



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS DE AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DEBIDO A LAS COMPONENTES ARMÓNICAS GENERADAS POR LAS
MÁQUINAS DE MÍNERIA DIGITAL**

Autores: Ramos C. José M.

Martínez H. Carlos R.

Tutor: Ing. Antonio Rodríguez

Urb. Yuma II, calle N.º 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ANÁLISIS DE AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DEBIDO A LAS COMPONENTES ARMÓNICAS GENERADAS POR LAS
MÁQUINAS DE MÍNERIA DIGITAL

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al Título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Autores:

Ramos C. José M.

C.I. 28.177.292

Martínez H. Carlos R.

C.I. 26.899.819.

Tutor: Ing. Antonio Rodríguez

San Diego, abril 2022.



ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de Ingeniería Electrónica para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado: Análisis de la Afectación en la Calidad de Energía Eléctrica Debido a los Componentes Armónicos Generados Por las Máquinas de Minería Digital

Realizado por el (la) Br. José Ramos

C.I. N° 28177292 cursante de la carrera de Ingeniería Electrónica

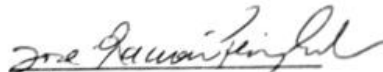
hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral, considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:


APROBADO

NO APROBADO

El Jurado


Tutor Académico (Coordinador)
Nombre: Antonio Rodríguez
C.I.: V-14923464


Jurado
Nombre:
C.I.: 8.827.908


Jurado
Nombre: Wislon Espinoza
C.I.: 9885895

Fecha: 03/06/2022.







ACTA DE APROBACIÓN

INFORME FINAL DE PASANTÍA

TRABAJO DE GRADO

El jurado designado por la Facultad de INGENIERIA para la evaluación del Informe Final de Pasantía o Trabajo de Grado titulado:

Análisis de la Afectación en la Calidad de ENERGIA ELÉCTRICA DEBIDA A LOS COMPONENTES ARMÓNICOS GENERADOS POR LAS MÁQUINAS DE MINERÍA DIGITAL

Realizado por el (la) Br CARLOS MARTINEZ

C.I. N° 26.899.819 cursante de la carrera de Ingeniería Eléctrica

hace constar después de analizar su contenido y oída la exposición oral,

considera que el Informe Final o Trabajo de Grado ha obtenido la calificación de:

APROBADO

NO APROBADO

El Jurado

[Signature]
Futor Académico (Coordinador)
Nombre Antonia Rosalva
C.I. V-14923464

[Signature]
Jurado
Nombre
C.I. 3823709

[Signature]
Jurado
Nombre Wilson Espinosa
C.I. 9865895

Fecha 03/06/2022

[Signature]



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DECANATO DE INGENIERÍA



FI E 002 2022-ICR TG

Valencia, 27 de abril de 2022

Ciudadanos:
RAMOS CHIRINOS, JOSE MIGUEL
28.177.292
MARTINEZ HERNANDEZ, CARLOS RAFAEL
26.899.819

Presente -

Cumplo con informarle que la comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 3-2022 de fecha 16/02/2022 aprobó el proyecto de grado titulado:

Análisis de afectación en la calidad de energía eléctrica debido a las componentes armónicas generadas por las máquinas de minería digital

Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico

Se ratifica la designación del Tutor Académico que los asesorará en el desarrollo de este proyecto a:
Ing. Antonio Andrés Rodríguez Briceño, titular de la cédula de identidad V-14.923.464



Atentamente

Dr. Francisco Gelanzé Sevilla.
Decano de Ingeniería

c.c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

CONSTANCIA DE APROBACIÓN PARA LA PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quien suscribe, Ing. Antonio Andrés Rodríguez Briceño, portador de la cedula de identidad N° 14.923.464, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos José Ramos, portador de la cédula de identidad N° 28.177.292 y Carlos Martínez portador de la cedula de identidad N° 26.899.819, titulado: **ANÁLISIS DE AFECTACIÓN EN LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEBIDO A LAS COMPONENTES ARMÓNICAS GENERADAS POR LAS MÁQUINAS DE MÍNERIA DIGITAL**, presentado como requisito parcial para optar al título de ingeniero electrónico, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe

En San Diego, a los cinco (5) días del mes de mayo del año dos mil veintidós (2022).


Ing. Antonio Andrés Rodríguez Briceño
C.I.: 14.923.464

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por darme salud durante todo mi periodo como estudiante universitario y la realización del presente trabajo de grado.

Igualmente, le dedico todo este esfuerzo a mi madre, Mary Hernández y a mi padre Oscar Martinez, por ser mi apoyo incondicional, por darme todo sin pedir nada a cambio, por sus sabios consejos y por ser los mejores padres que Dios pudo darme.

A mi hermano, Jose Martinez, por todos los momentos compartido juntos, la conversaciones y consejos que me has brindado, por ser incluso ejemplo a seguir en muchas de tus decisiones, he aprendido mucho. A mi tía, Rosana Hernandez, por todo el apoyo brindado a lo largo de todos estos años y todas las travesías, por ser como una madre para mí. A todo el resto de mi familia, que han formado parte de mi crecimiento en los distintos ámbitos y me han apoyado a lo largo de todos estos años.

A mi compañero de tesis, José Ramos, que me ayudó a llevar a cabo este proyecto y por todo lo compartido durante el corto que estuve en el nuevo grupo. A todos esos compañeros que de una u otra forma han estado durante mi proceso de formación académica y con los que he compartido las diferentes etapas.

A mis amigos Juan Campos, Carlos Meneses, Isabella Caldarelli, Luis Mendoza, Lender Garcia, Cesar Rosales y Rony Iucci por formar parte de mi familia, por apoyarme en los momentos más difíciles, por los sabios consejos, risas y todo lo demás que hemos vivido.

A todos aquellos docentes que han estado durante mi etapa de formación académica, que de alguna u otra forma han dejado una huella para ayudar con mi crecimiento.

Gracias

Carlos R. Martínez H.

AGRADECIMIENTOS

Inicio agradeciendo a Dios, por otorgarme salud y bienestar cada día que tuve que cumplir con mis responsabilidades académicas. A mis padres, Miguel Ramos y Lorena Chirinos, por ser siempre un pilar para guiarme y una motivación todos los días para mejorar a nivel personal y profesionalmente. Por darme la oportunidad de estudiar y formarme, sumado con su amor y apoyo incondicional, aligerando el camino cuando se presentaban adversidades.

A mis hermanos, Patricia Ramos y Miguel Ramos, quienes fueron fundamental inspiración todos los días para continuar mejorando, que también sirvieron de ayuda cuando presente fallas académicas o necesitaba un apoyo emocional y en todo momento estaban disponibles para mí.

A mi compañero de tesis Carlos Martínez, que a pesar del corto tiempo que compartimos de forma presencial, estuvo en todo momento para ayudarme, aclararme dudas y fue fundamental para el desarrollo de este proyecto de investigación

A la universidad José Antonio Páez, por ser la casa de estudios que me formo como profesional y a todos sus profesores que formaron parte de mi desarrollo académico.

A mis amigos en especial a Rolder Ortega y a mis compañeros de promoción Cesar Romero, Miguel Freytes que en todo momento me levantaron el animo cuando lo necesite, fueron parte de proyectos a lo largo de la carrera y formaron parte de cada momento de mi carrera universitaria.

Por último, a toda mi familia en el exterior, quienes a pesar de estar a la distancia supieron como mandarme su apoyo y cariño de forma incondicional, asimismo como me motivaron para que culminara mis estudios y pudiera desempeñarme como profesional con ellos.

Gracias.

José M. Ramos CH.

ÍNDICE GENERAL
CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN INFORMATIVO	xii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO

I. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación de la Investigación.....	4
1.5 Alcance	5

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación	6
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Sistema Electrónico	8
2.2.2. Medición	9
2.2.3. Instrumento de Medición.....	9
2.2.4. Instrumentación Industrial	10
2.2.5. Control de Procesos	10
2.2.6. Criptomoneda	11
2.2.7 Minería de Criptomonedas	11
2.2.8 Minero tipo ASIC	11
2.2.9 Armónico	12
2.2.10 Sensores y Transductores	13
2.2.11 Filtro de armónicos	13
2.3. Bases Legales	14
2.4. Definición de Términos Básicos	15

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación	17
3.2 Diseño de la investigación.....	17

3.3 Nivel de la Investigación	18
3.4 Población y muestra	18
3.5 Técnica de recolección de datos	19
3.5.1 Observación directa	19
3.5.2 Revisión bibliográfica.....	20
3.6 Instrumentos de recolección de datos.....	20
3.6.1 Histórico del comportamiento	20
3.6.2 Ficha bibliográfica	20
3.6.3 Tabulación y graficación	21
3.7 Técnicas de análisis de resultados	21
3.8 Fases metodológicas.....	21
Fase I: Diagnosticar las redes de distribución eléctrica realizando las mediciones pertinentes en búsqueda de alteraciones producidas por los armónicos.....	21
Fase II: Analizar el estado de las redes de distribución eléctrica con respecto al comportamiento de las cargas armónicas	22
Fase III. Seleccionar el tipo de filtro electrónico que se adapte a las necesidades del problema.	22
Fase IV. Realizar un análisis del estudio de costos, factibilidad técnica, operativa, ambiental y social para la implementación de la posible solución.	22

IV. RESULTADOS

4.1. Fase I: “Diagnosticar las redes de distribución eléctrica realizando las mediciones pertinentes en búsqueda de alteraciones producidas por los armónicos”	23
4.1.2 Equipos empleados para la toma de mediciones	23
4.1.3 Equipos de minería sobre los cuales se realiza el estudio	24
4.1.4 Montaje del circuito	27
4.2. Fase II: “Analizar el estado de las redes de distribución eléctrica con respecto al comportamiento de las cargas armónicas”.	33
4.2.1. Revisión documental de la norma IEEE 519.....	33
4.2.2 Tabulación y graficación del histórico de comportamiento	36
4.2.3. Análisis sobre la calidad de la energía eléctrica suministrada a los equipos electrónicos en relación con los límites establecidos por la IEEE 519.....	38
4.3. Fase III: “Seleccionar el tipo de filtro electrónico que se adapte a las necesidades del problema”.	47
4.3.1. Revisión bibliográfica sobre filtros electrónicos que controlen armónicos	47
4.3.2. Selección del tipo de filtro a utilizar	50
4.3.3. Selección del tipo de filtro de la gama AccuSine PCS+.....	51

4.4 Fase IV: “Realizar un estudio de costos, factibilidad técnica, operativa, ambiental y social para la implementación de la posible solución”.....	58
4.4.1 Estudio de Costos	58
4.4.2 Factibilidad Técnica.....	60
4.4.3 Factibilidad Operativa	60
4.4.4 Factibilidad Ambiental	61
4.4.5 Factibilidad Social	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	69
ANEXO A. Manual del filtro PCS+PCSP300D5IP00.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA	pp.
Tabla 1: Armónicos en mineros tipo ASIC	3
Tabla 2: Equipos empleados en las mediciones	23
Tabla 3: Especificaciones del equipo Antminer S9.....	24
Tabla 4: Especificaciones de la fuente de poder APW3++	25
Tabla 5: Histograma de comportamiento conexión en delta.....	29
Tabla 6: Histograma de comportamiento conexión en paralelo.....	31
Tabla 7: Limites de corriente Armónica para voltaje de 120 – 69,000 volts	35
Tabla 8: Limites de distorsión de voltaje	35
Tabla 9: Datos sintetizados del histórico de comportamiento (conexión delta).....	36
Tabla 10: Datos sintetizados del histórico de comportamiento (conexión paralela)	37
Tabla 11: Limites de corriente a utilizar en el caso de estudio	38
Tabla 12: Limites de voltaje a utilizar en el caso de estudio.....	39
Tabla 13: Especificación del factor K acorde al tipo de carga	45
Tabla 14: Especificaciones del filtro AccuSine PCS+	52
Tabla 15: Gastos para instalación de filtro armónico.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO

FIGURA	pp.
Figura 1: Antminer S9	25
Figura 2: Fuente de alimentación BITMAIN	27
Figura 3: Conexión delta	27
Figura 4: Maquinas de minería.....	28
Figura 5: Conexión medidor a la red de distribución	29
Figura 6: Medición de THD%I en delta	30
Figura 7: Medición de THD%V en delta	31
Figura 8: Medición de THD%I en paralelo	32
Figura 9: Medición de THD%V en paralelo	33
Figura 10: Filtro pasivo	48
Figura 11: Filtro activo.....	49
Figura 12: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00	53
Figura 13: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00	54
Figura 14: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00	55
Figura 15: Plano de dimensiones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00	56
Figura 16: Presupuesto para instalación de transformadores	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO

GRÁFICO	pp.
Gráfico 1: Comportamiento del THD en los 3 días de medición (conexión delta). 36	
Gráfico 2: Comportamiento del THD en los 3 días de medición (conexión paralela)	37



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE ELECTRÓNICA

Autores: José Ramos y Carlos Martínez

Tutor: Ing. Antonio Rodríguez

Fecha: Abril, 2022

RESUMEN INFORMATIVO

La criptomoneda se conoce como una moneda digital que se puede usar para comprar bienes y servicios, en conjunto con esto se desarrolló el método para obtener las mencionadas criptomonedas y es ahí donde se emplean las granjas de minería que se encargan de minar dichos activos a gran escala, siendo notable el consumo energía eléctrica que estas generan, el cual puede ser controlado con la implementación de filtros y empleo de técnicas de modulación. Este trabajo de investigación tiene como objetivo analizar las señales armónicas de corriente generadas en las granjas de minería de criptomonedas y su influencia en las redes eléctricas, brindando la importancia que ello merece y sugiriendo una solución con un filtrado específico acorde a los datos de la granja de estudio, para ello servirán de apoyo trabajos de grados realizados en otras universidades cuya finalidad es similar a la planteada en el presente estudio. Metodológicamente es una investigación sustentada en una investigación de campo y documental, de nivel descriptivo, cuya línea de investigación son las ciencias cognitivas aplicadas, la cual tuvo como población a las señales armónicas presentes en la corriente eléctrica de cualquier red de distribución. Como resultado se describe la relevancia de la regulación de señales armónicas de corriente generadas en las granjas de minería de criptomonedas debido a las consecuencias que trae consigo a la red eléctrica y se propone una posible solución de las existentes en el mercado para la disminución de dichos armónicos.

Descriptor: granjas de minería, criptomonedas, energía eléctrica, armónicos

INTRODUCCIÓN

Los aspectos tecnológicos se han desarrollado actualmente teniendo un notable crecimiento en los últimos años, gracias a ello, distintas áreas observadas en la cotidianidad se han visto beneficiadas, hasta tal punto que este desarrollo y evolución se encuentra con la economía, brindando una moneda digital la cual es controlada y regida por aspectos completamente diferentes a los usuales en la moneda cotidiana, a pesar de haber sido descubierta, su implementación tomará años, como de igual manera fue en casos anteriores si se recurre a la historia, donde inicialmente se pagaba trueques, posterior a ello surgen las monedas físicas, seguido a ello se dio origen a los billetes, y finalmente a la moneda digital.

Una vez conocida la criptomoneda, se desarrolló el método de generar dicho activo, que se conoce como minería de criptomonedas, el cual en algunos casos es realizado en cantidad y este espacio en donde se realiza la actividad a gran escala se le determina como granja de minería. Como con toda innovación, se han realizado estudios para determinar si esta actividad es positiva o negativa para la sociedad, asimismo saber qué ventajas y desventajas puede contraer la misma, destacando entre sus desventajas la gran cantidad de armónicos que se generan y el consumo eléctrico que lleva consigo, estando relacionado el daño que puede producirse ambientalmente y a los demás elementos que estén conectados a la red de distribución, es por ello que surge la necesidad de analizar más a fondo el desempeño de las corrientes eléctricas, que están bajo la influencia de la fluctuación de las señales armónicas producidas por las máquinas de minería .

Para lograr este propósito, la investigación se estructura en cuatro capítulos, descritos a continuación:

Capítulo I, El Problema, en el cual se describe el planteamiento, formulación, objetivos, justificación, alcance.

Capítulo II, Marco Teórico, donde se encuentran los antecedentes, bases teóricas, bases legales y definición de términos básicos.

Capítulo III, Marco Metodológico, tipo, diseño, nivel, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y las fases metodológicas.

Capítulo IV, Resultados, conformado por (4) fases, toma de mediciones, análisis de la calidad de energía eléctrica, selección de filtro y evaluación desde el enfoque operativo, técnico, económico, ambiental y social

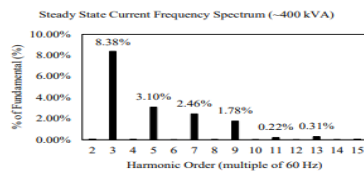
CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

La problemática se enfoca específicamente en las granjas de minería de criptomonedas, en donde los equipos mineros se encuentran en funcionamiento las 24 horas del día, con un alto consumo eléctrico y gran introducción de señales armónicas a las redes de distribución, comprometiendo así la integridad de los equipos involucrados en este proceso. Como se puede evidenciar en dos estudios realizados por Primary Engineering and Construction Corporation, en donde se expone que los equipos de minería tipo ASIC (específicamente el Antminer S9) introducen armónicos que violan el std 519 IEEE, en dichas tablas se observa que es particularmente prevalente para los armónicos 3, 5 y 7. De la misma forma, la Distorsión Armónica Total de la corriente se encuentra por encima de los establecido en la norma antes mencionada cuando no se encuentra presente algún tipo de filtrado.

Tabla 1: Armónicos en mineros tipo ASIC

Fuente: A Comparative Power Quality Analysis of Cryptocurrency Mining Loads (2019)



Site	A (from reference [9])	B
Current THD (%) (no triplen filtering)	9.65	9.45

La presencia de armónicos en una instalación, o red de distribución eléctrica puede acarrear innumerables problemas, tales como: Sobrecalentamientos en los conductores especialmente en el neutro de las instalaciones, debido al efecto pelicular. Disminución del factor de potencia de una instalación y envejecimiento e incluso destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para su corrección debido a fenómenos de resonancia y amplificación. Deterioro de la forma de onda de la tensión, y consiguiente malfuncionamiento de los aparatos eléctricos.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo es afectada la calidad de la energía eléctrica influenciada por las señales armónicas producidas por las máquinas de minería digital?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar la calidad de la energía eléctrica como consecuencia de las actuaciones de las componentes armónicas generadas por las máquinas de minería digital

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar las redes de distribución eléctrica realizando las mediciones pertinentes en búsqueda de alteraciones producidas por los armónicos.
- Analizar el estado de las redes de distribución eléctrica con respecto al comportamiento de las cargas armónicas.
- Seleccionar el tipo de filtro electrónico que se adapte a las necesidades del problema.
- Realizar un estudio de costos, factibilidad técnica, operativa, ambiental y social para la implementación de la posible solución.

1.4 Justificación de la Investigación

Los proveedores de servicios eléctricos se encuentran en la necesidad de contrarrestar el efecto que ocasiona la presencia de las señales armónicas en las redes eléctricas con el fin de proteger los equipos de distribución y todos aquellos que pueden ser afectados del lado del consumidor, con la presencia de un filtro se puede incluso alargar la vida de los equipos presentes en las redes eléctricas.

En base a la necesidad planteada, surge la importancia del presente estudio, ya que su finalidad es destacar la importancia del conocimiento sobre el comportamiento de las señales armónicas en una red de distribución y las consecuencias que trae consigo una sobrepoblación de dichos armónicos, brindando una solución, en donde las señales armónicas serán disminuidas por un equipo denominado filtro.

Aunado a ello, la presente investigación permitirá poner en práctica a los investigadores aquellos conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera universitaria, relacionados a la selección de instrumentos electrónicos e industriales, medición de variables físicas, teorías de control, manipulación y control de máquinas eléctricas, control y accionamiento de señales de sensores, entre otros. Finalmente, permitirá aportar a la Universidad José Antonio Páez una investigación que sirva de apoyo para posteriores estudios similares.

1.5 Alcance

El presente trabajo de investigación será desarrollado para el departamento encargado de tratar el tema de protecciones de la empresa proveedora de servicio eléctrico (CORPOELEC), específicamente la sede de Valencia, estado Carabobo. Para efectos del diseño, su alcance comprende el análisis de la necesidad de contar con un sistema de disminución de armónicos en los sistemas de distribución eléctricos, específicamente aquellos destinados a la alimentación de las granjas de minería, la identificación de herramientas y equipos a utilizar para satisfacer dicha necesidad, el diseño electrónico del equipo y la evaluación de la factibilidad general de la propuesta.

Por su parte, la implementación del diseño electrónico representa el fin idóneo para este proyecto, sin embargo, quedará bajo la decisión y responsabilidad de la empresa si esta lo considera pertinente, por lo que el estudio no abarcará la puesta en marcha de la propuesta ni la evaluación de los resultados posteriores a su selección.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

Balestrini, M. (2006, p. 91), define al marco teórico como: “el resultado de la selección de aquellos aspectos más relacionados del cuerpo teórico que se asume, referidos al tema específico elegido para su estudio”. De esta manera, el marco teórico es la ubicación del tema de estudio dentro de un conjunto de conceptualizaciones y antecedentes sólidos, que permitan abordar el tema a través de la revisión bibliográfica y cuya contribución sustenta el desarrollo de la investigación.

