

Dispositivo para convertir energía eléctrica de monofásica a Trifásica



Autor:

Walter González Maldonado

Tutora:

Lina María Chacón Rivera

Facultad de Ingeniería - Universidad EAN

Ingeniería en Energías

Proyecto de Grado

Bogotá D.C. – Colombia

Junio de 2023

Contenido

Resumen	6
Abstract	7
Introducción	8
Objetivos	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
Definición del problema	11
Justificación	14
Análisis de requerimientos	15
1. Especificaciones técnicas	15
Eficiencia	15
Seguridad	16
Compatibilidad	16
Diseño	16
2. Funcionalidad	16
Fácil instalación y uso	16
Protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad	17
Potencia y corriente eléctrica adecuada	17
3. Costos	17
Diseño para manufacturabilidad	18
Uso de tecnologías de bajo costo	18
Reducción de costos de mantenimiento y reparación	18
Producción en masa	18
4. Compatibilidad	18
Selección de voltajes y frecuencias comunes	18
Diseño de interfaces comunes	18
Control de calidad de la energía eléctrica	19
Pruebas de compatibilidad	19
5. Sostenibilidad	19
Selección de materiales y componentes amigables con el medio ambiente	19
Eficiencia energética	19

Uso de energías renovables.....	19
Impacto social y económico.....	19
Producción y comercialización sostenible.....	20
Marco de referencia.....	20
Sistema eléctrico trifásico.....	22
Eficiencia energética en procesos de producción.....	23
Calidad de la energía.....	23
Especificaciones técnicas.....	24
Eficiencia eléctrica.....	24
Seguridad eléctrica.....	25
Compatibilidad eléctrica.....	25
Diseño de prototipado.....	25
Funcionalidad de prototipo.....	26
Fácil uso e instalación.....	26
Protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad.....	26
Potencia y corriente eléctrica adecuada.....	27
Costos.....	27
Diseño de manufactura.....	27
Bajo costo en el uso de las tecnologías.....	28
Análisis de restricciones.....	28
1. Técnicas.....	28
Frecuencia.....	28
Tensión.....	29
2. Normas y regulaciones.....	30
Requisitos de seguridad eléctrica.....	30
Regulaciones de eficiencia energética.....	30
Normas de calidad y certificación.....	31
3. Apropiación tecnológica.....	31
Protección de propiedad intelectual.....	31
Riesgo de infracción.....	31
Transferencia tecnológica.....	31
Capacidad de investigación y desarrollo.....	32
4. Costos y financiación.....	32

Costos de producción.....	32
Financiamiento inicial.....	32
Recursos financieros para la comercialización.....	32
Análisis de rentabilidad	32
Incentivos	33
5. Competencia	33
6. Infraestructura	33
Suministro de energía eléctrica.....	33
Red de distribución	33
Infraestructura de carga	34
Logística de distribución	34
Servicio técnico y soporte	34
Red de proveedores y cadena de suministro.....	34
7. Sociales	34
La aceptación y demanda	34
Impacto y beneficio social.....	35
Seguridad y salud.....	35
Responsabilidad social corporativa	35
Cultura y diversidad	35
Educación y accesibilidad.....	35
Responsabilidad ambiental	35
8. Económicas	36
Costos de producción	36
Competitividad de precios.....	36
Capacidad adquisitiva	36
Financiamiento.....	36
Políticas fiscales y arancelarias.....	37
Rentabilidad y retorno de la inversión.....	37
9. Ambientales	37
Norma de emisiones	37
Eficiencia energética	37
Uso de materiales sostenibles	38
Impacto ambiental durante la vida útil.....	38

Cumplimiento de estándares internacionales	38
Metodología para la selección y desarrollo de la solución	39
Análisis de costos	40
Materiales	40
Mano de obra	40
Costo de herramienta	41
Otros cobros asociados a la fabricación del dispositivo	42
Conclusiones	43
Referencias	46
Tabla 1	8
Tabla 2	17
Tabla 3	20
Tabla 4	20
Tabla 5	21
Tabla 6	22
Tabla 7	29
Tabla 8	29
Tabla 9	40
Tabla 10	41
Tabla 11	41
Tabla 12	42
Tabla 13	45
Ilustración 1	13
Ilustración 2	22
Ilustración 3	44

Resumen

La mayor parte de las viviendas de interés social en Colombia y en general, las residencias de personas de bajos ingresos son diseñadas y construidas bajo un modelo energético de optimización de recurso, esto implica, que las instalaciones eléctricas residenciales sean monofásicas, pues, se asume que las personas no contarán con capital para adquirir ningún equipo eléctrico diferente al voltaje estándar, además, la mayoría de fallas que se presentan en la red eléctrica sólo ocurre en una de las fases, lo cual, hace que estos usuarios sean más vulnerables al depender solo de una tensión bipolar. Es así, que nace la necesidad de crear un prototipo capaz de tomar esa forma de conexión eléctrica y transformarla a tal punto que se pueda tener energía eléctrica trifásica.

Palabras clave: voltaje, tensión, monofásica, trifásica, red eléctrica

Abstract

Most of the social interest housing in Colombia and in general, the residences of low-income people are designed and built under an energy model of resource optimization, which implies that residential electrical installations are single-phase, well, it is assumed that people will not have capital to acquire any electrical equipment other than the standard voltage, in addition, most failures that occur in the electrical network only occur in one of the phases, which makes these users more vulnerable by relying only on bipolar stress. Thus, the need arises to create a prototype capable of taking that form of electrical connection and transforming it to the point that it can have three-phase electrical energy.

Keywords: Voltage, tension, single-phase, three-phase, power grid.

Introducción

Desde hace ya algún tiempo, mucha población vulnerable en Colombia no cuenta con energía eléctrica, y los pocos alcanzados de estrato 1 y 2 en el país solo les llega energía eléctrica monofásica (110 Voltios). Es así, que se plantea una solución que impacte a la población de bajos recursos, que puedan abrirse a un mundo de posibilidades con una máquina eléctrica que cambiara su forma de conectarse y la capacidad de producir microempresas con conexión trifásica (208 Voltios).

Es importante aclarar, que la energía eléctrica monofásica tiene una limitante en la carga a conectar y es que, se puede conectar una potencia máxima de 4kW en comparación con la energía eléctrica trifásica que se puede obtener una carga mínima de 9 kW, un ejemplo que aclara todo este tema, es comparar cuantos tomacorrientes se pueden conectar a este circuito eléctrico y a continuación en la tabla 1.

Tabla 1

Cuadro comparativo de uso mínimo para conexión eléctrica

Potencia de tomacorrientes (200 Watt)	Carga monofásica (110 V)	Carga trifásica (208 V)
		2 kW
Cantidad de tomacorrientes que se pueden conectar	10	135

Fuente: elaboración propia

Nota: esta tabla muestra la diferencia que existe en la capacidad eléctrica, creado en Excel.

Por lo que, se puede obtener un ahorro energético de esta forma según (Lima Velasco, 2003), “Al tener más circuitos, se facilita el balanceo de cargas y con ello se logra cierto ahorro de energía, disminuyendo circuitos energizados innecesariamente” (p.34).

Por lo tanto, la solución propuesta es la creación de un prototipo que permita la transformación de la energía eléctrica monofásica en trifásica, lo que permitirá a la población vulnerable contar con una conexión eléctrica más eficiente y capaz de soportar una carga mayor. Esto no solo mejorará su calidad de vida, sino que también les brindará la oportunidad de crear microempresas que dependen de la energía eléctrica trifásica.

El prototipo en desarrollo tiene como objetivo la transformación de la energía eléctrica monofásica a trifásica, utilizando un convertidor de fase que permita la división de la energía

eléctrica en tres fases, cada una con un desfase de 120 grados. El prototipo también debe cumplir con los requisitos de seguridad y regulaciones de la red eléctrica local en el país.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un dispositivo que pueda suplir energía eléctrica trifásica a los hogares de bajos recursos en Colombia, tomando la energía eléctrica monofásica y realizando la conversión.

Objetivos específicos

- Investigar la forma correcta de prototipo
- Definir el alcance y potencia de dispositivo
- Diseñar prototipo, se sea funcional y se ajuste a las necesidades del mercado
- Modelar prototipo, de tal forma que sea acorde a la idea inicial
- Presentar un análisis de viabilidad técnico económica sobre el prototipo a escala
- Realizar pruebas y ensayos del prototipo para asegurar su funcionamiento y seguridad
- Identificar posibles mejoras y ajustes al prototipo para optimizar su desempeño y eficiencia energética

Definición del problema

La falta de acceso a energía eléctrica trifásica en hogares de bajos recursos en Colombia, es el mayor problema, pues la mayoría de estas viviendas cuentan con una conexión eléctrica monofásica, lo que limita la carga que pueden soportar y reduce las posibilidades de emprendimiento y desarrollo económico de sus habitantes. Además, la falta de energía eléctrica también representa una barrera para acceder a servicios básicos como iluminación, refrigeración y acceso a tecnologías de la información, lo cual limita mucho más el desarrollo y calidad de vida de la población vulnerable. Por lo tanto, es necesario buscar una solución para convertir la energía eléctrica monofásica en trifásica y así aumentar la capacidad de carga eléctrica en estos hogares y mejorar su calidad de vida.

Por otra parte, las políticas para acceder a sistemas eléctricos trifásicos en Colombia están reguladas por la Comisión de Regulatoria de Energía y Gas (CREG & MINENERGIA, 2012) y existen programas gubernamentales que buscan facilitar el acceso a la energía eléctrica a la población vulnerable. Sin embargo, el acceso puede ser limitado por factores como la ubicación geográfica y la capacidad de carga de la red eléctrica en los diferentes departamentos. Adicionalmente, en Colombia, la distribución energética se realiza principalmente a través de sistemas eléctricos trifásicos. Esto se debe a que la mayoría de las industrias y empresas requieren de mayor potencia eléctrica para sus procesos, y la conexión trifásica les permite utilizar equipos y maquinaria de mayor capacidad. Pero, en los hogares y pequeños negocios de bajos recursos, es común encontrar sistemas eléctricos monofásicos debido a que su consumo de energía es menor. Estos sistemas se conectan a la red eléctrica a través de un solo conductor de fase, y por lo general se utilizan para alimentar electrodomésticos y dispositivos eléctricos de bajo consumo, limitando un poco al sector residencial mencionado.

