

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA
CAMPUS HEREDIA

PROGRAMA ACADÉMICO LICENCIATURA EN INGENIERÍA
ELECTROMECAÁNICA

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

PROTOTIPO DE SISTEMA INTELIGENTE DE CONTROL Y AHORRO
ENERGÉTICO

AUTOR
ING. DANIEL HERRERA FLORES

HEREDIA, 2018



UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Prototipo de sistema inteligente de control y ahorro energético, por el estudiante: Daniel Herrera Flores, fue aprobada por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica:

Ing. Samuel Grant Chaves, MPM

TUTOR

Ing. Paulo Irias Hernández, MBA

LECTOR

Ing. Oscar Delgado Jiménez

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

Heredia, 28 de diciembre de 2018

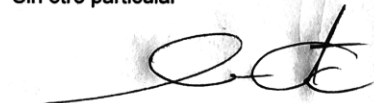
Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Tutor, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "Prototipo de sistema inteligente de control y ahorro energético", elaborada por el estudiante Daniel Herrera Flores, cedula de identidad 4-0229-0879.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Lector y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular



Ing. Samuel Grant Chaves, MPM
Tutor

Heredia, 28 de diciembre de 2018

Señores
Universidad Latina (campus Heredia)

Atención
Departamento de Registro

Por medio del presente deseo hacer constar que, en mi calidad de Lector, apruebo el presente documento de la Tesis titulada "Prototipo de sistema inteligente de control y ahorro energético", elaborada por el estudiante Daniel Herrera Flores, cedula de identidad 4-0229-0879.

Este trabajo fue realizado con el fin de optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica de la Universidad Latina de Costa Rica; y certifico que he revisado el documento de graduación y este cumple con todos los requisitos de forma y fondo que se solicita para esta modalidad por lo cual se le autoriza para ser presentado y defendido públicamente ante el Tribunal Académico de la Universidad, después de que sea revisado por el Tutor y aprobado por el profesional en Filología.

Sin otro particular



Ing. Paulo Irias Hernández, MBA
Lector

17 de diciembre del 2018

Sres. Miembros del comité de trabajos finales de graduación
Universidad Latina de Costa Rica
Sede Heredia

Estimados señores:

Yo Lizeth Rodríguez Barrantes cédula de identidad 401770809, licenciada en filología de la Universidad de Costa Rica; he revisado a nivel semántico, gramatical y ortográfico el trabajo denominado «prototipo de sistema inteligente de control y ahorro energético» cuyo autor es el Sr. Daniel Herrera Flores.

Considero que el trabajo cumple con lo establecido; no obstante, por efectos de mantener el formato requerido por la Universidad Latina, en su documento de "lineamientos para presentación de trabajos finales de graduación"; no es viable mantener todos los formatos (específicamente) establecidos por la (American Psychological Association, 2010).

Habiendo aclarado lo anterior, sugiero al nivel que me compete; que, dado que este documento cumple con todo lo requerido por su universidad, el Sr. Herrera Flores, realice la defensa oral ante el Consejo Asesor correspondiente.

Cordialmente;

Lizeth Rodríguez Barrantes

Liz Rodríguez B.

*A mi madre
... y las personas que me han guiado junto con ella*

“Fortes fortuna adiuvat”

- *Antiguo proverbio romano*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen diversos sistemas tanto industriales como residenciales que dependen de una conexión estable de electricidad; ciertos dispositivos pueden generar un consumo eléctrico indeseado a pesar de ser una baja potencia, ya que están a la espera de una señal de arranque, al igual que, aunque no están en uso su circuitería interna produce un gasto que no sea perceptible hasta el momento de pagar el recibo eléctrico mensual, que en ocasiones por la costumbre de tener estas excedencias no son tan importantes según el criterio de las personas. En el caso de los sistemas industriales la situación cambia ya que como es sabido, en sistemas como los de aire comprimido, refrigeración y similares puede haber fallas o funcionamientos indebidos que representan no solo un riesgo en los activos de la empresa sino a su vez un consumo de energía que no fue aprovechado por las máquinas en su totalidad y han creado un gasto de electricidad en un lapso de tiempo que puede alargarse hasta la eventual falla de un equipo o el momento del pago eléctrico de la empresa.

Es por esto que una detección temprana de estas situaciones puede llegar a significar no solo evitar un pago extra por consumo eléctrico, sino que también la prevención de un deterioro en sistemas, donde se requiere una alta eficiencia y la demanda de trabajo es elevada, y aunque ya existen sistemas inteligentes tanto para hogares o industrias no son de gran uso por los mismos debido a sus altos costos de implementación dada la necesidad de no solo el montaje de paneles de control y sensores, también necesitan cableado que requiere cambios en la estructura de la edificación.

Pero aunque hoy día hay protocolos de mantenimiento con la finalidad de evitar fallas y dispositivos para las residencias que controlan en cierta medida el consumo eléctrico en electrodomésticos; no son del todo efectivos, por lo no se nota un aumento del uso de los sistemas inteligentes destinados a realizar estas tareas

CONTENIDO

1	PROBLEMA Y PROPÓSITO.....	1
1.1	Síntoma.....	1
1.2	Causas	1
1.3	Pronóstico	2
1.4	Control al pronóstico.....	2
1.5	Formulación del problema.....	3
1.6	Sistematización del problema	3
1.7	Objetivo General.....	4
1.8	Objetivos Específicos	4
1.9	Estado actual de la investigación.....	4
1.10	Metodológica	5
2	MARCO TEÓRICO	8
2.1	Marco Situacional	8
2.2	Marco Conceptual.....	9
2.2.1	Consumo eléctrico fantasma residencial	9
2.2.2	Maquinaria industrial y su eficiencia eléctrica.....	9
2.2.3	Sistemas domóticos.....	15
2.2.4	Arduino	16
2.2.5	Tipos de tarifa eléctrica en Costa Rica	18
2.2.6	Medidores de energía existentes	21
2.3	Hipótesis	23
2.4	Limitaciones	23
2.5	Alcances.....	24

3	DESARROLLO.....	26
3.1	Prototipo residencial	26
3.1.1	Definición de funciones para el prototipo residencial	26
3.1.2	Diseño de circuitos de medición de corriente	27
3.1.3	Diseño de circuitos de control para actuadores	29
3.1.4	Programación del prototipo residencial.....	32
3.1.5	Arquitectura y ensamble.....	37
3.1.6	Pruebas de funcionamiento simuladas	41
3.2	Prototipo industrial.....	49
3.2.1	Definición de funciones para el prototipo industrial.....	49
3.2.2	Diseño de circuitos para medición de corriente y voltaje	50
3.2.3	Programación del prototipo industrial.....	52
3.2.4	Arquitectura básica	57
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES.....	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tarifa residencial horaria en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).....	19
Tabla 2.2. Tarifa residencial en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).....	20
Tabla 2.3. Tarifas a comercios y servicios en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).	20
Tabla 2.4. Tarifa de media tensión en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).....	21
Tabla 3.1. Dispositivos conectados al Arduino (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	37
Tabla 3.2. Materiales necesarios para el prototipo residencial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	38
Tabla 3.3. Simbología de conexiones internas para prototipo residencial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	39
Tabla 3.4. Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en motores eléctricos (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	56
Tabla 3.5. . Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en compresores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	56
Tabla 3.6. Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en sistemas de refrigeración (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	57
Tabla 3.7. Materiales necesarios para el prototipo industrial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	57
Tabla 3.8. Simbología de conexiones internas para prototipo industrial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de sistema neumático simple (Solé, 2011, pág. 9).....	11
Figura 2.2. Diagrama de presión- entalpía de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).	13
Figura 2.3. Esquema de ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).....	14
Figura 2.4. Arduino UNO (Arduino, 2018).....	17
Figura 2.5. ABB i-bus KNX (Asea Brown Boveri, 2018).....	22
Figura 2.6. Contadores de energía EQ (Asea Brown Boveri, 2018).	23
Figura 3.1. Circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 30A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	28
Figura 3.2. Montaje de circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 30A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	28
Figura 3.3. Diagrama de conexión para circuito de control para actuador con transistor (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	30
Figura 3.4. Montaje de circuitos de control para actuadores con transistores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	30
Figura 3.5. Diagrama de conexión para circuito de control para actuador con opto acoplador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	32
Figura 3.6. Montaje de circuitos de control para actuadores con opto acopladores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	32
Figura 3.7. Programación de pantalla LCD como interfaz de horarios, primera parte (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	34
Figura 3.8. Programación de pantalla LCD como interfaz de horarios, segunda parte (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	35
Figura 3.9. Programación para realizar las mediciones de consumo con los sensores de corriente de 30A (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	36
Figura 3.10. Distribución de componentes en caja EMT para prototipo residencial, medidas en pulgadas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	39
Figura 3.11. Prototipo residencial final (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).....	40

Figura 3.12. Prueba de funcionamiento de programaciones con lámpara de mesa 50W (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	41
Figura 3.13. Reloj interno de la programación proyectado en pantalla serial de Arduino (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	42
Figura 3.14. Pantalla LCD en funcionamiento y espera de ordenes (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	42
Figura 3.15. Mensaje en pantalla serial de apagado del circuito (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	43
Figura 3.16. Circuito con lámpara apagada al ser las 8:02 am por programación (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	43
Figura 3.17. Mensaje en pantalla serial de encendido del circuito (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	43
Figura 3.18. Circuito con lámpara encendida al ser las 8:03 am por programación (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	44
Figura 3.19. Bombillo de 50W encendido con medidor de corriente en fase (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	45
Figura 3.20. Primera medición de corriente realizada después de ajuste de señal (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	45
Figura 3.21. Registro de mediciones realizadas al bombillo de 50W hasta llegar a un consumo máximo de 0.3Wh (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	46
Figura 3.22. Bombillo de 50W apagado con medidor de corriente en fase después de máximo consumo (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	46
Figura 3.23. Modulo con circuitos y prototipo para demostraciones (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	47
Figura 3.24. Primera persona para pruebas utilizando el prototipo con función de alarmas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	48
Figura 3.25. Segunda persona para pruebas utilizando el prototipo con función de alarmas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	49
Figura 3.26. Circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 100A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).	51

Figura 3.27. Circuito rectificador de onda completo de monofásico, para señal de voltaje al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).52

Figura 3.28. Programación para realizar las medidas del nivel de tensión en una línea (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).54

Figura 3.29. Distribución de componentes en caja EMT para prototipo industrial, medidas en pulgadas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018). 58

CAPITULO I

1 PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1 SÍNTOMA

Los dispositivos electrónicos y ciertos electrodomésticos demandan bajas potencias por largos periodos de tiempo; esto sin estar en uso, lo que repercutirá en el monto facturado por concepto de consumo de energía, generando un gasto innecesario, también en ocasiones por accidente se pueden dejar luces o aparatos en funcionamiento mientras no se están utilizando, lo cual no cambiará hasta que el usuario no modifique dichas anomalías.

De forma similar en los sistemas industriales, su demanda de potencia promedio se ve afectada por defectos en los mismos (fugas de aire, aislantes defectuosos, falta de mantenimiento, entre otros), los que en ocasiones no son detectadas hasta la fecha de un mantenimiento preventivo o en el momento que un mal funcionamiento genere una falla que detenga el funcionar de toda la maquinaria dependiente del sistema.

En ambos casos se obliga a la maquinaria llevar a cabo sus tareas fuera de los parámetros establecidos en su diseño; generando un consumo de superior de energía.

1.2 CAUSAS

Aunque las empresas encargadas de la distribución eléctrica a nivel residencial, comercio e industria, ponen a su disposición consejos y acciones a ejecutar por parte de sus clientes para realizar un consumo eléctrico más eficiente; estos desconocen de la disponibilidad de esta información en su mayoría.

Y en el caso de conocer sobre el tema, no se toman las medidas necesarias, ya sea por indiferencia u olvido de las prácticas constantes.

La población en general no se ha concientizado del impacto a nivel económico y ambiental del consumo energético, y que está en sus manos el reducir en ciertos aspectos; y dado el caso, prevenir una demanda de energía que no sea utilizada por dejar un aire acondicionado en funcionamiento, luces encendidas o electrodomésticos en funcionamiento de manera innecesaria o por olvido.

En el caso de los sistemas de maquinaria industrial en ocasiones se generan picos de consumo presentados en periodos amplios de tiempo, que no son beneficiosos para la empresa por la energía extra que deberá pagar.

Esto se en la mayoría de situaciones se relaciona a fallas que se presentan ya sea directamente relacionadas con los motores, bombas o compresores y su inadecuado mantenimiento. O cabe la posibilidad que la causa esté en otros aspectos vinculado a fugas, pérdidas de aislamiento, temperaturas de trabajo inadecuadas y demás efectos; que comprometen tanto el funcionamiento de la máquina como su vida útil.

1.3 PRONÓSTICO

De no resolver este problema presente tanto en residencias como oficinas y comercios, se continuará cancelando montos mayores por cantidades de energía que no son utilizadas, impactando las economías a nivel familiar, comercial e industrial. Siendo similar el comportamiento en las industrias, donde por fallas presentes en los sistemas, dan paso a un incremento del consumo energético; y por ende del monto a cancelar por su consumo.

De no modificar estas conductas y mejorar en programas de mantenimiento no solo se continuará pagando el excedente, sino también pueden deteriorarse más rápidamente los equipos.

1.4 CONTROL AL PRONÓSTICO

El proponer soluciones innovadoras a problemas de eficiencia energética tanto en residencias como empresas, es medular actualmente debido a la creciente demanda energética.

Con la presente idea, se plantea desarrollar un procedimiento de manera más automatizada mediante el diseño de un sistema electrónico y electromecánico con la capacidad de medir, analizar y comunicar, cuánta energía están consumiendo los dispositivos eléctricos que estén en uso, ya sean de bajo o alto voltaje.

Realizando estas acciones, igualmente el prototipo con sus protocolos de programación actuará según el usuario le haya indicado, como el desconectar

electrodomésticos o máquinas encendidas fuera de horas de servicio, aparatos que en esos momentos estarían consumiendo electricidad de manera innecesaria

En el caso del monitoreo de sistemas industriales, dependiendo del tipo que sea, se programa el dispositivo para que monitoree su función con base en el consumo eléctrico y en caso de encontrar de encontrar desproporciones en este, avise sobre estas anomalías.

Todas estas acciones se tomarán según lo demande la instalación eléctrica en la que se estaría adaptando el prototipo para que, tanto su eficiencia como la de la red donde está conectado y los componentes conectados en ella, sean las indicadas.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El problema a mitigar es la ineficiencia en el consumo eléctrico residencial e industrial. ¿Por qué se está consumiendo energía eléctrica sin optimizar su consumo a nivel residencial e industrial?

1.6 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

La solución propiamente radica en dos puntos básicos; los cuales están interrelacionados, siendo primero la comunicación al cliente sobre el consumo de energía según el sistema monitoreado o dispositivos del hogar; creando una vigilancia constante y más eficiente, haciendo constar que los diferentes elementos funcionan como se debe; y en caso de detectar anomalías ya sea por observación de la persona, datos proporcionados o aviso del prototipo se proceda a corregir esta acción.

En donde se desarrollan estrategias de ahorro para controlar los aparatos y recortar un gasto eléctrico innecesario, siendo este, el segundo punto en el cual se basa la solución a estos inconvenientes.

Todo esto mediante el desarrollo de un sistema inteligente electrónico capaz de tomar lecturas de consumo, determinarle horas de conexión y desconexión de ciertos circuitos que no deberían funcionar según se determine por el usuario, promediar el consumo mensual de toda la instalación y en el caso de haber

anomalías de niveles de tensión no deseados alarmar sobre la situación para que esta sea atendida.

A pesar de sus funciones, su espacio físico no sería de gran tamaño ya que su funcionalidad es la lectura de consumo eléctrico y vigilancia del mismo.

1.7 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema inteligente de monitoreo eléctrico para industrias, hogares o apartamentos de habitación, con el que se controlen las funcionalidades del recinto vinculadas al consumo energético a fin de reducir la incidencia de gastos energéticos ineficientes.

1.8 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir el sistema de monitoreo residencial con interfaz amigable e intuitiva en su aplicación, con recursos propios y los prestados por la universidad; ensamblando en la Universidad Latina de Costa Rica su montaje de pruebas de simulación. Indicador: pruebas de uso con personas aleatoriamente.
- Optimizar el diseño residencial, de forma que sea aplicable a cada sistema industrial estudiado; mediante ajustes mínimos en su programación o circuitería. Indicador: número de cambios en diseño para las diferentes máquinas.
- Analizar la respuesta del prototipo a simulaciones de posibles casos reales de manera que se pueda controlar su gasto de electricidad en el caso de los hogares y se reconozcan posibles pérdidas de consumo fantasma o por fallas en maquinaria. Indicador: resultados de pruebas de laboratorio del sistema.