2.1. Antecedentes de la Investigación

Como apoyo a la presente investigación, se ha realizado una minuciosa búsqueda de información, hallando respaldo en previas publicaciones relacionadas al tema en estudio, cuyo aporte teórico se considera valioso y relevante al momento de plantear la problemática. Entre estos estudios se pueden destacar los siguientes:

Leiva, A. (2020) realizó un trabajo de grado titulado “**Diseño y simulación de un filtro activo de potencia para mitigar señales armónicas de corriente en una red de distribución de 2 kVA**” presentado para la obtención del título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Católica del Perú, en Lima, Perú. En dicha labor se propuso el diseño De esta forma, mediante este trabajo de tesis, se busca proponer el diseño y simulación de un filtro activo de potencia de corriente aplicando las teorías necesarias para la obtención de la señal de estudio y la generación de la señal de salida, los cuales, permitirán la reducción de las señales armónicas de corriente de manera eficiente en una red de distribución específica. Esta investigación se presenta como un proyecto de factibilidad apoyado por investigaciones documentales y de campo. Asimismo, Mendoza, T. (2019) realizó un Trabajo de Grado denominado: “**Evaluación de la THDI y THDV en transformadores de distribución monofásicos**” el cual fue desarrollado para la obtención del título de Ingeniero electromecánico en la Universidad Nacional

de Loja, en Loja, Ecuador. El trabajo se desarrolló bajo un enfoque metodológico, En esta investigación desarrollada se evalúa la THDI y THDV en los transformadores monofásicos de 10, 15, 25 y 37.5 kVA que suministran energía a consumidores residenciales en la provincia de Loja, utilizando una base de datos de mediciones realizadas durante un periodo de 3 años(2013, 2014, 2015), con el objetivo de obtener curvas características para observar el comportamiento característico de la THDI y THDV en transformadores que alimentan cargas residenciales con y sin cocina de inducción. Después de procesar la base de datos se utilizó técnicas estadísticas para verificar si los datos cumplen con una distribución normal. Finalmente se obtuvieron las curvas características de la THDI Y THDV donde se puede apreciar el comportamiento en el tiempo de estos dos parámetros.

Por otra parte, Álvarez, V. y Clarialbis, A. (2017) desarrollaron el proyecto titulado: **“Implementación de un algoritmo para la especificación de filtros de sintonía simple en redes eléctricas de media tensión basados en el programa matpower”** con el fin de optar al título de Ingeniero Electricista en la Universidad Central de Venezuela, en Distrito Capital, Venezuela, cuyo objetivo se enfocó en las modificaciones al programa de simulación de código fuente abierto MATPOWER, bajo la plataforma de MATLAB para el diseño inicial de filtros pasivos de sintonía simple, en particular se implementa el filtro LC serie. Se utiliza la función de flujo de carga del MATPOWER para verificar la compensación de banco capacitivo que forma el filtro. Usando la metodología de análisis armónico no iterativo (NIHA), se realiza el estudio de penetración armónica para evaluar el impacto en el THD de la red eléctrica bajo estudio, por la instalación solo de un banco capacitivo y el mismo banco con inductancia serie formando el filtro LC serie. Se implementa el estudio de barrido en frecuencia para analizar las frecuencias de resonancia y justificar los niveles de THD en algunos nodos de la red bajo estudio. Se analiza una red eléctrica industrial de prueba de 13 barras del IEEE modificada y se comprueban los resultados con una simulación en Pspice en el dominio del tiempo.

Por último, Narváez, R. y Uzcátegui, E. (2012) desarrollaron el proyecto titulado **“Estudio de los fenómenos armónicos en la subestación melones oeste de PDVSA en el distrito San Tomé.”** para el III Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica en la Universidad de Oriente, en Sucre, Venezuela. En el contenido del trabajo se desarrolla un estudio de los fenómenos armónicos en un sistema de potencia formado por circuitos de distribución en una red trifásica, a nivel de 13,8 KV proveniente de una subestación reductora de 115 KV a 13,8 KV; en donde se encuentran gran número de dispositivos no lineales (variadores de frecuencia), utilizados para controlar la velocidad de trabajo de los motores asociados a los pozos de producción petrolera, siendo estos dispositivos quienes producen distorsión tanto en las ondas de corriente como de voltaje. El estudio se centra en la subestación Melones Oeste que forma parte del sistema de transmisión de PDVSA en San Tomé. Para la realización del estudio se emplea la herramienta computacional Electrical Engineering Software Power System Analysis Software (ETAP). Con el fin de modelar el sistema de la subestación y sus circuitos de distribución, donde las componentes armónicas inyectadas por los dispositivos no lineales se miden directamente a la entrada de cada una de ellas, dato que se emplea en la simulación como parte del flujo de carga armónico.

2.2. Bases Teóricas

Según Arias, F. (1999) “las bases teóricas implican un desarrollo amplio de los conceptos y proposiciones que conforman el punto de vista o enfoque adoptado, para sustentar o explicar el problema planteado”. En este sentido, se incorporan los elementos teóricos centrales que orientarán el estudio, es decir, todas aquellas nociones, teorías y enfoques que, dada su estrecha vinculación con el tema de investigación, conducen el problema planteado a un terreno donde pueda ser debatido en base a criterios y paradigmas que le otorguen mayor solidez y perdurabilidad.

2.2.1. Sistema Electrónico

Según Artero, T. (2013) un sistema electrónico es un conjunto de: sensores, circuitería de procesamiento y control, actuadores y fuente de alimentación. Los sensores obtienen información del mundo físico externo y la transforman en una señal

eléctrica que puede ser manipulada por la circuitería interna de control. Existen sensores de todo tipo: de temperatura, tensión, posición, humedad, movimiento, sonido, luminosidad, electricidad, etcétera. Los circuitos internos de un sistema electrónico procesan la señal eléctrica convenientemente. La manipulación de dicha señal dependerá tanto del diseño de los diferentes componentes del hardware del sistema, como del conjunto lógico de instrucciones que dicho soporte físico tenga pregrabado y que sea capaz de ejecutar de forma autónoma.

2.2.2. Medición

Es un proceso a través del cual se obtiene una característica propia de un elemento, la cual es comparada con una referencia o patrón con el fin de determinar la cantidad de veces que el patrón está contenido dentro del objeto a medir. Según Fenton, N. y Pfleeger, S. (1997) la medición es “el proceso por el cual se asignan números o símbolos a atributos de entidades del mundo real, de tal forma que los describa de acuerdo con reglas claramente definidas”.

2.2.3. Instrumento de Medición

Es un objeto utilizado para comparar magnitudes físicas mediante un proceso de medición. Como unidades de medida se utilizan elementos previamente establecidos como patrones, de esta manera, con el instrumento se obtiene una magnitud que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia. Sus características son:

- **Apreciación:** medida perceptible más pequeña.
- **Exactitud:** capacidad de medir un valor cercano al valor de la magnitud real.
- **Precisión:** capacidad para brindar un mismo resultado en distintas mediciones realizadas en las mismas condiciones.
- **Resolución:** mínima variación medible de la magnitud.
- **Sensibilidad:** relación de desplazamiento entre el indicador de la medida y la medida real.

2.2.4. Instrumentación Industrial

Son todos aquellos elementos utilizados para medir, analizar y controlar aquellas variables involucradas en procesos industriales. Entre las variables típicas de procesos se pueden encontrar: presión, caudal, nivel, temperatura, pH, conductividad, velocidad, peso, fuerza, cantidad de sustancia, corriente eléctrica, humedad, etcétera. Estos instrumentos permiten la regulación de magnitudes de una manera considerablemente más efectiva que operadores y en ámbitos con condiciones físicas extremas.

2.2.5. Control de Procesos

Katsuhiko, O. (2010) indica que el control de procesos “ha desempeñado un papel vital en el avance de la ingeniería y la ciencia, pues se ha convertido en una parte integral de sistemas de vehículos espaciales o robóticos, en procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial”. La teoría de control moderna se encarga de simplificar el diseño de los sistemas de control, basándose en un modelo del sistema real que se quiere controlar. A su vez, Katsuhiko, O. (2010) define el término controlar como la acción de “medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado”. En base a ello, algunos de los aspectos más importantes de esta acción son:

- Variable controlada: cantidad o condición que se mide y controla.
- Variable manipulada: cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, esta representa es la salida del sistema.
- Planta: puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular.
- Procesos: operación progresivamente continua, marcada por una serie de cambios graduales que se suceden unos a otros de una forma relativamente fija y que conducen a un resultado o propósito determinado.

- Sistema: combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado.
- Perturbaciones: señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

2.2.6. Criptomoneda

Ruiz (2017, p.326), señala que la criptomoneda es un medio digital de intercambio. La primera moneda que empezó a operar fue el bitcoin y desde entonces han aparecido muchas otras con diferentes características y protocolos. Gutiérrez (2014, p. 44), indica que es un dinero virtual que para su generación, intercambio o transacción se utilizan sistemas telemáticos encriptados y codificados con el objeto de poner en circulación dinero electrónico a través de redes digitales de usuarios.

2.2.7 Minería de Criptomonedas

Según Seaton, J. (2019), la minería de criptomonedas es el proceso de validar una transacción de criptomonedas. Las criptomonedas como Bitcoin utilizan libros de contabilidad públicos distribuidos para registrar todas las transacciones financieras. Cada transacción está vinculada a las transacciones anteriores y posteriores, lo que crea una cadena de registros con marca de tiempo llamada blockchain. Debido a que el libro mayor distribuido es público, cada registro debe validarse para evitar transacciones fraudulentas. La validación implica resolver un problema matemático complejo que es difícil de resolver, pero fácil de verificar. Una red de computadoras llamadas criptomneros compete para resolver el problema primero. La computadora (minero) que resuelve el problema primero gana el derecho a registrar la transacción en el libro mayor y obtiene una recompensa financiera, que generalmente se paga en criptomonedas.

2.2.8 Minero tipo ASIC

Tardi, C (2021), señala que un circuito integrado de aplicación específica (ASIC) es un tipo de circuito que ha sido diseñado para un solo propósito determinado.

Un minero ASIC se refiere a un dispositivo que utiliza microprocesadores con el único propósito de "extraer" moneda digital. Generalmente, cada minero ASIC está construido para extraer una moneda digital específica. Entonces, un minero de bitcoin ASIC solo puede extraer bitcoins. Una forma de pensar en los ASIC de bitcoin es como computadoras especializadas en minería de bitcoins, o "generadores de bitcoins", que están optimizados para resolver el algoritmo de minería. Desarrollar y fabricar ASIC como dispositivos de minería es costoso y complejo. Debido a que los ASIC están diseñados especialmente para minar criptomonedas, hacen el trabajo más rápido que las computadoras menos potentes. Los chips ASIC para la minería de criptomonedas se han vuelto cada vez más eficientes, con la última generación operando a alrededor de solo 29,5 julios por Terahash.

2.2.9 Armónico

Según Piolet, F (2015), los armónicos son los componentes similares de una corriente eléctrica periódica descompuesta en la serie de Fourier. Los armónicos tienen una frecuencia que es múltiplo (2, 3, 4, 5, ... n) de la frecuencia fundamental (50 ó 60 Hz en las redes eléctricas). El número "n" determina el rango de la componente armónica. Se denomina "armónico del rango n" a la componente armónica del rango correspondiente a "n" veces la frecuencia de la red. Los armónicos de rango par (2,4, 6, 8...) no suelen estudiarse en los entornos industriales porque se anulan gracias a la simetría de la señal alterna. Sólo se tienen en cuenta en presencia de una componente continua. Por contra, las cargas no lineales monofásicas tienen un espectro en componentes armónicas de rango impar (3, 5, 7, 9...). En la medida en que se incrementa el orden de la armónica, su magnitud y frecuencia disminuyen; por ello, las armónicas de orden inferior tienen mayor repercusión en el sistema de potencia. Generalmente, la medición de armónicas se realiza en las ondas de corriente en el lado de la carga o usuario y en la onda de tensión en el lado de la red. La onda distorsionada de corriente en el lado de la carga produce una caída de tensión con la impedancia de la red de transmisión, de manera que se distorsiona la onda de tensión. Por lo tanto, el problema de las armónicas

debe controlarse en el punto en donde se genera, de lo contrario se puede transmitir a otros usuarios conectados a la misma red.

2.2.10 Sensores y Transductores

Abarca, G., Carreño, J. y Corona, L. (2014) señalan que:

La definición de sensor está íntimamente relacionada con la definición de transductor, ya que un sensor siempre hará uso de un transductor. No obstante, la principal diferencia entre un transductor y un sensor radica en que el sensor no solo cambia el dominio de la variable física medida, sino que además la salida del sensor será un dato útil para un sistema de medición. De este modo, un sensor se define como un dispositivo de entrada que provee una salida manipulable de la variable física medida.

De esta manera, el sensor, a diferencia del transductor, solo puede ser un dispositivo de entrada al proceso, ya que este último siempre será un intermediario entre la variable física y el sistema de medida. Por lo tanto, en el caso de un sensor no basta con transformar la energía, ya que este debe tener el tipo de dominio requerido. Hoy día, los sensores entregan señales eléctricas a la salida, ya sean analógicas o digitales, debido a que este tipo de dominio físico es el más utilizado en los sistemas de medida actuales.

Estos equipos son fabricados con diseños robustos para trabajar con diversas variables físicas en ambientes extremos, involucrando en sus diseños un determinado principio físico o químico para desempeñar su funcionamiento correctamente. Por lo general, se encuentran en contacto directo con la variable que están destinados a medir.

2.2.11 Filtro de armónicos

S. Mark Halpin, Angela Card, en *Power Electronics Handbook* (tercera edición), 2011, Los filtros de armónicos vienen en muchas "formas y tamaños". En general, los filtros de armónicos son filtros de "derivación" porque están conectados en paralelo con el sistema de energía y proporcionan caminos de baja impedancia a tierra para corrientes en una o más frecuencias armónicas. Para aplicaciones de energía, los filtros de derivación son casi siempre más económicos que los filtros en serie (como

los que se encuentran en muchas aplicaciones de comunicaciones) por las siguientes razones:

1. Los componentes de la serie deben estar clasificados para la corriente completa, incluido el componente de frecuencia de potencia. Tal requisito conduce a tamaños de componentes más grandes y, por lo tanto, a costes.
2. Los componentes del filtro de derivación generalmente deben estar clasificados solo para una parte del voltaje del sistema (generalmente con respecto a tierra). Estos requisitos dan lugar a componentes de menor tamaño y, por tanto, a costes.

Los filtros de derivación están diseñados (o se pueden comprar) en tres categorías básicas de la siguiente manera:

1. Filtros de un solo ajuste.
2. Filtros sintonizados múltiples (generalmente limitados a dobles).
3. Filtros amortiguados (de primer, segundo o tercer orden, o "tipo c" más nuevos).

Los filtros de sintonización simple y doble se usan generalmente para filtrar frecuencias específicas, mientras que los filtros amortiguados se usan para filtrar una amplia gama de frecuencias. En aplicaciones que involucran cargas de producción de armónicos pequeños, a menudo es posible usar un filtro de sintonización simple (generalmente sintonizado cerca del quinto armónico) para eliminar corrientes armónicas problemáticas. En aplicaciones grandes, como las asociadas con los hornos de arco, a menudo se utilizan filtros sintonizados múltiples y un filtro amortiguado.

2.3. Bases Legales

Según Pérez, A. (2009, p. 65) las bases legales representan “el conjunto de leyes, reglamentos, normas y decretos que establecen el basamento jurídico sobre el cual se sustenta la investigación”. Resulta fundamental el estudio de las bases legales del presente trabajo en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (1999), resaltando el artículo 110, el cual reconoce y garantiza el desarrollo de la ciencia para la comunidad:

“El Estado reconocerá el interés público de la ciencia, la tecnología, el conocimiento, la innovación y sus aplicaciones y los servicios

de información necesarios por ser instrumentos fundamentales para el desarrollo económico, social y político del país, así como para la seguridad y soberanía nacional. Para el fomento y desarrollo de esas actividades, el Estado destinará recursos suficientes y creará el sistema nacional de ciencia y tecnología de acuerdo con la ley. El sector privado deberá aportar recursos para los mismos. El Estado garantizará el cumplimiento de los principios éticos y legales que deben regir las actividades de investigación científica, humanística y tecnológica. La ley determinará los modos y medios para dar cumplimiento a esta garantía.”

Adicionalmente, se evalúa el soporte legal en la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación establece, en su artículo 6, el cual dicta:

“Los organismos oficiales y privados, así como las personas naturales y jurídicas deberán ajustar sus actuaciones y actividades inherentes a la presente Ley, a los principios de ética para la ciencia, la tecnología, la innovación y sus aplicaciones que deben predominar en su desempeño, en concordancia con la salvaguarda de la justicia, la igualdad y el ejercicio pleno de la soberanía nacional.”

2.4. Definición de Términos Básicos

- **Hardware:** conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen a un sistema informático.
- **Máquina:** objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.
- **Blockchain:** es una estructura de datos cuya información se agrupa en conjuntos (bloques) a los que se les añade metainformaciones relativas a otro bloque de la cadena anterior en una línea temporal.
- **Filtro:** es un elemento que discrimina una determinada frecuencia o gama de frecuencias de una señal eléctrica que pasa a través de él, pudiendo modificar tanto su amplitud como su fase.
- **Microprocesador:** circuito electrónico que procesa la energía necesaria para que el dispositivo electrónico en que se encuentra funcione, ejecutando los comandos y los programas adecuadamente. La Unidad Central de Procesos (CPU) de una computadora es un ejemplo de un microprocesador.

- **Frecuencia:** es el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico.
- **Corriente Alterna:** corriente eléctrica en la que la magnitud y el sentido varían cíclicamente. La forma de oscilación de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la oscilación senoidal con la que se consigue una transmisión más eficiente de la energía, a tal punto que al hablar de corriente alterna se sobrentiende que se refiere a la corriente alterna senoidal.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

Acorde a lo analizado en el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL, 2011), con respecto a la problemática en cuestión, la investigación a realizar se vincula con una investigación de tipo documental y campo, ya que en el manual define esta modalidad como:

“...Se entiende por Investigación de Campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos de cualquiera de los paradigmas o enfoques de investigación conocidos o en desarrollo. (p.11).”

De manera similar de acuerdo a lo dicho por Balestrini (2002, p.9), los proyectos factibles son “aquellos proyectos e investigaciones que proponen la formulación de modelos, sistemas entre otros, que dan soluciones a una realidad problemática real planteada, la cual fue sometida con anterioridad o estudios de las necesidades a satisfacer”. Basándose en la definición anterior puede señalarse que la investigación es un proyecto factible ya que esta busca analizar la afectación de la calidad de energía eléctrica debido a las granjas de minería y utilizar el mejor método para disminuir el efecto.

Por tanto, la presente investigación sigue dichos parámetros ya que se desarrollará una propuesta viable que atienda una necesidad del grupo de estudio.

3.2 Diseño de la investigación

En lo que respecta al diseño de investigación es la estrategia adoptada para la recolección de información y datos necesarios para el estudio. Es por ello que el diseño más apropiado es el diseño de campo que Arias, F (1999, p.21) explica que

“Consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados o de la realidad donde ocurren los hechos sin manipular variable alguna.”. Y adicional a este también será de diseño documental, acorde con la definición de Arias, F (1999, p.21) donde menciona que “es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos.” Siguiendo las ideas expuestas previamente, la actual investigación se adapta a estas modalidades ya que las señales generadas por las granjas de minerías serán sometidas o mitigadas por medio de filtros de forma que se estarían manipulando las variables de salida y a su vez para realizar la propuesta del diseño de filtro, será necesario acudir a fuentes de datos con información ya registrada, tales como: datos estadísticos, catálogos, diseños y propuestas afines con el objetivo planteado

3.3 Nivel de la Investigación

Lo establecido según Arias, F (1999, p.19) estipula que “el nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio”. Es por tanto que se estableció que el nivel al que llegará la investigación será descriptivo. Balestrini, M (2006, p.53), define a una investigación de nivel descriptivo como aquella que “el planteamiento del problema adquiere una connotación de carácter enunciativo o informativo. Es decir, se busca conocer ¿Qué ocurrió? y ¿cómo ocurrió determinado fenómeno?, en determinado contexto, espacio y tiempo”. De esta forma la actual investigación corresponde a este nivel ya que se buscará y analizará la caracterización de la problemática y la descripción del comportamiento de las variables implicadas en el fenómeno de estudio.

3.4 Población y muestra

Población

Se determina la población para determinar el grupo sobre el cual se aplicarán los instrumentos de recolección de datos, donde estos tienen características en común capaces de estudiar, la población definida por Morles (1994, p.17) se entiende como “conjunto para el cual serán válidas las conclusiones que se obtengan: a los elementos

o unidades (personas, instituciones o cosas) involucradas en la investigación”. La población presente estará conformada por las señales armónicas presentes en la corriente eléctrica de cualquier red de distribución, en este sentido, el tipo de población a estudiar será finito, ya que se conoce el número de individuos que poseen esta característica.

Muestra

La selección de la muestra rigiéndose en lo establecido por Morles (1994, p.54) “La muestra es un subconjunto representativo de un universo o población”, es decir esta se refiere a una porción de la población la cual es seleccionada para analizar e investigar las propiedades de la misma, proporcionando información relevante para el estudio.

Así mismo, se especifica que el muestreo a aplicar es un muestreo intencional que, para Arias, F (1999, p.24) es la “selección los elementos con base en criterios o juicios del investigador”. De acuerdo con lo planteado previamente, la muestra para la presente investigación está representada por las componentes armónicas producidas por las máquinas de minería digital de criptomonedas.

3.5 Técnica de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos de acuerdo con lo expuesto por Arias, F (1999, p.25) menciona que “son las distintas formas o maneras de obtener la información”. Partiendo de su concepto se determinan las técnicas más apropiadas capaces de ser útiles para profundizar en la investigación de forma eficiente, destacando que en este caso se emplearán las técnicas de observación directa, revisión documental y revisión bibliográfica.

3.5.1 Observación directa

De acuerdo con Sabino, C. (2002, p. 101) “la observación consiste en el uso sistemático de nuestros sentidos orientados a la captación de la realidad que queremos estudiar”. Partiendo de este concepto, esta técnica es imprescindible en la investigación ya que se observará mediante un monitoreo constante el comportamiento de las señales armónicas y su respuesta o variación.