Es importante mencionar que las personas de bajos recursos, incluyendo a aquellos que viven en estratos 1, 2 y 3, generalmente no tienen acceso a sistemas eléctricos trifásicos en sus hogares debido a que su consumo de energía es menor en comparación con el de las industrias y empresas. Por lo tanto, los comercializadores de energía eléctrica suelen instalar sistemas eléctricos monofásicos en estas viviendas, ya que son más económicos y suficientes para cubrir sus necesidades básicas de energía eléctrica. Por otro lado, las personas que viven en estratos más altos, como el 4 y el 5, podrían tener acceso a sistemas eléctricos trifásicos en sus hogares, pero es posible que opten por sistemas eléctricos monofásicos debido a que el costo de

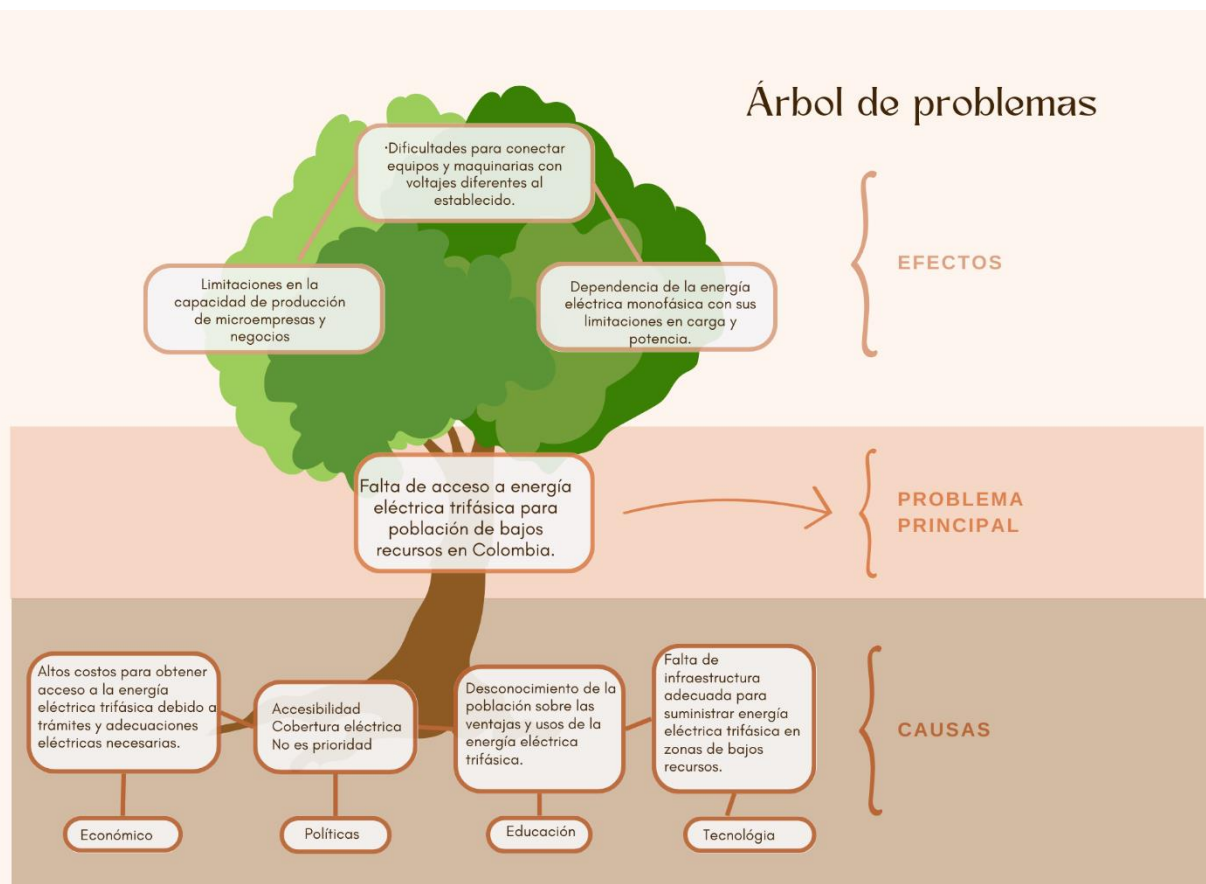
instalación de un sistema trifásico es más elevado que el de un sistema monofásico. Además, el consumo de energía eléctrica en una vivienda de estrato 5 no necesariamente es tan alto como el de una industria o empresa, lo que significa que un sistema monofásico podría ser suficiente para cubrir sus necesidades energéticas. En este sentido, los usuarios tienen el derecho de solicitar una conexión, pero el problema radica en los altos costos que esto implica y los delimita a el uso de aparatos eléctricos menos eficientes y con mayor consumo energético.

Un factor que influye en la problemática tratada es el desconocimiento acerca del uso de la conexión eléctrica trifásica en Colombia y puede deberse a varios factores. Uno de ellos puede ser la falta de información y educación por parte de las empresas prestadoras de servicios públicos y las entidades gubernamentales encargadas de la regulación del sector eléctrico, sobre las ventajas y desventajas de la conexión trifásica y cómo esta puede beneficiar a ciertos tipos de usuarios. Además, la conexión trifásica suele ser más comúnmente utilizada en la industria y en grandes empresas, lo que puede contribuir a la percepción de que es una conexión eléctrica más compleja y costosa que la monofásica, lo cual puede desalentar su adopción por parte de hogares y pequeñas empresas.

Dicho todo lo anterior, se pretende realizar un prototipo que busca dar solución a aquellos que necesitan conectar un equipo a un voltaje diferente al que ya está establecido y no pueden operar por los altos costos que implica tramitar ante el comercializador de energía y las adecuaciones eléctricas internas que implica una ampliación de la carga existente. Es así, que se realiza una metodología de árbol de problemas para observar las posibles causas y efectos que impactará el proyecto, como se muestra en la ilustración a continuación:

Ilustración 1

Árbol de problemas, contexto de problemática.



Fuente: elaboración propia

Nota: esta ilustración muestra los límites del problema en estudio, creado en canva.com.

La metodología de árbol de problemas anteriormente ilustrada, muestra:

1. Problema central: Falta de acceso a energía eléctrica trifásica para población de bajos recursos en Colombia.
2. Causas:
 - Falta de infraestructura adecuada para suministrar energía eléctrica trifásica en zonas de bajos recursos.
 - Desconocimiento de la población sobre las ventajas y usos de la energía eléctrica trifásica.
 - Altos costos para obtener acceso a la energía eléctrica trifásica debido a trámites y adecuaciones eléctricas necesarias.

3. Efectos:
 - Limitaciones en la capacidad de producción de microempresas y negocios.
 - Dificultades para conectar equipos y maquinarias con voltajes diferentes al establecido.
 - Dependencia de la energía eléctrica monofásica con sus limitaciones en carga y potencia.
4. Solución propuesta:
 - Diseñar y desarrollar un prototipo capaz de transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica, para proporcionar acceso a la población de bajos recursos a una mayor capacidad de carga y potencia eléctrica.
5. Efectos esperados con la puesta en marcha del proyecto:
 - Mayor capacidad de producción de microempresas y negocios.
 - Acceso a una mayor variedad de equipos y maquinarias con voltajes diferentes.
 - Reducción de los costos de trámites y adecuaciones eléctricas necesarias para obtener acceso a la energía eléctrica trifásica.

Justificación

Realizar una modificación a la tensión de alimentación favorece la potencia, según (Mago, 2008) “El incremento del voltaje por encima de su valor nominal aumenta la potencia transmitida, esto se logra mediante la reducción de la corriente de línea” (p.49).

El propósito fundamental y funcional de diseñar una solución que compense un poco los costos de energía al momento de tramitar una instalación con voltaje diferente al ya establecido por el comercializador es proporcionar una solución práctica y asequible a la falta de acceso a energía eléctrica trifásica en zonas de bajos recursos en Colombia. La falta de acceso a este tipo de energía eléctrica limita la capacidad productiva de microempresas y negocios, y dificulta la conexión de equipos y maquinarias con voltajes diferentes al establecido. Además, los altos costos para obtener acceso a la energía eléctrica trifásica debido a los trámites y adecuaciones eléctricas necesarias, son una barrera significativa para la población de escasos recursos. Cabe resaltar que al diseñar y desarrollar el prototipo planteado que busca transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica, se espera proporcionar una solución práctica, asequible y sostenible para abordar estos desafíos. El prototipo puede ayudar a reducir los costos de trámites y adecuaciones eléctricas necesarias para obtener acceso a la energía eléctrica trifásica, y permitir el uso de equipos y maquinarias con voltajes diferentes al establecido. Como resultado,

la población de bajos recursos tendría acceso a una mayor capacidad de carga y potencia eléctrica, lo que podría mejorar la capacidad productiva de microempresas y negocios y mejorar la calidad de vida de las personas en estas zonas del país y porque no de otras partes del mundo. Garantizando un mundo de posibilidades que no los restrinja por falta de capacidad energética, además, reducir la ineficiencia de los equipos y alargar su vida útil de acuerdo a indicaciones de fabricante, pues algunos aparatos solo llegan con una tensión nominal de 208V.

Es importante balancear las cargas en las líneas eléctricas de las redes, pues de lo contrario según la Comisión de Regulación de Energía y Gas las pérdidas y anomalías serán asumidas por el usuario final (CREG & MINENERGIA, 2012), “El usuario paga el valor de las pérdidas por ineficientes del sistema... este costo aparece en la factura de energía eléctrica con la letra P” (p.2).

Es fundamental mantener un equilibrio en las cargas eléctricas para garantizar la eficiencia del sistema eléctrico y evitar pérdidas de energía y anomalías en la red. Si las cargas no están equilibradas, se pueden generar desequilibrios en el voltaje y la frecuencia eléctrica, lo que puede ocasionar un mayor desgaste en los equipos eléctricos, interrupciones en el suministro de energía y pérdidas económicas para el usuario final.

Análisis de requerimientos

El prototipo de este proyecto debe cumplir con la normatividad vigente y los siguientes requerimientos:

1. Especificaciones técnicas

El prototipo que se propone debería ser capaz de transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica de manera eficiente y segura, manteniendo un equilibrio en las cargas de las líneas eléctricas y evitando pérdidas de energía. Adicionalmente, debe ser compatible con los voltajes y frecuencias de la red eléctrica en Colombia, y se diseñará para soportar las condiciones ambientales y operativas del país, teniendo en cuenta las características poblacionales.

Adicionalmente, debe cumplir con los siguientes criterios:

Eficiencia

El prototipo será capaz de transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica de manera eficiente de acuerdo a los niveles permitidos por el Reglamento que equivale al más o menos 10% del valor base que es 127 VAC (RETIE, 2013), es decir, minimizando las pérdidas

de energía en el proceso de conversión bajo lo señalado anteriormente. Además, será capaz de mantener un equilibrio en las cargas de las líneas eléctricas para evitar sobrecargas y garantizar un suministro eléctrico estable y seguro para el usuario final.

