



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Electrónico**, que presenta el bachiller:

Mario Alfonso Ordinola Castillo

ASESOR: Miguel Ángel Cataño Sánchez

Lima, agosto del 2009

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL MODO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS	6
1.1 Tipos de redes eléctricas existentes en las comunidades campesinas	6
1.2 Factores y variables que influyen en la distribución desigual de la energía eléctrica en las comunidades campesinas	10
CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS.....	13
2.1 Tecnologías existentes en la actualidad	13
2.2 Elementos del sistema de control del consumo de energía	16
2.2.1 Circuito de medición de potencia eléctrica activa	16
2.2.2 Conversor analógico digital.....	17
2.2.3 Microcontrolador	17
2.2.4 Dispositivo de Corte	18
2.3 Modelo Teórico.	18
2.4 Objetivos	21
2.4.1 Objetivo General	21
2.4.2 Objetivos Específicos.....	21
CAPÍTULO 3: MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS	22
3.1 Planteamiento de la solución	22
3.2 Diagrama de Bloques del Sistema de Control	23
3.2.1 Potencia eléctrica consumida	24
3.2.2 Transformación de la corriente eléctrica consumida en otra magnitud eléctrica adecuada	24
3.2.3 Verificación del consumo realizado (microcontrolador).....	25
3.2.4 Separación de las etapas de mando y potencia	25
3.2.5 Elemento de corte o paso de la Energía Eléctrica	26
3.2.6 Fuente.....	26
3.2.7 Línea de Alimentación	26
3.3 Diagramas de Flujo	27
3.4 Selección de Componentes	29
3.4.1 Sensor de Corriente.....	29
3.4.2 Microcontrolador y Conversor Analógico Digital (ADC)	34
3.4.3 Dispositivo de separación de las etapas de potencia y de mando	40
3.4.4 Dispositivo de control del paso o corte de la energía eléctrica ...	44
3.5 Diagrama Esquemático de la Solución Planteada	49

CAPÍTULO 4: SIMULACIONES Y RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL 55

4.1 Análisis del Sensor de Corriente 55

4.2 Circuito Esquemático del Diseño del Sistema completo 56

4.3 Circuito Impreso del Diagrama Esquemático completo..... 57

4.4 Simulaciones del programa que empleará el microcontrolador 59

4.5 Simulaciones del circuito de potencia que se empleará en el sistema de control con el programa Proteus..... 62

 4.5.1 Simulación del circuito de potencia cuando la vivienda se encuentra dentro del rango de consumo permitido. 63

 4.5.2 Simulación del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad..... 65

 4.5.3 Simulación del circuito de potencia cuando reanuda el servicio de electricidad..... 69

4.6 Resultados de las simulaciones realizadas..... 72

4.7 Costos..... 73

CONCLUSIONES..... 76

RECOMENDACIONES 77

BIBLIOGRAFÍA 79

INTRODUCCIÓN

En las comunidades campesinas, la energía eléctrica resulta ser un recurso limitado, debido a que en estos lugares las empresas eléctricas privadas no cuentan con la infraestructura adecuada con lo cual podrían proporcionar este servicio de manera óptima. La razón principal de este hecho es que la inversión que realizarían dichas empresas la recuperarían después de mucho tiempo, debido a que el consumo en las comunidades es muy bajo como para que la inversión se recupere en un tiempo prudente. Por esta razón, en estos lugares se cuenta con generadores eléctricos como fuente de energía, los cuales alimentan a todas las viviendas de la comunidad campesina. Sin embargo, no se cuenta con algún tipo de control acerca del consumo que se pueda realizar de esta energía limitada, por lo que frecuentemente se tienen consumos excesivos de parte de alguna vivienda, quedando muy poca energía restante para que otra vivienda pueda realizar un consumo similar. En consecuencia, surge la necesidad de contar con algún sistema que permita controlar el consumo que realice cada vivienda, de modo que se pueda repartir equitativamente la misma.

En este documento se desarrolla una solución al problema mencionado, donde se presenta el diseño de un sistema de control que puede ser empleado en estos lugares, de modo que cada vivienda puede realizar un consumo dentro de un rango permitido.

El trabajo de investigación se ha desarrollado en cuatro capítulos. En el primer capítulo se muestra la problemática que se tiene en las comunidades campesinas, las cuales no cuentan con empresas eléctricas privadas que les

proporcionen este servicio. En el segundo capítulo se presentan las tecnologías que existen actualmente, las cuales podrían ser empleadas para el diseño del sistema de control, y se muestra también el modelo teórico de dicho diseño. En el tercer capítulo se muestra todo el procedimiento seguido para la obtención del diseño completo del sistema de control, justificando la razón por la que se ha seleccionado cada uno de los componentes empleados. En el cuarto capítulo se muestran las simulaciones realizadas para el sistema de control con sus respectivos resultados, agregando también el análisis del sensor de corriente, el diagrama esquemático del sistema completo con su respectivo circuito impreso, y el costo total del diseño completo.

Finalmente, se tienen las conclusiones del documento, así como también las recomendaciones que se deberían seguir para las personas interesadas en el tema o personas que deseen continuar con la línea de investigación planteada.

En conclusión, se plantea el diseño de un sistema de control, el cual puede ser empleado en el lugar de estudio, de modo que se podría mejorar la calidad del servicio, ya que la energía eléctrica limitada sería repartida equitativamente entre las viviendas de dichos lugares.

CAPÍTULO 1: SITUACIÓN ACTUAL DEL MODO DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS

1.1 Tipos de redes eléctricas existentes en las comunidades campesinas.

Actualmente, en las comunidades campesinas de nuestro país, sobretodo las que se encuentran alejadas de las principales ciudades, el consumo de la energía eléctrica se viene dando bajo condiciones precarias: no hay suficiente energía eléctrica como para alimentar satisfactoriamente a todas las viviendas y no hay un control del consumo que realiza cada una de estas. Ello se debe a que las empresas eléctricas prefieren colocar sus instalaciones en localidades más grandes. La razón principal de este hecho es que la inversión que realizarían para la construcción de sus instalaciones la recuperarían después de muchos años, ya que el consumo en estas comunidades es muy bajo, lo que generaría pocos ingresos para dicha empresa. Por esta razón, las redes eléctricas que se pueden encontrar en estas comunidades son más simples de las que podemos encontrar en las principales ciudades de nuestro país ^[1] ^[2]. A continuación presentamos una pequeña descripción acerca de los tipos de redes eléctricas que se pueden encontrar en las comunidades campesinas en nuestro país.

Un primer tipo de redes eléctricas que se puede encontrar son aquellas en donde se realiza el uso de los llamados Medidores Prepago. Estos medidores se encuentran en cada una de las viviendas de la comunidad. Son unos pequeños módulos de control, los cuales son los encargados de verificar si los

usuarios pueden o no realizar un consumo de la energía eléctrica en su vivienda. Ahora bien, para poder consumir esta energía, los usuarios deben realizar la compra de unas tarjetas, las cuales contienen un código. Este código es introducido en los medidores prepago, de modo que la vivienda puede realizar un consumo de la energía eléctrica equivalente al pago de la mencionada tarjeta. Una vez que se ha realizado todo el consumo equivalente al pago mencionado, el Medidor Prepago realiza el corte automático de la energía eléctrica. Este tipo de red eléctrica recién se está implementando en algunas comunidades campesinas; la empresa estatal encargada de la electrificación rural en el Perú es la Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica S.A., ADINELSA, la cual busca con ayuda de otras empresas o de los municipios mejorar la calidad del servicio eléctrico en estas comunidades. Esta empresa es la que está implementando los mencionados medidores en las comunidades campesinas. Cabe resaltar que estos medidores están dando buenos resultados, ya que se tiene un buen control del consumo que realiza cada una de las viviendas, y al buen grado de aceptación que ha tenido en la población involucrada. Sin embargo, es necesario mencionar también que dichos medidores no se fabrican en nuestro país, lo cual resulta en un gasto extra, ya que estos equipos tienen que ser importados de distintos países ^[3].

Otro tipo de redes eléctricas son aquellas donde se emplean paneles fotovoltaicos (paneles solares) como un medio de generación de la energía eléctrica. La característica que presentan estos equipos es que convierten la luz solar en electricidad, lo cual resulta en una gran ventaja, ya que la luz solar, como se sabe, es un recurso renovable. Sin embargo, para poder implementar

estos equipos se necesita saber la cantidad de energía solar que se tiene en la zona de estudio durante todo el año, con el fin de saber cuánta energía eléctrica equivalente se va a generar en promedio por día. Esta característica es muy importante para determinar si es factible el empleo de este tipo de equipos en las comunidades campesinas, ya que, de ser muy baja la cantidad de energía solar que se tenga en la localidad, entonces se va a producir una baja cantidad de energía eléctrica, la cual puede resultar ser insuficiente para el consumo de cada una de las viviendas de la comunidad. Otro factor que también se debe tener en cuenta es el precio de cada uno de los paneles fotovoltaicos, se debe verificar que se cuente con una cantidad suficiente para poder instalar cada uno de ellos en las distintas viviendas de la comunidad ^[4] ^[5].

También se puede encontrar que algunas comunidades campesinas emplean la energía eólica como medio de generación de la energía eléctrica. La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Para lograr este tipo de generación, se emplean equipos que se llaman aerogeneradores, los cuales contienen una hélice, que es movida por el viento; esta hélice hace girar el rotor de un generador, el cual produce la energía eléctrica. Sin embargo, para poder implementar este tipo de equipos se debe realizar un estudio de la zona donde se desea instalarlos; por ejemplo, debe verificarse el promedio de la velocidad del viento en la zona, ya que, si la velocidad es muy baja, entonces se va a producir una baja cantidad de energía eléctrica, lo cual resultaría en una mala inversión. Actualmente, la Pontificia Universidad Católica del Perú cuenta con un grupo de apoyo al sector rural, donde se emplean pequeños generadores

para cargar baterías, las cuales son empleadas por las personas de las comunidades campesinas ^[6].

Ahora bien, se debe tener en consideración que tanto los paneles fotovoltaicos como los aerogeneradores simplemente realizan la generación de la energía eléctrica; habría que realizar también la implementación de la red eléctrica en sí, de modo que cada vivienda posea su propio equipo de generación de energía eléctrica, para que con estos equipos carguen las baterías de cada una de las viviendas y, con ello, que cada una de ellas esté provista de su propia energía eléctrica. Además, será necesario algún dispositivo que permita visualizar de modo simple a cada uno de los habitantes de las viviendas la cantidad de energía que tiene almacenada su batería o sus baterías, de modo que se pueda observar fácilmente la cantidad de energía restante que posean en todo momento.

Finalmente, se tienen las comunidades campesinas donde se cuenta con simples generadores eléctricos, los cuales, en su mayoría de veces, son de pequeña o mediana potencia eléctrica, en donde los mencionados generadores comúnmente alimentan a varias viviendas. Sin embargo, este tipo de instalaciones a menudo carecen de algún tipo de control del consumo que realiza cada una de las viviendas conectadas a la red, por lo que resulta frecuente observar que algunas viviendas realizan un consumo excesivo. Esto origina que el resto de viviendas se vean afectadas, ya que disponen de muy poca energía eléctrica restante, viéndose incapaces de realizar un consumo similar al primero ^[7].

Cabe resaltar que el presente documento está dirigido a trabajar en las comunidades campesinas donde se tenga como red de alimentación únicamente a los generadores eléctricos (el último caso descrito), donde se busca implementar un sistema de control del consumo de energía eléctrica que realicen cada una de las viviendas conectadas a la red existente.

1.2 Factores y variables que influyen en la distribución desigual de la energía eléctrica en las comunidades campesinas

En algunas regiones de nuestro país, como son las comunidades campesinas alejadas de las principales ciudades, las empresas eléctricas se rehúsan a colocar sus instalaciones eléctricas debido a que la inversión que realizarían la recuperarían después de muchos años, ya que el consumo en estas comunidades es muy bajo. Esto se debe a que en dichas comunidades el número de habitantes es reducido, lo que originaría que la demanda de energía eléctrica sea baja, por lo que los ingresos que obtendrían las empresas eléctricas serían también bajos, resultando poco rentable dicha inversión ^[1].

En consecuencia, para poder contar con energía eléctrica, estas comunidades están provistas de generadores de energía eléctrica alterna. Cada uno de estos generadores va a alimentar a un determinado número de viviendas. Ahora bien, resulta necesario destacar que los mencionados generadores eléctricos cuentan con un valor de potencia máxima que pueden proporcionar, es decir, estos generadores pueden proveer este tipo de energía hasta un valor máximo,

el cual es el límite de energía que pueden proporcionar a las viviendas conectadas al mismo.

Por otro lado, los generadores eléctricos deben ser capaces de proporcionar 220 voltios a todas las viviendas que estén conectadas a estos. Este hecho lo conseguirán siempre y cuando dichos generadores eléctricos estén trabajando en condiciones normales, es decir, cuando la demanda de la energía eléctrica sea menor al valor límite que estos generadores puedan proporcionar a la red eléctrica.

Ahora bien, resulta relevante mencionar que las redes eléctricas en estas comunidades campesinas solamente cuentan con los generadores eléctricos y las líneas de distribución respectivas; estas redes carecen de algún tipo de control sobre el consumo que puedan realizar cada una de las viviendas conectadas a la mencionada red. En otras palabras, cada una de las viviendas puede realizar el consumo de energía eléctrica que desee, sin ningún factor limitante de por medio.

En vista que los generadores eléctricos tienen una capacidad limitada de potencia a entregar, es decir, dado que la energía eléctrica es limitada en estas comunidades, resulta de gran importancia conseguir que todas las viviendas reciban la energía de manera equitativa, con el fin de que todas puedan gozar de los mismos privilegios que este servicio puede proporcionar.

Sin embargo, es frecuente encontrar que la demanda de la energía eléctrica es mayor al valor máximo que puede proporcionar el generador asociado. Este hecho se da debido a que algunas viviendas tienen un mayor número de

artefactos eléctricos y/o electrónicos conectados a la red eléctrica, lo que produce que estas realicen un excesivo consumo de dicha energía limitada, resultando que los generadores que alimentan a dichas viviendas proporcionen demasiada energía, quedando muy poca energía restante para poder alimentar de modo similar a las otras viviendas, viéndose claramente afectadas y generando malestar en estas últimas, ya que observan que este servicio no lo disfrutan todas las personas de la comunidad de manera equitativa ^[1].

El efecto que produce esta falta de energía en las viviendas afectadas es el de una disminución del voltaje, el mismo que se puede apreciar fácilmente en las mencionadas viviendas. Este hecho podría ocasionar que se malogren los artefactos eléctricos conectados a la red, ya que, si estos artefactos carecen de circuitos de protección contra estas disminuciones de voltaje, entonces lo más probable es que dichos artefactos sufran una descompostura o que su tiempo de vida útil se acorte.

Por todo lo mencionado en el presente capítulo se llega a la conclusión que existe la necesidad de implementar en las comunidades campesinas algún sistema que controle el consumo que las viviendas realizan en todo momento. Con ello, se busca que la energía eléctrica con la que cuentan se pueda distribuir equitativamente de manera que todos los usuarios puedan gozar de este servicio. En el siguiente capítulo se analizarán las tecnologías existentes para lograr el control mencionado.

CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN EL PROCESO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS

A continuación se presentan las tecnologías que se pueden emplear para el mencionado control en dichas comunidades, donde se realizará un análisis de las opciones que podrían solucionar la problemática presentada anteriormente.

2.1 Tecnologías existentes en la actualidad

Hace algún tiempo el control de procesos eléctricos se venía haciendo de forma cableada por medio de contactores y relés. Esta tecnología resultaba ser un problema, ya que, cuando los requerimientos de producción cambiaban, también lo hacía el sistema de control. Esto comenzó a resultar bastante caro cuando los cambios fueron frecuentes. Dado que los relés son dispositivos mecánicos y poseen una vida limitada, se requería una estricta manutención planificada. Por otra parte, a veces se debía realizar conexiones entre cientos o miles de relés, lo que implicaba un enorme esfuerzo de diseño y mantenimiento. Por tanto, el operario que se encontraba a cargo de este tipo de instalaciones se le exigía tener altos conocimientos técnicos para poder realizarlas y posteriormente mantenerlas. Además, cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor costo económico^[8].