3.5.2 Revisión bibliográfica

Para Arias, F. (1999, p.106) la revisión bibliográfica “consiste en una recopilación de ideas, posturas de autores, conceptos y definiciones, que sirven de base a la investigación por realizar”. Es decir, consiste en la extracción de información a partir de fuentes bibliográficas expuestas por otros investigadores, en otras palabras, información que funcionara como fundamento de las bases teóricas del estudio a llevar a cabo

3.6 Instrumentos de recolección de datos

Indicado por Arias, F (1999, p.25), “Los instrumentos son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información”. Estos son fundamentales para poder ejecutar con eficacia las técnicas de recolección de datos, por tanto, los instrumentos pertinentes en la investigación son el histórico del comportamiento de las señales armónicas, la ficha bibliográfica, la tabulación y graficación.

3.6.1 Histórico del comportamiento

En lo que respecta a un histórico, es todo documento que muestre los cambios transcurridos a lo largo de un tiempo, este se escribirá sobre la marcha durante el estudio de las señales de salida para servir como punto de referencia en comparaciones y análisis posteriores al momento de concluir y establecer resultados.

3.6.2 Ficha bibliográfica

Según Sabino, C. (2002, p. 115) las fichas bibliográficas “son una simple guía para recordar cuáles libros o trabajos han sido consultados o existen sobre un tema”. De forma más explícita, las fichas poseen cuatro (4) elementos comunes como lo son: el nombre del autor o los autores, el título de la obra, la editorial que la publico y el lugar y año de la edición. La herramienta descrita será de gran apoyo para la correcta realización de las referencias bibliográficas, de igual forma brindando agilidad al momento de la redacción de dicho apartado.

3.6.3 Tabulación y graficación

Esta técnica se refiere a organizar la información más destacable en una tabla, la cual va de la mano de una gráfica para una mejor explicación de la misma, este instrumento se empleará con el objetivo de presentar y manejar los datos más relevantes de forma concisa y resumida

3.7 Técnicas de análisis de resultados

Posterior a la recolección de datos, la información recopilada debe ser analizada y estudiada de forma exhaustiva para poder determinar una conclusión en lo que respecta a la problemática plantada, es por ello que, en lo tocante a este punto, Arias, F (1999, p.25) menciona que estas técnicas “describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan”. Para el caso de estudio, se utilizarán como técnicas de análisis de resultados programas en maquinaria especializada capaz de mostrar la variación de las señales armónicas.

3.8 Fases metodológicas

Tomando en cuenta diferentes concepciones, un proyecto factible contempla las siguientes etapas: el diagnóstico de las necesidades, que puede basarse en una investigación de campo o documental, planteamiento y fundamentación teórica de la propuesta, el procedimiento metodológico, las actividades y recursos necesarios para su ejecución, el análisis de viabilidad o factibilidad del proyecto (económica, política, social, entre otros) y la posibilidad de ejecución.

Fase I: Diagnosticar las redes de distribución eléctrica realizando las mediciones pertinentes en búsqueda de alteraciones producidas por los armónicos.

Durante esta fase se determinará la necesidad existente del diseño de un filtro para atenuar señales armónicas de corriente generadas en las granjas de minería de criptomonedas. El diagnóstico se llevará a cabo empleando un analizador de armónicos que permitirá observar el comportamiento de las variables eléctricas a estudiar y registrar los resultados en tablas durante un tiempo pertinente para que la muestra obtenida sea representativa de los valores normales de dicho fenómeno de presencia de armónicos en las redes de distribución eléctrica.

Fase II: Analizar el estado de las redes de distribución eléctrica con respecto al comportamiento de las cargas armónicas.

Durante esta fase se utilizarán los datos obtenidos en las tablas para compararlos con los límites permitidos y así realizar un análisis con profundidad sobre la calidad de la energía eléctrica suministrada a los equipos electrónicos.

Fase III. Seleccionar el tipo de filtro electrónico que se adapte a las necesidades del problema.

A lo largo de esta fase se estudiarán las opciones de filtros existentes para armónicos, se utilizarán distintas fuentes de investigación con el fin de seleccionar la mejor opción para el fenómeno estudiado, buscando siempre obtener solución al problema de una forma factible para su posterior aplicación. En esta fase se procederá a realizar la selección del filtro con los parámetros requeridos establecidos durante el diagnóstico, rangos de operación y demás características necesarias.

Fase IV. Realizar un estudio de costos, factibilidad técnica, operativa, ambiental y social para la implementación de las posibles soluciones.

En esta fase se determinará la validez de la solución propuesta para así asegurar la implementación de la misma y garantizar el mejor aprovechamiento de los recursos siguiendo el siguiente orden lógico, cálculo de los costos relacionados con el modelo propuesto en función de los materiales, recursos humanos y tecnológicos.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Fase I: “Diagnosticar las redes de distribución eléctrica realizando las mediciones pertinentes en búsqueda de alteraciones producidas por los armónicos”.

4.1.1 Descripción del proceso a realizar

La toma de mediciones para su posterior análisis en el presente trabajo se realiza sobre equipos de minería digital conectados a una red doméstica, simulando de esta forma lo que sucede normalmente en el país y así poder determinar cómo estos equipos pueden estar afectando a la red eléctrica nacional, se utiliza el mismo método de conexión empleado con normalidad en las distintas instalaciones conocidas.


4.1.2 Equipos empleados para la toma de mediciones

Tabla 2: Equipos empleados en las mediciones

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Tipo	Instrumento de medición																																																																
Elemento	Circuit Monitor																																																																
Especificaciones	<p style="text-align: center;">PowerLogic – CM2350</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">Real-Time Reading</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">Reportable Range</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="2">Current</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase</td> <td>0 to 32,767 A</td> </tr> <tr> <td>Neutral</td> <td>0 to 32,767 A</td> </tr> <tr> <td>Ground ①</td> <td>0 to 32,767 A</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Average</td> <td>0 to 32,767 A</td> </tr> <tr> <td>Apparent rms ①</td> <td>0 to 32,767 A</td> </tr> <tr> <td>Current Unbalance ①</td> <td>0 to 100%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Voltage</td> </tr> <tr> <td>Line-to-Line, Per-Phase</td> <td>0 to 3,276,700 V</td> </tr> <tr> <td>Line-to-Neutral, Per-Phase</td> <td>0 to 3,276,700 V</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Average</td> <td>0 to 3,276,700 V</td> </tr> <tr> <td>Voltage Unbalance ①</td> <td>0 to 100%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Real Power</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Total</td> <td>0 to +/- 3,276.70 MW</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase</td> <td>0 to +/- 3,276.70 MW</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Reactive Power</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Total</td> <td>0 to +/- 3,276.70 MVar</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase</td> <td>0 to +/- 3,276.70 MVar</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Apparent Power</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Total</td> <td>0 to 3,276.70 MVA</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase</td> <td>0 to 3,276.70 MVA</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Power Factor (True)</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Total</td> <td>-0.010 to 1.000 to +0.010</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase</td> <td>-0.010 to 1.000 to +0.010</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Power Factor (Displacement)</td> </tr> <tr> <td>3-Phase Total ①</td> <td>-0.010 to 1.000 to +0.010</td> </tr> <tr> <td>Per-Phase ①</td> <td>-0.010 to 1.000 to +0.010</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Frequency</td> </tr> <tr> <td>50/60 Hz</td> <td>23.00 to 67.00 Hz</td> </tr> <tr> <td>400 Hz</td> <td>350.00 to 450.00 Hz</td> </tr> <tr> <td>Temperature (Internal Ambient) ①</td> <td>-100.00°C to +100.00°C</td> </tr> </tbody> </table>		Real-Time Reading	Reportable Range	Current		Per-Phase	0 to 32,767 A	Neutral	0 to 32,767 A	Ground ①	0 to 32,767 A	3-Phase Average	0 to 32,767 A	Apparent rms ①	0 to 32,767 A	Current Unbalance ①	0 to 100%	Voltage		Line-to-Line, Per-Phase	0 to 3,276,700 V	Line-to-Neutral, Per-Phase	0 to 3,276,700 V	3-Phase Average	0 to 3,276,700 V	Voltage Unbalance ①	0 to 100%	Real Power		3-Phase Total	0 to +/- 3,276.70 MW	Per-Phase	0 to +/- 3,276.70 MW	Reactive Power		3-Phase Total	0 to +/- 3,276.70 MVar	Per-Phase	0 to +/- 3,276.70 MVar	Apparent Power		3-Phase Total	0 to 3,276.70 MVA	Per-Phase	0 to 3,276.70 MVA	Power Factor (True)		3-Phase Total	-0.010 to 1.000 to +0.010	Per-Phase	-0.010 to 1.000 to +0.010	Power Factor (Displacement)		3-Phase Total ①	-0.010 to 1.000 to +0.010	Per-Phase ①	-0.010 to 1.000 to +0.010	Frequency		50/60 Hz	23.00 to 67.00 Hz	400 Hz	350.00 to 450.00 Hz	Temperature (Internal Ambient) ①
Real-Time Reading	Reportable Range																																																																
Current																																																																	
Per-Phase	0 to 32,767 A																																																																
Neutral	0 to 32,767 A																																																																
Ground ①	0 to 32,767 A																																																																
3-Phase Average	0 to 32,767 A																																																																
Apparent rms ①	0 to 32,767 A																																																																
Current Unbalance ①	0 to 100%																																																																
Voltage																																																																	
Line-to-Line, Per-Phase	0 to 3,276,700 V																																																																
Line-to-Neutral, Per-Phase	0 to 3,276,700 V																																																																
3-Phase Average	0 to 3,276,700 V																																																																
Voltage Unbalance ①	0 to 100%																																																																
Real Power																																																																	
3-Phase Total	0 to +/- 3,276.70 MW																																																																
Per-Phase	0 to +/- 3,276.70 MW																																																																
Reactive Power																																																																	
3-Phase Total	0 to +/- 3,276.70 MVar																																																																
Per-Phase	0 to +/- 3,276.70 MVar																																																																
Apparent Power																																																																	
3-Phase Total	0 to 3,276.70 MVA																																																																
Per-Phase	0 to 3,276.70 MVA																																																																
Power Factor (True)																																																																	
3-Phase Total	-0.010 to 1.000 to +0.010																																																																
Per-Phase	-0.010 to 1.000 to +0.010																																																																
Power Factor (Displacement)																																																																	
3-Phase Total ①	-0.010 to 1.000 to +0.010																																																																
Per-Phase ①	-0.010 to 1.000 to +0.010																																																																
Frequency																																																																	
50/60 Hz	23.00 to 67.00 Hz																																																																
400 Hz	350.00 to 450.00 Hz																																																																
Temperature (Internal Ambient) ①	-100.00°C to +100.00°C																																																																



Tipo	Herramienta para medidor	
Elemento	Transformador de corriente	
Especificaciones	<p>SASSIN</p> <p>MSQ-30</p> <p>75-5A</p>	

4.1.3 Equipos de minería sobre los cuales se realiza el estudio

- **Antminer S9:** Modelo Antminer S9 (13.5Th) del algoritmo SHA-256 de minería de Bitmain con un hashrate máximo de 13.5Th/s para un consumo de energía de 1323W. Su tabla de especificaciones es:

Tabla 3: Especificaciones del equipo Antminer S9

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Marca	Bitmain
Modelo	Antminer S9 (13.5Th)
Lanzamiento	Septiembre 2017
Tamaño	135x158x350mm
Peso	4200g
Tarjetas de chips	3
Nombre de chip	BM1387
Tamaño de chip	16nm
Número de chips	189
Nivel de ruido	85db
Ventiladores	2

Potencia	13232W
Cables	10*6pines
Voltaje	11.6-13.00V
Interfaz	Ethernet
Temperatura	0-40°C
Humedad	5-95%



Figura 1: Antminer S9

Fuente: <https://www.amazon.es/Antminer-S9-13-5TH-APW3-PSU/dp/B01MCZVPFE>

- **Fuente de poder: APW3++** es una fuente de alimentación de BITMAIN que puede entregar 1600 W para los mineros de BITMAIN. Es energéticamente eficiente y la fuente de alimentación oficial para BITMAIN Antminer S9. Sus especificaciones son:

Tabla 4: Especificaciones de la fuente de poder APW3++

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

	Voltaje DC	12.15 V
	Corriente nominal (220V)	133 A
	Corriente nominal (110V)	100 A
	Potencia nominal (220V)	1600W
	Potencia nominal (220V)	1200W

Salida	Ruido	<1%
	Regulación de voltaje	<2%
	Regulación de fuente	<1%
	Regulación de carga	<1%
	Configuración	<2S
	Apagado de protección	<9mS
	Tipo de interfaz	5 pares de conectores PCI-E de 6 pines
	Nivel de ruido	<43DB
Entrada	Rango de voltaje	100-240 VAC
	Voltaje de arranque	95-105 VAC
	Rango de frecuencia	47-63 Hz
	Factor de potencia	>0.95 (carga completa)
	Corriente de fuga	<1.5 mA (220V 50HZ)
Protección	Entrada de bajo voltaje	80-89 VAC
	Salida Corto circuito	Si
	Sobrecorriente de salida	134-185 A max
	Protección de sobrecalentamiento	Si
Condiciones	Temperatura de operación	-20°C – 50°C
Ambientales	Humedad de operación	20%-90% humedad relativa
Estructura	Dimensiones	220x108x62mm
Enfriamiento	Ventilador	Ventilación forzada



Figura 2: Fuente de alimentación BITMAIN

Fuente: <https://globalretaildeals.com/es/products/copia-de-power-supply-1800w-psu-12v-platinum-antminer-apw3-mining-power-supply-for-antminer-miner-mining-rig-a6-a7-ant-asic-s9-t9-s7-l3>

4.1.4 Montaje del circuito

La conexión de las máquinas se realizó en delta a fin de tener una carga equilibrada para obtener los datos de medición de forma correcta y preservar los equipos presentes en la medición. Sin embargo, por lo general en las instalaciones domésticas no se respeta esto anterior y las máquinas se conectan al tendido eléctrico en paralelo como si se tratara de cualquier otro equipo de la casa.

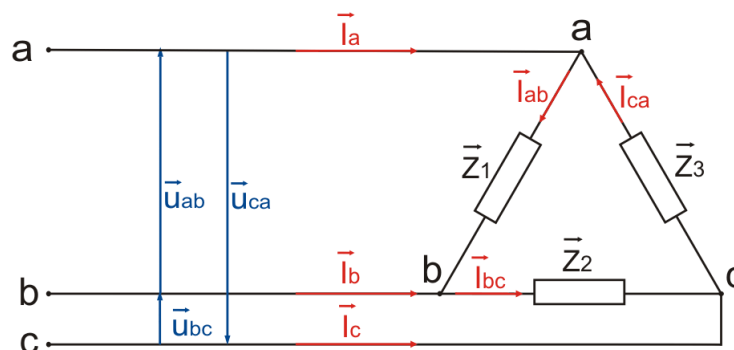


Figura 3: Conexión delta

Fuente: <https://learnchannel-tv.com/es/electricity/three-phase-current/delta-connection/>



Figura 4: Maquinas de minería

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Por otro lado, el equipo de medición se conectó a la red de distribución que en este caso es de 75kVA (3x25kVA), siguiendo el esquema indicado por el fabricante en el manual de instalación y operación asociado al mismo.

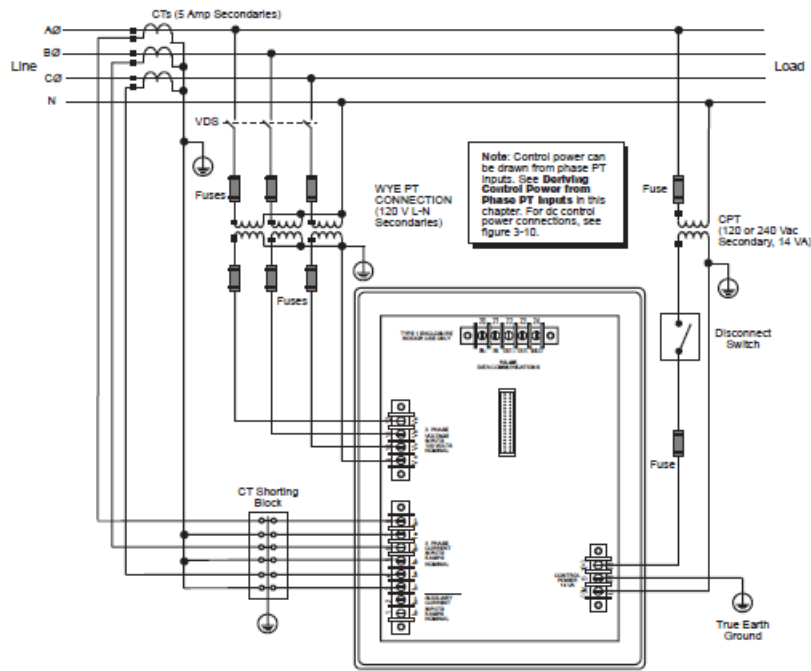


Figura 5: Conexión medidor a la red de distribución

Fuente: Datasheet Medidor PowerLogic – CM2350

El equipo se conecta al ordenador a través de los terminales de comunicación RS-485 directamente al POWERLOGIC System Manager application software para guardar las lecturas de distorsión armónica total en corriente y en tensión (THD%). Se registran los datos en tabla, tomando valores cada 15 min durante 3 días, siguiendo los lineamientos de los estudios guiados por la IEEE std. 519. Obteniendo los siguientes promedios por hora:

Tabla 5: Histograma de comportamiento conexión en delta

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V
1	8.0	1.8	19	8.2	1.8	37	8.2	1.8	55	8.0	1.8
2	7.5	1.8	20	8.2	1.8	38	8.0	1.8	56	8.2	1.8
3	8.0	1.8	21	7.5	1.8	39	8.2	1.8	57	7.5	1.8
4	8.2	1.8	22	7.5	1.8	40	8.2	1.8	58	7.5	1.8

5	7.5	1.8	23	8.2	1.8	41	7.5	1.8	59	8.2	1.8
6	8.2	1.8	24	8.0	1.8	42	8.0	1.8	60	8.2	1.8
7	7.5	1.8	25	8.0	1.8	43	7.5	1.8	61	7.5	1.8
8	7.5	1.8	26	8.2	1.8	44	8.2	1.8	62	8.0	1.8
9	8.2	1.8	27	8.2	1.8	45	8.2	1.8	63	8.0	1.8
10	8.0	1.8	28	8.2	1.8	46	8.2	1.8	64	8.2	1.8
11	8.0	1.8	29	8.0	1.8	47	8.0	1.8	65	8.2	1.8
12	8.2	1.8	30	8.2	1.8	48	8.0	1.8	66	8.2	1.8
13	8.2	1.8	31	7.5	1.8	49	8.2	1.8	67	7.5	1.8
14	8.2	1.8	32	7.5	1.8	50	7.5	1.8	68	8.2	1.8
15	7.5	1.8	33	8.0	1.8	51	7.5	1.8	69	8.0	1.8
16	8.0	1.8	34	8.2	1.8	52	8.0	1.8	70	8.2	1.8
17	8.2	1.8	35	8.2	1.8	53	8.2	1.8	71	8.0	1.8
18	8.2	1.8	36	8.0	1.8	54	8.0	1.8	72	7.5	1.8



Figura 6: Medición de THD%I en delta

Fuente: Ramos, Martínez (2022)



Figura 7: Medición de THD% V en delta

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Luego se procede a desbalancear la carga, conectando las maquinas en paralelo, es decir, solo a dos fases y tomando nuevamente las mediciones bajo la misma modalidad de registrar los datos cada 15 min durante 3 días, los promedios por hora obtenidos son los siguientes:

Tabla 6: Histograma de comportamiento conexión en paralelo

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V	Hora	THD%I	THD%V
1	13.4	1.8	19	13.7	1.8	37	13.7	1.8	55	18.8	1.8
2	13.7	1.8	20	13.7	1.8	38	13.7	1.8	56	18.8	1.8
3	18.8	1.8	21	18.8	1.8	39	13.7	1.8	57	13.7	1.8

4	13.7	1.8	22	13.7	1.8	40	18.8	1.8	58	13.7	1.8
5	13.7	1.8	23	18.8	1.8	41	18.8	1.8	59	18.8	1.8
6	13.7	1.8	24	13.7	1.8	42	18.8	1.8	60	18.8	1.8
7	18.8	1.8	25	18.8	1.8	43	13.7	1.8	61	13.7	1.8
8	13.7	1.8	26	13.7	1.8	44	18.8	1.8	62	18.8	1.8
9	18.8	1.8	27	18.8	1.8	45	18.8	1.8	63	18.8	1.8
10	18.8	1.8	28	13.7	1.8	46	13.7	1.8	64	18.8	1.8
11	13.7	1.8	29	13.7	1.8	47	13.7	1.8	65	13.7	1.8
12	13.7	1.8	30	13.7	1.8	48	18.8	1.8	66	18.8	1.8
13	18.8	1.8	31	13.7	1.8	49	13.7	1.8	67	18.8	1.8
14	13.7	1.8	32	18.8	1.8	50	18.8	1.8	68	13.7	1.8
15	18.8	1.8	33	18.8	1.8	51	18.8	1.8	69	18.8	1.8
16	13.7	1.8	34	18.8	1.8	52	13.7	1.8	70	18.8	1.8
17	8.2	1.8	35	8.2	1.8	53	8.2	1.8	71	7.0	1.8
18	8.2	1.8	36	7.0	1.8	54	7.0	1.8	72	7.5	1.8



Figura 8: Medición de THD%I en paralelo

Fuente: Ramos, Martínez (2022)



Figura 9: Medición de THD% V en paralelo

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

4.2. Fase II: “Analizar el estado de las redes de distribución eléctrica con respecto al comportamiento de las cargas armónicas”.