Seguridad

Es fundamental garantizar que el prototipo cumpla con la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) según (Dávila & Villa, 2010) y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013) de seguridad eléctrica y estará diseñado para evitar riesgos eléctricos, tanto para los usuarios como para la red eléctrica. El diseño incluirá medidas de protección contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones, entre otros aspectos a analizar.

Compatibilidad

El prototipo será compatible con los voltajes de baja tensión 127/208 VAC y frecuencias 60Hz de la red eléctrica en Colombia para garantizar su correcto funcionamiento y evitar daños a la red eléctrica y a los equipos conectados.

Diseño

El prototipo deberá estar diseñado para soportar las condiciones ambientales y operativas de las diferentes zonas de cada departamento, teniendo en cuenta factores como la humedad, la temperatura, la presencia de polvo y la inestabilidad en el suministro eléctrico. Además, será fácil de instalar y mantener para facilitar su uso por parte de la población a utilizar.

2. Funcionalidad

el prototipo deberá ser fácil de instalar y utilizar, y no requerir conocimientos técnicos avanzados. Además, contará con protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad que eviten riesgos de sobrecargas, cortocircuitos o fallas en el equipo. Asimismo, será capaz de suministrar la potencia y corriente eléctrica necesaria para las aplicaciones que se pretendan utilizar y los aspectos que se tendrán en cuenta se detallan a continuación:

Fácil instalación y uso

El prototipo contará con instrucciones claras y sencillas para su instalación y uso, de manera que cualquier persona sin conocimientos técnicos avanzados pueda utilizarlo sin dificultad. Además, se incluirán indicadores LED para mostrar el estado del dispositivo y su correcto funcionamiento.

Protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad

El prototipo contará con protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad que eviten riesgos de sobrecargas, cortocircuitos o fallas en el equipo. Se incluirán fusibles, disyuntores y sistemas de desconexión automática en caso de sobrecarga o fallas en el equipo.

Potencia y corriente eléctrica adecuada

El prototipo será capaz de suministrar la potencia de 1hp y misma corriente eléctrica necesaria para las aplicaciones que se pretendan utilizar por el usuario final. Para ello, se tendrán en cuenta las especificaciones de cada aplicación y dimensionar correctamente los componentes del prototipo, como transformadores, conductores eléctricos y contactores, los cuales varían de acuerdo a las necesidades específicas para cada cliente.

3. Costos

El prototipo será asequible para la población de bajos recursos, y sus costos serán justificados por los beneficios que ofrece. Igualmente, será diseñado con materiales y componentes de alta calidad y durabilidad, que minimicen los costos de mantenimiento y reparación. Además, se buscará reducir los costos de producción y comercialización para ofrecer un precio accesible, el valor estimado es de \$2.000.00 COP.

Tabla 2

Cuadro de venta de dispositivo por estrato.

Estrato Socioeconómico	Precio de venta
0	Por cada 10 unidades vendidas, se obsequia 1 al estrato 0
1, 2, 3	\$2.000.000
4	\$2.100.000
5	\$2.200.000
6	\$2.500.000

Fuente: elaboración propia

Nota: Esta tabla muestra cómo cambian los precios para los diferentes estratos socioeconómicos en Colombia.

Adicionalmente, se considerarán las siguientes estrategias de diseño y producción:

Diseño para manufacturabilidad

El prototipo será diseñado teniendo en cuenta los procesos de fabricación y ensamblaje para reducir los costos de producción. Se podrán buscar materiales y componentes económicos, pero que no comprometan la calidad y durabilidad del producto.

Uso de tecnologías de bajo costo

Se podrían utilizar tecnologías de bajo costo, como marcas de gama baja para los variadores de frecuencia y componentes eléctricos, que permitirán reducir los costos de producción sin afectar la funcionalidad del prototipo y la garantía.

Reducción de costos de mantenimiento y reparación

El prototipo será diseñado con materiales y componentes de alta calidad y durabilidad, que minimicen los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo.

Producción en masa

La producción en masa permitirá reducir los costos unitarios de producción, lo que se traduce en un menor precio para el consumidor final de escaso recurso. Además, se pueden buscar alianzas con empresas o instituciones para reducir los costos de producción y comercialización.

4. Compatibilidad

El prototipo será compatible con una amplia gama de equipos y maquinarias que se utilizan en las zonas de bajos recursos, para que los usuarios puedan aprovechar al máximo su capacidad de carga y potencia eléctrica. Además, será compatible con los sistemas de control y monitoreo de la red eléctrica local, para evitar interferencias o daños en otros equipos y se consideraran las siguientes estrategias de diseño:

Selección de voltajes y frecuencias comunes

El prototipo será diseñado inicialmente para suministrar voltajes a 208VAC y frecuencia común en Colombia que es de 60Hz, de manera que sea compatible con la mayoría de los equipos y maquinarias utilizados en esas zonas. Pero, también se considerarán otros voltajes en trifásica y frecuencias de acuerdo la especificación de cada cliente.

Diseño de interfaces comunes

El prototipo contará con interfaces comunes, como tomas de corriente estándar en trifásica y se podrá ser modificado antes de salir de producción según las especificaciones para cada aplicación, que permitan la conexión de diferentes tipos de equipos y maquinarias.

Control de calidad de la energía eléctrica

El prototipo contará con sistemas de control de calidad de la energía eléctrica, como reguladores de voltaje, que eviten interferencias o daños en otros equipos y sistemas de la red eléctrica local.

Pruebas de compatibilidad

Antes de la comercialización del prototipo, se realizarán pruebas de compatibilidad con diferentes equipos y maquinarias comunes en las zonas de bajos recursos, para garantizar su funcionalidad y seguridad.

5. Sostenibilidad

El prototipo será diseñado con materiales y componentes que sean amigables con el medio ambiente y reduzcan el impacto ambiental. Además, se considerarán el impacto social y económico de su implementación, para garantizar una solución sostenible y de largo plazo para la población de bajos recursos en cada departamento de Colombia y se podrían considerar a largo plazo las siguientes opciones:

Selección de materiales y componentes amigables con el medio ambiente

Se buscará utilizar materiales y componentes que sean reciclables, biodegradables o que tengan bajo impacto ambiental en su producción y eliminación.

Eficiencia energética

El prototipo será diseñado para maximizar su eficiencia energética al 95%, reduciendo el consumo de energía a un 5% y disminuyendo el impacto ambiental.

Uso de energías renovables

En el dispositivo se buscará la forma de incorporar algún tipo de energía renovable que pueda ser almacenada y tenga la compatibilidad con el prototipo, como paneles solares o turbinas eólicas, para reducir el impacto ambiental y el costo de operación dependiendo la región del país donde vaya a instalar.

Impacto social y económico

Es importante considerar el impacto social y económico de la implementación del prototipo en cada departamento de Colombia, como la generación de empleo local, el fortalecimiento de la economía local y la mejora de la calidad de vida de la población de bajos recursos en el país.

Producción y comercialización sostenible

Se buscará una producción y comercialización sostenible del prototipo, utilizando prácticas responsables con el medio ambiente y la sociedad, la idea principal es centralizar la producción, pero a medida que el consumo avance se trasladará la producción a cada región, esto con el fin de disminuir los costos de traslado para cada equipo.

Marco de referencia

En este apartado, se inicia con los factores de conversión que se utilizarán para el desarrollo de este proyecto, los cuales serán útiles para definir algunos dimensionamientos importantes como energía, resistividad, longitudes, y densidad de corriente según (Hartwell, 2021). Es por ello, que se citan algunas unidades de las antes mencionadas que servirán de apoyo para la ejecución del proyecto y a continuación, se detalla cada uno de ellos, así:

Tabla 3

Unidad de Energía

Unidad	Equivalencias
1 Wh	= 3600 J = 2655,4 ft · lb = 860 g · cal = 367,1 kg · m = 3,413 Btu = 0,001341 hp · h
1 hp · h	= 2 684 000 J = 1 980 000 ft · lb = 273 700 kg · cm = 745,6 Wh
1 kWh	= 2 655 000 ft · lb = 367 100 kg · m = 1,36 hp · h (métrico) = 1,34 hp · h

Fuente: Standard Handbook for Electrical Engineers (Hartwell, 2021)

Estas unidades de energías serán útiles para los cálculos de potencias para cada prototipo de acuerdo a las necesidades de los usuarios finales, es así, que los caballos de fuerza eléctrico (hp) se utilizarán para seleccionar los dispositivos eléctricos tales como el variador de frecuencia, y algunas protecciones eléctricas.

Asimismo, las unidades de densidades de corrientes eléctricas son piezas claves en la formulación de soluciones, pues se debe conocer la carga de cada dispositivo a alimentar en trifásica por el dispositivo y se relacionan las equivalencias en la tabla 4 a continuación:

Tabla 4

Unidad de Densidad de Corriente

Unidad	Equivalencias
1 A/in ²	= 0,7854 A/cmil = 0,155 A/cm ² = 1 273 000 cmil/A = 0,000001 A/mil ²

1 A/cm ²	= 6,45 A/in ² = 197 000 cmil/A
1000 cmil/A	= 1273 A/in ²
1000 mil ² /A	= 1000 A/in ²

Fuente: Standard Handbook for Electrical Engineers (Hartwell, 2021)

La unidad más usada son los Amperios (A), esta equivale al consumo nominal de cada equipo y el cálculo se realiza tomando la potencia eléctrica en Watt (W) y dividiéndolo entre el voltaje que entrega el prototipo y según (Schexnayder & Fiori, 2021), “la ley de Ohm describe la relación entre estos conceptos centrales en un sistema eléctrico: cuando la corriente eléctrica fluye a través de un conductor, como un cable, la intensidad de la corriente (en amperios) es igual a la fuerza electromotriz (en voltios) que la impulsa, dividida por la resistencia del conductor (en ohmios)” (p.2).

Por otra parte, la resistividad eléctrica es fundamental para determinar el funcionamiento del prototipo planteado, en donde se deberá realizar los cálculos para así garantizar que los conductores eléctricos sean más eficientes y no presenten pérdidas de energía en su diseño. Además, según (Narimatsu, 2000) “Cuando una corriente fluye a través de un dispositivo, el dispositivo se opone al flujo de corriente; el grado de oposición se llama resistencia si la corriente es continua (CC), e impedancia si es alterna (CA)” (p.1).