1.9 ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo eléctrico inteligente para monitoreo, control y ahorro de electricidad tanto en hogares como sistemas de maquinaria industrial, en donde es potencialmente aceptable hacer correcciones de fallas eléctricas; esto con el fin de hacer más eficiente el gasto eléctrico de las personas o empresas.

La realización de esta investigación encierra áreas de conocimiento relacionadas directamente con la ingeniería electromecánica aplicada en la medición eléctrica y automatización; así mismo se exploran indirectamente áreas de conocimiento ligadas al mantenimiento, programación de microprocesadores y domótica.

El interés por la presente misiva es desarrollar una propuesta viable, demostrando eventualmente aspectos de la eficiencia energética y el método para llegar a mantenerlo constante; utilizando el sistema adecuado de monitoreo eléctrico, aportando nuevas tecnologías e introduciendo mejor control sobre las diferentes funcionalidades de los recintos, desde el punto de vista electromecánico y su utilización en tareas industriales y residenciales.

La finalidad es el desarrollo de una solución integral al problema, donde el prototipo tiene como fin poder ser mejorado y llevado a una etapa de implementación a largo plazo.

El aporte creativo del sustentante en esta investigación será el diseño del dispositivo como tal y su modo de funcionamiento, y exponer las diferentes medidas que se deberían tomar en las instalaciones eléctricas para mitigar los gastos de energía sin uso, o de baja eficiencia; dependiendo de los elementos que se tienen conectados a la red y los sistemas que dependen de ellos.

1.10 METODOLÓGICA

Se propone un prototipo de sistema inteligente con la capacidad de hacer mediciones periódicas del consumo eléctrico de los circuitos presentes en un recinto, considerando que maneja cada uno de ellos.

Se programa el dispositivo para que actúe como un medio de control de información que demuestre las situaciones presentes con respecto a su gasto energético y en el caso de decidirlo así, desconectar ese circuito (con la opción a reconectarlo).

Se pretende así mismo por medio de la programación de zonas horarias de trabajo o mejor llamadas alarmas; donde, dependiendo del usuario, puede dejar apagados electrodomésticos, dispositivos eléctricos o circuitos de luces que desee cuando no se encuentre en el hogar.

En el caso de su aplicación en sistemas industriales, proponer el diseño ya que, por razones de financiamiento, su construcción es un poco más onerosa

Pero de igual manera dejar definido su funcionamiento por medio de la simulación con el uso del prototipo residencial. En donde este pueda indicar, en lapsos de tiempo establecidos y dependiendo del sistema que este controlando, cuando hay un comportamiento anómalo en la demanda de potencia, además brindando posibles aspectos que impacten en el mismo.

Todo esto en pruebas controladas; debido a ser un desarrollo de dispositivo en su fase de prototipo y estaría a posibles cambios en la forma de operar y su construcción con el fin de crear un instrumento más eficiente.

CAPITULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 MARCO SITUACIONAL

El desarrollo de este proyecto se enfoca en el diseño de un prototipo electrónico inteligente que permita el monitoreo del gasto energético en los dispositivos de una red eléctrica residencial o industrial; a través del que se puedan detectar anomalías en su funcionamiento.

Cabe mencionar que al ser un prototipo pueda no ser al 100% funcional al finalizar sus pruebas de funcionamiento; no obstante, siempre se procura llegar a que permita la aplicación de sus funciones y la practicidad en su construcción y uso.

Es muy importante recalcar que hoy las empresas que brindan el suministro eléctrico aconsejan a sus clientes a realizar un uso eficiente de la energía tanto a nivel de hogares como empresas y comercios esto por medio de prácticas de uso racional, mantenimiento y recomendaciones de manipulación de equipos, entre otros.

Pero esta información a pesar de estar accesible por medio de internet, medios de comunicación o revistas; se hace caso omiso de ellas y no se concientiza a tomar acciones correctivas que permita tanto la disminución del impacto a nivel ambiental como económico de los consumidores.

Un punto que no se ha mencionado es la presencia de sistemas similares que buscan el detectar consumos de electricidad no deseados y eliminarlos, pero no son de uso frecuente debido al costo de estos y tareas de instalación que demandan; ya que suelen ser muy invasivos, como ejemplo las residencias domóticas que necesitan sensores ubicados en puntos del recinto para funcionar según se desea, implicando obras constructivas con una inversión mayor.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 CONSUMO ELÉCTRICO FANTASMA RESIDENCIAL

Según "... (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018) *el consumo fantasma son aquellos dispositivos en espera, que a contienen un consumo eléctrico reducido y pueden ser aquellos que tienen luces indicadoras o una pantalla en operación; y al irse sumando el consumo de todos estos puede ser una fuga de energía importante*"

Algunos de estos aparatos van desde televisores u otros similares que esperan por una señal de encendido por un control remoto hasta cargadores, teléfonos inalámbricos, routers, impresoras, altavoces y demás que tengan en su composición circuitos de espera como fuentes de tipo "Switching".

También el mismo autor indica que para evitar estos gastos que no son del todo provechosos se puede:

- Conectar dispositivos en una regleta con interruptor; para poder apagar todos los elementos conectados en una sola acción.
- Evitar dejar cargadores de artefactos como celulares o cámaras, conectados a la red eléctrica cuando no sea necesario.
- Adquirir dispositivos con menor consumo, según fabricante y con etiquetas de certificación propias de esto (Energy Star®, Energice® y similares).

2.2.2 MAQUINARIA INDUSTRIAL Y SU EFICIENCIA ELÉCTRICA

2.2.2.1 MOTORES ELÉCTRICOS

Los autores (Chapman, 2012) y (Lluís Jutglar, 2014) definen dos tipos de motores eléctricos de corriente alterna: síncronos y de inducción (también llamados asíncronos) y los motores de corriente continua; donde los de corriente alterna son utilizados mayormente en diferentes tareas según la necesidad en las empresas. Según estudios de (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018) "*Los motores eléctricos son los equipos de mayor consumo de energía eléctrica en las instalaciones industriales. Aproximadamente entre el 60% y el 70% del consumo de energía eléctrica corresponde a equipos electromotrices*".

Es por esto que al estar presentes en gran cantidad en la industria y sus altas demandas de trabajo suelen tener fallas por diferentes motivos.

En el caso de estas máquinas su eficiencia se ve afectada por variación de voltaje y frecuencia según (Chapman, 2012) ya que en caso de motores sincrónicos *“si el voltaje de entrada es constante, entonces la potencia convertida (y, por consiguiente la potencia suministrada) es directa proporcional a la cantidad de $E_A \sin \delta$.”* (pág. 226) y en los motores de inducción según el mismo autor se pueden controlar en su eficiencia por medio del control de la velocidad *“por medio del cambio de número de polos en la máquina, de la frecuencia eléctrica aplicada, del voltaje aplicado en los terminales o de la resistencia del rotor en el caso de un motor de inducción con rotor devanado”* (pág. 294). Es por estos efectos que por fallas en la red eléctrica a la que estén conectados o propias de la máquina afectan su eficiencia y por ende el consumo eléctrico.

2.2.2.2 EFICIENCIA ELÉCTRICA EN MOTORES ELÉCTRICOS

Como (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018) indica, para mantener en operación óptima estos motores se deben considerar puntos como:

- La variación de voltaje o frecuencia debe ser menor a $\pm 10\%$, a menos que se diseñe el motor para estos cambios.
- Dar mantenimiento a la armazón y conductos de ventilación del motor evitando sobrecalentamientos del mismo llevando a daños en aislamiento; además que por efectos físicos *“La resistividad de un conductor metálico casi siempre se incrementa al aumentar la temperatura”* (Hugh D. Young, 2013, pág. 824). Y debido a esto aumenta el consumo de corriente para la operación del motor.
- Lubricar correctamente el cojinete según mantenimientos o cuando haya sobrecalentamiento o un ruido, ya que esto aumenta las pérdidas mecánicas en el motor.
- El aumento de calor en el motor puede significar el aumento en las pérdidas por fricción o desalineamiento, alguna falla interna en los bobinados o un aumento en el torque del motor por variaciones en su carga.

Por lo que se puede inferir que las principales causas de la pérdida de la eficiencia en los motores eléctrico es la falta de mantenimiento, des alineamientos, capacidad de carga sobre las posibles y fallas en el suministro eléctrico.

2.2.2.3 SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

El autor (Solé, 2011) define “Los sistemas de movimiento y control basados en fluidos pueden ser neumáticos, hidráulicos, eléctricos y mecánicos.” (pág. 9), en donde los sistemas neumáticos son aquellos basados en el aire y su movimiento utilizado para producir un trabajo. Estos sistemas de aire comprimido necesitan una instalación precisa con la cual puedan operar de manera correcta, desde la compresión del aire, su almacenamiento, preparación y una red de tuberías para la distribución del aire a sus puntos de utilización.

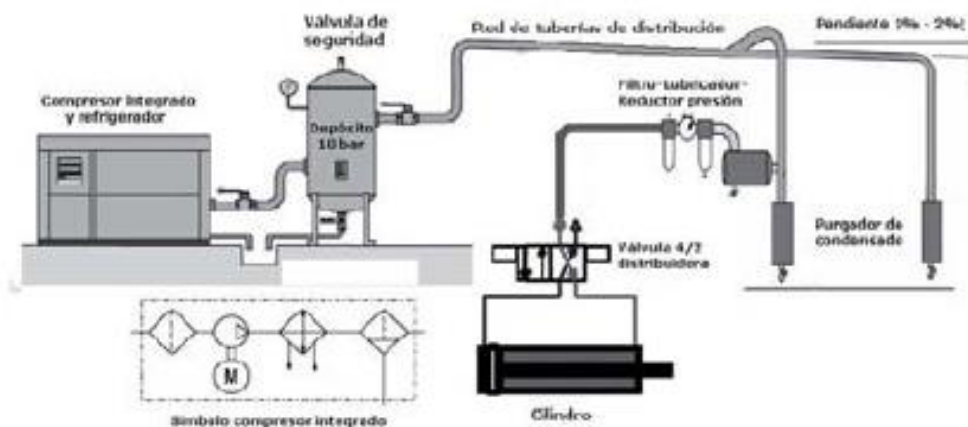


Figura 2.1. Esquema de sistema neumático simple (Solé, 2011, pág. 9)

Estos sistemas son utilizados en: tornos dentales, elevadores neumáticos, herramientas de aire comprimido, entre otros. Ya que permiten accionamientos en tiempos más cortos y muy efectivos; con la gran desventaja de no generan grandes esfuerzos.

2.2.2.4 EFICIENCIA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

Según análisis y estudios de (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018) se pueden aumentar los consumos de electricidad en casos de:

- Obstrucción del aire de admisión ya que al aumentar la temperatura del aire y por cada 4°C el consumo eléctrico incrementa un 1%.
- La presión debe ser la adecuada para una herramienta o aplicación; ya que por cada 2 PSI significa un aumento del 1% en el consumo del compresor.
- La máxima caída de presión desde el compresor al punto más lejano de la red debe ser de 1.45 PSI, aunque algunas empresas la estiman hasta 10 PSI de pérdidas, significando un 4% extra en el consumo eléctrico.
- El manejo de un aire seco (filtrado correctamente) representa entre un 6% a un 10% de ahorro eléctrico.
- Al emplear compresores de tornillo puede llegar a generar un ahorro de energía eléctrica de entre un 25% a 30%.
- Cuando la válvula de regulación está dañada o con fallos puede incrementar el consumo eléctrico entre un 6% a 10%.

2.2.2.5 SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

La refrigeración es según (Yunus A. Cengel, 2015) *“la transferencia de calor de una región de temperatura inferior hacia una temperatura superior”* (pág. 609); y como indica el mismo autor las máquinas que hacen esta tarea operan con ciclos de refrigeración. Los sistemas de refrigeración industrial son de gran uso en industrias de alimentos, laboratorios de experimentación científica o el comercio debido a que por las condiciones de su operación logran mantener optimas temperaturas de gran provecho tanto en procesos biológicos y químicos como en el resguardo de alimentos y su tratamiento.

2.2.2.6 CICLO IDEAL DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR

El ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor según (Yunus A. Cengel, 2015) *proviene “al evaporar el refrigerante por completo antes de que se comprima y al sustituir la turbina con un dispositivo de estrangulamiento, tal como una válvula de expansión o un tubo capilar.”* (pág. 612).

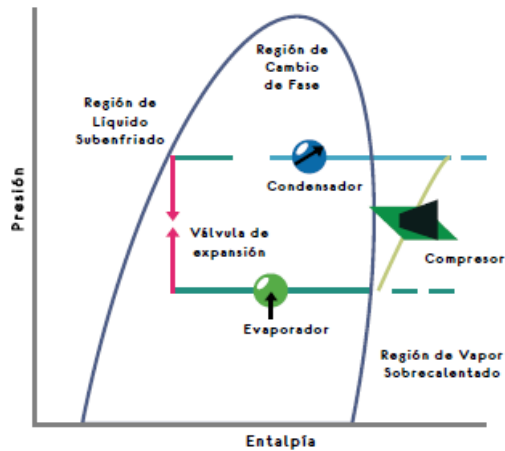


Figura 2.2. Diagrama de presión- entalpía de un ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).

Como se puede observar en la figura 2-2, el ciclo inicia cuando, como (Yunus A. Cengel, 2015) indica, “*el refrigerante entra al compresor como vapor saturado y se comprime isentrópicamente hasta la presión del condensador.*”(pág. 612). Yunus explica que por este proceso aumenta la temperatura del refrigerante, hasta ser superior a la del espacio que lo rodea, en donde seguidamente pasa al condensador en forma de vapor sobre calentado y sale de este como líquido saturado esto “como resultado del rechazo de calor hacia los alrededores.” (Yunus A. Cengel, 2015, pág. 613). El mismo autor indica que al salir del condensador como líquido saturado este es estrangulado hasta llegar a la presión del evaporador al ser pasado por ya sea una válvula de expansión o un tubo capilar; y durante este proceso es cuando la temperatura del refrigerante es menor a la del espacio refrigerado. Luego de esto el refrigerante llega al evaporador como un vapor húmedo de baja calidad y es evaporado en su totalidad para absorber el calor presente en el espacio. “Es en este proceso donde se produce la refrigeración en el espacio refrigerado” según (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).

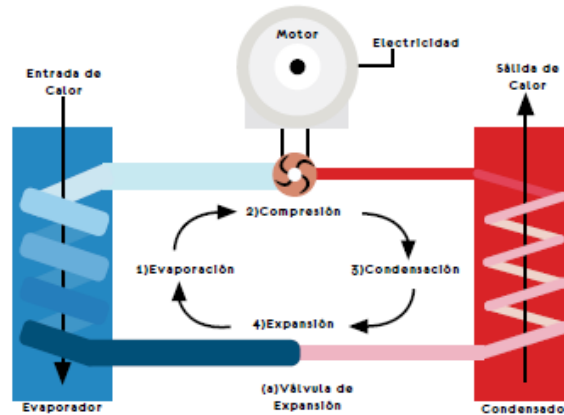


Figura 2.3. Esquema de ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).

En conclusión se puede indicar que es en el evaporador donde se absorbe el calor del lugar o espacio que se desea enfriar, para luego ser comprimido el vapor del refrigerante para hacer más fácil la condensación que sigue en el proceso y haya una circulación adecuada del fluido. En cuanto a la válvula de expansión su tarea es reducir la presión del refrigerante para que este sea enfriado, como resume (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).

2.2.2.7 EFICIENCIA DE CICLO DE REFRIGERACIÓN

El desempeño de estas máquinas refrigerantes se suele expresar en como “Coeficiente de desempeño (COP), por sus siglas en inglés (Coefficient of performance)” (Yunus A. Cengel, 2015, pág. 610).

El cual en resumen es la relación del calor que se absorbe en el espacio refrigerado con la energía suministrada al compresor.

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{neto,entrada}} \quad (1)$$

2.2.2.8 EFICIENCIA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

Por lo general estos sistemas tienden a aumentar su demanda de potencia según (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018) por pérdidas de eficiencia del equipo ya sea por antigüedad o hábitos inadecuados de operación. Algunas medidas o causas de consumo excesivo, que el mismo autor sugiere, son:

- Aplicación debida a protocolos de mantenimiento en todos los equipos del sistema.
- Correcto dimensionamiento de la válvula de expansión para evitar pérdidas.
- Selección adecuada del refrigerante, ya que en el caso de la sustitución de freones por R717¹ se puede llegar a disminuir la potencia a un 40% en ciertos casos.
- Al eliminar fugas del refrigerante, volver a adecuar la carga del mismo.
- Los aislamientos deben ser los adecuados para no sufrir pérdidas.

En conclusión, dentro de las principales causas de pérdida de energía en este tipo de sistemas se debe a causas como fugas del refrigerante, ingreso de calor extra al sistema debido a aislamientos malos, operación del sistema con la cámara refrigerada vacía y fallas en el diseño, según señala (Gerencia Electricidad, Grupo ICE, 2018).

