

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### DISEÑO DE UN CARGADOR DE BATERÍAS DE 12 VOLTIOS HACIENDO USO DE UN PANEL FOTOVOLTAICO APLICADO EN ZONAS RURALES

Tesis para optar el Título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, que presenta el  
bachiller:

**José Carlos San Miguel Caballa**

**ASESOR: Miguel Ángel Cataño**

Lima, agosto del 2009

## RESUMEN

En el Perú, la electrificación de zonas rurales se ha intensificado debido a programas de electrificación rural elaborados por el Estado y otras entidades no gubernamentales. Sin embargo, hoy en día existen comunidades rurales cuya demanda de potencia en los hogares es cubierta ineficientemente con el uso de baterías de 12 voltios, lo cual genera racionalización del uso de sus artefactos eléctricos, así como los priva de un crecimiento sostenible a nivel socio-económico. Dichas baterías, mayormente de plomo-ácido, son cargadas mediante proveedores externos, lo que causa una dependencia a este servicio e incurre en gastos mensuales mayores a los que ellos demandarían si utilizaran un sistema de recarga fotovoltaica propia.

El presente trabajo tomó como muestra a la comunidad de Micaela Bastidas, ubicada al norte del departamento de Lima en la provincia de Barranca, debido a su alto coeficiente de irradiación solar. Se realizó el diseño de un cargador de baterías de 12 voltios para ser utilizado con un panel fotovoltaico y así facilitar la recarga de la misma. Se seleccionaron los componentes adecuados para su diseño, además del panel fotovoltaico y la batería a utilizar, para satisfacer, de manera personalizada, la demanda de potencia promedio a consumir por cada familia de dicha localidad. Se realizaron satisfactoriamente las simulaciones de dicho cargador, con lo que se obtendría una carga óptima de la batería y se prolongaría su vida útil.

Por último, en el análisis de costos, se realizó la simulación de venta de un sistema fotovoltaico, por familia, en la comunidad de Micaela Bastidas. Se concluyó que los dos valores agregados principales que sostendrían la competitividad del producto, a nivel nacional, serían: la personalización del diseño del cargador y dimensionamiento del panel fotovoltaico y la batería, según la máxima demanda de potencia promedio actual o futura del usuario, y el suministro de un servicio de asesoría técnica de capacitación y mantenimiento del sistema.

**ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

**CAPÍTULO 1: USO DE BATERÍAS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL Y SU ACTUAL PROCESO DE CARGA**

1.1 Características del uso rural de la electricidad en el país.....	2
1.2 Comunidad de Micaela Bastidas – Quebrada de Venado Muerto.....	2
1.2.1 Descripción.....	2
1.2.2 Proceso actual de carga de baterías.....	6
1.3 Declaración del Marco Problemático.....	7

**CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL**

2.1. Métodos de generación de energía eléctrica.....	9
2.1.1 Los Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE).....	9
2.1.2 Los Sistemas Fotovoltaicos.....	10
2.2 Tecnologías en un Sistema Fotovoltaico.....	11
2.2.1 Panel Fotovoltaico.....	11
2.2.2 Cargador de baterías.....	12
2.2.3 Baterías.....	12
2.3 Modelo Teórico.....	13
2.4 Beneficios del uso de sistemas fotovoltaicos.....	15
2.5 Objetivos.....	15
2.5.1 Objetivo general.....	15
2.5.2 Objetivos secundarios.....	16
2.6 Diseños existentes de cargadores de baterías.....	16
2.6.1 Primer diseño existente.....	16
2.6.2 Segundo diseño existente.....	19

**CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CARGADOR DE BATERÍAS**

3.1 Planteamiento del diseño a elaborar.....	22
3.2 Diagrama de bloques del diseño del cargador de baterías.....	22
3.3. Diseño propuesto.....	25
3.4 Cálculos justificativos del diseño propuesto.....	29