Es así, que se asocia la tabla 5, 6 y muestran las unidades que se pueden tener en cuenta a la hora de realizar los cálculos para un correcto diseño de prototipo y a continuación se presenta:

Tabla 5

Unidad de Resistividad

Unidad	Equivalencias
1 Ω/cmil · ft	= 0,7854 Ω/cmil ² · ft = 0,001662 Ω/mm ² · m = 0,0000001657 Ω/cm ³ = 0,00000006524 Ω/in ²
1 Ω/mil ² · ft	= 1,273 Ω/cmil · ft = 0,002117 Ω/mm ² · m = 0,0000002116 Ω/cm ³ = 0,00000008335 Ω/in ³
1 Ω/m ³	= 15 280 000 Ω/cmil · ft = 12 000 000 Ω/mil ² · ft = 25 400 Ω/mm ³ · m = 2,54 Ω/cm ³

Fuente: Standard Handbook for Electrical Engineers (Hartwell, 2021)

Tabla 6*Unidad de Longitudes*

Unidad	Equivalencias
1 mil	= 0,0254 mm = 0,001 in
1 mm	= 39,37 mils = 0,03937 in
1 cm	= 0,3937 in = 0,0328 ft
1 in	= 25,4 mm = 0,083 ft = 0,0278 yd = 2,54 cm
1 ft	= 304,8 mm = 12 in = 0,333 yd = 0,305 m
1 yd	= 91,44 cm = 36 in = 3 ft = 0,914 m
1 m	= 39,37 in = 3,28 ft = 1,094 yd

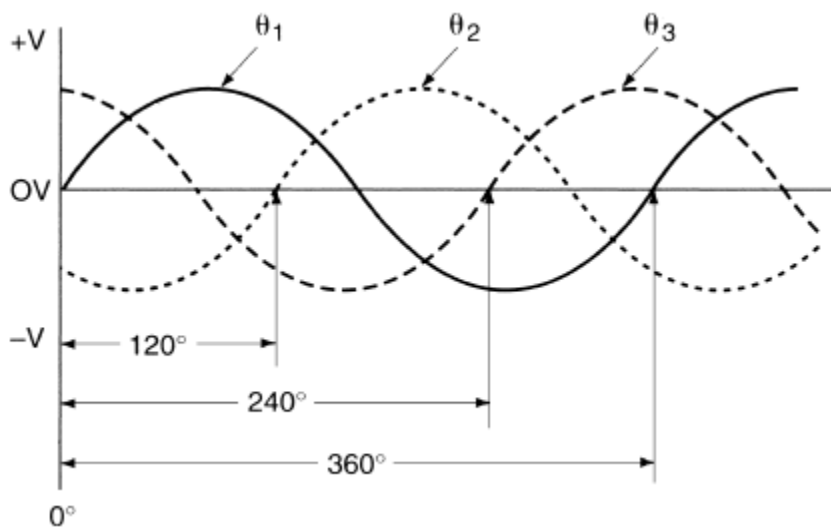
Fuente: Standard Handbook for Electrical Engineers (Hartwell, 2021)

Sistema eléctrico trifásico

Un sistema eléctrico trifásico consiste en tres circuitos que se interconectan y se energizan a voltajes y frecuencias exactamente iguales, pero en diferente fase. Estas fases se encuentran separadas por 120° , esto para sistemas en AC. (Eismin, 2019)

Ilustración 2

Onda sinusoidal para un circuito trifásico



Nota: El grafico representa una onda sinusoidal típica de un sistema eléctrico trifásico. Tomado de *Aircraft Electricity and Electronics, 7th Edition* (p.1), por T.K. Eismin, 2019, McGrawHillEducation. (Eismin, 2019).

Eficiencia energética en procesos de producción

Es necesario interpretar que la microempresa ubicada en el parque industrial a las afueras de Bogotá requiere una conexión trifásica a 208 V, para poder producir aceite a partir del aguacate que se madura durante la comercialización y no sale a la venta, es así, que la eficiencia energética para este proceso de producción juega un papel fundamental y según Kanoğlu & Çengel (2020) “ eficiencia energética se refiere a obtener la misma producción con un menor uso de energía. Es decir, no se sacrifica calidad y confort para reducir el consumo energético. Las medidas de conservación de energía se pueden aplicar a tres áreas principales de uso de energía: *instalaciones industriales, edificios y transporte*” (p.2).

Además, es necesario para esta microempresa, operar su proceso de producción a partir de los equipos existentes, y es preciso decir que están diseñados para funcionar en condiciones eléctricas diferentes a las que se tienen en una vivienda, por lo cual según Wang (2001) asegura que “la rehabilitación energética es un proyecto cuyo propósito es la eficiencia energética, es decir, convertir un sistema existente en un sistema energéticamente eficiente” (p.7).

Calidad de la energía

La calidad de la energía no es más que la eficiencia en la entrega de la tensión, para nuestro prototipo es muy importante analizar que ocurre cuando queremos aumentar el voltaje y según (Kennedy, 2000) “La corriente es el flujo de electrones en un conductor, se mide en amperios y se identifica con la letra I. El voltaje es la fuerza o presión que hace que los electrones fluyan en un conductor, se mide en voltios y se representa con la letra V. La energía eléctrica se mide en vatios y se representa con la letra P. La potencia es igual a la cantidad de voltaje multiplicada por la cantidad de corriente, es decir, $P = V \times I$. Cuando la energía eléctrica se utiliza con el tiempo, se convierte en energía eléctrica y se calcula multiplicando la potencia en vatios por el tiempo en horas. La energía eléctrica se mide en vatios-hora y se representa con las letras Wh” (p.1). Es así, que la potencia del prototipo se enmarca en la entrega de una potencia fija de 1hp, que es lo mismo que 745,6 W según la tabla de energía (Hartwell, 2021).

Ahora bien, se pretende disminuir desde el diseño la posible solución a la calidad energía y para ello, es necesario tener conocimiento de los problemas que existen frente a la calidad del equipo a conectar, en el caso de esta investigación se trata de un motor eléctrico asincrónico en trifásica de 1hp y según (Kennedy, 2000) “Las soluciones de calidad de energía se dividen en dos categorías: prevención y diagnóstico. Prevenir problemas de calidad de energía es preferible

a tratar de encontrar una solución a un problema preexistente. Se trata de diseñar el equipo de manera que no se sume a un problema potencial. Implica el cableado y la conexión a tierra de equipos sensibles para que las interferencias electromagnéticas o los bucles de tierra no los afecten. Implica la instalación de equipos de acondicionamiento de energía, como filtros, transformadores de aislamiento, UPS y TVSS, para proteger equipos sensibles de daños causados por problemas de calidad de energía” (p.32). Entonces, se tendrá en cuenta la selección del cableado de acuerdo a la capacidad de corriente los conductores eléctricos, además de poner a tierra todos los dispositivos del prototipo.

Además, el prototipo de este proyecto debe cumplir con la normatividad vigente y los siguientes requerimientos:

Especificaciones técnicas

El prototipo de esta investigación se diseñará para que sea capaz de transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica de manera eficiente y segura, manteniendo un equilibrio en la carga de las líneas eléctricas y evitando pérdidas de energía para un motor de 1hp.

Adicionalmente, se diseñará para que sea compatible con los voltajes y frecuencias de la red eléctrica en el parque industrial en zona franca de Bogotá, sumado a esto, se tendrá en cuenta para su diseño que pueda soportar las condiciones ambientales y operativas en el local a instalar. Adicionalmente, debe cumplir con los siguientes criterios:

Eficiencia eléctrica

El diseño de prototipo deberá ser capaz de transformar la energía eléctrica monofásica en trifásica de manera eficiente, es decir, minimizando las pérdidas de energía en el proceso de conversión para el arranque del motor trifásico. Además, será capaz de mantener un equilibrio en las cargas de las líneas eléctricas para evitar sobrecargas y garantizar un suministro eléctrico estable y seguro para el usuario final.

Esta aplicación comprende de lograr que el motor existente trabaje de la forma más eficiente y cumpliendo con las especificaciones técnicas, según (Kanoğlu & Çengel, 2020a) “los motores eléctricos no pueden convertir completamente la energía eléctrica que consumen en energía mecánica, y la relación entre la potencia mecánica suministrada y la potencia eléctrica consumida durante la operación se denomina **eficiencia del motor**, η_{motor} ” (p.2). Por lo tanto, siempre se tendrán pérdidas en rendimiento y la transferencia de la potencia del motor de acuerdo a la aplicación que se le dé del mismo.

Seguridad eléctrica

Es fundamental garantizar que el prototipo cumpla con la Norma Técnica Colombiana (NTC 2050) según (Dávila & Villa, 2010) y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013) de seguridad eléctrica y estará diseñado para evitar riesgos eléctricos, tanto para los usuarios como para la red eléctrica. El diseño incluirá medidas de protección contra sobrecargas, cortocircuitos, sobretensiones, entre otros aspectos a analizar.

Compatibilidad eléctrica

El prototipo será compatible con los voltajes y frecuencias de la red eléctrica en Bogotá para garantizar su correcto funcionamiento y evitar daños a la red eléctrica y a los equipos conectados. Además, no se permitirá conectar con extensiones el prototipo pues según (Neitzel et al., 2019) “Los cables de extensión nunca deben usarse para instalaciones eléctricas permanentes. Si se requiere energía por más tiempo que el breve, se debe usar una instalación eléctrica permanente. El máximo permitido es generalmente de 90 días para tipos de instalaciones estacionales, como luces navideñas y otros tipos de decoraciones” (p.1). Por lo tanto, el dispositivo contará con un cableado de conexión definitivo, diferente al de una extensión usual y cumplirá con la normatividad y el manual de riesgo eléctrico citado anteriormente.

Diseño de prototipado

El prototipo estará diseñado para soportar las condiciones ambientales y operativas en la zona donde se ubica la microempresa, teniendo en cuenta factores como la humedad, la temperatura, la presencia de polvo. Además, se diseñará de fácil instalación y mantenimiento para facilitar su uso. Sumado a esto, se proporciona un diseño unifilar al cliente el cual le servirá para que pueda realizar una reparación o mantenimiento oportuno del prototipo y según (Sclater, 2003a) “Proporciona al propietario un registro de "tal como está construido" del cableado eléctrico y el equipo instalados para fines de mantenimiento o planificación de futuras expansiones. El propietario entonces se vuelve responsable de registrar todos los cambios de cableado y equipo” (p.2). esta afirmación, implica que el propietario del prototipo puede realizar mantenimientos al equipo adquirido, pero no podrá replicar el dispositivo.