4.2.1. Revisión documental de la norma IEEE 519

Para poder establecer la comparación y análisis respecto a los datos obtenidos en el histórico de comportamiento y los límites establecidos por la IEEE, se debe estar al tanto de que norma regula estos aspectos y su desarrollo más a fondo. Las normas estadounidenses con respecto a los armónicos han sido agrupadas por la IEEE en la norma 519: IEEE Recomendaciones Prácticas y Requerimientos para el Control de armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia. Existe un efecto combinado de todas las cargas no lineales sobre el sistema de distribución la cual tienen una capacidad limitada para absorber corrientes armónicas. Adicionalmente, las compañías de distribución tienen la responsabilidad de proveer alta calidad de abastecimiento en lo que respecta al nivel del voltaje y su forma de onda. IEEE 519 hace referencia no solo al nivel absoluto

de armónicos producido por una fuente individual sino también a su magnitud con respecto a la red de abastecimiento.

Se debe tomar en cuenta que la IEEE 519 está limitada por tratarse de una colección de recomendaciones prácticas que sirven como guía tanto a consumidores como a distribuidores de energía eléctrica. Donde existan problemas, a causa de la inyección excesiva de corriente armónica o distorsión del voltaje, es obligatorio para el suministrador y el consumidor, resolver estos problemas. El propósito de la IEEE 519 es el de recomendar límites en la distorsión armónica según dos criterios distintos, específicamente:

1. Existe una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica.
2. Se establece una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor.

Los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución. Los clientes más grandes se restringen más que los clientes pequeños. El tamaño relativo de la carga con el respecto a la fuente se define como la relación de cortocircuito (SCR), al punto de acoplamiento común (PCC), que es donde carga del consumidor conecta con otras cargas en el sistema de potencia. El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de frecuencia fundamental en la carga, I_L , que incluye todas las cargas lineales y no lineales. El tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de cortocircuito, I_{SC} , al PCC. Estas dos corrientes definen el SCR:

$$SCR = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (1)$$

Una relación alta significa que la carga es relativamente pequeña y que los límites aplicables no serán tan estrictos como los que corresponden cuando la relación es más baja.

Acorde a esta definición, se establecieron las tablas con los límites acorde a los valores de voltaje con los cuales se esté trabajando, en este caso se trabajará con la

tabla de los límites de Corriente Armónica para Carga no lineal en el Punto Común de acoplamiento con Otras Cargas, para voltajes entre 120 – 69,000 volts.

Tabla 7: Límites de corriente Armónica para voltaje de 120 – 69,000 volts

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

$\frac{I_{SC}}{I_L}$	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

TDD = Distorsión total de la demanda en % de la demanda máxima

h = Armónico

Por otro lado, se tiene a los límites de distorsión del voltaje. Estos rigen la cantidad de distorsión aceptable en el voltaje que entrega la compañía de electricidad en el PCC de un consumidor. Los límites armónicos de voltaje recomendados se basan en niveles lo suficientemente pequeños como para garantizar que el equipo de los suscriptores opere satisfactoriamente. Para este caso la tabla que limitará los datos es la siguiente:

Tabla 8: Límites de distorsión de voltaje

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Voltaje (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
1 kV < V ≤ 69 kV	3.0	5.0
69 kV < V ≤ 161 kV	1.5	2.5
V > 161 kV	1.0	1.5

Como es común, los límites se imponen sobre componentes individuales y sobre la distorsión total para la combinación de todos los voltajes armónicos (THD). Lo diferente en esta tabla, sin embargo, es que se muestran tres límites diferentes. Ellos representan tres clases de voltaje; hasta 69 KV, de 69 a 161 KV, y por encima de 161 KV. Observe que los límites disminuyen cuando el voltaje aumenta, al igual que para los límites de corrientes. Nuevamente los límites armónicos impares son los únicos que se muestran en la tabla. La generación de armónicos pares se restringe más debido a que la resultante DC puede ocasionar saturación en motores y transformadores. La corriente de secuencia negativa puede ocasionar calentamiento en generadores. Los armónicos pares individuales se limitan a un 25% de los límites armónicos impares, al igual que sucede con las corrientes.

4.2.2 Tabulación y graficación del histórico de comportamiento

Toda la información que fue obtenida gracias a las mediciones realizadas en la fase I y puesta en un histórico de comportamiento es tabulada y sintetizada a los 3 días que se realizó cada toma de medidas, tomando el promedio de valores de cada día. Inicialmente se tienen los datos de la conexión en delta, donde se tiene una carga equilibrada, esta es la conexión recomendada cuando se habla de estas máquinas, luego de ello se muestran gráficamente:

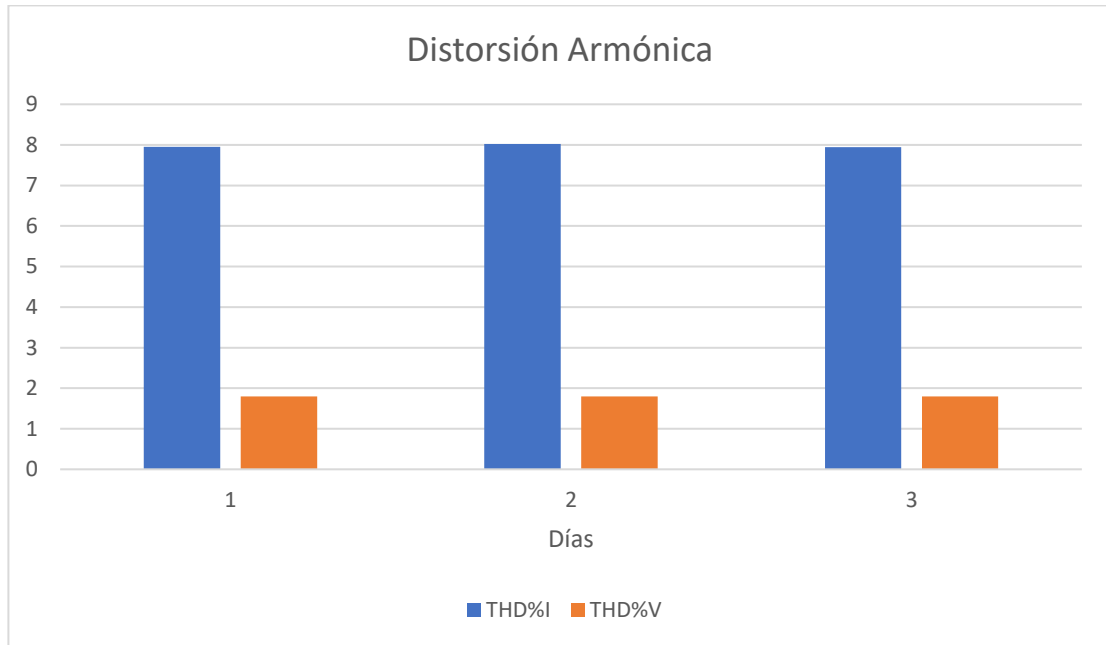
Tabla 9: Datos sintetizados del histórico de comportamiento (conexión delta)

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Día	THD%I	THD%V
1	7.95	1.8
2	8.02	1.8
3	7.94	1.8

Gráfico 1: Comportamiento del THD en los 3 días de medición (conexión delta)

Fuente: Ramos, Martínez (2022)



Posterior a esta conexión, se desbalanceo la carga es decir se conectaron las maquinas en paralelo, que por lo general es la forma en la que se conectan las maquinas al tendido eléctrico, donde de igual forma con los datos en el histórico de comportamiento, se hizo un promedio por cada día para luego verlo de forma gráfica y tener un mejor criterio de análisis.

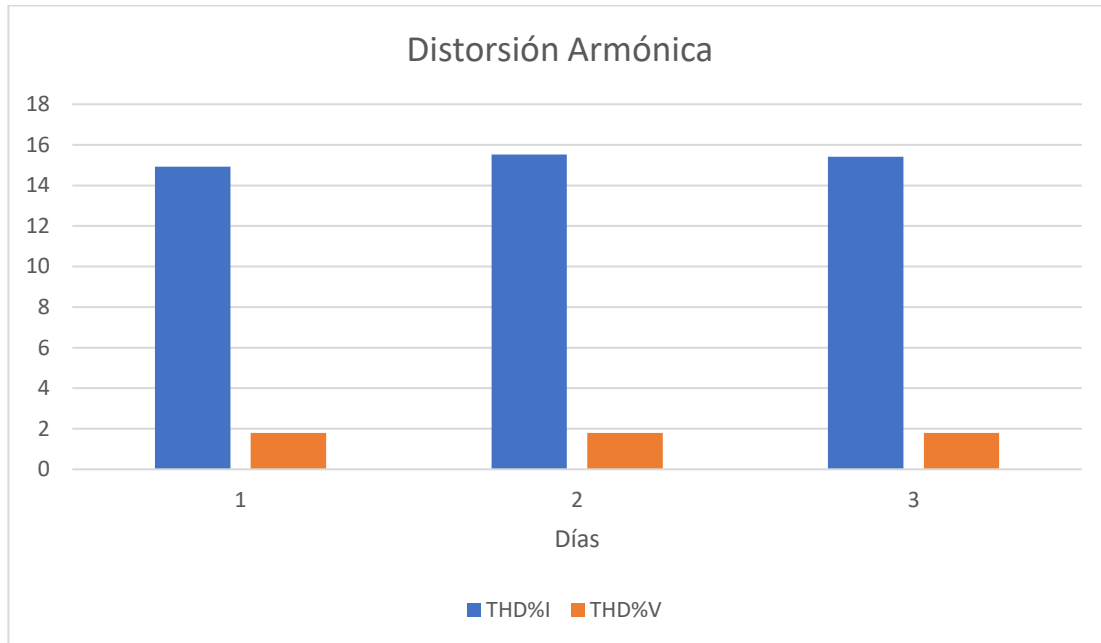
Tabla 10: Datos sintetizados del histórico de comportamiento (conexión paralela)

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Día	THD%I	THD%V
1	14.93	1.8
2	15.53	1.8
3	15.42	1.8

Gráfico 2: Comportamiento del THD en los 3 días de medición (conexión paralela)

Fuente: Ramos, Martínez (2022)



4.2.3. Análisis sobre la calidad de la energía eléctrica suministrada a los equipos electrónicos en relación con los límites establecidos por la IEEE 519

Con toda la información a la mano, se es posible establecer un criterio de la influencia de los armónicos en las redes de distribución, como punto inicial para ello se tiene que hacer la relación con las normas expuestas por la IEEE y para ello es necesario determinar con que límites se trabajarán, en este caso se seguirán los siguientes límites para el caso de la corriente:

Tabla 11: Límites de corriente a utilizar en el caso de estudio

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

$\frac{I_{sc}}{I_L}$	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<h	TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Ya que:

$$\frac{I_{sc}}{I_L} = 12.5 \quad (2)$$

Y para el caso del voltaje

Tabla 12: Límites de voltaje a utilizar en el caso de estudio

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Voltaje de barra en el punto de acoplamiento común	Distorsión individual de Voltaje (%)	Distorsión total del voltaje THD (%)
V > 161 kV	1.0	1.5

El análisis principal recae en los datos con la carga desbalanceada, es decir cuando la maquinaria es conectada en paralelo, ya que la mayoría de las conexiones domésticas se encuentran de esta forma y es aquí donde se ve una diferencia notable entre los armónicos obtenidos y los límites a cumplir. Al visualizar los datos del THD%I de la tabla 6, se observa notablemente que dichos valores superan a grandes rasgos los límites expuestos por esta norma (tabla 11), sumado a ello, utilizando de base estudios similares como “A Power Quality and Load Analysis of a Cryptocurrency Mine por parte de Keaton A. Wheeler, Anthony W. Bowers, Charlie H. Wong, Jonathan Y. Palmer and Xue Wang” donde se tienen los mismos equipos de estudio y equipos de medición adicionales, se observó que los armónicos que sobrepasan estos valores son el tercero, el quinto y el séptimo notando que a medida que aumenta el armónico toma valores dentro de los límites expuestos, de igual forma los valores del THD%V en este caso superan ligeramente los límites previstos.

A la par con los datos previamente mencionados, se tienen los obtenidos a través de una carga equilibrada, los cuales también sirven para establecer un análisis, sin embargo, como los valores son menores y están relativamente cerca del límite impuesto, entonces afectarán de menor manera la calidad de energía eléctrica y permitirán un correcto funcionamiento previo a la aparición de averías por un breve, pero mayor lapso de tiempo que los datos anteriores. Donde observando la tabla 5 de THD%I y de THD%V, comparando con la tabla 11 de la norma IEEE 519, se ve la superación de dichos límites, de igual forma que en el caso anterior de una carga desbalanceada los

armónicos que sobrepasan estos valores son el tercero y el quinto, notando que a medida que aumenta el armónico toma valores dentro de los límites establecidos.

Los límites de distorsión dados arriba son permitidos con tal que el transformador utilizado por el usuario no se someta a armónicos que sobrepasen el 5% de la corriente nominal del transformador, sin embargo, cuando estos son superados trae consigo ciertas consecuencias que pueden ser:

- Disminución del factor de potencia de una instalación y envejecimiento e incluso destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para su corrección debido a fenómenos de resonancia y amplificación.
- Parpadeo (en inglés, “Flicker”): Evidentemente, los armónicos de tensión y los interarmónicos que suministran los circuitos de iluminación pueden causar fluctuaciones en la intensidad de la luz perceptibles por el ojo humano. Este fenómeno puede afectar fundamentalmente a las lámparas incandescentes y fluorescentes.
- Sobrecalentamiento: Los transformadores que son piezas importantes en las líneas eléctricas están siempre expuestos a distorsión. Si la distorsión llega a saturar al transformador ésta se convierte en una fuente de armónicos. Estos armónicos son peligrosos porque causan sobrecalentamiento en el neutro del sistema. Particularmente los de secuencia cero. Esto se retiene conectado los transformadores en delta-delta o delta-estrella, pues los armónicos de secuencia cero quedan “circulando en deltas”. Desafortunadamente las corrientes que quedan atrapadas en las en las deltas se suman a las corrientes del circuito, provocando valores RMS tan altos que se provocan el calentamiento en el transformador completo. Esto se nota principalmente al medir las corrientes del lado del primario, donde la secuencia cero no aparece, pero la temperatura se eleva sensiblemente. Este sobrecalentamiento, que se debe a la magnificación de efectos como las corrientes de Eddy y el

efecto piel. El sobrecalentamiento es muy perjudicial para los transformadores, pues acortan su vida útil significativamente.

- Resonancias: el principal efecto de la resonancia armónica es el daño a los capacitores de los compensadores estáticos de VAR's, que puede derivar en su destrucción cuando su dieléctrico se rompe, pero hay otro tipo de daños a los componentes de la red y están asociados con el control del sentido de la onda (señalización de la línea), es decir, bajo ciertas condiciones de distorsión se da el caso en el que por el ángulo de la señal total, la suma de la fundamental más las armónicas, el voltaje y la corriente se mueven en sentido contrario al que se necesita. Esto es, vuelven al generador en lugar de moverse al sitio de la carga.
- Efectos de los armónicos en equipo: se refiere a los efectos que causan los armónicos en distintos equipos, pues varían de uno a otro dependiendo de los componentes con que esté hecho.

Se comenzará por mencionar equipos comunes en prácticamente cualquier lugar, pues son hechos para uso en el hogar, pero su cantidad es tal, que afectan de manera importante a los sistemas de potencia. En primer lugar, está el equipo de cómputo, que puede dañar sus componentes electrónicos, dada la distorsión armónica, por lo que es altamente recomendable usar reguladores con supresores de picos, aunque, por diseño, cada marca tiene un nivel de tolerancia nunca superior al 5% de distorsión. Los televisores que usaban cinescopio tenían problemas con el brillo si la distorsión tiene picos de valor considerable y con el tamaño de la imagen, causada por el efecto de la distorsión en el enrollamiento de alambre del cinescopio. Dichos problemas fueron solucionados con el uso de tecnología digital. La iluminación fluorescente, que es una fuente de armónicos, también sufre

consecuencias con estos, pues en dichos dispositivos causan sobrecalentamientos con la posible falla subsecuente, además de que en ocasiones presentan ruido perfectamente audible.

La acumulación de estos equipos en una misma barra del bus causa que la suma de la pequeña distorsión de cada equipo llegue a ser un problema considerable. Considerando efectos en sistemas más grandes, destacan, por su importancia los efectos que los armónicos tienen en los sistemas de comunicaciones.

La interferencia con circuitos de comunicación se da a causa de la cercanía entre sistemas que trabajan en megawatts, que conviven con sistemas que están por debajo del watt de potencia, como lo son los sistemas de comunicaciones. Dicha cercanía permite que campos del sistema de potencia, al ser grandes, influyan sobre el sistema de comunicación, especialmente si su blindaje es pobre o defectuoso.

Una vez asimilado todo esto, se puede decir que la superación de los límites presentados por la norma IEEE 519 en consecuencia a la conexión de máquinas de minería digital trae consigo ciertos factores que alteran claramente la calidad de la energía eléctrica suministrada, de forma agrupada pueden simplificarse en:

- Sobreesfuerzos del aislamiento debido a efectos del voltaje, que pueden causar un daño acumulativo, en el tiempo, al aislamiento del equipo de potencia.
- Sobreesfuerzos térmicos debido a la corriente eléctrica, que pueden causar el deterioro del aislamiento en cables, máquinas rotativas y transformadores.
- Interferencia inductiva sobre circuitos y comunicaciones

- Disrupción, la cual se define como la mala operación o fallas causadas por voltajes o corrientes armónicas, como pérdida de torque en equipos electromecánicos, la mala operación o falla de dispositivos de estado sólido, disparo de fusibles e interruptores, etc.

Por ello se debe estar al tanto a la red de distribución a la cual se conectará, que otros dispositivos se encuentran alimentados por la misma para que no sufran en su operatividad o no se necesite una frecuente sustitución de equipos dañados y notificar a todos los que puedan verse afectados la clase de maquinaria que será conectada.

Para evitar esto, se puede considerar:

- Reubicación: Muchas veces reubicar bancos de condensadores en otros sitios, modificar distancias de cables, alimentar rectificadores desde otros transformadores etc., pueden ser una eficiente solución para problemas de amplificación armónica. La adopción de estas medidas debe estar adecuadamente apoyada en simulaciones.
- Cancelación de pasos de compensación reactiva: Para la compensación de; factor de potencia, es usual utilizar controles que ponen en servicio unidades de acuerdo con los requerimientos. En alguno de los pasos de compensación se pueden producir resonancias importantes, las cuales si son adecuadamente identificadas en el estudio pueden resolverse cambiando el tamaño de los condensadores (si se descubre en el proceso de planeación) sencillamente evitando el paso correspondiente en el control.
- Aplicación de filtros: La utilización de filtros R-L-C previstos para absorber las corrientes armónicas producidas por un equipo, resulta ser la solución técnica más completa, pero a la vez la más costosa.

El dimensionamiento de filtros puede ser tal que los condensadores del filtro sirvan también como parte de la compensación del factor de potencia. No existen realmente reglas determinísticas únicas para el diseño

de filtros y es en gran parte la experiencia y el ensayo y error los métodos que ofrecen un mejor resultado.

Los filtros se pueden colocar para resolver problemas de distorsión armónica de tensión o para resolver problemas de grandes corrientes armónicas inyectadas al sistema.

Las corrientes armónicas se pueden dominar de las siguientes formas:

- Usando una alta impedancia en serie para bloquear su paso.
- Derivarlas por medio de un camino de baja impedancia.

Los filtros en serie llevan toda la corriente de carga y se deben aislar a la tensión de línea, mientras que los filtros paralelos llevan únicamente una fracción de la corriente de carga.

Dado que los filtros serie son más costosos y que los paralelos pueden ser usados para compensar el factor de potencia a la frecuencia fundamental, los filtros más tomados en cuenta son los paralelos, sin embargo, esta decisión siempre debe ir acorde al funcionamiento del circuito.

- Aplicación del factor “K”: El factor K se define como un factor opcional que puede ser utilizado en transformadores y que indica la capacidad que tiene un transformador para manejar corrientes no sinusoidales o cargas no lineales. El factor K se puede determinar según la ecuación:

$$\text{factor } K = \sum_{h=1}^{\infty} I_h(pu)^2 h^2 \quad (3)$$

En donde $I_h(pu)$ es la corriente R.M.S. para la armónica de orden h (en por unidad) y h corresponde al orden de la componente armónica.

Los principales efectos de las corrientes no sinusoidales y sus consiguientes componentes armónicas en los transformadores de distribución son los siguientes: pérdidas por corrientes armónicas por el efecto I^2R ; pérdidas por corrientes de Eddy, las cuales aumentan proporcionalmente

con el cuadrado de las corriente de carga y al cuadrado de la frecuencia, y pérdidas parásitas por efecto de corrientes armónicas en el núcleo, abrazaderas y elementos estructurales de los transformadores que aumentan proporcionalmente con el cuadrado de la corriente de carga.

La tabla 13 muestra el factor K adecuado para transformadores de distribución según el tipo de carga que alimentan.

