**Corrección del factor de potencia mediante lógica difusa**

Matías Olivares

Edgar Sazo

Académico guía: Leonardo Moya

**Santiago − Chile**

**AÑO 2023**

### índice General

[I. índice General 2](#_Toc154578502)

[II. Índice de Figuras 4](#_Toc154578503)

[III. Índice de tablas 5](#_Toc154578504)

[IV. Índice de Anexos 6](#_Toc154578505)

[I. Agradecimientos: 7](#_Toc154578506)

[II. Resumen ejecutivo: 8](#_Toc154578507)

[III. Introducción 10](#_Toc154578508)

[IV. Ingeniería conceptual 10](#_Toc154578509)

[Objetivo general: 10](#_Toc154578510)

[Objetivos específicos: 11](#_Toc154578511)

[Planteamiento del problema: 11](#_Toc154578512)

[¿Qué es el factor de potencia? 11](#_Toc154578513)

[¿Porque se produce un bajo factor de potencia? 12](#_Toc154578514)

[Soluciones en el mercado: 14](#_Toc154578515)

[14](#_Toc154578516)

[Solución propuesta y tecnologías aplicadas: 15](#_Toc154578517)

[Dispositivos a usar: 15](#_Toc154578518)

[Normativas en chile: 19](#_Toc154578519)

[Criterios de evaluación económica y de cálculo de rentabilidad. 20](#_Toc154578520)

[Costo Total: 22](#_Toc154578521)

[Mantenimiento y operación: 22](#_Toc154578522)

[Descripción de procesos básicos: 23](#_Toc154578523)

[23](#_Toc154578524)

[Servicios auxiliares: 24](#_Toc154578525)

[Productos y capacidad de producción 24](#_Toc154578526)

[Distribución de áreas de trabajo: 24](#_Toc154578527)

[V. Ingeniería Básica 25](#_Toc154578528)

[Alcance del proyecto. 25](#_Toc154578529)

[Establecer las capacidades y características de los productos y servicios del proyecto. 26](#_Toc154578530)

[Aspectos normativos en medioambiente y seguridad. 26](#_Toc154578531)

[Filosofías operativas. 29](#_Toc154578532)

[Selección de materiales y equipos de acuerdo con especificaciones. 30](#_Toc154578533)

[Aspectos de los criterios de eficiencia energética y digitalización. 31](#_Toc154578534)

[VI. Ingeniería a detalle 32](#_Toc154578535)

[Definir los métodos constructivos, criterios de aceptabilidad, pruebas, ensayos, etc. 32](#_Toc154578536)

[Aspectos geométricos y dimensiones: 40](#_Toc154578537)

[Definir todos los requerimientos de ensayos y pruebas de equipos y sistemas que comprenden el proyecto. 41](#_Toc154578538)

[VII. Implementación y documentación: 42](#_Toc154578539)

[VIII. Plan de operación y mantenimiento: 48](#_Toc154578540)

[IX. Conclusiones: 50](#_Toc154578541)

[X. Anexos 51](#_Toc154578542)

[XI. Referencias 72](#_Toc154578543)

### Índice de Figuras

[Ilustración 1 Triangulo de Potencias 9](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017592)

[Ilustración 2 Representación del desfase de las cargas. 10](#_Toc145017593)

[Ilustración 3 Panel de SVG tipo rack. 11](#_Toc145017594)

[Ilustración 4 Motor sincrono. 11](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017595)

[Ilustración 5 Banco de Capacitores. 12](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017596)

[Ilustración 6 Raspberry Pi Pico. 12](#_Toc145017597)

[Ilustración 7 Pic18F4550. 13](#_Toc145017598)

[Ilustración 8 STC -013. 14](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017599)

[Ilustración 9 ZMPT101B. 14](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017600)

[Ilustración 10 Display LCD. 15](#_Toc145017601)

[Ilustración 11 Modulo relé. 15](#_Toc145017602)

[Ilustración 12 Diagrama de bloques de proceso. 20](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 13 Filtro pasa banda con topología sallen-key. 29](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 14 CTO. cruce por cero. 30](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 15 desfase entre señal senoidal y señal cuadrada. 31](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 16 Señales en fase. 32](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 17 Señales desfasadas. 33](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 18 Factor de potencia, desfase 0 grados.. 34](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 19 Factor de potencia desfase 30 grados... 34](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 20 Factor de potencia desfase 80 grados.. 35](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 21 Interfaz.. 3](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)6

[Ilustración 22 Filtro pasa banda.. 42](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 23 Detector de cruce por cero y rectificador de precisión 43](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 24 Detector de cruce por cero para señal de voltaje.. 44](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 25 Etapa de potencia.. 45](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 26 Primer universo de entrada.. 46](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 27 segundo universo de entrada.. 46](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

[Ilustración 28 Iuniverso de salida.. 47](https://inacapmailcl-my.sharepoint.com/personal/matias_olivares15_inacapmail_cl/Documents/Documents/Ing.Elec%20y%20sist.inte/proyecto%20titulo/Informe%20Proyecto.docx#_Toc145017603)

### Índice de tablas

Tabla 1 MANO DE OBRA 15

Tabla 2 COSTE DE FABRICACION 16

Tabla 3 recursor de software 16

Tabla 4 coste total 17

Tabla 5 Mantenimiento 17

Tabla 6 Eficiencia energetica 28

Tabla 7 Matriz de reglas difusas 47

### Índice de Anexos

Anexo 1 (Esquematico FP) 39

Anexo 2 (conexión microcontrolador) 40

Anexo 3 (conexión Reles) 41

Anexo 4 (conexión alimentacion) 42

Anexo 5 (Codigo Fuente) 43

Anexo 6 (Codigo puerto com) 46

Anexo 7 (Planos empaquetado) 47

Anexo 8 (cotizaciones) 51

Anexo 9(carta gantt) 53

Anexo 10 (pcb pic) 55

Anexo 11 (pcb medición) 56

Anexo 12 (pcb Alimentación) 57

Anexo 13(pcb reles) 58

### Agradecimientos:

La realización de este proyecto ha sido posible gracias a la invaluable ayuda y apoyo de diversas personas, a quienes deseamos expresar nuestro sincero agradecimiento.

En primer lugar, extendemos nuestro agradecimiento al profesor Leonardo Moya, nuestro guía en este proyecto. Su orientación experta y el empujón constante fueron fundamentales para la creación y desarrollo de nuestro proyecto. Su dedicación y conocimientos han dejado una marca indeleble en nuestro trabajo.

Asimismo, queremos expresar nuestro agradecimiento al profesor Felipe Ortiz, cuyos consejos, ayuda y sugerencias fueron vitales para la realización exitosa de este proyecto. Su experiencia y perspectiva enriquecieron significativamente nuestro enfoque y metodología.

A nuestros padres y familiares, les estamos profundamente agradecidos por el apoyo incondicional y el constante soporte brindado a lo largo de este proceso. Su aliento ha sido una fuente inagotable de motivación y fortaleza.

Cada uno de ustedes ha desempeñado un papel crucial en este proyecto, y estamos agradecidos por su contribución. Este logro no habría sido posible sin su generosidad y colaboración.

Y, por supuesto, no podríamos pasar por alto nuestro sincero agradecimiento a INACAP y Pañol. Por su disposición de laboratorios y materiales.

¡Gracias por esa experiencia inolvidable!

### Resumen ejecutivo:

**Sistema dinámico de corrección del factor de potencia, mediante lógica difusa**

**descripción del proyecto:**

El dispositivo se concibe con el propósito de mejorar la eficiencia energética para ello se propuso que pueda controlar la corrección del factor de potencia en la medida que sea requerido en la red eléctrica en la cual se implementa, para llevar a cabo este fin se ha diseñado un sistema electrónico que combina las propiedades de una circuitería analógica y una parte digital, donde esta primera se basa en el empleo de comparadores y amplificadores operacionales para el acondicionamiento de las señales tanto de voltaje como la para la señal analógica a la corriente de red, de este modo se hacen aptas que para ser leídas por la circuitería digital donde su principal elemento es un microcontrolador PIC18 f4550 de Microchip electronics, el cual se encarga de capturar las señales ya acondicionadas, procesarlas y accionar los elementos de control, gestionar él envió de datos de la red eléctrica para ser visualizados mediante una interfaz en un computador o en un display LCD empotrado, el método para hacer la corrección del factor de potencia se ha desarrollado un algoritmo de lógica difusa con el cual es capaz de discernir si debe o no hacer una corrección, como actuador consta de un módulo de relays que conecta a la red los elementos de un banco de capacitores hasta acercarse al factor de potencia deseado asi como también desconectarlos en caso de no ser requeridos.

**Objetivos:**

Objetivo primario: Diseño e implementación de un sistema de control dinámico para la corrección del factor de potencia.

Objetivos secundarios.

Aplicación de lógica difusa para para el control de la corrección de factor de potencia.

Medir corriente y voltaje RMS red la red eléctrica.

Muestra de datos de forma gráfica para el usuario.

Diseño y construcción con materiales u componentes disponibles de forma local.

**Justificación:**

El fin del desarrollo e implantación del dispositivo del dispositivo de control del factor de potencia, es corregir este de forma dinámica este, es decir en función de lo que requiere la red eléctrica debido a que es capaz de obtener el factor de potencia actual en la red de forma rápida y corregirlo o acercándolo a un valor deseado, esto es especialmente valioso en entornos donde los elementos reactivos que se conectan a la red eléctrica tiene distintos ciclos de trabajo, por diversas razón como por ejemplo, motores de máquinas de refrigeración los cuales no funcionan contantemente si no que por ciclos, también otros tipos de maquinaria eléctrica como tornos y herramientas eléctricas, que son empleados según la carga de trabajo, lo que implica que implica variaciones del factor de potencia, es por estas razones que es necesario el uso de un control dinámico del factor de potencia, lo que lo hace más versátil que otras soluciones más tradiciones como el uso de bancos de condensadores fijos o motores síncronos.