Funcionalidad de prototipo

El prototipo será fácil de instalar y operación, garantizando que el usuario final no requiera de conocimientos técnicos avanzados. Además, contará con protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad que eviten riesgos de sobrecargas, cortocircuitos o fallas en el equipo. Pues la energía que supla el equipo debe garantizar que funcione el motor eléctrico de 1hp y según (Sclater, 2003b) “Un convertidor de fase rotativo es una máquina que puede convertir energía monofásica en energía trifásica. Denominado con más precisión un generador de fase que un convertidor, genera un voltaje que, cuando se conecta en paralelo con dos voltajes obtenidos de la línea de alimentación monofásica, produce energía trifásica. Los convertidores rotativos pueden proporcionar corriente trifásica que puede alimentar cargas trifásicas e inductivas” (p.38). Asimismo, será capaz de suministrar la potencia y corriente eléctrica necesaria para las aplicaciones que se pretendan utilizar y los aspectos que se tendrán en cuenta se detallan a continuación:

Fácil uso e instalación

El prototipo contará con instrucciones claras y sencillas para su instalación y uso, de manera que cualquier persona sin conocimientos técnicos avanzados pueda utilizarlo sin dificultad. Además, se incluirán indicadores LED para mostrar el estado del dispositivo y su correcto funcionamiento. El arrancador del prototipo incluirá interruptores o selectores, para encender la máquina, esto coincide con la explicación que según (Miller & Miller, 2014) “La electricidad se puede controlar mediante el uso de interruptores, relés o diodos. Estos dispositivos se utilizan para dirigir la corriente al lugar donde funcionará para usted. Cada dispositivo se elige cuidadosamente para realizar un trabajo específico. Por ejemplo, el relé se usa para trabajos de control remoto y un diodo se usa para controlar cantidades grandes y pequeñas de corriente en equipos eléctricos y electrónicos” (p.2).

Protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad

El prototipo contará con protecciones eléctricas y mecanismos de seguridad que eviten riesgos de sobrecargas, cortocircuitos o fallas en el equipo. Se incluirán fusibles, disyuntores y sistemas de desconexión automática en caso de sobrecarga o fallas en el equipo. Esto mismo, coincide según (Joshi, 2008) afirma que las “Condiciones anormales tales como sobre corriente, sobre voltaje, sobre temperatura pueden ocurrir en un sistema eléctrico. Se proporciona protección para evitar o restringir el daño. El equipo puede soportar condiciones anormales de

cierta magnitud durante un cierto período de tiempo y, si se desconecta dentro del tiempo de resistencia adecuado, se puede evitar el daño. Además, desconectar el equipo (incluso si está dañado) evita que se propague el daño a otros equipos y los riesgos de incendio. El dispositivo de protección detecta la condición anormal y aísla el equipo defectuoso o la sección de la red.” (p.1).

Potencia y corriente eléctrica adecuada

El prototipo será capaz de suministrar la potencia y corriente eléctrica necesaria para las aplicaciones que se pretendan utilizar por el usuario final. Para ello, se tendrán en cuenta las especificaciones de cada aplicación y dimensionar correctamente los componentes del prototipo, como transformadores, conductores eléctricos y contactores, los cuales varían de acuerdo a las necesidades específicas para cada cliente. Además, el equipo debe estar conectado a puesta a tierra para garantizar su correcto funcionamiento, pues según (Ballinger & Shugar, 2011) afirma que “El equipo eléctrico está conectado a tierra por seguridad. Los artículos conectados a tierra incorrectamente pueden causar lesiones, incendios, daños a otras unidades y la muerte. Cuando te refieres a tierra, te refieres a la tierra, que es neutra y, por lo tanto, segura. Un "equipo conectado a tierra" significa que, eléctricamente, la unidad tiene el mismo potencial eléctrico que la tierra, que es lo que desea” (p.27). Por ende, se garantiza que la potencia y la corriente no sobrepase los límites permitidos de acuerdo a los dispositivos de protección.

Costos

El dispositivo será asequible para cualquier microempresa, y sus costos serán justificados por los beneficios que ofrece. Igualmente, se diseñará con materiales y componentes de alta calidad y durabilidad, que minimicen los costos de mantenimiento y reparación. Además, se buscará reducir los costos de producción y comercialización para ofrecer un precio accesible. Adicionalmente, se considerarán las siguientes estrategias de diseño y producción:

Diseño de manufactura

El prototipo será diseñado teniendo en cuenta los procesos de fabricación y ensamblaje para reducir los costos de producción. Se podrán buscar materiales y componentes económicos, pero que no comprometan la calidad y durabilidad del producto. Aunque el diseñador no construya los detalles, pues en algunos casos debe tercerizar la fabricación por ejemplo del cofre, si estará al tanto del producto final y que esté acorde con sus expectativas, pues según (Gillespie, 2017) “El diseñador necesita conocer los elementos clave del proceso de fabricación, pero no

necesita conocer todos los matices y detalles del proceso. Los ingenieros de fabricación y el personal del taller se encargarán de esos problemas. El énfasis aquí está en el producto y el diseñador” (p.2).

Bajo costo en el uso de las tecnologías

Se podrían utilizar tecnologías de bajo costo, pues de acuerdo con (Yang & El-Haik, 2009) “Para muchas empresas, los productos que desarrollan y producen son importantes generadores de ingresos. Cada producto se vende en el mercado por un precio. Por buenos productos, los clientes están dispuestos a pagar precios más altos. Los precios que los clientes están dispuestos a pagar dependen de la relación de oferta y demanda” (p.2). Dicho de otra manera, si se reduce los costos de instalación y fabricación, se ve reflejado en el precio final del producto, en este caso el aceite de aguacate que se procese, lo cual podría darse con la implementación de marcas de gama baja para los variadores de frecuencia y componentes eléctricos, que permitirán reducir los costos de producción sin afectar la funcionalidad del prototipo y la garantía.

Análisis de restricciones

Las restricciones en Colombia podrían variar y cambiaran dependiendo de lugar de instalación de la máquina, algunas las ponen los comercializadores de red y en otros casos se limita a la condición de la población que va destinada, algunas de las restricciones identificadas que limitaran el prototipo inicial y el futuro de la maquina se desglosan a continuación:

1. Técnicas

Las restricciones de la maquina estarán limitadas por restricciones técnicas en la capacidad del equipo para convertir voltajes y frecuencias específicas, además de adaptarse a diferentes tipos de enchufes y tomacorrientes.

Frecuencia

El proyecto se limitará a una frecuencia de 60 Hz de conformidad con los límites aceptables de la normatividad vigente y según la Norma Técnica Colombiana 1340 (NTC1340), (ICONTEC, 2013). Como se presenta en la tabla 7.

Tabla 7*Restricciones de frecuencia aceptable*

Tipos de red	Frecuencia aceptable durante el 95 % de una semana	Frecuencia aceptable durante el 100 % de una semana
Redes acopladas por enlaces síncronos a un sistema interconectado	Desde 59,8 Hz Hasta 60,2 Hz	Desde 57,5 Hz Hasta 63 Hz
Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de distribución en regiones no interconectadas e islas)	Desde 58,8 Hz Hasta 61,2 Hz	Desde 51 Hz Hasta 69 Hz

Fuente: Norma Técnica Colombiana 1340 Electrotecnia. Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. (ICONTEC, 2013)

Nota: Estos niveles corresponden a la regulación CREG 025/95. (Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG, 1995)

Tensión

Se diseñará el proyecto para baja tensión según la clasificación de niveles de tensión a una tensión nominal de 120/208 V con una tensión mínima de 5% y tensión máxima de 10%. (Dávila & Villa, 2010; ICONTEC, 2013; RETIE, 2013). Para lo cual, se presenta la tabla 7.

Tabla 8*Restricciones de tensión aceptable*

Clasificación	Nivel	Tensión Nominal (V)		Tensión máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistemas Trifásico de 3 ó 4 conductores	Sistemas Monofásico de 3 ó 4 conductores		
Baja Tensión $V_n < 1 \text{ kV}$	Nivel 1 $V_n < 1 \text{ kV}$	-	120		
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		277/480	-		
		480	-		
	Nivel 2 $1 \text{ kV} \square V_n$	4 160	-		
		-	7 620		
		11 400	-		
		13 200	-		

Media Tensión I kV □ Vn < 57,5 kV	< 30 kV	13 800	-	+5	-10
	Nivel 3	34 500			
	30 kV □ Vn < 57,5 kV	44 000			
Alta Tensión 57,5 kV □ Vn □ 230 kV	Nivel 4 57,5 kV □ Vn < 220 kV	57 500	-	+5	-5
		66 000	-		
		115 000	-		
	-	230 000	-		
Extra Alta Tensión 230 kV < Vn		500 000	-		

Fuente: Norma Técnica Colombiana 1340 Electrotecnia. Tensiones y frecuencia nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. (ICONTEC, 2013)

Nota: Estos niveles corresponden a la regulación CREG 082/2002. (Comisión de regulación de Energía y Gas, 2002)

2. Normas y regulaciones

En Colombia existen leyes y normas como la 1672 (Congreso de la República, 2013) que rigen la producción y comercialización de equipos eléctricos y a su vez, integran la línea de destinación para su disposición final de acuerdo al ciclo de vida de cada producto. Es por ello, que se asegurará que el dispositivo debe cumplir con todas las regulaciones y normas de seguridad eléctrica establecidas por la Superintendencia de Industria y Comercio y el Ministerio de Minas y Energía.

Requisitos de seguridad eléctrica

De acuerdo al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE, 2013), el dispositivo no debe contar con certificado de conformidad de producto por ser clasificado en el listado de la NTC 2050 pues se considera una maquina especial (Dávila & Villa, 2010). Pero deberá contar con las distancias mínimas de seguridad contenidas en el RETIE, para este equipo de debe contar mínimo con 80cm libre en el área, para garantizar su mantenimiento y acceso.

Regulaciones de eficiencia energética

De acuerdo a la regulación colombiana, según (Mejía, 2014) “La Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente (URE) de la energía establece el marco jurídico general para el desarrollo de todas las normas posteriores en eficiencia energética en Colombia” (p.4). con ello, se normaliza y regula en Colombia la eficiencia energética,

entendiendo que la energía es un recurso que en nuestro país se obtiene principalmente de fuentes no renovables en un porcentaje amplio.

Siendo consecuente con lo anterior, el dispositivo propuesto cumple con la eficiencia energética y la normatividad vigente.

Normas de calidad y certificación

De acuerdo a la norma ISO 9001, es dispositivo debe cumplir con los estándares de calidad, NTC 2050 y RETIE para minimizar los riesgos eléctricos asociados al mismo y dar cumplimiento de estas mencionadas. Todo lo anterior, será certificado de acuerdo a la producción, registro y comercialización del equipo allí descrito (ICONTEC, 2015).

3. Apropiación tecnológica

En Colombia existen múltiples desafíos para integrar la tecnología apropiada a los diferentes dispositivos que se desarrollan y más porque no producimos gran parte de los materiales que se requieren para estos dispositivos, por lo general, todo es de importación y no suele ser nada fácil aprovechar la tecnología, así las cosas, se crea la necesidad de innovar y crear productos nuevos en el mercado nacional. A continuación, se profundizará esta restricción:

Protección de propiedad intelectual

Es esencial asegurar los derechos sobre la tecnología empleado en este dispositivo eléctrico, es así, que este dispositivo se registrara su patente para proteger la innovación y el conocimiento técnico (Dirección Nacional de Derecho de Autor, 2016).