En la actualidad resulta ineficaz tener un proceso de control desarrollado por técnicas cableadas. Así, los autómatas programables han intervenido de forma

considerable para que este tipo de instalaciones se hayan visto sustituidas por otras controladas de forma programada. Por esta razón, el Automata Programable nació como solución al control de circuitos de automatización. Por tanto, se puede decir que este es un aparato electrónico que sustituye los circuitos auxiliares o de mando por los sistemas automáticos. A este aparato se conectan los captadores (sensores, transductores, etc.) por una parte, y los actuadores (contactores, lámparas, etc.) por otra.

Un tipo de autómata programable es el PLC (Controlador Lógico Programable), el cual se introdujo por primera vez en la industria en la década del sesenta, aproximadamente. La razón principal, como se mencionó anteriormente, de tal hecho fue la necesidad de eliminar el gran costo que se producía al reemplazar el complejo sistema de control basado en relés y contactores. Este dispositivo electrónico se ha desarrollado en torno a un microprocesador, el mismo que recibe información a través de sus entradas, y a partir de ella, de acuerdo a un programa en ejecución, genera señales que permiten activar a los actuadores que tienen conectados a alguna de sus salidas. También cuenta con un terminal de programación, el cual es utilizado para crear y transferir en memoria el programa de usuario, configurar el mismo y poner en marcha el sistema de control ^[9].

Un ejemplo de este tipo de autómata programable es el autómata TSX17-10, el cual es el modelo inferior de toda la gama TSX (los cuales son proporcionados por la empresa Telemecanique), y, por tanto, resulta ser un autómata económico, de gran potencia y además ideal para utilizarlo con fines didácticos. El TSX17 es un mini-autómata de tipo compacto. El CPU, fuente de

alimentación, sección de salidas y sección de entradas, están incluidas en el mismo módulo. La consola de programación es externa. A pesar de que este dispositivo electrónico resulta ser uno de los primeros de toda la familia de autómatas de Telemecanique, permite su asociación a otros módulos de E/S, digitales y analógicos ^[10] ^[11].

Otra alternativa tecnológica es el sistema que comprende en conjunto a un microcontrolador, transductores, conversor análogo-digital y un dispositivo de corte. Este sistema es capaz de realizar las acciones de control en forma automática, siendo el flujo de la información en estos sistemas el siguiente: el fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa (en este caso es la potencia eléctrica activa). Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema, es decir, en una variable eléctrica; para ello, se utilizan los sensores o transductores. Sin embargo, esta variedad de tipos de señales eléctricas debe ser procesada para ser entendida por la computadora digital. Para ello se utilizan acondicionadores de señal, cuya función es la de referenciar estos cambios eléctricos a una misma escala de corriente o voltaje. Además, aísla eléctricamente y filtra la señal con el objeto de proteger el sistema de transitorios y ruidos originados en el campo. Una vez acondicionada la señal, la misma se convierte en un valor digital equivalente en el bloque de conversión de datos. Esta función es llevada a cabo por un conversor análogo digital. La computadora almacena esta información, la cual es utilizada para su análisis y para la toma de decisiones. Basado en la información, la unidad de procesamiento, de acuerdo a un programa que posee en su memoria, puede realizar una acción de control sobre el proceso; de ser

así, nuevamente debe convertirse la información digital a una señal eléctrica. Esta señal eléctrica es procesada por una salida de control, el cual funciona como un acondicionador de señal, la cual la escala para manejar al dispositivo de corte ^[12]^[13].

2.2 Elementos del sistema de control del consumo de energía

A continuación se realiza una pequeña descripción de los elementos que se van a emplear para poder realizar el control mencionado de una manera óptima. Para esta función se seleccionó la última tecnología descrita anteriormente, ya que se cree que con este diseño propio se puede llegar a conseguir el control deseado.

2.2.1 Circuito de medición de potencia eléctrica activa

Para realizar la medición de la potencia eléctrica existen diversos métodos, ya que esta potencia no puede medirse directamente. A continuación se realiza una pequeña descripción de los mencionados.

Un tipo de método que se puede emplear es midiendo la cantidad de corriente que cada una de las viviendas está consumiendo. Para ello, se parte del supuesto que a cada una de dichas viviendas les está llegando 220 voltios. Entonces, la cantidad de corriente consumida se envía al microcontrolador, y este realiza la multiplicación de la corriente por el voltaje, para obtener así la potencia consumida para cada caso.

Otro posible método que se puede emplear es realizando la medición tanto de la corriente como también del voltaje consumido por cada una de las viviendas. Esta información es enviada al microcontrolador, el cual es el encargado de realizar la multiplicación de estos, y con ello, obtener la cantidad de potencia eléctrica consumida en cada una de las viviendas en todo momento ^{[14][15]}.

2.2.2 Conversor analógico digital

La información obtenida en el circuito mencionado anteriormente proviene de una señal analógica, la cual no puede ser enviada directamente a la unidad de procesamiento. Para ello, se emplea este dispositivo electrónico, el cual, como su nombre lo indica, convierte señales analógicas en digitales. Lo que se obtiene a la salida de este conversor es una representación digital de la cantidad de corriente eléctrica y/o voltaje, según sea el caso, consumida por cada vivienda ^[16].

2.2.3 Microcontrolador

Un microcontrolador es un circuito integrado, el cual cuenta con una unidad de procesamiento, con memoria no volátil, con memoria RAM, con interfaces de entrada/salida y algunos periféricos.

La memoria no volátil se va a emplear para almacenar en ella el programa; aquí se encuentra toda la lógica de control que se va a utilizar ^[9].

2.2.4 Dispositivo de Corte

Este dispositivo, como su nombre lo indica, tiene la función de realizar el corte de la corriente eléctrica que se entrega, en este caso, a las distintas viviendas de la comunidad campesina. Estos dispositivos constan básicamente de dos partes: una parte de mando, que es donde se envía la señal de control (si se desea permitir o impedir el paso de la energía eléctrica); y una parte de potencia, que es la parte donde se realiza la acción en sí (los contactos que realizan la conmutación) ^[9].

2.3 Modelo Teórico.

En algunas comunidades campesinas, la energía eléctrica es limitada debido a que solamente se cuenta con pequeños generadores eléctricos; resultando relevante tener conocimiento del máximo valor de potencia que dicho generador puede proporcionar. Por esta razón, surge la necesidad de desarrollar un control del consumo de dicha energía eléctrica en cada uno de sus usuarios. Para ello, este sistema de control está conformado por un sistema de regulación, el cual consta de sensor, transductor, unidad de procesamiento y dispositivo de corte para poder en conjunto realizar la acción de control sobre cada uno de los usuarios.

La medición constante de la cantidad de potencia consumida resulta fundamental para poder realizar un control óptimo, ya que se necesita tener conocimiento en todo momento sobre cuánta potencia se está consumiendo cada vivienda conectada al sistema.

En consecuencia, este sistema de control permitirá que cada usuario reciba equitativamente una parte de la potencia suministrada por el generador, esta cantidad de potencia dependerá del valor máximo que pueda proporcionar el mencionado generador.

A continuación se muestra una representación gráfica del modelo teórico (ver figura 2.1):



CONTROL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

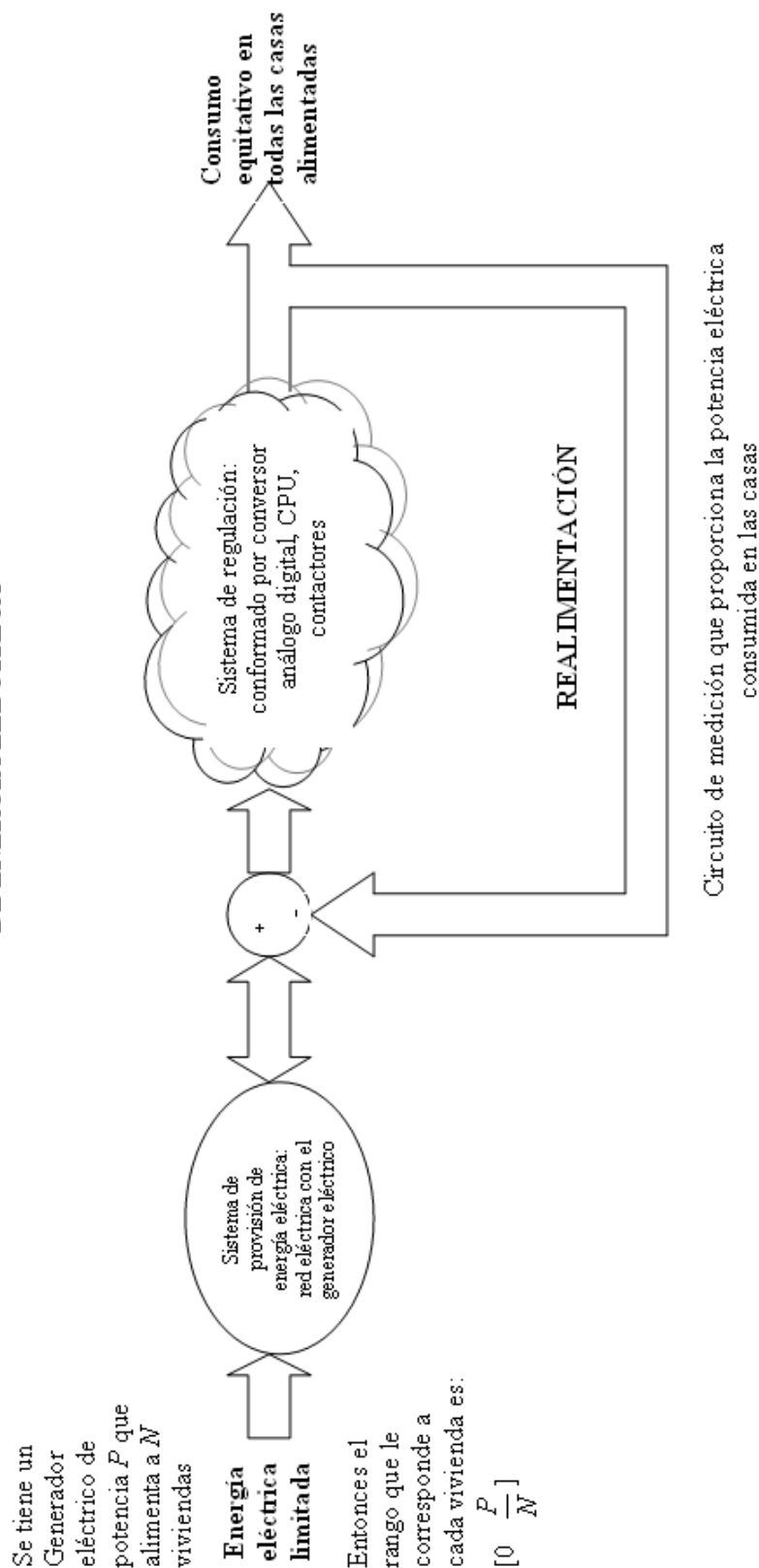


Figura 2.1: Modelo Teórico del Sistema de Control

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de control del consumo de energía eléctrica en las viviendas de las comunidades campesinas, basado en un circuito de medición de la energía eléctrica, un conversor análogo digital, un microcontrolador y un dispositivo de corte; los cuales trabajando en conjunto logran que todas las viviendas reciban esta energía equitativamente.

2.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio de todas las alternativas tecnológicas disponibles que realicen el mencionado control para poder seleccionar la tecnología que resulte más eficaz y eficiente.
- Investigar sobre el modo de medición de la potencia eléctrica más adecuado para poder verificar en todo momento la cantidad de potencia consumida por cada vivienda.
- Verificar que este sistema de control resulte mejor que la alternativa tecnológica que se fabrica en el extranjero (los llamados Medidores Pre-Pago), con la finalidad de lograr encontrar la misma calidad de servicio a un menor precio y evitando tener que realizar importaciones para obtener este sistema.

CAPÍTULO 3: MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS COMUNIDADES CAMPESINAS

3.1 Planteamiento de la solución

Como se vio en el capítulo anterior, para realizar un buen control del consumo de la energía eléctrica en las comunidades campesinas, básicamente se necesitaba de un circuito de medición y un circuito de regulación. Por un lado, el circuito de medición proporcionaba la cantidad de potencia eléctrica que se estaba consumiendo en cada una de las viviendas (el cual ya se encuentra instalado); y, por el otro lado, el sistema de regulación era el encargado de verificar que el consumo que se estaba realizando no exceda un cierto límite indicado, y, en caso lo superara, el sistema tendría que suspender el servicio a dicha vivienda.

Para que pueda realizar lo mencionado, y, de acuerdo con lo investigado, el sistema de control en conjunto quedaría conformado por los siguientes elementos: un sensor de corriente, un conversor analógico digital, un microcontrolador y un dispositivo de corte. Ahora bien, además de estos elementos mencionados, faltaría otro elemento, el cual se encargaría de realizar la separación de las etapas de mando y potencia, lo cual resulta ser muy importante en este tipo de sistemas. Ahora que se conocen los elementos que conformarían al sistema de control, la interrelación que habría entre ellos se puede apreciar en el diagrama de bloques que se mostrará en la siguiente sección del documento.

3.2 Diagrama de Bloques del Sistema de Control

A continuación se presenta el diagrama de bloques que representaría el modo en que los distintos componentes mencionados interactúan entre sí para poder realizar el control del consumo deseado (ver figura 3.1).

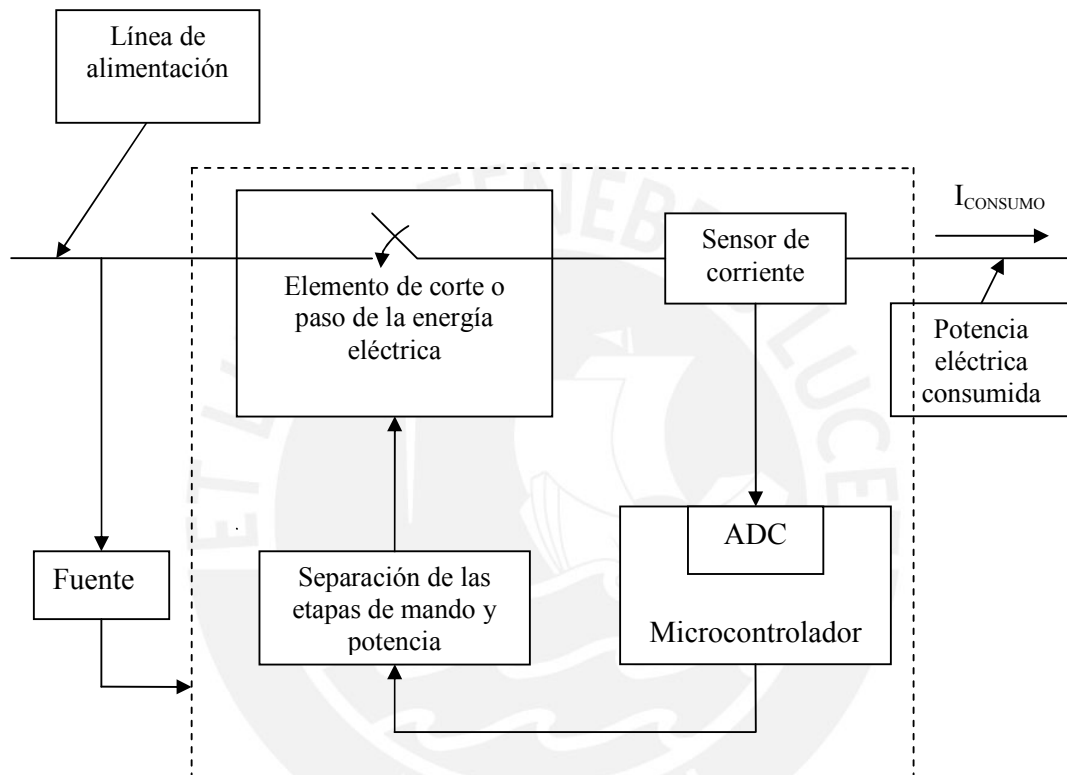


Figura 3.1: Diagrama de Bloques de del Sistema de Control del consumo de Energía Eléctrica en las Comunidades Campesinas.