**Alcances del proyecto:**

Principalmente el desarrollo del proyecto está destinado a controlar la corrección el factor de potencia deficiente de una red monofásica debido a cargas inductivas conectadas esta, es decir manejar los capacitores que se conectaran a esta para compensar, es por ello que su eficacia esta estrictamente limitada a los elementos reactivos que se conecten a la red eléctrica donde se implemente el dispositivo, es responsabilidad del usuario dimensionar esto para lograr un correcto funcionamiento del sistema, es por ello que no se contempla suministrar los capacitores para un usuario final.

Lo anterior quiere decir que lo que principalmente el desarrollo del proyecto estuvo destinado al desarrollo de un controlador del factor de potencia, lo que solo implica desarrollar el dispositivo, mas no otros dispositivos externos, tales como contactores, capacitores u otros elementos.

Beneficios esperados:

El desarrollo de este proyecto tiene una serie de beneficios intangibles e intangibles, tanto para nuestro desarrollo como profesionales como en desarrollo de tecnología asociada a mejorar la eficiencia energética dentro de los cuales podemos

Los beneficios esperados del desarrollo e implantación exitosa de este proyecto son que sea capaz de mejorar el factor de potencia, lo cual mejora la eficiencia energética, ahorra en los costes de facturas del servicio de suministro eléctrico, además de evitar recargos adicionales en estas.

También cabe destacar que desarrollo del proyecto, nos ha permitido nuestras competencias como profesionales, tales como electrónica de potencia, sistemas digitales, programación, y electrónica analógica.

**Riesgos y mitigaciones**:

Dentro de los principales riegos para el proyecto están los riesgos asociados con la seguridad, trabajar con voltajes de línea es peligroso por lo cual se procedió a trabajar tomando algunas medidas de seguridad tales como, el uso de guantes para manejar el dispositivo, verificar que no esté conectado a la red mientras este sea manipulado, asi como también en su propio deseño se tomó en cuenta el tener la etapa de potencia de la placa de control.

También tenemos riesgos externos que mermarían el éxito del proyecto como, no encontrar materiales adecuados para la construcción de este, que no exista la disponibilidad de encontrar a los unos circuitos integrados, para mitigar estos factores, se concibió el uso exclusivo de materiales disponibles de forma local y aunque alguno no esté disponible esta pueda ser reemplazo por algún equivalente sin mayor tramitación.

Plazos de entrega, los plazos de entrega acotados fueron un punto de presión en el desarrollo del proyecto por lo cual, fue imperativo trabajar de forma rápida y concisa en desarrollo de este.

**Evaluación de viabilidad:**

Para llevar a cabo la viabilidad del proyecto se consideran puntos clave como la disponibilidad de materiales, equipamiento, conocimiento y disponibilidad de lugar para llevar a cabo las pruebas necesarias.

**Para la viabilidad técnica se consideró los siguiente:**

Para la disponibilidad de materiales se consideraron en su mayoría componentes de genéricos de propósito general.

Para el equipamiento se revisaron los equipos de medición disponibles en pañol como los que poseíamos.

Como lugar de pruebas se propuso alternar entre trabajar en el laborío de máquinas eléctricas de Inacap y el taller dispuesto por parte de uno de nosotros.

**Para la viabilidad económica**:

Se considero amortizar costos utilizando licencias de software suministradas por INACAP.

También se sacó un costo aproximado de materiales en las fases tempranas del proyecto, principalmente en la ingeniería conceptual, para hacernos una idea del costo en materiales y que era factible adquirirlos con recursos económicos disponibles por nuestra parte.

Vistos estos puntos se dispuso que el desarrollo e implementación del dispositivo fue factible.

**Resumen y agradecimientos:**

se resumen que el desarrollo del proyecto logro ser exitoso a pesar de las complicaciones que pudiera existir y se agradece a quienes que estuvieron disponibles con su apoyo en diversos ámbitos a lo largo del proceso.

### Introducción

En la actualidad, la eficiencia energética se ha convertido en un tema crucial en el mundo de la electrónica y la ingeniería eléctrica. El factor de potencia es un aspecto fundamental que determina la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica en sistemas industriales y comerciales. La corrección del factor de potencia es esencial para optimizar el consumo de energía eléctrica y evitar costos adicionales en las facturas eléctricas. En este informe, presentamos un proyecto de corrección del factor de potencia mediante lógica difusa, una solución inteligente y dinámica que aborda este desafío de manera eficiente.

Los autores de este proyecto, Matías Olivares y Edgar Sazo, han desarrollado una propuesta innovadora para diseñar e implementar un dispositivo inteligente capaz de corregir el factor de potencia de manera automática y dinámica. Esta solución se basa en la aplicación de la lógica difusa y la utilización de tecnología de vanguardia.

En esta introducción, proporcionaremos una visión general de los objetivos del proyecto, el planteamiento del problema, la importancia del factor de potencia y las soluciones existentes en el mercado. Además, se expondrán los recursos y tecnologías que se utilizarán en el desarrollo del dispositivo, así como las normativas vigentes en Chile relacionadas con el factor de potencia. Finalmente, se describirán los criterios de evaluación económica y de rentabilidad, así como los procesos básicos y áreas de trabajo involucradas en el proyecto. Este informe proporcionará una visión completa de nuestra propuesta para corregir el factor de potencia en sistemas eléctricos industriales y comerciales de manera eficiente y automática.

### Ingeniería conceptual

## Objetivo general:

Diseñar e implementar un dispositivo inteligente para corregir el factor de potencia automáticamente según lo requiera la situación.

## Objetivos específicos:

* Diseñar un dispositivo que sea capaz de censar tanto corriente como voltaje de una red eléctrica.
* A través de lógica difusa sea capaz de corregir el factor de potencia de forma dinámica.
* Corregir el factor de potencia mediante lógica difusa.
* Conectividad con el propósito de configurar el dispositivo mediante una interfaz gráfica.
* Capacidad de ser escalable y adaptarse distintas redes eléctricas.
* Que permita el monitoreo de las variables de interés en un display empotrado en el dispositivo.
* Para la selección de componentes se prioriza el uso de aquellos que estén disponibles para adquirir de forma local sin la necesidad de importar.
* Integrar hardware y software.
* Concebir una solución inteligente para corregir el factor de potencia.
* Exponer la normativa en chile con respecto a la implicancia tener un bajo factor de potencia en una red eléctrica.
* Exponer soluciones ya existentes para resolver la problemática y poner en valor la solución ofrecida con respecto a las ya existentes.

## Planteamiento del problema:

Como antecedente debemos comprender que es y lo que implica un bajo factor de potencia en sistemas eléctricos industriales y comerciales, además de cuáles son sus efectos negativos.

## ¿Qué es el factor de potencia?

El factor de potencia se refiere a la medida de la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica, relacionando la potencia activa con la aparente.

La potencia activa es la parte de la energía eléctrica que realiza un trabajo útil en un circuito eléctrico, indicando la cantidad de energía que se consume al instante, la cual corresponde a la potencia que se transforma íntegramente en trabajo y calor. Esta es expresa en Watt(W) o Kilowatt (KW) y es esencial para determinar la cantidad de energía real consumida por un dispositivo o sistema eléctrico.

Por otro lado, la potencia aparente (S) se mide en Voltamperios (VA) o Kilo Voltamperios (KVA) y describe la cantidad de energía que fluye en un circuito eléctrico y considera la potencia activa como la potencia reactiva, donde esta última corresponde a la potencia utilizada para crear campos magnéticos.

Gráfico

Descripción generada automáticamente

Ilustración 1 Triangulo de Potencias.

Fuente: Libro calidad de la Energía.

Para el cálculo del factor de potencia se tiene la siguiente formula:

El ángulo formado entre la potencia activa y la potencia aparente en la ilustración 1es igual al desfase entre la señal de corriente y tensión.

Se considera que un factor de potencia cercano a uno indica un uso eficiente de la energía, mientras que un valor por debajo implica una mayor cantidad de energía reactiva en el sistema.

La aplicación del factor de potencia es especialmente relevante en sistemas eléctricos industriales y comerciales donde un bajo factor potencia puede aumentar las pérdidas de energías, reducir la eficiencia y generar importes adicionales en la factura eléctrica. A su vez un mal factor de potencia puede causar una sobrecarga en el sistema de proveedores de energía eléctrica produciendo un uso ineficiente de estos mismos.

*Información recopilada del libro Calidad de la Energía.*

(Barcón, Rafael, & Iv'an, 2011)

## ¿Porque se produce un bajo factor de potencia?

Este se produce cuando las cargas inductivas y capacitivas producen un desfasamiento entre la tensión y la corriente afectando al FP. Por lo general las cargas industriales producen este desfase que se traduce en un aumento de la corriente y una disminución en el FP.

Existen una gran variedad de equipos eléctricos que por sus características de operación provocan un FP bajo, un ejemplo de esto puede ser: Transformadores, motores síncronos, motores de inducción, hornos de inducción, etc.

Mientras más grande es este desfasamiento entre la tensión y la corriente que se demanda, menor será este factor.

Este desface depende del tipo de carga utilizada siendo estas inductivas, capacitivas y resistivas.

En una carga inductiva como pueden ser motores y transformadores la corriente estará retrasada respecto al voltaje y como consecuencia el FP. se retrasa, en el caso de las cargas capacitivas la corriente se encuentra adelantada al voltaje y en las cargas resistivas como las lámparas el voltaje y la corriente están en fase, lo que significa que se tiene un factor de potencia unitario.

Imagen que contiene objeto, reloj

Descripción generada automáticamente

Ilustración 2 Representación del desfase de las cargas.

Elaboración: propia.

Un factor de potencia bajo implica problemas asociados a un mayor consumo de corriente lo que puede traducirse en una sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución, además de un incremento en las caídas de tensión.

Todo esto por consecuencia acarrea problemas económicos que se podrían ver reflejados en un aumento de la facturación eléctrica y una multa por un factor de potencia bajo la norma.

Una de la soluciones clásicas para corregir el factor de potencia es empleo de bancos de condensadores que se dimensionan en función de las cargas reactivas que están conectadas a la red, esto implica que agregar o restar cargas romperían este dimensionamiento, consideramos una planta industrial que tiene una serie de máquinas eléctricas las cuales tienen variados ciclos de trabajo y frecuencia, lo cual cambia en función de la demanda de producción, esto implica que el factor de potencia varia durante una jornada de operación de la planta industrial, lo que conlleva que se requiera corregir el factor de potencia en forma dinámica.