Riesgo de infracción

A pesar de que se cuente con propiedad intelectual, existe el riesgo de que otros copien autores copien el dispositivo desarrollado. Esto afectaría las ventajas competitivas. Por eso, se deberá realizar un monitoreo constante del mercado y en tal caso tomar medidas legales en caso de infringir la normatividad vigente en cuanto a patentes y derechos intelectuales establecidos por la DNDA.

Transferencia tecnológica

Esta restricción hace referencia al conocimiento que se le debe transmitir a técnicos para el desarrollo de este prototipo y su fabricación en masa, por ello, es necesario realizar un acuerdo de confidencialidad con cada uno de los involucrados en el proceso, protegiendo así el uso no autorizado de esta tecnología en otros escenarios.

Capacidad de investigación y desarrollo

Es importante no solo desarrollar el dispositivo eléctrico, sino también innovar y mejorarlo, manteniendo la vanguardia en el mercado, revisar que tecnologías implementadas dentro del dispositivo han cambiado para así, establecer una periodicidad de mejora y actualización de sistema que lo compone.

4. Costos y financiación

Es importante considerar los costos de producción y los recursos financieros necesarios para llevar a cabo la producción y comercialización del dispositivo de conversión de energía. A continuación, se profundiza en esta restricción:

Costos de producción

Los costos de producción incluyen los gastos asociados a la adquisición de materiales, mano de obra, herramienta a usar, el alquiler de instalaciones locativas, gastos de energía eléctrica, transporte, y otros recursos necesarios para la fabricación del dispositivo. Por ello, se presenta un análisis de costos, el cual contemplara al detalle cuales son los costos aplicables a este dispositivo, para ser buscar eficiencias en la cadena de suministro, optimizar los procesos de fabricación y gestionar adecuadamente los recursos que pueden contribuir a reducir a los costos de fabricación.

Financiamiento inicial

El prototipo se desarrollará y producirá con recursos propios. Pero se pretende buscar socios inversionistas que les interese este tipo de productos nuevos para invertir. También, se solicitarán préstamos bancarios y apoyos públicos para incentivar el sector energético en el país.

Recursos financieros para la comercialización

Adicional a los costos de producción, es necesario invertir recursos en actividades de marketing, promoción y distribución. Esta se contempla como una restricción, pues de debe contar con presupuesto para también llevar y presentar el dispositivo en ferias nacionales de productos industriales y del hogar, y así alcanzar los clientes potenciales.

Análisis de rentabilidad

Se estima que este producto se venda a no menos de \$2.000.000 COP, y se hace necesario realizar una evaluación detallada para la producción y costos de volúmenes a gran escala del dispositivo.

Incentivos

De acuerdo a los incentivos tributarios para proyectos de generación limpia y fuentes no convencionales, este proyecto no aplica para incentivos tributarios, por ello se estima que la no habrá reducción al valor estimado.

5. Competencia

De acuerdo al análisis de competencia en el mercado colombiano, no existe ningún dispositivo similar que se comercialice en el mercado nacional, por ello, se debe patentar y realizar una estrategia de marketing para la venta de este producto.

6. Infraestructura

Una de las restricciones fuertes es contar con la infraestructura adecuada a la hora de fabricar el dispositivo. Por ello, se hace necesario buscar proveedores que les interese este tipo de proyectos y puedan garantizar calidad en sus acabados, pues el caso del cofre que aloja a todos los dispositivos eléctricos y electrónicos, esto para cumplir con los estándares del mercado y satisfacer al usuario final. A continuación, se detallan estas restricciones:

Suministro de energía eléctrica

Para el dispositivo, inicialmente se plantea que sea implementado en las zonas interconectadas del sistema nacional de energía eléctrica, pues no se tiene en el alcance del proyecto que se produzca para zonas no interconectadas, pues esto conllevaría a un incremento de del equipo y una viabilidad técnica adicional no explorada. En este sentido, para las áreas remotas que no cuenten aun con fluido eléctrico no es viable este producto y de ser consideradas, se deberá explorar fuentes de energías renovables y baterías dependiendo la zona del país.

Red de distribución

El prototipo solo es compatible con la red de baja tensión, pues su base de conexión eléctrica es a 120VAC, lo que implicaría que sería compatible con cualquier red de baja tensión de los diferentes comercializadores de energía en el país, entonces, no podrá ser alimentado con otros niveles de tensión, pues podría quemar el dispositivo y perdería la garantía por mala conexión.

Infraestructura de carga

La carga que se debe aplicar a el prototipo inicial es máxima de 1hp, para lo cual de disponen de protecciones capaces de responder si se conecta una carga mayor al equipo. Garantizando así la seguridad eléctrica y a vida útil del dispositivo.

Logística de distribución

Conociendo las vías del país, es fundamental que, al momento de enviar el dispositivo en un medio de transporte de carga, este cuente con las protecciones necesarios, pues, cuando se entrega el equipo en buen estado y por cuestiones se rompe o daña en el camino, se incurre en una garantía. Lo que ocasiona un desgaste administrativo y operático para dar solución a las averías por transporte de equipos. Es así, que para este dispositivo en particular se plantea un embalaje en huacal, el cual sea en madera reutilizada de estibas u cualquier otro proceso de envío. Además, de aseguran los envíos con el valor del equipo, lo que garantizaría que la mercancía no se tenga perdida en caso tal de que pase algo en las vías.

Servicio técnico y soporte

El servicio técnico puede ser algo que se maneje con una red de electricistas a nivel nacional, los cuales se les pague el servicio de revisión, diagnósticos y reparación de fallas. Además, en los lugares donde no se cuente con personal capacitado, se blindará una capacitación a los consumidores finales, con el fin de que las personas estén capacitadas para dar solución a sus propios dispositivos.

Red de proveedores y cadena de suministro

El dispositivo creado, contará con repuestos de fácil acceso y comercialización, pues de ello dependerá la calidad del producto final y la disponibilidad en Colombia. Así pues, se realizarán alianzas con proveedores internacionales con presencia local en Colombia.

7. Sociales

Contemplando las restricciones sociales en Colombia, uno de los factores a considerar sin duda es el desarrollo social de la población, pues de ello dependerá la demanda del dispositivo y su implementación e incursión en el mercado. Es por ello que se plantean aspectos a considerar.

La aceptación y demanda

Es importante destacar, que la necesidad de consumir un dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica de monofásica a trifásica se puede generar a partir de publicidad y medios de comunicación. También, cambiar las tendencias sociales por dejar de adquirir un equipo que hará

parte de sus electrodomésticos diarios. Así las cosas, si la tendencia es consumir de acuerdo a la aceptación, pues, se esperaría que la demanda pueda ser exponencial.

Impacto y beneficio social

Este equipo puede mejorar la calidad de vida de sus usuarios, pues podrán adquirir mejores equipos para conectar en trifásica, lo que haría apetecido el proyecto. Al mismo tiempo contribuye con el desarrollo sostenible y contribuye al bienestar de la sociedad colombiana.

Seguridad y salud

Se garantizará que los usuarios, al momento de tener contacto con el dispositivo realicen sus actividades de forma segura, pues si algo ocurre inconveniente, se puede accionar una parada de emergencia para parar en proceso en la tapa frontal del dispositivo.

Responsabilidad social corporativa

Se deberá promover el dispositivo de forma sana, teniendo en cuenta las buenas prácticas empresariales, respetando los derechos del trabajador, y se promoverá realizar estos dispositivos en donde el cliente pueda ensamblarlo. Esto puede, minimizar el impacto generado por la modificación.

Cultura y diversidad

Entendiendo el contexto colombiano, el dispositivo eléctrico es planteado para adaptarse a las diferentes culturas, necesidades y preferencias de distintos grupos sociales, así pues, que el color del dispositivo es inicialmente metálico, pero ello puede cambiar a solicitud del consumidor y será cobrado como un valor adicional al precio estándar de dicho producto.

Educación y accesibilidad

El diseño del dispositivo será de fácil comprensión y cualquier persona lo podrá manipular, siempre cumpliendo con algunos requisitos básicos como por ejemplo no manipularlo bajo los efectos de alcohol ni sustancias alucinógenas, además, el equipo se entregara al usuario final con una corta explicación de operación, y a futuro se desarrollara un manual de usuario, el cual puede ser traducido a cualquier lengua interna en Colombia, teniendo en cuenta los grupos indígenas y sus diferentes lenguas.

Responsabilidad ambiental

Desde el diseño, este dispositivo esta propuesto para cumplir con la protección del medio ambiente y la sostenibilidad. Si se piensa en esto, se logra utilizando eficientemente la energía eléctrica y cumpliendo con los lineamientos de pérdidas, y el uso eficiente del recurso. Es por

ello, que, si el dispositivo no está en uso se plantea instalar un sensor que garantice la parada por no consumo del dispositivo, garantizando así que cuando no esté en uso, sea inteligente y apague el proceso.

8. Económicas

De acuerdo a las restricciones económicas que se evidencian para este proyecto, es crucial a considerar aspectos económicos tanto para la población dirigida, como la producción misma, de esta manera se consideran los más relevantes para la viabilidad de este dispositivo y se plantean así:

Costos de producción

Es importante resaltar que el costo de los materiales puede variar de acuerdo a la marca seleccionada para el dispositivo, y se trabajara inicialmente con marca como Schneider Electric, Siemens, Lovato Electric, ABB, Legrand y Danfoss, inicialmente, se fabricara el dispositivo en garaje, lo que hará que el dispositivo sea más económico y accesible al usuario final.

Competitividad de precios

De acuerdo a las investigaciones previas del mercado colombiano, no existe ni esta patentado es dispositivo, por lo que la oportunidad de comercializarlo se vuelve viable, además, el consumo dependerá de los precios con el que se comercialice contemplando un margen de ganancia de 25%. No deberá sobrepasar este margen en ningún momento.

Capacidad adquisitiva

El poder adquisitivo para la población vulnerable al que está dirigido este dispositivo puede ser difícil de mantener, se debe evaluar otro mecanismo, por el cual la población más necesitada pueda adquirir, ya sea a través de ayudas desde el gobierno local. Sin embargo, es más viable para los estratos 3 en adelante que puedan acceder al dispositivo por el valor final de venta. Se debe diseñar los dispositivos de acuerdo a la capacidad económica de cada población, pues se puede reducir costos sin variar la calidad y la capacidad. Ahora bien, por cada 10 dispositivos vendidos se puede regalar 1 a una familia de estrato 0, 1 y 2.