3.2.1 Potencia eléctrica consumida

Esta potencia viene a ser la cantidad de energía eléctrica que se está consumiendo en alguna de las viviendas de la comunidad campesina; y es la variable que se desea controlar en el sistema planteado. Ahora bien, se debe tener en cuenta que el generador entrega 220 voltios alternos (casi constantes). Por otro lado, se está asumiendo para este estudio que las viviendas solamente consumen potencia activa, es decir, todas las cargas que se conectan a la red son resistivas. Por esta razón, bastaría con medir la corriente consumida para poder conocer también la potencia eléctrica consumida. Es por ello que se emplea el sensor de corriente para poder conocer la potencia consumida, la cual tiene que verificarse en todo momento.

3.2.2 Transformación de la corriente eléctrica consumida en otra magnitud eléctrica adecuada

Como su nombre lo indica, en esta etapa se realiza primero la detección de la señal original de entrada, que es la corriente eléctrica consumida por alguna vivienda de la comunidad campesina, para luego convertirla en otra señal, la cual sea compatible con la siguiente etapa. Después de realizada dicha conversión, la señal es transmitida a la siguiente etapa mencionada, de modo que se pueda recibir la señal convertida sin sufrir algún daño, donde esta señal convertida es proporcional a la señal original de entrada.

Todo lo mencionado en el párrafo anterior lo realiza un sensor de corriente, el cual es el encargado de detectar la corriente consumida, para luego enviarle

esta información a la siguiente etapa, la cual está conformada básicamente por el microcontrolador, que es la unidad de procesamiento del sistema de control.

3.2.3 Verificación del consumo realizado (microcontrolador)

En esta etapa se encuentra la unidad de procesamiento del sistema de control. Esta unidad, mediante un programa, recibe y lee la información proporcionada por la etapa previa y la procesa para poder determinar si el consumo que una vivienda está realizando se encuentra o no dentro de un rango permitido. Ahora, si este consumo se encuentra fuera del rango mencionado, esta unidad de procesamiento enviará una señal que indique que se debe suspender el servicio a dicha vivienda; caso contrario, enviará otra señal que indique que se debe mantener el servicio en dicha vivienda. Estas señales serán enviadas a la etapa de potencia del sistema de control.

3.2.4 Separación de las etapas de mando y potencia

En esta etapa se encuentra el dispositivo encargado de aislar eléctricamente a las etapas de mando y potencia, lo cual siempre es recomendado (por medidas de seguridad). De este modo, se logra que una etapa no afecte a la otra, en caso se presente alguna falla en una de ellas. Además, se logra que los dispositivos de mando no tengan contacto directo con la etapa de potencia, donde se manejan altos voltajes y corrientes, lo cual puede resultar peligroso.

3.2.5 Elemento de corte o paso de la Energía Eléctrica

En esta etapa se tiene un dispositivo de corte, el cual es el que está físicamente conectado al circuito de potencia del sistema de control, y es el encargado de realizar la acción de suspender o permitir el servicio de electricidad en la vivienda de la comunidad campesina. Este elemento realiza la acción mencionada de acuerdo a lo que envíe la unidad de procesamiento del sistema, el cual es el microcontrolador.

3.2.6 Fuente

Este bloque representa al circuito electrónico encargado de realizar la conversión de los 220 voltios alternos (provenientes de los generadores eléctricos) en cinco voltios continuos, los cuales son necesarios para alimentar a cada uno de los dispositivos electrónicos del sistema de control.

3.2.7 Línea de Alimentación

Es la línea por donde circula la energía eléctrica proveniente de los generadores que se tienen en la comunidad campesina, los cuales son la fuente de energía que se tiene en las comunidades campesinas.

3.3 Diagramas de Flujo

Primero se presentará el diagrama de flujo de la interrupción externa de reinicio, la cual viene a ser cuando se presionó el pulsador de reinicio del sistema (ver figura 3.2a y 3.2b).

Interrupción Externa (Reinicio del Sistema)

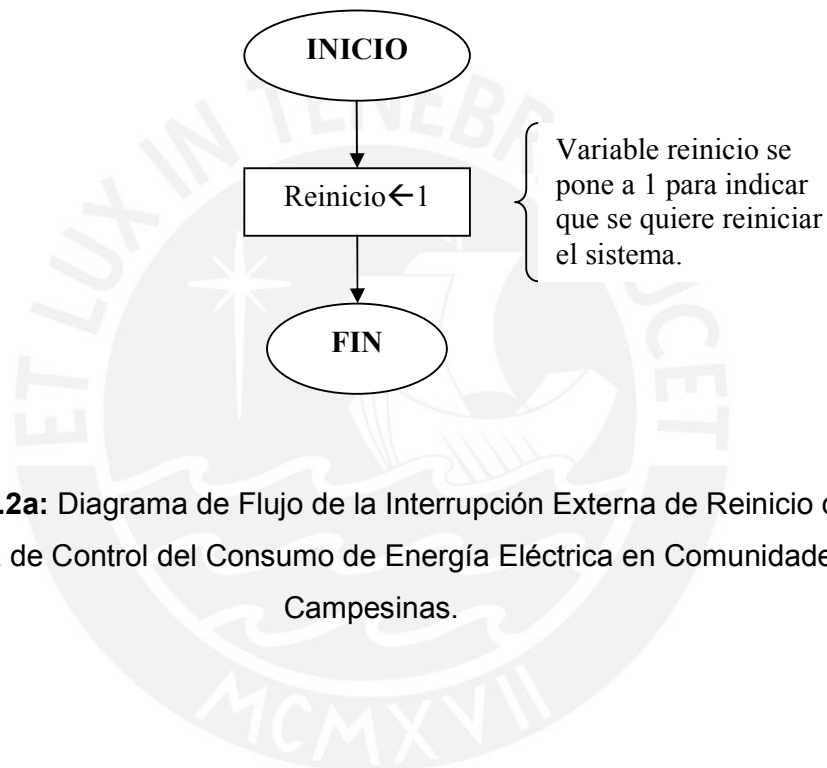


Figura 3.2a: Diagrama de Flujo de la Interrupción Externa de Reinicio del Sistema de Control del Consumo de Energía Eléctrica en Comunidades Campesinas.

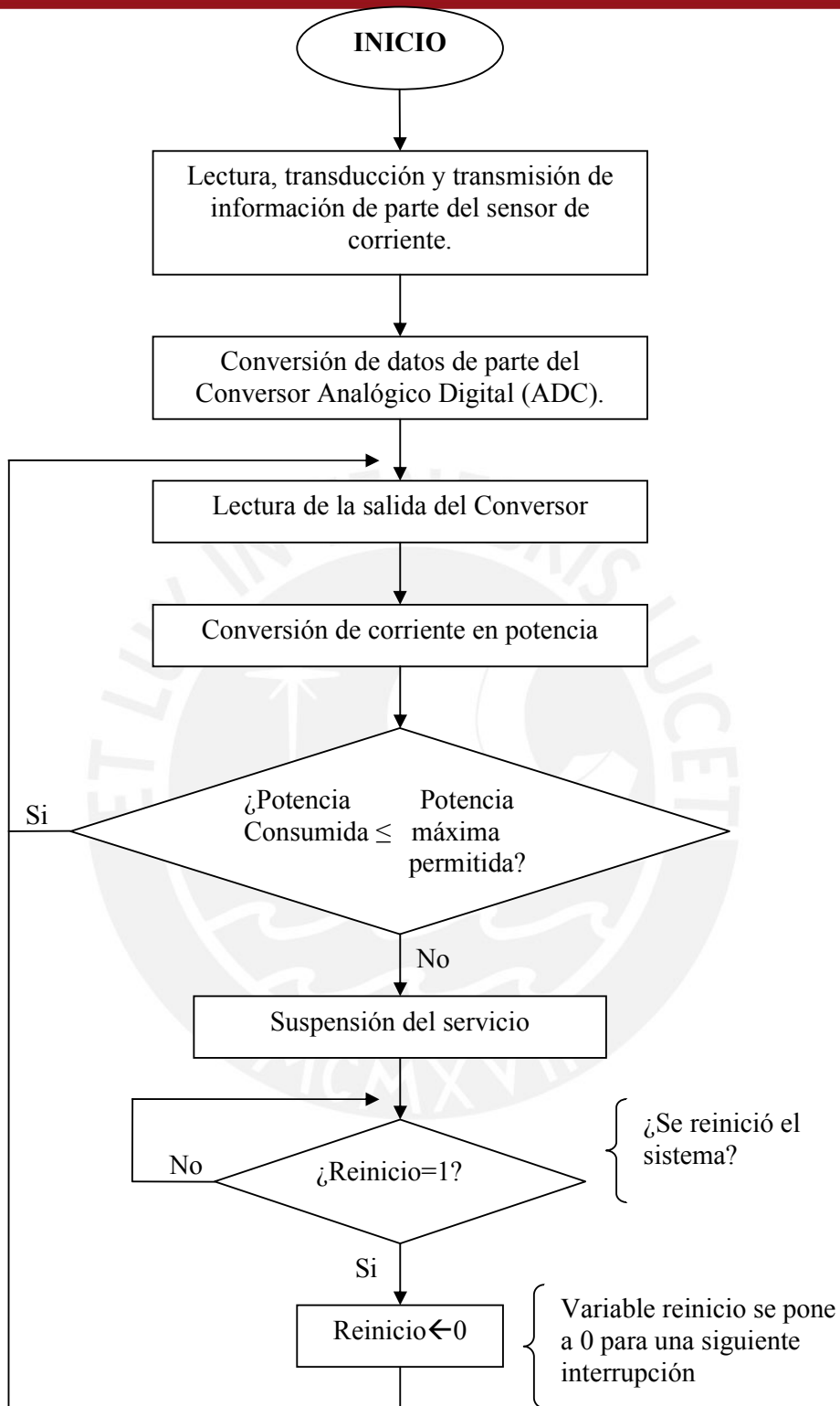


Figura 3.2b: Diagrama de Flujo general del Sistema de Control del Consumo de Energía Eléctrica en Comunidades Campesinas.

3.4 Selección de Componentes

3.4.1 Sensor de Corriente

3.4.1.1 Descripción

El sensor de corriente es un dispositivo capaz de detectar la presencia de corriente eléctrica (una línea de alimentación para el caso del sistema de control en estudio). Una vez detectada dicha corriente, el sensor transforma la medida de corriente en una tensión; la cual es proporcional y representativa de la primera. Luego, este sensor envía esta señal representativa a su salida, la cual se empleará para enviar la señal a la unidad de procesamiento, para su respectivo análisis ^[16].

3.4.1.2 Comparación de tecnologías y selección del componente

Para poder seleccionar el componente adecuado se emplearán cuadros comparativos entre los posibles componentes que se pueden emplear. Los posibles componentes que se pueden emplear son los siguientes:

- Shunt de corriente de baja resistencia: este dispositivo consta de una resistencia que se coloca en paralelo al dispositivo que se desea medir, la línea de alimentación para este caso, y se observa el voltaje generado en dicha resistencia. El problema es la disipación de energía que se genera en la resistencia, ya que esta es proporcional al cuadrado de la corriente, lo cual significa grandes pérdidas a corriente elevadas ^[16].

- Transformador de Corriente: este dispositivo convierte la alta corriente del lado primario a una corriente más pequeña en el lado secundario. Por esta razón, puede medir altas corrientes y consumir poca potencia. Es un dispositivo pasivo que no necesita circuitos adicionales de control. Sin embargo, el material ferrítico contenido en el núcleo se puede saturar cuando la corriente primaria es muy alta o cuando hay un componente importante de DC en la corriente. Una vez magnetizado, el núcleo contendrá histéresis y su precisión se degradará, a menos que se desmagnetice de nuevo ^[17].
- Sensor de Efecto Hall: existen dos tipos: los de anillo abierto (open-loop) y los de anillo cerrado (closed-loop). Este último presenta mayor precisión y rangos dinámicos más amplios, pero a un costo mayor. Cuando fluye corriente por este sensor y se aproxima a un campo magnético, que fluye en dirección vertical al sensor, entonces este crea un voltaje saliente proporcional al producto de la fuerza del campo magnético y de la corriente. Si se crea el campo magnético por medio de corriente que circula por una bobina o un conductor, entonces se puede medir el valor de la corriente en este. Tiene una excelente respuesta frente a la frecuencia y está capacitado para medir corrientes altas. Presentan una muy baja resistividad, lo cual resulta muy importante, ya que el valor de la corriente casi no va a variar y su consumo de potencia también es bajo ^[16].
- Bobina de Rogowski: el principio de funcionamiento de este dispositivo es una bobina toroidal, con un centro no ferromagnético. La señal de salida del sensor, corresponde a la derivada de la corriente circulante

por el cable que pasa por medio de la esta. Por esta razón, requieren de una etapa externa extra, la cual consta de un integrador, con lo cual se puede obtener el valor proporcional de la corriente de medición ^[16].

Tabla 3.1.: Comparación entre las tecnologías disponibles de sensores de corriente.

Tipo de sensor	Shunt de corriente	Transformador de corriente	Bobina de Rogowski	Sensor de Efecto Hall
Consumo de potencia	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
Variación de la salida con respecto a la Temperatura	Medio	Bajo	Muy bajo	Medio
Linealidad dentro del rango de medición	Muy buena	Buena	Buena	Buena
Costo	Muy bajo	Medio	Bajo	Bajo
Problema de error de desplazamiento	Si	No	No	Si
Problema de saturación e histéresis	No	Si	No	Si
Aislamiento eléctrico	No	Si	Si	Si
Capacidad de medición de altas corrientes	Muy mala	Buena	Buena	Buena

Con la información del cuadro se podría concluir que la opción que se elegiría sería la del sensor bobina de Rogowski. Sin embargo, no se encontró una fuente que proporcionara información completa y pertinente acerca de las características que podría poseer un dispositivo de este tipo (por ejemplo, una hoja técnica de uno que se venda en el mercado), ya que, en todos los documentos encontrados, la propia persona realizaba la construcción de esta bobina. Por esta razón, se descartó esta tecnología. Otra posible tecnología a emplear era el transformador de corriente. Sin embargo, la desventaja que

presenta es que podría introducir ruido al sistema. Por otro lado, los sensores de efecto Hall resultan ser también muy buenos para emplearse en este tipo de mediciones, ya que en el mercado se pueden encontrar sensores de este tipo que poseen internamente elementos que minimizan las desventajas que comúnmente presentan (las que se mostraron en la tabla). Un ejemplo de ello es el sensor ACS712 de Allegro MicroSystems. Este sensor, como se mencionó, contiene elementos que minimizan las desventajas que poseería uno típico de este tipo, y a un bajo precio. Por ello, se concluye que esta tecnología sería mejor que la del transformador de corriente, ya que posee un bajo precio, no introduce ruido y minimiza sus desventajas. En consecuencia, se escogió para el diseño del sistema a este sensor, el cual será descrito a continuación.

3.4.1.3 Componente seleccionado: ACS712

El diagrama de bloques de este sensor se muestra a continuación (figura 3.3):

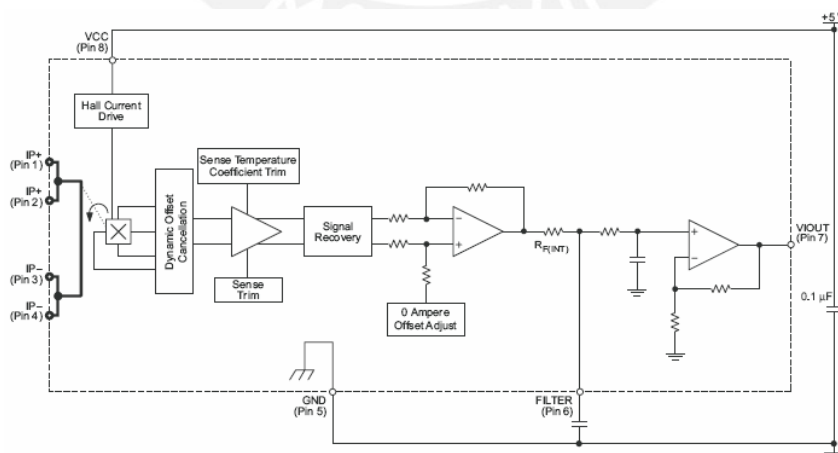


Figura 3.3: Diagrama de bloques funcional del sensor de corriente ACS712.