3.5	Diagramas de flujo del diseño propuesto.....	46
3.6	Selección de componentes.....	47
3.6.1	Panel Fotovoltaico.....	47
3.6.2	Batería.....	49
3.6.3	Componentes para el diseño del cargador de baterías.....	52

**CAPÍTULO 4: SIMULACIONES, EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS**

4.1	Simulaciones.....	64
4.1.1	Diseño existente.....	65
4.1.2	Diseño propuesto.....	67
4.2	Evaluación de Resultados.....	83
4.3	Análisis de costos.....	85
4.3.1	Propuesta.....	85
4.3.2	Ventaja competitiva.....	86
4.3.3	Condiciones de Competidores Indirectos.....	87
4.3.4	Descripción de la política comercial.....	87
4.3.5	Canales de distribución.....	88
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>90</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>91</b>

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, la electrificación de zonas rurales se ha intensificado en gran forma, esto debido a programas de electrificación rural elaborados por el Estado, luego de la creación del Fondo Nacional de Electrificación Rural (FONER) [1], por proyectos de instalación de Sistemas Fotovoltaicos tanto de la empresa ADINELSA [6], empresa estatal de derecho privado, como de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) conjuntamente con el Ministerio de Energía y Minas [7], [32] y por otras entidades no gubernamentales como el Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) [2]. Lugares que en el pasado carecían de energía eléctrica ahora la tienen, pero todavía existen lugares del apartado Perú que utilizan sistemas de electrificación ineficientes para proveer de energía eléctrica a sus hogares y lugares de trabajo. Una posible solución a ellos sería el uso de Sistemas Fotovoltaicos.

El uso de Sistemas Fotovoltaicos en el mundo se ha intensificado en los últimos años sobretodo en países en vías de desarrollo, mucha gente tiene pocas esperanzas de obtener electricidad por redes de distribución en un futuro cercano. El esperado crecimiento del consumo de energía en muchos países de Asia, América Latina y África, ofrece oportunidades empresariales muy prometedoras para la industria fotovoltaica.

Por lo tanto, el presente trabajo busca diseñar un cargador de baterías de 12 voltios haciendo uso de un panel fotovoltaico aplicado a zonas rurales. Los sectores a quien va dirigido este proyecto son: en primer lugar, a las comunidades rurales cuya demanda de potencia en los hogares es cubierta ineficientemente con el uso de baterías de 12 voltios, lo cual genera racionalización del uso de sus artefactos eléctricos, o cargas, así como los priva de un crecimiento sostenible a nivel socio-económico; y en segundo lugar, como fuente de alimentación alternativa para personas de toda índole.

## **CAPÍTULO 1: USO DE BATERÍAS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL Y SU ACTUAL PROCESO DE CARGA**

### **1.1 Características del uso rural de la electricidad en el país**

Según la Estadística Eléctrica por Regiones dada el año 2006 por el Ministerio de Energía y Minas [13], la cobertura eléctrica nacional llegó al 78.7% de la población. Esto demuestra, que aún existen muchos pueblos alejados de áreas céntricas del país que carecen de energía eléctrica o utilizan algún sistema de electrificación alternativo para satisfacer su abastecimiento eléctrico en su casa o lugar de trabajo.

El Estado es el encargado de brindar el servicio de energía eléctrica a la población, para lo cual financia proyectos de electrificación a través de instituciones; estas últimas realizan una evaluación de los posibles lugares, o los de mayor requerimiento, para ejecutar dichos proyectos.

Los proyectos de electrificación rural en el Perú están más abocados a la puesta de Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE) y de Sistemas Fotovoltaicos. Un ejemplo de ello es el Proyecto Taquile, nombre referenciado a la comunidad puneña en donde se realizó dicho proyecto y del cual se explicará en detalle más adelante.