Financiamiento

El dispositivo se puede entregar con el 50% de su valor y el otro 50% se puede financiar hasta 3 meses, garantizando que se cubra el precio de la inversión inicial. También se buscarán alternativas de financiación por medio de almacenes de cadena u otro tipo de garantías legales,

las cuales garanticen que nunca se pierda el recurso económico y mantener la operación del negocio.

Políticas fiscales y arancelarias

Los impuestos de este producto pueden ser variables de acuerdo a los costos de compra de los productos o insumos que se instalan en el mismo, es por ello que el precio del dólar por ejemplo afecta los costos directos, para contrarrestar esto, se deberá garantizar tener un stock de estos insumos, para controlar la variación volátil de los costos, es importante aclarar que para este producto será obligado a gravar IVA (Práctica & Valor Agregado, 2013).

Rentabilidad y retorno de la inversión

De acuerdo con la inversión inicial promedio realizada para un aumento de carga, esta varía de acuerdo a la distancia de acometida, pero un estimado de la media es de \$12.000.000 COP, lo que significaría que es muy rentable adquirir el equipo de aproximadamente \$2.000.000 COP y el retorno de la inversión no aplica.

9. Ambientales

De acuerdo a las restricciones ambientales a nivel nacional, en Colombia existen regulaciones y normativas ambientales que promueven la sostenibilidad y la protección ambiental. Es así, que se tendrán en cuenta para el diseño y producción del prototipo.

Norma de emisiones

Según la norma de emisiones, (Republica de Colombia, 1995) se da cumplimiento al decreto 948, artículo 47, en donde se prohíbe el ruido por maquinaria. Así las cosas, este prototipo no genera ruido, garantizando los estándares ambientales y reduciendo el impacto a la calidad auditiva, tanto para los operarios que lo manipulan, como para el entorno en el que se instale.

Eficiencia energética

En Colombia, se promueve la eficiencia energética como una medida para reducir el consumo de energía y mitigar el cambio climático, es por eso que el prototipo propuesto satisface esta restricción al reducir las pérdidas de energía de acuerdo a la selección de los conductores eléctricos usados y dimensionados de una forma eficiente, dando cumplimiento al Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética (UPME - Unidad de Planeación Minero Energética, 2016).

Uso de materiales sostenibles

Se pretende a futuro fomentar el uso de materiales sostenibles y así aportar a la reducción de residuos en la fabricación del prototipo y producto final. Para cumplir con esta restricción ambiental se plantea usar un cofre de materiales biodegradables, pero inicialmente se construirá en metal lamina calibre 16. Esto con el fin de dar cumplimiento al decreto 1713 (Gobierno de Colombia, 2013).

Impacto ambiental durante la vida útil

Se considera que el impacto ambiental que dura el prototipo es cero, pues la duración aproximada de todos los elementos usados como contactores, cables y demás pueden ser reciclados y dar un uso adecuado de disposición final, pero los fabricantes de los equipos deben presentar buenas prácticas en la estación de las materias primas para continuar con la línea de respaldo de reducción de impacto ambiental. Un ejemplo de ello es el cable, el cual tiene un recubrimiento plástico que se puede reutilizar, al mismo tiempo el cable es de cobre, lo cual lo hace 100% reciclable y reutilizable de acuerdo al Código Nacional de Recursos Naturales (Presidencia de la Republica de Colombia, 1974).

Cumplimiento de estándares internacionales

El prototipo de ser exportado, deberá cumplir con los estándares internacionales para equipos eléctricos en otros países, pues es probable que deba cumplir con estándares ambientales, tales como las directivas de la Unión Europea en cuanto a la restricción de sustancias peligrosas (RoHS, 2021).

Metodología para la selección y desarrollo de la solución

Para realizar correctamente un dispositivo eléctrico, es necesario la elaboración de una investigación previa, la cual contenga un contexto más amplio de lo que ya existe o no. Ese es el punto inicial de partida. ahora bien, superada esta etapa se debe modelar el dispositivo de tal forma que sea coherente con la investigación y que satisfaga una necesidad latente en la población. Para este dispositivo se tiene en consideración su diagrama unifilar, su diagrama de control, esquema de ensamble y carga a alimentar.

Así las cosas, después de analizar todas las restricciones que pueden influir en Colombia y las normas internacionales, entonces se diseñara un dispositivo eléctrico de conversión de energía eléctrica monofásica a trifásica que sea amigable con el medio ambiente, considerando las pérdidas a máximo 10% por encima o debajo al voltaje permitido en baja tensión 127VAC de alimentación 208VAC de salida en el dispositivo a una frecuencia de 60Hz.

Se seleccionan los materiales que sean comerciales y cuenten con fabricación nacional, Schneider electric y Siemens, para las protecciones termomagnéticos, bloques de distribución, contactores y guardamotors, además, se seleccionaran conductores eléctricos que estén certificados con certificado de conformidad de producto colombianos, tales como: Procables, Centelsa o Nexans. También, se usarán cofres metálicos o plásticos, dependiendo la aplicación e instalación. Los cuales podrían ser de las marcas Legrand, Steck o cualquier marca certificada en el mercado.

Se cumplió con las especificaciones RETIE, para la fabricación del dispositivo, en cuanto a distancias de seguridad, niveles de tensión, coordinación de protecciones y todo lo dispuesto en la normatividad colombiana.

Se consideró que este dispositivo puede ser viable si se requiere energía trifásica en la instalación y no existe tal tensión, en caso de que exista es más viable realizar una instalación interna desde el tablero de distribución hacia el punto a alimentar. De no contar con energía eléctrica en el tablero de distribución es donde este dispositivo se puede usar para la conversión de energía eléctrica monofásica a trifásica.

Para esta solución de ingeniería, cabe resaltar que la más usada y conocida en el mercado nacional es el aumento de carga eléctrica, lo que consiste en adicionar dos conductores eléctricos (dos fases) al sistema existente, adicionalmente, cambiar el tablero eléctrico de distribución, medidor de energía eléctrica y las protecciones, lo que resulta una solución de ingeniería muy

costosa. Pero el dispositivo solo se conecta a la carga ya existente y transforma el voltaje primario en energía eléctrica trifásica, lo que resulta mucho más económico.

Análisis de costos

Se consideran los costos de los materiales a usar con respecto a los actuales precios de mercado, estos deben ser actualizados cada vez que se cambie el stock de materiales, así como también las múltiples variables a considerar para la producción y fabricación y se presenta a continuación:

Materiales

De acuerdo al diagrama unifilar se saca el listado de materiales y se cotizan los precios de los materiales, de los cuales se selecciona el mejor precio de los proveedores consultados.

Tabla 9

Costo de materiales usados en dispositivo

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor incluido IVA COP	Precio final COP
Breaker riel de 1x6A	2	Unidad	\$10.875	\$21.750
Breaker riel de 1x16A	1	Unidad	\$11.095	\$11.095
Breaker riel de 3x16A	1	Unidad	\$33,560	\$33.560
Elevador de Voltaje	1	Unidad	\$145.000	\$145.000
Contactador 9 A	1	Unidad	\$37.500	\$37.500
Cable 18 AWG	5	Metros lineal	\$1.200	\$6.000
Dispositivo frecuencia	1	Unidad	\$550.000	\$550.000
Cable 12 AWG	3	Metro lineal	\$2.300	\$6.900
Sistema de Control	1	Global	\$35.000	\$35.000
Inversión total en materiales				\$881.805

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Costos unitarios de acuerdo al diseño del dispositivo en la ilustración 3.

De acuerdo a la tabla 9, se estima que el costo total para los materiales a implementar es de \$881.805 pesos colombianos.

Mano de obra

Es necesario contar con mano de obra calificada, para ello se estima el precio de ensamble que se realiza en medio día entre 1 auxiliar de electricidad y un técnico electricista.

Tabla 10

Costo de mano de obra para fabricar el dispositivo

Personas involucradas	Tiempo invertido (Horas)	Costo de día trabajo	Valor estimado COP
Ingeniero supervisor	0.5	\$200.000	\$12.500
Técnico electricista	4	\$80.000	\$40.000
Auxiliar electricista	4	\$40.000	\$20,000
Costo total en mana de obra			\$82.500

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Costos unitarios de cada mano de obra que interviene en la fabricación del dispositivo.

Para este análisis, se tiene en cuenta que un ingeniero realiza otras actividades en la empresa de otros proyectos, y realiza un recorrido de media hora al día a la fabricación del dispositivo, que ya con materiales en terreno y todo lo necesario los operarios electricistas conformado por un técnico y un auxiliar, ensamblan en 4 horas del día. Todo lo anterior, se estima que tenga un valor de \$82.500 pesos colombianos.

Costo de herramienta

El valor de la herramienta, se estima de acuerdo al uso que se le da al día, de donde se presenta todo el valor y se estima que porcentaje corresponde al ensamble y fabricación del dispositivo.

Tabla 11

Costo de herramienta para fabricar el dispositivo

Nombre de la herramienta	Cantidad	Valor incluido IVA COP	Precio final COP
Taladro inalámbrico	1	\$139.900	\$139.900
Pelacables	1	\$28.900	\$28.900
Destornillador pala	2	\$4,100	\$8.200
Destornillador estrella	2	\$4.900	\$9.800
Marco de segueta	1	\$32.900	\$32.900
Alicate	2	\$36.900	\$73.800
Extensión	1	\$25.000	\$25.000
Pinza voltiamperimétrica	1	\$125.765	\$125.765
Cortafrio	1	\$18.900	\$18.900
Valor total de herramienta			\$463.165

Fuente: Elaboración propia.

Nota: estimación del costo total de la herramienta, el 5% va destinado para fabricar el dispositivo.

El valor de herramienta estimado para cada dispositivo se fabrique será de \$23.158 pesos colombianos.

Otros cobros asociados a la fabricación del dispositivo

Los gastos de energía eléctrica corresponderán al uso de la herramienta eléctrica como el taladro, así mismo, el uso de la iluminación y todo aquello que se ejecute en el tiempo de producción del prototipo. Se estima que este valor puede ser de \$5.000. Por otra parte, se presentan tabla con otros costos asociados:

Tabla 12

Otros costos asociados a la fabricación

Costos adicionales estimados	Estimación de costo (COP)
Energía eléctrica	\$3.900
Agua potable	\$2.200
Consumibles	\$24,500
Transporte	\$12.000
Arriendo	\$5.840
Aseo	\$730
Publicidad	\$2.000
Compras	\$30.000
Total otros cobros	\$81.170

Fuente: Elaboración propia.

Nota: otros cobros, hace referencia a todo lo que implica fabricar un solo dispositivo en el tiempo descrito de la tabla 10.