Fuente:

http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/0712/0712.pdf

Las razones por las que se seleccionó el componente son las siguientes (ver:

Anexo 1):

- Provee de una económica y precisa solución para realizar mediciones de corriente eléctrica alterna, ya que presenta un bajo costo.
- Su presentación es un circuito integrado, el cual ocupa un espacio bien reducido.
- No requiere de una resistencia externa para realizar la medición, simplemente se coloca la línea de paso de la corriente por los pines indicados (como se indica en la figura 3.6, pines 1 y 2 son de entrada y los pines 3 y 4 son de salida de la línea de paso de la corriente).
- Presenta un rango de medición óptima de hasta 5 amperios alternos, el cual es un rango suficiente para el límite de consumo que tiene el sistema de control (para dicho límite de mil vatios, se tiene una corriente de consumo de 4.54 amperios).
- Presenta una sensibilidad de 185mV/A, por lo que se tiene un valor de voltaje de salida menor a 1 voltio continuo en el peor caso (cuando se consume mil vatios). Gracias a ello, esta salida se podría conectar directamente a la entrada del siguiente elemento del sistema (la unidad de procesamiento), ya que se tiene una señal adecuada (un voltaje entre cero y cinco voltios).
- Posee en uno de sus pines la posibilidad de implementar un filtro pasabajos, con la finalidad de eliminar el ruido, pero sin provocar una

indeseable atenuación en su salida, la cual se produciría si se implementara dicho filtro en el pin de salida directamente.

- Presenta una etapa para minimizar el error de desplazamiento indeseado y una etapa que se llama técnica de estabilización por interruptores, las cuales logran producir un preciso y proporcional voltaje de salida.

3.4.2 Microcontrolador y Conversor Analógico Digital (ADC)

3.4.2.1 Descripciones

El microcontrolador es el dispositivo que contiene a la unidad de procesamiento del sistema de control. Además, este dispositivo cuenta con memoria no volátil, memoria RAM, interfaces de entrada y salida y algunos periféricos. Este viene a ser la parte fundamental del equipo, ya que es el encargado de recibir la información proporcionada por el sensor, y, de acuerdo al programa que tenga en su memoria, va a procesar esta información para verificar si el consumo se encuentra o no dentro del rango de consumo que tiene la vivienda. Si dicha vivienda se encuentra fuera del rango, entonces el microcontrolador enviará una señal de control indicando que el servicio debe suspenderse. En el caso contrario, simplemente este dispositivo enviará una señal de control indicando que se debe seguir proporcionando dicho servicio ^[9] ^[18].

El conversor analógico digital (ADC) es el dispositivo encargado de realizar la conversión de una señal continua analógica, que es la entrada del dispositivo,

en una señal discreta digital, que es la salida de este dispositivo, y que viene a ser la representación digital de dicha entrada analógica ^[9] [18].

3.4.2.2 Comparación de tecnologías y selección del componente

Para la selección del microcontrolador se tienen diversas familias que proporcionan estos dispositivos, cada uno con una serie de características que definen el uso que se les puede proporcionar. Entre las principales empresas que producen estos dispositivos tenemos: Atmel, Motorola, Intel, National Semiconductor, Microchip, Texas Instruments, entre otras. A continuación se van a presentar los criterios que se deben tener en cuenta para la selección de un microcontrolador.

- Número de puertos: el dispositivo debe tener una cantidad adecuada de puertos, de modo que el número de entradas y salidas que requiera la aplicación lo pueda proveer el microcontrolador. Para esta aplicación se requiere de dos entradas (para el conversor analógico digital y para el pulsador de reinicio del programa) y de una salida (para enviar la señal de control al circuito de potencia del sistema).
- Funciones del microcontrolador: también se debe tener en cuenta las funciones con las que cuenta el dispositivo, las cuales pueden ser contar con una onda PWM, un conversor analógico digital, entre otros. Para este caso se necesita un conversor analógico digital.
- Capacidad de memoria: debe verificarse que la capacidad de memoria, tanto la memoria no volátil como la RAM, tenga la suficiente capacidad

para poder almacenar el programa que se requiere como también para ejecutar el mismo. Una memoria de un kilobyte (1KB) bastaría para poder almacenar el programa sin problemas.

- Velocidad de procesamiento: se debe tener en cuenta la frecuencia a la que trabaja el microcontrolador (su frecuencia de reloj), para con ello determinar la velocidad con la cual procesa la información, y verificar si esta velocidad es indicada para la tarea que se desea realizar. La frecuencia mínima para esta aplicación sería de 1KHz, ya que el programa emplea un poco menos de 50 instrucciones para poder realizar el control del consumo, y con la frecuencia mencionada se demoraría aproximadamente 50 milisegundos, el cual es un tiempo adecuado para poder realizar con éxito la tarea mencionada.
- Precio: de todos los microcontroladores que cumplen con los requisitos mencionados anteriormente, debe verificarse el dispositivo que tenga el menor precio.

Se podría escoger un microcontrolador de cualquiera de las familias que se mencionaron anteriormente, ya que varias de estas familias proporcionan microcontroladores con características que cumplen los requerimientos que se mencionaron. Por ejemplo, se podría haber seleccionado el ATTINY13 de ATMEL o el PIC18F2455 de MICROCHIP, ya que ambos cumplen con los requerimientos necesarios para el sistema de control mencionado.

Ahora bien, el microcontrolador que se escogió para el sistema de control en estudio es el ATMEGA8 de la familia ATMEL, ya que, además de cumplir con los requerimientos mencionados, este dispositivo es el que se ha enseñado en

los cursos de formación académica de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Otra de las razones por las que se escogió este microcontrolador es porque este cuenta internamente con un conversor analógico digital, hecho que evita tener que adquirir uno independiente del microcontrolador. Además, este dispositivo se puede adquirir en el mercado local a un precio cómodo, sin la necesidad de tener que importarlo.

Cabe resaltar también que se seleccionó este dispositivo debido a que se espera que este pueda proporcionar información adicional de la energía eléctrica que está consumiendo, como por ejemplo que proporcione cuánta energía es reactiva y cuánta es activa, para obtener con ello el factor de potencia; también que muestre esta información en una pantalla de cristal líquido, de modo que el usuario conozca más datos de la energía que está consumiendo. Para ello, se está dejando el presente trabajo de investigación, el cual se espera que se pueda emplear como base para que se continúe trabajando con esta línea de investigación.

3.4.2.3 Componente seleccionado: ATMEGA8

Este dispositivo se seleccionó por las siguientes razones:

- Ocho Kilobytes (8KB) de memoria Flash, que permiten grabar sin problemas el programa que se emplearía, y, como es memoria no volátil, la información no se pierde cuando se desenergiza el equipo.
- Bus de datos de ocho bits, que permiten un rápido transporte de los datos.

- Interrupciones internas y externas, las cuales permiten evaluar subrutinas en los momentos exactos que se requieran.
- Seis canales de conversión analógica digital, los cuales son suficientes para el sistema de control planteado.
- Velocidad de procesamiento programable, típicamente mayor o igual a 1MHz, que permite que el programa se lea a una alta velocidad.
- Capacidad de programarse tanto en lenguaje de bajo nivel (lenguaje Ensamblador) como también en lenguaje de alto nivel (lenguaje C), que permite realizar la programación en el lenguaje que se prefiera o que se conozca.
- Costo bajo, ya que su precio en el mercado es de quince soles aproximadamente.
- Conocimiento del lenguaje empleado por el microcontrolador, el cual fue enseñado en ciclos anteriores en el curso de Sistemas Digitales.

A continuación se muestra la configuración de pines del dispositivo (figura 3.4):

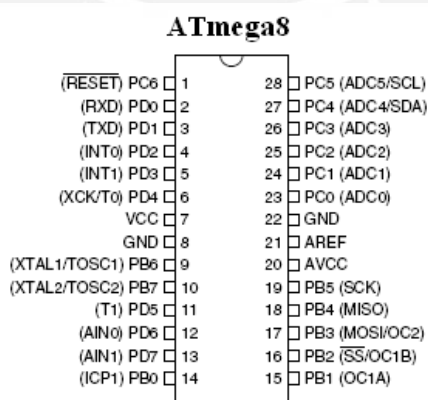


Figura 3.4: Diagrama de distribución de pines del microcontrolador ATMEGA8.

Fuente: Hoja técnica del microcontrolador ATMEGA8.

3.4.2.4 Componente seleccionado: Conversor Analógico Digital interno del ATMEGA8

Este dispositivo se ha seleccionado por las siguientes razones (ver: Anexo 2):

- Viene incluido en el microcontrolador ATMEGA8, lo cual evita tener que comprar otro dispositivo.
- Posee una resolución de diez bits, lo cual permite tener un alto número de niveles, que proporcionan una alta exactitud de lectura.
- Un buen tiempo de conversión: de 65 a 260 microsegundos, que permite obtener rápidamente una salida ante una entrada en el dispositivo.
- +/- 2LSB de exactitud absoluta, la cual permite obtener un buen grado de precisión, ya que siempre se van a tener ocho bits de precisión (en el peor de los casos).
- Rango de voltaje de entrada: puede ser de cero al voltaje de alimentación (Vcc); sin embargo, para esta aplicación se empleará el voltaje de referencia interno del ADC, el cual es de 2.56 voltios. Este valor permite conectar directamente al sensor de corriente, cuya salida, que es la entrada de este dispositivo, se encuentra dentro de este rango.
- Se produce una interrupción indicando el término de la conversión, la cual indica que se puede leer la señal discreta a la salida del conversor.

A continuación se muestra el diagrama de tiempos del conversor, donde se puede apreciar la cantidad de ciclos del reloj del ADC que le toma para poder realizar una conversión completa (ver figura 3.5).

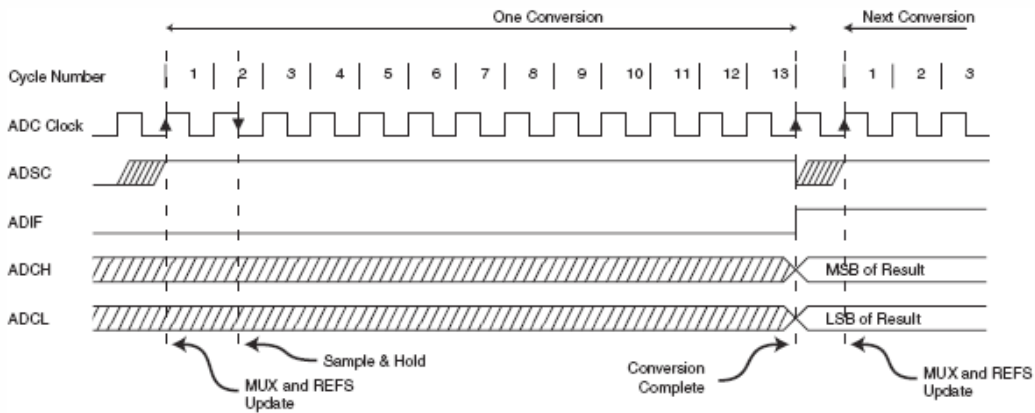


Figura 3.5: Diagrama de tiempos del conversor analógico digital.

Fuente: Hoja técnica del microcontrolador ATMEGA8.

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, al conversor emplea trece ciclos de reloj para realizar una conversión completa. Ello quiere decir que la conversión se realizará en 13 microsegundos (con 1Mhz de frecuencia de reloj)

3.4.3 Dispositivo de separación de las etapas de potencia y de mando

3.4.3.1 Descripción

Este dispositivo, como su nombre lo indica, es el encargado de aislar eléctricamente las etapas de mando y de potencia, de modo que se pueda evitar que una etapa dañe a la otra si ocurre alguna falla en la primera mencionada. Este dispositivo permite también evitar tener contacto directo con corrientes y/o voltajes altos, ya que en la parte de mando solamente se trabaja con corrientes y voltajes pequeños.

3.4.3.2 Comparación de tecnologías y componente seleccionado

Para seleccionar un elemento que realice la función mencionada anteriormente, se cuenta con dos tecnologías: se tienen a los transformadores de aislamiento y a los aisladores acoplados ópticamente.

- Transformador de aislamiento: este dispositivo proporciona aislamiento galvánico entre su lado primario y secundario, de manera que consigue una alimentación sin estar directamente conectados de forma eléctrica (ya que están conectados de manera electromagnética). Suele tener una relación de uno a uno y se emplea principalmente como medida de protección, en equipos que trabajan directamente con la tensión de red [17].
- Aislador acoplado ópticamente (optoacoplador): es un dispositivo que provee aislamiento eléctrico, el cual contiene un emisor y un receptor de luz, los cuales en conjunto funcionan como un interruptor excitado mediante la luz. Dicha luz es emitida por un diodo (LED) que satura a un componente electrónico, el cual pasa al estado de conducción (cierra algún circuito) cuando recibe la luz mencionada [18].

A continuación se presenta un cuadro comparativo entre las dos tecnologías, con la finalidad de poder visualizar las ventajas y desventajas que poseen cada uno de estos elementos:

Tabla 3.2: Comparación entre las tecnologías disponibles de aisladores eléctricos

Característica	Transformador	Optoacoplador
Tipo de conexión que provee	Electromagnética	Óptico (luz)
Capacidad de trabajo con corriente continua en la etapa de mando	No	Si
Generación de ruido	Si	No
Costo	Bajo	Bajo
Tamaño	Pequeño	Bien pequeño

Por las características que cada uno de los componentes presenta, se llega a la conclusión que el aislador acoplado ópticamente es la alternativa más indicada para emplear en el sistema de control en estudio.

3.4.3.3 Componente seleccionado: MOC3011

La representación gráfica de este componente se muestra a continuación (ver figuras 3.6):

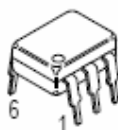


Figura 3.6: Representación gráfica del dispositivo MOC3011

Fuente: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MOC3010.pdf>

Ahora bien, la representación esquemática de este componente es la siguiente (ver figura 3.7):

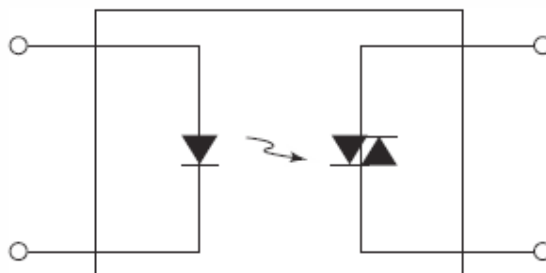


Figura 3.7: Representación esquemática del dispositivo MOC3011

Fuente: http://www.soloelectronica.net/triac/AN_3003.PDF

Este dispositivo es el que se empleará para aislar eléctricamente a las etapas de potencia y de mando, y se seleccionó por las siguientes razones (ver: Anexo 3):

- La etapa de recepción es un dispositivo complejo que funciona del mismo modo que un pequeño TRIAC, el cual genera las señales necesarias para manejar a la compuerta de un TRIAC de potencia (el cual es más grande que el primero mencionado).
- Por lo mencionado anteriormente, está diseñado especialmente para ser una interfaz entre los circuitos electrónicos de control y los dispositivos de potencia llamados TRIAC, los cuales son los encargados de controlar el paso o corte de la energía eléctrica, y que se emplearán en el sistema de control.

- En el lado de potencia, pueden soportar cargas conectadas a líneas de alimentación de 115 a 220 voltios alternos (VAC), por lo que se puede emplear sin problemas para esta aplicación.
- Disipa en total 330 milivatios, el cual resulta ser un valor bajo de consumo.
- Tiene un bajo costo. Su precio en el mercado local es de un nuevo sol aproximadamente.