Tabla 13: Especificación del factor K acorde al tipo de carga

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Tipo de carga	Factor K
Lámparas incandescentes (sin dimmers de estado sólido), calefactores eléctricos resistivos (sin controles de calor de estado sólido), motores (sin controladores de estado sólido), transformadores de control, dispositivos electromagnéticos de control, motor generador (sin controladores de estado sólido).	K-1
Lámparas de descarga, UPS con filtros de entrada opcional, equipos de calefacción inductivos, PLC y controladores de estado solido	K-4
Equipos de telecomunicaciones, UPS sin filtros de entrada	K-13
Servidores de computadores, controladores de estado sólido (variadores de frecuencia), conectores multiconductor para instalaciones de salud, escuelas, etc., conectores multiconductor para alimentadores en equipos de inspección o prueba o para líneas de producción	K-20
Conectores multiconductor para circuitos industriales, médicos y laboratorios educacionales, conectores multiconductor para circuitos comerciales en oficinas, pequeños servidores.	K-30
Otras cargas identificadas como productores de grandes cantidades de armónicos.	K-40

La clasificación anteriormente mostrada según ANSI/IEEE C57.110-1986, se explica de la siguiente forma:

1- Factor K-1:

Esta es la evaluación de todo el transformador convencional que fue diseñado para soportar solamente los efectos de calentamiento de las pérdidas normales y de las pérdidas adicionales por corrientes parásitas (eddy losses) resultantes de 60Hz, con el transformador cargado con corriente sinusoidal. Tal unidad puede o no estar diseñada para soportar el calentamiento adicional de los armónicos en su corriente de carga.

2- Factor K-4:

Un transformador con esta evaluación se diseñó para suministrar KVA nominal, sin sobrecalentamiento, a una carga constituida de 100% de frecuencia normal 60Hz, corriente sinusoidal en la fundamental, más:

- 16% de la fundamental como la 3^a corriente armónica;
- 10% de la fundamental como 5^a;
- 7% de la fundamental como 7^a;
- 5,5% de la fundamental como el 9^a;
- Porcentajes menores a través de la 25^a armónica.

El «4» indica su habilidad de soportar cuatro veces las pérdidas de corriente de “eddy” de un transformador K-1.

3- Factor K-9:

Un transformador K-9 puede soportar 163% de la carga armónica de un transformador clasificado como K-4.

4- Factor K-13:

Un transformador K-13 puede acomodar 200% de la carga armónica de un transformador clasificado como K-4.

5- Factor K-20, K-30, K-40:

El número más elevado de cada una de estas clasificaciones del factor K indica la habilidad de trabajar con cantidades sucesivamente mayores de índices armónicos de la carga sin sobrecalentarse.

Tomando en cuenta esta información, es posible contar con un transformador tipo K, diseñado para uso casi exclusivo para alimentar cargas no lineales y tienen como principal característica el uso del blindaje electrostático y que soportan hasta 200% de la corriente nominal en uso continuo, sin sobrecalentarse

Finalmente, con toda la información estudiada de los armónicos se puede establecer que, las corrientes armónicas producidas por una carga, pueden distorsionar el voltaje de un conjunto de cargas conectadas en paralelo a la misma, trasladando los efectos armónicos a otras ramas de la misma instalación eléctrica y debido a las corrientes armónicas el voltaje del sistema de distribución puede distorsionarse, trasladando los efectos armónicos a otras partes de la red que no necesariamente son componentes de la misma empresa en la cual se encuentra el generador de armónicos

Y, en caso de lograr aplicar alguna solución que sea capaz de reducir la cantidad de armónicos, se debe recordar los beneficios que esto puede traer como la posibilidad de elevar el factor de potencia, reducir las pérdidas producidas por efecto Joule, prolongar la vida de equipo electrónico, reducir el sobrecalentamiento del cableado, reducir las pérdidas en transformadores y se incrementa la eficiencia y prolongación de la vida de los transformadores.

Claramente visualizando cuál solución es más factible por vías económicas y operativas, analizando las necesidades del circuito de trabajo e incluyendo las adversidades que pueden presentarse luego de su implementación. En este caso se ve como una posible solución la aplicación de un filtro

4.3. Fase III: “Seleccionar el tipo de filtro electrónico que se adapte a las necesidades del problema”.

4.3.1. Revisión bibliográfica sobre filtros electrónicos que controlen armónicos

Primeramente, es necesario conocer los tipos de filtros existentes y útiles para el caso de estudio, agregando a los tipos previamente descritos, se tiene de forma más específica a dos tipos de filtros, los pasivos, que actúan en un ancho de banda definido y fijo desde el momento del diseño y los activos, cuyo ancho de banda varía como

resultado del monitoreo en tiempo real de la red. A su vez los filtros pasivos se dividen en sintonizados y pasa banda. Se diferencian en que los sintonizados tienen una baja impedancia que “guía” los armónicos y los pasa-banda eliminan los armónicos de frecuencias determinadas.

- Filtros Pasivos: Los filtros pasivos se forman con elementos reactivos (bobinas y condensadores) que están conectados en paralelo con la carga. La idea es que los elementos instalados estén en resonancia a la frecuencia del armónico que queremos eliminar, así la componente indeseada encontrará una rama de mínima impedancia y se irá a tierra. Para la frecuencia fundamental el filtro debe tener una impedancia de gran valor, con el fin de no incrementar demasiado la corriente adicional provocada por este nuevo elemento.

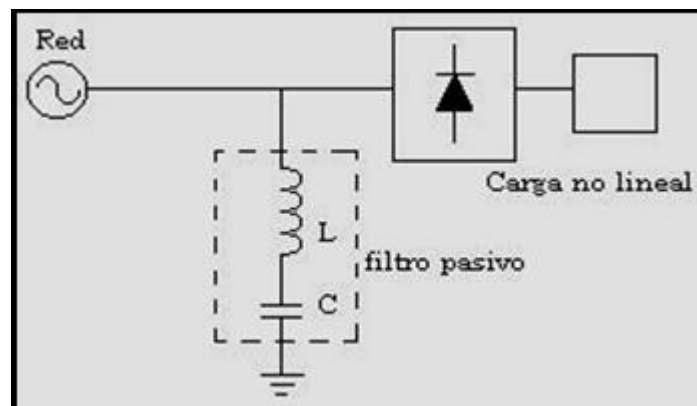


Figura 10: Filtro pasivo

Fuente: <http://patricioconcha.ubb.cl/410021/WEB%20Final/7.4.htm#:~:text=Básicamente%20existen%20dos%20tipos%20de%20filtros%3B%20pasivos%20y%20activos.>

Este tipo de filtro tiene cualidades como son: simplicidad, fiabilidad y robustez, también posee múltiples desventajas, como son el gran tamaño de bobinas y condensadores necesarios, pobre respuesta dinámica ante cambios de carga, influencia de la impedancia de red en el filtrado, además es posible sintonizar el filtro para la eliminación de un sólo armónico

- Filtros activos: Están compuestos por elementos pasivos y transistores controlados, son capaces de eliminar prácticamente todos los armónicos de baja frecuencia y no tienen los inconvenientes de los filtros pasivos.

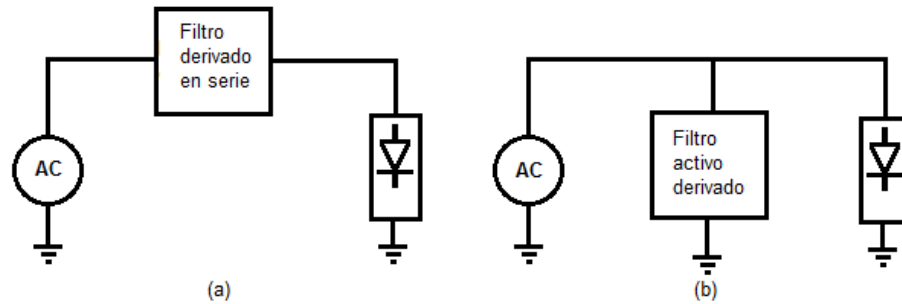


Figura 11: Filtro activo

Fuente: Power and Electrics Armonics

Los filtros activos pueden ser conectados en serie o en paralelo. Los filtros serie actúan como fuente de voltaje, proporcionan una alta impedancia para los armónicos e impedancia reducida para la frecuencia de la red. Los filtros activos en paralelo, actúan como fuente de corriente en paralelo con la carga, inyectando o absorbiendo corriente según sea necesario. Existe la posibilidad de combinar filtro activo y pasivo, formando un filtro híbrido.

Los filtros pasivos tienen la desventaja de que sólo se enfocan en una frecuencia, o una banda-base que suele ser poco amplia y que además difícilmente puede hacer algo contra los interarmónicos. Esto, aunado a los costos, que resultan elevados en relación a las ventajas que representan, ha orillado al desarrollo de otro tipo de dispositivos.

Los nuevos desarrollos se valen de los últimos avances en el campo de la electrónica, empleando los más modernos sensores y actuadores, para eliminar las desventajas de los desarrollos antiguos. Los filtros activos normalmente operan en conjunto con filtros pasivos, que se encargan de los armónicos que genera la fuente, mientras los

activos evitan su propagación. De éste modo los filtros activos están aislados de la impedancia del sistema con lo que se evitan sobrecargas.

4.3.2. Selección del tipo de filtro a utilizar

Para la elección del filtro como posible solución a la problemática estudiada, se vio más apropiado el filtro activo, acorde a las necesidades y especificaciones del circuito, de forma más específica se escogió la gama de “AccuSine PCS+ Filtro activo de armónicos (AHF)”, esto es así ya que analizando las utilidades que proporcionan estos filtros, se vio apropiado investigar más a fondo dicha marca.

Este filtro tiene la función de inyectar corriente armónica para cancelar la corriente armónica en el sistema de distribución eléctrica. Este nivel armónico reducido da como resultado una mayor confiabilidad de la red eléctrica y un costo operativo reducido. Adicional a esto el AccuSine PCS+ es fácil de dimensionar, instalar, configurar y operar. Además, AccuSine PCS+ elimina los complejos cálculos del límite de cumplimiento de armónicos y elimina los armónicos molestos de la red eléctrica.

Fue seleccionada esta gama de filtros ya que se caracterizan por:

- Inyección de corriente dinámica en tiempo real para cancelación de armónicos y compensación de VAR (factor de potencia de adelanto o atraso)
- Capacidad de equilibrio de carga
- La conexión en paralelo permite una fácil actualización e instalación de múltiples unidades para redes grandes
- Respuesta a fluctuaciones de carga dentro de 2 ciclos para armónicos, 1/4 de ciclo para factor de potencia o equilibrio de carga
- Pantalla táctil a todo color HMI (interfaz hombre-máquina)
- Cajas UL tipo 1, UL tipo 2, UL tipo 12, IP31 e IP54
- Clasificación sísmica según ICC IBC y ASCE 7
- Certificación UL, CE, ABS y CSA

- AccuSine PCS+ se integra con el software de gestión y control de energía Edge Control de EcoStruxure™ Power y los servicios de análisis que escalan según sus demandas y se adaptan a sus necesidades.

Por otro lado este filtro también brinda otros beneficios como es disminuir el sobrecalentamiento relacionado con armónicos de cables, subestaciones de control y transformadores, reducir el tiempo de inactividad causado por disparos térmicos molestos de los dispositivos de protección, aumentar la confiabilidad de la red eléctrica y reducir los costos operativos, corregir al armónico 51, reducir el nivel de armónicos para cumplir con los estándares IEEE 519, IEC 61000 3-4 y UK G5/4-1 y compensar a toda la red o a cargas específicas dependiendo del punto de instalación.

4.3.3. Selección del tipo de filtro de la gama AccuSine PCS+

Para la selección del filtro se tomó en cuenta las diversas opciones presentes el mercado comparando calidad de las marcas contra el precio al cual se ofrecen los equipos se optó por elegir la marca Schneider Electric en su serie de filtros de armónicos Accusine, es importante resaltar que de esta serie existen diversas configuraciones para distintos escenarios y depende específicamente de que carga se manejará en el lugar de implementación, ya que este estudio presenta una solución general al problema de armónicos y que las granjas no sigue un patrón de número de equipos, se seleccionó aquella opción válida para la granja visitada a obtener datos, con un banco de transformadores de 225 kVA con una tensión L-L de 380V:

$$\frac{\text{Total Capacidad Instalada} * \text{Total permitido utilizar}\%}{\text{Consumo Individual}} = \frac{225 * 0.8}{1.5} \quad (4)$$

$$= 120 \text{ mineros}$$

Con la configuración presente se obtiene una potencia total de:

$$120 * 1.5 = 180 \text{ kVA utilizados}$$

Para lo cual se maneja un consumo por línea de:

$$\frac{S}{\sqrt{3} * VL} = \frac{180000}{\sqrt{3} * 380} = 273 \text{ A} \quad (5)$$

Adicional a esto se tomó en cuenta la tabla 14 que brinda las especificaciones de cada uno de los tipos que puede ofrecer la marca AccuSine PCS+,

Tabla 14: Especificaciones del filtro AccuSine PCS+

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Corriente nominal	Valor nominal de KVAR a voltaje	Numero de catalogo	Recinto			Marco	Peso libras (kg)
			Clasificación	Estilo	Entrada de cable		
60	39.5 @ 380 41.6 @ 400 43.1 @ 415 49.9 @ 480	PCSP060D5IP00	IP00 (chasis)	Montaje en pared	Abajo	1	194 (88)
		PCSP060D5N2	UL Tipo 2	De pie en el suelo	Parte superior o inferior	2	611 (277)
		PCSP060D5IP31	IP31				642 (291)
		PCSP060D5N12	UL Tipo 12				
		PCSP060D5IP54	IP54				
120	79.0 @ 380 83.1 @ 400 86.3 @ 415 99.8 @ 480	PCSP120D5IP00	IP00 (chasis)	Montaje en pared	Abajo	3	249 (113)
		PCSP120D5N2	UL Tipo 2	De pie en el suelo	Parte superior o inferior	4	615 (279)
		PCSP120D5IP31	IP31				646 (293)
		PCSP120D5N12	UL Tipo 12				
		PCSP120D5IP54	IP54				
200	131.6 @ 380 138.6 @ 400 143.8 @ 415 166.3 @ 480	PCSP200D5IP00	IP00 (chasis)	Montaje en pared	Abajo	5	377 (171)
		PCSP200D5N1	UL Tipo N1	De pie en el suelo	Parte superior o inferior	11	800 (363)
		PCSP200D5N2	UL Tipo 2			6	846 (384)
		PCSP200D5IP31	IP31				887 (402)
		PCSP200D5N12	UL Tipo 12				
		PCSP200D5IP54	IP54				
300	197.5 @ 380 207.8 @ 400 215.6 @ 415 249.4 @ 480	PCSP300D5IP00	IP00 (chasis)	Montaje en pared	Abajo	7	463 (210)
		PCSP300D5N1	UL Tipo N1	De pie en el suelo	Parte superior o inferior	11	887 (402)
		PCSP300D5N2	UL Tipo 2			8	930 (422)
		PCSP300D5IP31	IP31				961 (436)
		PCSP300D5N12	UL Tipo 12				
		PCSP300D5IP54	IP54				

Teniendo todos los criterios a la mano, el filtro más apropiado que se consideró para la presente granja es el AccuSine PCS+PCSP300D5IP00. Cuyas especificaciones son las siguientes:

Principal	
Gama de productos	AccuSine 4LS
nombre del producto	AccuSine PCn
Tipo de producto o componente	enlace activo
Opcionales	
Tipo de red	3P
Configuración de la red	3 o 4 cables
tensión de rojo	380...480 V CA
frecuencia de empleo	50/60 Hz +/- 3 Hz detección automática
Tensión máxima admisible	1,1 x Un
Corrección neutra	no provisto
clasificación de corriente de salida RMS	300A
potencia reactiva	249 kvar 480 V CA 50/60 Hz
Modos de funcionamiento	Calefacción una mano tracción
Ubicación de la instalación	Interior
Montaje de armario	montaje en pared
type of protect	Sin proteccion
Disipación de calor	Panel trasero con ventilación forzada para un alto flujo de calor
compatibilidad electromagnético	EMC conducida Clase A EN 61000-6-4
Accesibilidad para funcionamiento	parte delantera
Localizacion de conexion	Inferior
Ambiente	
Grado de protección de la envolvente	IP00
Características ambientales	En funcionamiento 3C2 IEC 60721-3-3 En funcionamiento 3S2 IEC 60721-3-3 Almacenamiento 3C3 IEC 60721-3-3 Almacenamiento 3S3 IEC 60721-3-3

Figura 12: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Fuente: Datasheet AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Altitud máxima de funcionamiento	<= 1000 m 1 % por cada 100 m
Temperatura ambiente de funcionamiento	0.. 40 °C 0.. 50 °C máximo con desclasificación de corriente del 2% por cada °C
Humedad relativa	0.. 95 %
protección PCBA	Revestimiento conformado
normas	EN 60439-1 EN 61000-6-4 CSA C22.2 n.º 60947-1-07 UL 508 CSA C22.2 No. 14 UL 60947-1
Certificaciones de producto	CE DNV-GL MCR cULus <small>atex</small>
Temperatura ambiente de almacenamiento	- 20.. 60 °C
peso del producto	220 kg
Altura	1560mm
Anchura	582mm
Color	Gris claro RAL 7035
Profundidad	438mm
Unidades embalaje	
Tipo de Unidad de Paquete 1	PCE
Numero de Unidades en el Paquete 1	1
Paquete 1 Peso	286,0 kg
Paquete 1 Altura	71,2cm
Paquete 1 ancho	73,5cm

Figura 13: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Fuente: Datasheet AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Paquete 1 Largo	174,2cm
Tipo de Unidad de Paquete 2	P2M
Numero de Unidades en el Paquete 2	1
Paquete 2 Pesos	306,0 kg
Paquete 2 Altura	85cm
Paquete 2 Ancho	120cm
Paquete 2 Largo	200cm

Oferta sostenibilidad

Estado de oferta sostenible	Producto Verde Premium
Reglamento REACH	Declaración de REACH
Conforme con REACH sin SVHC	Si
Directiva RoHS UE	Conforme Declaración RoHS UE
Sin metales pesados toxicos	Si
sin mercurio	Si
Información sobre excepciones de RoHS	Si
Normativa de RoHS China	Declaración RoHS China

Figura 14: Especificaciones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Fuente: Datasheet AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Acorde con lo explicado anteriormente, este filtro puede cumplir con las necesidades del circuito, ahora bien, se debe conocer cómo hacer la instalación correcta, para ello se deben seguir ciertos pasos y de igual forma se debe visualizar el plano del filtro:

1. Asegúrese de que el voltaje de la línea sea compatible con la clasificación de voltaje del filtro activo.
2. Asegúrese de que la base esté preparada para el filtro activo.
3. Asegurar que se cumplan los requisitos ambientales.
4. Consulte los dibujos dimensionales para instalar el filtro activo.

5. Monte la unidad en la ubicación deseada.
6. Realice las conexiones eléctricas.
7. Realice la conexión del TC a la placa del TC.
8. Configure la comunicación paralela si corresponde.
9. Al instalar en sistemas aislados Terra (IT), Tierra de alta resistencia (HRG) o con conexión a tierra en esquina, asegúrese de que los interruptores IT/BP estén abiertos.
10. Realice las conexiones del cableado de control, pero aún no active el filtro activo.

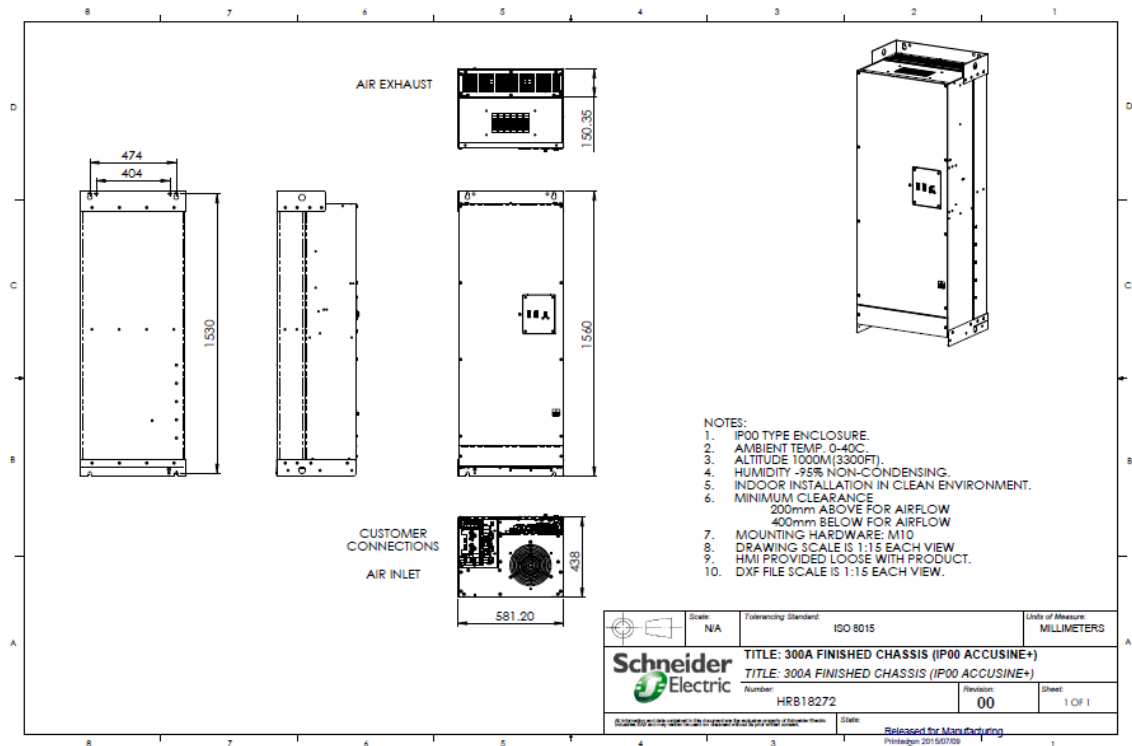


Figura 15: Plano de dimensiones del filtro AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Fuente: Datasheet AccSine PCS+PCSP300D5IP00

Además de los pasos anteriormente descritos es necesario tener en cuenta que, para un rendimiento óptimo en el modo de mitigación de armónicos, se deben seguir las siguientes recomendaciones:

- Todas las cargas generadoras de armónicos deben tener un reactor de línea mínimo del 3% o un estrangulador de CC del 3% instalado.
- Los rectificadores basados en SCR deben tener un reactor de línea mínimo del 3 %.
- Sin capacitores aguas abajo de los TC principales.