Siendo este el problema que abordaremos corregir este factor de una forma dinámica y automatizada.

## Soluciones en el mercado:

## low voltage static var generator

Compensadores estáticos de potencia reactiva:

En el inicio del inversor de tipo de voltaje, se emplea un dispositivo llamado transistor binario de compuerta aislada (IGBT4) para regular tanto el valor como la fase de la tensión alterna (CA) del inversor. Esto se hace con el objetivo de llevar a cabo la corrección de la energía reactiva y de las distorsiones armónicas. Debido a que la frecuencia de conmutación del IGBT es muy elevada, alcanzando varias decenas de kilohercios, el SVG (Static Var Generator) puede realizar una corrección reactiva de manera rápida y lograr una alta precisión en la corrección.

Ilustración 3 Panel de SVG tipo rack.

Fuente: ZODO.

Motor síncrono:

El motor síncrono para corregir el factor de potencia también es conocido como condensador síncrono, usamos un motor síncrono sobre excitado, alimentando en los bornes del devanado de rotor (devanado de campo) con corriente continúa la cual es denominada excitatriz, lo que crea un campo electromagnético que hará presente una corriente alterna en los bornes del devanado de estator (devanado inducido), para dicho fin requiere de un circuito de control de corriente de excitación, que permita regular la tensión alterna.

Ilustración 4 Motor sincrono.

Fuente : Google.

Banco de capacitores:



Un banco de capacitores es un equipo eléctrico que contiene dos o más capacitores conectados en serie o en paralelo para almacenar energía eléctrica y corregir el factor de potencia. Estos bancos se utilizan para compensar la energía reactiva que consumen los motores, transformadores etc.

Ilustración 5 Banco de Capacitores.

Fuente: Altatecnologia.

## Solución propuesta y tecnologías aplicadas:

Para resolver esta problemática se utilizará un microcontrolador de la familia PIC como controlador lógico que mediante sensores de voltaje y corriente calculará en tiempo real el factor de potencia y lo comparará con el deseado, si este está por debajo de lo necesario activará mediante relays los condensadores necesarios para compensar este valor.

Toda esta información será mostrada por una pantalla para poder tener una referencia visual de lo obtenido por el dispositivo

## Dispositivos a usar:

Se presentará los principales recursos de hardware tentativos a implementar en el desarrollo del hardware del dispositivo y sus características principales.

**Controlador lógico principal:** Estos microcontroladores se han considerado debido a sus características principales y la experiencia desarrollando proyectos con ellos, donde las más relevante serian su memoria de programa, RAM, contar con ADC, comunicación SPI y serial además de contar disponibilidad del programador para el microcontrolador.

**Rasberry Pi pico (RP2040).**

**Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza baja**

Ilustración 6 Raspberry Pi Pico.

Fuente: Raspberry.

**Características:**

* Procesador ARM Cortex M0+ de doble núcleo, reloj flexible que funciona hasta 133 MHz.
* 264kB de SRAM, y 2MB de memoria Flash a bordo.
* Pads con un troquelado que permite soldar la tarjeta directamente sobre PCB.
* USB 1.1 con soporte para anfitrión o dispositivo.
* Modo de funcionamiento de baja potencia (sleep) y modos de inactividad.
* Programar arrastrando el archivo al almacenamiento masivo del USB.
* 26 pines GPIO multifunción.
* 2×SPI, 2×I2C, 2×UART, 3×12-bit ADC, 16×canales PWM controlables.
* Reloj y temporizador preciso en el chip.
* Sensor de temperatura.
* Librerías de coma flotante en el microcontrolador.
* 8 máquinas de estado con IO programables (PIO) con soporte para uso personalizado de periféricos.

**Microchip Technology PIC 18F4550.**

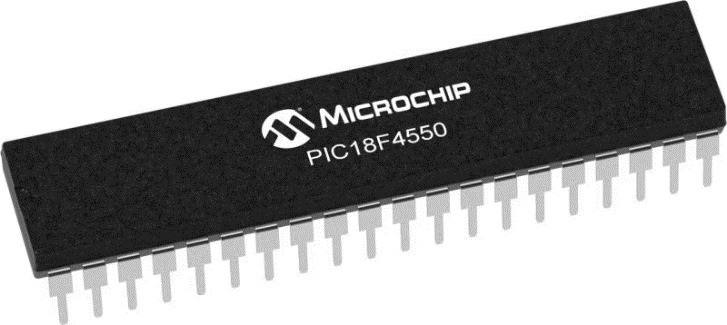


Ilustración 7 Pic18F4550.

Fuente: Datasheet.

Características:

* Interfaz USB 2.0 de alta velocidad (12 Mbit / s).
* RAM de puerto doble de 1 kB de RAM + RAM GP de 1 kB.
* Transceptor de alta velocidad.
* 16 terminales (entrada / salida).
* Puerto de transmisión.
* Resistencias pull up internas (D + / D-).
* Rendimiento de 48 MHz (12 MIPS).
* Periférico - módulo USART mejorado y módulo PWM / comparable / captura mejorada (ECCP).
* Retención de Flash / datos en EEPROM mayor a 40 años.
* Auto control de software de bajo programa.
* Multiplicador de hardware de un ciclo de 8 x 8.
* Depuración En-Circuito (ICD) por medio de dos pines.
* Tipo: CMOS.
* Familia: PIC18C.
* Tipo de interfaz integrada: EUSART, I2C, SPI, SPP, USB.
* Velocidad CPU: 48 MHz.
* Tamaño memoria programable: 32 KB.
* Tamaño de memoria RAM: 2 KB.
* Número de Entradas / Salidas: 35 E/S´s.
* Tensión de alimentación mínima: 4.2 V.
* Tensión de alimentación máxima: 5.5 V.
* Encapsulado DIP.
* Número de pines: 40 pines.

**Sensor de corriente:** periférico destinado a censar corriente de línea.

**Sensor de corriente STC-013**



Características:

* Corriente de entrada: 0 ~ 100A AC.
* Razón: 100A:50mA.
* No linealidad: ± 1%.
* Resistencia Grado: Grado B.
* Temperatura de trabajo: -25 ° C ~ 70 ° C.
* Rigidez dieléctrica (entre la cáscara y la salida): 1000 V AC / 1min 5 mA..
* Longitud del cable: 150cm.

Ilustración 8 STC -013.

Fuente: AFEL.

* Plug: 3.5mm.
* Tamaño: 13mm x 13mm.

**Sensor de voltaje:** Periférico destinado a censar, voltaje de línea.

**ZMPT101B**.



Características:

* Voltaje de alimentación: 3.3V - 5VDC.
* Voltaje alterno de entrada: 250VAC máx.
* Voltaje alterno de salida: Onda senoidal 5VAC máx.
* Señal de salida: analógica senoidal.
* Dimensiones: 5 cm x 2 cm x 2.4 cm.

Propiedades del transformador:

* Corriente nominal de entrada y salida: 2mA.
* Ratio entrada-salida 1000:1000.
* Diferencia de fase: <30º (a 50ohm).

Ilustración 9 ZMPT101B.

Fuente: Altronics.

* Rango lineal: 0-3mA (a 50ohm).
* Linealidad: 1%.
* Precisión: 0.2%.
* Aislamiento eléctrico entrada: hasta 3000V.||

**Display LCD 20x4:** destinado a estar empotrado en el dispositivo y mostrar los principales parámetros de interés.



Ilustración 10 Display LCD.

Fuente: Altronics.

Características:

* Voltaje de Alimentación: 5Vdc.
* Formato de Display: 20 caracteres x 4 líneas.
* Color: texto blanco, fondo azul.
* Dimensiones: 9.8 x 6 x 1.2mm.

**Modulo relé**: para la conmutación de los condensadores.

Un circuito electrónico

Descripción generada automáticamente con confianza media

Ilustración 11 Modulo relé.

Fuente: Altronics.

* Canal de salida: 8.
* Tensión de carga:125VAC/250VAC, 28VDC/30VDC.
* Corriente de operación: 10A.
* Voltaje de la bobina (relé): 5V.
* Modo de disparo: Alto nivel de disparo.
* Diodo de protección: En cada bobina.
* Consumo de corriente (bobina): 20mA.Tamaño: 13.9cm x 5.7cm x 1.9cm.

Normativas en chile:

Según el artículo 13190 publicado el 30 septiembre de la Superintendencia de electricidad y combustibles (SEC) :

“La ley N° 20.571 introdujo diversas modificaciones a la ley general de servicios Eléctricos, con el objeto de regular el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales, regulando la generación de energía eléctrica para autoconsumo y permitiendo la inyección remunerada de los excedentes que se produjeren.

En el ejercicio de esta Ley, a esta Superintendencia han ingresado preguntas en relación a la aplicación del cargo por factor de potencia medio mensual señalado en el numeral 5.2 del Decreto de ANT. 2), para instalaciones que poseen equipamientos de generación. Dicho numeral indica lo siguiente: *La facturación por consumos efectuados en instalaciones cuyo factor de potencia medio mensual sea inferior a 0.93 se cargará en un 1% por cada 0.01 en que dicho factor baje de 0.93*.”

((SEC), 30 de septiembre 2016).

“para las instalaciones eléctricas que cuenten con equipos de generación acogidos a la ley 20.571, de clientes monofásicos y trifásicos en baja y media tensión, el factor de potencia medio mensual se calculara para un periodo mínimo de 7 días consecutivos de acuerdo con la siguiente expresión:

Donde:

: Factor de potencia medio para usuarios con Equipos de generación.

: Energía reactiva medida por un periodo mínimo de 7 días consecutivos, en [kVARh].

: Energía activa abastecida a red de distribución, medida por un periodo mínimo de 7 días consecutivos en [kWh].

: Energía activa generada por el Equipo de Generación, medida por un periodo mínimo de 7 días consecutivos, en [kWh].