3.4.4 Dispositivo de control del paso o corte de la energía eléctrica

3.4.4.1 Descripción

Este dispositivo, como su nombre lo indica, es el encargado de permitir o impedir el paso de la energía eléctrica a una vivienda de la comunidad campesina. Por ello, tiene un contacto directo con la línea de alimentación de 220 voltios; es decir, se encuentra en la etapa de potencia del sistema de control. La acción de permitir o impedir el paso de esta energía dependerá de la etapa de mando del sistema de control, el cual verificará si el consumo realizado se encuentra dentro del rango permitido. En caso de estar dentro del mismo, se permitirá continuar gozando de dicho servicio; caso contrario, se suspenderá el servicio a la vivienda en estudio.

3.4.4.2 Comparación de tecnologías y componente seleccionado

Las tecnologías que podrían emplearse para esta función son las siguientes: relé, relé de estado sólido, contactor y un TRIAC.

- Relé: dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor automático controlado por la electricidad. En este dispositivo, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes sin la intervención humana directa ^[18].
- Contactor: elemento conductor que tiene por objetivo establecer o interrumpir el paso de corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el circuito de mando. Dicha acción la realiza cuando se energiza la bobina que contiene en su interior. Este dispositivo permite la posibilidad de ser accionado a distancia (desde su parte de mando). Cabe resaltar que la diferencia básica entre el relé y el contactor está en la potencia que es capaz de seccionar cada uno de ellos; mientras que los contactores pueden accionar grandes potencias (centenares de kilovatios); los relés, por otro lado, son capaces de accionar pequeñas potencias (generalmente menores a un kilovatio) ^[18].
- Relé de estado sólido: se llama así a un circuito híbrido, el cual generalmente está compuesto por un optoacoplador (que aísla la entrada), un circuito de disparo (que detecta el paso por cero de la corriente de línea) y un TRIAC (dispositivo que actúa de interruptor de potencia). Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico antes mencionado. Cabe resaltar se llama así al

producto construido y comprobado en una fábrica, no a un dispositivo formado por componentes independientes que se han montado sobre una placa de circuito impreso ^[18].

- TRIAC: se llama así al triodo para corriente alterna. Este dispositivo es un elemento semiconductor, el cual tiene un funcionamiento similar al tiristor (componente electrónico que emplea realimentación interna para producir una conmutación. Se emplea generalmente para el control de potencia eléctrica.), solo que, a diferencia de este, permite conmutar la corriente alterna. En otras palabras, el TRIAC se comporta como un interruptor de potencia capaz de conmutar la corriente alterna ^[18].

Tabla 3.3: Comparación entre las tecnologías disponibles para el dispositivo de control de la energía eléctrica.

Característica	Relé	Contactador	Relé de Estado Sólido	TRIAC
Elemento de conmutación empleado	Contactos electromecánicos	Contactos electromecánicos	Elemento semiconductor	Elemento semiconductor
Desgaste mecánico	Sí	Sí	No	No
Producción de arcos eléctricos	Sí	Sí	No	No
Rapidez de conmutación	Lenta	Lenta	Rápida	Rápida
Costo	Alto	Alto	Bajo	Muy bajo

De la tabla anterior, se llega a la conclusión que el dispositivo TRIAC es la tecnología más adecuada para emplearse en el sistema de control, ya que no presenta desventaja alguna frente a las otras tecnologías presentadas. Cabe mencionar que no se escogió el relé de estado sólido debido a que esta tecnología no permite seleccionar las características de cada uno de los dispositivos que contiene por separado (como las características del optoacoplador o del TRIAC por separado), ya que todos estos vienen integrados en un solo dispositivo.

3.4.4.3 Componente seleccionado: BT139-600

Este dispositivo se muestra a continuación (ver figura 3.8):

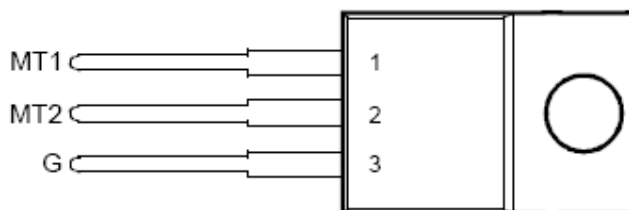


Figura 3.8: Representación gráfica del TRIAC BT139-600

Fuente: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/151/323032_DS.pdf

Por otro lado, su representación esquemática es la siguiente (figura 3.9):

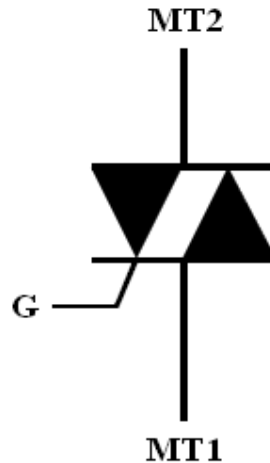


Figura 3.9: Representación esquemática del TRIAC BT139-600

Fuente: http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/151/323032_DS.pdf

Los terminales de este triodo para corriente alterna son los siguientes:

- Compuerta (G): es el terminal por donde se envía la señal de control, la cual le indica al dispositivo en qué estado debe encontrarse (paso o corte de la energía eléctrica).
- Terminales Principales (MT1 Y MT2): estos terminales son los que se conectan a la parte de potencia del sistema de control; es decir, a la línea de alimentación. Por estos terminales se realiza la acción en sí de corte o paso de la energía eléctrica.

Las razones por las que se seleccionó dicho dispositivo se muestran a continuación (ver: Anexo 4):

- Permite conmutar circuitos eléctricos que trabajen con energía eléctrica alterna, es decir con voltaje y corriente alterna, los cuales son los que se emplean en este sistema de control.
- La corriente máxima de funcionamiento que soporta en el estado de paso de la energía eléctrica es de 16 amperios. Este valor es superior a la corriente máxima que circulará en el circuito de control, la cual es de 4.54 amperios. Cabe resaltar también que el dispositivo soporta picos de hasta 155 amperios (de 20 milisegundos de duración).
- En estado de corte, soporta voltajes de hasta 600 voltios, el cual es superior a los 220 voltios de la aplicación.
- Su compuerta soporta picos de corriente de hasta +/- 2 amperios, los cuales son suficientes a la corriente empleada en el sistema de control, la cual es menor a 27 miliamperios.
- Su precio en el mercado local es bien bajo, ya que se puede adquirir a un precio de 2.5 nuevos soles aproximadamente (Fuente: tiendas ubicadas en el Jirón Paruro).

3.5 Diagrama Esquemático de la Solución Planteada

El diagrama esquemático de la solución planteada se ha dividido en tres partes, con el fin de poder mostrar con mayor claridad las distintas partes que conforman al sistema de control. Los diagramas mencionados se muestran a continuación (ver figura 3.10).

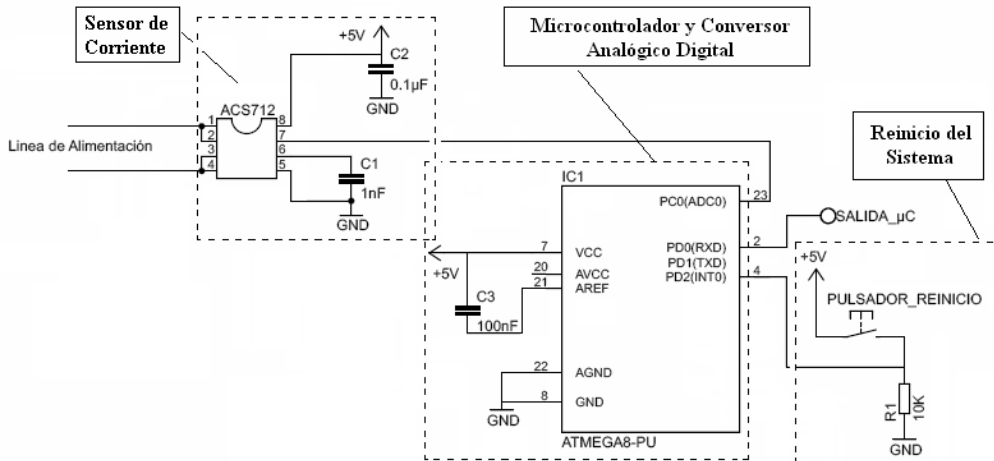


Figura 3.10: Diagrama esquemático del sistema de control del consumo de energía eléctrica en las comunidades campesinas.

El funcionamiento del circuito de la figura anterior es el siguiente: el sensor de corriente ACS712 es el encargado de detectar la cantidad de corriente que se esté consumiendo en una de las viviendas de la comunidad campesina. Esta información, la cual es una señal analógica, es enviada al pin 23 del microcontrolador ATMEGA8, en donde se encuentra la entrada del Conversor Analógico Digital interno de este. Mediante software se realiza la lectura de la salida del Conversor y se verifica si el consumo de energía eléctrica de dicha vivienda ha sobrepasado o no el rango permitido. De acuerdo a ello, el microcontrolador enviará por un pin de uno de sus puertos (bit 0 del puerto D, pin 2) una señal de nivel alto para indicar que el consumo se encuentra dentro del rango permitido, o una señal de nivel bajo para indicar el caso contrario. Por otro lado, también se tiene el pulsador de reinicio del sistema, el cual será empleado después de que el sistema de control haya realizado la acción de suspensión del servicio de electricidad en una vivienda. Este pulsador enviará

un nivel alto cuando se presione, activando la interrupción externa, la cual cambiará el valor de una variable del programa que indicará que el sistema de control se debe reiniciar.

Ahora, se presentará el diagrama esquemático de la parte del sistema de control que continúa a la salida del microcontrolador (ver figura 3.11).

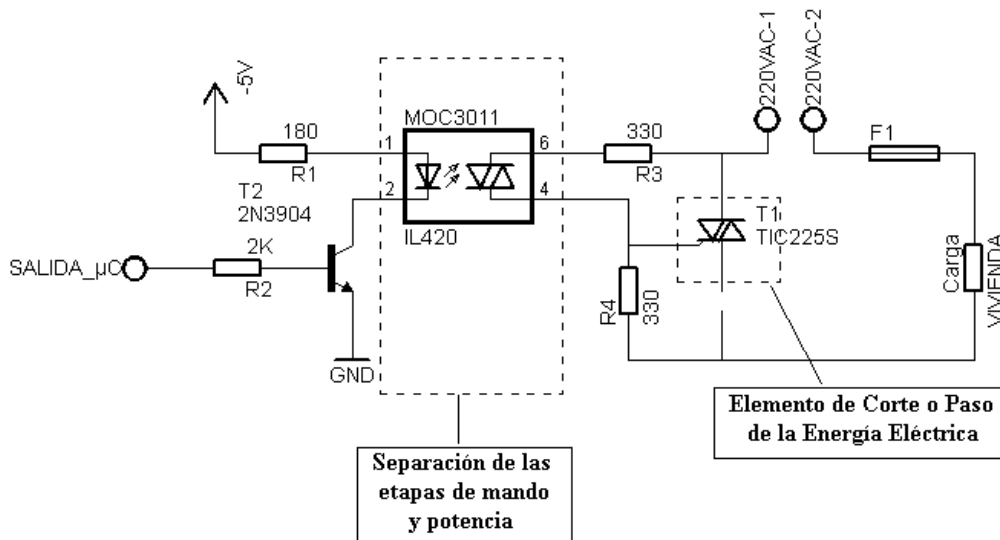


Figura 3.11: Diagrama esquemático del sistema de control del consumo de energía eléctrica en las comunidades campesinas (continuación).

Esta etapa del sistema contiene lo siguiente: la salida del microcontrolador está conectada con la base de un transistor tipo NPN, el cual desempeña una función similar a la de un interruptor para este caso. Se tiene, por tanto, dos casos de funcionamiento.

- El primer caso se dará cuando el microcontrolador envíe una señal de nivel alto, con lo cual circulará una pequeña corriente por la base del transistor hacia el emisor, la misma que permitirá el paso de una

corriente mayor entre sus otros dos pines (colector y emisor). En otras palabras, en este caso el transistor se comporta como un interruptor cerrado (se encuentra en la región de saturación).

- El otro caso se dará cuando el microcontrolador envíe una señal de nivel bajo, con lo cual no circulará una pequeña corriente entre la base y el emisor del transistor, lo que generará que dicho elemento no permita el paso de la corriente entre sus otros dos pines (colector y emisor); es decir, en este caso el transistor se comporta como un interruptor abierto (se encuentra en la región de corte).

Entonces, por un lado, cuando el transistor cierre el circuito (nivel alto del microcontrolador), circulará una corriente por los pines 1 y 2 del integrado MOC3011, lo cual generará que su LED infrarrojo interno emita luz, la que saturará y activará al otro componente electrónico interno, el cual es un interruptor bilateral (este elemento se comporta como un pequeño TRIAC). Este interruptor bilateral, como está conectado a la compuerta del TRIAC, activará a este último componente y permitirá el paso de la energía eléctrica a la vivienda de la comunidad campesina.

Por otro lado, cuando el transistor abra el circuito (nivel bajo del microcontrolador), no circulará una corriente por los pines 1 y 2 del integrado MOC3011, lo cual generará que su LED infrarrojo interno no emita luz y, por ende, no saturará al interruptor bilateral; el cual, como está conectado a la compuerta del TRIAC, no activará a este último componente, el cual entonces impedirá el paso de la energía eléctrica, dejando a la vivienda de la comunidad campesina sin este servicio.

Ahora bien, para obtener la fuente de 5V necesaria para alimentar a los circuitos integrados del sistema de control, se ha realizado el diseño del siguiente circuito esquemático (ver figura 3.12):

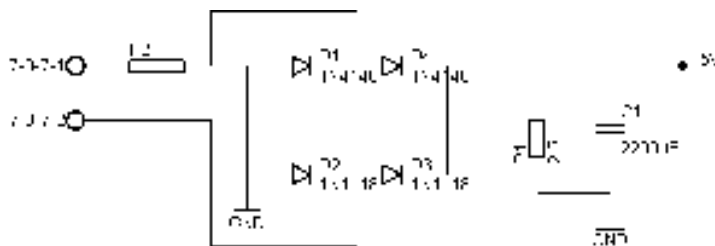


Figura 3.12: Diagrama esquemático de la fuente de alimentación para los dispositivos del sistema de control (Bloque Fuente del Diagrama de Bloques).

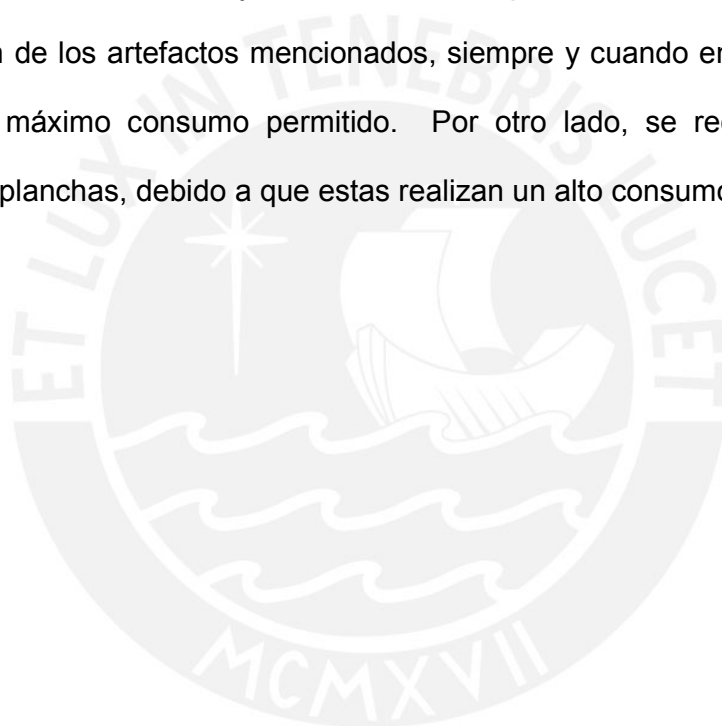
Cabe mencionar también que este sistema ha sido diseñado para que el consumo máximo de cada vivienda sea de 1000 vatios, es decir, cada vivienda podrá consumir como máximo una corriente de 4.5 amperios aproximadamente. Este valor se ha escogido debido a que, en promedio, las viviendas de las comunidades campesinas realizan consumos por debajo de esta valor (fuente: Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú), por lo que un consumo por encima de este valor, es considerado como excesivo para poder realizarlo en este tipo de lugares.