Si no se siguen estas recomendaciones, es posible que no se alcance el nivel armónico objetivo y que se produzcan daños en el equipo.

Y finalmente se ha de considerar el ambiente en el que se ubicará el filtro, es decir los filtros activos están diseñados solo para uso en interiores. Requieren un intercambio sin restricciones de aire ambiental hacia el interior del gabinete para un enfriamiento adecuado. Asegúrese de que el entorno cumpla con el Grado de Contaminación 2, es decir, que no contenga partículas conductoras, cantidades significativas de polvo o gases corrosivos o dañinos. Normalmente sólo se produce contaminación no conductora. Es de esperar conductividad temporal causada por la condensación.

El filtro activo genera un calor significativo durante el funcionamiento. Asegúrese de que la habitación donde está montado el filtro activo tenga la ventilación adecuada. Mantenga la temperatura ambiente entre 0 °C (32 °F) y 40 °C (104 °F) con una humedad relativa máxima del 95 %, sin condensación y un punto de rocío máximo de 37 °C.

Las temperaturas de funcionamiento son niveles máximos y mínimos para los que está diseñada la unidad. Operar por encima o por debajo de estos niveles resultará en que la unidad se apague o se reduzca el rendimiento. El límite superior o inferior no debe utilizarse como niveles ideales de temperatura ambiente. La confiabilidad del sistema y la expectativa de vida útil del producto mejorarán si los niveles de temperatura se mantienen entre 20 °C (68 °F) y 30 °C (86 °F).

Una vez se cumplen con todos estos pasos y recomendaciones, se procede con la conexión eléctrica, sin embargo, en este caso de estudio la solución presentada es en

general a la problemática analizada y adicional a ello, es necesario se apruebe la implementación del mismo, es por ello que no se detalla esa información en este apartado

4.4 Fase IV: “Realizar un estudio de costos, factibilidad técnica, operativa, ambiental y social para la implementación de las posibles soluciones”.

4.4.1 Estudio de costos

La viabilidad en la incorporación del filtro de armónicos en las redes de distribución eléctrica desde el punto de vista económico radica en la utilidad generada por el mantenimiento de la vida de los equipos que realizan la actividad de minería y aquellos que suministran energía a los mismos. Por lo tanto, se trata de la continuidad de las operaciones de las empresas de minería y de los equipos de distribuyen energía eléctrica en el país.

Para justificar lo antes expuesto se presenta la tabla de generación de ingresos de los equipos y las variaciones que puede introducir un mal funcionamiento en los mismos

Tabla 15: Generación de ingresos de los equipos de minería

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Bitmain Antminer S9		
Cantidad	Producción BTC/Mes	Producción \$prom/Mes
1	0.00180732	90
10	0.01807321	903.66
100	0.18073206	9036.6

Las maquinas tienen 4 casos de fallas típicos, 1 tarjeta apagada 2 o 3 tarjetas apagadas o falla de alimentación, cada tarjeta representa exactamente 1/3 de la producción de las mismas, por lo cual está implícito las pérdidas que genera cada falla presente en los equipos ya que la única forma de realizar la actividad es a través de las mismas. Desde el punto de vista del consumidor reparar cada tarjeta conlleva a un gasto mínimo de 80\$/tarjeta, reparaciones menores se cotizan en 50\$ incluyendo la fuente de alimentación y por último, adquirir un equipo nuevo en estado medio ronda los 800\$. Desde

el punto de vista de las líneas de alimentación se presenta a continuación un presupuesto para instalación de transformadores para un banco pequeño de 225 kVA, en tal caso de que la falla haya afectado únicamente el banco de transformadores y no trascienda.

Figura 16: Presupuesto para instalación de transformadores

Cantidad	Material	Precio Unitario	Precio total
2	Estructuras de 40 pies; sección 6, 5 y 4	\$1,100.00	\$2,200.00
2	1/4 de pintura aluminizada	\$10.00	\$20.00
1	Medio galón de pintura negra	\$10.00	\$10.00
2	Barras coperwell	\$25.00	\$50.00
8	Abrazaderas 4 tornillos de 4 a 4 y 1/2	\$7.00	\$56.00
0	Abrazaderas 3 tornillos de 5 a 5 y 1/2	\$7.00	\$0.00
8	Asientos de cruceta	\$4.00	\$32.00
16	Pletinas de 32 pulgadas	\$4.00	\$64.00
8	Crucetas de 2,40 mt	\$55.00	\$440.00
8	Pernos roscados	\$6.00	\$48.00
16	Tornillos de máquina	\$0.50	\$8.00
6	Aisladores de espiga. con palillo	\$20.00	\$120.00
12	Aisladores de suspensión de 7,5kv	\$8.00	\$96.00
6	Mordazas	\$6.00	\$36.00
15	kg de arvidal 1/0	\$8.00	\$120.00
6	Permagrip	\$9.00	\$54.00
6	Cortacorriente de 15 a 27kv	\$90.00	\$540.00
12	Conectores tipo barracuda de 1 hueco para conductor 1/0	\$5.00	\$60.00
6	Fusibles tipo k de 12Amperios	\$7.00	\$42.00
3	Pararrayos de 12 kv	\$70.00	\$210.00
12	Kg de cobre solido numero 4	\$28.00	\$336.00
6	Conectores Ks-20	\$5.00	\$30.00
2	Tubos Emt de media	\$5.00	\$10.00
3	Metros de fleje	\$2.00	\$6.00
4	Hebillas oara fleje	\$1.50	\$6.00
3	Transformadores de 75 Kva 13.8kv/120/208	\$1,600.00	\$4,800.00
2	Abrazaferas triangulares	\$35.00	\$70.00
65	Metros de conductor ttu de 500 mcm	\$35.00	\$2,275.00
24	Barracudas de 2 huecos	\$20.00	\$480.00
48	Tornillos 5/8 x 2 pulgada, con turrkas arandela plana y de presión	\$4.00	\$192.00
4	Aisladores de carrete	\$5.00	\$20.00
1	Percha cuatro puntos con abrazaderas	\$32.00	\$32.00
1	Mano de obra y servicio de grua	\$2,900.00	\$2,900.00
	TOTAL:		\$15,363.00

Instalar el filtro de armónicos propuesto en la fase anterior conlleva la siguiente tabla de gastos:

Tabla 15: Gastos para instalación de filtro armónico

Fuente: Ramos, Martínez (2022)

Descripción	Monto (\$)
Adquisición del Filtro	31.554
Importación y Movilización hasta la zona a instalar	2000
Materiales y Mano de obra	4000
Total	37.554

Para una granja de 120 mineros con una producción total de 10800\$ tomará un total de 3.5 meses en generar el monto suficiente para comprar e instalar el filtro de armónicos, demás costos operativos de la granja no son de conocimiento público y depende de cada caso específico.

4.4.2 Factibilidad Técnica

La factibilidad técnica indica si se dispone de los conocimientos y habilidades en el manejo métodos, procedimientos y funciones requeridas para el desarrollo e implantación del proyecto. Además, indica si se dispone del equipo y herramientas para llevarlo a cabo, de no ser así, si existe la posibilidad de generarlos o crearlos en el tiempo requerido por el proyecto.

En base al párrafo anterior, se expresa que la implementación de la propuesta es factible técnicamente a nivel de instalación del equipo ya que no se requieren herramientas ni conocimientos adicionales a los ya presentes dentro de las empresas de minería. No obstante, la adquisición del equipo queda en la decisión de los distintos dirigentes de las compañías de minería y en las autoridades competentes respecto al tema tratado.

4.4.3 Factibilidad Operativa

Para que un proyecto implementado funcione a largo plazo y genere utilidades, es necesario evaluar la viabilidad operativa del mismo. Lo cual hace referencia al estudio de las necesidades que la propuesta satisface valiéndose de los recursos y oportunidades presentes. En síntesis, si un proyecto es operacionalmente factible, es una solución ante un problema o deficiencia. Lo más importante en este tipo de actividad es

asegurar y extender la vida útil de los equipos ya que son indispensables para el funcionamiento de dicha actividad, tanto los equipos suministradores de energía como aquellos que realizan el trabajo.

En el caso actual, las redes de distribución eléctricas deben ser protegidas de todos los peligros que se presenten. Como se determinó con anterioridad, la actividad de minería digital además de demandar un alto consumo eléctrico, introduce señales armónicas que perjudican y acortan la vida útil de los diversos equipos conectados a una red, es por esto mencionado anteriormente que un filtro atenuador de señales armónicas es una solución factible a los problemas presentados de distorsión de las señales eléctricas. Este equipo trabaja de forma automática sobre la red, por lo cual la vigilancia que se debe tener es baja y permite resolver problemas de funcionamiento sobre el corazón de estas empresas.

4.4.4 Factibilidad Ambiental

Abarca todo lo referente al impacto que puede tener el proyecto en el ambiente. Facilitando su identificación y prevención. Par ello, se analiza el lugar teniendo en cuenta los efectos ambientales de la zona, y se determina cuáles son las posibilidades de ser implementado en dicho lugar. Ahora bien, en cuanto a la incorporación del equipo, es ambientalmente factible, pues no es abrasivo con el medio en donde se desarrolla, no genera ningún tipo de gas nocivo para salud, no emite radiación perjudicial, por lo que no presenta un peligro inminente para la flora, fauna y por supuesto, el ser humano.

4.4.5 Factibilidad Social

Con esta factibilidad se busca hacer énfasis en el impacto social del proyecto, y cuyo principal objetivo busca satisfacer las necesidades humanas materiales. En el caso de la solución desarrollada, el impacto social incide directamente en los trabajadores de la empresa, con especial atención en los técnicos encargados de monitorear los dispositivos. El proyecto en sí, busca asegurar el funcionamiento correcto de los equipos, con lo cual los tiempos de mantenimiento o apagado en busca de fallas se reduzcan a un mínimo en comparación con las operaciones previas a su implementación. Por ende,

se puede inferir que la aplicación del proyecto resulta factible socialmente, pues arroja un mayor bienestar a los técnicos de monitoreo al momento de llevar a cabo su labor.

CONCLUSIONES

Lo expuesto anteriormente permite concluir que las redes de distribución eléctrica se ven afectadas fuertemente por la conexión de las máquinas de minería, en específico por la distorsión armónica introducida a la red que afecta gravemente a la forma de onda de corriente y perjudica a los equipos que suministran la energía y aquellos conectados a la misma red, causando un malfuncionamiento conjunto y acortando la vida útil de los distintos equipos generando así problemas económicos dentro de la industria que lleva a cabo esta actividad y a la empresa suministradora de energía ya que no se están llevando a cabo los controles necesarios para disminuir este efecto adverso.

A través de la observación de resultados y estudios lo siguiente puede ser determinado en relación al IEEE std 519:

- Las cargas de minería de criptomonedas son no lineales e introducen armónicos que pueden violar los límites establecidos por el estándar. Según estudios consultados, es un efecto particularmente prevalente para el 3, 5 y 7 armónico.
- La distorsión total THD en corriente se encuentra por encima de los límites preestablecidos por el estándar cuando no se aplica ninguno de los métodos disponibles para su filtrado.
- La inclusión de un filtro de armónicos es una solución factible para mitigar dichas señales y aumentar la vida útil de los equipos.
- Un análisis de carga es necesario en las diferentes empresas de minería cuando se encuentran en funcionamiento para analizar la presencia de armónicos y así solucionarlo a tiempo.

Por otro lado, la presencia de equipos de minería en las instalaciones domésticas supone un peligro para si mismos y los demás equipos que se abastecen de la energía eléctrica, es decir, todos los equipos que requieran el uso de electricidad, además de los problemas de armónicos abarcados en este proyecto, existen otros asociados al alto

consumo eléctrico que viene asociado a las máquinas de minería debido a su demanda y trabajo durante las 24 horas del día.

RECOMENDACIONES

Una vez finalizada la investigación y analizado a detalle la afectación en la calidad de energía eléctrica debido a las componentes armónicas producidas por máquinas de minería digital, se presentan una serie de recomendaciones para casos de estudio similares, o sectores que presenten la problemática estudiada:

- Realizar la conexión de las máquinas en configuración delta a fin de tener una carga equilibrada para obtener los datos de medición de forma correcta y preservar los equipos presentes en la medición.
- Empresas que vayan a utilizar estos equipos de minería, exijan a su distribuidor de energía, un análisis de carga y factor de potencia, para garantizar a los propietarios de las instalaciones que la red cumpla con las condiciones necesarias de calidad de la energía
- En caso se seleccionar la implementación de un filtro o alguna de las otras soluciones mencionadas, tener un plan de mantenimiento preventivo para todos los componentes que correspondan, con el objetivo de garantizar una plena operatividad del equipo
- Elaborar para sistemas con un determinado número de filtros, estrategias de conexión y desconexión. Una buena práctica es la desconexión de los filtros de altos valores de armónicos antes que los de órdenes de bajo valor. Para la operación de conexión de los filtros lo mejor es hacer lo contrario, esto se determinará con la practica ya que su respuesta será dependiente de las condiciones eléctricas de la planta

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, G., Carreño, J. y Corona, L. (2014) **Sensores y actuadores**. Primera edición. Editorial: Grupo editorial Patria. Azcapotzalco, México D.F.
- Álvarez, V. y Clarialbis, A. (2017) **Implementación de un algoritmo para la especificación de filtros de sintonía simple en redes eléctricas de media tensión basados en el programa matpower**. Trabajo de grado, Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas, Venezuela
- Arias, F (1999). **Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración**. Edición N°3. Caracas: Editorial Episteme.
- Artero, T (2013) **Arduino. Curso práctico de formación**. Primera edición. Editorial: Alfaomega Grupo Editor. Ciudad de México, México.
- Balestrini, M. (2002). **Cómo se elabora el proyecto de Investigación**. Sexta edición. Editorial: BL Consultores Asociados. Caracas, Venezuela.
- Chacón, J (2006) **Estudio de armónicos y factor de potencia en un grupo de grandes clientes del estado Nueva Esparta**. Disponible en: <https://es.slideshare.net/YU-REHERNANDEZ/tesis-de-grado-sobre-armonicos> [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Fenton, N. & Pfleeger, S. (1997). “**Software metrics. A rigorous and practical approach**”. Primera edición. Editorial: Belmont, Wadsworth. Londres, Inglaterra.
- Hernández Sampieri, Roberto (2014). **Metodología de la Investigación**. Sexta edición. Editorial: McGraw-Hill Interamericana. México.
- Katsuhiko, O. (2010). “**Ingeniería de Control Moderna**”. Quinta edición. Editorial: Pearson Educación, S. A. Madrid, España.
- Leiva, A (2020). **Diseño y simulación de un filtro activo de potencia para mitigar señales armónicas de corriente en una red de distribución de 2kVa**. Trabajo de grado, Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
- Muhammad, H. (2011). **Power Electronics Handbook. Cita específica a S. Mark Halpin, Angela Card**. Tercera edición. Editorial: Butterworth Heinemann. Oxford, Estados Unidos.

- Narváez, R (2012) **Estudio de los fenómenos armónicos en la subestación melones oeste de PDVSA en el distrito san tomé.** Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282853941_ESTUDIO_DE_LOS_FENOMENOS_ARMONICOS_EN_LA_SUBESTACION_MELO-NES_OESTE_DE_PDVSA_EN_EL_DISTRITO_SAN_TOME [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Piolet, F (2015) **¿Qué son los armónicos y como nos afectan?** Disponible en: <https://www.sectorelectricidad.com/13810/armonicos-que-son-y-como-nos-afectan/> [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Ruiz, J (2007) **Metodologías para identificar fuentes armónicas en sistemas eléctricos.** Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/71394321.pdf> [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Sarmiento, P (2018) **Efectos de armónicos producidos por variadores de frecuencia.** Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/663/8649253%20-%201129539183.pdf;jsessionid=39A0C74DD487597339A561964A3B95CC?sequence=1> [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Sabino, C. (2002). **El Proceso de Investigación: Una introducción teórico-práctica.** Primera edición. Editorial: Panapo. Caracas, Venezuela.
- Temístocles, M (2019) **Evaluación de la thdi y thdv en transformadores de distribución monofásicos.** Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21614/1/Mendoza%20Aguirre%2CTem%20C3%ADstocles%20Valdemar.pdf> [Consulta: noviembre, 12, 2021]
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2011) **Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales.** Edición N° 4, Editorial FEDEUPEL, Caracas, Venezuela.

Universidad Rafael Beloso Chacín (2018) **Extracto de trabajo de grado de criptomonedas. Cita específica a Gutiérrez (2014) y Ruiz (2017).** Disponible en: <http://virtual.urbe.edu/tesispub/0108004/cap02.pdf> [Consulta: noviembre, 12, 2021],

ANEXOS

ANEXO A

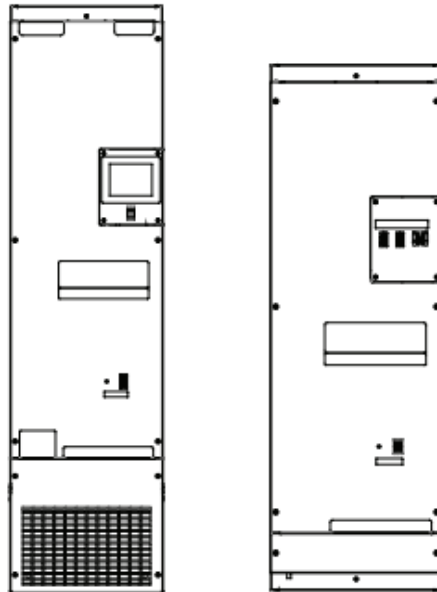
Manual del filtro PCS+PCSP300D5IP00

AccuSine PCS+™ Active Harmonic Filter AccuSine PFV+™ Electronic VAR Correction

IP00, IP20, UL Type 1, and UL Type Open

Installation Manual

NHA41798-01
08/2015



Chapter 1	Safety precautions	7
Chapter 2	Introduction	9
	Active Harmonic Filter	9
	Electronic VAR Control	9
Chapter 3	Receiving, handling, and storing	11
	Receiving	11
	Inspection	11
	Handling	11
	Storing	12
Chapter 4	Installation	13
	Foundation preparation	14
	Installation	14
	Environmental Requirements	14
	Physical Installation	15
	Standard Units Physical Description	15
	Dimensional Drawings	16
	IP00 60 A and 120 A Drawings	16
	IP20 60 A and 120 A Drawings	21
	200 A and 300 A Drawings	25
	Electrical Connection	33
	Line Voltage	33
	Over-current Protection Device Selection	33
	Power Cable Routing	33
	Power and Ground Cable Selection and Connections	34
	60 A Models	35
	120 A Models	36
	200 A and 300 A Models	38
	Current Transformers (CTs)	39
	General CT Information	39
	Minimum CT Requirements	40
	CT to CT Board Connection	41
	Parallel System	45
	CT Installation Parallel Units	45
	Parallel Communication	50
	Control Wiring	51
	Dry Contact output	51
	Digital Input Control	51
	Modbus TCP/IP	51
	Modbus Serial	52
Chapter 5	UL Type 1/IP20 Conversion Kit Assembly (Optional)	55
	Prepare the active filter chassis for UL Type 1/IP20 Conversion Kit	56
	Connect the HMI ground wire to the chassis	58
	Attach the HMI to the HMI mounting plate	59
	Connect the USB jack to the HMI mounting plate	60
	HMI Power wiring	60
	Installation of the HMI assembly in the Chassis	61
	Attaching the Wall Mount Kit to the Chassis for 60 A and 120 A Units	62
	Attaching the Wall Mount Kit to the Chassis for 200 A and 300 A Units	63
Chapter 6	Pre-commissioning	65

Instruments required for commissioning	65
Pre-energizing procedure	65
Installation Inspection	65
Pre-Commissioning Checklist	66
Commissioning procedures	66
Chapter 7 IT, HRG, and Corner Grounded Systems	67
Chapter 8 IP00 chassis in a customer supplied enclosure	71
HMI Connections	75
24 volt power	75
Ethernet	75
Communication	75
Enclosure mount USB	75
Dimensional Drawings	76

Chapter 4 Installation

This chapter provides the information required to properly install the active filter and associated equipment for proper operation and performance. Frequently, commissioning difficulties are the result of incorrect wiring. Every precaution must be taken to assure that the wiring is done as instructed. Read and understand all instructions in this manual prior to installation.

Correct installation of the active filter is essential for proper operation of all components. Study the associated instruction books and all drawings carefully.

The location chosen for installation should provide working clearances complying with the appropriate section of the National Electrical Code[®] (NEC[®]), the Canadian Electrical Code (CEC), or applicable local standards.

DANGER

HAZARD OF ELECTRIC SHOCK, EXPLOSION, OR ARC FLASH

- Apply appropriate personal protective equipment (PPE) and follow safe electrical work practices. See NFPA 70E in the USA, CSA Z462, or applicable local standards.
- This equipment must be installed and serviced only by qualified electrical personnel.
- Do not exceed the device's ratings for maximum limits.
- Ground equipment using the ground connecting point provided before turning on any power supplying this device.
- Turn off all power supplying this device and the equipment in which it is installed before working on the device or equipment.
- Do not stand on any part of the active filter.
- After removing power, wait for 15 minutes to allow the capacitors to discharge prior to opening the doors or removing covers.
- Always use a properly rated voltage sensing device to confirm power is off.
- Replace all devices, doors, and covers before turning on power to this equipment.
- Carefully inspect the interior for tools left behind before closing and sealing the door.

Failure to follow these instructions will result in death or serious injury.

