no se vea comprometida por los problemas en un solo equipo.



Figura 4.13 Tomacorriente E35805

Se considera la instalación de 128 tomacorrientes a 240V similares o equivalentes al mostrado en la Figura 4.13. Se consideran 2 tomacorrientes por circuito para alimentar cada uno de los ASIC.

4.4.2 Tableros eléctricos

Se proponen 6 subtableros eléctricos trifásicos de 120/240 V, cada uno con 30 espacios y barras de 200 A. De estos subtableros, ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 y ST-5 están equipados con 12 circuitos destinados a alimentar 12 equipos ASIC cada uno. El subtablero ST-6 está configurado de manera diferente, ya que alimenta 4 equipos ASIC, 2 luminarias, 2 aires acondicionados de 36,000 BTU y un tomacorriente destinado para comunicaciones. Esta distribución permite una organización eficiente y segura de la carga eléctrica, asegurando el funcionamiento óptimo de los

equipos y facilitando el mantenimiento y la supervisión de la infraestructura. A continuación, se muestran los cuadros de carga de cada subtablero.

ST-1												
N° de Circuito	Espacios		Voltaje (V)	Potencia Instalada (kW)	Coef. de utilización	Potencia Real (kVA)	Corriente (A)			Número de polos	Breaker	Descripción
							A	B	C			
1	1	3	240	3.5	1	3.5	14.58	14.58		2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
2	4	6	240	3.5	1	3.5		14.58	14.58	2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
3	5	7	240	3.5	1	3.5	14.58			2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
4	8	10	240	3.5	1	3.5	14.58	14.58		2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
5	9	11	240	3.5	1	3.5		14.58	14.58	2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
6	12	14	240	3.5	1	3.5	14.58			2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
7	13	15	240	3.5	1	3.5	14.58	14.58		2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
8	16	18	240	3.5	1	3.5		14.58	14.58	2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
9	17	19	240	3.5	1	3.5	14.58			2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
10	20	22	240	3.5	1	3.5	14.58	14.58		2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
11	21	23	240	3.5	1	3.5		14.58	14.58	2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
12	24	26	240	3.5	1	3.5	14.58			2	20 A	Circuito de 2 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
Potencia real instalada (kVA)						42.00				Alimentador: 3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T) TUBERÍA: EMT ϕ 2" Descripción: Subtablero de tomacorrientes para 12 equipos mineros, trifásico de 30 espacios, 120/240V, barras de 200 A.		
Amperios (A)							116.67	116.67	116.67			
Factor de demanda						1	1	1	1			
Carga instalada						42.00						
Corrientes en barra							116.67	116.67	116.67			

Tabla 4.3 Cuadro de carga de ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 y ST-5

ST-6												
N° de Circuito	Espacios		Voltaje (V)	Potencia Instalada (kW)	Coef. de utilización	Potencia Real (kVA)	Corriente (A)			Número de polos	Breaker	Descripción
							A	B	C			
1	5	7	240	3.5	1	3.5	14.58		14.58	2	20 A	Circuito de 1 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
2	4	6	240	3.5	1	3.5		14.58	14.58	2	20 A	Circuito de 1 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
3	8	10	240	3.5	1	3.5	14.58		14.58	2	20 A	Circuito de 1 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
4	1	3	240	3.5	1	3.5	14.58	14.58		2	20 A	Circuito de 1 tomacorriente a 240 V para alimentar equipo minero.
5	2		120	0.07	0.85	0.060	0.50			1	15 A	2 luminarias de 35 W.
6	13	15	240	3.22	1	3.22	13.42	13.42		2	20 A	Aire acondicionado de 36,000 BTU.
7	12	14	240	3.22	1	3.22		13.42	13.42	2	20 A	Aire acondicionado de 36,000 BTU.
8	16		120	0.2	1	0.2		1.67		1	20 A	Tomacorriente dedicado para datos.
Potencia real instalada (kVA)						20.70				Alimentador: 2 THHN #2 (FA, FB, FC) + 1 THHN #2 (N) + 1THHN #6 (T) TUBERÍA: EMT ϕ 1-1/2" Descripción: Subtablero de tomacorrientes para 4 equipos mineros, trifásico de 30 espacios, 120/240V, barras de 200 A.		
Amperios (A)							57.66	57.67	57.17			
Factor de demanda						1	1	1	1			
Carga instalada						20.70						
Corrientes en barra							57.66	57.67	57.17			

Tabla 4.4 Cuadro de carga de ST-6

TABLERO GENERAL												
N° de Circuito	Voltaje (V)	Potencia Instalada (kW)	Coef. de utilización	Potencia Real (kVA)	Corriente (A)			Número de polos	Breaker	Conductores	Descripción	
					A	B	C					
1	240	0.00	1					3	30 A	-	SUPRESOR 150 KVA	
2	240	42.00	1	42	116.67	116.67	116.67	3	150 A	3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-1	
3	240	42.00	1	42	116.67	116.67	116.67	3	150 A	3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-2	
4	240	42.00	1	42	116.67	116.67	116.67	3	150 A	3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-3	
5	240	42.00	1	42	116.67	116.67	116.67	3	150 A	3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-4	
6	240	42.00	1	42	116.67	116.67	116.67	3	150 A	3 THHN #1/0 (FA, FB, FC) + 1 THHN #1/0 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-5	
7	240	20.70	1	20.70	57.66	57.67	57.17	3	100 A	3 THHN #2 (FA, FB, FC) + 1 THHN #2 (N) + 1THHN #6 (T)	SUBTABLERO ST-6	
Potencia real instalada (kVA)					230.70				Alimentador: 3x(3 THHN 250 MCM (FA, FB, FC) + 1 THHN 250 MCM (N) + 1 THHN #1/0(T)) MAIN: 800A/3P TUBERÍA: EMT ϕ 3x(2)" Descripción: Tablero trifásico, 5 hilos, 120/240V, panelboard, barras de 1200 A.			
Amperios (A)						641.00	641.00	640.50				
Reserva de 0%					0	0.00	0.00	0.00				
Factor de demanda					1	1	1	1				
Carga instalada					230.70							
Corrientes en barra						641.00	641.00	640.50				

Tabla 4.5 Cuadro de carga de tablero general

En la Tabla 4.3 se observa que la corriente máxima en las barras del tablero ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 y ST-5 es de 116.67 A y para el ST-6 es de 57.67 A. Para realizar el cálculo adecuado de los subalimentadores, es imprescindible conocer la ampacidad de los conductores, la cual se encuentra especificada en la Tabla del NEC 310.16, mostrada en la Figura 4.14.

CALIBRE	TEMPERATURA NOMINAL DEL CONDUCTOR (VER TABLA 310-13)						SECCIÓN
	60° C	75° C	90° C	60° C	75° C	90° C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW- 2, THHN*, THHW*, THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
18	....	....	14	....	....	....	....
16	....	....	18	....	....	....	....
14	20*	20*	25*	....	....	....	....
12	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
10	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500

Figura 4.14 Capacidades de corriente permisibles de conductores aislados según 310.16 NEC

Con base a la información proporcionada por la Figura 4.15 se realizan los cálculos de subalimentadores, protecciones eléctricas para cada subtablero y el tablero general.

Cálculo de protecciones:

Para subtablero ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 Y ST-5:

$$I = 1.25 * (116.67) = 145.84 A$$

$$CB = 150A/2P$$

Para los subtableros mencionados previamente, se requiere una protección eléctrica de 150A/2P. Este dato se obtiene multiplicando la corriente de los equipos (116.67 A) por un factor de seguridad del 25%, obteniendo 145.84A, aproximándose a una protección de 150A. Los conductores seleccionados son de tipo THHN de calibre #1/0, los cuales tienen una capacidad de corriente de 170A, conforme a la tabla 310.16 del NEC. En consecuencia, el subalimentador desde el Tablero General (TG) estará compuesto por tres conductores THHN de calibre #1/0 para las fases A, B y C, un conductor THHN de calibre #1/0 para el neutro, y un conductor THHN de calibre #6 para la puesta a tierra (T).

Para subtablero ST-6:

$$I = 1.25 * (57.66) = 70.32 A$$

$$CB = 80A/2P$$

Para el subtablero ST-6, se requiere una protección eléctrica de 80A/2 polos. Los conductores seleccionados son de tipo THHN de calibre #2, los cuales tienen una capacidad de corriente de 130A, conforme a la Tabla 310.16 del NEC. En consecuencia, el subalimentador desde el Tablero General (TG) estará compuesto por tres conductores THHN de calibre #2 para las fases A, B y C, un conductor THHN de calibre #2 para el neutro, y un conductor THHN de calibre #6 para la puesta a tierra (T).

Para tablero general:

$$I = 1.25 * (641.00) = 801.25 A$$

$$CB = 800A/3P$$

Para el tablero general, se requiere una protección eléctrica de 800A/3 polos. Los conductores seleccionados son de tipo THHN de calibre 250 MCM, los cuales tienen una capacidad de corriente de 290A, conforme a la Tabla 310.16 del NEC. Por lo tanto, el alimentador principal desde la subestación estará compuesto por 3 juegos en paralelo de conductores THHN de calibre #250 MCM para las fases A, B y C, un conductor THHN de calibre #250 para el neutro, y un conductor THHN de calibre #1/0 para la puesta a tierra (T).

Con base al tablero general se observa que la carga instalada total es de 230.70 kVA, realizando los cálculos que se muestran en la Tabla 4.6, obtenemos que la subestación a instalar debe ser de 300 kVA.

CALCULO DE LA SUBESTACIÓN		
CARGA TOTAL INSTALADA	230.70	KVA
FACTOR DE DEMANDA:	1.00	
RESERVA 0%	0	KVA
TOTAL	1.00	KVA
TOTAL DE SUBESTACIÓN	300	KVA
CALCULO DE FUSIBLE DE PROTECCIÓN EN MEDIA TENSIÓN		
CARGA TOTAL DE SUBESTACIÓN (S)	300	KVA
VOLTAJE (V)	23	KV
CORRIENTE (I)	7.54	A
CORRIENTE EN EL SECUNDARIO (I)	722.54	A
FUSIBLE TIPO T	8	AMPERIOS

Tabla 4.6 Cálculo de subestación

Diagrama unifilar:

En la figura 4.15, se muestra el diagrama unifilar de la instalación eléctrica requerida para el funcionamiento de la planta de minería de bitcoin.