2.2.3 SISTEMAS DOMÓTICOS

Como (José Manuel Huidobro Moya, 2006) define *“la domótica se aplica a la ciencia y a los elementos desarrollados por ella que proporcionan algún nivel de automatización o automatismo dentro de la casa”* (pág. 3), por lo que se puede indicar que *“una vivienda domótica es aquella que permite integrar y comunicar interactivamente todas las funciones y automatizaciones de la misma y que permite al usuario final interactuar con el sistema de forma sencilla”* (Antonio Rodríguez Arenas, 2010, pág. 7). Con esto en cuenta y como (Ogata, 2010) define *“Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado.”*(pág. 7)

Se puede decir que los sistemas domóticos son sistemas de control realimentados que permiten a las personas hacer uso de su hogar de una manera más eficiente y automática, facilitando así el llevar a cabo tareas como el llenado de tanques de

¹ Refrigerante de amoníaco de uso en instalaciones frigoríficas industriales (Carrier Air Conditioning Co., 2012, págs. IV-7).

agua, puesta en marcha de aspersores y similares que requieran un accionar humano.

Estos sistemas no solo se pueden aplicar en viviendas, sino también en cualquier tipo de edificación como lo son comercios e industrias como menciona (Antonio Rodríguez Arenas, 2010). Ya que por la versatilidad de la automatización y gracias al avance de la electrónica se pueden realizar diferentes tareas según (José Manuel Huidobro Moya, 2006) como:

- Encendido o apagado de aire acondicionado o calderas por horarios y condiciones del clima.
- Medición del gasto eléctrico.
- Control de dispositivos desde medios electrónicos remotos.
- Programación de sistemas de seguridad.
- Automatización de luminarias.

Entre otras que menciona el autor que son aplicaciones potenciales de este tipo de sistemas. Como se describió anteriormente se puede llevar un control energético y por ende poder programar los mismos para un ahorro de electricidad según se desee. Ya que según (Antonio Rodríguez Arenas, 2010) *“Un sistema domótico permite atender cada zona, programando los diferentes dispositivos de acuerdo a las necesidades y los horarios más adecuados para obtener de la instalación el máximo rendimiento energético y económico.”* (pág. 10).

2.2.4 ARDUINO

El autor (Artero, 2013) define los Arduino de las siguientes maneras:

“Una placa hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de E/S del microcontrolador) que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores.” (pág. 63).

“Un software (más en concreto, un “entorno de desarrollo”) gratis, libre y multiplataforma (ya que funciona en Linux, MacOS y Windows) que debemos

instalar en nuestro ordenador y que nos permite escribir, verificar y guardar (“cargar”) en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino” (pág. 64).

También lo describe como “Un lenguaje de programación libre” (pág. 65), que se asemeja a otros lenguajes ya existentes de programación; con comandos que permiten dar las instrucciones en un orden lógico.

Los Arduino en resumen son un microcontrolador que tiene integrado su propio compilador, programa y lenguaje de programación que facilita el diseño de “gadgets” y prototipos que necesiten un “PIC” para funcionar como se desea. Estos debido a la gran cantidad de aplicaciones que se le pueden dar a estos dispositivos vienen en diferentes modelos según (Arduino, 2018), algunos de estos son: Arduino UNO, Arduino LEONARDO, Arduino MEGA, Arduino ZERO, Arduino M0, entre otros. Donde la principal diferencia entre los modelos es la capacidad de memoria del microcontrolador y la cantidad de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.



Figura 2.4. Arduino UNO (Arduino, 2018).

Dentro de las grandes ventajas con las que cuentan es que son:

“Reutilizables porque se puede aprovechar la misma placa para varios proyectos (ya que es muy fácil de desconectarla, reconectarla y reprogramarla), y versátiles porque las placas Arduino proveen varios tipos diferentes de entradas y salidas de datos, los cuales permiten capturar información de sensores y enviar señales a actuadores de múltiples formas.” (Artero, 2013, pág. 71).

Los Arduino tienen una interfaz y lenguaje de programación similar al C; pero incluyendo comandos propios para la activación de funciones de lectura de datos analógicos o digitales, encendido o apagado de señales de la misma naturaleza y el muestreo de lecturas en pantalla serial que trae consigo, entre otras. Sumado a esto su biblioteca se puede ampliar de forma que puedan ser utilizadas funciones diferentes a las predeterminadas.

En la actualidad estos dispositivos electrónicos son de gran uso tanto en proyectos didácticos como personales debido a su versatilidad y facilidad de uso; esto se debe a la gran comunidad que ha adoptado esta tecnología, creando foros de discusión sobre aplicaciones y consultas sobre funcionamiento, donde se puede encontrar respuestas de los creadores y funcionarios de Arduino.

2.2.5 TIPOS DE TARIFA ELÉCTRICA EN COSTA RICA

Las tarifas actuales como lo indica Costa Rica, (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018), entraron en régimen a partir del 01 de Octubre del 2018, e incluyen el costo variable de combustible (CVC) por generación térmica aprobada por la Autoridad Reguladora de Servicios Públicos (ARESEP) de Costa Rica.

En donde según (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018) , indica diferentes costos según el horario del día, bloques de consumo y demás; esto se debe a los diferentes picos de demanda de la clientela conectada a la red.

Dentro de estas existen diferentes tipos según el cliente que haga uso del servicio, pero todos tienen en común montos adicionales. Estos cargos son, la (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018), Costa Rica; los denomina:

- Tributo a bomberos: la cual el mismo autor indica que su función es ser complemento para los ingresos necesarios del servicio del Cuerpo de Bomberos de Costa Rica. Este mismo representa solamente el 1,75% de cobro mensual eléctrico.
- Tarifa de alumbrado público: la cual se aplica a todos los consumidores, en donde los municipios son contratados para hacerse cargo de la iluminación

en vía pública. Esta tarifa se cobra con 3,55 colones, por cada kilo Watt hora (kWh) que se haya consumido.

2.2.5.1 TARIFAS RESIDENCIALES

Según Costa Rica, (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018) las tarifas de tipo residencial horaria son aquellas en donde los clientes se benefician en nivel de baja tensión (Voltajes menores a 1.5kV) y consumen cantidades de energía por encima de los 200kWh mensualmente.

Tabla 2.1. Tarifa residencial horaria en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).

Cargo por energía Costo de cada kWh	
Periodo	Consumo de 0 a 300 kWh
De Punta: De 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00 Bloque de 0-300 cada kWh	¢152,43
Valle: De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30 Bloque de 0-300 cada kWh	¢63,21
Nocturno: De 20:00 a 6:00 Bloque de 0-300 cada kWh	¢26,03
Periodo	Consumo de 301 a 500 kWh
De Punta: De 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00 Bloque de 301-500 cada kWh	¢173,50
Valle: De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30 Bloque de 301-500 cada kWh	¢70,63
Nocturno: De 20:00 a 6:00 Bloque de 301-500 cada kWh	¢29,75
Periodo	Consumos mayores a 501 kWh
De Punta: De 10:00 a 12:30 y de 17:30 a 20:00 Bloque Mayor a 500 cada kWh	¢205,73
Valle: De 6:01 a 10:00 y de 12:30 a 17:30 Bloque Mayor a 500 cada kWh	¢83,05
Nocturno: De 20:00 a 6:00 Bloque Mayor a 500 cada kWh	¢38,43

En el caso de la tarifa residencial la (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018) este servicio es distribuido a hogares y apartamentos de residencia fija; excluyendo

instalaciones de hospedajes para clientes, áreas recreativas, edificios de apartamentos con más de un medidor; entre otros.

Tabla 2.2. Tarifa residencial en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).

Bloques de consumo	
Bloque de 0-30 kWh Cargo Fijo	¢2.156,10
Bloque de 31-200 kWh cada kWh	¢71,87
Bloque de 201-300 kWh cada kWh	¢110,30
Bloque mayor a 300 cada kWh adicional	¢114,02

2.2.5.2 TARIFAS COMERCIALES E INDUSTRIALES

La tarifa a comercios y servicios, como indica Costa Rica, (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018), se aplica a los clientes que no sean residenciales conectados al sistema; tomando en cuenta que no estén dentro de otro rango de tarifas específicamente. En este caso son tomados en cuenta aquellos clientes que no les aplica la tarifa residencial, como las áreas recreativas, hoteles y similares.

Tabla 2.3. Tarifas a comercios y servicios en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).

Bloques de consumo		
Consumo menor o igual a 3.000 kWh	¢121,46	
Por Consumo de Energía	Bloque de 0-3000 kWh Cargo Fijo	¢219.360,00
	Bloque mayor a 3.000 kWh cada kWh	¢73,12
Cargo por Potencia	Bloque 0- 8 kW Cargo Fijo	¢91.569,68
	Bloque mayor a 8 kW	¢11.446,21

El mismo autor indica una tarifa para aquellos servidos en media tensión, con un año o más en firme. Esta tarifa se puede prorrogar a periodos de un año, teniendo el cliente que comprometerse a consumir un mínimo de 120000 kWh en ese tiempo.

Y en el caso de no cubrir esta cantidad, se sumarán los kWh para complementar; en el último mes; los cuales serán cobrados con tarifa del periodo punta.

Tabla 2.4. Tarifa de media tensión en régimen (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018).

Bloques de consumo	
Periodo	Consumo de energía por cada kWh
Energía Punta	¢61,96
Energía Valle	¢30,99
Energía Noche	¢22,31
Periodo	Consumo de energía por cada (kW)
Energía Punta	¢10.864,99
Energía Valle	¢7.730,78
Energía Noche	¢4.907,65

Cabe destacar que estas tarifas también son aplicables para los clientes de tipo industrial según la información publicada por (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2018); en donde se puede destacar que son los mismo rangos y precios de energía pero aplicados a clientes de tipo industrial.

2.2.6 MEDIDORES DE ENERGÍA EXISTENTES

En el mercado de eficiencia energética existen diferentes equipos con la finalidad de llevar un control sobre la energía que se ha consumido y su gestión. Dentro de algunos de los dispositivos que se pueden adquirir en el mercado destacan los de la corporación multinacional ABB, líder en automatización, generación y eficiencia eléctrica, entre otras. Dicha empresa ha desarrollado equipos de monitorización y control del consumo energético (Asea Brown Boveri, 2018); y contadores de energía EQ (Asea Brown Boveri, 2018).

El equipo de monitorización y control de consumo energético se llama ABB i-bus KNX, el cual el desarrollador indica que su diseño es orientado a la reducción de costos de operación, y a la vez determinando el consumo eléctrico de acuerdo a la demanda del momento. Esto favorece al ahorro energético del equipo monitoreado

y aumento de su productividad, también debido a su vigilancia continua se obtiene mucha más información sobre el equipo y su consumo favoreciendo a análisis más exactos. Todo esto lo logra debido a sus características constructivas que le permiten realizar mediciones en el momento de una forma más exacta de la energía consumida por las cargas conectadas.



Figura 2.5. ABB i-bus KNX (Asea Brown Boveri, 2018).

Conforme a los contadores de energía EQ el mismo autor indica que su finalidad es proporcionar la información necesaria a los gestores de equipos eléctricos o instalaciones; esto por medio de una sub-medición.

Realizando esta medición auxiliar se obtiene más detalle sobre el consumo energético, logrando identificar donde el consumo es muy elevado y donde se puede intervenir para corregir estas situaciones. El autor también indica que sus contadores se encuentran para sistemas monofásicos o trifásicos, subdividiéndose en tres series para los diferentes niveles de corriente y su conexión directa o a través de transformadores.



Figura 2.6. Contadores de energía EQ (Asea Brown Boveri, 2018).

2.3 HIPÓTESIS

¿Puede mitigarse el consumo de energía ineficiente en las instalaciones eléctricas mediante un monitoreo de los equipos conectados a esta? Detectando acciones preventivas en corrección o fallas de manera temprana.

2.4 LIMITACIONES

Una de las limitaciones más importantes para la ejecución del proyecto es el presupuesto que contaría el desarrollo de un prototipo industrial; debido a que su diseño debe ser más robusto, por ende, su precio es más elevado.

También que al ser un proyecto en fase del desarrollo de un prototipo no se puede probar en casos reales (ni en residencias o equipos industriales), limitándose a pruebas de laboratorio donde se puedan simular los diferentes niveles de tensión y corriente que puedan presentarse.

Finalmente, el posible uso del dispositivo en diferentes instalaciones eléctricas donde varía el tamaño de cada una de ellas y son únicas entre sí; genera que para cada caso se deba modificar ciertos puntos de conexión internas de los actuadores y medidores de corriente. Donde se debe adecuar el dispositivo para que desarrolle sus funcionalidades de forma efectiva, limitando su capacidad a ser un dispositivo modular en su totalidad sin la necesidad de cambios internos.

2.5 ALCANCES

Inicialmente, el proyecto consta del diseño de un prototipo de un sistema eléctrico automático a fin de controlar las herramientas o equipos del hogar o maquinaria instalada mediante la medición de la demanda energética, detectando gastos no deseados de energía que pueden dañar equipos o ser indicación de una falla en un sistema industrial.

Todo esto haciendo uso de la electrónica y la automatización; mediante dispositivos electromecánicos controlados con un microcontrolador que maneja el sistema; automatizando los potenciales procesos dentro de un hogar para mayor control, y confort en los residentes.

Y en sistemas industriales con el fin de captar más información sobre la maquinaria; brindando una mayor trazabilidad en su eficiencia y productividad.

Por último, la posibilidad de mejora en su diseño, debido a que se pueden incluir o modificar las funciones ya establecidas; haciendo al sistema más autónomo y con mejor capacidad de control; mejorando el proceso constructivo y disminuyendo la huella energética del equipo.

CAPITULO III

3 DESARROLLO

3.1 PROTOTIPO RESIDENCIAL

3.1.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES PARA EL PROTOTIPO RESIDENCIAL

Como indica la investigación realizada, los diferentes equipos tanto residenciales como industriales, su demanda de energía aumenta por aspectos constructivos y su funcionamiento interno, impactando la demanda de potencias relativamente bajas, cuando no son utilizados; pero que a la larga este comportamiento, acumula una cantidad de energía que no ha sido aprovechada y solamente mantiene al equipo en espera.

Si se analiza que esto ocurre en cada electrodoméstico o aparato electrónico que sin estar en funciones tiene luces o pantallas en funcionamiento, o los cargadores de los mismos que tienen una fuente interna de adecuación de potencia; los que aun sin estar conectados a su dispositivo generan un consumo indeseado.

Tomando como referente que en una casa o apartamento en el que habitan dos personas; las cuales laboran en horarios diurnos y su estadía se limita a las horas de la mañana y en la tarde; la mayoría del tiempo.

Las funciones básicas del recinto son: la refrigeradora, sistema de alarma y motores del garaje (en el caso de contar con ello). Otros como calentadores de agua, duchas, luces y demás; que dependiendo de la persona pueden ser de uso constante.

Debido a estos aspectos se decide que el sistema tenga las siguientes funciones:

- Encendido y apagado de los circuitos de luces y tomacorrientes según horarios establecidos por el usuario.
- Medición de corriente consumida en circuitos deseados como duchas, cocina eléctrica o televisores.
- Establecimiento de límites de consumo promedio en los circuitos monitoreados, desconectando los mismos cuando se sobre pasa el límite; con opción a reconexión.
- Promedio de energía total utilizada para un control de gasto por parte del usuario.

Con estos aspectos de funcionamiento se establecen las funciones básicas del sistema y su programación, en donde pueden ser mejoradas o ampliadas para una mejor versatilidad del mismo.

3.1.2 DISEÑO DE CIRCUITOS DE MEDICIÓN DE CORRIENTE

Debido a la aplicación del proyecto y la necesidad de un microcontrolador, el cual se reprogramable dentro el desarrollo del proyecto se establece que la plataforma de programación e interfaz a utilizar será la de Arduino; en donde se utilizará un Arduino UNO (Arduino, 2018), el cual será el compilador que logre introducir la programación a realizar y conectar de una forma más segura los circuitos necesarios para el proyecto.

Ahora bien, los voltajes de funcionamiento de los circuitos eléctrico residenciales son de 110/240 VAC; y las corrientes que en promedio se manejan en los circuitos ramales varían dependiendo del tipo.

Estas corrientes van desde los 2 hasta los 25 Amperios, las cuales teniendo en cuenta este rango; el sensor de corriente a utilizar debe ser con una capacidad mayor al límite; por lo tanto, se estable un sensor de 30A máximo (Modelo ECS1030-L72, Anexo 1), para realizar las mediciones de los circuitos. Donde según la hoja de datos del mismo indica que el voltaje de salida máximo que se puede alcanzar es de 0.3V.

Este sensor requiere un filtro para poder ser conectado al Arduino que se va utilizar como plataforma de programación del microcontrolador.

Este circuito es como medida de protección al microcontrolador y además ayuda a hacer más precisa la medición de la magnitud de la corriente; en donde se utiliza un circuito divisor de voltaje debido a que las mediciones suelen ser un poco distorsionadas y requieren un ajuste en la escala que ya establece en la hoja de datos del sensor.