The following is a summary of the steps for installation covered in this chapter:

1. Ensure that the line voltage is compatible with the voltage rating of the active filter.
2. Ensure the foundation is prepared for the active filter.
3. Ensure that environmental requirements are satisfied.
4. Refer to the dimensional drawings for the active filter to be installed.
5. Mount the unit in the desired location.
6. Make the electrical connections.
7. Make the CT to CT board connection.
8. Set up parallel communication if applicable.

9. When installing on Isolated Terra (IT), High Resistance Ground (HRG), or corner grounded systems, ensure that the IT/BP switches are open. Refer to "IT, HRG, and Corner Grounded Systems" on page 67.

10. Make the control wiring connections, but do not energize the active filter yet.

NOTE: Commissioning and energizing the active filter requires specialized knowledge. Pre-commissioning procedures are covered in "Pre-commissioning" on page 65. Commissioning procedures are covered in the User Manual. Commission the active filter and energize it only if you are qualified to do so.

Foundation preparation

The mounting location must be able to support the weight of the unit without sagging. Weight specifications are provided in "Open/IP00 and UL Type 1/IP20 Enclosures Physical Specifications" on page 15.

Installation

For optimum performance in harmonic mitigation mode, adhere to the following recommendations:

- All harmonic generating loads must have a minimum 3% line reactor or 3% DC choke installed.
- SCR based rectifiers are required to have a minimum 3% line reactor.
- No capacitors downstream of the Main CTs.

NOTICE

RISK OF EQUIPMENT DAMAGE

Adhere to DC choke, SCR based rectifier, and capacitor placement requirements.

Failure to follow this instruction can result in equipment damage.

If these recommendations are not followed, the target harmonic level may not be met and equipment damage can occur.

Environmental Requirements

Active filters are designed for indoor use only. They require unrestricted exchange of environmental air to the inside of the enclosure for proper cooling. Ensure that the environment meets Pollution Degree 2, i.e., does not contain conductive particles, significant amounts of dust, or corrosive or otherwise harmful gases. Normally only non-conductive pollution occurs. Temporary conductivity caused by condensation is to be expected.

NOTICE

RISK OF EQUIPMENT DAMAGE

Ensure that the installation location satisfies environmental requirements.

Failure to follow this instruction can result in equipment damage.

If environmental requirements are not adhered to, malfunction and possible destruction of the active filter may occur.

The active filter generates significant heat during operation. Consult the product specifications in "Electrical Specifications 60, 120, 200 and 300 A Units" on page 34 for the watt losses for each active filter model. Ensure that the room where the active filter is mounted has adequate ventilation. Maintain ambient temperature between 0°C (32°F) and 40°C (104°F) with a maximum relative humidity of 95%, non-condensing, and a maximum dewpoint of 37°C.

The operating temperatures are maximum and minimum levels the unit is designed to operate within. Operating above or below these levels will result in the unit either shutting down or reduced performance. The upper or lower limit should not be used as ideal room temperature levels. System reliability and product life expectancy will improve if temperature levels are maintained between 20°C (68°F) and 30°C (86°F).

Physical Installation

The active filter is provided standard as a UL open/IP00 chassis unit. The unit can be converted to a UL Type 1/IP20 with an optional conversion kit. The following table describes each type.

Enclosure Type	Open/IP00	UL Type 1/ IP20
Enclosure provided	No	Yes
Standard Compliance: UL Type	Open	Type 1
Standard Compliance: IEC529	IP00	IP20
Unrestricted air exchange, protection against contact with enclosed parts, protection against limited amount of falling dirt, intake of dust, and harmful particles	No	Yes
Complete protection against touch and protection against dust deposits	No	Yes
Protection against dripping water and external condensation of non-corrosive liquids	No	No
EMC/RFI certification	Yes	Yes

NOTE: This list indicates minimum requirements. Complete descriptions of the requirements are provided in the standards referenced in this list.

Standard Units Physical Description

Open/IP00 and UL Type 1/IP20 Enclosures Physical Specifications

Active filter	Cable Entry	Heat Load (kW)	Weight Kg (lbs)		Exterior Dimensions H x W x D mm (Inches)	
			Open/IP00	UL Type 1/IP20	Open/IP00	UL Type 1/IP20
60 A	Bottom	1.3	90 (198)	100 (220)	1300 x 426 x 348 (51.2 x 16.8 x 13.7)	1534 x 426 x 348 (60.4 x 16.8 x 13.7)
120 A	Bottom	2.8	112.5 (247.5)	122 (268)	1400 x 426 x 384 (55.1 x 16.8 x 15.1)	1634 x 426 x 384 (64.3 x 16.8 x 15.1)
200 A	Bottom	5.4	175 (385)	184 (409)	1323 x 581 x 438 (52.1 x 22.9 x 17.2)	1598 x 581 x 438 (62.9 x 22.9 x 17.2)
300 A	Bottom	7.1	220 (484)	229 (504)	1560 x 581 x 438 (61.4 x 22.9 x 17.2)	1835 x 581 x 438 (72.2 x 22.9 x 17.2)

NOTE:

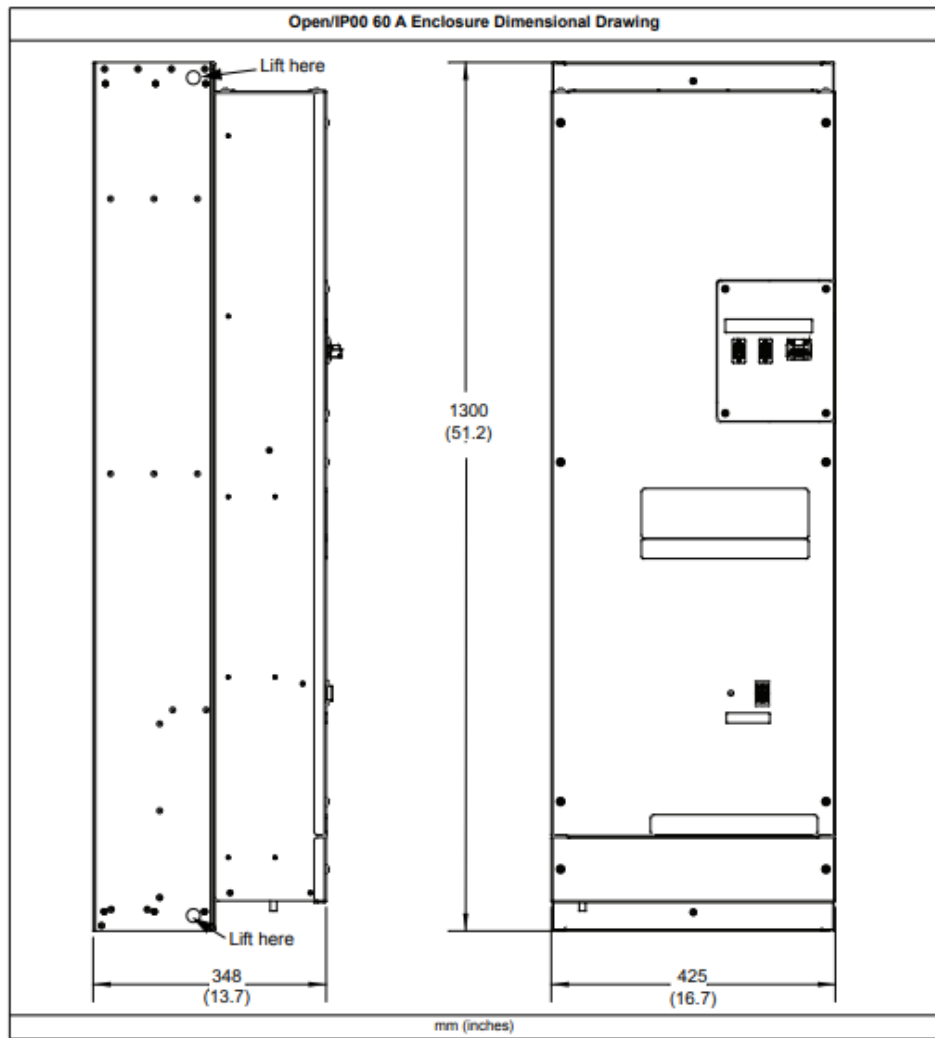
- Wall mounted units (UL Type 1/IP20) require 305 mm (12 inches) of top clearance.

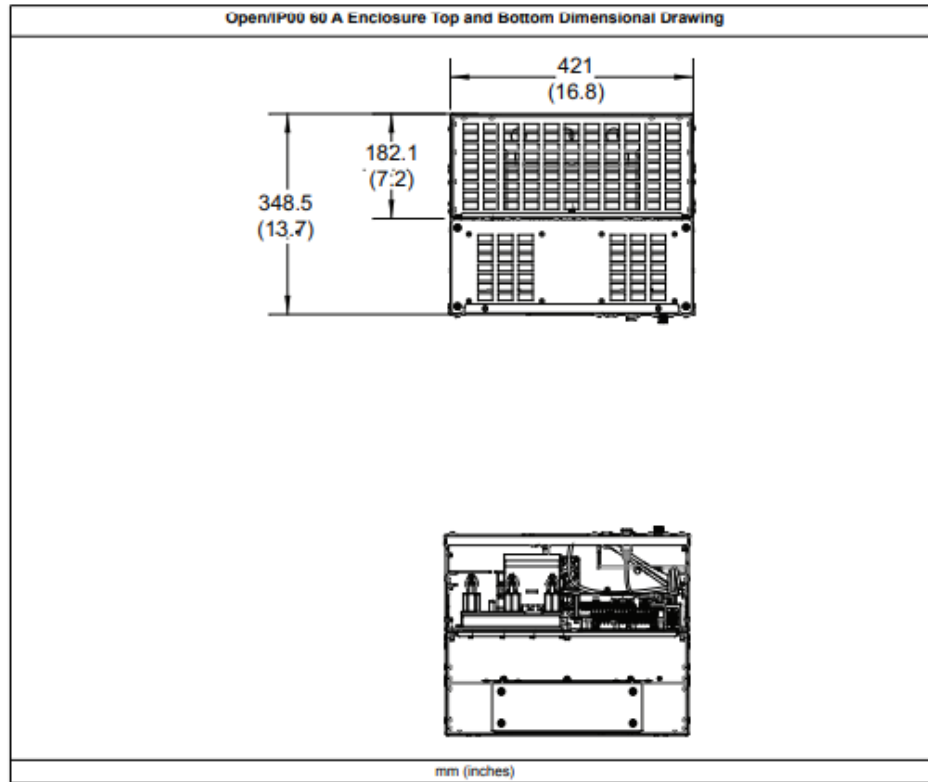
- Weight information is approximate and subject to change without notice.
- Lifting lugs are provided for hoisting.

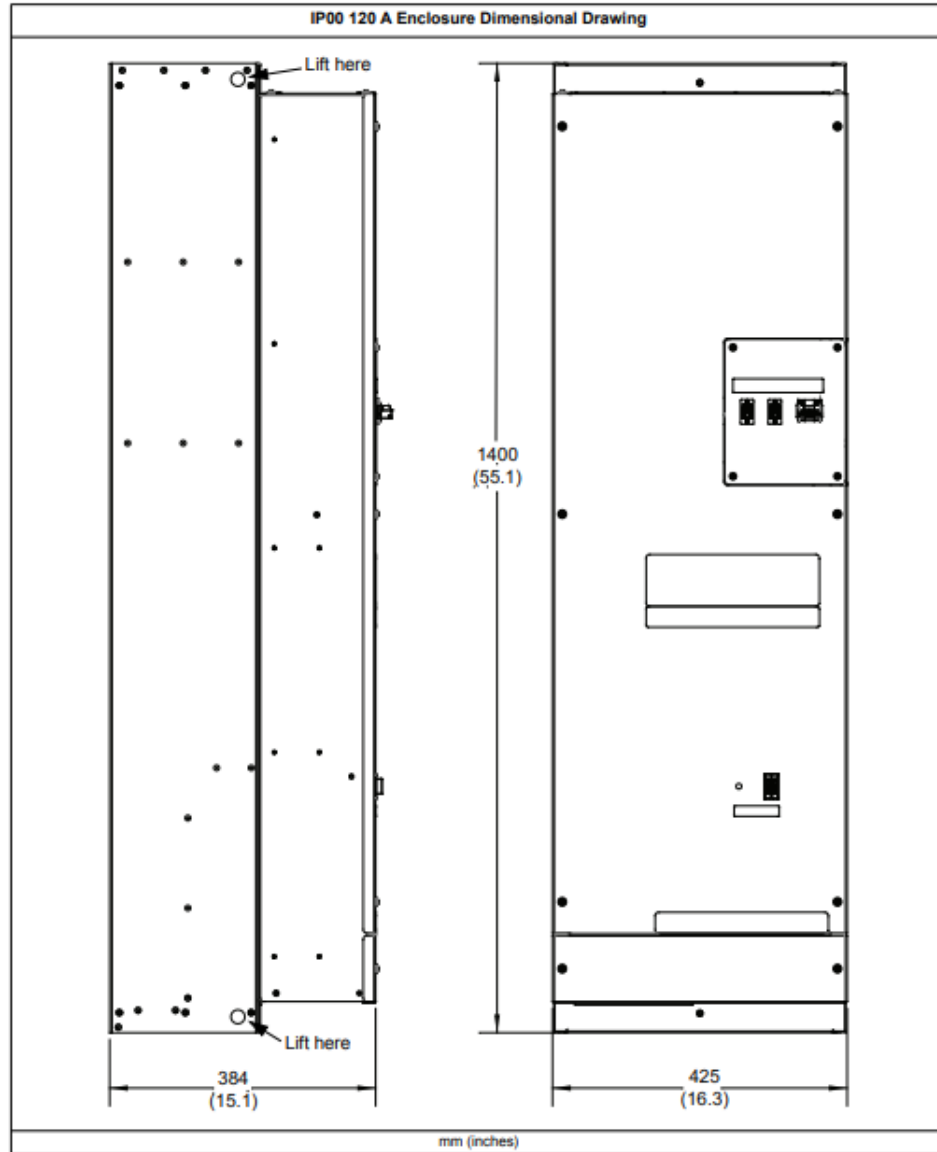
Dimensional Drawings

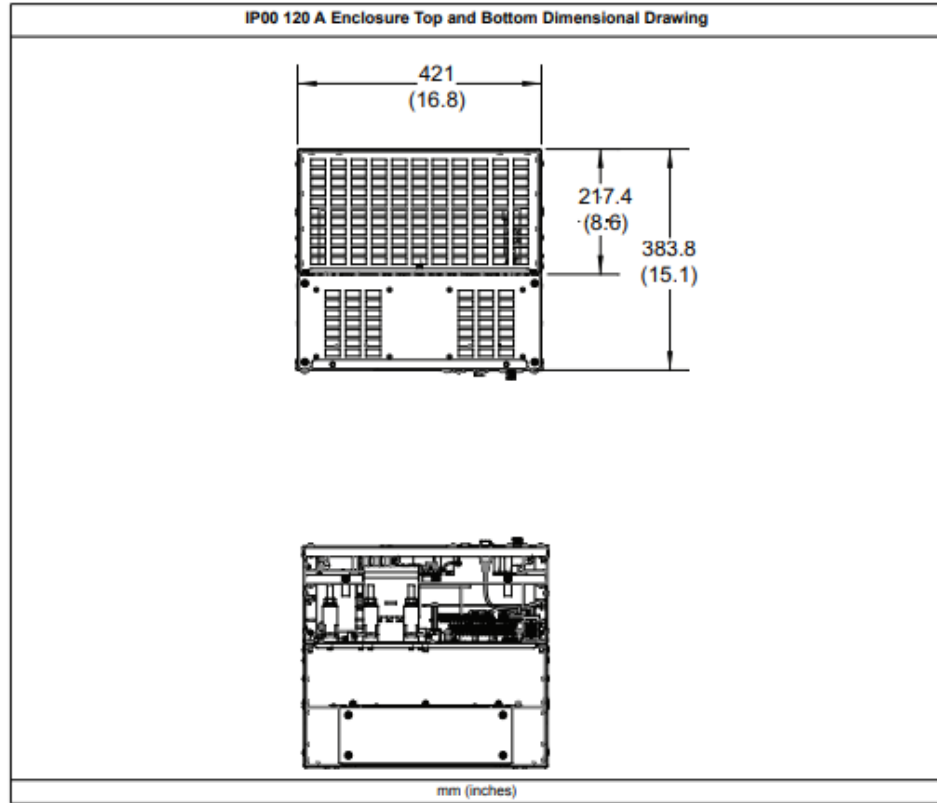
Refer to the drawings on the following pages for dimensions of the active filter to be installed.

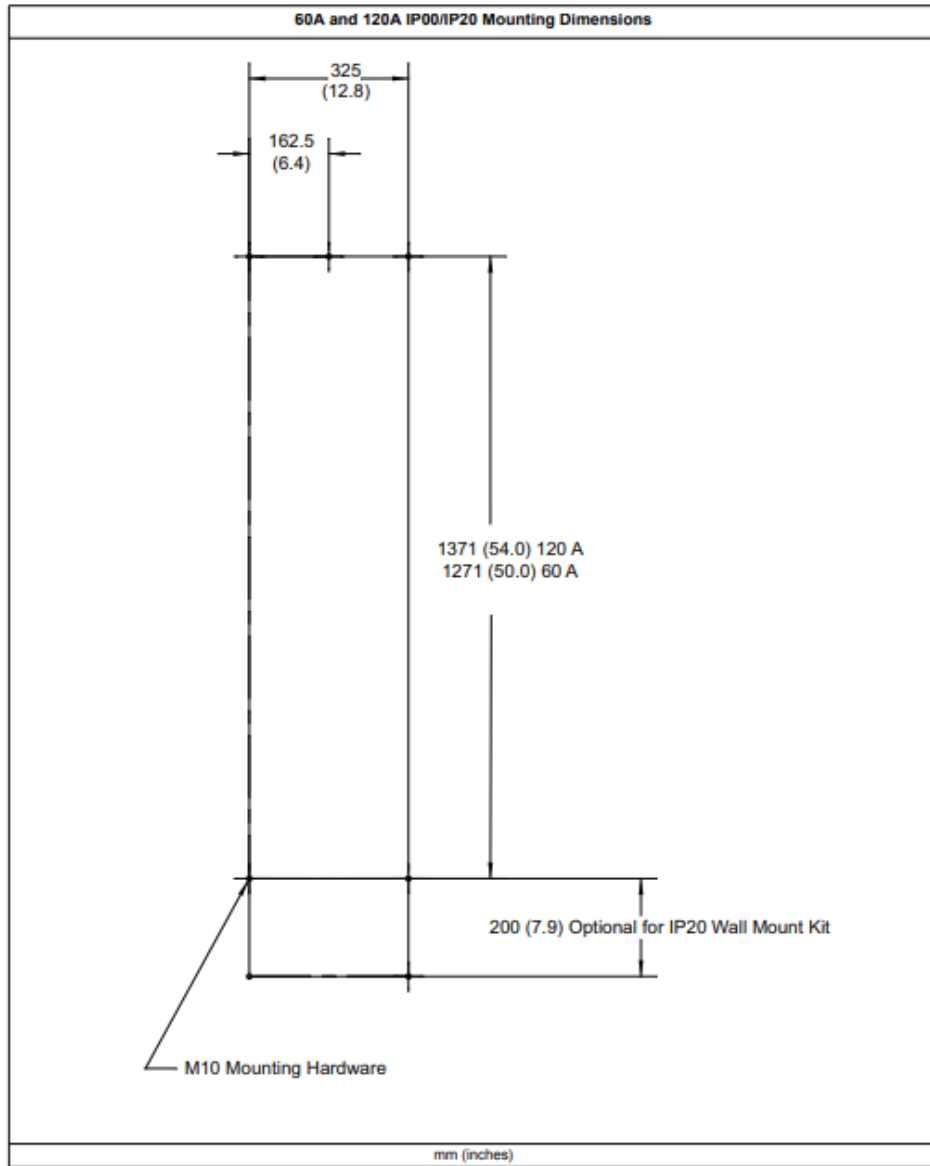
IP00 60 A and 120 A Drawings



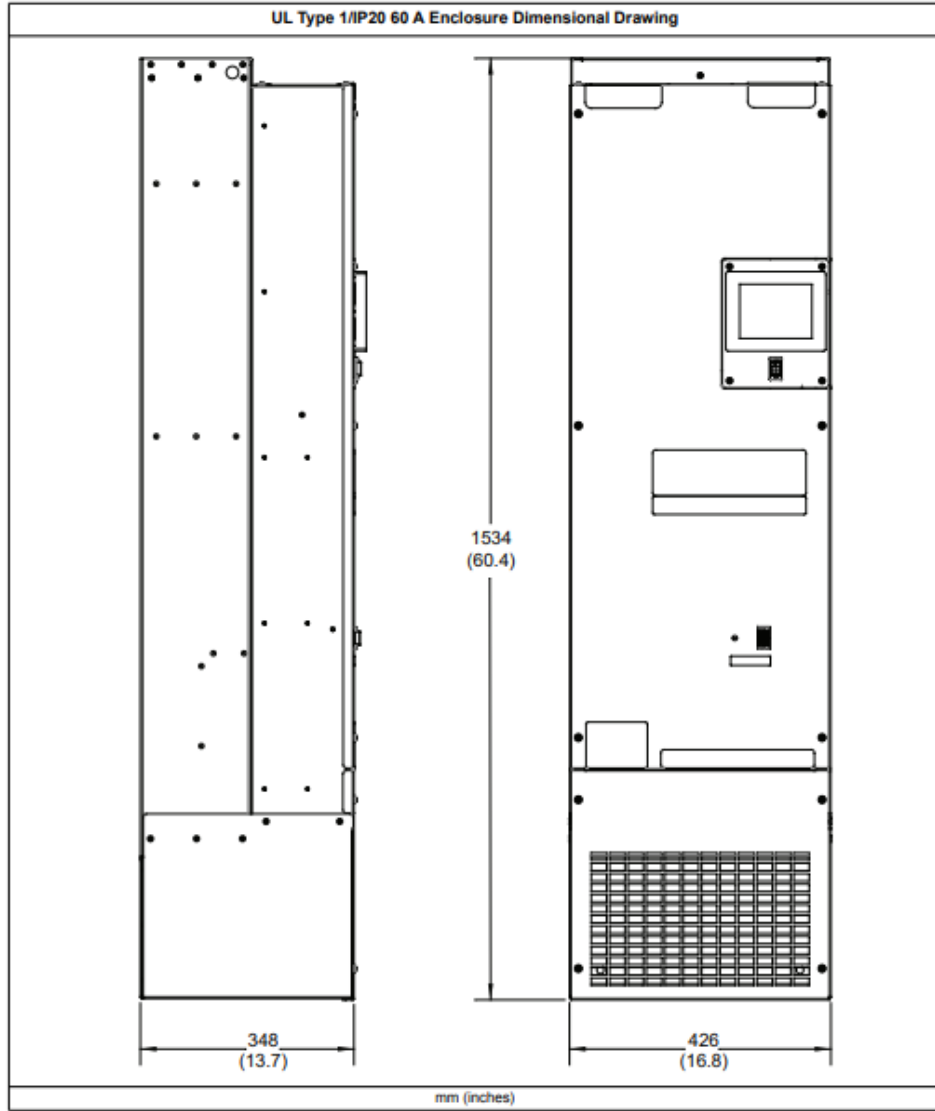








IP20 60 A and 120 A Drawings



Electrical Connection

Line Voltage

Refer to "Electrical Specifications 60, 120, 200 and 300 A Units" on page 34 to determine the line voltage that is compatible with the voltage range of the active filter.