### **1.2 Comunidad de Micaela Bastidas – Quebrada de Venado Muerto**

#### **1.2.1 Descripción**

La comunidad de Micaela Bastidas, en la Quebrada de Venado Muerto, está ubicada en el distrito de Supe, aproximadamente a 50 kilómetros de la provincia limeña de Barranca. Posee una población compuesta por aproximadamente 100 familias que tienen como principales actividades tanto la agricultura como la ganadería; además, son distribuidores de leche de empresas como Gloria S.A. Presenta un clima templado, con características climáticas mejores que la ciudad de Lima, debido a que la comunidad está más cerca a la región sierra del país.

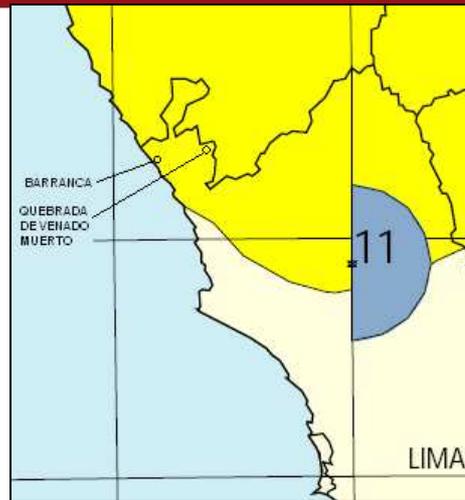


Figura 1.1 Mapa de Potencia disponible de Energía Solar en el Perú

FUENTE: Página Web del Ministerio de Energía y Minas [15]

Como se ve en la figura 1.1, tanto la Quebrada de Venado Muerto como la ciudad de Barranca se encuentran en la zona de alta potencia de energía solar durante el año (de 3000 a 4000 horas de sol anuales); poseen un coeficiente de irradiación solar promedio de  $4,5 \text{ kWh/m}^2$  (ver anexo 1), lo que significa se tienen 4,5 horas diarias, de promedio anual, a una irradiación solar máxima de 1000W.

Según las estadísticas dadas por el Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo en junio del año 2007 del promedio total de remuneraciones brutas nominales y reales de ejecutivos, empleados y obreros del sector agrícola y pesquero (Ver anexo 2), una comunidad como esta tiene en promedio un ingreso bruto mensual de S/.1189.2 nuevos soles.

El problema principal que afrontan las familias que viven en el poblado es carecer de electrificación pública. La mayoría (un 95% aproximadamente) utiliza baterías de 12 voltios, mayormente de plomo-ácido, para cubrir su demanda de potencia; los demás poseen generadores eléctricos. Al ser cubierta esta demanda de manera ineficiente, ellos tienen que racionalizar el uso de sus cargas a medida que la batería se va descargando. Además, dichas baterías son cargadas mediante proveedores externos, lo que causa una dependencia a este servicio e incurre en gastos mensuales

mayores a los que ellos demandarían si utilizaran un sistema de auto recarga propia.



Figura 1.2 Vista panorámica de afueras de la comunidad de Micaela Bastidas

De la visita realizada a la comunidad se supo que cada familia utiliza en promedio unas 3 baterías a la semana, y recién, al finalizar dicha semana, se procede a la recarga de las mismas a un precio de S/.11 nuevos soles por cada una de ellas.



Figura 1.3 Vista aérea satelital de la comunidad de Micaela Bastidas

FUENTE: Wiki Mapia [3]

El consumo promedio de potencia eléctrica de cada familia en la comunidad, de acuerdo a una encuesta verbal realizada en dicho poblado, se muestra a continuación en la siguiente tabla:

Artefactos Eléctricos	Cantidad	Potencia (Watts)	Tiempo de uso diario (horas)	Potencia (Watts-hora-diaría)
Foco cocina/sala	1	11	2	22
Foco dormitorio	1	11	3	33
TV 14"	1	53	2	106
Reproductor CD/DVD	1	14	2	28
Radio AM/FM	1	9	6	54
<b>Totales</b>	<b>5</b>	<b>98</b>		<b>243</b>