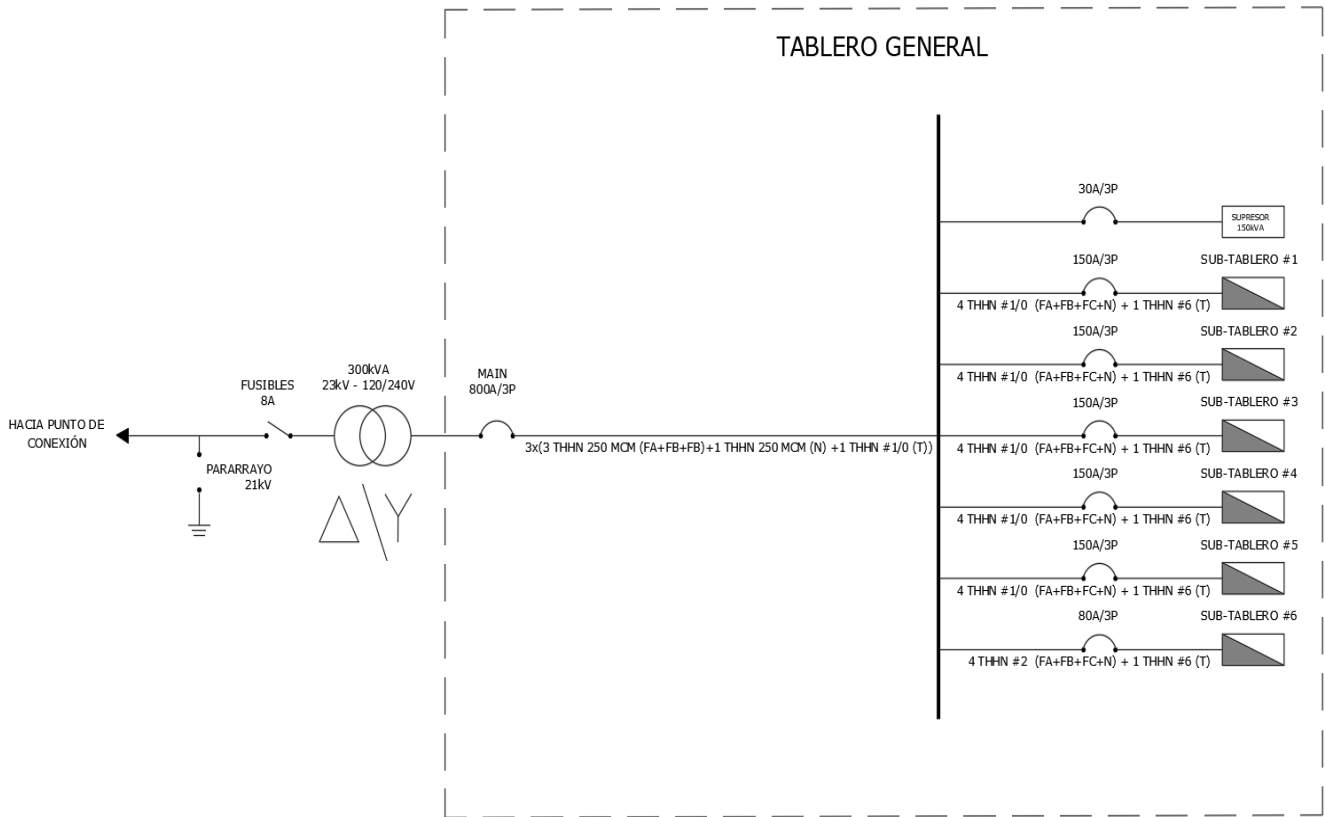


Figura 4.15 Diagrama unifilar

4.4.3 Red de tierra

La red de tierra es un sistema esencial de seguridad en las instalaciones eléctricas, diseñada para dispersar de manera segura y eficiente las corrientes eléctricas no deseadas, como las derivadas de fallas eléctricas o descargas atmosféricas hacia el suelo. Su importancia radica en la protección que ofrece tanto a las personas como a los equipos contra posibles descargas eléctricas y sobrecargas, evitando daños costosos y potencialmente peligrosos. En una planta de minería de bitcoin, la instalación de una red de tierra es fundamental debido a la alta densidad de equipos electrónicos que operan de manera continua y demandan grandes cantidades de energía. Los beneficios de contar con una red de tierra adecuada incluyen la reducción del riesgo de incendios y accidentes eléctricos, la mejora de la estabilidad operativa de los equipos, y la prolongación de la vida útil de los dispositivos, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro de toda la infraestructura de minería.

Cálculo de red de tierra:

Para una subestación de 300 kVA se requiere un valor de R_g (resistencia a tierra) de menor o igual a 2.0Ω según acuerdo SIGET No. 29-E-2000.

CAPACIDAD DE SUBESTACION [KVA]	RESISTENCIA MINIMA [Ω]
≤ 50	12.0
50 - 100	6.0
100 - 500	2.0
500 - 1,000	1.5
1,000 - 5,000	1.0
50,000 - 100,000	0.5
100,000	0.2

Tabla 4.7 Valores máximos permitidos de resistencia a tierra de subestación en función a su capacidad

Usando la ecuación de Dwight, para calcular la red de tierra:

$$R_{g1} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right)$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno

L = Longitud de la varilla

a = radio de la varilla

Utilizando barras de polarización de 5/8"x10' (0.01587 m x 3.048 m), con una separación mínima de 3.0 metros entre ellas y un enterramiento mínimo de 0.8 metros, obtenemos el siguiente resultado.

$$Rg_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \left(\frac{4L}{a} \right) - 1 \right) = \frac{25 \Omega \cdot m}{2\pi(3.04 \text{ m})} \left(\ln \left(\frac{4(3.04 \text{ m})}{\frac{0.01587 \text{ m}}{2}} \right) - 1 \right)$$

$$Rg_1 = 8.29 \Omega$$

De acuerdo al estándar de SIGET 29-E-2000, la resistencia debe ser menor o igual a 2Ω . Aplicando los multiplicadores de la IEEE-142 mostrados en la Tabla 4.8, usando 8 varillas, se obtiene el total de resistencia a tierra.

Number of rods	F
2	1.16
3	1.29
4	1.36
8	1.68
12	1.80
16	1.92
20	2.00
24	2.16

Tabla 4.8 Factor de multiplicación para múltiples barras

$$Rg_8 = factor * \frac{Rg_1}{x} = 1.68 * \frac{8.29 \Omega}{8}$$

$$Rg_8 = 1.74 \Omega$$

Se requieren un total de 8 barras de polarización de 5/8"x10', con una separación mínima de 3.00 metros entre ellas y un enterramiento mínimo de 0.8 metros, para obtener una resistencia de 1.74 ohmios en la red de tierra.

Para la correcta elección del conductor de tierra se hace uso de la Tabla del NEC 250.122, en la cual se selecciona con base al total de amperios de la planta de minería de bitcoin. El total de amperios del tablero general es de 641.0 A y observando en la tabla siguiente (Tabla 4.9), el calibre de conductor de tierra adecuado es THHN #1/0 desnudo.

Valor nominal o ajuste de dispositivos automáticos contra sobrecorriente en circuitos antes del equipo, conduit, etc., sin exceder de (Amperes)	Calibre (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio recubierto de cobre*
15	14	12
20	12	10
30	10	8
40	10	8
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1000	2/0	4/0
1200	3/0	250
1600	4/0	350
2000	250	400
2500	350	600
3000	400	600
4000	500	800
5000	700	1200
6000	800	1200

Tabla 4.9 Calibre mínimo de conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos, Tabla NEC 250.122

4.5 Infraestructura de la red de datos

La red de datos de una planta de minería de bitcoin, es fundamental para su operación. Esta infraestructura incluye sistemas de redes con conexiones de alta velocidad y baja latencia, para asegurar la transmisión constante de información entre los equipos mineros y la red de Bitcoin.

4.5.1 Router

Utilizar un router es esencial en cualquier red que busca conectar múltiples dispositivos a una sola conexión a internet o a una red interna más amplia. Un router desempeña varias funciones críticas que aseguran la eficiencia, estabilidad y seguridad de la red.

El router que se utilizará es el EdgeRouter Infinity, fabricado por la empresa Ubiquiti. Se utilizará para gestionar la conexión de 64 equipos ASIC debido a sus características avanzadas que cumplen con los requisitos de alto rendimiento, estabilidad y capacidad de gestión de una red de alta demanda. En la siguiente figura se muestra el EdgeRouter Infinity.



Figura 4.16 EdgeRouter Infinity

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones más importantes del router propuesto:

Especificaciones Técnicas EdgeRouter Infinity	
Dimensiones	44.2 x 28.56 x 4.37 cm
Peso:	
Sin montaje	4.95 kg
Con montaje	5.045 kg
Consumo máximo de energía	100 W
Voltaje Alimentación	110 -240 V AC
Procesador	MIPS64 de 16 núcleos de 1.8 GHz
Memoria del sistema	16 GB de RAM DDR4
Almacenamiento flash incorporado	8 MB de memoria flash NOR 4 GB de memoria flash NAND Emmc
Interfaces:	
Puerto serie de consola	(1) puerto serie RJ45
Puerto de datos	(8) puertos SFP + (1) puerto Gigabit Ethernet RJ45
Temperatura de funcionamiento	De -5 a 40° C
Humedad de funcionamiento	5 - 95 % sin condensación

Tabla 4.10 Especificaciones técnicas EdgeRouter Infinity

El EdgeRouter Infinity está equipado con 8 puertos SFP+ de 10 Gbps, lo que permite conexiones de alta velocidad esenciales para manejar el gran volumen de datos generado por los equipos ASIC. Además, el puerto RJ45 admite tres velocidades distintas de transmisión de datos, ofreciendo conexiones Ethernet de 10/100/1000 Mbps para una mayor versatilidad.

Su potente procesador de 16 núcleos a 1.8 GHz asegura la capacidad de gestionar tareas complejas y procesar grandes volúmenes de datos de manera eficiente. La memoria de 16 GB de RAM permite manejar múltiples conexiones y grandes cantidades de tráfico de red sin afectar el rendimiento.

Un factor clave para la elección de este router es su escalabilidad, ya que puede adaptarse a futuras expansiones de la planta minera, permitiendo la adición de más equipos ASIC sin necesidad de reemplazar la infraestructura de red existente.

4.5.2 Switch

Para la elección del switch, se consideró el Switch Estándar 24 de la marca Ubiquiti debido a sus características que cumplen con los requisitos de la planta minera. Este switch proporciona 24 puertos, por lo que se utilizarán 3 switches para conectar directamente a todos los equipos

ASIC, manteniendo además capacidad adicional para futuros equipos. A continuación, se presenta una imagen del producto y sus características:

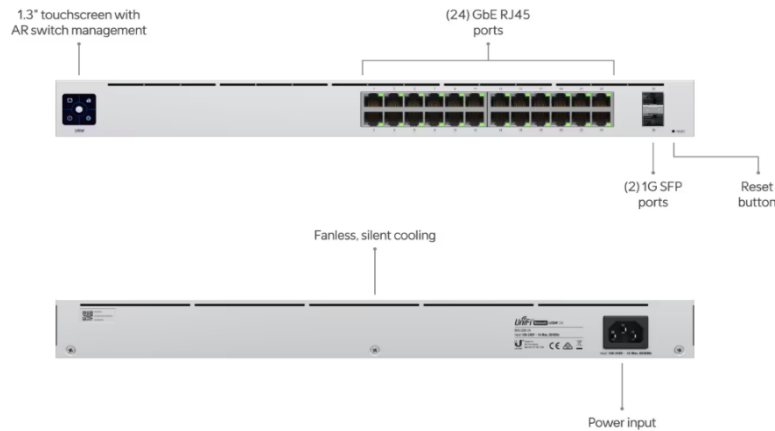


Figura 4.17 Ubiquiti Switch Estándar 24

Especificaciones Técnicas UniFi Switch Estándar 24	
Dimensiones	44.2 x 20 x 4.4 cm
Peso:	
Sin soportes de montaje	2.7 kg
Con soportes de montaje	2.8 kg
Consumo máximo de energía	25 W
Voltaje Alimentación	100 - 240 V AC
Frecuencia	50/60 Hz
Interfaz de gestión	Ethernet en banda
Interfaz de red	(24) puertos RJ45 GbE (2) puertos SFP 1G
Rendimiento total sin bloqueo	26 Gbps
Capacidad de conmutación	52 Gbps
Velocidad de reenvío	38.69 Mpps
Temperatura de funcionamiento	De -5 a 45° C
Humedad ambiental de funcionamiento	Del 10 al 95 % sin condensación

Tabla 4.11 Especificaciones Técnicas Ubiquiti Switch Estándar 24

El Ubiquiti Switch Estándar 24 fue elegido por su capacidad para satisfacer las necesidades actuales de la planta minera y por su potencial de escalabilidad para futuros aumentos en la cantidad de equipos ASIC. Su rendimiento confiable, facilidad de gestión e integración con el router elegido lo convierten en la opción ideal para mantener una red eficiente. En la Figura 4.18 se muestra el esquema de configuración de los switches.

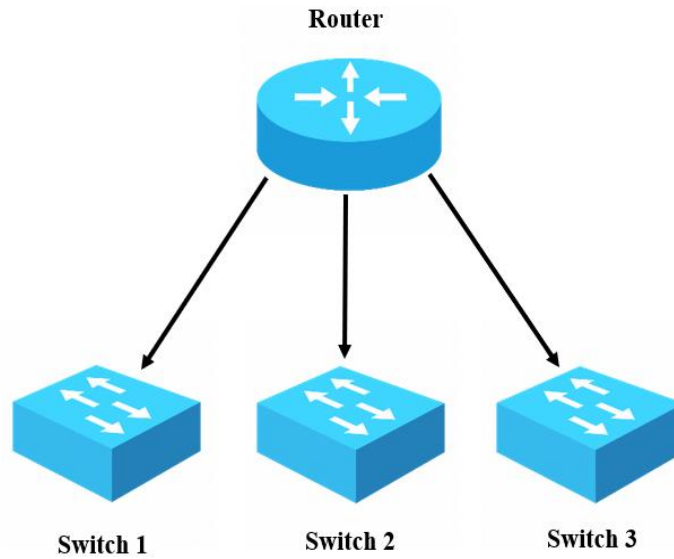


Figura 4.18 Configuración red de datos

4.5.3 Patch panel

Se utilizarán 3 patch panel en la instalación de red debido a la presencia de 3 switches de 24 puertos cada uno. Cada switch de 24 puertos estará conectado a su propio patch panel, esta disposición permite que los cables se organicen de manera ordenada y estructurada, evitando enredos y facilitando la identificación de conexiones específicas. En la Figura 4.19 se muestra el patch panel que se ha elegido para este diseño.



Figura 4.19 Patch panel 24 puertos, Cat. 6 PND24-UC6

En caso de fallos o problemas de conectividad, tener un patch panel dedicado a cada switch permite un diagnóstico más rápido y preciso. En mantenimiento se puede identificar rápidamente qué parte de la red está afectada y resolver el problema con mayor eficiencia.