Over-current Protection Device Selection

A dedicated over-current protection device, circuit breaker, or fuse disconnect is required for this product. The over-current protection device must be rated for at least 125% of the unit rating.

The active filter inrush current does not exceed the unit rating shown in the following table. Circuit breaker settings such as Long Time Pickup, Long Time Delay, and Short Time Pickup can be set for minimum inrush current.

Unit Rating	Minimum Circuit Ampacity	Minimum Allowable Fuse / Circuit Breaker Size	Maximum Allowable Fuse / Circuit Breaker Size
60 A	60 A	75 A	100 A
120 A	120 A	150 A	150 A (UL) / 160 A (IEC)
200 A	200 A	250 A	250 A
300 A	300 A	400 A	400 A

NOTE: Check national and local codes and regulations to ensure compliance.

Power Cable Routing

Power cables connected to the active filter must be placed in metal conduit or be shielded encapsulated cables to reduce noise coupling (EMI). For Open/IP00 units, power cable connections are at the bottom of the unit. For UL Type 1/IP20, see detail drawings in "UL Type 1/IP20 Conversion Kit Assembly (Optional)" on page 55.

See "Open/IP00 60 A Enclosure Top and Bottom Dimensional Drawing" on page 17 and "IP00 120 A Enclosure Top and Bottom Dimensional Drawing" on page 19.

For all power systems, observe the following:

- Metal conduit or the encapsulated cable shield has to be grounded to the active filter ground-terminal located adjacent to the power terminals.
- All panels must be installed to ensure proper system cooling.

Power and Ground Cable Selection and Connections

⚠ DANGER

HAZARD OF ELECTRIC SHOCK, EXPLOSION, OR ARC FLASH

- The unit must be properly grounded before power is applied.
- Ground equipment using the ground connecting point provided.

Failure to follow these instructions will result in death or serious injury.

All power wiring has to be routed directly from the conduit entry plate to the terminations on power terminals (and the earth grounding terminal) without loops. Instrumentation and CT wiring has to be routed in a separate grounded metal conduit or shielded encapsulated cable. A dedicated ground conductor must be used when installing the active filter.

When used as a harmonic current compensation device, the active filter produces currents at frequencies that are multiples of the AC line fundamental frequency. Power cables as well as input disconnect devices should be rated at 125% of the active filter rated current. This helps avoid excessive heating from any skin effect resistance increase at these higher frequencies.

NOTE: Check national and local codes and regulations to ensure compliance.

Box lug accessory kits are available as an option in the catalog. The box lugs are UL compliant. Each kit contains three box lugs for the phase connection and one box lug for the ground connection. When installing 200 A or 300 A units, two box lug kits are required per unit if two conductors per phase are used.

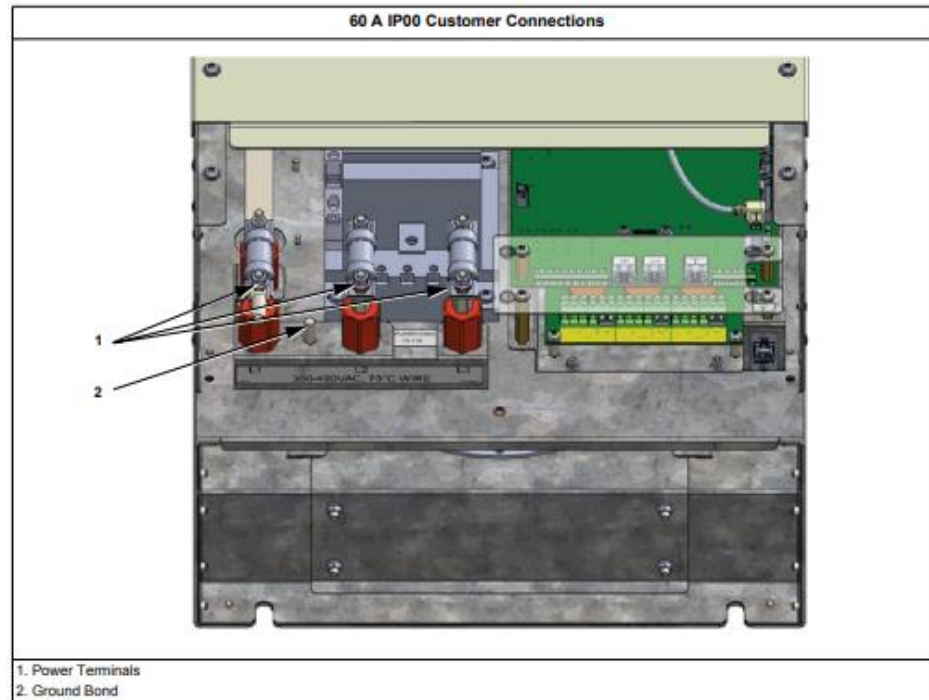
The box lugs in the optional accessory kit are not IEC compliant. For IEC installation, use crimp-on ring lugs for electrical connections.

Electrical Specifications 60, 120, 200 and 300 A Units

Active Filter	Total Current Amperes	Voltage Range Volts	Wire Temperature Rating	Power Connection Type	Power Connection Torque N·m (lb·in) ± 5%	Ground Connection Stud Size	Ground Connection Torque N·m (lb·in) ± 5%	No. Conductors Per Phase
60 A	60	380 - 480	60°C, 75°C, 90°C	M6 Stud	7.5 (66.4)	M8	18.2 (161.1)	1
120 A	120	380 - 480	75°C, 90°C	M8 Stud	18.2 (161.1)	M8	18.2 (161.1)	1
200 A	200	380 - 480	75°C, 90°C	10 mm Hole	36.5 (323.1)	M8	18.2 (161.1)	1 or 2
300 A	300	380 - 480	75°C, 90°C	10 mm Hole	36.5 (323.1)	M8	18.2 (161.1)	1 or 2

NOTE: Check national and local codes and regulations to ensure compliance.

60 A Models



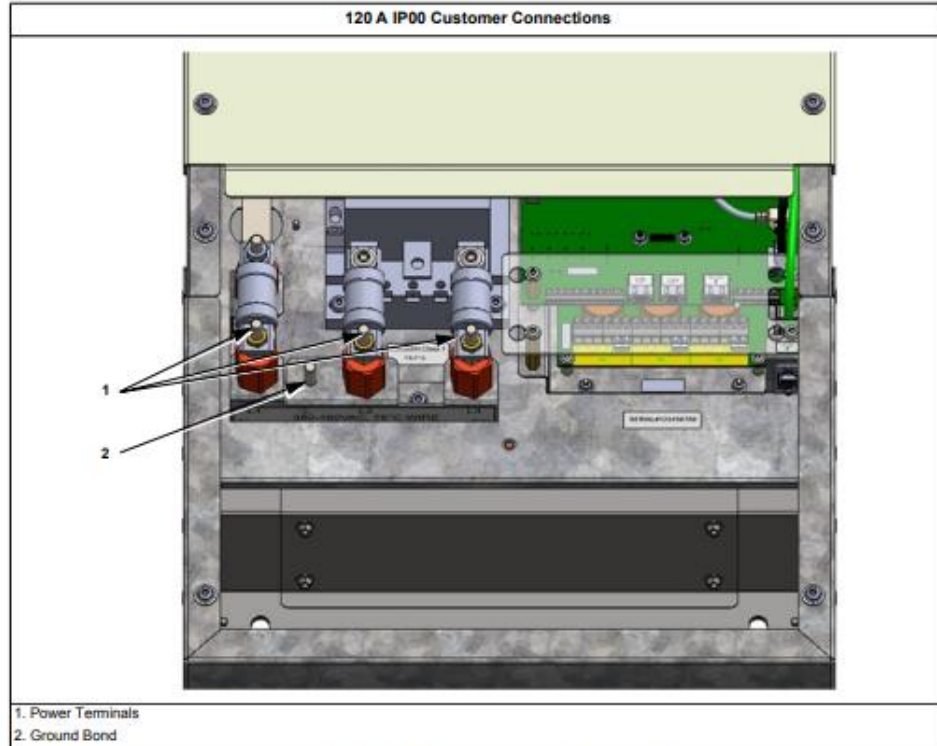
The power terminals are M6 studs. The ground terminal is an M8 stud.

Use either a crimp ring lug or box lug to make connections. Refer to the catalog for box lug part numbers.

1. Using a 10 mm socket, torque the power connections to 7.5 N•m (66.4 lb-in).
2. Using a 13 mm socket, torque the ground connection to 18.2 N•m (161.1 lb-in).

Power and ground nuts are provided in the chassis packaging.

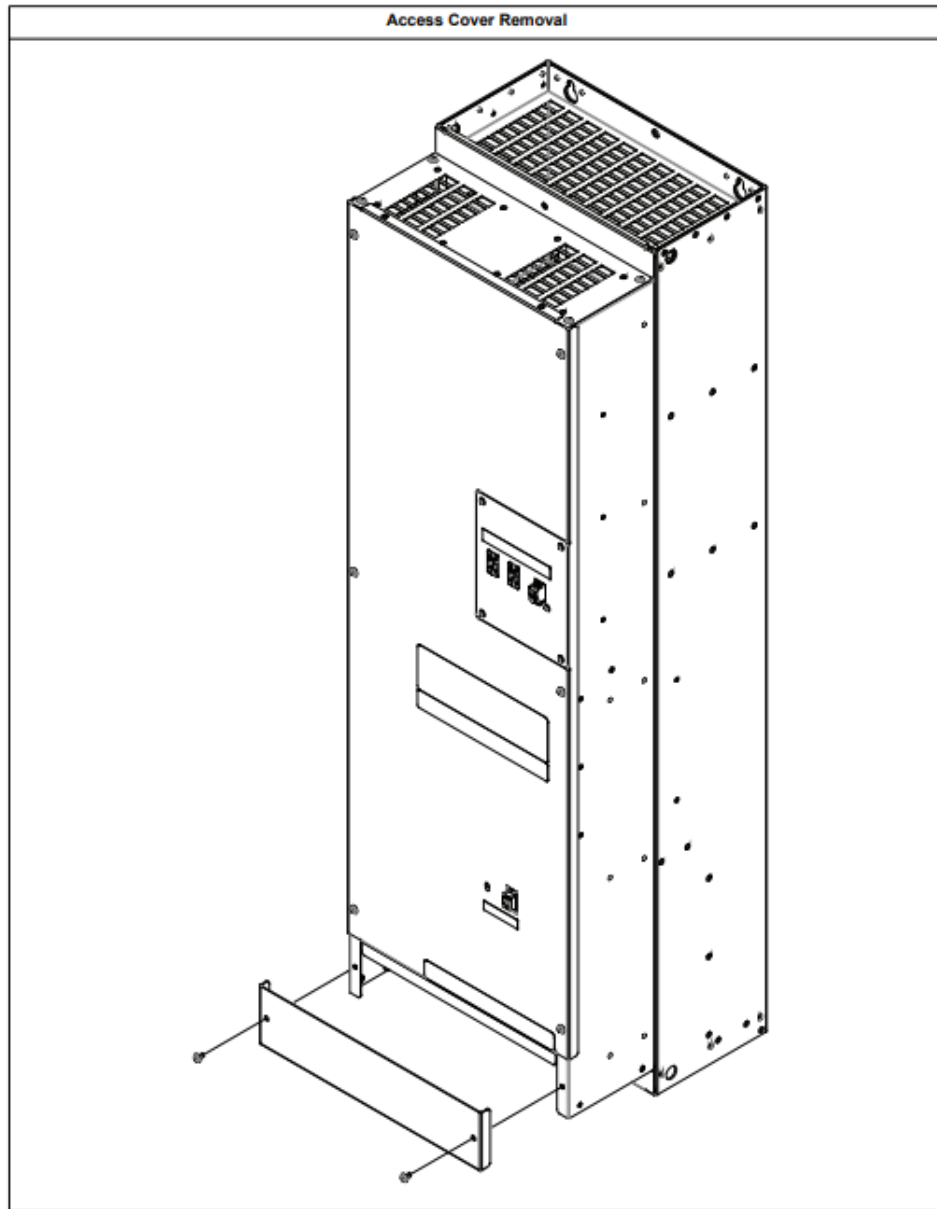
120 A Models



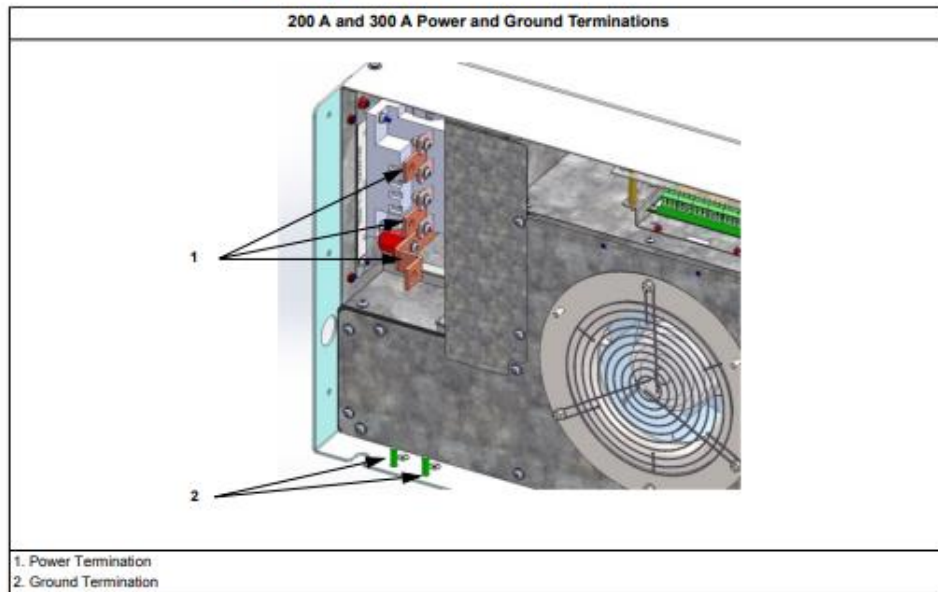
The power terminals and the ground terminal are M8 studs.

Use either a crimp ring lug or box lug to make connections. Refer to the catalog for box lug part numbers.

Using a 13 mm socket, torque all connections to 18.2 N•m (161.1 lb-in). Power and ground nuts are provided in the chassis packaging.



200 A and 300 A Models



The power terminals are provided with a 10 mm hole. The unit has three 40 mm long bolts, three nuts, and six washers included for power termination.

The ground terminal is an 8 mm stud. Two nuts are provided for the ground termination.

NOTE: Two ground terminals are provided if local codes require additional grounding. Otherwise, one ground connection is sufficient.

1. Using a 17 mm socket or combination wrench, torque the power connections to 36.5 N•m (323.1 lb-in).
2. Using a 13 mm socket, torque the ground connection to 18.2 N•m (161.1 lb-in).

Current Transformers (CTs)

⚠ DANGER

HAZARD OF ELECTRIC SHOCK, EXPLOSION, OR ARC FLASH

- Never open circuit a current transformer (CT).
- Always use grounded external CTs for current inputs.

Failure to follow these instructions will result in death or serious injury.

Ensure that CT secondary current is not present when wiring the CT secondary connections. The shorting jumpers must be installed at the X1 to X2 OUT of each CT channel on the CT board unless you are connecting an additional Master parallel unit. Refer to "Source Side CT Position Diagram" on page 44

General CT Information

The CT must be orientated properly during installation. The orientation is specified in the drawings with an arrow indicating the direction or polarity of the CT. Most CT manufacturers will indicate orientation with a label indicating H1 on one side of the CT or a dot. There can also be a label indicating H2 and/or an arrow on the CT. The H1 side of the CT should always be closest to the power source. If the CT has an orientation arrow, it should point from the source towards the load. See the installation instructions for the specific CTs being installed.

A shorting terminal block or shorting switch with galvanic isolation to the active filter for the CT secondary is required. Insert an interposing terminal block in a separate enclosure with the ability to short the secondary wiring of the CT. This provides the ability to short the CT without entering the active filter enclosure (which otherwise would require a power shutdown). Shorting terminal blocks are available in the catalog.

CT location is defined in relationship to the active filter system. CT location on the "Source Side" indicates that the CTs are physically located upstream of the active filter. The CTs will measure the improvement to the current as a result of the active filter operating. A CT location on the "Load Side" indicates that the CTs are downstream of the active filter. The CTs will monitor the Load current provided by both the source and active filter currents.

Two CTs are required to be installed, one on L1 phase and one on L2 phase of the conductors powering the loads to be compensated by the active filter system. If there are any line-to-neutral connected loads downstream of the active filter system's main CTs, a third CT is required on L3 phase.

NOTICE

MEASUREMENT ERRORS

CTs must be physically separated from any perpendicular conductor by at least 25 mm (1 inch) for every 1000 A of current flowing through the perpendicular conductor.

Failure to follow this instruction can result in a reduction in performance of the active filter.

If this practice is not followed, the magnetic field produced by the current flowing on the perpendicular conductor will cause CT measurement errors.

Minimum CT Requirements

The active filter uses a minimum of two external current transformers (CTs) to measure load current waveforms. Standard CTs rated for 50/60 Hz or 400 Hz with Type 1 accuracy rating, with a 5 A or 1 A secondary are acceptable. The largest primary rating for the CT is 10,000 A. Any splicing to the CT leads needs to be done with crimp style connectors or soldered.

The CT should be mounted on phases L1 and L2 with the orientation arrow pointing toward the load. Systems that are using two CTs can have the CTs installed on L1 and L3 or L2 and L3 if necessary. If L1 and L3 or, L2 and L3 CT configurations are used, this information must be provided to the qualified person commissioning the unit. Three external CTs are required if line-to-neutral connected loads are present.

NOTICE

REDUCED PERFORMANCE

CT wiring must be routed separately from power cables.

Failure to follow this instruction can result in a reduction in performance.

CT wiring must be routed directly from the conduit entry-plate to the terminal block of the CT board.

CT must be selected for:

- 5 A or 1 A secondary
- 250 to 10,000 primary rating
- 50/60 Hz or 400 Hz Rated
- Type 1 accuracy
- The CT primary current rating must exceed the maximum load current where they are installed;
- The maximum burden (in VA) on the CT is formed by the CT wiring and total active filter burden. This is equal to 1.0 VA for CTs with a 5 A secondary rating or 0.04 VA for CTs with a 1 A secondary rating.
- Wire size of the CT should be 4mm² (12 AWG) or 6mm² (10 AWG). Consult the CT manufacturer for secondary wiring recommendations. See "5 A Secondary Maximum Wire Length" and "1 A Secondary Maximum Wire Length" on page 43 for adding wire to CT secondary wiring.

CT secondary wiring must be either twisted and/or shielded pairs

Do not connect the active filter CT to any other loads. Use a separate current transformer if additional uses are required.

Any splicing to the CT leads needs to be done with crimp style connectors or soldered.

X2 of each CT installed must be grounded as close to the CT as possible.

A single active filter, not operating in parallel, can have the CTs installed either on the source side or load side of the active filter. Parallel systems must have the main CTs installed on the source side of the active filter system.

CT to CT Board Connection

The CT connection is made behind the small customer access panel at the bottom of the active filter chassis. See "Access Cover Removal" on page 37. Remove the customer access panel. The CT board is located behind and slightly below the control board. This is the location where the active filter CT secondary wiring must be terminated. Remove the clear plastic safety cover to access the CT board.

Typically, L1 CT will be connected to CH1 IN. There are two X1 and X2 IN terminals. The second set of IN terminals can be used to connect additional CTs that may be required for site specific conditions. X1 and X2 OUT are used for parallel active filter systems.

The terminal block on the CT board can accept wire sizes of up to 6 mm² (10 AWG) wire and has a torque specification of 1 N•m (9 lb-in).

NOTICE

CIRCULATING CURRENTS

When using shielded CT secondary wire, only ground the shield at one end of the cable.

Failure to follow this instruction can result in a reduction in performance.

NOTICE

INACCURATE FILTER OPERATION

Do not allow the conductor on which the CT is mounted to become lodged in the joint area of a split-core CT.

Failure to follow this instruction can result in inaccurate filter operation.