A continuación se presentan los valores típicos o promedio de consumo que realizan los artefactos eléctricos comunes en una vivienda:

- Televisor simple: de 65 a 85 vatios.
- Foco de menor consumo: 25 vatios.
- DVD: de 15 a 40 vatios.
- Refrigeradora: de 150 a 400 vatios.

- Equipo de música: de 60 a 80 vatios.
- Radio: de 10 a 30 vatios.
- Ventilador: de 70 a 120 vatios.
- Plancha: de 500 a 1000 vatios.

Con los valores mencionados se puede deducir que se podría emplear, por ejemplo, dos televisores simples, cuatro focos, un DVD, una refrigeradora, un equipo de música, una radio y un ventilador. Se puede realizar cualquier otra combinación de los artefactos mencionados, siempre y cuando en conjunto no excedan el máximo consumo permitido. Por otro lado, se recomienda no emplear las planchas, debido a que estas realizan un alto consumo de energía.



CAPÍTULO 4: SIMULACIONES Y RESULTADOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

4.1 Análisis del Sensor de Corriente

En esta parte del documento se realizará un pequeño estudio acerca de todas las consideraciones que se deben tener en cuenta para el empleo del sensor de corriente seleccionado.

En primer lugar, se va a verificar que la máxima corriente consumida por la vivienda pueda ser soportada por el sensor, de modo que este pueda realizar la medición en caso extremo sin dañarse el equipo. Como se sabe, el límite de consumo del sistema de control es de mil vatios, lo cual equivale a una corriente de consumo de 4.54 amperios aproximadamente (ya que el voltaje en este caso es de 220 voltios alternos). Ahora bien, de la hoja técnica, se sabe que el rango óptimo de corriente que puede medir este dispositivo es de cinco amperios. Por tanto, se puede concluir que el sensor va a poder realizar mediciones sin sufrir algún daño por excesiva corriente medida.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que, en vista que la corriente que circula por los pines de medición es del orden de los amperios, se debe tomar las precauciones debidas para la implementación del circuito impreso, ya que la pista, por donde va a pasar la corriente que se desea medir, debe ser lo suficientemente ancha como para que pueda realizar la conducción sin sufrir algún daño (que se levante la pista, que es lo que comúnmente ocurre en estos casos).

4.2 Circuito Esquemático del Diseño del Sistema completo

A continuación se mostrará el diagrama esquemático del sistema completo (figura 4.1):

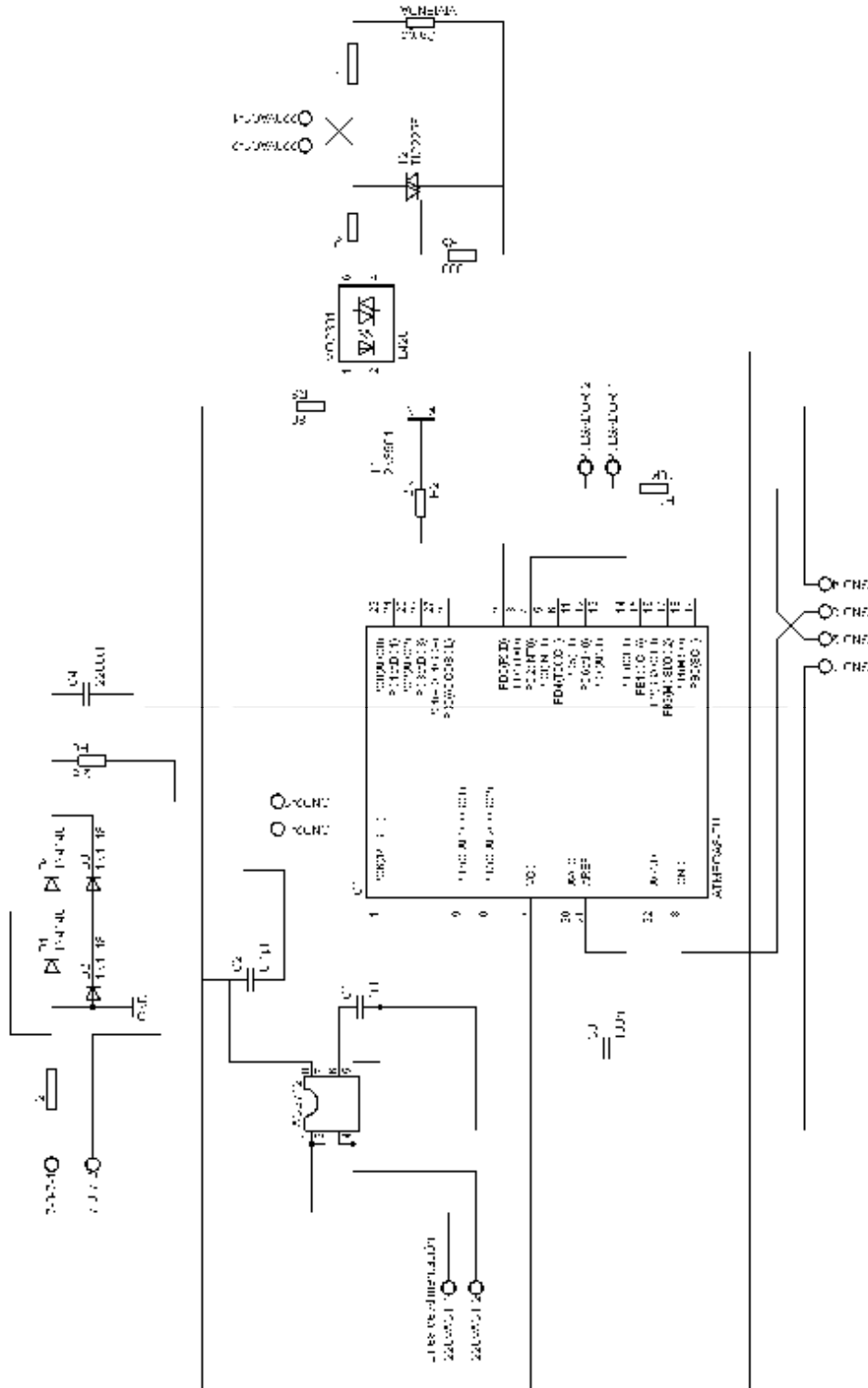


Figura 4.1: Diagrama Esquemático completo del Sistema de Control

Como ya se había mencionado anteriormente, el bloque fuente es el circuito encargado de proporcionar la alimentación de 5 voltios a los dispositivos que requieran de ella. El bloque sensor de corriente es el encargado de realizar la medición de la corriente eléctrica consumida por la vivienda. El bloque microcontrolador y conversor analógico digital (ADC) es el encargado de recibir la información del sensor de corriente y, según un programa, verifica si el consumo de la vivienda se encuentra dentro del rango permitido. El bloque separación de las etapas de mando y potencia es, como su nombre lo indica, el encargado de aislar cada una de las etapas, con el fin de evitar tener contacto directo con altos voltajes y corrientes. Finalmente, el bloque elemento de corte o paso de la energía eléctrica es el encargado de abrir o cerrar el circuito de potencia, de modo que activa o suspende el servicio de electricidad en la vivienda. Cabe resaltar también que este diseño es la tercera versión realizada.

4.3 Circuito Impreso del Diagrama Esquemático completo

A continuación se va a mostrar el circuito impreso que se podría implementar para el diagrama esquemático mostrado en la sección anterior (ver figura 4.2).

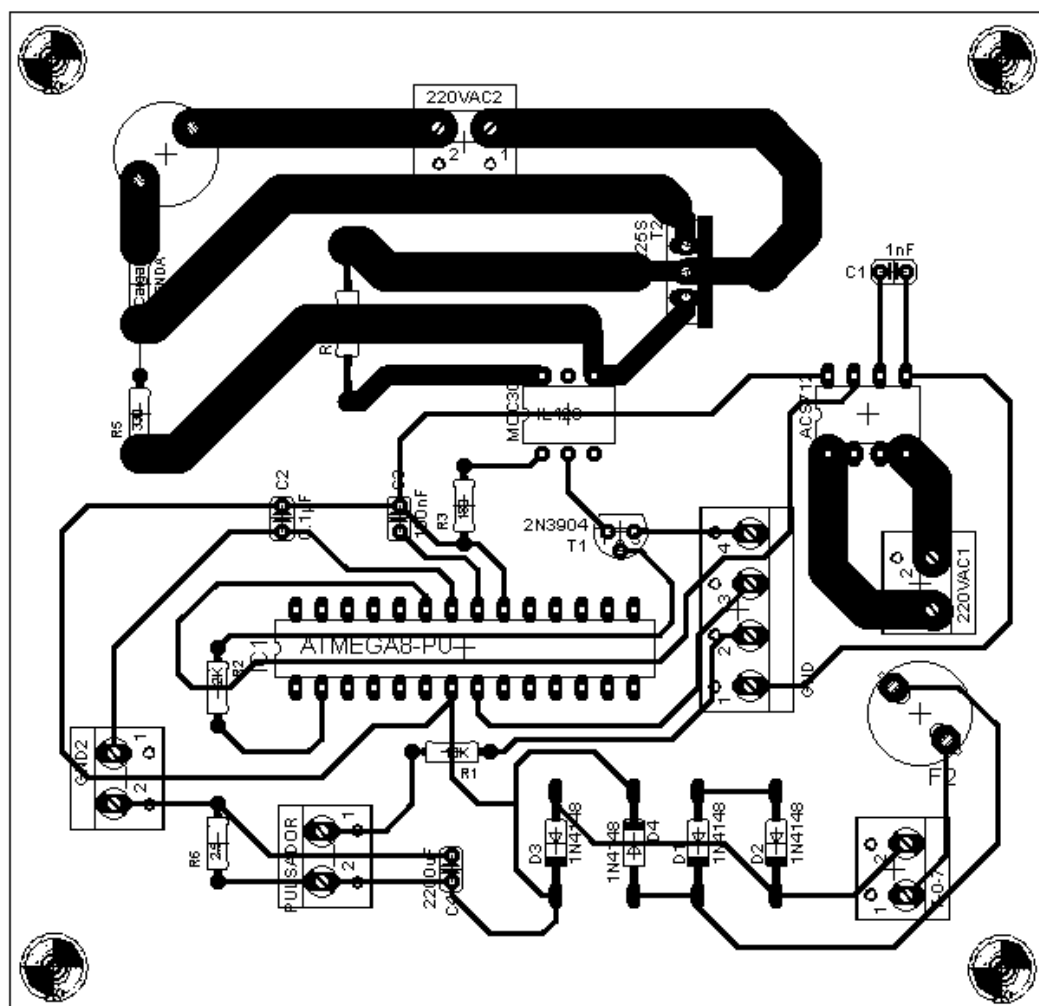


Figura 4.2: Circuito Impreso del Diagrama Esquemático del Sistema de Control

Cabe resaltar que, como el regulador de voltaje requiere de un disipador de potencia, se le proporcionó a este dispositivo un espacio prudente, como se puede apreciar en la figura anterior.

Por otro lado, cabe resaltar que para el grosor de las pistas, siguiendo unas gráficas, para el grosor de cobre de placa más delgado (18 micrómetros), para un amperio de corriente era necesario un milímetro de ancho de pista ^[19]. Con ello, para un valor de 4.7 amperios (dando un margen, ya que la máxima

corriente es 4.54 amperios) se tiene un ancho de pista de 4.7 milímetros. Para la parte de mando, el ancho de las pistas que se empleó fue de 1 milímetro, el cual puede soportar corrientes de hasta un amperio, valor suficiente, ya que en esta etapa las corrientes son menores a este valor.

4.4 Simulaciones del programa que empleará el microcontrolador

Antes de mostrar las simulaciones, cabe resaltar que, para un valor límite de consumo de mil vatios, se tiene a la salida del conversor analógico digital el valor 336. Dicha equivalencia se demuestra a continuación:

$$\text{Corriente máxima de consumo (I}_{\max}): I_{\max} = \frac{1000W}{220V} = 4.545A$$

$$\text{Voltaje a la salida del sensor (V}_{\text{sen}}): V_{\text{sen}} = 4.545A * 185 \frac{mV}{A} = 840.825mV$$

$$\text{Valor digital a la salida del conversor: } ADC = \frac{840.825 * 10^{-3} * 1024}{2.56} = 336.33$$

Donde, 1024 es el número total de niveles que posee el conversor y 2.56 es su voltaje de referencia. Entonces, por un lado, si la lectura del conversor es menor a 336, la vivienda estará dentro del rango permitido, y, por ello, se permitirá que siga consumiendo energía eléctrica. Por otro lado, si la lectura es mayor a 336, significará que el consumo de la vivienda se encontrará fuera del rango permitido, por lo que se suspenderá el servicio de energía eléctrica a dicha vivienda.

En esta figura se puede apreciar que la lectura dada por el conversor analógico digital es de 211, la cual, por ser menor a 336, indica que el consumo de la vivienda se encuentra dentro del rango permitido. Por tanto, a la salida del microcontrolador se envía un nivel alto, el cual es visualizado en el diodo D1 del panel de control. Ahora, como se explicó en el capítulo anterior, cuando en el microcontrolador se tiene un nivel alto, el sistema de control permite el paso de la energía eléctrica, por lo que la vivienda puede seguir disfrutando de este servicio.

Ahora, se mostrará la simulación del programa cuando la vivienda se encuentra realizando un consumo de energía eléctrica fuera del rango permitido (ver figura 4.4).

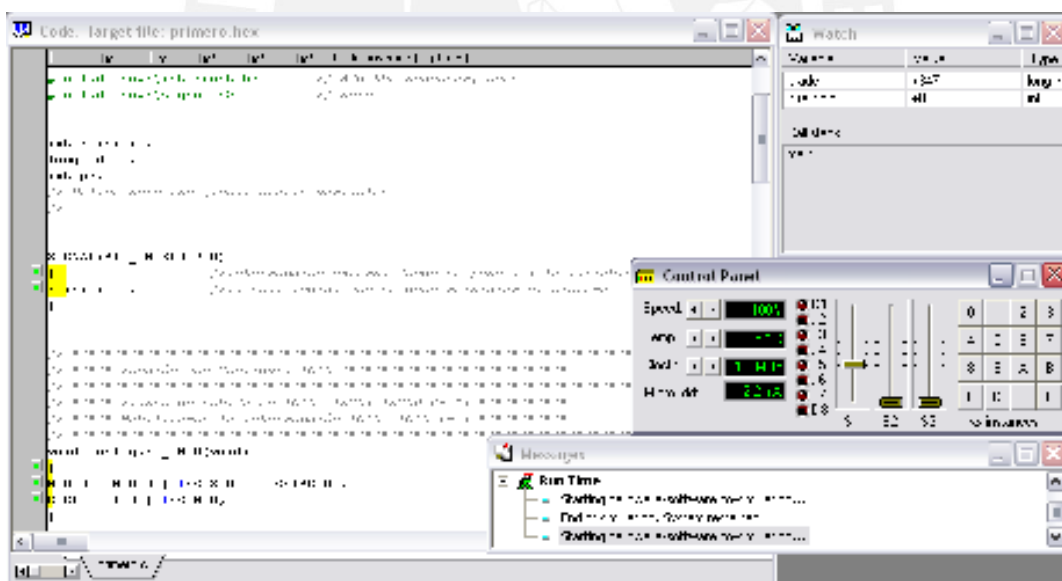


Figura 4.4: Simulación del programa del microcontrolador cuando el consumo de la vivienda se encuentra fuera del rango permitido.

En la figura se puede apreciar que la lectura que proporciona el conversor analógico digital es de 347, la cual, por ser mayor a 336, indica que el consumo de la vivienda se encuentra fuera del rango permitido. Por esta razón, a la salida del microcontrolador se envía un nivel bajo, el cual puede verificarse al visualizar al diodo D1 del panel de control apagado. En consecuencia, como se llegó a explicar en el capítulo anterior, como el microcontrolador tiene un nivel bajo, entonces el sistema de control realizará la suspensión del servicio de electricidad a la vivienda en estudio.