De esta manera se estipula que toda la operación para la producción de un solo dispositivo conlleva a unos cobros asociados a \$81.170 pesos.

Conclusiones

Se desarrolla un dispositivo capaz de transformar la energía eléctrica monofásica a trifásica, pero se determina que no es viable para hogares de bajos recursos. Pues la capacidad de adquisición no les alcanza para adquirir el dispositivo en Colombia.

Se establece que la forma correcta para fabricar el dispositivo es la alimentación de energía eléctrica monofásica, pero si ya existe energía eléctrica trifásica, no se hace necesario el equipo.

El dispositivo puede ser adquirido por cualquier persona que cuente con los recursos económicos sin limitación, pero entendiendo el contexto social colombiano es más viable que las personas desde estrato 3 en adelante lo puedan comprar. Este dispositivo contara con una potencia de 750 Wh que equivale a 1hp, con una frecuencia de 60Hz.

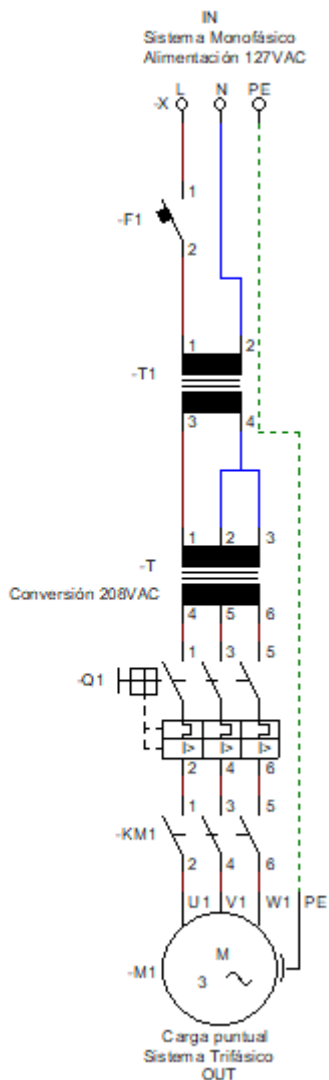
El prototipo se diseña y se pone a prueba durante una semana, funcionando con un motor de 1 hp, además, el voltaje de alimentación es una de las restricciones que tendría el equipo, pues se limita a 127V en Corriente alterna (AC) y puede variar 10% por debajo o encima para su correcto funcionamiento, si no se cuenta con estos valores de referencia, es probable que el dispositivo no funcione correctamente. Así mismo, el dispositivo puede ser modificado en fabricación de acuerdo a la conexión del cliente (tipos de receptáculo), después de ser entregado al cliente final y requiera de cualquier modificación se cobrará como adicional cualquier tipo de modificación. También, se le dará una capacitación al usuario final, para que pueda dar un correcto uso del dispositivo y en caso de que presente alguna falla pueda identificar y reportarlo al servicio técnico especializado de cada ciudad. Es por ello, que se proyectan alianzas estratégicas para comerciales con tiendas, soporte técnico, y distribución en las diferentes ciudades del país.

Se modela el prototipo, de tal forma que satisfaga el cliente que lo requiera.

Inicialmente se diseña solo a una potencia, pero puede ser modificado de acuerdo a la carga que necesite alimentas el usuario final, no sin antes realizar un estudio correcto de carga y uso y a continuación se presenta el diseño de dispositivo por medio de un diagrama unifilar:

Ilustración 3

Diagrama unifilar de potencia para dispositivo propuesto.



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Este diagrama unifilar de potencia, corresponde al dispositivo eléctrico propuesto para la conversión de energía eléctrica monofásica a trifásica de acuerdo al diseño y restricciones vigentes.

Se presenta un análisis de viabilidad económica que contempla los valores totales de la fabricación del prototipo y las ganancias por venta.

Tabla 13

Costo total de dispositivo eléctrico

Descripción de costo	Valor correspondiente
materiales	\$881.805
Mano de obra	\$82.500
Herramienta empleada	\$23.158
Otros cobros asociados a la producción	\$81.170
Total inversión por cada dispositivo	\$1.068.633

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Esta tabla muestra que el margen de ganancia para este dispositivo es cercano al 50%.

Se realizan pruebas de voltaje y tensión con pinza fluke 200+, y no se evidencia que exista anomalías asociadas al prototipo.

Se concluye que una de las mejoras que se pueden implementar en el dispositivo es la adaptabilidad de panel solar fotovoltaico y baterías para alcanzar a las zonas no interconectadas en el país.

Referencias

- Ballinger, J. T., & Shugar, G. J. (2011). BASIC ELECTRICITY. In *Chemical Technicians' Ready Reference Handbook* (5th Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071745925/chapter/chapter10>
- Comisión de regulación de Energía y Gas. (2002). Resolución CREG 082 de 2002. In *Resolución CREG-082* (p. 135).
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d651c206e178624b0525785a007a646c/\\$FILE/ATT5O817/Creg082-2002.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d651c206e178624b0525785a007a646c/$FILE/ATT5O817/Creg082-2002.pdf)
- Comisión de Regulación de Energía y Gas - CREG. (1995). Resolución CREG No. 025 de 1995. *Comisión de Regulación de Energía y Gas*, 141.
[http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/\\$FILE/Cr025-95.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/2b8fb06f012cc9c245256b7b00789b0c/3a940408d14bf2e80525785a007a653b/$FILE/Cr025-95.pdf)
- Congreso de la República. (2013). Ley 1672 de 2013 - Título 7A Decreto 1076. *Compilado En El Título 7A "Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos" Del Dec. 1076 de 2015 "Decreto Único Reglamentario Del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible,"* Art. 4.
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf
- CREG, & MINENERGIA. (2012). Cómo se determina el valor de la factura del servicio del servicio de Energía eléctrica. *Folleo Informativo, 2*.
[http://www.creg.gov.co/phocadownload/publicaciones/2015/cmo se determina el valor de la factura del servicio de energia elctrica.pdf](http://www.creg.gov.co/phocadownload/publicaciones/2015/cmo%20se%20determina%20el%20valor%20de%20la%20factura%20del%20servicio%20de%20energia%20elctrica.pdf)
- Dávila, H., & Villa, M. (2010). *Norma NTC 2050 Código Eléctrico Colombiano*.
- Dirección Nacional de Derecho de Autor. (2016). *Propiedad Intelectual*. 1–15.
- Eismin, T. K. (2019). POLYPHASE AC CIRCUITS. In *Aircraft Electricity and Electronics* (7th Edition). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260108217/toc-chapter/chapter5/section/section17>
- Gillespie, L. K. (Ed.). (2017). *Introduction* (1st Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259587450/front-matter/preface4>
- Gobierno de Colombia, M. (2013). Adicionado por el Decreto Nacional 838 de 2005. Para los efectos de este Decreto, se adoptan las siguientes definiciones: *Minambinete*, 1–40.
[file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Norma tecnica colombiana NTC5167.pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/Norma%20tecnica%20colombiana%20NTC5167.pdf)

- Hartwell, F. P. (2021). Conversion factors. In *American Electricians' Handbook* (17th Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260457919/toc-chapter/chapter1/section/section3>
- ICONTEC. (2013). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 1340 -. 1340*, 5.
- ICONTEC. (2015). *Norma Tecnica Colombiana NTC-ISO 9001-2015. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD*. 1–47.
- Joshi, H. (2008). Protection Relaying. In *Residential, Commercial and Industrial Electrical Systems: Protection, Testing and Commissioning* (First edit). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070620988/chapter/chapter10>
- Kanoğlu, M., & Çengel, Y. A. (2020a). Electric Motors. In *Energy Efficiency and Management for Engineers* (1st Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260459098/chapter/chapter11>
- Kanoğlu, M., & Çengel, Y. A. (2020b). Introduction to Energy Efficiency. In *Energy Efficiency and Management for Engineers* (1st Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260459098/chapter/chapter1>
- Kennedy, B. W. (2000). Power Quality Characteristics. In *Power Quality Primer* (1st Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071344166/chapter/chapter2>
- Lima Velasco, J. I. (2003). *Ahorro de energia electrica: implementacion metodologica*. Grupo Editorial Exodo. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaean/titulos/128628>
- Mago, M. (2008). *Dispositivos para el mejoramiento de la calidad de la energia electrica: STATCON y DVR*. *Revista Ciencia e Ingenieria*. 29(1), 2008 (p. 10). Red Universidad de Los Andes. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecaean/titulos/17687>
- Mejía, G. (2014). Estudio comparativo entre la legislación de eficiencia energética de Colombia y España. *Revista EAN*, 77, 122–135. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602014000200006&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Miller, R., & Miller, M. R. (2014). Switches. In *Industrial Electricity and Motor Controls* (2nd Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071818698/chapter/chapter6>
- Narimatsu, Y. (2000). Impedance Measurement Instruments. In C. F. Coombs Jr. (Ed.), *Electronic Instrument Handbook* (3rd Editio). McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070126183/chapter/chapter26>

- Neitzel, D. K., Capelli-Schellpfeffer, M., & Winfield, A. (2019). LOW-VOLTAGE EQUIPMENT. In *Electrical Safety Handbook* (5th Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260134858/toc-chapter/chapter10/section/section3>
- Práctica, C., & Valor Agregado, A. (2013). *Impuesto (IVA)*. www.kimpres.com
- Presidencia de la Republica de Colombia. (1974). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Decreto Ley 2811 de 1974. *Documento Ley*, 544.
<http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>
- Republica de Colombia, M. de A. (1995). *Decreto 948 1995*. 41.876(41).
- RETIE. (2013). RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes. *Resolucion 90708*, 127.
- RoHS, D. (2021). *Conformidad con las Normativas RoHS Normativas RoHS*. 2003, 1–3.
- Schexnayder, C. J., & Fiori, C. M. (2021). Electrical construction. In *Handbook for Building Construction: Administration, Materials, Systems, and Safety* (1st Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781260456882/chapter/chapter12>
- Slater, N. (2003a). PLANNING FOR ELECTRICAL DESIGN. In *Handbook of Electrical Design Details* (2nd Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071377515/chapter/chapter1>
- Slater, N. (2003b). POWER SYSTEM EQUIPMENT. In *Handbook of Electrical Design Details* (2nd Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071377515/chapter/chapter3>
- UPME - Unidad de Planeación Minero Energética. (2016). Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017-2022. *Ministerio de Minas y Energía*, 1–157.
http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- Wang, S. K. (2001). Energy management and global warming. In *Handbook of Air Conditioning and Refrigeration* (2nd Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070681675/chapter/chapter25>
- Yang, K., & El-Haik, B. S. (2009). Product Development Process and Design for Six Sigma. In *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development* (2nd Editio). McGraw-Hill Education.
<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071547673/chapter/chapter3>