: Energía activa inyectada a la red de distribución, medida por un período mínimo de 7 días consecutivos en [kWh].

Considerando lo expuesto anteriormente, las empresas concesionarias de distribución de electricidad deberán revisar y adoptar, oportunamente, todas aquellas medidas que guardan relación a lo expuesto anteriormente.”

((SEC), 30 de septiembre 2016).

## Criterios de evaluación económica y de cálculo de rentabilidad.

Para estimar costos de rentabilidad se expondrán las horas de trabajo estimadas en desarrollo del dispositivo y los costos estimados en el empleo de software y hardware, para concebir un prototipo funcional del dispositivo.

Para los costos estimados de este proyecto se tendrán en cuenta un sueldo promedio mensual de $900.000 lo que se dividirá en las semanas del mes luego se divide por el número máximo de horas laborales semanales (48 horas) seguido de multiplicar esta cifra por la cantidad de horas estimadas semanales (18 horas) lo que da un costo por hora de $4.690.

Se tienen cuenta las siguientes variables:

* Estimación duración del proyecto: 18 semanas.
* Horas semanales: 18 horas.
* Costo por hora: $4.690.
* Total, de horas: 270.

Estimación de costos por mano de obra en el desarrollo del proyecto:

Tabla 1 (Mano de obra):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Colaborador: | Cargos: | Descripción de actividad. | Horas de trabajo: | Costo al final del proyecto: |
| Matías Olivares. | Desarrollador.  Diseñador. | Desarrollo de Software. | 270 | $1.518.750 |
| Edgar Sazo. | Desarrollador, Administrador financiero. | Desarrollo firmware, hardware. | 270 | $1.518.750 |
| Total: | | | | $3.037.500 |

Para estimar el costo en insumos de fabricación, se consideran los precios los precios de los dispositivos tentativos a utilizar para el desarrollo del dispositivo.

Costes de fabricación estimado:

Tabla 2 (Coste de Fabricación):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Materiales: | Cantidad: | Valor: |
| Microcontrolador. | 1 | $10.0000 |
| Sensor de corriente. | 1 | $9.000 |
| Sensor de voltaje. | 1 | $4.015 |
| Condensadores. | 2 | $14.900 |
| Relays (módulo de 8 canales). | 1 | $10.000 |
| Pantalla. | 1 | $11.238 |
| **Total:** | | $49.153 |

Recursos de software:

* Visual Studio: IDE que permite programar en diversos lenguajes y la creación de interfaces graficas.
* Compilador CCS Compiler: compilador de C para microcontroladores PIC.
* Proteus 8 o superior: software de diseño CAD para circuitos electrónicos.
* Autodesk Inventor: software de diseño CAD para modelar piezas.

Tabla 3 (Recursos de software):

|  |  |
| --- | --- |
| Herramienta: | Costo: |
| Proteus 8. | $187.356 |
| Css Compiler. | $177.400 |
| Visual Studio. | Uso Libre |
| Autodesk Inventor. | $1.834.891 |
| **Total:** | **$2.229.647** |

## 

## Costo Total:

Tabla 4 (Coste total):

|  |  |
| --- | --- |
| Gasto: | Valor: |
| Mano de obra. | $3.037.500 |
| Materiales. | $49.153 |
| Software. | $2.229.647 |
| **Total:** | **$5.316.300** |

El gasto estimado total de este proyecto es de alrededor $5.316.300.

## Mantenimiento y operación:

**Preventivo:**

Para mantener el dispositivo en correcto funcionamiento se debe realizar una limpieza e inspección del dispositivo, con un enfoque en la etapa de potencia, verificando el correcto funcionamiento de los opto acopladores y relés, revisión del estado de las borneras para comprobar si requieren ajuste, limpieza y/o

Remplazo, además se debe revisar la fuente de poder, checar voltajes tanto para la etapa de control como de potencia.

Se estima un costo de mantenimiento preventivo de unos 45 mil pesos son considerar impuestos asociados a boletas de honorarios.

**Correctivo:**

Para un mantenimiento correctivo se consideran algunas fallas típicas asociadas a la naturaleza propia de los componentes semiconductores y electromecánicos para ello se plantean algunas posibles fallas y soluciones.

Tabla 5 (Mantenimiento):

|  |  |
| --- | --- |
| Falla. | Causa aparente. |
| No conmuta con los relés. | Relé en mal estado, opto acoplador dañado. |
| No enciende. | Daño en la fuente alimentación. |
| Presencia de chispas. | Borneras con falso contacto. |
| no muestra datos en display. | Conexión de display en mal estado. |

Se considera un costo en mano de obra similar al del mantenimiento correctivo agregando el costo del reemplazo cualquier componente. El cual no debería superar los 100 mil pesos.

## Descripción de procesos básicos:

## Diagrama Descripción generada automáticamente

Ilustración 12 Diagrama de bloques de proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Este proceso empieza con el censado y la toma de muestras tanto de corriente como de voltaje de la red eléctrica, esto con el fin de que el controlador lógico interprete los datos obtenidos y calcule el factor de potencia de la planta.

Una vez se obtenga el resultado el dispositivo evaluara y tomara una decisión acorde a lo censado, por ejemplo, si se determina que el factor de potencia está por debajo de lo requerido el dispositivo actuara de acorde a ello y actuara sobre los relays de los bancos de condensadores activando los necesarios para la compensación de este factor.

Una vez realizado esto el dispositivo vuelve a censar la red eléctrica para comprobar este nuevo factor, mientras todos los datos necesarios serán mostrados a través de una interfaz de monitoreo integrada para la comodidad del usuario.

Este dispositivo estará ubicado de forma aparte a los bancos de condensadores en algún lugar que el usuario estime que sea de fácil acceso para su monitoreo.

Las dimensiones aproximadas del aparato son de 10 cm de ancho por 15 de alto, ubicado en una pared.

## Servicios auxiliares:

Para una correcta ejecución y elaboración de este proyecto son requeridos ciertos servicios tales como:

* Servicio de energía eléctrica.
* Servicio de Conexión a internet.
* Software de ofimática (Office).
* Logística de transporte de materiales y herramientas.

Productos y capacidad de producción

En esta etapa del proyecto en base a la ingeniería conceptual se consideran los insumos, dispositivos y componentes de forma tentativa con los que en etapas posteriores llegar a producir un prototipo funcional el cual se puede implementar una red eléctrica, así también al concebirse como un proyecto escalable llegar a obtener un diseño que pueda ser comercializable.

Para las distintas fases de producción se considera el empleo de las instalaciones de Inacap en específico el FABLAB.

Se considera también obtención de materiales fungibles de parte del pañol de INACAP.

## Distribución de áreas de trabajo:

* Las actividades relacionadas a la investigación, elaboración del informe, diseño y programación serán efectuadas tanto en la sala de clase como estudios propios de los integrantes de este proyecto.
* La implementación, testeo, y elaboración practica será realizada en los laboratorios y FABLAB de INACAP.

### Ingeniería Básica

## Alcance del proyecto.

El proyecto consiste en diseñar, desarrollar e implementar un sistema de corrección del factor de potencia utilizando lógica difusa, utilizando un microcontrolador pic18f4550 en una red eléctrica (monofásica /trifásica), de uso general, mejorando la eficiencia en la transferencia de energía eléctrica, reduciendo la cantidad de potencia reactiva y corrigiendo el factor de potencia al nivel deseado.

* El sistema de corrección del factor de potencia operara de forma continua y automatizada, monitoreando constantemente la red eléctrica y realizando ajustes según sea necesario, garantizando una corrección constante y eficiente del factor de potencia.
* Midiendo en tiempo real la corriente y el voltaje para calcular el factor de potencia actual. Estos datos se actualizan periódicamente para tener una evaluación precisa de la red eléctrica.
* Utilizando lógica difusa para calcular la cantidad de corrección necesaria, esta lógica se adapta a condiciones cambiantes de la carga eléctrica que permitirá ajustes graduales para evitar sobre correcciones

Para implementar y desarrollar esta idea, en una primera instancia, el proyecto se llevará a cabo a escala con el propósito de su desarrollo y testeo. Por esta razón, se realizarán algunas modificaciones en los componentes mencionados a continuación:

* Reemplazaremos los contactores por relés.
* Sustituiremos el banco de capacitores por capacitores de 250V de alto voltaje.

El prototipo del proyecto estará compuesto por una etapa de censado de voltaje, corriente y el cálculo del factor de potencia. En esta etapa inicial, el enfoque estará en una red monofásica. Sin embargo, se contempla la posibilidad de escalar el proyecto a una red trifásica en etapas posteriores.

Como parte de futuras mejoras, se planea implementar la capacidad de almacenar los datos obtenidos en una base de datos, lo que permitirá un registro rápido y accesible en cualquier momento a través de la interfaz del dispositivo.

.

Esta adición representa un avance significativo en la funcionalidad del proyecto, brindando una solución más completa y versátil para la monitorización y el análisis de datos en sistemas eléctricos.

## Establecer las capacidades y características de los productos y servicios del proyecto.

EL producto será capaz de censar corriente y voltaje mediante los sensores, para posteriormente calcular el factor de potencia de la red censada con la finalidad de compensar este factor mediante lógica difusa alternando un banco de capacitores según se requiera, todo esto reflejado en una interfaz intuitiva.

* **calibración y ajuste personalizado:** Se permitirá el ajuste y calibración personalizada para adaptarse a las necesidades específicas del cliente/ usuario.
* **Información de estado**: La información censada por el dispositivo será reflejado por una pantalla además de una visualización por software.
* **Soporte técnico**: se ofrecerá soporte técnico para la instalación, configuración y resolución de problemas, asegurando un funcionamiento continuo y confiable.
* **Interfaz de usuario intuitiva:** El sistema contará con una interfaz que permitirá a los usuarios supervisar el sistema de manera efectiva.

Aspectos normativos en medioambiente y seguridad.

En base a investigación se han encontrado una serie de normas a las cuales se deben regir los aparatos electrónicos en el territorio nacional, de esta forma analizar qué a que normativas se debe adecuar el proyecto.