Tabla 1.1 Consumo promedio de potencia eléctrica en la comunidad de Micaela Bastidas

El punto de potencia máxima que se consume durante el día en este caso es de 78 Watts (foco dormitorio, TV y reproductor CD/DVD) en promedio, esta afirmación se hizo según la información recabada en la visita realizada (ver tabla 1.2). A continuación se muestra una tabla con el promedio de horas de uso diario de los artefactos eléctricos de una familia de la comunidad, de acuerdo a la encuesta verbal realizada:

Hora	Foco cocina/sala	Foco dormitorio	TV 14"	Reproductor CD/DVD	Radio AM/FM
06:00					X
07:00					X
08:00					
09:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					X
14:00					X
15:00					X
16:00					X
17:00					
18:00	X				
19:00	X				
20:00		X	X	X	
21:00		X	X	X	
22:00		X			

Tabla 1.2 Promedio de horas de uso de artefactos eléctricos diarios

### 1.2.2 Proceso actual de carga de baterías

A continuación se muestra un diagrama de flujo con el actual proceso, que utilizan dichos pobladores, de utilización de las baterías y su respectiva recarga; en donde se identificaron los problemas suscitados.

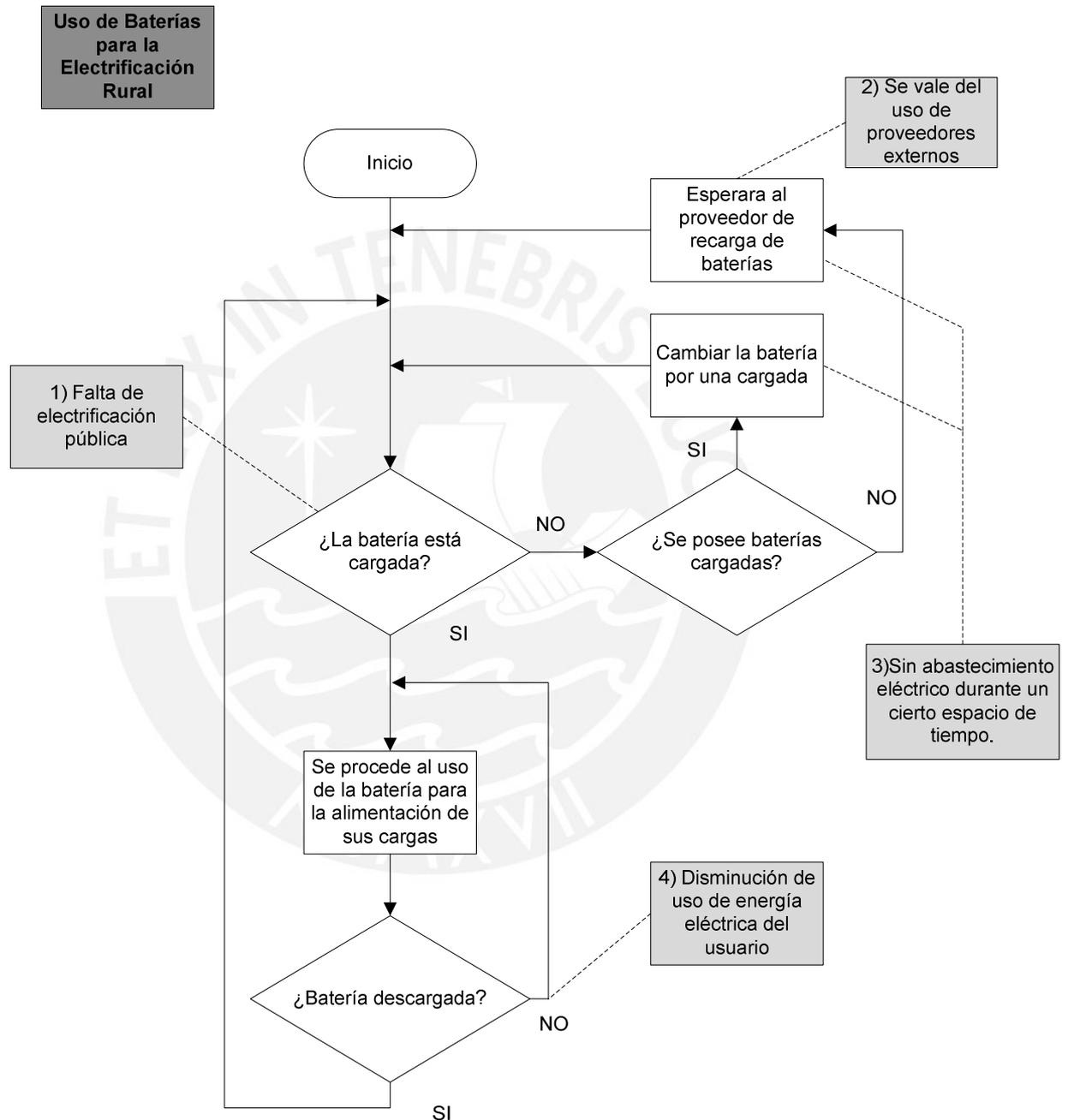


Figura 1.5 Diagrama de flujo del actual proceso de carga de baterías

### **1.3 Declaración del Marco Problemático**

En algunas localidades rurales del Perú utilizan baterías de 12 voltios, mayormente Plomo-Ácido, para su abastecimiento eléctrico, ya que carecen de electrificación pública. Esto debido a que los proveedores de energía eléctrica no ven como solvente la realización de un proyecto de electrificación para zonas alejadas de poblados, al ser consideradas una minoría.

El uso de baterías de 12 voltios es una buena solución ante el problema de falta de electricidad en sus hogares, pero el verdadero problema es que dependen de proveedores externos para cargar las mismas. Al final de cada semana, estos recogen las baterías descargadas de los pobladores que requieran su servicio y se las llevan para su carga respectiva. De esta manera, se les deja sin electricidad por cierto período de tiempo si es que no poseen alguna batería extra.