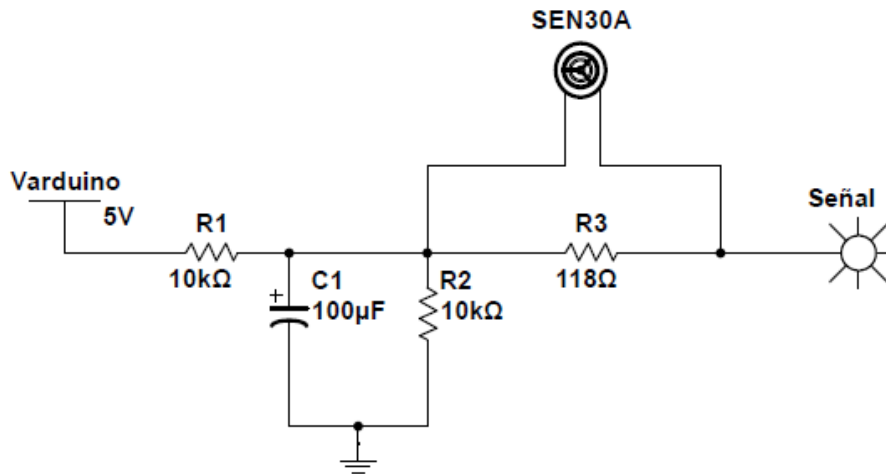


Figura 3.1. Circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 30A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

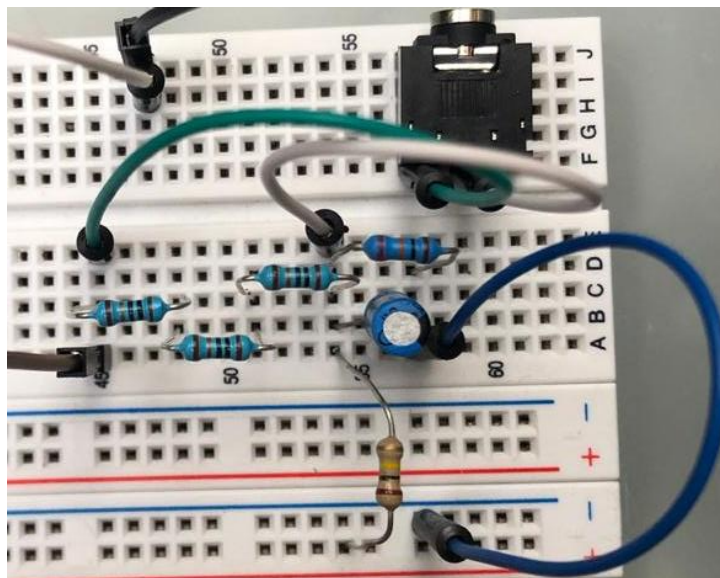


Figura 3.2. Montaje de circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 30A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Al saber que este sensor puede medir solamente un circuito a la vez; el circuito para adaptar el sensor al Arduino se replicaría conforme a la cantidad de estos se deseen en un diseño final. Hay que tomar en cuenta cuales circuitos se desearían controlar por este medio; ya que se puede combinar con las funciones de los actuadores, en el caso de querer interrumpir el consumo en el momento que supere lo deseado o, puede ser utilizado como simple monitoreo para el muestreo de demanda energética hacia el usuario.

3.1.3 DISEÑO DE CIRCUITOS DE CONTROL PARA ACTUADORES

Como se ha indicado, dentro de las funciones posibles del dispositivo se encuentra la capacidad de conectar o desconectar uno o varios circuitos según horarios o máximos de consumo en el ramal.

Es por esto que se necesita un circuito con actuador que resista tanto el paso de la corriente como el nivel de tensión al que trabajan las instalaciones eléctricas residenciales; las cuales manejan tensiones de 120 voltios en corriente alterna (VAC) y 240VAC, en donde la corriente que pase por los cables del circuito varía según lo que esté conectado a este; pero no llegan a los 30A.

Debido a estas especificaciones se decanta por utilizar relés de interface electromecánicos con base de 2 polos, activación de 24VDC y con capacidad de 8A 250VAC (Anexos 2), con la ventaja que son montables en una base y en el caso de dañarse, ser reemplazados fácilmente. Dichos componentes al activarse con un voltaje de 24VDC; nace la necesidad de hacer un circuito de control en medio de la señal de activación proveniente del microprocesador, la cual es de 5VDC. Por esto es necesario una fuente de 24VDC externa, que sea conmutada hacia el relé a activar por la señal de 5VDC por medio de un transistor NPN para hacer una conexión de emisor común, o emplear un opto acoplador sin correr el riesgo de que exista un contacto eléctrico entre el control de 24VDC y el microprocesador.

Ambos diseños deben adecuarse con diferentes resistencias para que trabajen dentro de su rango nominal y optimo, sin correr riesgo de dañarse.

3.1.3.1 CIRCUITO DE CONTROL UTILIZANDO TRANSISTOR NPN MODELO 2N2222A

De acuerdo a las especificaciones del componente (Anexo 3), su corriente máxima en el colector y su base puede llegar a 800mA y 200mA, correspondientemente. Como se indica anteriormente su conexión será por medio de emisor común entre la fuentes de 5VDC (señal del Arduino) y 24VDC (tensión de circuito de control); por lo tanto se necesita saber valores mínimos de las resistencias que deben conectarse en serie con la base y el colector del transistor. Para descubrir estos mismo se emplea la Ley de Ohm (Boylestad, 2004, pág. 97).

$$R_C > \frac{V_{Control}}{I_{C_{m\acute{a}x}}} = \frac{24V}{800mA} = 30\Omega \quad (2)$$

$$R_B > \frac{V_{Arduino}}{I_{B_{m\acute{a}x}}} = \frac{5V}{200mA} = 25\Omega \quad (3)$$

Como se puede observar en las ecuaciones (2) y (3), los valores mınimos de las resistencias necesarias con relativamente bajas, por lo cual por seguridad; y previa experiencia se decide que $R_C = 100\Omega$ y $R_B = 1k\Omega$.

Con estos valores se trabaja con corrientes muchos menores a las que puede soportar el componente antes de daınarse; protegiındolos, a cierto nivel, de posibles sobre corrientes que puedan daınarlos.

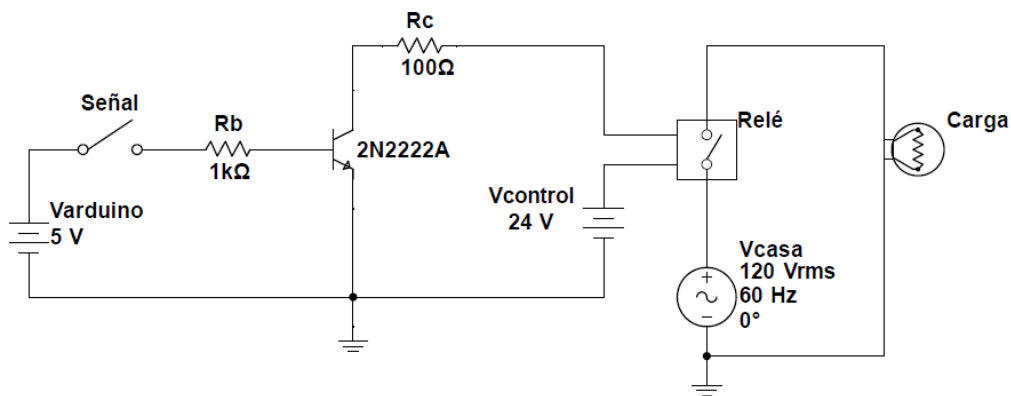


Figura 3.3. Diagrama de conexion para circuito de control para actuador con transistor (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

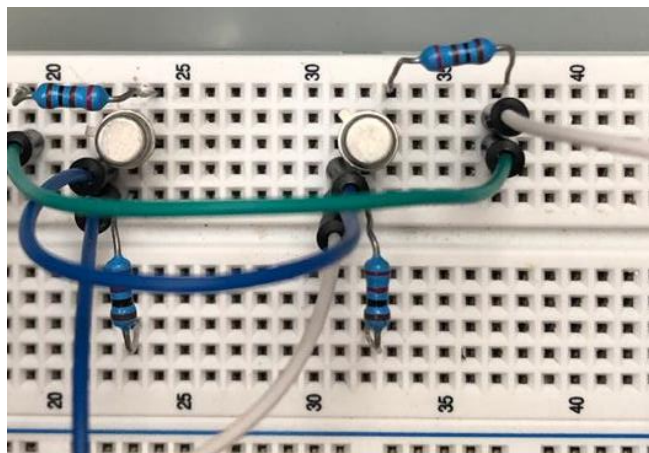


Figura 3.4. Montaje de circuitos de control para actuadores con transistores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

3.1.3.2 CIRCUITO DE CONTROL UTILIZANDO OPTO ACOPLADOR MODELO 4N25

Siguiendo el mismo procedimiento, pero con la hoja de datos del opto acoplador 4N25 (Anexo 4) en este caso.

En la misma se indica que la corriente máxima que puede pasar por el LED interno del circuito es de 60mA; pero según indicaciones del fabricante, se recomienda utilizar corrientes más bajas con el fin de salvaguardar el elemento. De igual manera recomienda que el voltaje entre el emisor y colector de fototransistor sea menor al máximo de 30V que puede soportar; por lo cual se utiliza una corriente de colector máxima de 100mA.

Con estas pautas en consideración se procede a utilizar el mismo método de cálculo de resistencias utilizado con el diseño de los transistores.

$$R_{LED} > \frac{V_{Arduino}}{I_{LED_{m\acute{a}x}}} = \frac{5V}{60mA} = 80\Omega \quad (4)$$

$$R_C > \frac{V_{Control}}{I_{C_{m\acute{a}x}}} = \frac{24V}{100mA} = 240\Omega \quad (5)$$

En las ecuaciones (4) y (5), se denotan los valores mínimos de las resistencias necesarias; por previa experiencia en la carrera se opta por utilizar el valor de $R_C = 300\Omega$, a cambio de proteger el led interno del componente dando el valor de $R_{LED} = 400\Omega$. Con estos valores se trabaja con corrientes muchos menores a las que puede soportar el componente antes de dañarse; protegiéndolo, a cierto nivel, de posibles sobre corrientes que puedan dañarlos.

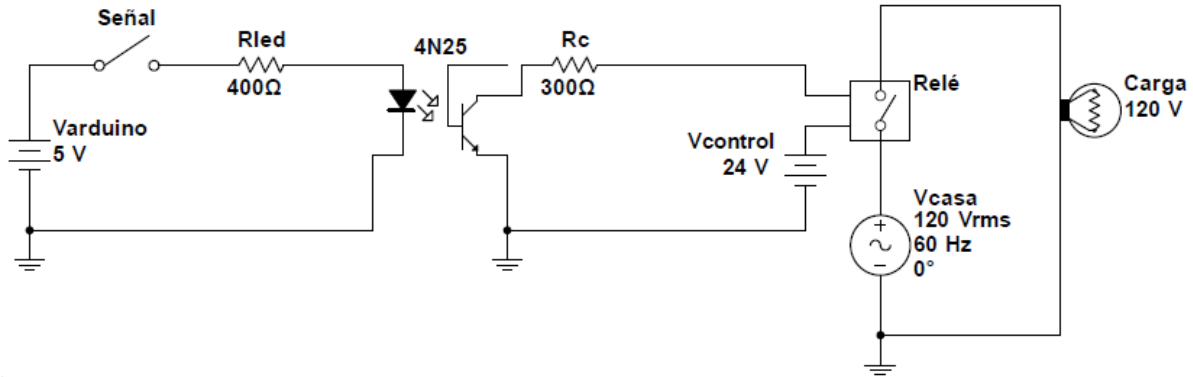


Figura 3.5. Diagrama de conexión para circuito de control para actuador con opto acoplador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

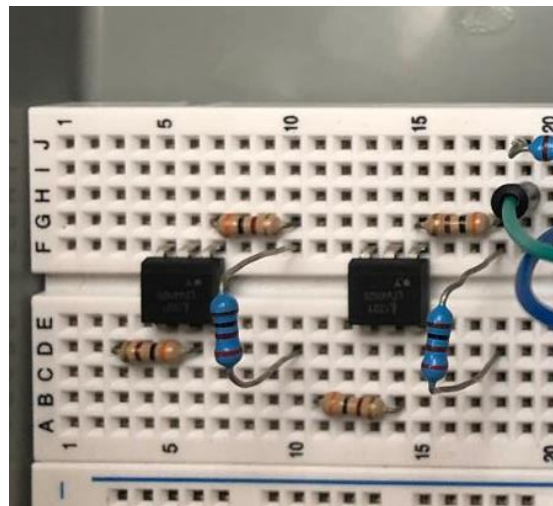


Figura 3.6. Montaje de circuitos de control para actuadores con opto acopladores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

3.1.4 PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO RESIDENCIAL

3.1.4.1 HORARIOS DE FUNCIONAMIENTO CON PANTALLA DE INTERFAZ

Para la interfaz de esta propuesta se decide utilizar una pantalla LCD con botonera debido a su facilidad de uso y programación, en donde se puede seleccionar la hora de funcionamiento del circuito ramal a controlar, según lo desee establecer el usuario. Esta programación se produce de acuerdo a lo establecido en el apartado **3.1.1 Definición de funciones para el prototipo residencial**, que indica el encender o apagar circuitos de luces y tomacorrientes según horarios.

Además, se utiliza la pantalla serial del dispositivo para un muestreo de datos (hora establecida e indicadores de estado del circuito), y corroborar un buen funcionamiento de la programación. En donde se puede observar en las figuras 3.4 y 3.5, el código final; el cual funciona a modo de menú para establecer la hora de conexión y desconexión de un circuito (en este caso solo se trabaja uno debido a su naturaleza de diseño, más puede ser ampliada para casos de aplicación grande), el cual su salida será en la patilla 10 del Arduino.


```

#include <LiquidCrystal.h>
#include <Time.h>
#include <TimeAlarms.h>
LiquidCrystal lcd(8, 9, 4, 5, 6, 7);
const int luz=10;
int horal=12;
int horad=0;
int hora2=12;
int horac=0;
int butup=0;
int butdown=0;
int w1=0;
int w2=0;
int x=0;
int y=0;
int z=0;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("select=conexion");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("left=desconexion");
  pinMode(luz, OUTPUT);
  digitalWrite(luz, HIGH);
  setTime(7,59,0,1,1,11);
}
void loop(){
  x=analogRead(A0);
  if(x > 730 && x < 745){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Fije hora c");
    w2=0;
    conexion();
  }
  else if(x > 500 && x < 510){
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Fije hora d");
    w1=0;
    desconexion();
  }
  else{
    x=0;
  }
  digitalClockDisplay();
  Alarm.delay(1000);
}
void desconexion(){ //DESCONEXION
while(w1==0){
  y=analogRead(A0);
  if(horal>=1&&horal<=12){
    if((y > 140 && y < 150)&&(butup==0)){
      horal=horal+1;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print(hora2);
      butup=1;
    }
    else if((y==1022)&&(butup==1)){
      butup=0;
    }
    if ((y > 320 && y < 365)&&(butdown==0)){
      horal=horal-1;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print(horal);
      butdown=1;
    }
    else if((y==1022)&&(butdown==1)){
      butdown=0;
    }
  }
  else if(horal==0){
    horal=horal+1;
  }
  else if(horal==13){
    horal=horal-1;
  }
  z=analogRead(A0);
  if(z<10){
    horad=horal;
    horac=hora2;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("desconexion:");
    lcd.print(horad);
    Alarm.alarmRepeat(8,horad,0, MorningAlarm);
    w1=1;
    delay(2000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("select=conexion");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("left=desconexion");
  }
  }
  x=0;
}
void conexion(){ //CONEXION
while(w2==0){
  y=analogRead(A0);
  if(hora2>=1&&hora2<=12){
    if((y > 140 && y < 150)&&(butup==0)){
      hora2=hora2+1;
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print(hora2);
      butup=1;
    }
  }
}
}

```

Figura 3.7. Programación de pantalla LCD como interfaz de horarios, primera parte (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

```

else if((y==1022)&&(butup==1)){
butup=0;
}
if ((y > 320 && y < 365)&&(butdown==0)){
hora2=hora2-1;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(hora2);
butdown=1;
}
else if((y==1022)&&(butdown==1)){
butdown=0;
}
}
else if(hora2==0){
hora2=hora2+1;
}
else if(hora2==13){
hora2=hora2-1;
}
z=analogRead(A0);
if(z<10){
horac=hora2;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("conexion:");
lcd.print(horac);
Alarm.alarRepeat(8,horac,0, EveningAlarm);

w2=1;
delay(2000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("select=conexion");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("left=desconexion");
}
}
x=0;
}
void MorningAlarm(){
Serial.println("Luces apagadas");
digitalWrite(luz,LOW);
}
void EveningAlarm(){
Serial.println("Luces encendidas");
digitalWrite(luz,HIGH);
}
void digitalClockDisplay()
{
Serial.print(hour());
printDigits(minute());
printDigits(second());
Serial.println();
}
void printDigits(int digits)
{
Serial.print(":");
if(digits < 10)
Serial.print('0');
Serial.print(digits);
}

```

Figura 3.8. Programación de pantalla LCD como interfaz de horarios, segunda parte (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Se nota lo necesario de incluir librerías extra de tiempo, alarmas y de la pantalla LCD que se utiliza para comunicar el Arduino con el usuario y pueda indicar el tiempo en que desea desconectar o conectar un circuito. De estas librerías extra se deben incluir como extra a la carpeta de librerías del programa Arduino las llamadas “*Time.h*”, “*TimeAlarms.h*”, “*DateTime.h*” y “*DateTimeStrings.h*”; esto con el fin de poder integrar las funcionalidades de horarios y fechas (de ser requerido), a las alarmas que controlan los circuitos ramales.