4.5.4 Cables de red

Se necesita instalar un cableado de red para realizar las conexiones de la planta de minería de bitcoin a internet. Al seleccionar el cable, se consideró la capacidad para soportar altas velocidades de datos. Los cables CAT 6 son capaces de manejar velocidades de hasta 1,000 Mbits/s (ver Tabla 4.12), ajustándose a las necesidades de la planta. Por lo tanto, se eligió el cable CAT 6 que brinda una mayor resistencia y durabilidad comparada con los cables CAT 5 y CAT 5E, lo que reduce el riesgo de fallos y disminuye los costos de mantenimiento a largo plazo.

Categoría	Velocidad	Frecuencia	Velocidad de descarga
CAT 5	100 Mbit /s	100 MHz	15.5 MB/s
CAT 5E	1,000 Mbit /s	100 MHz	150.5 MB/s
CAT 6	1,000 Mbit /s	250 MHz	150.5 MB/s
CAT 6A	10,000 Mbit /s	500 MHz	1.25 GB/s
CAT 7	10,000 Mbit /s	600 MHz	1.25 GB/s
CAT 7A	10,000 Mbit/s	1,000 MHz	1.25 GB/s
CAT 8	40,000 Mbit/s	2,000 MHz	5 GB/s

Tabla 4.12 Categorías de cables de datos

Se contará con 64 equipos ASIC, por lo tanto, se deberá estimar la cantidad aproximada de metros de cable necesarios. Se incluirá cableado del router a los switches, latiguillos de red que se utilizarán de los patch panel a los switches, cableado de los switches a equipos ASIC:

- 3 cables interconexión Router - Switch (1 metro c/u)
- 64 cables de patch panel a equipos ASIC (6 metros c/u)
- 64 latiguillos de red de patch panel a Switch (0.5 metros c/u)

4.5.5 Rack

Se utilizará un rack para instalar los demás componentes de la red, como el router, switch, patch panel. Esto nos proporcionará un sistema de red organizado y eficiente. El rack que se ha tomado en cuenta se muestra en la Figura 4.20 y está diseñado para instalaciones de tamaño medio. Sus dimensiones son las siguientes 90 x 60 x 60 cm.



Figura 4.20 Armario rack 19" 18U GTLAN 31GTS1866S

4.6 Evaluación económica

La evaluación económica antes de realizar una inversión en una planta de minería de bitcoin, es un proceso esencial para determinar la viabilidad y rentabilidad. Este análisis comienza con estimar la inversión inicial en equipos especializados, como los ASIC, la infraestructura necesaria para su operación, incluyendo sistemas de enfriamiento y adecuaciones eléctricas. Además, los costos operativos, como el consumo de energía e internet.

Los ingresos de una planta de este tipo provienen de las recompensas de minería y las tarifas de transacción, cuyos valores están sujetos a la fluctuación del mercado y la *dificultad* de la red. Por lo tanto, es vital calcular el retorno de inversión y el margen de ganancia neta para evaluar la rentabilidad a largo plazo.

4.6.1 Costos de la planta de minería

En la Tabla 4.13 se presenta un resumen de costos que conlleva implementación de la planta de minería de bitcoin.

Presupuesto para planta de minería de bitcoin en El Salvador		
Partida	Descripción	Total
1	Electricidad Alumbrado	\$44.46
2	Tomacorrientes	\$7,712.00
3	Enfriamiento	\$6,700.00
4	Tableros	\$9,481.80
5	Alimentadores	\$7,261.50
6	Subestación	\$32,138.28
7	Equipos ASIC	\$238,720.00
8	Redes	\$3,576.50
9	Espacio	\$5,500.00
10	Tramites	\$9,737.69
11	Otros	\$1,347.00
Total costos directos		\$322,219.23
Costo indirecto + utilidades (25% de total costo directo)		\$402,774.04
IVA (13%)		\$52,360.62
Costo total de ejecución		\$455,134.66

Tabla 4.13 Presupuesto para la implementación de planta de minería.

4.6.2 Costos operativos

Costo de la energía eléctrica

Para estimar costos de la energía eléctrica en El Salvador, se debe conocer sobre la categoría tarifaria en la que se ubicará la planta de minería de bitcoin. La regulación salvadoreña clasifica las tarifas eléctricas basándose en la demanda de potencia, con las siguientes categorías:

- Pequeña demanda: la demanda máxima mensual es ≤ 10 kW.
- Mediana demanda: la demanda máxima mensual es > 10 kW y ≤ 50 kW.
- Gran demanda: la demanda máxima mensual es superior a 50 kW.

Además, para efectos del pliego tarifario, el suministro de energía en las redes de distribución se clasifica en dos categorías de tensión:

- Baja tensión (BT): suministros con voltaje ≤ 600 voltios.
- Media tensión (MT): suministros con voltaje superior a 600 voltios e inferior a 115,000 voltios.

Clasificación de las tarifas en la factura de energía, en donde se contempla la mediana demanda (MD) y las grandes demandas (GD):

Categoría	Baja tensión	Media tensión
Pequeñas demandas (≤ 10 KW)	R - Residencial AP - Alumbrado público G - General	
Medianas demandas (> 10 KW y ≤ 50 KW)	MD5 - Baja tensión con medidor horario	MD6 - Media tensión con medidor horario
Grandes demandas (> 50 KW)	GD1 - Baja tensión con medidor horario	GD2 - Media tensión con medidor horario

Tabla 4.14 Clasificación de las tarifas en la factura eléctrica

En El Salvador, las tarifas de energía eléctrica se ajustan trimestralmente según el artículo 90 del Reglamento de la Ley General de Electricidad. La categoría en la que se situará la planta minera de bitcoin será en grandes demandas, por lo tanto, a continuación, se muestra las tarifas actuales de dicha categoría:

III. GRANDES DEMANDAS (>50 kW)								
BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO								
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
CARGO DE COMERCIALIZACIÓN:								
Atención al Cliente US\$/Usuario-mes	12.945083	15.139039	11.735906	13.773823	12.252120	16.654821	17.214672	7.882962
CARGO DE ENERGÍA:								
Energía en Punta US\$/kWh	0.210306	0.202784	0.209986	0.206328	0.220701	0.183749	0.197723	0.146874
Energía en Resto US\$/kWh	0.177030	0.167681	0.178033	0.179710	0.189762	0.155101	0.159544	0.133031
Energía en Valle US\$/kWh	0.208128	0.199401	0.206997	0.204023	0.218816	0.179540	0.195017	0.145024
CARGO DE DISTRIBUCIÓN:								
Potencia: US\$/kW-mes	16.479866	25.092221	25.239508	30.061714	32.299898	39.004474	17.458443	21.463602
MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO								
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
CARGO DE COMERCIALIZACIÓN:								
Cargo Fijo US\$/Usuario-mes	12.945083	15.139039	11.735906	13.773823	12.252120	16.654821	17.214672	7.882962
CARGO DE ENERGÍA:								
Energía en Punta US\$/kWh	0.194827	0.185629	0.191509	0.183983	0.195619	0.171692	0.187937	0.129803
Energía en Resto US\$/kWh	0.164001	0.153495	0.162367	0.160247	0.168196	0.144925	0.151648	0.117569
Energía en Valle US\$/kWh	0.192810	0.182531	0.188783	0.181927	0.193948	0.167760	0.185365	0.128169
CARGO DE DISTRIBUCIÓN:								
Potencia: US\$/kW-mes	8.226985	9.347485	14.437158	19.597895	21.270364	10.125587	10.688800	5.530080

Tabla 4.15 Pliego tarifario del servicio eléctrico en grandes demandas aplicable al usuario final desde el 15 de abril de 2024

Para la facturación mensual de energía la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET) regula y estipula las tarifas para los siguientes cargos:

Cargo por energía: refleja el costo de la energía consumida durante el mes y corresponde a los costos de operación de los generadores. Normalmente los cambios de tarifa para este

cargo se efectúan de forma trimestral. También para los clientes catalogados en medianas o grandes demandas, el cargo por energía registra diferentes precios según los horarios en que haya sido efectuado el consumo (Tarifa Horaria), que se desglosan de la siguiente manera:

Punta: de las 18:00 a las 22:59 horas

Valle: de las 23:00 a las 04:59 horas

Resto: de las 05:00 a las 17:59 horas

Cargo por distribución: corresponde a los costos incurridos por la distribuidora para realizar labores de mantenimiento, mejora y expansión de la red. El cálculo del cargo se realiza con base en la máxima demanda mensual (kW) registrada por el equipo de medición.

Cargo por comercialización: es un valor fijo mensual correspondiente a costos por emisión y notificación de facturas, atención a clientes en oficinas comerciales.

Otros cargos: hasta el momento se han definido los cargos que se encuentran siempre en una factura eléctrica; sin embargo, es importante mencionar que en algunos casos pueden reflejarse cargos como, bajo factor de potencia, intereses por mora, acuerdos a plazos, compensaciones por fallas y otros.

De acuerdo a la clasificación de las tarifas de la factura eléctrica que se muestra en la Tabla 4.13 y el pliego tarifario de la Tabla 4.14, se utilizará la categoría de grandes demandas en media tensión puesto que la demanda de la planta de minería de bitcoin supera los 50 kW y la medición del consumo será en media tensión con medición horaria.

En la Tabla 4.16 se muestra la tarifa promedio del año para los clientes de las diferentes distribuidoras de El Salvador.

Cargo por energía	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Energía en Punta US\$-kWh	0.194827	0.185629	0.191509	0.183983	0.195619	0.171692	0.187937	0.129803
Energía en Resto US\$-kWh	0.164001	0.153495	0.162367	0.160247	0.168196	0.144925	0.151648	0.117569
Energía en Valle US\$-kWh	0.192810	0.182531	0.188783	0.181927	0.193948	0.167760	0.185365	0.128169
Tarifa promedio US\$-kWh	0.18387933	0.173885	0.18088633	0.17538567	0.185921	0.161459	0.17498333	0.12518033

Tabla 4.16 Promedio tarifa para grandes demandas, en media tensión con medidor horario

Costos de internet

Se utilizará Starlink como proveedor de internet para la planta de minería de Bitcoin. Los costos iniciales que incluye Starlink son los siguientes:

Equipo: La compra del equipo necesario para la conexión a Starlink tiene un costo aproximado de \$350. Este equipo incluye la antena parabólica, el router Wi-Fi, el trípode de montaje y los cables necesarios.

Envío: Además del costo del equipo, hay un cargo adicional de \$20 por el envío del mismo, lo que suma a un costo total inicial de \$370.

Además, se debe considerar los costos mensuales del servicio de internet de Starlink que es de aproximadamente \$59.

4.7 Rentabilidad de la planta de minería en El Salvador

La rentabilidad de una planta de minería de Bitcoin depende de múltiples factores, como el costo de la electricidad, la eficiencia de los equipos de minería, la dificultad de la red, el precio del bitcoin, etc. Para maximizar los ingresos, es importante optimizar el consumo energético utilizando equipos ASIC eficientes y establecer la planta en una ubicación con tarifas eléctricas competitivas.

4.7.1 Simulación de rentabilidad de los equipos ASIC

Existen herramientas conocidas como calculadoras de rentabilidad de equipos de minería de criptomonedas. Las herramientas permiten a los usuarios ingresar diversos parámetros relacionados con la minería. Utilizando estos datos, las calculadoras estiman la viabilidad y el potencial de ganancias de diferentes equipos ASIC utilizados en la minería.

Estas herramientas son importantes porque permiten a los mineros evaluar la rentabilidad de sus operaciones y tomar decisiones informadas sobre qué equipos utilizar. Al proporcionar una

visión de los posibles ingresos y costos asociados con la minería de criptomonedas, las calculadoras ayudan a evaluar y mejorar la viabilidad de las operaciones mineras.

Para la simulación de la calculadora de rentabilidad, se considerarán tres equipos ASIC: el Antminer S19 XP, Antminer S21 y el WhatsMiner M60S. Esto nos permitirá observar y comparar las variaciones en el rendimiento y eficiencia de cada equipo. Además, nos permitirá comparar el costo operativo asociado a cada equipo como el consumo de energía, lo cual es crucial para una evaluación de la rentabilidad.

Como se ha mencionado anteriormente, las calculadoras de rentabilidad de minería de bitcoin utilizan varios parámetros. La que se utilizará en este estudio es la calculadora de WhatToMine. A continuación, se definirá cada uno de estos parámetros que son importantes introducirlos para la simulación:

Hash rate (tasa de hash de la red): Indica la tasa de hash total de toda la red de la criptomoneda en cuestión. Una tasa de hash más alta significa más competencia, lo que generalmente reduce la cantidad de monedas que un minero individual puede obtener.