Cuando se tiene la batería cargada, los usuarios comienzan utilizando al máximo los artefactos eléctricos de sus hogares, pero, al transcurrir de las horas, esta batería se va descargando y se ven forzados a racionalizar el uso de sus cargas o, en su defecto, cambiar la batería por otra extra que posean. Esto trae consigo molestias en las familias, que requieren el uso continuo de sus artefactos o cargas eléctricas durante toda la semana y, además, porque se tiene que depender de un proveedor externo para la carga de sus baterías.

El problema también va más allá de las molestias generadas por la discontinuidad de energía eléctrica que poseen los pobladores y la dependencia de proveedores externos. Analizando la problemática se puede observar que la población, al contar con un sistema de generación de energía eléctrica aún primitivo, por así decirlo, ve afectado su desarrollo socio-económico, ya que podrían estar acordes con la tecnología actual existente para su autoabastecimiento eléctrico.

Al dedicarse la comunidad a labores ganaderas, en especial vacunas, con el abastecimiento continuo de energía se podría almacenar, por una mayor cantidad el tiempo, la leche recolectada a diario en refrigeradoras y así poder aumentar su radio de acción de mercado y hasta apuntar a competir con mercados extranjeros en la producción de leche. Los comuneros tienen la experiencia necesaria para esta producción, ya que son proveedores de leche a empresas como Gloria S.A., pero su mercado se reduce a solo esta empresa; con un sistema que le provea de energía eléctrica continua se podría ampliar la cantidad de empresas de las que sería distribuidor y con esto generar mayores ganancias a la población.

Son múltiples las labores que se podrían realizar con un servicio de energía eléctrica continua; por ejemplo, abrir un mercado de carácter avícola, para lo cual se necesitaría de luminarias para la correcta crianza y producción de dichos animales. También la dedicación a la parte logística de su producción, ya que se podría fomentar, y sin problemas de discontinuidad de energía eléctrica, el uso de computadoras personales para realizar esta labor.