3.1.4.2 MEDICIÓN DE CONSUMO PROMEDIO

```
#include <TimeAlarms.h>
#include <Time.h>
#include <EmonLib.h>
EnergyMonitor emon1;
float wh;
float whrepeat;
const int outm=11;
int whmax=0.30;
int n=0;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  setTime(7,59,0,1,1,11);
  emon1.current(1, 70.0); //pin Al de medición
  pinMode(outm, OUTPUT);
  digitalWrite(outm, HIGH);
  Alarm.timerRepeat(5, medicion);
}
void loop()
{
  digitalClockDisplay();
  Alarm.delay(1000);
}
void medicion()
{
  double Irms = emon1.calcIrms(8880);
  if (whrepeat < whmax && n>0){
    wh=(5*Irms*120)/3600;
    Serial.print("Corriente = ");
    Serial.println(Irms);
    Serial.print("Wh= ");
    Serial.println(wh);
    whrepeat=wh+whrepeat;
  }
  else if (whrepeat > whmax && n>0){
    Serial.println("Corriente = 0");
    Serial.println("Wh = 0");
  }
  n=n+1;
  if (whrepeat < whmax && n>1)
  {
    Serial.print("Potencia acumulada: ");
    Serial.println(whrepeat);
    digitalWrite(outm, HIGH);
  }
  else if (whrepeat > whmax && n>1)
  {
    Serial.print("Potencia acumulada: ");
    Serial.println(whrepeat);
    Serial.println("Circuito desconectado por sobrepasar limite");
    digitalWrite(outm, LOW);
  }
}
void digitalClockDisplay()
{
  Serial.print(hour());
  printDigits(second());
  Serial.println();
}

void printDigits(int digits)
{
  Serial.print(":");
  if(digits < 10)
    Serial.print('0');
  Serial.print(digits);
}
```

Figura 3.9. Programación para realizar las mediciones de consumo con los sensores de corriente de 30A (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Esta función previamente mencionada se complementa con el diseño del circuito para adecuar la señal del sensor de 30 amperios; en donde al igual que el caso de las alarmas de conexión y desconexión se requiere una librería extra en el programa del Arduino llamada “*EmonLib.h*”.

Dicha librería habilita funcionalidades de medición de corriente y voltaje por medio de comandos sencillos y entregando la información necesaria para la aplicación de futuras fórmulas que sean necesarias para convertir a Wh.

Esta programación funciona de modo que toma medidas de la corriente cada 5 segundos y lo convierte a Wh, en donde se van sumando cada una de las medidas para tener un registro completo de la información requerida.

Por razones que la pantalla LCD está en uso con la función de los horarios, se establece que cuando se consuman 0.30 Wh (los cuales son para simple simulación y demostración del funcionamiento) se apague el circuito e indique la razón con un mensaje en la pantalla serial del programa.

3.1.4.3 ENTRADAS Y SALIDAS DEL ARDUINO

Debido a que hay varias funciones trabajando al mismo tiempo en el prototipo se decide hacer un registro de que pines necesita cada dispositivo que irá conectado al Arduino UNO. Esto con la finalidad de dar un orden apropiado a sus diferentes funciones y su ubicación en el microprocesador, evitando fallas de funcionamiento debido a conexiones internas incorrectas.

Tabla 3.1. Dispositivos conectados al Arduino (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Objeto	Número de Pin	Función	Tipo de pin
Pantalla LCD con botonera	4	Comunicación	Output
	5	Comunicación	Output
	6	Comunicación	Output
	7	Comunicación	Output
	8	Comunicación	Output
	9	Comunicación	Output
	A0	Señales de botones	Input
Circuito de control 1	10	Señal de conexión o desconexión por horario	Output
Circuito de control 2	11	Señal de conexión o desconexión por medición	Output
Sensor de corriente de 30A	A1	Medición de consumo eléctrico	Input

3.1.5 ARQUITECTURA Y ENSAMBLE

Para realizar el ensamble del prototipo residencial, primeramente, se deben definir los materiales necesarios hasta ahora, debido a que estos indicarán el espacio total del dispositivo como tal. Se recalca que estos materiales y su cantidad puede

cambiar en futuras aplicaciones en el caso de querer controlar más circuitos ramales de luces, tomacorrientes y similares; por lo que se estima que materiales necesarios para construir los circuitos de control de los relés y de adaptación de la señal del sensor de corriente al Arduino, sean más de uno y se necesite un mayor espacio para el circuito impreso (PCB); presentando crecimiento y demande mayor campo en la unidad.

Tabla 3.2. Materiales necesarios para el prototipo residencial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Material	Dimensiones	Cantidad
Resistencias de varios valores	-	-
Transistores 2N2222A	-	1
Opto acopladores 4N25	-	1
Fuente 24V, 20A		1
"Jumpers" Macho-Macho	-	40
"Jumpers" Macho-Hembra	-	40
PCB con circuitos diseñados	16.5 x 5.5 cm	1
Pantalla LCD con botonera	3.4 x 2.4 in	1
Arduino UNO con base	5.1 in x 4.3 in	1
Sensor de 30A	-	1
Caja EMT de transferencia	12 x 12 in	1
Relés de interfaz Zelio RSB de 24V	80 x 15.6 mm	4
Cinta de doble acción	-	1m
Canaleta	25 x 17 mm	13cm
Riel DIN	-	10cm
Cable 14 AWG	-	1m

Una vez definidos los materiales a utilizar (tabla 3.2) se procede a hacer la distribución de los componentes y sus conexiones correspondientes.

Tabla 3.3. Simbología de conexiones internas para prototipo residencial
(Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Color	Significado
Rojo	Cables de fase interrumpidos con relés
Azul	Señal de entrada al Arduino para medición
Verde	24VDC a entrada A1 de la bobina de relé
Celeste	Salida A2 de la bobina del relé hacia circuitos de control
Naranja	Señales de salida del Arduino a los circuitos de control
Negro	Alimentación 120VAC para fuente de 24VDC

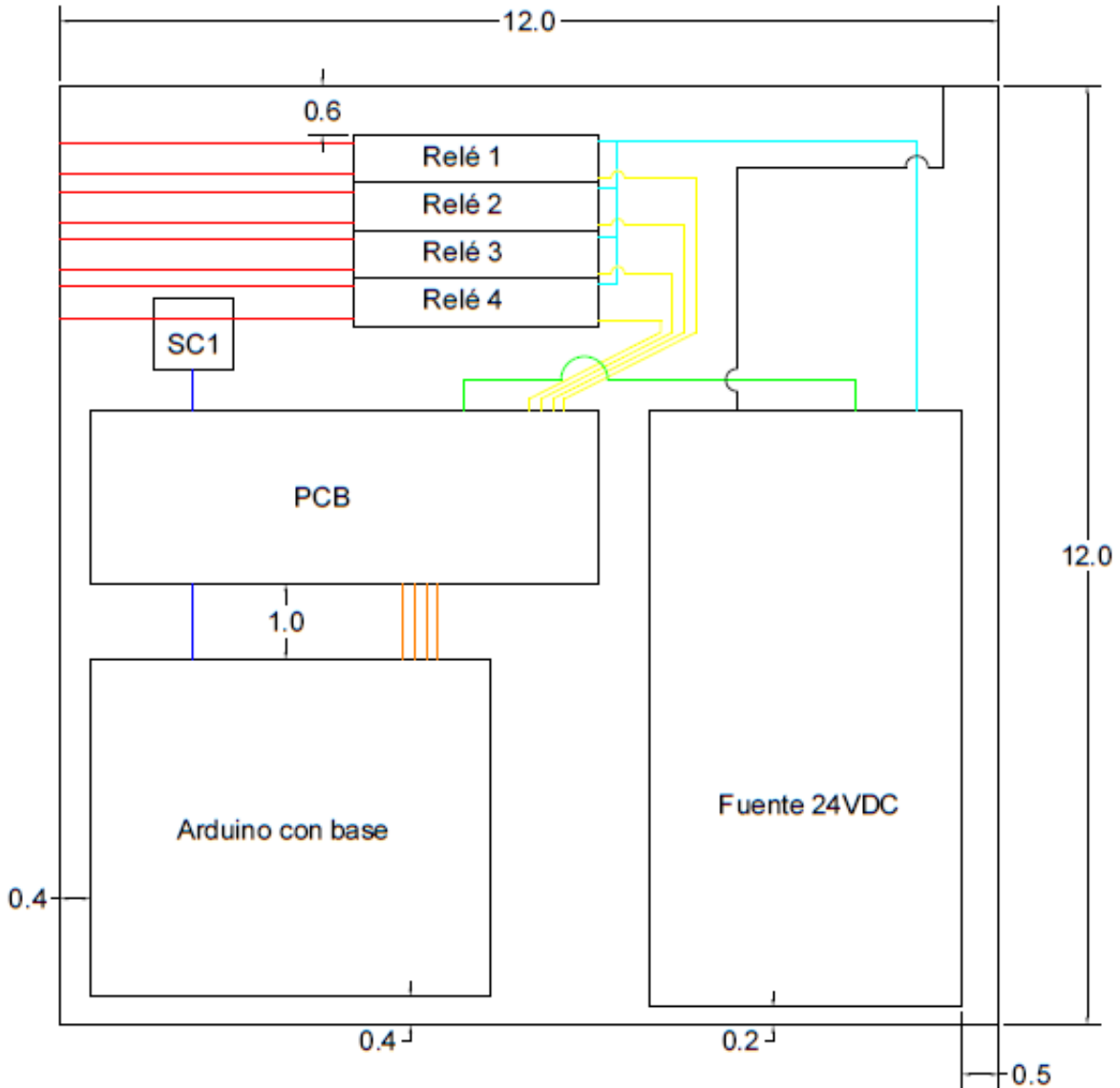


Figura 3.10. Distribución de componentes en caja EMT para prototipo residencial, medidas en pulgadas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

En donde siguiendo la distribución que se muestra en la figura 3.7, a la hora de montar el prototipo; su resultado final se observa como en la siguiente figura.

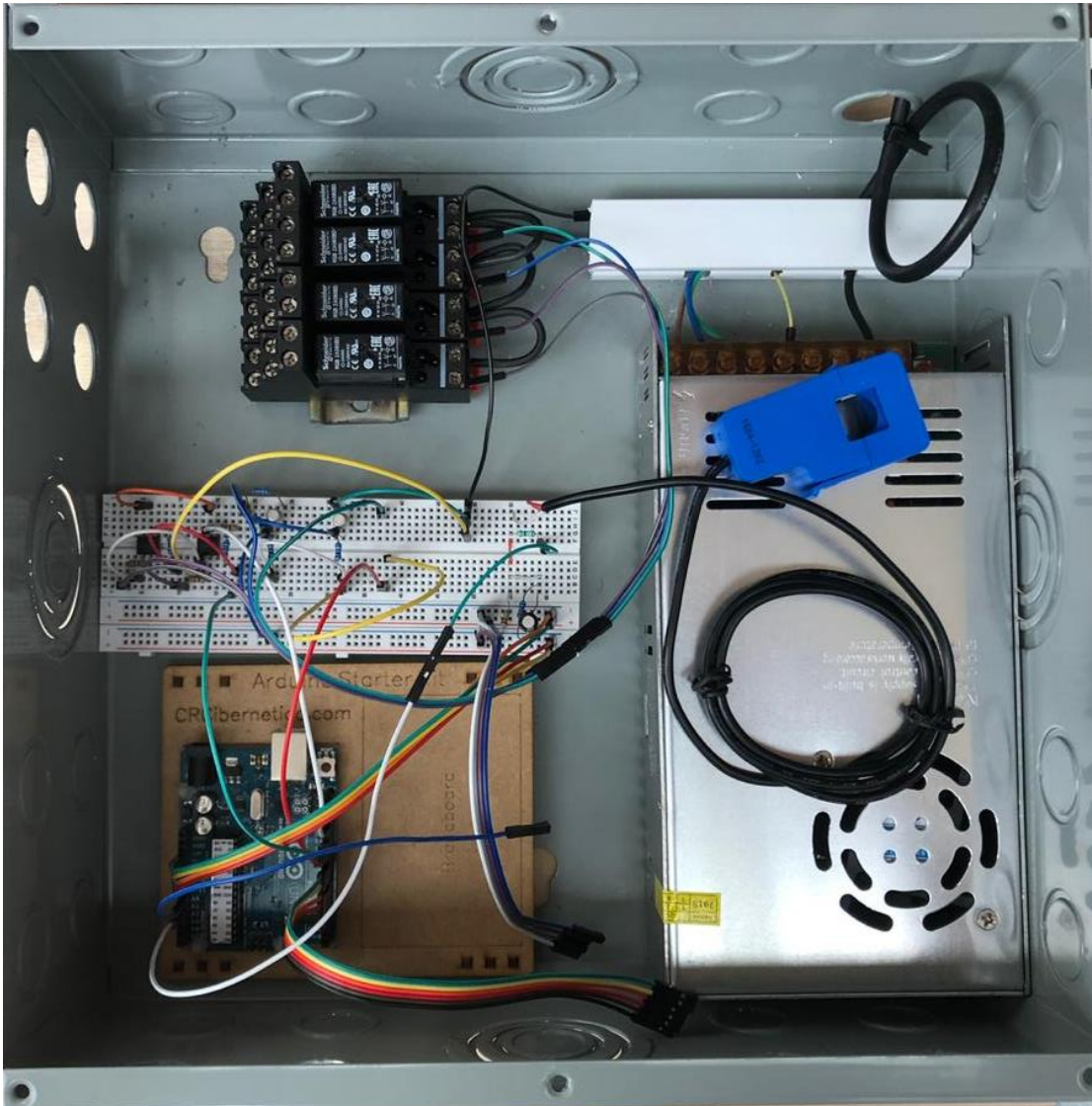


Figura 3.11. Prototipo residencial final (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Por motivos de construir un prototipo se utiliza una protoboard, en la cual se montan los circuitos de control de los actuadores y el modificador de señal del sensor de corriente. Esto se debe a la prevención de algún cambio en el circuito o la falla de un elemento; el cual requiera ser cambiado del todo por uno nuevo de igual o diferente valor.

3.1.6 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SIMULADAS

Para probar el funcionamiento del dispositivo ya montado se debe iniciar con la corroboración de las conexiones internas y su debida operación, en conjunto con la programación realizada. Una vez realizado esto se conecta una lámpara con la cual se le interrumpe la fase con los diferentes relés utilizados; ya que de esta forma se puede poner en marcha la programación de las dos diferentes funciones del prototipo residencial (horarios de conexión/desconexión y medición de energía consumida).

En primera instancia se hace un test del correcto funcionamiento de la función de los horarios para controlar los circuitos ramales; en el cual se debe corroborar el correr del tiempo en la pantalla serial del Arduino y a su vez la habilitación de la pantalla LCD con los mensajes requeridos.



Figura 3.12. Prueba de funcionamiento de programaciones con lámpara de mesa 50W (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

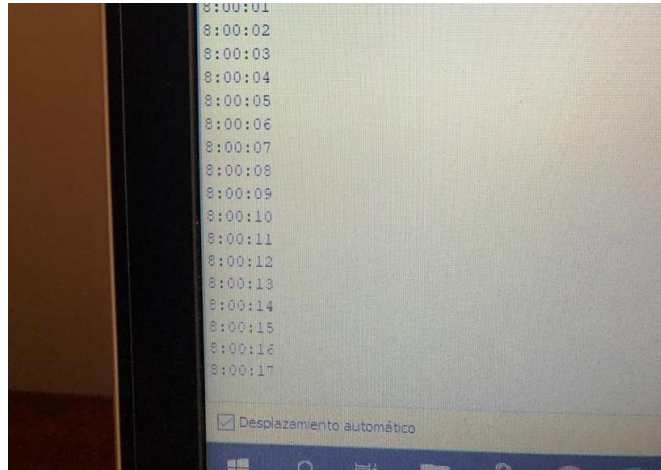


Figura 3.13. Reloj interno de la programación proyectado en pantalla serial de Arduino (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).