Power (potencia): Indica la cantidad de energía (en Watts) que consume el hardware de minería. Este valor es crucial para calcular los costos de electricidad. Debe ingresarse manualmente o seleccionarse según el tipo de hardware que se utiliza.

Cost per kWh (costo por kWh): Este valor representa el costo de la electricidad en la moneda local por kilovatios-hora (kWh). Se utiliza para calcular el costo total de la energía consumida por el hardware de minería.

Block Reward (Recompensa por Bloque): Es la cantidad de criptomonedas que se obtienen por resolver un bloque y añadirlo a la cadena de bloques. La recompensa por bloque es una parte clave para determinar cuántas monedas se pueden minar en un determinado período.

Fees (honorarios): Son los porcentajes que cobra un pool de minería por utilizar su plataforma para minar criptomonedas.

Difficulty (Dificultad): La calculadora WhatToMine utiliza la dificultad actual para hacer sus cálculos, lo cual afecta directamente los ingresos estimados.

BTC value (valor del BTC): Es el precio actual de la criptomoneda en cuestión en el mercado, generalmente frente al dólar estadounidense (USD). Esta tasa se utiliza para convertir las ganancias potenciales en una moneda más reconocida o estable.

Después de explicar los parámetros clave que deben ingresarse en la simulación, a continuación, se presentan los datos que se tomarán en cuenta para las simulaciones de rentabilidad utilizando esta calculadora:

El hashrate, el consumo energético y el costo de los equipos: Estos parámetros se han mencionado anteriormente. A continuación, se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Antminer S19 XP	Antminer S21	MicroBT WhatsMiner M60S
Hashrate	140 Th/s	200 Th/s	186 Th/s
Consumo energético	3010 W	3500 W	3441 W

Tabla 4.17 Parámetros a utilizar en calculadora de rentabilidad de criptomonedas

Costo de energía eléctrica: El costo de energía eléctrica que se tomará en cuenta es de \$0.18 kWh.

Dificultad de la red de Bitcoin: En la siguiente figura se muestra la dificultad de minería de Bitcoin que es aproximadamente de 83.68 Th/s.

Gráfico de dificultad Bitcoin

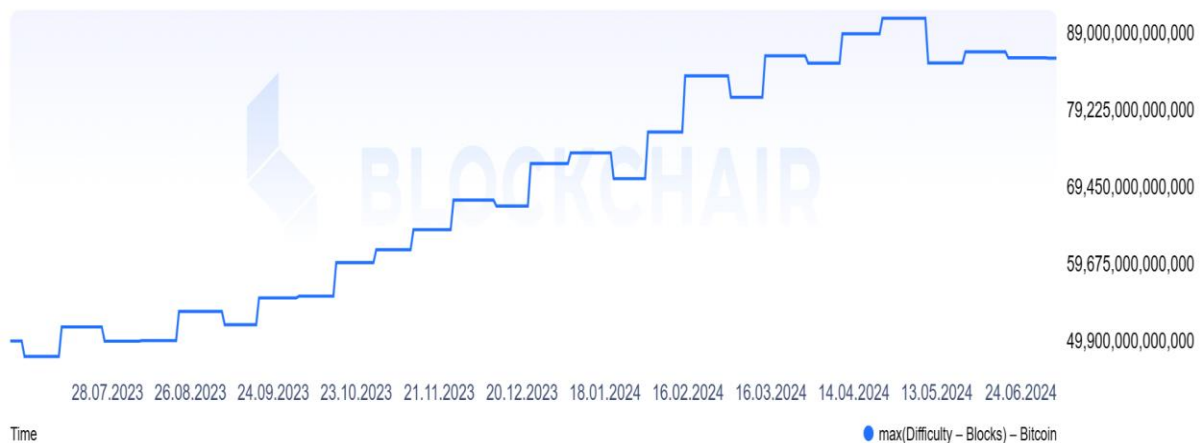


Figura 4.21 Gráfico de la dificultad desde 24 de junio 2023 hasta 24 de junio 2024 [29]

Precio del bitcoin: El precio actual del bitcoin en dólares estadounidenses es de \$62,812.90 (al momento de la simulación). Esta tasa de cambio se utilizará para calcular la estimación de las ganancias.

El valor del precio del bitcoin se muestra en la siguiente figura:

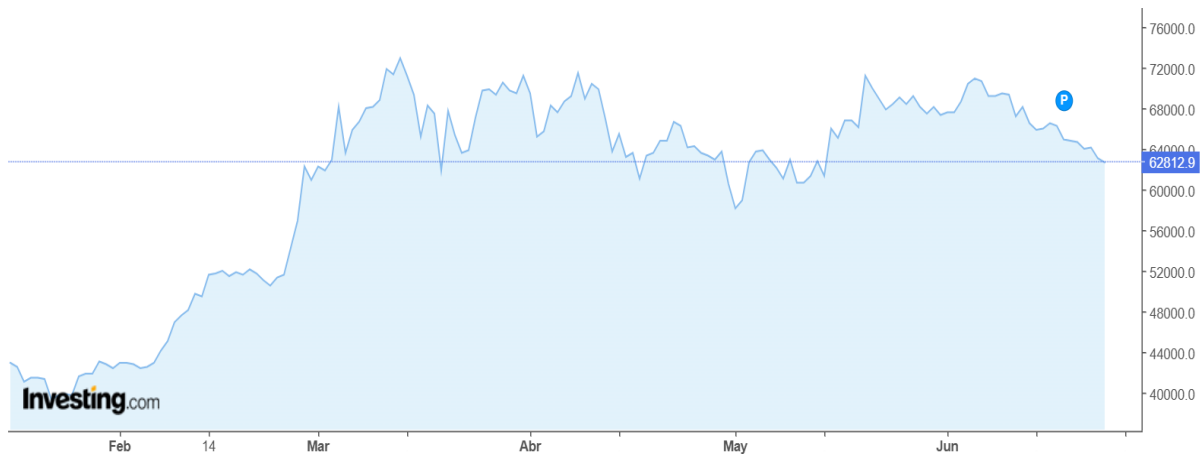


Figura 4.22 Gráfica del precio del bitcoin con respecto al USD desde el 16 enero 2024 al 23 junio 2024

Recompensa por bloque minado: La cantidad de la recompensa por minar un bloque de Bitcoin actualmente es de 3.125 bitcoins, tras el último halving que ocurrió el 20 de abril del presente año.

Comisión de pool de minería: Se supondrá que se pertenece a un pool de minería con una comisión del 2%.

La calculadora de WhatToMine proporciona varios resultados clave para evaluar la rentabilidad de la minería de criptomonedas, entre los cuales se destacan:

Est. Rewards (recompensas estimadas): Es un valor que proporciona la calculadora de WhatToMine para estimar la cantidad de criptomonedas que se espera recibir al minar una determinada moneda en un período de tiempo.



Revenue (Ingresos): Este valor muestra los ingresos brutos que se podrían obtener al minar una criptomoneda específica, sin considerar los costos operativos como la electricidad. Se suele expresar en la moneda seleccionada (por ejemplo, USD o BTC) por hora, día, semana o mes.

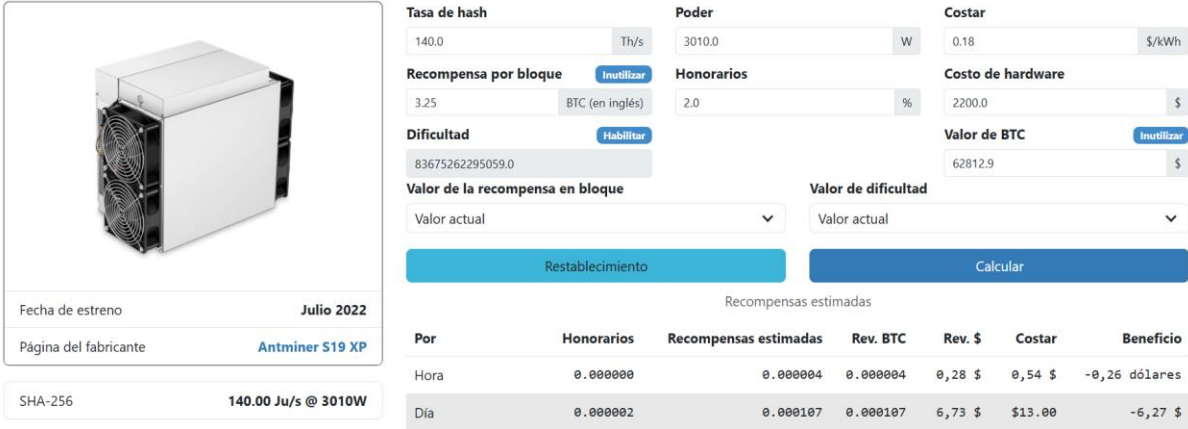
Costo de Electricidad (Electricity Cost): Calcula el gasto total en electricidad según el consumo de energía del hardware y el precio por kilovatio-hora (kWh). Esto ayuda a determinar cuánto de los ingresos se destina a cubrir este gasto.

Profit (Beneficio): Este valor representa la ganancia neta después de deducir los costos de la electricidad que consume el equipo minero. Es la cifra que realmente interesa a los mineros, ya que refleja cuánto dinero se puede ganar después de cubrir los gastos operativos. Se calcula restando el costo de la electricidad del ingreso bruto y también se muestra por hora, día, semana o mes.

Simulación de Antminer S19 XP (\$0.18/kWh):

Se ingresaron los parámetros antes mencionados en los campos designados y luego se procedió a ejecutar la simulación para obtener los resultados. En la Figura 4.23 se visualiza los parámetros ingresados.

Mining  Bitcoin (BTC) on  Bitmain Antminer S19 XP



Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000004	0.000004	0,28 \$	0,54 \$	-0,26 dólares
Día	0.000002	0.000107	0.000107	6,73 \$	\$13.00	-6,27 \$

Figura 4.23 Parámetros para simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000004	0.000004	0,28 \$	0,54 \$	-0,26 dólares
Día	0.000002	0.000107	0.000107	6,73 \$	\$13.00	-6,27 \$
Especulativo						
Semana	0.000015	0.000750	0.000750	\$47.13	91,02 \$	-\$43.89
Mes	0.000066	0.003216	0.003216	\$202.01	\$390.10	-\$188.09



Figura 4.24 Resultados de simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine


En la Figura 4.24 se muestran los resultados de la simulación, donde se observa que cada día se tiene una pérdida de \$6.27 por cada equipo Antminer S19 XP. Mensualmente, esta pérdida

asciende a \$188.09 por equipo. Si se tienen 64 equipos Antminer S19 XP en funcionamiento, la pérdida mensual total sería de \$12,037.76.

Simulación de Antminer S21 (\$0.18/kWh):

Se ingresaron los parámetros antes mencionados en los campos designados y luego se procedió a ejecutar la simulación para obtener los resultados. En la Figura 4.25 se visualiza los parámetros ingresados.

Mining  Bitcoin (BTC) on  Bitmain Antminer S21



Fecha de estreno **Enero 2024**

Tasa de hash	200.0 Th/s	Poder	3550.0 W	Costar	0.18 \$/kWh
Recompensa por bloque	3.25 BTC (en inglés)	Honorarios	2.0 %	Costo de hardware	0.0 \$
Dificultad	83675262295059.0	Valor de BTC	62812.9 \$		
Valor de la recompensa en bloque	Valor actual	Valor de dificultad	Valor actual		

Restablecimiento Calcular

Recompensas estimadas

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,40 \$	0,64 \$	-0,24 dólares
Día	0.000003	0.000153	0.000153	9,61 \$	\$15.34	-\$5.72

Figura 4.25 Parámetros para simulación de Bitmain S21 en WhatToMine

Recompensas estimadas

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,40 \$	0,64 \$	-0,24 dólares
Día	0.000003	0.000153	0.000153	9,61 \$	\$15.34	-\$5.72

Espectulativo

Semana	0.000022	0.001071	0.001071	\$67.30	\$107.35	-\$40.05
Mes	0.000094	0.004592	0.004592	\$288.43	\$460.08	-\$171.65

Figura 4.26 Resultados de simulación de Bitmain S21 en WhatToMine

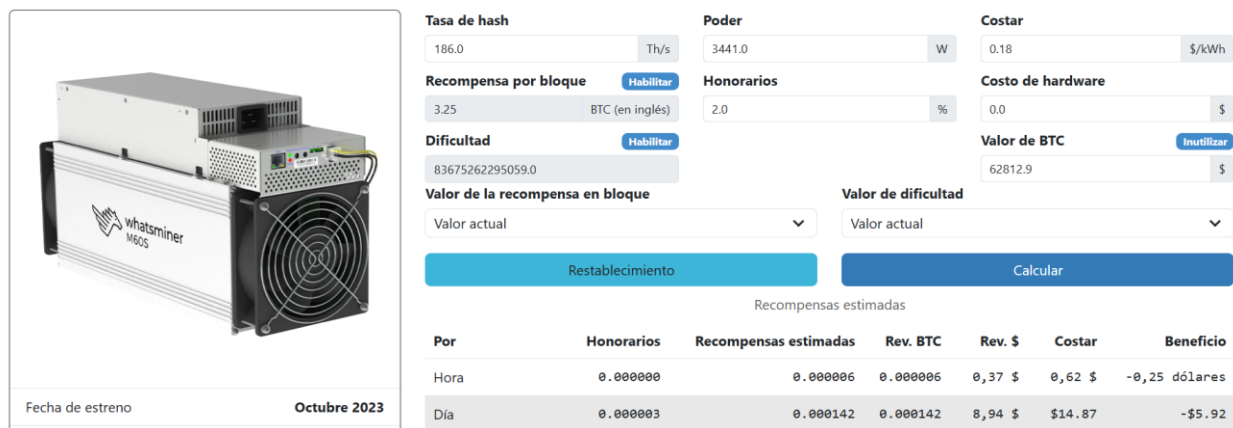
En la Figura 4.26 se muestran los resultados de la simulación donde se observa que cada día se tiene una pérdida de \$5.72 por cada equipo Antminer S21. Mensualmente, esta pérdida

asciende a \$171.65 por equipo. Si se tienen 64 equipos Antminer S21 en funcionamiento, la pérdida mensual total sería de \$10,985.60.