## **CAPÍTULO 2: TECNOLOGÍAS UTILIZADAS PARA LA ELECTRIFICACIÓN RURAL**

### **2.1 Métodos de generación de energía eléctrica**

En la actualidad, existen diversas formas para la generación de energía eléctrica, tales como la hidroeléctrica, térmica, nuclear, eólica, solar termoeléctrica, solar fotovoltaica o la mareomotriz. En el Perú, según la Estadística Eléctrica por Regiones del año 2006 dada por el Ministerio de Energía y Minas [13], el 72% de la producción de energía eléctrica es hidroeléctrica, gracias a que se posee los recursos naturales necesarios para su aprovechamiento. Existen muchas zonas rurales en el país donde aún hace falta el suministro de esta energía, sea por motivos de distancia a un poblado céntrico o por la dificultad de interconectar eléctricamente ambas zonas. Por este motivo, algunas zonas rurales se ven en necesidad de buscar métodos alternativos, aunque ineficientes, para abastecerse eléctricamente; una de los más utilizadas es el uso de baterías de 12 voltios, mayormente las de plomo-ácido.

A continuación se dará a conocer las tecnologías de electrificación rural en el Perú y el impacto en sus comunidades. Se avocará en especial en la comparación entre el uso de los Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE) y su alternativa, la Electrificación Fotovoltaica, para la electrificación rural en el país.

#### **2.1.1 Los Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE)**

Alfonso Carrasco en su libro “La Electricidad en el Perú. Política estatal y electrificación rural” [4] define a las comunidades que utilizan Pequeños Sistemas Eléctricos (PSE) como el “conjunto de centros poblados geográficamente cercanos que tienen como fuente de energía un solo centro de generación y que están unidos eléctricamente por líneas de transmisión y subtransmisión”. El abastecimiento eléctrico mediante los PSE ha ido incrementando de manera razonable en las últimas décadas, esto lo comprueba los 198 PSE instalados en comunidades rurales según la contabilidad que llevo a cabo la Dirección Ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas el año 2001 [5]. Gran parte de las regiones

costa y sierra del Perú tienen PSE distribuidos a lo largo de sus departamentos, en el caso de la selva la cantidad de estos es mínima.

Se tienen dos divisiones en las PSE, los PSE integrales y los aislados. El primero de ellos, es el que tiene la capacidad de integrarse, en cierto plazo de tiempo, a los sistemas interconectados existentes; para este caso, las poblaciones con la facilidad de la cercanía a líneas de transmisión, pueden ser beneficiadas y tener la capacidad de tener un abastecimiento eléctrico. El segundo de ellos, es aquel cuya implementación puede realizarse a corto plazo y su generación es independiente, tal es el caso de las mini y micro centrales hidroeléctricas.

A pesar de tener a los PSE como una factible solución para la electrificación rural, factores como la accesibilidad o la falta de algún medio natural para la generación de energía eléctrica, sea el caso de la falta de caídas de agua para el uso de las mini y micro centrales hidroeléctricas, afectan la posibilidad de abastecer eléctricamente a toda población sea grande o pequeña del Perú.

### 2.1.2 Los Sistemas Fotovoltaicos

Los Sistemas Fotovoltaicos son los que se valen de la cantidad de irradiación solar de una comunidad para generar energía eléctrica mediante el uso de paneles fotovoltaicos. En el Perú, se está abriendo camino la generación de energía eléctrica del tipo fotovoltaica, esto lo demuestran los proyectos realizados, con el financiamiento del Estado, de instalación de Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios (SFD) en poblaciones rurales; estas últimas carecían de energía eléctrica o utilizaban otros métodos ineficientes para el abastecimiento eléctrico del poblado.