Figura 3.14. Pantalla LCD en funcionamiento y espera de ordenes (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Una vez realizados los pasos anteriores se procede a probar la programación fijando las horas de conexión y desconexión; la cual se hace en el espacio de los minutos; esto para poder hacer una prueba en tiempo real con intervalos donde se puedan documentar los hechos con fotografías y videos.

Primeramente, se establece la hora de desconexión del circuito a las 8:02 am, seguido de esto su reconexión a las 8:03 am. De esta forma cuando se llegan a los horarios establecidos, se cambia el estado de los relés, apagando o encendiendo el circuito, y se envía un mensaje en la pantalla serial del tipo de acción que se realizó.

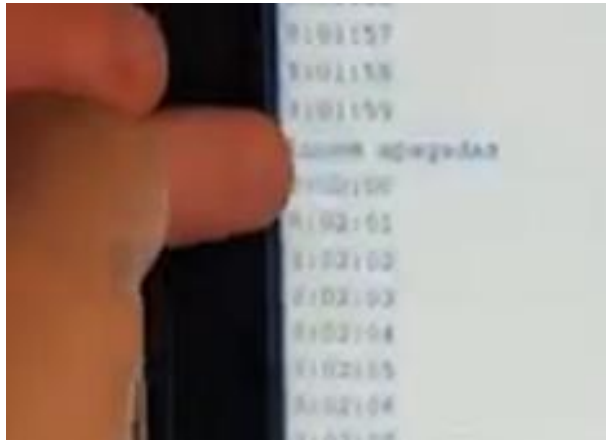


Figura 3.15. Mensaje en pantalla serial de apagado del circuito (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).



Figura 3.16. Circuito con lámpara apagada al ser las 8:02 am por programación (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

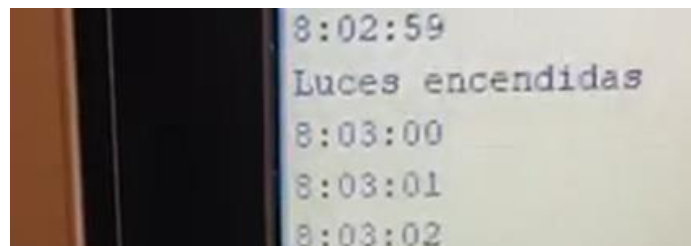


Figura 3.17. Mensaje en pantalla serial de encendido del circuito (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).



Figura 3.18. Circuito con lámpara encendida al ser las 8:03 am por programación (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Por parte de la medición de energía consumida, como ya se estableció en la programación, debido a que se hace la prueba con una bombilla de 50W y las mediciones se hacen cada cinco segundos se indica que cuando se alcancen los 0.3Wh de electricidad consumida se desconecte el circuito. Esto como ya se ha mencionado anteriormente con el fin de poder hacer la simulación en tiempo real y documentarlas debidamente.

Para calcular cuándo se debería apagar la bombilla según a la cantidad de mediciones hechas y la energía que necesita desde el inicio hasta el máximo en una hora se determina primero cuánto gasta la bombilla cada cinco segundos.

$$Wh_{5s} = \frac{I_{rms} * 120V * 5h}{3600} \quad (6)$$

Usando esta fórmula en la programación y con un límite de 0.3Wh de consumo, se puede denotar cuánto tiempo debe transcurrir al saber que la bombilla es de 50W, de la siguiente manera.

$$t_h = \frac{0.3Wh}{50W} * 3600s = 21.6 \quad (7)$$

Se debería desconectar el circuito a los 21.6 s de haber iniciado la programación a correr; pero por el atraso de medición hay 3.4 segundos en los cuales se consumiría energía extra.

Por ende, se puede decir que habrá un total de cinco mediciones por cada cinco segundos transcurridos, así que cuando se llegue a los 30 segundos de tiempo transcurrido se apagaría el circuito; estos cinco segundos extra; se denotan y se deben a la amortiguación inicial de la señal que se debe adecuar con la programación y no generar picos indebidos en la medición eficiente.



Figura 3.19. Bombillo de 50W encendido con medidor de corriente en fase (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

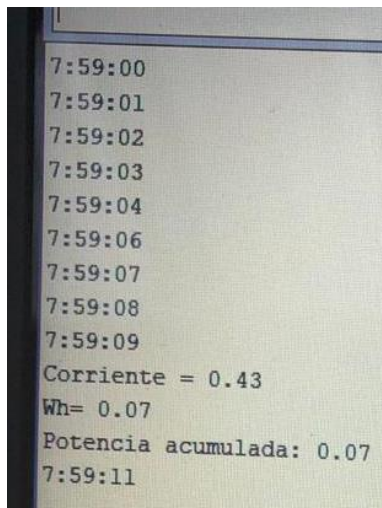


Figura 3.20. Primera medición de corriente realizada después de ajuste de señal (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

```
7:59:07
7:59:08
7:59:09
Corriente = 0.43
Wh= 0.07
Potencia acumulada: 0.07
7:59:11
7:59:12
7:59:13
7:59:14
Corriente = 0.43
Wh= 0.07
Potencia acumulada: 0.14
7:59:16
7:59:17
7:59:18
7:59:19
Corriente = 0.44
Wh= 0.07
Potencia acumulada: 0.22
7:59:21
7:59:22
7:59:23
7:59:24
Corriente = 0.43
Wh= 0.07
Potencia acumulada: 0.29
7:59:26
7:59:27
7:59:28
7:59:29
Corriente = 0.43
Wh= 0.07
Potencia acumulada: 0.36
Circuito desconectado por sobrepasar limite
7:59:31
```

Figura 3.21. Registro de mediciones realizadas al bombillo de 50W hasta llegar a un consumo máximo de 0.3Wh (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).



Figura 3.22. Bombillo de 50W apagado con medidor de corriente en fase después de máximo consumo (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Una vez probadas las funciones, se procede al montaje de un módulo con circuitos para demostración del funcionamiento del prototipo.

En este se instalan cuatro diferentes circuitos que son controlados mediante las programaciones ya probadas; en este módulo se controlan las luces por medio de transistores en conjunto con la función de medición energética y los tomacorrientes por medio de opto acopladores con la función de los horarios.

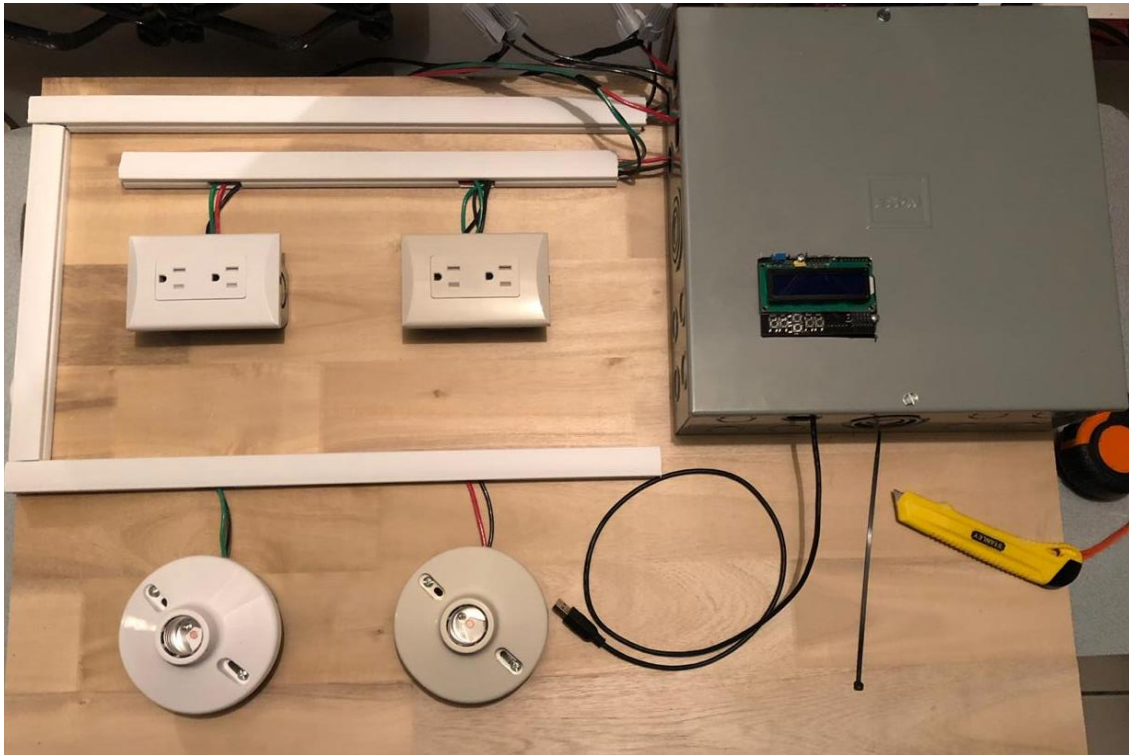


Figura 3.23. Módulo con circuitos y prototipo para demostraciones (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Hay un detalle en el funcionamiento del prototipo; cuando se integran ambas funciones en una sola programación, se puede observar un sobrecalentamiento en el microprocesador del Arduino UNO, el cual se cambia en medio de estas pruebas debido a que el original resultó averiado ante tal efecto.

Se infiere que la razón de este evento es por el tamaño de la memoria en el microprocesador y se podría solucionar ya sea por el cambio a un Arduino MEGA 2560, el cual tiene una memoria más grande, o diseñar un disipador de calor para el integrado.

3.1.6.1 PRUEBAS DE USO CON PERSONAS

La prueba de uso se realiza con el módulo ya armado; la forma de funcionar del prototipo solo hará uso de la función de alarmas ya mencionada; esto se debe a que la funcionalidad de medición en el consumo eléctrico es de forma automática y no se combinó con la misma pantalla durante la realización del presente proyecto.

Dos sujetos externos realizan una prueba que consiste en la determinación de la hora de desconexión y de conexión de los circuitos dentro del rango ya establecido; todo esto luego de una breve explicación del operar de la pantalla LCD y el programa en sí.

El primer sujeto es de 57 años, acostumbrado al manejo de computadoras y celulares inteligentes. Al iniciar la prueba existe la duda normal; pero conforme experimenta con los botones en la pantalla se adapta fácilmente y logra establecer la hora de encendido y apagado de los circuitos de tomacorrientes del módulo.



Figura 3.24. Primera persona para pruebas utilizando el prototipo con función de alarmas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

El segundo sujeto es una adulta de 52 años, con poco manejo de computadoras; pero experiencia con celulares inteligentes; la misma desde un inicio por su condición visual indica no observar las letras en la pantalla y requiere el uso de su celular para ampliar la imagen y poder utilizar el prototipo. Hecho esto se adapta

rápidamente a la interfaz y no requiere experimentar con la misma, logrando definir las horas de conexión y desconexión de los circuitos.



Figura 3.25. Segunda persona para pruebas utilizando el prototipo con función de alarmas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

3.2 PROTOTIPO INDUSTRIAL

3.2.1 DEFINICIÓN DE FUNCIONES PARA EL PROTOTIPO INDUSTRIAL

Según la investigación desarrollada, dependiendo del sistema en funcionamiento y su diseño; partiendo de su estructura correctamente dimensionada; la demanda de energía del dispositivo en la mayoría de los casos será muy estable a menos que su trabajo aumente.

Esto se puede atribuir a un uso más constante, lo cual puede ser normal en ciertos momentos del día o la producción necesaria, pero de no ser así es factible también que su consumo eléctrico aumente por posibles fallas en equipos conectados directamente a la red eléctrica o en los equipos que complementan al sistema, y afectan su funcionamiento.

Debido a esto se debe hacer una diferenciación que va desde el tipo de sistema que se va a monitorear, datos técnicos como la potencia media de consumo, y posibles picos de consumo dentro de un porcentaje establecido, entre otros aspectos.

Por ello se establecen las siguientes funciones:

- Medición continua de la energía demandada por los equipos.
- Medición de tiempos de funcionamiento de los sistemas que tengan encendidos y apagados establecidos por parámetros como presión o temperatura deseada.
- Promedio de consumo eléctrico según los horarios de trabajo y la energía promedio usada, para determinar congruencias en el funcionamiento establecido desde el diseño.

Esto con el fin adecuar el dispositivo de una forma más modular en la cual se puedan ingresar los datos de las diferentes máquinas a monitorear, trabajando dentro de los parámetros que les corresponden; y sin afectar su funcionamiento debido a malas lecturas de demanda.

3.2.2 DISEÑO DE CIRCUITOS PARA MEDICIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE

Como se definió anteriormente, la medición de tiempos de funcionamiento y demanda de energía son la base para este prototipo industrial; por lo cual se debe medir amperaje como tensión de una forma continua.

Se aclara que al monitorear un equipo de alta demanda de trabajo, requiere una información precisa que se debe obtener directamente. Para medir corriente se puede utilizar el mismo diseño del circuito definido en la sección con la diferencia que el sensor debe tener mayor capacidad de medición, utilizando uno con un máximo de 100A; el cual cubre gran parte del rango posible a medir en la industria; siendo el modelo SCT-013 (Anexo 5).

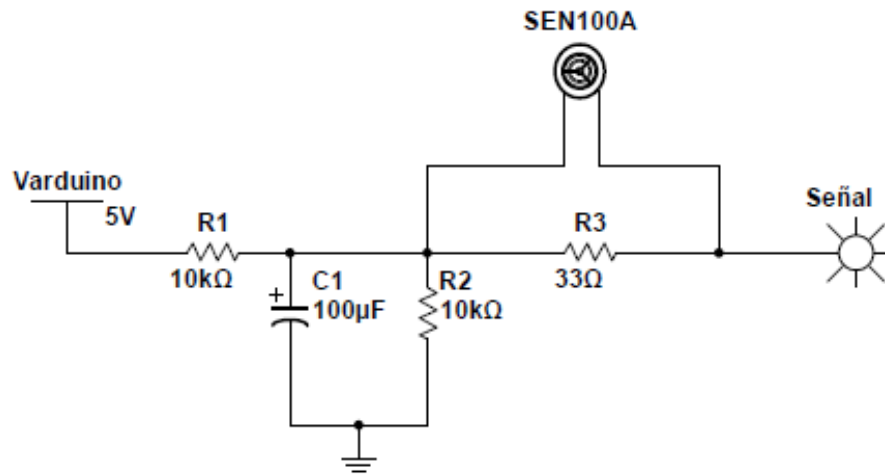


Figura 3.26. Circuito divisor de voltaje para conexión del sensor de 100A al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

El circuito mostrado en la figura 3.7, es para cada una de las líneas monofásicas que se deseen medir; y se pueden repetir las veces necesarias para cada una de las fases a observar.

Debido a este comportamiento individual por fase, se pueden medir sistemas trifásicos, ya que solo se debería repetir el mismo circuito tres veces y así obtener la información del balanceo de corriente en el sistema.

Para el caso de la medición del voltaje se decide utilizar un transformador de voltaje que reduzca el mismo de la fase, para luego ser rectificado y nivelado a 5VDC, siendo óptimo introducir esa información al microprocesador. El cual en su programación se pueda establecer sus niveles normales de voltaje, que indique cuando estos están mostrando diferencias.

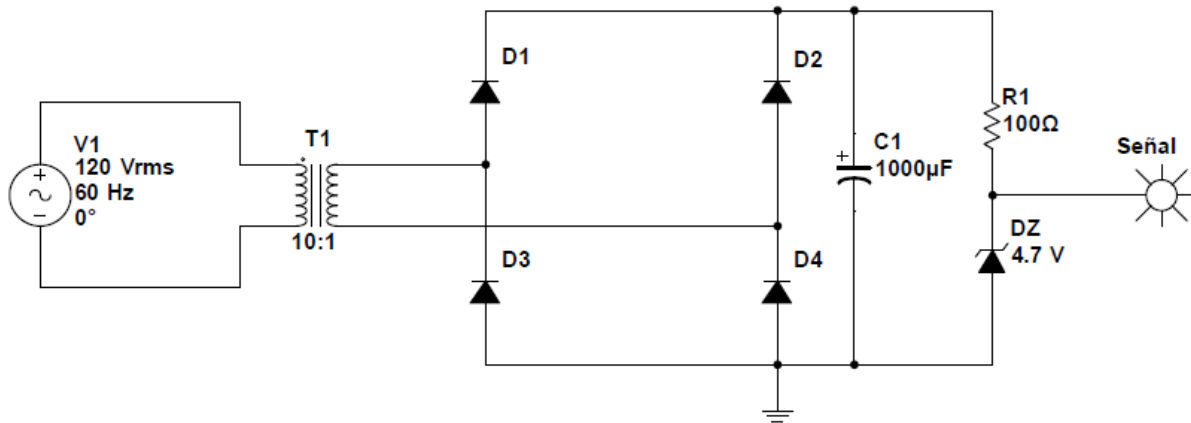


Figura 3.27. Circuito rectificador de onda completo de monofásico, para señal de voltaje al microprocesador (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Según se observa en la figura 3.8, el circuito puede ser utilizado para el monitoreo de un sistema monofásico, en donde los componentes que se pueden utilizar son:

- Transformador 120/12VAC
- Diodos 1N4001
- Capacitor electrolítico de 1000 μ F, 25V
- Diodo Zener de 4.7V, 1/2W
- Resistencia de carbón de 100 Ω

Pero debido a que se puede dar el caso de un equipo que sea su conexión sea trifásica; se puede emplear el mismo circuito para cada fase; siempre y cuando sea un trifásico de 4 hilos.