Dicha vivienda podrá gozar de este servicio nuevamente cuando, primero, desconecten algunos aparatos eléctricos de la red eléctrica (con lo cual realizarían un consumo dentro del rango permitido); y, seguidamente, presionen el pulsador de reinicio, el cual, como su nombre lo indica, reiniciará todo el sistema de control. Dicho pulsador también fue simulado, se colocó en el número cero del panel de control, el cual, cuando se presionaba, reiniciaba todo el sistema de control.

4.5 Simulaciones del circuito de potencia que se empleará en el sistema de control con el programa Proteus

En esta parte del documento se mostrarán las simulaciones realizadas del circuito de potencia del sistema de control, para verificar si su funcionamiento es el correcto. El software que se empleó para estas simulaciones fue el Proteus versión 7.2. Cabe resaltar, sin embargo, que en estas pruebas no se colocó al acoplador óptico MOC3011, debido a que su modelo de simulación no

fue encontrado en ninguno de los programas de simulación disponibles como el Spice, el Eagle o el Proteus. En consecuencia, se empleó un interruptor en lugar de este dispositivo, de modo que realizara la misma función que el mencionado (y se colocó en la misma posición del circuito donde se encontraba el MOC3011).

Ahora bien, para realizar las simulaciones se tomaron en cuenta dos casos: cuando el sistema se encuentra permitiendo el paso de la energía eléctrica a la vivienda (interruptor cerrado) y se procede a suspender este servicio (se abre el interruptor); y cuando se tiene el servicio suspendido y se procede a reiniciar el sistema, permitiendo con ello el paso de la energía eléctrica a la vivienda nuevamente (que vendría a ser el caso contrario al primero). Además, se colocará, previamente a los casos descritos anteriormente, al sistema cuando se encuentra permitiendo el paso de la energía eléctrica, y la vivienda no excede el rango de consumo permitido, de modo que esta pueda seguir gozando de dicho servicio.

4.5.1 Simulación del circuito de potencia cuando la vivienda se encuentra dentro del rango de consumo permitido.

Este caso se presenta en las siguientes figuras (ver figuras 4.5a y 4.5b):

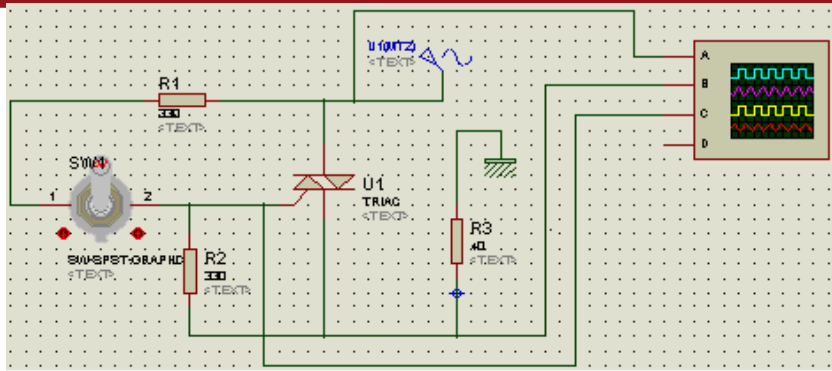


Figura 4.5a: Simulación del circuito de potencia cuando el consumo se encuentra dentro del rango de consumo permitido.

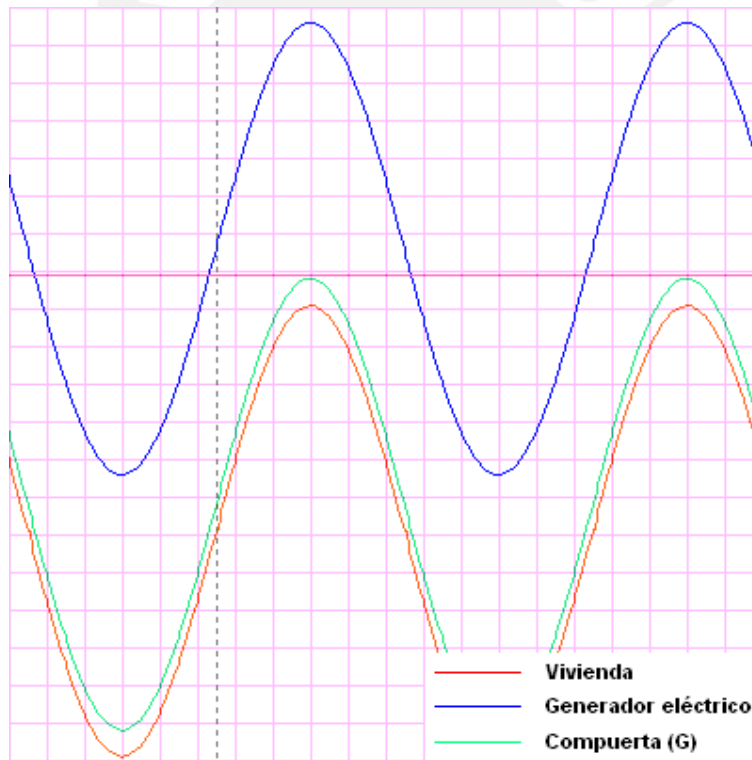


Figura 4.5b: Gráfica del circuito de potencia cuando el consumo se encuentra dentro del rango de consumo permitido.

A modo de una pequeña explicación, el canal A, cuya representación es la señal azul, está conectado al generador de la señal de 220 voltios alternos, el cual representaría a la señal entregada por los generadores eléctricos. El canal B, cuya representación es la señal roja, está conectado a la carga del circuito, y representa a la vivienda de la comunidad campesina. El canal C, cuya representación es la señal verde, está conectado a la compuerta del TRIAC, con lo cual se puede apreciar cuándo se alimenta a este dispositivo y cuándo no. Finalmente, el canal D no se emplea en las simulaciones, por lo que se encuentra desconectado del circuito de potencia.

Ahora, como se puede apreciar en la figura anterior, en vista que la vivienda realiza un consumo dentro del rango permitido, entonces el sistema de control no realiza ninguna acción, simplemente mantiene el servicio en dicha vivienda.

4.5.2 Simulación del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad.

Para este tipo de acción se mostrarán dos casos: cuando el servicio se suspende en el momento que la onda de energía eléctrica se encuentra en su parte positiva, y cuando el servicio se suspende cuando la onda se encuentra en su parte negativa.

A continuación se muestra el primer caso descrito anteriormente. Dicha suspensión del servicio de energía eléctrica se realizó en algún momento en que la onda eléctrica se encontraba entre 0 y +220 voltios alternos (ver figuras 4.6a y 4.6b).

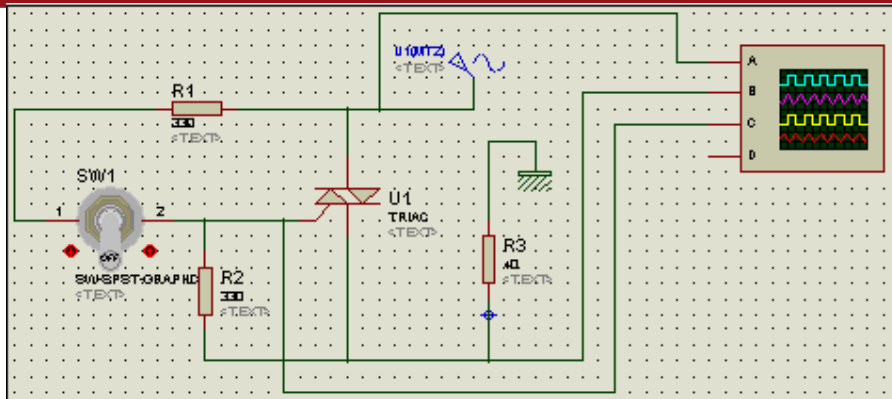


Figura 4.6a: Simulación del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad en la parte positiva de la onda.

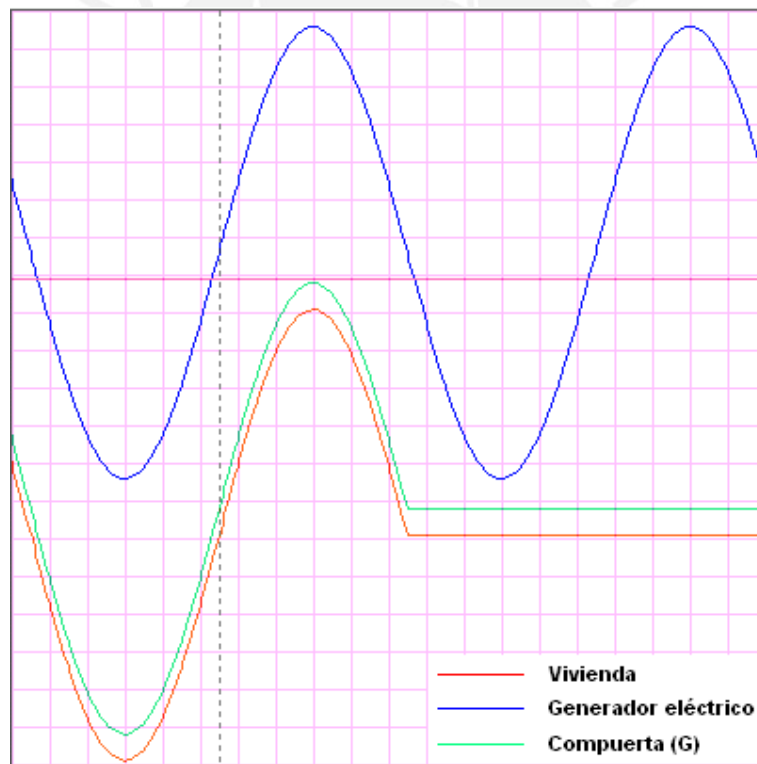


Figura 4.6b: Gráfica del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad en la parte positiva de la onda.

Como se puede apreciar en la figura anterior, una vez que se deja de alimentar la compuerta del TRIAC, el servicio no se suspende inmediatamente, sino que se sigue permitiendo el paso de la energía eléctrica hasta que la onda pasa por cero, que es el momento en que la corriente entre los terminales principales es menor a la corriente de mantenimiento del dispositivo (corriente mínima necesaria para que este dispositivo siga conduciendo la energía eléctrica). En otras palabras, el corte efectivo del servicio se realiza cuando la onda cruza el valor de cero.

Esta suspensión del servicio se puede apreciar también en el circuito de potencia, ya que el interruptor en la figura 4.6a se encuentra en la posición contraria a la que se encontraba en la primera figura mostrada (figura 4.5a).

Ahora se muestra el otro caso, que es cuando el servicio se suspende en algún momento en que la onda eléctrica se encontraba entre -220 y 0 voltios alternos (ver figuras 4.7a y 4.7b).

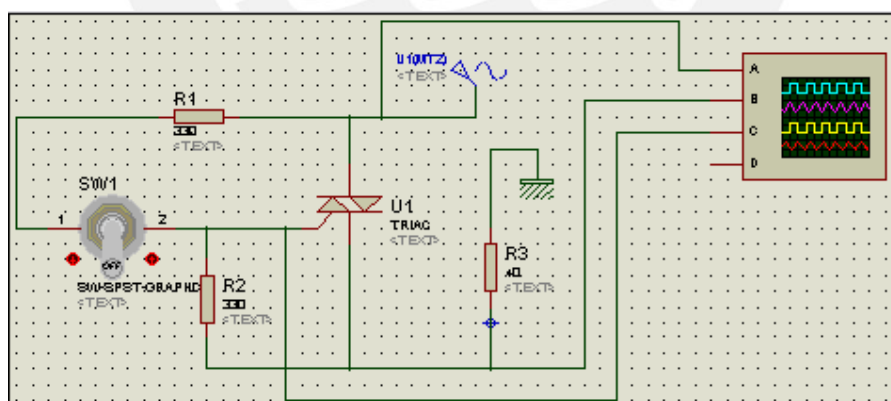


Figura 4.7a: Simulación del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad en la parte negativa de la onda.

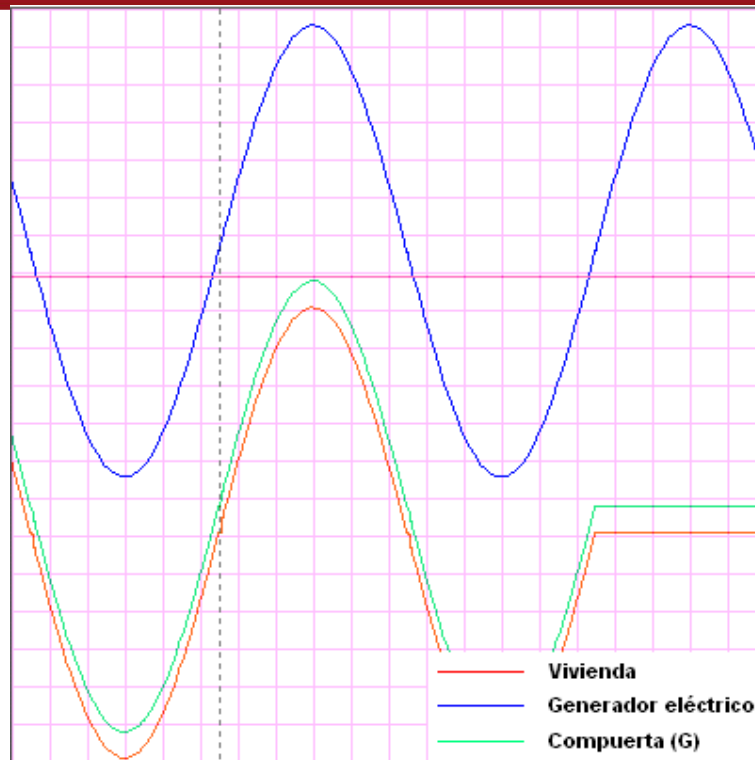


Figura 4.7b: Gráfico del circuito de potencia cuando se suspende el servicio de electricidad en la parte negativa de la onda.

Como se puede apreciar en la figura anterior, este caso es similar al mostrado anteriormente. Si bien el interruptor cambió de estado en algún momento en que la onda se encontraba entre -220 y 0 voltios alternos, dicho cambio no fue inmediato, este se hizo evidente hasta que la corriente entre los terminales principales fue menor a la corriente de mantenimiento (solo que con la polaridad inversa en este caso). Una vez llegado a este punto, el servicio recién se suspendió. En otras palabras, el corte efectivo del servicio se realiza también cuando la onda cruza el valor de cero.

4.5.3 Simulación del circuito de potencia cuando reanuda el servicio de electricidad.

De modo similar a la sección anterior, para este tipo de acción se mostrarán dos casos: primero cuando el servicio se reactiva en algún momento en que la onda eléctrica (proveniente del generador) se encuentre en su parte positiva; y luego cuando se encuentre en su parte negativa.

A continuación se mostrará el primer caso descrito: esta reanudación del servicio fue realizada en algún momento en que la onda eléctrica se encontraba entre 0 y +220 voltios alternos (ver figuras 4.8a y 4.8b).

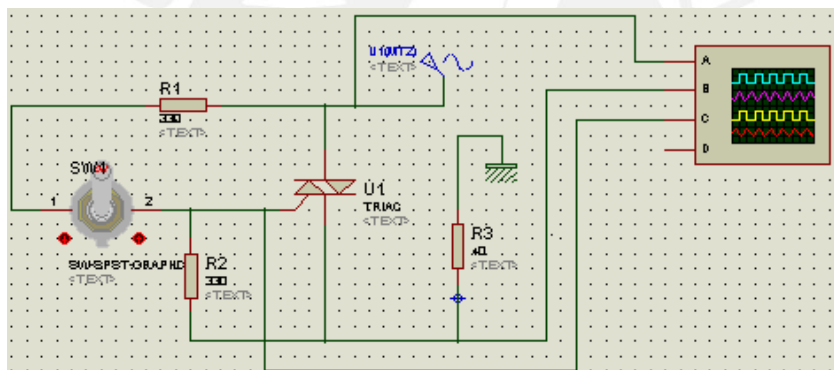


Figura 4.8a: Simulación del circuito de potencia cuando se reanuda el servicio de electricidad en la parte positiva de la onda.