Proyectos de instalación de los SFD, como el Proyecto Piloto de Administración de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos a cargo de la empresa ADINELSA [6], empresa estatal de derecho privado, o el Proyecto Taquile en Puno, demuestran el interés del Estado por la electrificación rural vía este método. El método utilizado consiste en posicionar los

paneles fotovoltaicos fuera de la vivienda, de manera que este obtenga la mayor cantidad de brillo solar en su superficie; se le conecta un cargador de baterías o controlador de carga que regula la variación de voltaje y cantidad de corriente para cargar las baterías, las cuales almacenarán la energía para luego distribuirla a las cargas de la vivienda.

### **Proyecto Taquile – Puno**

El Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI) con el financiamiento del Proyecto para Ahorro de Energía del Ministerio de Energía y Minas (PAE/MEM) dio inicio en 1996 un proyecto piloto de electrificación fotovoltaica rural. Este proyecto se llevó a cabo en el poblado insular de Taquile en Puno, ubicado en la riva del lago Titicaca, para el cual se realizó la instalación de 100 SFD. A pesar de que este fue solo un proyecto piloto, se tuvo gran aceptación de la población que adquirió el sistema a un costo de 700 dólares, dividido en cuotas anuales de 150 dólares. Debido al auge de este proyecto, poblaciones cercanas como Urcos y Soto iniciaron los trámites de compra de estos sistemas para su uso domiciliario y se llegaron a instalar 72 de estos dispositivos [7].

## **2.2 Tecnologías en un Sistema Fotovoltaico**

### **2.2.1 Panel Fotovoltaico**

Los paneles fotovoltaicos son equipos electrónicos elaborados con la unión eléctrica de celdas que generan voltaje y corriente requeridos por la carga. Estas celdas se interconectan tanto en serie como en paralelo para la generación de un voltaje continuo a su salida, para esto, la cantidad típica de celdas interconectadas oscilará entre 36 a 40 para la carga de baterías de 12 voltios. Todo dependerá de la cantidad de irradiación solar del poblado rural en donde se aplique este proyecto, como de la composición espectral de la irradiación solar y de la temperatura de las celdas [8].

Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas de silicio monocristalino o policristalino. La diferencia entre una y otra radica en el procedimiento de fabricación. La célula del monocristalino está

compuesta de un único cristal de silicio. Debido a la orientación exactamente unidireccional del cristal se consiguen tan altos factores de rendimiento (hasta 17.5%). En el caso del policristalino en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas [9].

### 2.2.2 Cargador de baterías

El cargador de baterías es el que se encargará de recibir la energía suministrada por el panel fotovoltaico y adecuará esta cantidad de energía a la requerida por la batería (no mayor a 10A de corriente de carga según fabricante de baterías) a utilizarse para el abastecimiento eléctrico, ya que se quiere evitar que esta sufra de problemas como sobrecarga o de una descarga rápida. Por lo cual hará el control necesario para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico.

### 2.2.3 Baterías

Las baterías son las cuales almacenarán la energía suministrada por el panel fotovoltaico, que será regulada para luego llegar a la misma y cargarla. Existen varios tipos de baterías según su composición, a continuación se muestran tres de ellas:

Las de plomo-ácido se componen de varias placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico. Normalmente la aleación es de Plomo con un 2-6% de Antimonio. Cuanto menor es el contenido en Antimonio, menos resistente será la batería durante el proceso de carga.

La de Niquel-Cadmio es de tipo ciclo profundo y de fabricación parecida al de una de Plomo-Ácido, a diferencia que al utilizar Cadmio en la aleación en vez del plomo reduce el porcentaje de auto descarga que sufre la batería cuando no está en uso [9].

Las baterías llamadas solares destinadas a pequeñas instalaciones fotovoltaicas, donde la relación calidad-precio tiene que ser equilibrada. Sus placas están construidas con una aleación de plomo-calcio-antimonio, por lo que prácticamente no necesitan mantenimiento.

A continuación se presenta una tabla de estimación de la capacidad de la batería según el voltaje de los conectores.