3.2.3 PROGRAMACIÓN DEL PROTOTIPO INDUSTRIAL

3.2.3.1 MEDICIÓN DE CONSUMO PROMEDIO

Para esta función se puede utilizar la misma programación del apartado **3.1.4.2**, pero con algunas modificaciones en las formulas del cálculo de la potencia consumida en tiempo real (en el caso de así requerirlo) y con mediciones en ciertos momentos, donde se tenga una estabilidad del funcionamiento de las máquinas con horarios conocidos previamente.

Considerando que su aplicación es destinada a la medición de equipo eléctrico industrial, por el momento monofásico; se decide agregar la medición de voltaje en la línea. El agregar esta función calcula de una manera más precisa el estado actual de la maquinaria con respecto a su demanda de energía y obteniendo datos como los niveles de corriente y voltaje, vigilando que estén dentro del rango aceptable de funcionamiento para los equipos monitoreados.

Para dicha función de medición del nivel de tensión, se opera de manera que se reduzca el nivel de tensión y se rectifica para que llegue como una entrada al Arduino a un nivel de tensión dentro $\pm 10\%$ admisible que se puede dar en el voltaje.

El nivel de tensión máximo se procede a calcular por regla de tres

$$\frac{120V}{2.5V} = \frac{120V + 10\% * 120V}{V_{inmax}} \quad (8)$$

$$V_{inmax} = \frac{2.5(132)V}{120} \quad (9)$$

$$V_{inmax} = 2.75V \quad (10)$$

Se sabe que 2.5V de entrada al microprocesador del Arduino son 511 bits y se puede hacer la relación por regla de tres igualmente para saber cuántos bits entran en el caso de que el voltaje sea máximo.

$$\frac{2.5V}{511bit} = \frac{2.75V}{bit_{max}} \quad (11)$$

$$bit_{max} = \frac{2.75 * 511bit}{2.5} \quad (12)$$

$$bit_{max} = 562.1 \approx 562 \pm 1bit \quad (13)$$

En donde el límite superior en la medición serían los $562 \pm 1bit$. Y para el cálculo del límite inferior se sigue el mismo procedimiento, pero restando al valor de tensión nominal el 10% de variante admisible.

$$\frac{120V}{2.5V} = \frac{120V - 10\% * 120V}{V_{inmin}} \quad (14)$$

$$V_{inmin} = \frac{2.5(108)V}{120} \quad (15)$$

$$V_{inmin} = 2.25V \quad (16)$$

$$\frac{2.5V}{511bit} = \frac{2.25V}{bit_{min}} \quad (17)$$

$$bit_{min} = \frac{2.25 \cdot 511bit}{2.5} \quad (18)$$

$$bit_{min} = 459.9 \approx 460 \pm 1bit \quad (19)$$

Definiéndose como límite inferior en la medición los 460±1bit.

Una vez realizados los cálculos anteriores, se puede valorar facilitar esta operación con la programación para la medición de la tensión en una fase; quedando como se puede observar en la siguiente figura.

```

void setup(){
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  float Vin = analogRead(A4);
  float V1 = (Vin/1024)*48;
  if (Vin > 460 && Vin < 562){
    Serial.print("Tension de linea: ");
    Serial.println(V1);
  }
  else if (Vin < 460){
    Serial.print("Tension de linea: ");
    Serial.println(V1);
    Serial.print("Voltaje por debajo del rango aceptable");
  }
  else if (Vin > 562){
    Serial.print("Tension de linea: ");
    Serial.println(V1);
    Serial.print("Voltaje por encima del rango aceptable");
  }
  delay(100);
}

```

Figura 3.28. Programación para realizar las medidas del nivel de tensión en una línea (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

3.2.3.2 PROTOCOLOS SEGÚN SISTEMA

Según la investigación realizada, se puede determinar que la mayoría de equipos industriales a monitorear son motores eléctricos acoplados entre ellos: compresores, bombas para fluidos, bandas de transmisión o intercambiadores de calor.

En donde la corriente eléctrica es la demandada por el equipo a un nivel de tensión requerido, brindado por la empresa responsable de brindar el servicio eléctrico; tomando esto en cuenta se puede definir en general tres condiciones de falla en los niveles de energía que se pueden presentar.

- Si el nivel de tensión se encuentra dentro del rango admisible establecido por la empresa distribuidora, pero la corriente está fuera del rango posible demandado por la máquina; hay una falla en la máquina.
- Si el nivel de tensión se encuentra fuera del rango admisible establecido por la empresa distribuidora, al igual que la corriente requerida por la máquina; el suministro eléctrico está fallando.
- Si el nivel de tensión se encuentra fuera del rango admisible establecido por la empresa distribuidora, pero la corriente sigue dentro del rango demandado por la máquina, la empresa distribuidora se encuentra balanceando las cargas que debe soportar.
- Tanto nivel de tensión y corriente están en valores nominales, no hay anomalías presentes.

Dado esto, se deben de tener en cuenta para establecer un parámetro cuando el equipo está teniendo anomalías o el suministro eléctrico es el que presenta una fluctuación.

3.2.3.2.1 MOTOR ELÉCTRICO EN MÁQUINA

Si el programa detecta un nivel de tensión normal, pero una corriente anómala por más de 0.7s (Pico de arranque de un motor); se procede a indicar un posible fallo en el motor, más no se desconecta.

A la vez se envía un mensaje que indique la situación; con el nivel de corriente y se sugieren los aspectos de la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en motores eléctricos (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Proceder recomendado	
1	Revisar mantenimientos previos
2	Inspección visual del equipo (suciedad, sonidos)
3	Revisión de cargas manejadas por el motor
4	En caso de notar sobre calentamiento, se recomienda realizar un mantenimiento al bobinado del motor y sus conexiones

3.2.3.2.2 SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Si el programa detecta un nivel de tensión normal, pero el aumento de corriente consumida en tiempos más seguidos (Presión nominal establecida en tanque de almacenamiento); se procederá a indicar una posible avería en el sistema, más no se desconecta.

A la vez se envía un mensaje que indique la situación; con los aumentos de demanda energética y se sugieren los aspectos de la tabla 3.5.

Tabla 3.5. . Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en compresores (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Proceder recomendado	
1	Revisar admisión de aire al compresor (No obstrucciones o temperaturas elevadas)
2	Revisión de caída del presión al punto más lejano
3	Revisión de válvulas de regulación
4	Revisión de presiones nominales para equipos
5	Revisar estado de purgas
6	Inspección visual de la instalación (Buscar fugas)

3.2.3.2.3 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Al programa detectar un nivel de tensión normal, pero aumento en la corriente consumida en lapsos de tiempo más cortos (Presión nominal establecida en tuberías); se procederá a indicar una posible avería en el sistema, más no se desconecta.

A la vez se envía un mensaje que indique la situación; con los aumentos de demanda energética y se sugieren los aspectos de la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Recomendaciones en caso de anomalías detectadas en sistemas de refrigeración (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Proceder recomendado	
1	Revisar cámaras refrigeradas y cantidad de contenido (No deben estar al vacío)
2	Inspección de visual del estado de los aislamientos
4	Revisión de la no entrada de calor extra al sistema
3	Inspección visual de instalación (Buscar fugas)

3.2.4 ARQUITECTURA BÁSICA

A diferencia del prototipo residencial, este montaje es más pequeño debido a que no tiene un circuito de control para actuadores de interface; pero su montaje de circuitos de medición para voltaje y corriente son mayores tanto en cantidad como en tamaño.

Esto se debe a los voltajes y corrientes que se medirían, lo que demanda circuitos más robustos con la capacidad de soportar las tensiones y corrientes de una manera más directa; así como adecuar las señales para un procesamiento por medio del microcontrolador.

Se parte de un prototipo para medir corriente y voltaje de un sistema monofásico, a cuatro circuitos ramales con diferentes cargas conectadas, para el cual se necesitarían los materiales de la tabla 3.4.

Tabla 3.7. Materiales necesarios para el prototipo industrial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Material	Dimensiones	Cantidad
"Jumpers" Macho-Hembra	-	40
Transformadores 120/12VAC	6 x 5.1 cm	-
Sensores de 100A	-	-
PCB con circuitos diseñados	16.5 x 5.5 cm	1
Arduino MEGA 2560 con base	5.1 in x 4.3 in	1
Caja EMT de transferencia	12 x 12 in	1
Cinta de doble acción	-	1m

Tabla 3.8. Simbología de conexiones internas para prototipo industrial (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

Color	Significado
Rojo	Voltaje reducido a 12VDC para medición de tensión
Azul	Señales de los sensores de corriente
Verde	Negativo común de los transformadores
Celeste	Señales adecuadas de voltaje y corriente hacia el Arduino
Naranja	Comunicación del Arduino a computadora

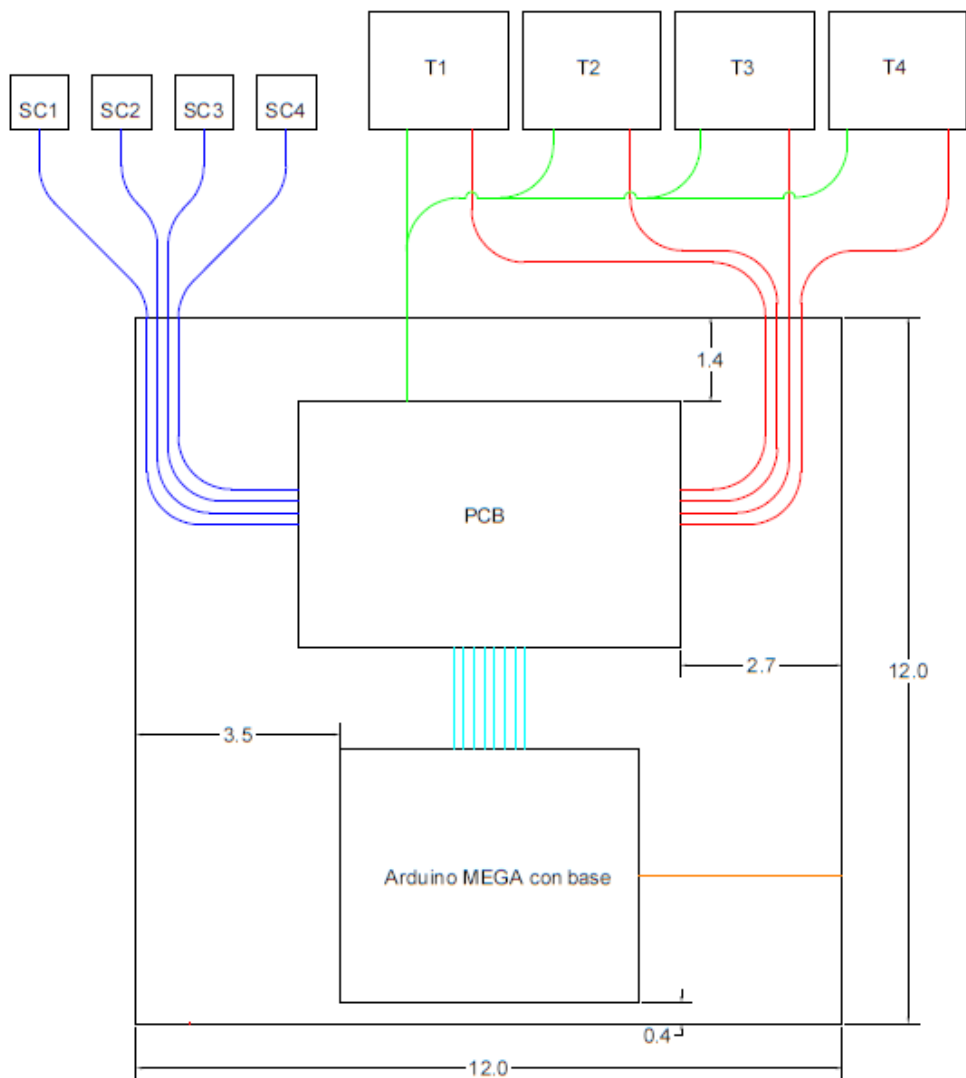


Figura 3.29. Distribución de componentes en caja EMT para prototipo industrial, medidas en pulgadas (Elaborado por Herrera, Daniel. 2018).

CONCLUSIONES

- Es viable el diseño y ensamble de un prototipo de sistema inteligente de monitoreo para residencias y sistemas industriales, con el que se pueden controlar la eficiencia del consumo energético de estas; además de controlar circuitos ramales residenciales de una forma simple.
- Al diseñar y elaborar el sistema de monitoreo residencial con interfaz y probarla con sujetos externos al proyecto y en diferentes condiciones y niveles de competencias tecnológicas un cierto periodo corto de adaptación a la interfaz y su manera de trabajar. Pero cabe resaltar que por el tipo de pantalla utilizado, se aprecia cierta dificultad para su manejo en las personas con que presentan dificultades visuales que dependerán de un apoyo para adecuar el tamaño de los sensores y realizar la programación. Se deduce que es debido al tamaño de la pantalla y el color de su fondo.
- El diseño final del prototipo industrial es, con respecto a las funcionalidades, justo para su aplicación de monitoreo en los sistemas industriales analizados; ya que con el mismo diseño, pero diferentes protocolos de procedimiento se puede llevar un control de su consumo energético; el mismo prototipo es similar al residencial, más no cuenta con pantalla de interface debido a que es mejor conectar el mismo a una computadora donde se pueden manejar libremente los datos.
- El prototipo industrial responde de forma debida a sus funciones, más su procesamiento tiende a ser lento con respecto a la demanda de trabajo que pueden llegar a presentar los equipos; dándose el caso de no registrar casos de sobre corrientes repentinas en momentos específicos. Esto debido a su baja velocidad en la toma de datos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda utilizar un microprocesador con mayor memoria y capacidad de alta demanda de trabajo; ya que, al combinar las programaciones del prototipo residencial, este tiende a sobrecalentarse y eventualmente fallar. Durante el desarrollo del proyecto esto se ratificó en las simulaciones de la integración completa de la programación; dañándose parcialmente; debido al calentamiento y afectando en este caso el procesamiento de lectura de datos analógicos.
2. Para un mejor aprovechamiento del espacio, se sugiere desarrollar diseño de placas con circuito impreso (PCB) con los circuitos de control y adecuación de señales; esto con el fin de no utilizar protoboard y mejorar la estética y el acomodo de los elementos del prototipo.
3. Se aconseja enfocar el prototipo residencial hacia instalaciones comerciales u oficinas, ya que en estos lugares hay un aumento de dispositivos que presentan consumo fantasma, al igual que la dificultad de monitorear más eficientemente la reducción de esto en oficinas, locales comercial y similar.
4. A forma de mejora, se pueden sustituir los relés por contactores de potencia con protecciones a sobre corrientes en el prototipo industrial; esto con el fin de soportar las cargas que pueden demandar altas corrientes. Estas pueden poner en peligro la integridad de los componentes eléctricos y electrónicos del prototipo, por lo que el contactor sería el elemento que soportaría fallas, sin dañarse fácilmente y su protección estaría directamente relacionada con el disyuntor termo magnético de protección ubicado en el tablero que alimenta el circuito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antonio Rodríguez Arenas, M. C. (2010). *Instalaciones domóticas*. Barcelona: Marcombo.

Arduino. (20 de Septiembre de 2018). *Arduino*. Obtenido de Arduino Web site: <https://www.arduino.cc/>

Artero, Ó. T. (2013). *Arduino, Curso práctico de formación*. México: Alfaomega.

Asea Brown Boveri. (24 de Octubre de 2018). *ABB*. Obtenido de ABB Web site: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/automatizacion-viviendas-edificios/oferta-de-productos/abb-i-bus-knx/productos/gestion-de-la-energia>

Asea Brown Boveri. (24 de Octubre de 2018). *ABB*. Obtenido de ABB Web site: <https://new.abb.com/low-voltage/es/productos/aparamenta-modular/aparamenta-modular-de-medida/contadores-de-energia-EQ>

Boylestad, R. L. (2004). *Introducción al análisis de circuitos*. México: Pearson.

Carrier Air Conditioning Co. (2012). *Manual de aire acondicionado*. España: Marcombo.

Chapman, S. J. (2012). *Máquinas eléctricas. Quinta edición*. México, D.F.: McGraw-Hill.