**Ley REP:**

“*La Ley 20.920 tiene como principal instrumento la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), un mecanismo en virtud del que los productores de productos prioritarios son responsables de la organización y financiamiento de la gestión de los residuos derivados de la comercialización de sus productos en el país.* “

(Ministerio de medio ambiente, 2023)

En base a la siguiente citando la resolución número 4 del diario oficial de la república de Chile, se destacan los criterios que enmarcan a un aparato electrónico y obligan a apegarse a esta normativa.

“*4.- Por su parte, se entenderá preliminarmente por "aparatos eléctricos y electrónicos", todos los aparatos que, para funcionar correctamente, necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos, así como los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos. Quedarán comprendidos dentro de los aparatos eléctricos y electrónicos, las siguientes categorías preliminares:*

*a) Aparatos de intercambio de temperatura.*

*b) Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm2.*

*c) Lámparas.*

*d) Paneles fotovoltaicos grandes (con una dimensión exterior superior a 50 cm).*

*e) Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm) no incluidos en las categorías anteriores.*

*f) Pequeños aparatos (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm) no incluidos en las categorías anteriores*”

(DIARIO OFICIAL DE LA REPUBLICA DE CHILE, 2021)

**Normativa SEC:**

Para obtener la certificación SEC se debe someter el dispositivo a una serie de ensayos realizando informes de rendimiento y seguridad radicados en el reglamento para obtener dicha certificación, se deben presentar, para ello existen una serie de sistemas de certificación apuntando principalmente a:

Capítulo 3: sistemas de certificación

ENSAYO DE TIPO SEGUIDO DEL CONTROL REGULAR DE LOS PRODUCTOS.

“*Sistema basado en el ensayo de tipo, pero con cierta acción de seguimiento, dirigida a comprobar que la*

*producción subsiguiente es conforme. El ensayo de las muestras de fábrica implica un control regular de las muestras*

*de los modelos sometidos al ensayo de tipo, seleccionados de la producción del fabricante, antes de su entrega al*

*cliente.”*

Artículo 5°. - La certificación de los productos debe efectuarse aplicando alguno de los Sistemas establecidos en la Tabla I siguiente, basados en la Guía ISO/CASCO "Assessment and verification of conformity to standards and technical specifications".}

1. Sistema ISO/CASCO

N°3. - para productos fabricado y ensayados en Chile.”

(MINISTERIO DE ECONOMÍA; FOMENTO Y RECONSTRUCCION; SUBSECRETARIA DE ECONOMIA; FOMENTO Y RECONSTRUCCION, 2005).

DECRETO N°8, DE 2019, DEL MINISTERIO DE ENERGÍA, REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE LAS INSTALACIONES DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

“*6.3 Condensadores de tensión nominal superior a 1.000 V*

*6.3.1 Para operar (conectar y desconectar) los condensadores se utilizarán desconectadores accionados en grupo que cumplan lo siguiente:*

*a) Soportar continuamente por lo menos el 135% de la corriente nominal de la instalación del condensador;*

*b) Interrumpir la corriente de carga máxima continua de cada condensador, banco de condensadores o instalación de condensadores que sean desconectados como una unidad;*

*c) Soportar la máxima corriente de arranque, incluidas las contribuciones de instalaciones de condensadores adyacentes;*

*d) Soportar las corrientes producidas por fallas de los condensadores en el lado del desconectador.*

*6.3.2 Se instalará un medio que permita seccionar de todas las fuentes de tensión cada condensador, banco de condensadores o instalaciones de condensadores que sean puestos fuera de servicio como una unidad. Los medios de aislamiento establecerán una distancia visible en el circuito eléctrico, adecuada a la tensión de funcionamiento.*

*6.3.3 Protección de Sobre corriente.*

*a) Se instalará un medio para detectar e interrumpir cualquier corriente de falla que pudiera provocar presiones peligrosas dentro de algún condensador.*

*b) Para este fin se permitirá utilizar dispositivos monopolares o multipolares. En caso del uso de dispositivos monopolares, la protección deberá actuar simultáneamente sobre los conductores activos (fase y la tierra de servicio).*

*c) Se permitirá proteger los condensadores individualmente o en grupos.*

*6.3.4 Se instalará un medio para reducir la tensión residual de un condensador en conformidad con lo indicado en el punto 6.2.2 de este pliego.*

*6.3.5 El circuito de descarga estará conectado permanentemente a los terminales del condensador o banco de condensadores, o provisto con un medio automático de conexión para conectarse a los terminales del banco de condensadores cuando se desconecten de la fuente de alimentación.*

*6.3.6 Los condensadores que no lleven alguna indicación de temperatura máxima admisible no se podrán utilizar en lugares donde la temperatura ambiente sea 50 °C o mayor.*

*6.3.7 Para la utilización de condensadores por encima de los 2.000 m.s.n.m. se deberán consultar las especificaciones técnicas emitidas por el fabricante para esta situación. En ausencia de éstas se deberán respetar las indicaciones de la norma IEC 60831-1*”.

(Electricidad, 2020)

Filosofías operativas.

Para la realización de este proyecto se necesitan de dos ingenieros de proyecto, que estarán a cargo de diferentes tareas y actividades.

Todas las actividades requeridas para la elaboración de este proyecto son especificadas en la carta Gantt (anexo xxx) y a continuación se presentan los cargos y las actividades de las personas involucradas.

**Cargo:** Ingeniero de proyecto 1

**Descripciones del cargo:**

Responsable de diseñar y desarrollar la parte de electrónica del proyecto ciñéndose a la normativa y estándares de calidad vigentes en chile, de forma clara y ordenada.

Además de aportar con los diseños estructurales necesarios para la implementación del aparato.

**Actividades:**

* Investigar Respecto a la implementación de los componentes necesarios para la elaboración del proyecto.
* Diseñar el circuito esquemático que integre el microcontrolador PIC18F4550 y los sensores de voltaje y corriente.
* Diseñar y dimensionar la placa de circuito impreso con las medidas y dimensiones necesarias.
* Realizar pruebas y depuración del circuito del circuito para asegurar su correcto funcionamiento.
* Crear diseños 3d necesarios para la estructura del dispositivo.

**Cargo:** Ingeniero de proyecto 2

**Descripción del cargo**:

Centrado en el aspecto de elaboración del código de control lógico difuso y software necesario para el pic18F450 con su respectiva interfaz

**Actividades:**

* Responsable de la elaboración del software adecuado para el microcontrolador PIC 18F4550
* Diseñar el algoritmo de control basado en lógica difusa para la corrección del factor de potencia.
* Realizar interfaz para la monitorización del dispositivo
* Realizar simulaciones y pruebas de rendimiento del algoritmo de control para optimizar su eficiencia

Selección de materiales y equipos de acuerdo con especificaciones.

**PIC18F4550:**

Arquitectura Harvard de 8 bits.

Frecuencia de reloj máxima de 48 MHz.

Memoria Flash programable de 32 KB.

2048 bytes de memoria RAM.

Periféricos integrados, incluyendo puertos GPIO, UART, SPI, I2C, ADC, entre otros.

Ampliamente utilizado en proyectos de electrónica y sistemas embebidos.

**LM339:**

LM339 es un comparador de voltaje cuádruple.

Cuatro comparadores independientes en un solo chip.

Se utiliza para comparar señales analógicas y determinar si una es mayor o menor que la otra.

Salidas de colector abierto que permiten su uso en aplicaciones de alta tensión.

Ampliamente utilizado en electrónica para la detección y control de señales.

**TL071 y TL072:**

TL071 es un amplificador operacional (op-amp) de propósito general de un solo amplificador, permite ajuste offset.TL072 es similar al TL071, pero incluye dos amplificadores operacionales en un solo chip.

Alta impedancia de entrada y bajo ruido.

Ampliamente utilizados en aplicaciones de amplificación y procesamiento de señales.

**Regulador de voltaje 78XX y 79XX:**

Los reguladores de voltaje de la serie 78XX proporcionan una tensión de salida regulada positiva, mientras que los reguladores de la serie 79XX proporcionan una tensión de salida regulada negativa.

Se utilizan para mantener una tensión de salida constante, independientemente de las variaciones en la tensión de entrada, se emplearán para la alimentación de los amplificadores y comparadores los reguladores 7812 y 7912 en cambio para los dispositivos digitales un 7805.

**Sensor de corriente STC-013:**

El sensor de corriente STC-013 es un sensor de efecto Hall utilizado para medir la corriente eléctrica.

Proporciona una salida analógica proporcional a la corriente que fluye a través de un conductor.

Se empleará una versión de este que su salida es de 1AC a 50A

**Sensor de voltaje con transformador.**

Los sensores de voltaje con transformador son dispositivos que permiten medir la tensión en un circuito eléctrico utilizando un transformador.

El transformador aísla eléctricamente la señal medida de la red de voltaje principal y reduciendo la tensión a un nivel adecuado para su censado.

## Aspectos de los criterios de eficiencia energética y digitalización.

Diseño de fuente de poder, se concebido una fuente lineal que consta de un transformador, donde su salida de voltaje es rectificada filtrada y regulada.

Se estiman los consumos de corriente picos de los principales componentes activos, basado en las hojas de datos de obtenidos de sus datahseet (hojas).

Se consideran como otros consumos, las corrientes necesarias para el funcionamiento de componentes como reguladores de voltaje, corriente de polarización que consumen los circuitos integrados perdidas en los diodos y resistencias, además de las posibles pérdidas en el transformador que alienta el dispositivo

Tabla 6 (Eficiencia energética)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| componente | cantidad | Consumo total | Voltaje |
| microcontrolador | 1 | 250mA | 5V |
| Tl071 | 2 | 2.5mA | 12V |
| Tl072 | 1 | 2.5mA | 12V |
| Lm339 | 1 | 20mA | 12V |
| Relés | 8 | 17mA | 12V |
| Display lcd | 1 | 25mA | 5V |
| Otros consumos estimados |  | 100mA | 12V |
|  | Total: | 537mA |  |

Para los dispositivos alimentados con 5 V tenemos un consumo de 1.8W

Para los dispositivos 12V tenemos 1.44W

El transformador filtrado y testificado entrega +-17V que se reducen a +5V y +-12V

Se calcula un rendimiento de un 41%

### Ingeniería a detalle

Definir los métodos constructivos, criterios de aceptabilidad, pruebas, ensayos, etc.