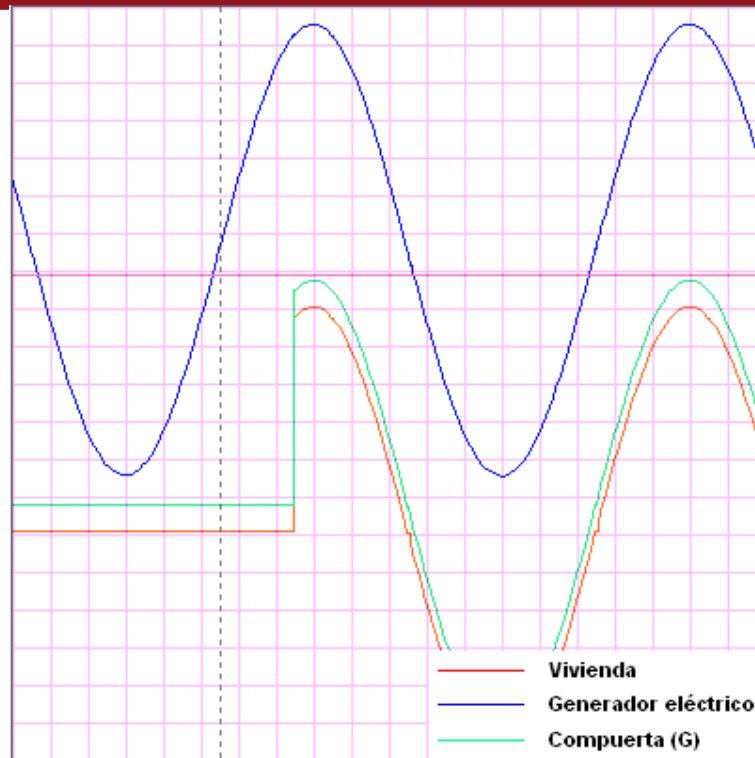


Figura 4.8b: Gráfico del circuito de potencia cuando se reanuda el servicio de electricidad en la parte positiva de la onda.

Como se puede observar en la figura anterior, en el instante en que el interruptor cambia de estado, se empieza a alimentar a la compuerta del TRIAC, y este componente comienza a conducir la energía eléctrica inmediatamente. En otras palabras, la activación del servicio se realiza inmediatamente.

Ahora, se mostrará el segundo caso mencionado anteriormente, que es cuando se reanuda el servicio de electricidad en el momento en que la onda se encuentra entre -220 y 0 voltios alternos (ver figuras 4.9a y 4.9b).

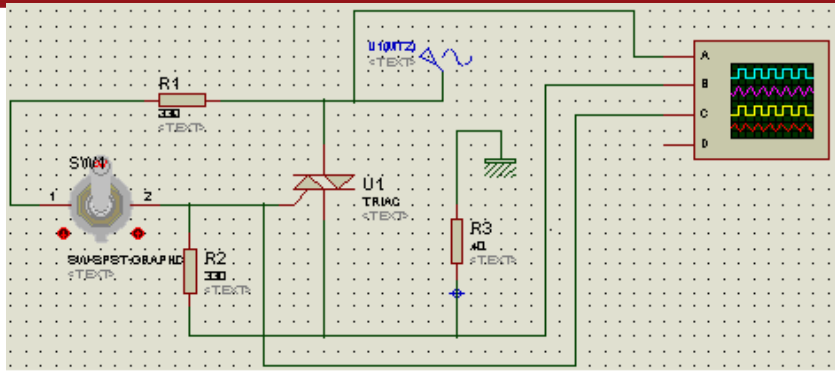


Figura 4.9a: Simulación del circuito de potencia cuando se reanuda el servicio de electricidad en la parte negativa de la onda.

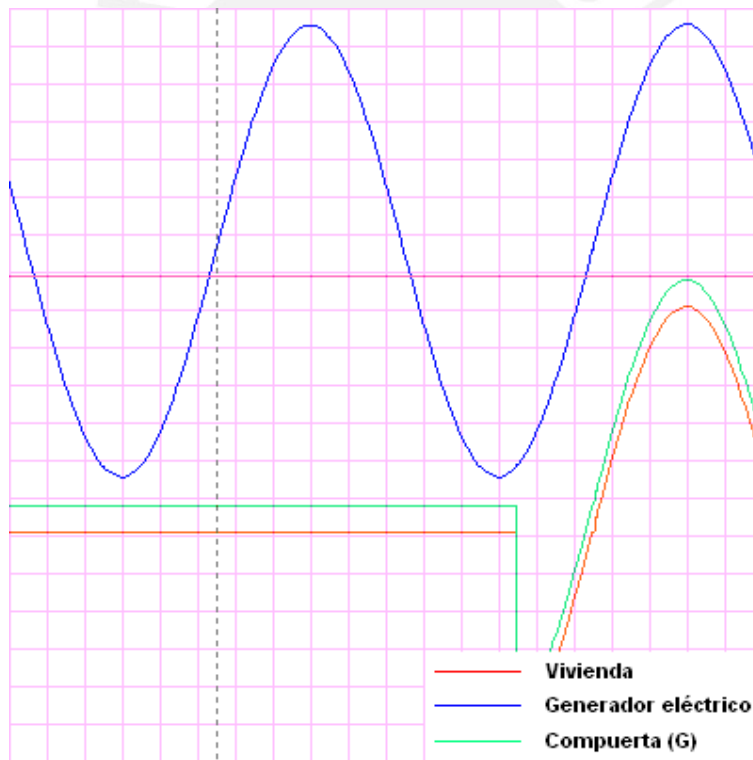


Figura 4.9b: Simulación del circuito de potencia cuando se reanuda el servicio de electricidad en la parte negativa de la onda.

Como se puede apreciar en la figura anterior, en el momento en que el interruptor cambia de estado, se empieza a alimentar a la compuerta del TRIAC, y este componente comienza a conducir la energía eléctrica entre sus terminales principales inmediatamente, a pesar de que la onda se encuentra en la parte negativa de la onda; no se espera a que pase por cero (como se había dado en los casos de suspensión del servicio). En otras palabras, la activación del servicio se realiza también inmediatamente.

4.6 Resultados de las simulaciones realizadas

Las primeras simulaciones presentadas fueron las que se hicieron al programa que emplearía el microcontrolador. Como se mostró anteriormente, dicho programa verifica correctamente si el consumo se encuentra o no dentro del rango permitido, ya que cuando se encuentra dentro del mismo mantiene la salida en nivel alto, y cuando se sale del rango el programa manda su salida a nivel bajo. Además, cuando se presiona el pulsador de reinicio, el programa realiza esta tarea adecuadamente. Por tanto, se llega a la conclusión que dicho programa contiene una lógica adecuada para la realización de la tarea encomendada.

Luego, se presentaron las simulaciones realizadas en el programa Proteus, donde se presentaba el circuito de potencia del sistema de control. Dichas simulaciones también proporcionaron los resultados esperados, ya que, cuando se abría el interruptor (el cual simulaba a la desactivación del acoplador óptico), se suspendía el servicio en la carga (la cual representaba al consumo de la

vivienda de la comunidad campesina); y, cuando se cerraba este interruptor, ocurría el caso contrario. Cabe resaltar que la suspensión no la realiza inmediatamente, esto se da debido a que se tiene que esperar que la onda cruce por cero. Sin embargo, esta onda cruza rápidamente por este valor (ya que la frecuencia es de 60Hz), por lo que esta espera es casi imperceptible. Por otro lado, la reactivación del sistema sí se realiza en el momento en que se cambia de estado al interruptor de control, por lo que su conmutación es aún mejor que la primera mencionada. Además, ambos casos se podían realizar satisfactoriamente tanto en la parte positiva como también negativa de la onda eléctrica provista por el generador. Por ello, se concluye en este caso también que este circuito de potencia puede emplearse en la implementación del sistema de control.

4.7 Costos

En esta parte del documento, se realizará un listado de los costos de cada uno de los elementos del diseño desarrollado, con el fin de conocer el costo total de este sistema. Los precios de cada elemento fueron obtenidos del mercado local, con excepción del sensor de corriente, el cual fue obtenido de la página de Allegro Microsystems. A continuación se muestran los precios de cada uno de los elementos en la siguiente tabla.

Tabla 4.1a: Presupuesto de componentes del Sistema de Control

Dispositivo	Precio aproximado (Nuevos Soles)
Microcontrolador	15
Sensor de corriente	9
Aislador acoplado ópticamente	1
TRIAC	2.5
Transistor	1
Tres resistencias de ¼ de vatio	0.60
Dos resistencias de 1 vatio	1
Pulsador	1
Cuatro diodos	2
Seis condensadores electrolíticos	3
Regulador de voltaje	3
Transformador 7-0-7	40
Módulo	35
Tarjeta Impresa	35
Realización del Programa	70
Costo Sub-Total	219.1

Tabla 4.1b: Costos del Sistema de Control

Depreciación de componentes	50
Mano de Obra	100
Trabajo de ingeniería para el diseño	100
Costo Total del Diseño del Sistema	469.1

Cabe resaltar que para los aspectos de realización del diseño se han colocado precios bajos, debido a que se desea que el dispositivo tenga un costo total bajo también, ya que, por un lado, este proyecto está dirigido a personas con recursos económicos limitados; y, por otro, se espera que tenga una buena aceptación, lo que produciría una venta en grandes cantidades, obteniendo en este caso la verdadera ganancia esperada.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el precio de los Medidores Prepago es actualmente de 165 dólares, con lo cual se concluye que dicho diseño resulta ser una buena alternativa a realizar ^[3].

CONCLUSIONES

1. Si bien existen diferentes tipos de tecnologías para poder generar energía eléctrica en las comunidades campesinas, ninguna de ellas proporciona un control del consumo, ya que solamente proveen de ella, pero no ayudan a controlar su consumo.
2. Los Medidores Prepago aparecen como una buena alternativa para realizar un control del consumo de la energía eléctrica en estos lugares.
3. Sin embargo, la mejor alternativa para realizar el control del consumo es el empleo en conjunto de sensor, microcontrolador, conversor análogo-digital y un dispositivo de corte, ya que pueden realizar esta tarea satisfactoriamente y no tienen un alto precio. En otras palabras, este conjunto de elementos representa a la alternativa más eficiente y eficaz.
4. Por un lado, la simulación del programa que se emplearía en el microcontrolador proporcionó los resultados esperados; y, por otro lado, la simulación del circuito de potencia funcionó correctamente. Por ello, se concluye que tanto el programa como también el circuito de potencia podrían emplearse para realizar la implementación del sistema de control.
5. Este sistema surge también como una buena alternativa para emplearse en las viviendas como un dispositivo de control de la energía consumida por esta, pudiendo los usuarios con ello regular la cantidad de energía que desean consumir.

RECOMENDACIONES

1. El programa simulado para el microcontrolador solamente está diseñado para realizar la verificación del consumo del límite de mil vatios; por lo que, si se desea cambiar este límite de consumo, tendría que cambiarse algunos datos del programa, de modo que ahora verifique con el nuevo límite de consumo.
2. Si se desea incrementar el límite de consumo, también se debe considerar si los elementos del sistema de control no se verán afectados con este cambio. Por ejemplo, el sensor de corriente empleado no está diseñado para realizar mediciones de corriente superiores a los cinco amperios, por lo que si el límite de consumo se incrementa, se debe verificar si con este nuevo límite la corriente consumida es mayor o no a cinco amperios.
3. Si se desea continuar con esta línea de investigación, para realizar la implementación de este sistema de control, se recomienda realizar previamente unas pruebas para el circuito de potencia, ya que el acoplador óptico MOC3011 no se simuló en este documento. También se recomienda emplear como sensor de corriente a una bobina de Rogowski, ya que presenta mejores características que el sensor de efecto Hall. Se necesitaría implementarla y probarla previamente, con la finalidad de verificar si su funcionamiento es el esperado.
4. Se empleará un microcontrolador en este sistema de control debido a que se busca que este sistema cuente con algunas funciones adicionales, tales como: que cuente con una pantalla de cristal líquido (LCD), la cual muestre la cantidad de corriente empleada, que muestre

la cantidad de energía activa que se está consumiendo, entre otras.

Estas funciones se espera que se implementen cuando se continúe esta línea de investigación.

5. Se recomienda que el sistema de control sea el último dispositivo que se encienda en la vivienda, con el fin de evitar que algún transitorio pueda dañar algún dispositivo.



BIBLIOGRAFIA

- [1] Grupo de Apoyo al Sector Rural – PUCP
Información proporcionada por el siguiente personal del Grupo:
Miguel Hadzich, Carlos Hadzich, Urphy Vasquez
- [2] Luyo Kuong, Jaime
1992 Control y seguridad de la energía eléctrica del Perú. Revista Alma Mater
Perú, No.1, pp 61-64
- [3] Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica – ADINELSA
2006 Medidores Prepago. Lima: [Consultado 20/03/2008]
<<http://www.adinelsa.com.pe/>>
- [4] Grupo de Apoyo al Sector Rural – PUCP
Selección de Sistemas Fotovoltaicos. Lima: [Consultado 10/03/2008]
<<http://www.pucp.edu.pe/grupo/fotovoltaico/>>
- [5] Empresa de Administración de Infraestructura Eléctrica – ADINELSA
2006 Energía Solar. Lima: [Consultado 20/03/2008]
<[http://www.adinelsa.com.pe/Energia Solar/](http://www.adinelsa.com.pe/Energia_Solar/)>
- [6] Grupo de Apoyo al Sector Rural – PUCP
Energía Eólica Lima: [Consultado 10/03/2008]
<<http://www.pucp.edu.pe/grupo/energias/eolica/index.htm>>
- [7] Carrasco, Alfonso
1989 La electricidad en el Perú: política estatal y electrificación rural.
Lima, Tecnología Intermedia ITDG
- [8] Granados, Jaime
2001 Descripción General de un Sistema de Energía Eléctrica.
Departamento de Electricidad. Ministerio de Energía de El Salvador.

- [9] Guía del Curso Laboratorio de Sistemas Eléctricos [Ciclo 2007-2]
2007 Pontificia Universidad Católica del Perú
- [10] Telemecanique
1994 Protección y control de potencia
Telemecanique
- [11] Balcells, Josep; Romeral, José Luis; Spurgeon, Charles
Autómatas Programables
Marcombo, S.A.
- [12] Wildi, Theodore
2002 Electrical machines, drives, and power systems
Upper Saddle River, NJ: Prentice may
- [13] Boyer, Stuart
1993 SCADA: supervisory control and data acquisition
Research Triangle Park, N.C.: Instrument Society of America
- [14] Anderson, Paul
1993 Power system control and stability
New York: IEEE Press
- [15] Benavent García, José Manuel
2000 Electrónica de potencia: teoría y aplicaciones
México: Alfaomega; Universidad Politécnica de Valencia
- [16] Bolton, W.
Mediciones y Pruebas Eléctricas y Electrónicas
Marcombo, S.A.
- [17] Tipos y aplicaciones de Transformadores
Lima: [Consultado 20/04/2008]
<http://patricioconcha.ubb.cl/transformadores/gral_tipos_y_aplicaciones.htm>

- [18] Carranza Noriega, Raymundo
2001 Automatización: Tópicos de Instrumentación y Control
Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Dirección Académica de Investigación
- [19] Desarrollo y Construcción de Prototipos Electrónicos
Lima: [Consultado 02/04/2008]
<<http://www.virgendelasnieves.es/Departamentos/ElectricidadyElectronica/DPE/DPE/Apuntes/Tema%202.1.1.pdf>>
- [20] Jameco Electronics
Lima: [Consultado 05/04/2008]
<<http://www.jameco.com>>
- [21] Digi-Key Corporation
Lima: [Consultado 05/04/2008]
<<http://www.digikey.com>>
- [22] Kabisama, H. W.
1993 Electrical power engineering. 4^{ta} edición. New York. McGraw-Hill
- [23] Nuestra Tierra - Un uso correcto de los equipos prolonga su vida útil
Lima: [Consultado 15/04/2008]
<<http://canales.laverdad.es/nuestratierra/nt12052006/suscr/nec28.htm>>