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (9 de Octubre de 2018). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Obtenido de CNFL Web site: https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/tarifas_vigentes_comerciales.pdf

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (9 de Octubre de 2018). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Obtenido de CNFL Web site: https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/tarifas_vigentes_industriales.pdf

Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (9 de Octubre de 2018). *Compañía Nacional de Fuerza y Luz*. Obtenido de CNFL Web site:

https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/tarifas_vigentes_residenciales.pdf

Gerencia Electricidad, E. S. (13 de Septiembre de 2018). *Grupo ICE*. Obtenido de Grupo ICE Web site: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/99e8cc9f-13ae-43e2-95eb-1be48772ad60/Motores+El%C3%A9ctricos+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi&CVID=IZQ1ISi>

Gerencia Electricidad, E. S. (13 de Septiembre de 2018). *Grupo ICE*. Obtenido de Grupo ICE Web site: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/09cc09a5-2776-421c-b1bf-b84c0fb77e4e/Guia+de+ahorro+en+el+hogar.pdf?MOD=AJPERES&CVID=1DoRxx>

Gerencia Electricidad, E. S. (13 de Septiembre de 2018). *Grupo ICE*. Obtenido de Grupo ICE Web site: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/e4ff8cf8-f135-42d9-a9d3-20c937dc0c0b/Aire+Comprimido+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1cq5&CVID=IZQ1cq5&CVID=IZQ1cq5&CVID=IZQ1cq5&CVID=IZQ1cq5&CVID=IZQ1cq5>

Gerencia Electricidad, E. S. (13 de Septiembre de 2018). *Grupo ICE*. Obtenido de Grupo ICE Web site: <https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/6697507c-82f5-43c0-a6c1-824852a16d6e/Refrigeraci%C3%B3n+web.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IZQ1WqF&CVID=IZQ1WqF&CVID=IZQ1WqF&CVID=IZQ1WqF&CVID=IZQ1WqF&CVID=IZQ1WqF>

Hugh D. Young, R. A. (2013). *Física universitaria con física moderna volumen 2*. México: Pearson.

José Manuel Huidobro Moya, R. J. (2006). *Domótica: Edificios inteligentes*. México: Limusa.

Lluís Jutglar, M. G. (2014). *Termotecnia*. Barcelona: Alfaomega.

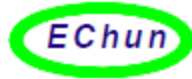
Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson.

Solé, A. C. (2011). *Neumática e Hidráulica*. Barcelona: Marcombo.

Yunus A. Cengel, M. A. (2015). *Termodinámica*. México, D.F.: McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo 1. Sensor de corriente de hasta 30A, hoja de datos.



ECHUN Electronic Co., Ltd

Split Core Current Transformer ECS1030-L72

The ECS10 Series are split-core current transformers. The CT can be mounted to existing panels, such as control centers or load centers, to measure or monitor wattage. These CTs can be mounted without removing existing cables for easier installation



RoHS

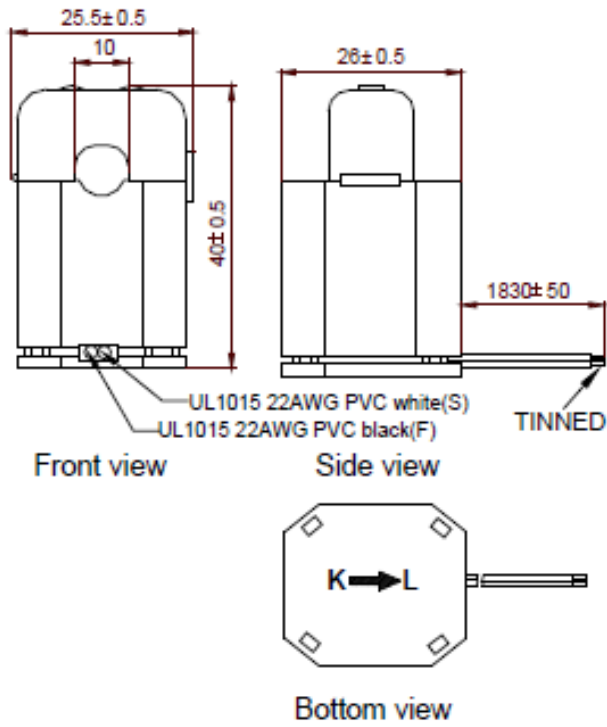
Electrical Specifications

Rated Primary Current(Amp.) 50/60Hz	30nom(1~60A max)
Turn ratio	Np:Ns=1:2000
Current Ratio	30A/15mA
D.C.Resistance at 20 °C	250 Ω
Accuracy @ $R_L \leq 10\Omega$	2%
Linearity @ $R_L \leq 10\Omega$	0.5%
Phase error at rated current range	$\cong 4^\circ$
Operating Temperature Range	-40~65°C
Storage Temperature Range	-45~85°C
Dielectric Withstanding Voltage(Hi-pot)	2.5KV/1mA/1min
Insulation Resistance	DC500V/100MΩ min

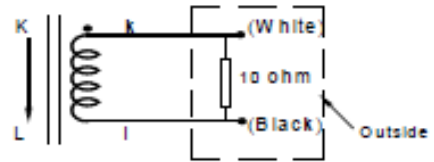
Mechanical Specifications

CUP	PBT
Opening Dimensions	>10mm
Output type	UL1015 22AWG PVC WIRE(doubling wire)
Approx.Weight	60g

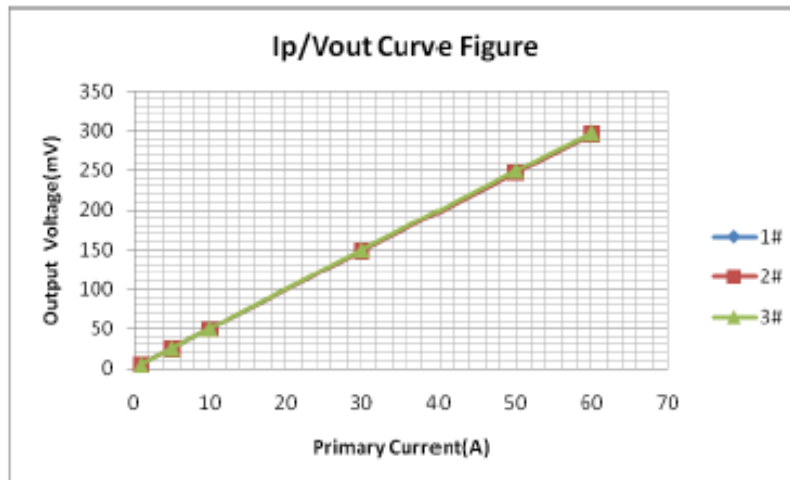
Mechanical Dimensions in mm



Test Circuit:



Output curve: (RL=10Ω)



Anexo 2. Relé de interfaz electromecánico 24VDC de activación, 8A 250VAC, hoja de datos.

Product datasheet
Characteristics

RSB2A080BDS
interface plug-in relay - Zelio RSB - 2 C/O - 24 V DC - 8 A - with socket



Main

Range of product	Zelio Relay
Series name	Interface relay
Product or component type	Plug-in relay
Device short name	RSB
Contacts type and composition	2 C/O
Contacts operation	Standard
Control circuit voltage	24 V DC
[I _{th}] conventional enclosed thermal current	8 A at -40...40 °C
Status LED	Without
Control type	Without push-button
Sale per indivisible quantity	10

Complementary

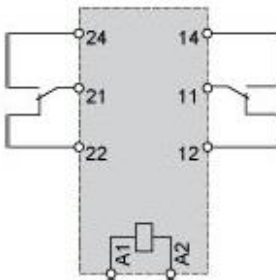
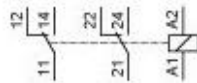
Shape of pin	Flat
Average resistance	1440 Ohm (DC) at 20 °C +/- 10 %
[U _e] rated operational voltage	19.2...26.4 V DC
[U _i] rated insulation voltage	400 V conforming to EN/IEC 60947
[U _{imp}] rated impulse withstand voltage	3.6 kV conforming to IEC 61000-4-5
Contacts material	Silver alloy (Ag/Ni)
[I _e] rated operational current	4 A, NC (AC-1/DC-1) conforming to IEC 8 A, NO (AC-1/DC-1) conforming to IEC
Minimum switching current	5 mA
Maximum switching voltage	300 V DC 400 V AC
Switching voltage	5 V
Maximum switching capacity	2000 VA (AC) 224 W (DC)
Load current	8 A at 250 V AC

	8 A at 28 V DC
Minimum switching capacity	300 mW at 5 mA
Operating rate	<= 600 cycles/hour under load <= 72000 cycles/hour no-load
Mechanical durability	30000000 cycles
Electrical durability	100000 cycles (8 A at 250 V, AC-1) NO 100000 cycles (4 A at 250 V, AC-1) NC
Operating time	4 ms between coil de-energisation and making of the Off-delay contact 9 ms between coil energisation and making of the On-delay contact
Marking	CE
Average consumption in W	0.45 W DC
Drop-out voltage threshold	>= 0.1 U _c DC
Safety reliability data	B10d = 100000
Protection category	RT I
Operating position	Any position

Environment

Dielectric strength	1000 V AC between contacts 2500 V AC between poles 5000 V AC between coil and contact
Standards	UL 508 CSA C22.2 No 14 EN/IEC 61810-1
Product certifications	CSA GOST UL
Ambient air temperature for storage	-40...85 °C
Vibration resistance	+/- 1 mm (f = 10...55 Hz) conforming to EN/IEC 60068-2-6
IP degree of protection	IP40 conforming to EN/IEC 60529
Shock resistance	10 gn for 11 ms not operating conforming to EN/IEC 60068-2-27 5 gn for 11 ms in operation conforming to EN/IEC 60068-2-27
Ambient air temperature for operation	-40...70 °C (AC) -40...85 °C (DC)

Wiring Diagram



Anexo 3. Transistor NPN modelo 2N2222A, hoja de datos.

Philips Semiconductors

Product specification

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

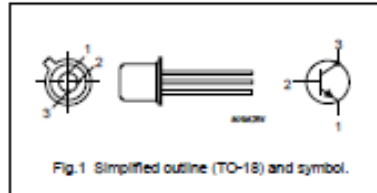


Fig. 1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage 2N2222 2N2222A	open emitter	—	60 75	V V
V_{CE0}	collector-emitter voltage 2N2222 2N2222A	open base	—	30 40	V V
I_C	collector current (DC)		—	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	—	500	mW
β_{DC}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	—	
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250 300	—	MHz MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{C(on)} = 150\text{ mA}; I_{B(on)} = 15\text{ mA}; I_{B(off)} = -15\text{ mA}$	—	250	ns

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CB0}	collector-base voltage 2N2222 2N2222A	open emitter	—	60 75	V V
V_{CE0}	collector-emitter voltage 2N2222 2N2222A	open base	—	30 40	V V
V_{EB0}	emitter-base voltage 2N2222 2N2222A	open collector	—	5 5	V V
I_C	collector current (DC)		—	800	mA
I_{CM}	peak collector current		—	800	mA
I_{BM}	peak base current		—	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$ $T_{case} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	—	500 1.2	mW W
T_{stg}	storage temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$
T_J	junction temperature		—	200	$^\circ\text{C}$
T_{amb}	operating ambient temperature		-65	+150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{\theta(ja)}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
$R_{\theta(jc)}$	thermal resistance from junction to case		145	K/W

Anexo 4. Opto acoplador modelo 4N25, hoja de datos.

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by 4N25/D



6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INPUT LED			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$
OUTPUT TRANSISTOR			
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	30	Volts
Emitter–Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

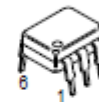
1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating.
For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

4N25*
4N25A*
4N26*
[CTR = 20% Min]
4N27
4N28
[CTR = 10% Min]

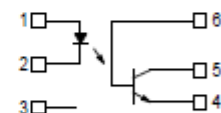
*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted⁽¹⁾)

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage (I _F = 10 mA)	V _F	—	T _A = 25°C	1.15	Volts
			T _A = -55°C	1.3	
			T _A = 100°C	1.05	
Reverse Leakage Current (V _R = 3 V)	I _R	—	—	100	μA
Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz)	C _J	—	18	—	pF

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Dark Current (V _{CE} = 10 V, T _A = 25°C)	4N25,25A,26,27 4N28	I _{CEO}	—	1	50	nA
	(V _{CE} = 10 V, T _A = 100°C)	All Devices	I _{CEO}	—	1	μA
Collector-Base Dark Current (V _{CB} = 10 V)		I _{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _C = 1 mA)		V _{(BR)CEO}	30	45	—	Volts
Collector-Base Breakdown Voltage (I _C = 100 μA)		V _{(BR)CBO}	70	100	—	Volts
Emitter-Collector Breakdown Voltage (I _E = 100 μA)		V _{(BR)ECO}	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain (I _C = 2 mA, V _{CE} = 5 V)		h _{FE}	—	500	—	—
Collector-Emitter Capacitance (f = 1 MHz, V _{CE} = 0)		C _{CE}	—	7	—	pF
Collector-Base Capacitance (f = 1 MHz, V _{CB} = 0)		C _{CB}	—	19	—	pF
Emitter-Base Capacitance (f = 1 MHz, V _{EB} = 0)		C _{EB}	—	9	—	pF

COUPLED

Output Collector Current (I _F = 10 mA, V _{CE} = 10 V)	I _C (CTR) ⁽²⁾	2 (20) 1 (10)	7 (70) 5 (50)	— —	mA (%)
4N25,25A,26 4N27,28					
Collector-Emitter Saturation Voltage (I _C = 2 mA, I _F = 50 mA)	V _{CE(sat)}	—	0.15	0.5	Volts
Turn-On Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{on}	—	2.8	—	μs
Turn-Off Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _r	—	1.2	—	μs
Fall Time (I _F = 10 mA, V _{CC} = 10 V, R _L = 100 Ω) ⁽³⁾	t _f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage (f = 60 Hz, t = 1 sec) ⁽⁴⁾	V _{ISO}	7500	—	—	Vac(pk)
Isolation Resistance (V = 500 V) ⁽⁴⁾	R _{ISO}	10 ¹¹	—	—	Ω
Isolation Capacitance (V = 0 V, f = 1 MHz) ⁽⁴⁾	C _{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = I_C/I_F × 100%.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

4. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

Anexo 5. Sensor de corriente hasta 100A, hoja de datos

Split-Core Current Transformer



Model: SCT-013 Series

Characteristics: Opening size: 13mm×13mm
 Non-linearity±3% (10%—120% rated input current)
 1.5m leading wire. Diagram for standard three-output
 Current output type or Voltage output type
 (Voltage output type built-in sampling resistor)

Purpose: Suitable for the current measuring
 monitoring and protection of AC motor
 lighting equipment air compressor and so on

Core material: Ferrite

Mechanical strength: The number of switching is not less than 1000 times
 (Test under 20°C).

Safety index: Dielectric strength 6000V AC/1min

Fire resistance property: in accordance with UL94-V0

Working temperature: -25°C—+70°C

Outline size diagram: (in mm)

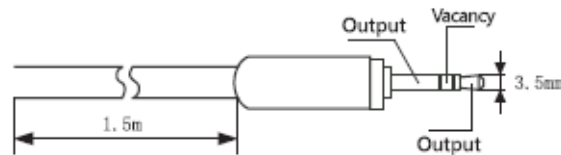
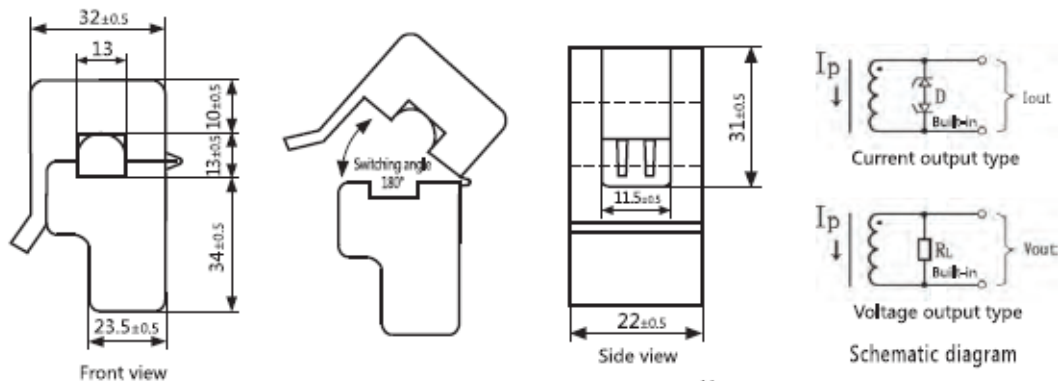


Diagram for standard three-pin plug

Table of technical parameters:

Model	SCT-013-000	SCT-013-005	SCT-013-010	SCT-013-015	SCT-013-020
Input current	0-100A	0-5A	0-10A	0-15A	0-20A
Output mode	Current/50mA	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V
Model	SCT-013-025	SCT-013-030	SCT-013-050	SCT-013-060	SCT-013-070
Input current	0-25A	0-30A	0-50A	0-60A	
Output mode	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	Voltage/1V	

Output mode: Voltage output type built-in sampling resistor; Current output type built-in protective diode;
 Forbidden to be opening operating for current type.