* **Acondicionamiento de señal y obtención del factor de potencia.**

Adquisición de señales:

Se pretende captura las siguientes variables, cruce por cero de la señal de voltaje, cruce por cero de la señal de “corriente”, voltaje y corriente RMS.

Filtrado de señal: Se diseña un filtro pasa banda de 2do con topología sallen-key orden mediante la herramienta eDesign suite cortesía de STMicroelectronics, con el fin de filtrar posibles señales parasitas y evitar falsos cruces por cero, obteniendo el siguiente circuito

Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamente

Ilustración 13 Filtro pasa banda con topología sallen-key.

**Cruce por cero:**

Para capturar el cruce por cero de la señal de voltaje, se ha propuesto usar un transformador reductor de 220VAC a 12VAC (relación de transformación 18), esto con el fin de adecuarlo a un nivel adecuado para etapa siguiente, que consiste un comparador configurado con histéresis ajustable y salida de colector abierto, con le fin de ajustar salida de este a un nivel TTL

Para capturar el cruce por cero de la señal de corriente se emplea un circuito similar basado en el empleo de un transformador de corriente SCT-013, done la señal de este “sensor” es conectada a un comparador con histéresis ajustable y salida de colector abierto con el fin de ajustar las salidas a un nivel TTL.

Se ha implementado el mismo filtro pasa banda para ambas señales.

Las salidas de los comparadores se conectan a una compuerta OR, con el fin de solapar ambas señales, para así conectarlas al microcontrolador en su modulo CCP en modo captura, obteniendo el tiempo entre flanco de subida y bajada para calcular el desfase y por consecuencia el factor de potencia.



Ilustración 14 CTO. cruce por cero.

**Señal obtenida en la simulación:**

Por la naturaleza del filtro existe un desfase entre el cruce por cero en la señal cuadrada obtenida a la salida de los comparadores con respeto a la señal (Ilustración 15), por lo cual se considera hacer una calibración mediante software para su implementación física, este efecto se presenta tanto en la señal de voltaje como de corriente, sin embargo en las señales a la salida del comparadores se encuentran en fase al inyectar una señales senoidales puras de misma frecuencia y fase a la entrada de cada circuito comparador (ilustración 16).

**Gráfico

Descripción generada automáticamente**

Ilustración 15 desfase entre señal senoidal y señal cuadrada.

**Imagen que contiene Gráfico de rectángulos

Descripción generada automáticamente**

Ilustración 16 Señales en fase.

Las 3 señales vistas en el osciloscopio son Rojo: señal de voltaje, azul: señal a la salida de la compuerta OR y amarillo: señal de corriente para una condición inicial sin desfase entre las señales de entrada.

**Señales con desfase:**

Se simula el circuito con desfasando la señal de corriente 90 grados, lo que implica que la señal obtenida a la salida de la compuerta OR variará el periodo en estado alto y en estado bajo debido al solapamiento de la señales provenientes de los comparadores (Ilustración 17), mediante el microcontrolador, el cual alterna entre captura el tiempo entre flancos de subida y bajada que denominaremos t1 y t2 respectivamente, la suma de ambos nos dará el periodo T, para calcular el desfase con la siguiente ecuación.

**Imagen de la pantalla de un video juego

Descripción generada automáticamente con confianza baja**

Ilustración 17 Señales desfasadas.

Se obtiene los siguientes resultados de factor de potencia mostrados en la terminal virtual para señales con desfase de 0,30 y 80 grados (ilustraciones 18,19 y 20), se rescata los datos enviados mediate comunicación serial a esa, sin embargo, esto es solo para efecto de simulación ya que esta no es la interfaz final.

**Forma, Rectángulo

Descripción generada automáticamente**

Ilustración 18 Factor de potencia, desfase 0 grados.

**Forma, Rectángulo

Descripción generada automáticamente**

Ilustración 19 Factor de potencia desfase 30 grados.

**Texto

Descripción generada automáticamente con confianza media**

Ilustración 20 Factor de potencia desfase 80 grados.

* **Interfaz usuario**

**Interfaz de usuario gráfica, Aplicación

Descripción generada automáticamente**

Ilustración 21 Interfaz.

Se ha diseñado una interfaz de usuario que permite la interacción y la visualización en tiempo real de datos críticos, tales como el factor de potencia, voltaje, amperaje, desfase y tiempo de desfase en una red eléctrica. Esta interfaz ha sido desarrollada cuidadosamente, con un enfoque en la eficiencia y la usabilidad, priorizando la presentación de datos de manera sencilla y accesible para el usuario.

Este diseño proporciona a los usuarios la capacidad de monitorear datos en tiempo real de manera inmediata, lo que facilita la comprensión de la situación y la toma de decisiones informadas en la gestión de sistemas eléctricos. Además, su estructura intuitiva permite a los usuarios, incluso aquellos sin un profundo conocimiento técnico, interpretar y utilizar los datos con facilidad.

Aspectos geométricos y dimensiones:

• La placa del dispositivo tendrá una dimensión de 20 x 25 cm compuesto por 4 etapas Esta placa servirá como la base sobre la cual se construye todo el sistema, proporcionando un sólido soporte para los componentes internos.

• Para el encapsulado del dispositivo se diseñó un modelo que se asemeja a un panel, el cual alberga la PCB en su interior. Este diseño es especialmente útil ya que permite un fácil acceso para manipulaciones, revisiones o extracciones si fuese necesario. Esta característica garantiza la versatilidad y mantenimiento eficiente del dispositivo.

• El dispositivo cuenta con dos ranuras estratégicamente ubicadas para la organización y disposición de los cables (consultar Anexo). Estas ranuras contribuyen a mantener el área de trabajo limpia y ordenada, asegurando que los cables estén bien organizados y no interfieran con el funcionamiento del dispositivo.

• En cuanto a sus dimensiones, el dispositivo tiene un tamaño de 27 cm de largo, 22 cm de ancho y un grosor aproximado de 10 cm. Estas dimensiones proporcionan un equilibrio entre la portabilidad y la capacidad de albergar todos los componentes necesarios para su correcto funcionamiento.

## Definir todos los requerimientos de ensayos y pruebas de equipos y sistemas que comprenden el proyecto.

Para los ensayos, se obtienen simulaciones del circuito, donde este es capaz de censar corriente, voltaje rms, calcular el desfase, todo esto en condiciones ideales, sin embargo, en la implementación y practica la experiencia nos dice que existen variables que deben ser compensadas y ajustadas, por lo cual se han definido la siguientes pruebas y ensayos.

Cruce por cero: se debe probar la acción de los compradores ante el cruce por cero, ya que se debe evitar que estos oscilen antes de tener una salida estable, lo que provocaría falsos cruces por cero, es por esto por lo que se debe ajustar la histéresis mediante su circuito asociado y analizar el tipo de onda se obtiene empleando un osciloscopio.

Según sean los resultados con los comparadores, se pretende lograr prescindir del filtro o simplificarlo.

Ajustar el offset de los amplificadores operacionales, se puede hacer con un simple multímetro, esto con el fin de obtener lecturas más precisas.

Hacer pruebas con cargas inductivas, esto con el fin de alterar el factor de potencia y monitorearlo, así como también la corriente y voltajes RMS

Hacer pruebas con actuadores, esto quiere decir que el dispositivo pueda conmutar los capacitores conectándolos a la red eléctrica, para corregir el factor de potencia. Se de be tomar nota de los resultados, para ajustar los parámetros de la lógica difusa, funciones de membrecía, rangos entre otros, este proceso se afina mediante ensayo y error.

### Implementación y documentación:

Las pcb’s del dispositivo se dividieron principalmente en dos:

**Etapa de adquisición de señales:**

La etapa de adquisición de señales desempeña un papel crucial al recibir y procesar las señales de corriente y voltaje, para llevar a cabo esta tarea de manera eficiente, se implementa un circuito de detección de cruce por cero para ambas señales.

En el caso de la señal de corriente, se utiliza el sensor STC-013, el cual se conecta un filtro activo pasa banda para minimizar el ruido de la red que pueda tener la señal, el filtro se alimenta con una fuente simétrica independiente, la salida de este se conecta a una de las entradas del amplificador operacional LM358. Este amplificador operacional doble está configurado como seguidor de tensión para obtener el semiciclo positivo de la señal de corriente para que sea apta para la lectura por el ADC del microcontrolador así también esta señal pasa por el otro operacional configurado como comparador, para así conectarse a otro comparador en este caso un lm339 que es un comparador de colector abierto lo que permite ajustar la señal a un nivel TTL esto último se emplea para detectar el cruce por cero de esta señal.

Esta configuración permite obtener de manera eficaz el semiciclo positivo de la señal de corriente, lo cual es esencial para el posterior procesamiento y cálculo del factor de potencia. La utilización del amplificador operacional LM358 en modo seguidor de tensión garantiza una representación precisa del semiciclo positivo de la señal de corriente, permitiendo su posterior análisis y comparación con el voltaje de referencia.



Ilustración 22: Filtro pasa banda.

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 23 Detector de cruce por cero y rectificador de precisión.

Fuente: Elaboración propia.

.

**Señal voltaje:**

Para la señal de voltaje se implementa un circuito detector de cruce por cero de precisión donde sus elementos principales son un comparador lm339 y un optoacoplador para aislar el circuito de control del voltaje de línea,

Donde el comparador es alimentado por un el mismo voltaje de línea rectificado filtrado y regulado, la señal a comparar está limitada en amplitud mediante diodos clamping, y limitado en corriente mediante una resistencia.



Ilustración 24 Detector de cruce por cero para señal de voltaje.

Fuente: Elaboración propia.

.

**Etapa de potencia:**

Esta etapa conta de transistores que manejan el accionamiento del led que indican que están accionando el relé correspondiente, los relés conectan los capacitores a la red mediante la bornera que está en la placa, estos además traen un transformador que reduce el voltaje que se rectifica y reduce para ser leído por le ADC del microcontrolador.