Simulación de Whatsminer M60S (\$0.18/kWh):

Se ingresaron los parámetros antes mencionados en los campos designados y luego se procedió a ejecutar la simulación para obtener los resultados. En la Figura 4.27 se visualiza los parámetros ingresados y en la Figura 4.28 se observan que siempre hay pérdidas.

Mining Bitcoin (BTC) on MicroBT Whatsminer M60S



Fecha de estreno **Octubre 2023**

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,37 \$	0,62 \$	-0,25 dólares
Día	0.000003	0.000142	0.000142	8,94 \$	\$14.87	-\$5.92

Figura 4.27 Parámetros para simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine

Recompensas estimadas

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,37 \$	0,62 \$	-0,25 dólares
Día	0.000003	0.000142	0.000142	8,94 \$	\$14.87	-\$5.92

Especulativo

Semana	0.000020	0.000996	0.000996	\$62.59	\$104.06	-\$41.47
Mes	0.000087	0.004270	0.004270	\$268.24	\$445.95	-\$177.71

Figura 4.28 Resultados de simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine

Según las simulaciones de rentabilidad, el Antminer S21 muestra el mejor rendimiento. Sin embargo, son resultados negativos, resultando en pérdidas. Por lo tanto, se realizará una simulación donde la energía eléctrica sea de menor costo, que es la única variable que se puede modificar una

vez que la planta ha iniciado operaciones. Para la siguiente simulación se bajará \$0.10/kWh, quedando el costo de la energía eléctrica a \$0.08/kWh.

Simulación de Antminer S19 XP (\$0.08/kWh):

Mining  Bitcoin (BTC) on  Bitmain Antminer S19 XP



Tasa de hash	140.0	Th/s	Poder	3010.0	W	Costar	0.08	\$/kWh
Recompensa por bloque	3.25	BTC (en inglés)	Honorarios	2.0	%	Costo de hardware	0.0	\$
Dificultad	83675262295059.0		Valor de BTC	62812.9	\$			
Valor de la recompensa en bloque	Valor actual		Valor de dificultad	Valor actual				

Restablecimiento Calcular

Figura 4.29 Parámetros para simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine (\$0.08/kWh)

Recompensas estimadas

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000004	0.000004	0,28 \$	0,24 \$	0,04 \$
Día	0.000002	0.000107	0.000107	6,73 \$	5,78 \$	0,95 \$

Especulativo

Semana	0.000015	0.000750	0.000750	\$47.13	\$40.45	6,68 \$
Mes	0.000066	0.003216	0.003216	\$202.01	\$173.38	28,63 \$

Figura 4.30 Resultados de simulación de Antminer S19 XP en WhatToMine (\$0.08/kWh)

Como se observa en la Figura 4.29 y Figura 4.30, si se tiene un costo de energía eléctrica de \$0.08/kWh se obtienen resultados positivos, lo que genera ganancias. Por cada equipo se obtiene un beneficio mensual de \$28.63, por lo tanto, al tener 64 equipos Antminer S19 XP funcionando se obtienen ganancias de hasta \$1832.32.

Simulación de Antminer S21 (\$0.08/kWh):

Mining  Bitcoin (BTC) on  Bitmain Antminer S21



Tasa de hash
200.0 Th/s

Recompensa por bloque
3.25 BTC (en inglés)

Dificultad
83675262295059.0

Valor de la recompensa en bloque
Valor actual

Poder
3500.0 W

Honorarios
2.0 %

Valor de dificultad
Valor actual

Costar
0.08 \$/kWh

Costo de hardware
0.0 \$

Valor de BTC
62812.9 \$

Restablecimiento Calcular

Recompensas estimadas						
Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,40 \$	0,28 \$	0,12 \$

Figura 4.31 Parámetros para simulación de Antminer S21 en WhatToMine (\$0.08/kWh)


Recompensas estimadas						
Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,40 \$	0,28 \$	0,12 \$
Día	0.000003	0.000153	0.000153	9,62 \$	6,72 \$	\$2.90
Especulativo						
Semana	0.000022	0.001072	0.001072	67,34 \$	47,04 \$	\$20.30
Mes	0.000094	0.004594	0.004594	288,58 \$	\$201.60	86,98 \$

Figura 4.32 Resultados de simulación de Antminer S21 en WhatToMine (\$0.08/kWh)

Como se observa en la Figura 4.31 y Figura 4.32, si se tiene un costo de energía eléctrica de \$0.08/kWh se obtienen resultados positivos, lo que genera ganancias. Por cada equipo se obtiene un beneficio mensual de \$86.98, por lo tanto, al tener 64 equipos Antminer S21 funcionando se obtienen ganancias de hasta \$5566.72.

Simulación de Whatsminer M60S (\$0.08/kWh):

Mining  Bitcoin (BTC) on  MicroBT Whatsminer M60S



Fecha de estreno **Octubre 2023**
 Página del fabricante [Whatsminer M60S](#)

Tasa de hash 186.0 Th/s
Poder 3441.0 W
Costar 0.08 \$/kWh

Recompensa por bloque 3.25 BTC (en inglés) **Honorarios** 2.0 %
Costo de hardware 0.0 \$

Dificultad 83675262295059.0 **Valor de BTC** 62812.9 \$

Valor de la recompensa en bloque Valor actual **Valor de dificultad** Valor actual

Restablecimiento **Calcular**

Recompensas estimadas

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,37 \$	0,28 \$	0,10 \$
Día	0.000003	0.000142	0.000142	8,95 \$	6,61 \$	2,34 \$

Espectulativo

Figura 4.33 Parámetros para simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine (\$0.08/kWh)

Por	Honorarios	Recompensas estimadas	Rev. BTC	Rev. \$	Costar	Beneficio
Hora	0.000000	0.000006	0.000006	0,37 \$	0,28 \$	0,10 \$
Día	0.000003	0.000142	0.000142	8,95 \$	6,61 \$	2,34 \$
Espectulativo						
Semana	0.000020	0.000997	0.000997	62,62 \$	46,25 \$	16,37 \$
Mes	0.000087	0.004273	0.004273	268,38 \$	\$198.20	70,18 \$

Figura 4.34 Resultados de simulación de Whatsminer M60S en WhatToMine (\$0.08/kWh)

Como se observa en la Figura 4.33 y Figura 4.34, si se tiene un costo de energía eléctrica de \$0.08/kWh se obtienen resultados positivos, lo que genera ganancias. Por cada equipo se obtiene un beneficio mensual de \$70.18, por lo tanto, al tener 64 equipos Whatsminer M60S funcionando se obtienen ganancias de hasta \$4491.52.

4.7.2 Resultados de la evaluación económica

Para calcular la rentabilidad de 64 unidades Antminer S21, se plantean tres escenarios distintos. En el primer escenario, se asume un aumento mensual en la dificultad de la red de Bitcoin. Este enfoque refleja una proyección más dinámica y realista del entorno minero, considerando que la dificultad suele ajustarse aproximadamente en función de la potencia total de hash de la red. Este ajuste puede influir significativamente en la cantidad de bitcoin que se puede minar y, por lo tanto, en la rentabilidad.

En el segundo escenario, se considera que la dificultad de la red se mantiene constante a lo largo del tiempo, utilizando el valor actual. Este enfoque permite simplificar el análisis y proporciona una visión más estática, útil para entender las implicaciones financieras bajo condiciones estáticas.

En el tercer escenario, se plantea que la dificultad de la red Bitcoin y el precio de la moneda es constante. Además, el precio de la moneda es de \$0.00/kWh. Este escenario puede ser menos probable, pero resulta útil evaluar el impacto de todas estas variables a favor de una gran rentabilidad. Comparar estos tres escenarios ofrece una perspectiva integral, ayudando a identificar riesgos y oportunidades en la inversión en hardware de minería.

Otros puntos a tomar en cuenta:

- El valor del precio del bitcoin se mantiene en \$62,812.9.
- El costo de energía es de \$0.08/kWh.
- La cantidad de bitcoin minados por mes es de 0.004594, utilizando como referencia los resultados generados por las simulaciones realizadas con la calculadora de minería de WhatToMine, tal como se muestra en la Figura 4.32.
- Las tarifas de las transacciones se incluyen en la recompensa total por bloque minado.
- La reducción a la mitad de la recompensa del bloque no es asumida durante el tiempo considerado.

Escenario 1:

Para realizar este análisis, se planteó un aumento mensual en la dificultad de la red de Bitcoin, basado en la trayectoria histórica de este parámetro. La dificultad de la red de Bitcoin está relacionada con la tasa de hash de la red, según con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{T \cdot HR}{2^{32}}$$

D: representa la dificultad de la red Bitcoin

T: representa el tiempo de minería de bloques

HR: significa la tasa de hash de la red Bitcoin

De esta relación se deduce que, al calcular el cambio mensual en la tasa de hash de Bitcoin, se puede obtener una estimación predictiva del cambio mensual en la dificultad de la red.

Para llevar a cabo este análisis, se determinó el porcentaje de cambio promedio mensual de la dificultad de Bitcoin durante el último año. Para calcular este porcentaje, se siguieron los siguientes pasos:

1. Se recopilaron los datos de la tasa de hash de Bitcoin desde de junio de 2023 hasta julio de 2024. Los datos fueron recopilados desde el sitio web blockchain.com.
2. Se calculó el promedio mensual de la tasa de hash de Bitcoin para cada uno de los meses.
3. Se calculó el cambio porcentual mensual de la tasa de hash con respecto al mes anterior, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Cambio mensual} = \left(\frac{\text{tasa hash final} - \text{tasa hash inicial}}{\text{tasa hash inicial}} \right) \times 100\%$$

4. Finalmente, se calculó el promedio de los cambios mensuales obtenidos, lo que resultó en el porcentaje de cambio promedio mensual de la tasa de hash de Bitcoin. Se obtuvo que el cambio porcentual mensual de la tasa de hash de bitcoin es del 4.15%

En la Tabla 4.18 se muestran los resultados que se calcularon en los anteriores pasos.

Mes	Promedio Hash Rate (Th/s)	Cambio mensual %
Julio del 2023	376329448.4	
Agosto del 2023	386780453.9	2.777089467
Septiembre del 2023	402183000.1	3.982245237
Octubre del 2023	436512209.7	8.53571873
Noviembre del 2023	472208725.9	8.177667282
Diciembre del 2023	502026898	6.314616928
Enero del 2024	519727767.3	3.525880653
Febrero del 2024	568689216	9.420595119
Marzo del 2024	595219429.2	4.665151443
Abril del 2024	624036100	4.841352515
Mayo del 2024	602896384.1	-3.387578995
Junio del 2024	583306468.2	-3.249300621
Porcentaje de cambio promedio mensual en la tasa de hash de Bitcoin (BTC)		4.15

Tabla 4.18 Cálculos del porcentaje de cambio promedio mensual de la dificultad durante el último año

En las siguientes anotaciones se muestra de qué forma se han completado los datos de la Tabla 4.19:

Valor del BTC (USD): Se refiere al precio del bitcoin con respecto al dólar al momento del análisis de rentabilidad de la planta de minería.