Ilustración 25 Etapa de potencia.

Fuente: Elaboración propia.

**Lógica difusa:**

La lógica difusa está basada en el modelo de Takagi-Sugeno, se utilizarán dos universos difusos de entrada y uno para la salida, su principal función es controlar la cantidad de bancos de capacitores necesarios según se requiera.

El primer universo de entrada está relacionado con el factor de potencia actual, definido por tres funciones de membresía bajo(trapezoidal), medio(triangular) y alto(trapezoidal)

Forma

Descripción generada automáticamente

Ilustración 26 Primer universo de entrada.

Fuente: Elaboración propia..

Forma

Descripción generada automáticamentePara el segundo universo de entrada se utiliza el desfase, definido por tres funciones de membresía atrasado(trapezoidal), estacionario(triangular) y adelantado(trapezoidal)

Ilustración 27 Segundo universo de entrada.

Fuente: Elaboración propia.

El universo de salida corresponde a los bancos de capacitores, este universo está representado por tres funciones de membresía singleton donde añade un banco de capacitor, no realiza ninguna acción , y resta un banco de capacitor según correspondan.

Gráfico de barras

Descripción generada automáticamente con confianza media

Ilustración 28 Universo de salida.

Fuente: Elaboración propia.

.

Ya teniendo estos datos la matriz de reglas difusas queda de la siguiente manera:

Tabla 7(Matriz de reglas difusas)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Atrasado | Estacionario | Adelantado |
| Bajo | añadir | Añadir | Añadir |
| Medio | Añadir | Mantener | Quitar |
| Alto | Mantener | Mantener | Quitar |

El funcionamiento generar es el siguiente, si el factor de potencia está bajo la norma requerida, en este caso 0.93, se añadirán bancos de capacitores hasta que este sea igual a 0.93, en el caso de que este sea superior a la norma , el dispositivo proceda a quitar y finalmente si se detecta que el factor de potencia es correcto no se realiza ninguna acción por lo que se mantienen los bancos de capacitores.

### Plan de operación y mantenimiento:

Para poner en funcionamiento el dispositivo de corrección del factor de potencia, es esencial seguir una serie de pasos específicos.

se debe establecer una conexión directa del dispositivo con la red eléctrica. Esta interconexión, realizada en paralelo con la maquinaria o equipos utilizados, permite al dispositivo acceder a la información necesaria para calcular y corregir el factor de potencia con precisión para ello se precisa de conectar el sensor de corriente en la fase de la red eléctrica en la que se implementara el dispositivo y la conexión al de fase y neutro al dispositivo mediante la bornera.

Los capacitores deben ser previamente dimensionados para la red eléctrica a la cual conectaran ya que el infra dimensionamiento o sobre dimensionamiento causarían una corrección deficiente del factor potencia. Para ello se debe conectar el dispositivo a la red sin los capacitores y con todas las cargas que operaran en esta, con el factor de potencia leído bajo esa condición se debe calcular la potencia reactiva necesaria para corregir el factor de potencia y dividirla entre todos los capacitores que se emplearan siendo un máximo de 4 capacitores u arreglos de estos.

Se debe conectar los capacitores a las entradas correspondientes de los relés . Esta conexión precisa asegura que el sistema pueda detectar y corregir eficientemente el factor de potencia en cada carga.

Es crucial que los capacitores estén conectados en paralelo con la carga principal mediante los relés. Este diseño permite al dispositivo intervenir eficazmente, corrigiendo el factor de potencia en tiempo real y optimizando la eficiencia energética en todo el sistema eléctrico. La disposición en paralelo garantiza una respuesta inmediata a las variaciones en la carga principal, adaptándose dinámicamente para mantener un factor de potencia deseado.

La visualización de los datos puede ser mediante la interfaz o la pantalla empotrada, para hacer uso de la interfaz debe conectar un cable USB tipo B y abrir la interfaz proporcionada y conectarse al puerto COM correspondiente al dispositivo.

**Mantenimiento correctivo:**

* **Problema: Desconexión Intermitente de Bancos de Condensadores**

**Causa**: Conexiones sueltas o corroídas en el sistema de conmutación de los bancos de condensadores.

**Solución:** Inspección visual y apriete de todas las conexiones eléctricas. Reemplazo de conectores corroídos si es necesario.

* **Problema: Mal Funcionamiento del Microcontrolador**

**Causa**: Posible falla en el firmware o en el hardware del microcontrolador PIC18F4550.

**Solución:** Actualización del firmware a la última versión. Si persisten los problemas, reemplazo del microcontrolador.

* **Problema: No existe comunicación entre interfaz y la maquina**

**Causa**: Desconexión del controlador USB, falla en el funcionamiento del cable de conexión, problemas con el puerto

USB de la placa

**Solución**: Verificar controlador USB, verificar funcionamiento del cable de conexión revisar puerto USB-B de la placa

* **Problema:** no hace corrección del factor de potencia en absoluto.

**causa:** transistor de control del relé en mal estado, relé en mal estado, falla conexión de capacitores u daño de estos.

**Soluciones**: verificar el estado de los transistores de control y relés, conexión y estado de los capacitores, reemplazar cualquiera de estos alimentos que ese encuentre alterado o en mal estado.

* **Problema**: corrección deficiente del factor de potencia.

**Causa:** infra dimensionamiento de o sobre dimensionamiento de los capacitores que se conectaran a la red.

**Solución**: dimensionar correctamente los capacitores que se conectaran a la red.

* **Problema**: lecturas muestra lecturas erráticas en display y/o interfaz.

**Causa**: interferencias electromagnéticas inducidas en tramo del cable del sensor de corriente.

**Solución:** alejar cualquier fuente de interferencia electromagnética en el tramo de cablea proveniente del sensor de corriente, evitar que este paralelo a la línea eléctrica.

**Mantenimiento preventivo:**

* **Problema:** Sobrecalentamiento del Microcontrolador

Causa: Acumulación de polvo en el entorno del microcontrolador o mal flujo de aire.

Solución: Limpieza regular del entorno, asegurando una buena ventilación y evitando la obstrucción del sistema de enfriamiento.

* **Problema:** Desviaciones en la Lectura de la Pantalla LCD

**Causa**: Desgaste en la pantalla o conexión suelta.

**Solución**: Inspección visual y reemplazo de la pantalla LCD en caso de deterioro. Verificación y ajuste de las conexiones.

* **Problema:** no hace corrección del factor de potencia en absoluto.

**causa:** transistor de control del relé en mal estado, relé en mal estado, falla conexión de capacitores u daño de estos.

**Soluciones**: verificar el estado de los transistores de control y relés, conexión y estado de los capacitores, reemplazar cualquiera de estos alimentos que ese encuentre alterado o en mal estado.

* **Problema**: corrección deficiente del factor de potencia.

**Causa:** infra dimensionamiento de o sobre dimensionamiento de los capacitores que se conectaran a la red.

**Solución**: dimensionar correctamente los capacitores que se conectaran a la red.

* **Problema**: lecturas muestra lecturas erráticas en display y/o interfaz.

**Causa**: interferencias electromagnéticas inducidas en tramo del cable del sensor de corriente.

**Solución:** alejar cualquier fuente de interferencia electromagnética en el tramo de cablea proveniente del sensor de corriente, evitar que este esté paralelo a la línea eléctrica.

### Conclusiones:

El objetivo general del proyecto se cumplió, el dispositivo es capaz de censar corriente, voltaje y calcular el factor de potencia sin problemas además de hacer uso de la lógica difusa para corregir este mismo.

Se cumplieron todos los objetivos secundarios y fuimos capaces de realizar este proyecto con los materiales disponibles en nuestro país.

Trabajar con señales pequeñas como la que genera el sensor de corriente puede traer algunos problemas debido al ruido que puede ser inducido en esta, lo cual ocasiona falsas lecturas, podemos destacar la importancia de implementar filtros para mitigar este problema, además del uso de compradores analógicos que puede ocasionar problemas a con configurase como un circuito con histéresis.

Se podía reducir en gran parte la circuitería analógica usando un microcontrolador dedicado para el procesamiento de señales como por ejemplo microcontroladores de la serie pic32, para implementar filtro digitarles a las señales.

### Anexos

**Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamenteAnexo 1(esquemático FP):**

**Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamenteAnexo 2(Conexiones microcontrolador):**

**Diagrama, Esquemático

Descripción generada automáticamenteAnexo 3 (Conexiones relés):**

**Diagrama

Descripción generada automáticamenteAnexo 4(Conexión alimentación):**

**Anexo 5 (Código fuente):**

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71  72  73  74  75  76  77  78  79  80  81  82  83  84  85  86  87  88  89  90  91  92  93  94  95  96  97  98  99  100  101  102  103  104  105  106  107  108  109  110  111  112  113  114  115  116  117  118  119  120  121  122  123  124  125  126  127  128  129  130  131  132  133  134  135 | include <**18f4550.**h>  #device ADC = 10  #fuses xt, nowdt,cpudiv1  #use delay(clock=4M)  #include <math.h>  #use rs232(baud=9600, xmit=PIN\_C6, rcv=PIN\_C7, errors)  //#byte TRISC = 0x87  //#byte PORTC = 0x07  //#define LCD\_DATA\_PORT getenv("SFR:PORTB")  //#include <lcd.c>  **float** vrms = **0**, irms =**0**;  //Variables globales  **float** lectura=**0**;  **float** sumac = **0.0**;  **float** lecturac =**0.0**;    int16 Rising\_Edge\_Time=**0**, Falling\_Edge\_Time=**0**;  **float** Duty\_Cycle=**0**, T=**0**;  int1 cambio=**0**; //Para controlar el cambio de flanco  int1 pulso\_creado=**0**; //Para controlar cada periodo creado  **float** desfase=**0**;  **float** factor\_potencia=**0**;  **int** contador=**0**;  **float** suma=**0**;  int16 muestras[**30**]={**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**,**0**};  //Interrupciones  #int\_ccp1  **void** **ccp1\_isr**(){  //flanco de subida  **if** (cambio==**0**){  Rising\_Edge\_Time=CCP\_1;  setup\_ccp1(CCP\_CAPTURE\_FE); //Capture con flanco de bajada  set\_timer1(**0xFFFF**); //Poner a 0 el Timer 1  cambio=**1**; //Siguiente interrupcion, flanco de bajada    }  //flanco de bajada  **else**{  Falling\_Edge\_Time=CCP\_1;  setup\_ccp1(CCP\_CAPTURE\_RE); //Capture con flanco de subida  set\_timer1(**0xFFFF**); //Poner a 0 el Timer 1  cambio=**0**; //Siguiente interrupcion, flanco de subida  **if**(pulso\_creado==**0**){  pulso\_creado=**1**; //Flag para crear la señal cuando termina un periodo  }  }  }  **void** **power\_factor**(){  T=(Falling\_Edge\_Time+Rising\_Edge\_Time); //Viene dado en us  Duty\_Cycle=Falling\_Edge\_Time/T;  desfase = (((Falling\_Edge\_Time-Rising\_Edge\_Time)/T))\*pi;  factor\_potencia = cos(desfase);    contador++;  }  **void** **lectura\_rms**(){ // toma 300 muestras y obtiene el voltaje RMS  set\_adc\_channel(**0**);  int16 p = **0**;  **while**(p<=**300**){  lectura = read\_adc()\***220.0**/**348**;  suma += lectura\*lectura;  p++;  }  vrms = sqrt(suma/**300**);  printf("**\r\n**V RMS:%.1f",vrms);  p = **0**;  suma=**0**;  }  **void** **lectura\_corriente**(){ //toma 300 muestra e imprime corriente RMS  int16 u = **0**;  set\_adc\_channel (**1**);  **while**(u<=**300**){  lecturac = read\_adc()\***50.0**/**305**; //50/305  sumac += lecturac\*lecturac;  u++;    }  irms = sqrt(sumac/**300**);  printf("**\r\n**I RMS:%.1fA",irms);  u = **0**;  sumac=**0**;  }  //Programa principal  **void** **main** (){  //Configuración de periféricos  setup\_adc(ADC\_CLOCK\_INTERNAL);  setup\_adc\_ports(**0x0D** );  set\_adc\_channel(**0**);  //Configuracion del lcd  //lcd\_init();  //Configuracion del Timer1  //Timer1 - Prescaler 1 - Cuenta maxima de 16 bits - 65535 us = 65,535 ms  setup\_timer\_1(T1\_INTERNAL);  //Configuracion del modulo CCP  //CCP - Modo capture - Flanco de subida  setup\_ccp1(CCP\_CAPTURE\_RE);  //Habilitacion de interrupciones  enable\_interrupts(global);  enable\_interrupts(int\_ccp1);    //Bucle infinito  **while**(true){  **if**(pulso\_creado==**1**){  power\_factor(); //entra cada vez que se crea    }  **if** (contador>=**30**){    disable\_interrupts(global);  disable\_interrupts(int\_ccp1);  pulso\_creado=**0**;  lectura\_rms(); //leemos Vrms  lectura\_corriente(); //leemos irms    printf( "**\r\n**PF= %.2f ",factor\_potencia);  //printf("\r\nancho pulso: %2.1f",T );  pulso\_creado=**0**;  contador =**0**;  suma=**0**;  delay\_ms(**100**);  enable\_interrupts(global);//hasta otro pulso no entramos de nuevo  enable\_interrupts(int\_ccp1);    }    } |

**Anexo 6(Código Puertos COM):**

Texto

Descripción generada automáticamente

Texto

Descripción generada automáticamente

**Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamenteAnexo 7 (Planos Empaquetado):**

Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamente

Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamente

**Diagrama, Dibujo de ingeniería

Descripción generada automáticamente**

**Anexo 8 (cotizaciones):**

Lista de materiales para C.F.P Difuso

|  |  |
| --- | --- |
| Título del diseño | C.F.P Difuso |
| Autor | E. Sazo, M.Olivares |
| Número de documento | 1 |
| Revisión | 4 |
| Creación del diseño | domingo, 1 de octubre de 2023 |

Última modificación del diseño miércoles, 18 de octubre de 2023

Componentes en el diseño 100

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 16 Capacitores |  |  |  |
| Cantidad | Referencias | Valor | Precio |
| 2 | C1,C7 | 2200u | $1.000 |
| 2 | C2,C6 | 220n | $150 |
| 3 | C3,C10-C11 | 100n | $150 |
| 2 | C4-C5 | 33p | $150 |
| 2 | C8-C9 | 330n | $150 |
| 2 | C12,C14 | 10n | $150 |
| 2 | C13,C15 | 1nF | $150 |
| 1 | C16 | 10uf | $150 |
| SubTotal: |  |  | $4.100 |
| 33 Resistores |  |  |  |
| Cantidad | Referencias | Valor | Precio |
| 1 | R1 | 10K | $25 |
| 2 | R2,R12 | 5k | $25 |
| 14 | R3,R9,R11,R13,R20-R25,R29-R30,R32-R33 | 10k | $25 |
| 2 | R4,R14 | 3.3k | $25 |
| 2 | R5,R26 | 530k | $25 |
| 2 | R6,R27 | 800k | $25 |
| 2 | R7,R28 | 520k | $25 |
| 6 | R8,R15-R19 | 330R | $25 |
| 1 | R10 | 4.7k | $25 |
| 1 | R31 | 1k | $25 |
| SubTotal: |  |  | $825 |
| 15 Circuito Integrado | |  |  |
| Cantidad | Referencias | Valor | Precio |
| 1 | U1 | PIC18F4550 | $7.990 |
| 1 | U2 | 7805 | $390 |
| 6 | U3,U10-U14 | 4N25 | $300 |
| 1 | U4 | LM339 | $400 |
| 2 | U5,U15 | TL071 | $490 |
| 1 | U6 | 7812 | $390 |
| 1 | U7 | 7912 | $390 |
| 1 | U8 | TL072 | $490 |
| 1 | U9 | 74HC02 | $400 |
| SubTotal: |  |  | $13.230 |
| 6 Transistores |  |  |  |
| Cantidad | Referencias | Valor | Precio |
| 6 | Q7-Q12 | IRF740 | $1.000 |
| SubTotal: |  |  | $6.000 |
| 30 Misceláneo |  |  |  |
| Cantidad | Referencias | Valor | Precio |
| 2 | AC IN,SECUNDARIO | TBLOCK-M3 | $200 |
| 1 | BR1 | KBU4D | $1.000 |

1 BR2 BRIDGE $1.000

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | FU1 | 10mA | $150 |
| 1 | FU2 | 1A | $150 |
| 1 | ICSP | CONN-H5 | $200 |
| 1 | J2 | TBLOCK-M12 | $200 |
| 2 | J3,LCD | CONN-H15 | $200 |
| 1 | J4 | USBCONN | $1.000 |
| 1 | LCD1 | LCD 20X4 | $11.400 |
| 3 | PRIMARIO,SCT-013,VAC | TBLOCK-M2 | $200 |
| 6 | RL1,RL5-RL9 | G5CLE-14-DC24 | $1.500 |
| 2 | RV1-RV2 | 1k | $400 |
| 1 | RV3 | 2K | $400 |
| 1 | SENSOR CORRIENTE | SCT-013 | $9.000 |
| 1 | SENSOR DE VOLTAJE |  | $3.000 |
| 1 | SENSORES | TBLOCK-I3 | $200 |
| 1 | SERIAL TTL | CONN-H4 | $200 |
| 1 | TR1 | TRAN-2P3S | $12.000 |
| 1 | X1 | CRYSTAL | $300 |

SubTotal: $51.400

Total: $75.555

Notas:

No se consideran costos de envió miércoles, 18 de octubre de 2023 22:42:28

**Anexo 9 (Carta Gantt):**

**Imagen que contiene Escala de tiempo

Descripción generada automáticamente**

**Gráfico

Descripción generada automáticamente**

**Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza mediaAnexo 10 (PCB PIC) :**

**Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza mediaAnexo 11 ( PCB medición )**

**Anexo 12 (PCB Alimentación):**

Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza media

**Anexo 13 (PCB Relés):**

Un dibujo de una persona

Descripción generada automáticamente con confianza media

### Referencias

(SEC), S. d. (30 de septiembre 2016). *Articulo 13190.* Santiago.

Atatecnologia. (s.f.). *Atatecnologia*. Obtenido de https://altatecnologia.com.mx/funcionamiento-de-un-banco-de-capacitores/

Barcón, S., Rafael, G., & Iv'an, M. (2011). *Calidad de la Energía (Factor de potencia y filtrado de armonicas).* Apolo.

DIARIO OFICIAL DE LA REPUBLICA DE CHILE. (28 de Mayo de 2021). *economiacircular.mma.gob.c.* Obtenido de https://economiacircular.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/06/16-Publicacion-DO-Res-Exenta-No310-cierra-pilas-abre-PRAEE.pdf

Electricidad, S. -D. (2020). *RIC-N07-Instalaciones-de-Equipos.* SEC, División de Ingeniería de Electricidad. Obtenido de https://www.seital.cl/data/documents/RIC-N07-Instalaciones-de-Equipos-V1.1-1.pdf

Euna, M. G. (2000). *Correccíon del factor de potencia.*

jhon j . Grainger, w. D. (1994). *Analisis de sistemas depotencia.* Mc Grow Hill.

MINISTERIO DE ECONOMÍA; FOMENTO Y RECONSTRUCCION; SUBSECRETARIA DE ECONOMIA; FOMENTO Y RECONSTRUCCION. (10 de Noviembre de 2005). *www.bcn.cl.* Obtenido de https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=246921

Ministerio de medio ambiente. (01 de 10 de 2023). *economiacircular*. Obtenido de https://economiacircular.mma.gob.cl/ley-rep/

Zodo. (s.f.). *ZODO*. Obtenido de https://es.zddqelectric.com/svg-dynamic-reactive-power-compensator-drpc\_p98.html#:~:text=generador%20de%20var%20est%C3%A1tica%20Actualmente%20es%20la%20mejor,la%20funci%C3%B3n%20de%20filtraci%C3%B3n%20activa%20de%20corriente%20arm%C3%B3nica.