Minería de 64 Antminer S21 con ajuste de dificultad: Se refiere a la cantidad de bitcoins que se ha minado con los 64 equipos Antminer S21, ajustándolo con el aumento de la dificultad de la red, haciendo que los bitcoins minados sean menos cada mes que pasa. El valor inicial del mes 1 se obtuvo de la simulación de la Figura 4.32. Además, para hacer el ajuste de dificultad se utilizó la siguiente ecuación:

$$Valor_{(f)} = Valor_{(i)} * (1 - 0.0415)$$

Valor del BTC minado (USD): Es el valor mensual de bitcoins minados con respecto al dolar. Para definir este valor se utilizó la siguiente ecuación:

$$Valor\ BTC\ minado\ (USD) = Valor\ BTC\ (USD) * Cantidad\ bitcoins\ minados$$

Costo de energía (USD): Es el costo de la energía consumida por la planta de minería. Para facilitar el cálculo de este dato, se ocupó el costo mensual de energía por equipo

Antminer S21 que se obtuvo en los resultados de la simulación de la Figura 4.32 (bajo columna “costar”), este costo fue multiplicado por los 64 equipos.

Costo de internet (USD): El costo de internet se definió como un valor constante de \$59.00.

Beneficio (USD): Se refiere a las ganancias mensuales de la planta minera.

$$\text{Beneficio} = \text{Valor del BTC minado} - \text{costo de energía} - \text{costo de internet}$$

A continuación, se muestran los resultados de la simulación 1:

Mes	Valor del BTC (USD)	Minería de 64 Antminer S21 con ajuste de dificultad (BTC)	Valor del BTC minado (USD)	Costo de energía (USD)	Costo de internet (USD)	Beneficio (USD)
1	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
2	\$ 62,812.90	0.281814	\$17,701.58	\$12,902.40	\$59.00	\$4,740.18
3	\$ 62,812.90	0.270119	\$16,966.96	\$12,902.40	\$59.00	\$4,005.56
4	\$ 62,812.90	0.258909	\$16,262.83	\$12,902.40	\$59.00	\$3,301.43
5	\$ 62,812.90	0.248164	\$15,587.92	\$12,902.40	\$59.00	\$2,626.52
6	\$ 62,812.90	0.237866	\$14,941.03	\$12,902.40	\$59.00	\$1,979.63
7	\$ 62,812.90	0.227994	\$14,320.97	\$12,902.40	\$59.00	\$1,359.57
8	\$ 62,812.90	0.218532	\$13,726.65	\$12,902.40	\$59.00	\$765.25
9	\$ 62,812.90	0.209463	\$13,157.00	\$12,902.40	\$59.00	\$195.60
10	\$ 62,812.90	0.200771	\$12,610.98	\$12,902.40	\$59.00	-\$350.42
11	\$ 62,812.90	0.192439	\$12,087.63	\$12,902.40	\$59.00	-\$873.77
12	\$ 62,812.90	0.184452	\$11,585.99	\$12,902.40	\$59.00	-\$1,375.41
Suma		2.824540	\$177,417.53	\$154,828.80	\$708.00	\$21,880.73

Tabla 4.19 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 1

Los resultados de rentabilidad bajo el primer escenario se observan en la Tabla 4.19, en el cual se toma en cuenta un aumento mensual del 4.15% en la dificultad de la red de Bitcoin y muestra una disminución progresiva en la cantidad de bitcoin minado y en el valor en dólares generado por cada unidad Antminer S21 a lo largo del año. En el primer mes, se mina un total de 0.294016 BTC, equivalente a \$18,468. Debido al aumento constante en la dificultad, esta cifra se reduce a 0.184452 BTC en el duodécimo mes, con un valor de \$11,585.99. Los costos de energía, fijados en \$12,902.40 y el costo de internet de \$59.00, ambos costos mensuales, se mantienen constantes, lo que resulta en una disminución continua del beneficio neto mensual. A partir del

décimo mes, se registran pérdidas, culminando en una pérdida mensual de \$1,375.41 en el último mes. Anualmente, se mina un total de 2.824540 BTC, con un valor acumulado de \$177,417.53, mientras que los costos de operación suman \$154,828.80 en energía y \$708.00 en internet, resultando en un ingreso neta anual de \$21,880.73. Este escenario resalta la importancia de considerar el aumento en la dificultad de la red en la evaluación económica de las operaciones mineras

Realizando un resumen de los datos resultantes de este escenario obtenemos:

- **Minería total:** 2.824540 BTC
- **Valor en USD total:** \$177,417.53
- **Costo de energía total:** \$154,828.80
- **Costo de internet total:** \$708.00
- **Beneficio neto anual:** \$21,880.73

Escenario 2:

Se plantea que la dificultad de la red se mantiene constante a lo largo del tiempo, además se utiliza el valor actual del bitcoin hasta la fecha de este estudio.

Mes	Valor del BTC (USD)	Minería de 64 Antminer S21 (BTC)	Valor en USD del BTC minado	Costo de energía en dólares	Costo de internet	Beneficio en USD
1	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
2	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
3	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
4	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
5	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
6	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
7	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
8	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
9	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
10	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
11	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
12	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$12,902.40	\$59.00	\$5,506.60
Suma		3.528192	\$221,615.97	\$154,828.80	\$708.00	\$66,079.17

Tabla 4.20 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 2

Los resultados de rentabilidad bajo el segundo escenario se observan en la Tabla 4.20, en el cual se asume que la dificultad de la red de bitcoin se mantiene constante a lo largo del tiempo, muestran una producción estable de Bitcoin y un valor constante en dólares generado por cada unidad Antminer S21 a lo largo del año. En cada mes, se mina un total de 0.294016 BTC, equivalente a \$18,468. Resultando en un beneficio neto mensual constante de \$5,506.60. Anualmente, se mina un total de 3.528192 BTC, con un valor acumulado de \$221,615.97, mientras que los costos de operación suman \$154,828.80 en energía y \$708.00 en internet, resultando en un beneficio neto anual de \$66,079.17. Este escenario simplifica el análisis y ofrece una visión más estática, lo cual es útil para comprender las implicaciones financieras en condiciones donde todas estas variables se vuelven constantes.

$$Tiempo\ ROI = Inversion\ total / Beneficio\ neto\ anual$$

$$Tiempo\ ROI = \frac{455,134.66}{66,079.17} \cong 6.9\ años$$

Realizando un resumen de los datos resultantes de este escenario obtenemos:

- **Minería total:** 3.528192 BTC
- **Valor en USD total:** \$222,615.97
- **Costo de energía total:** \$154,828.80
- **Costo de internet total:** \$708.00
- **Beneficio neto anual:** \$66,079.17
- **Tiempo de retorno de inversión:** 6.9 años

Escenario 3:

Se planteó que la dificultad de Bitcoin se mantiene constante y con un costo de energía de \$0.00/kWh, en la Tabla 4.21 se observa los resultados obtenidos para este escenario para todo un año.

Mes	Valor del BTC (USD)	Minería de 64 Antminer S21 con ajuste de dificultad (BTC)	Valor en USD del BTC minado	Costo de energía en dólares	Costo de internet	Beneficio en USD
1	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
2	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
3	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
4	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
5	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
6	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
7	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
8	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
9	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
10	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
11	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
12	\$ 62,812.90	0.294016	\$18,468.00	\$0.00	\$59.00	\$18,409.00
Suma		3.528192	\$221,615.97	\$0.00	\$708.00	\$220,907.97

Tabla 4.21 Resultados obtenidos de rentabilidad bajo el escenario 3

Los resultados de rentabilidad bajo el tercer escenario se observan en la Tabla 4.21, en el cual se asume que la dificultad de la red de bitcoin se mantiene constante a lo largo del tiempo y el costo de energía es a coste cero, muestran una producción estable de bitcoin a lo largo del año. En cada mes, se mina un total de 0.294016 BTC, equivalente a \$18,468. Anualmente, se mina un total de 3.528192 BTC, resultando en un beneficio neto anual de \$220,907.97.

Además, se determinó el tiempo de retorno de la inversión:

$$Tiempo ROI = Inversion total / Beneficio neto anual$$

$$Tiempo ROI = \frac{455,134.66}{220,907.97} \cong 2.1 \text{ años} \cong 25 \text{ meses}$$

Realizando un resumen de los datos resultantes de este escenario obtenemos:

- **Minería total:** 3.528192 BTC
- **Valor en USD total:** \$221,615.97
- **Costo de energía total:** \$0.00
- **Costo de internet total:** \$708.00
- **Beneficio neto anual:** \$220,907,97
- **Tiempo de retorno de inversión:** 25 meses

4.8 Países con alta rentabilidad en la minería de bitcoin

Para lograr una alta rentabilidad en los proyectos de minería de bitcoin en El Salvador, se ha observado en las simulaciones anteriores que es un tema bastante complejo, pues depende de muchas variables.

De acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente se puede considerar que existen factores fundamentales como lo es el precio de la electricidad y políticas gubernamentales a favor de los proyectos de minería de criptomonedas, estos dos factores son fundamentales para que un proyecto sea rentable o no y para que la minería de bitcoin se vuelva atractivo a la inversión extranjera en El Salvador.

Países que poseen una gran rentabilidad y son muy atractivos para inversionistas en la minería de Bitcoin

Países como Canadá, Argentina, Paraguay, Alemania, Portugal, y Estados Unidos. ofrecen electricidad asequible y un número suficiente de especialistas calificados. Cabe destacar que en el año 2021 China se mantuvo como líder en el campo de las criptomonedas debido al bajo precio de la electricidad; sin embargo, posteriormente en el mismo año China prohíbe la minería de bitcoin, por lo que Estados Unidos ocupó el primer lugar. Otros países con alta actividad de minería de bitcoin incluyen los estados del Golfo Pérsico, Malasia, Kazajistán, Argentina, Islandia y Singapur. [32]

Es vital considerar cuidadosamente toda la información sobre un país en particular de acuerdo con sus requisitos y el proceso de minería. A pesar de que estos países ocupan posiciones de liderazgo en la minería de bitcoin, es importante estudiar aspectos adicionales de sus políticas financieras y digitales. A continuación, se muestran algunos datos de varios países a favor y en contra de la minería de criptomonedas. [32]

Países o regiones con políticas a favor de la minería y electricidad asequible en América (2023)

Canadá: El primer país en aprobar un fondo negociado en la bolsa de Bitcoin BTC. También en este país se tienen plataformas de comercio de criptomonedas en donde los inversionistas deben registrar sus empresas con los reguladores correspondientes. El precio de la electricidad ronda entre \$0.115-\$0.125 por kWh.

México: El banco central de México tiene amplios poderes que le permiten regular los activos virtuales tras las leyes aprobadas en 2018 que delimitan los requisitos para las empresas que operan en la industria de las criptomonedas, lo cual permite tener una flexibilidad para estos, el precio de la electricidad ronda entre \$0.102-\$0.200 por kWh.

El Salvador: El primer país en reconocer Bitcoin BTC como moneda de curso legal; ha adoptado plenamente las criptomonedas y planea incentivar a proyectos Bitcoin. El país incluso ha allanado el camino para los bonos respaldados por Bitcoin; sin embargo, el precio de la electricidad no hace rentable actualmente los proyectos de minería, precio de la electricidad ronda entre \$0.187-\$0.232 por kWh.

Argentina: Argentina cuenta con el precio más barato de la electricidad en América Latina, esto es debido a que es un gran productor de energía renovable como lo es la energía hidroeléctrica y geotérmica, el precio de la electricidad ronda entre \$0.019/kWh-\$0.025/kWh.

Brasil: El ex presidente brasileño Jair Bolsonaro firmó un proyecto de ley cripto el 22 de diciembre de 2022, que legalizó el uso de criptomonedas como método de pago y estableció un régimen de licencias para los proveedores de servicios de activos virtuales, precio de la electricidad ronda entre \$0.123-\$0.154 por kWh.

Países o regiones con políticas en contra de la minería (2023)

Afganistán: El cambio político en la incorporación de los talibanes al poder, prohibió el comercio de criptomonedas en agosto de 2022.

Argelia: Argelia prohíbe totalmente la compra, el uso, venta y tenencia en todo lo relacionado a las criptomonedas desde 2017.

Bolivia: El Banco Central de Bolivia emitió una resolución para prohibir el uso de criptomonedas en 2014.

China: China prohibió los Exchanges locales de criptomonedas en 2017, progresando a una prohibición general de la minería y el uso de criptomonedas en 2021.

Egipto: Las transacciones de criptomonedas en Egipto han estado prohibidas desde 2018, pero la nación parece estar acercándose de nuevo a este mercado, ya que hay informes que indican que tienen avanzado el marco regulatorio para las criptomonedas.

Hay un estudio hecho por la casa de intercambio de criptomonedas, conocida como “CoinGecko”, que realizó un análisis del mercado de las criptomonedas a finales del año 2022 y mediados del 2023 en relación a la rentabilidad de precio de electricidad y minería de bitcoin, esto se refleja en la Figura 4.35. Esta figura muestra el costo de la electricidad para minar un bitcoin en varios países del mundo. También la figura muestra como algunos países están en contra de la minería de criptomonedas o no existen las políticas gubernamentales para que se pueda operar con toda libertad, aunque antes de invertir en una planta de minería de bitcoin en estos países con bajo costo de electricidad, se debe verificar que las leyes y regulaciones favorezcan la rentabilidad.

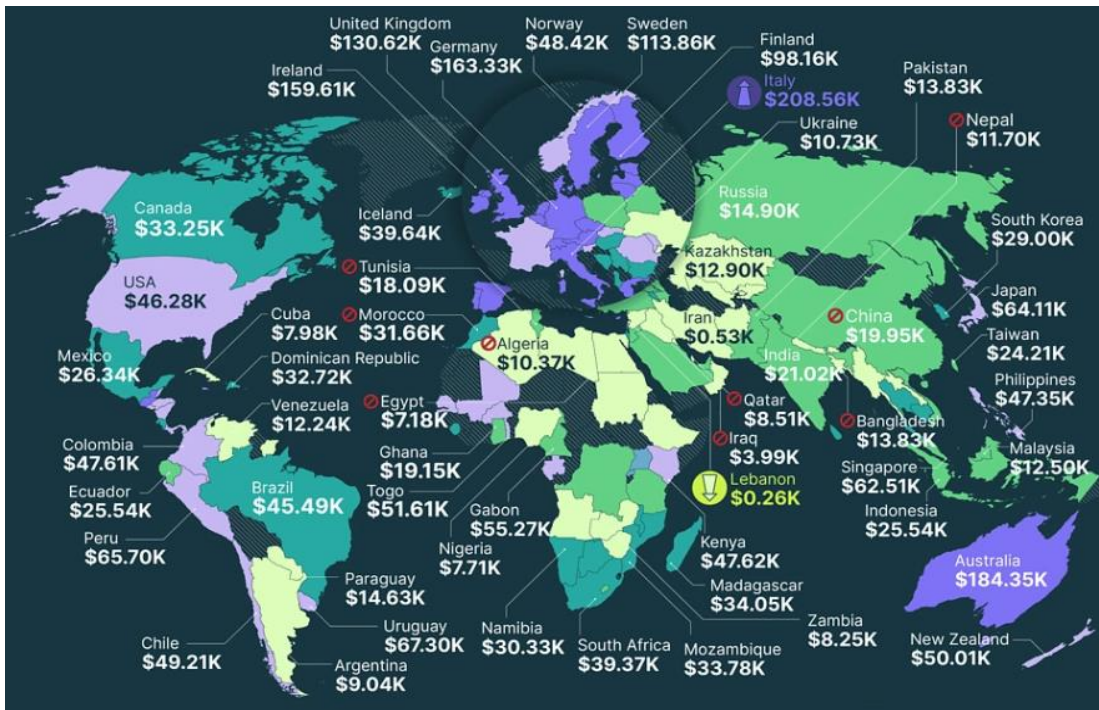


Figura 4.35 Costos en dólares de minar un bitcoin a nivel global [33]

Según los datos obtenidos, existen países donde la minería de criptomonedas como el bitcoin es totalmente inviable, puesto que los valores de los precios de electricidad son sumamente altos, tal es el caso de Italia, el costo de electricidad de minar un solo bitcoin ronda alrededor de \$208,560.33 (2022-2023), siendo este un costo totalmente fuera del alcance del valor del bitcoin, puesto que este cuando ha estado en su valor más alto ha sido de \$73,780.07 (2022-2023). Con base a la Figura 4.35 se ha tabulado en la Tabla 4.22 los 5 países en donde se tiene el costo más alto para minar un bitcoin con base al precio de la electricidad.

País	Costo de Electricidad para minar 1 BTC
Italia	\$ 208,560.33
Austria	\$ 184,352.44
Bélgica	\$ 172,381.50
Dinamarca	\$ 166,795.06
Alemania	\$ 163,336.79

Tabla 4.22 Costos más altos para minar un bitcoin [33]

En la Tabla 4.23 se observa una lista de 5 países con el costo más bajo en el precio de la electricidad para minar un bitcoin.

País	Costo de Electricidad para minar 1 BTC
Líbano	\$266.02
Irán	\$532.04
Siria	\$1,330.10
Etiopía	\$1,596.12
Sudán	\$2,128.17

Tabla 4.23 Costos más bajos para minar un bitcoin [33]

Con base a los estudios realizados por la casa de cambios “CoinGecko” y los resultados de la presente investigación, se puede decir que la rentabilidad de los proyectos de minería de bitcoin en los diferentes países depende bastante del precio de la electricidad y políticas gubernamentales. El Salvador posee políticas gubernamentales a favor del bitcoin, volviéndose un escenario atractivo para los inversionistas de criptomonedas; sin embargo, el precio de la electricidad hace que los costos de operación de un proyecto de minería sean bastante elevados y con una tasa de retorno de inversión bastante alta. En América, países como Argentina poseen un precio de

electricidad bastante bajo en comparativa con otros, este es un factor que lo vuelve bastante atractivo, a su vez no presenta políticas en desacuerdo con las criptomonedas.

Otro país que destaca es Canadá, al tener políticas a favor de un correcto comercio y registro de empresas dedicadas a las criptomonedas hace que sea un proceso transparente entre usuarios, a su vez resalta el precio de la electricidad que en comparativa con El Salvador no es sumamente alto.

CONCLUSIONES

- La evolución de la minería de bitcoin ha sido marcada por avances tecnológicos que han transformado el proceso, desde la minería con CPU hasta el uso de equipos especializados como los ASIC. A medida que la *dificultad* de la red ha aumentado, la minería se ha vuelto más competitiva y costosa, exigiendo mayores inversiones y equipos más eficientes. Este proceso refleja la creciente profesionalización del sector, con un enfoque en la rentabilidad y sostenibilidad a largo plazo.
- El análisis concluye que, bajo las condiciones evaluadas, si el costo de la electricidad en El Salvador se mantiene igual o superior a \$0.18/kWh y se utilizan equipos como el Antminer S21, la minería de bitcoin no resulta rentable. El alto consumo energético requerido, combinado con los elevados costos operativos, reduce significativamente las proyecciones de ganancias, afectando negativamente el retorno de inversión.
- Se evidencia que cuando existe un aumento en la *dificultad* de la red y el precio del bitcoin se mantiene estable, se obtiene como resultado una disminución progresiva en la cantidad de bitcoin minado mensualmente. Estos resultados resaltan que la minería de bitcoin en El Salvador puede representar una operación arriesgada, particularmente en un entorno donde la *dificultad* de la red sigue aumentando de manera constante.
- Con respecto a la planta de minería de bitcoin planteada, aproximadamente el 52.03% del total del presupuesto se estima exclusivamente a la adquisición de los equipos de minería, lo que pone de manifiesto la alta inversión inicial requerida. Este dato resalta que, además de los costos de los equipos, es fundamental tener en cuenta los gastos adicionales en infraestructura y en la instalación eléctrica, que son cruciales para asegurar el funcionamiento eficiente y rentable del proyecto.
- Otra conclusión a la que se llega, es que si el costo de la electricidad en El Salvador es igual o menor a \$0.08/kWh, la minería de bitcoin podría ser rentable, pues al hacer la proyección en

este escenario, resultó que además de cubrir los costos de operación, en 6.9 años se recupera la inversión.

- Se demuestra por medio de los resultados, para lograr que El Salvador se convierta en un país atractivo para la minería de bitcoin y atraer inversionistas, es necesario abordar incentivos gubernamentales o políticas que favorezcan en costos eléctricos a los mineros o el comercializar con generadores de energía renovable a precios más económicos.
- Para maximizar la rentabilidad y reducir los costos operativos a largo plazo es necesario la renovación constante de los equipos de minería hacia modelos más eficientes, alineados con las tendencias del mercado. Esta estrategia no solo optimiza el consumo energético, sino que también asegura una mayor producción de bitcoin, manteniendo la operación competitiva en un entorno minero en constante evolución

RECOMENDACIONES

- Considerar en el diseño el uso de equipos de minería más recientes, como aquellos que utilizan sistemas de enfriamiento líquido, ya que estos equipos ofrecen un mejor rendimiento en términos de procesamiento y eficiencia energética; además, mejoran la gestión térmica de la planta.
- Una recomendación a tomar en cuenta es la implementación de métodos alternativos de enfriamiento, como el enfriamiento por evaporación, la ventilación natural y forzada y el uso de chillers enfriados por agua, para reducir la dependencia de aires acondicionados en la planta de minería, lo cual disminuiría el consumo energético.
- Considerar la adquisición de equipos de minería para generar datos estadísticos sobre el consumo energético, el rendimiento del procesamiento y la cantidad de bitcoin generados.
- Se recomienda realizar un estudio que simula el comportamiento en los próximos años del valor del bitcoin, utilizando otras herramientas estadísticas, con el fin de incluir más escenarios y resultados proyectados. Esto permitirá anticipar posibles tendencias del precio de esta criptomoneda y facilitar la toma de decisiones estratégicas para los inversionistas.
- Se sugiere realizar un estudio de rentabilidad de la planta de minería utilizando un diseño que integre fuentes de energía renovable, como paneles solares dado el alto nivel de radiación solar en el país. Aunque esto implique un aumento en la inversión inicial, los beneficios económicos y la sostenibilidad a largo plazo pueden justificar esta inversión adicional.
- Se recomienda recopilar información por medio de una visita técnica o diálogos con plantas de minería de bitcoin existentes en El Salvador, como la planta ubicada en Berlín, Usulután. Esta planta es un ejemplo importante para entender los aspectos técnicos, operativos y de diseño aplicados en el país. La información obtenida permitirá identificar mejores prácticas, desafíos y entender cómo tratan el tema del gasto en energía, asegurando que el proyecto propuesto se desarrolle con criterios técnicos sólidos y adaptados a la realidad del país

REFERENCIAS

- [1] Investing, << Estadísticas del precio del bitcoin >> [En línea]. Available: <https://es.investing.com/crypto/bitcoin/chart/>. [Ultimo acceso: 7 octubre 2023].
- [2] Investing, << Bitcoin y finanzas públicas en El Salvador >>. Available: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/fesamcentral/19698.pdf>. [Ultimo acceso: 7 octubre 2023].
- [3] Mejía, A. / J. C., & Mejía, J. (2023, 7 junio). Empresa de Max Keiser busca construir una planta para minar bitcoin en Metapán. Noticias de El Salvador - Noticias de El Salvador, noticias internacionales, salvadoreños por el mundo, economía, negocios, política, deportes, entretenimiento, tecnología, turismo, tendencias, fotos, videos, redes sociales. <https://www.elsalvador.com/noticias/negocios/empresa-max-keiser-busca-construir-planta-minar-bitcoin-metapan/1066520/2023/>
- [4] Banco Central de Reserva de El Salvador. (s. f.). Resultados encuestas Nacionales de accesos, uso de productos, servicios financieros y capacidades financieras 2022. Recuperado 7 de octubre de 2023, de <https://inclusionfinanciera.gob.sv/resultados-encuestas-2022/>
- [5] Wikipedia, << Historia de bitcoin >> [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_bitcoin#:~:text=2009%201%20Lanzamiento%20El%203%20de%20enero%20de,2%20Adopci%C3%B3n%20...%20Otros%20acontecimientos%20relevantes%20/. [Ultimo acceso: 25 octubre 2023].
- [6] Bitcointalk, << Nuevo Exchange (Bitcoin Market) >> [En línea]. Available: <https://bitcointalk.org/index.php?topic=20.0/>. [Ultimo acceso: 25 octubre 2023].
- [7] Phill Champagne, << El Libro de Satoshi: La Colección de Escritos del Creador de Bitcoin Satoshi Nakamoto >>
- [8] Wikipedia. (n.d.). *Mining pool*. Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_pool#Pay-per-Share
- [9] Minerstat. (n.d.). *Minería con GPU*. Recuperado de <https://minerstat.com/hardware/gpus?algo=All&lang=es>
- [10] Blockchair. (n.d.). *Gráfico de dificultad de Bitcoin*. Recuperado de <https://blockchair.com>
- [11] Wikipedia. (n.d.). *Coma flotante*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Coma_flotante

- [12] Maldonado, J. (2020). *¿Qué es el nonce? Un número vital en Bitcoin*. Cointelegraph. Recuperado de <https://es.cointelegraph.com/explained/what-is-the-nonce-a-vital-number-in-bitcoin>
- [13] Ibertronica, <<Unidad central de procesamiento>> [En línea]. Available: <https://ibertronica.es/blog/actualidad/los-fundamentos-de-la-cpu-que-es-y-como-funciona>
- [14] Wikipedia, <<Mining pool>> [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_pool#Pay-per-Share.
- [15] Minerstat, <<Minería con GPU>> [En línea]. Available: <https://minerstat.com/hardware/gpus?algo=All&lang=es>
- [16] Blockchair, <<Gráfico de dificultad de Bitcoin>> [En línea]. Available: Gráfico de dificultad Bitcoin — Blockchair
- [17] Hiveon. (n.d.). <<Hiveon OS — The ultimate mining platform>>. [En línea]. Available: <https://hiveon.com/os/>
- [18] CGMiner. (n.d.). <<CGMiner: FPGA and ASIC miner>>. [En línea]. Available: <https://cgminer.info/es/>
- [19] Colomer, R. (2022, October 4). Los mejores software de minería de Bitcoin. Lemming at Work. [En línea]. Available: <https://www.lemmingatwork.com/inversiones/criptomonedas/mejores-software-mineria-bitcoin/>
- [20] Impuestos a pagar <<Dirección General de Aduanas>> [En línea]. Available: <https://sitio.aduana.gob.sv/impuestos-a-pagar/>
- [21] Dificultad de minado de Bitcoin <<Blockchair>> [En línea]. Available: <https://blockchair.com/bitcoin/charts/difficulty>
- [22] Centro Nacional de Información de El Salvador. (2023). <<Resumen climatológico anual 2023. SNET>>. [En línea]. Available: https://www.snet.gob.sv/UserFiles/meteorologia/climatologico/Resumen_Climatologico_Anual_2023.pdf
- [23] Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas. (2016). Sector eléctrico en El Salvador. https://estadisticas.dgeh.m.gob.sv/wp-content/uploads/2016/09/Sector_electrico_SV_v2016.pdf

- [24] Marítima Terranova. (2024). Medidas de contenedores. Recuperado de <https://maritimaterranova.com/medidas-contenedores/>.
- [25] Antminer S19 XP. Detalles y características <https://shop.bitmain.com/product/detail?pid=00020230515112234510hwBt32se06B7>
- [26] EdgeRouter Infinity <https://store.ui.com/us/en/category/all-wired/products/er-8-xg>
- [27] Guía de instalación EdgeRouter Infinity https://dl.ui.com/qsg/ER-8-XG/ER-8-XG_ES.html
- [28] Switch Estandar 24 Ubiquiti <https://store.ui.com/us/en/category/switching-standard/products/usw-24>
- [29] Dificultad de Bitcoin <https://blockchair.com/es/bitcoin/charts/difficulty>
- [30] Precio del BTC <https://es.investing.com/crypto/bitcoin/chart>
- [31] Electrotec. (n.d.). ¿Cómo calcular la capacidad del aire acondicionado?. Retrieved July 1, 2024, de <https://electrotec.pe/blog/AireAcondicionadoCapacidad>
- [32] Cryptomus. (2023). <<Best countries to be a Bitcoin miner. Cryptomus>>. [En línea]: <https://cryptomus.com/es/blog/best-countries-to-be-a-bitcoin-miner>.
- [33] CoinGecko. (2023). <<Bitcoin minado – Precio equivalente países y regiones del mundo- blog de investigación casa de intercambio “CoinGecko”>>. [En línea]: <https://www.coingecko.com/research/publications/bitcoin-mining-cost>
- [34] Bitso. (2023). <<¿Cómo es la regulación de criptomonedas en México? Bitso>>. [En línea]. Available: <https://blog.bitso.com/es-mx/criptomonedas-mx/como-es-regulacion-criptomonedas-mexico>
- [35] RUE. (2023). <<Licencia de cripto en Canadá. RUE>>. [En línea]: Licencia de criptomonedas de Canadá (rue.ee)
- [36] Cointelegraph. (2023). <<El gobierno argentino aprueba la regulación para el sector cripto. Cointelegraph>>. [En línea]: Gobierno argentino aprueba regulación que incluye al sector cripto (cointelegraph.com)
- [37] (Małgorzata , Krzysztof, & Przemysław , 2023). Energy and cost efficiency of Bitcoin mining endeavor

ANEXOS

Anexo: Presupuesto completo para planta de minería de bitcoin en El Salvador

Presupuesto para planta de minería de bitcoin en El Salvador							
Partida	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Sub. Total	Total	
1	Electricidad Alumbrado						
1.1	Suministro e instalación de foco LED SYLVANIA, 6000k, 35W, 100 - 240V, con su respectivo apagador, alambrado y canalizado, incluye alimentador a tablero.	U	2	\$22.23	\$44.46		
					Sub. Total 1	\$44.46	\$44.46
2	Tomacorrientes						
2.1	Suministro e instalación de tomacorriente trifilar 3 hilos 20A, 240V , incluye alambrado, canalizado, incluye alimentador a tablero.	U	128	\$60.25	\$7,712.00		
					Sub. Total 2	\$7,712.00	\$7,712.00
3	Enfriamiento						
3.1	Suministro e instalación de equipo de aire acondicionado de 2.5 Toneladas (36,000BTU/hr), tipo mini split, INVERTER, similar a LG o equivalente, refrigerante R410A, SEER de 16 o más, 240/240 voltios, incluye: drenaje, circuito de refrigeración, protección de tuberías del sistema de refrigeración y drenaje, compresor montado en pared y/o en base de montaje metálica con angular debidamente pintada con anticorrosivo, protección metálica enmallada para evitar acceso de personas al compresor, instalación completa con todos sus accesorios. Incluye canalización y alambrado desde tablero ST-6 de con 2#10+1#12 en 3/4".	U	2	\$3,000.00	\$6,000.00		
3.2	Suministro e instalación de extractores de techo K36.	U	2	\$350.00	\$700.00		
					Sub. Total 3	\$6,700.00	\$6,700.00
4	Tableros						
4.1	Suministro e Instalación de Tablero trifásico TG, TIPO INDUSTRIAL, barras de 1000A, 120/240 V, protecciones ajustables indicadas en cuadros de carga y espacios futuros, incluye: balanceo de cargas, polarización, enviñetado y protecciones ajustables para cada ramal.	U	1	\$4,944.13	\$4,944.13		
4.2	Suministro e Instalación de Subtablero trifásico para equipos ASIC, de 30 espacios, barras de 200A, 120/240V, incluye: balanceo de cargas, polarización, enviñetado y protecciones termomagnéticas para cada circuito de tomacorriente.	U	5	\$600.00	\$3,000.00		
4.3	Suministro e instalación de subtablero trifásico para equipos ASIC, luminarias y aires acondicionados, de 30 espacios, barras de 200A, 120/240V, incluye: balanceo de cargas, polarización, enviñetado y protecciones termomagnéticas para cada circuito de tomacorriente, luces y aires acondicionados	U	1	\$600.00	\$600.00		
4.4	Suministro e instalación de red de tierra para tablero general, compuesta por 8 barras Copperweld de 5/8 X 10 pies o las necesarias, para obtener una resistencia menor a los 2 ohm.	SG	1	\$937.67	\$937.67		
					Sub. Total 4	\$9,481.80	\$9,481.80

5		Alimentadores				
5.1	Suministro e instalación de alimentador desde Subestación a TG con 3x(3 THHN 250 MCM (FA ,FB, FC) + 1 THHN 250 MCM (N)), compuesto canalizado en tubería conduit de 2" en áreas expuestas y tubería de pvc de alto impacto de 2" en áreas Sub.terráneas, incluye accesorios de pvc y cuerpo terminal en tubería metálica.	Mts	30	\$173.25	\$5,197.50	
5.2	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-1, con 3 THHN #1/0 + 1 THHN #1/0+ 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	8	\$63.00	\$504.00	
5.3	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-2, con 3 THHN #1/0 + 1 THHN #1/0+ 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	7	\$63.00	\$441.00	
5.4	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-3, con 3 THHN #1/0 + 1 THHN #1/0+ 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	6	\$63.00	\$378.00	
5.5	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-4, con 3 THHN #1/0 + 1 THHN #1/0+ 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	5	\$63.00	\$315.00	
5.6	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-5, con 3 THHN #1/0 + 1 THHN #1/0+ 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	4	\$63.00	\$252.00	
5.7	Suministro e instalación de alimentador desde TG a subtablero ST-6, con 3 THHN #2 + 1 THHN #2 + 1THHN #6 tierra en tubería metálica 2", incluye cajas de registro.	Mts	3	\$58.00	\$174.00	
				Sub. Total 5	\$7,261.50	\$7,261.50
6		Subestación				
6.1	Suministro e instalación de Subestación trifásica de 300 kVA formada por 3 transformadores monofásicos de 100 kVA, conectados en configuración delta - estrella. Voltaje primario 13.2/23 kV, voltaje secundario 120/240 V. Incluye: Estructura tipo H, cubierta protectora para cable en MT, con sus respectivos herrajes, fusibles de 8A tipo T, pararrayos 21 KV polimerico y cortacircuito 27 KV.	SG	1	\$31,200.61	\$31,200.61	
6.2	Suministro e instalación de red de tierra para Subestación, compuesta por 8 barras Copperweld de 5/8 X 10 pies o las necesarias, para obtener una resistencia menor a los 2 ohm.	SG	1	\$937.67	\$937.67	
				Sub. Total 6	\$32,138.28	\$32,138.28
7		Equipos ASIC				
7.1	Suministro de antminer S21 con su respectiva fuente de alimentación 220-277 VAC, 3500W.	U	64	\$3,700.00	\$236,800.00	
7.2	Configuración e instalación de Antminer S21.	U	64	\$30.00	\$1,920.00	
				Sub. Total 7	\$238,720.00	\$238,720.00

8		Redes					
8.1	Suministro e instalación de Ubiquiti EdgeRouter Infinity, compacto y montable en bastidor con capacidad de enlace ascendente de fibra y Gigabit Ethernet, 100-240V, 100W.	U	1	\$2,000.00	\$2,000.00		
8.2	Suministro e instalación de switch Estándar 24 Ubiquiti, conmutador de capa 2 de 24 puertos con sistema de refrigeración silencioso y sin ventilador, 100 - 240V, 25W.	U	3	\$250.00	\$750.00		
8.3	Suministro e instalación de cable UTP categoría 6 de interior.	Mts	410	\$0.65	\$266.50		
8.4	Suministro e instalación de Jack rj45 8 pines.	U	200	\$0.25	\$50.00		
8.5	Suministro e instalación de Patch panel de 24 puertos, Cat. 6 PND24-UC6.	U	3	\$70.00	\$210.00		
8.6	Suministro e instalación de Armario rack 19" 18U GTLAN 31GTS1866S.	U	1	\$300.00	\$300.00		
				Sub. Total 8		\$3,576.50	\$3,576.50
9		Espacio					
9.1	Suministro e instalación de contenedor 40 pies.	U	1	\$4,000.00	\$4,000.00		
9.2	Suministro e instalación estructura de montaje de equipos de minera ASIC.	U	2	\$400.00	\$800.00		
9.3	Suministro e instalación de espacio para salida de aire caliente.	U	1	\$700.00	\$700.00		
				Sub. Total 9		\$5,500.00	\$5,500.00
10		Tramites					
10.1	Revisión de planos como construidos e inspección de instalaciones eléctricas para mediana y gran demanda.	SG	1	\$140.20	\$140.20		
10.2	Factibilidad de servicio nuevo para conexión a las líneas de distribución.	SG	1	\$69.20	\$69.20		
10.3	Levantamiento de datos para presupuesto de conexión de servicio nuevo.	SG	1	\$81.07	\$81.07		
10.4	Elaboración de presupuesto para conexión de servicio nuevo.	SG	1	\$33.70	\$33.70		
10.5	Cargo por medición en media tensión.	SG	1	\$8,108.06	\$8,108.06		
10.6	Cargo por acometida en media tensión para grandes demandas.	SG	1	\$1,305.46	\$1,305.46		
				Sub. Total 10		\$9,737.69	\$9,737.69
11		Otros					
11.1	Suministro e instalación de bandeja portacables 54x300 mm CABLOFIL.	U	6	\$49.50	\$297.00		
11.2	Suministró e instalación de equipo de monitoreo, incluye CPU, monitor, teclado, UPS.	U	1	\$1,050.00	\$1,050.00		
				Sub. Total 11		\$1,347.00	\$1,347.00
Total costos directos						\$322,219.23	
Costo indirecto + utilidades (25% de total costo directo)						\$402,774.04	
IVA (13%)						\$52,360.62	
Costo total de ejecución						\$455,134.66	