Voltaje de la batería	Capacidad de la batería (%)
12.65	100
12.45	75
12.24	50
12.06	25
11.89	0

Tabla 1.3 Capacidad de la batería según el voltaje de la misma

### **2.3 Modelo Teórico**

Maximizar la cantidad de poblaciones rurales del país que cuenten con electricidad es una meta que se traza todo gobierno, para lo cual se necesita de métodos alternativos de generación eléctrica.

Los costos de electrificación para ciertos poblados rurales son altos, debido a que la ampliación de la red eléctrica a un lugar alejado implica gastos de cableado o construcción de centrales hidroeléctricas si el lugar lo permite.

Teniendo en cuenta lo expuesto, los Sistemas Fotovoltaicos serían una buena alternativa para la electrificación de estas zonas y se tendría menor costo de implementación; además de tener un abastecimiento continuo de electricidad.

Se contribuiría a reducir el impacto ambiental, ya que se utiliza una fuente renovable de energía, con la que se disminuiría la contaminación del ambiente que se produce con el desecho de baterías de plomo-ácido [10].

Mejorará la calidad de vida de la población, debido a que el usuario dejará de racionalizar el uso de sus cargas eléctricas porque tendría una carga continua de sus baterías mediante el panel fotovoltaico.

### Representación Gráfica del Modelo Teórico



Figura 2.1 Representación Gráfica del Modelo

FUENTE: Vegas Electric [11]

## **2.4 Beneficios del uso de sistemas fotovoltaicos**

El uso de sistemas fotovoltaicos trae consigo muchos beneficios, tanto en el ámbito social como en la ayuda de la conservación del medio ambiente.

El principal beneficio es el de evitar la dependencia de proveedores eléctricos que abastezcan de energía, los cuales, según información extraída de la página Web del Ministerio de Energía y Minas [13] en un sondeo en el año 2006, brindan servicios al 78.7 % de los 27.5 millones de habitantes en el Perú. A su vez, aumentaría el índice de empleo para ese porcentaje de población que aun carece de electrificación pública, tanto de una manera directa como indirecta.

Algunas personas de estos poblados utilizan generadores eléctricos, los cuales utilizan combustible para su funcionamiento; esto podría evitarse y así frenar el aumento de CO<sub>2</sub> en el ambiente, el cual crece, de manera gradual, en el mundo. A su vez, se eliminaría el ruido que se origina con el uso del mismo, el cual produce cierta molestia tanto en la propia vivienda como en las adyacentes.

La eficiencia de la distribución de energía eléctrica aumentaría, ya que disminuiría el porcentaje de pérdida de la misma, el cual, según la Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional en su Memoria Institucional 2006 [14] con información del Ministerio de Energía y Minas, ascendió al 7.9% de energía eléctrica bruta generada en el año 2006.

## **2.5 Objetivos**

### **2.5.1 Objetivo general**

Diseñar un cargador de baterías de 12 voltios haciendo uso de un panel fotovoltaico y aplicarlo en zonas rurales, las cuales no cuentan con electrificación pública y utilizan baterías de 12 voltios como alternativa de generación eléctrica, por lo que recurren a proveedores externos para la recarga de las mismas.

## 2.5.2 Objetivos secundarios

- Permitir la disminución de los gastos al auto recargar sus propias baterías.
- Seleccionar los componentes adecuados para realizar un diseño hecho a la medida de los requerimientos del usuario.
- Obtener un producto que no solo base su comercialización en un menor costo del sistema sino también en la atención personalizada hacia los potenciales compradores.

## 2.6 Diseños existentes de cargadores de baterías

A continuación se presentarán dos diseños de cargadores de baterías encontrados vía Internet, los cuales se evaluarán y se procederá a proponer en base a estos, en el capítulo 3, el diseño del cargador de baterías a utilizar; la comprobación del funcionamiento de este último se verá en el capítulo 4 en la parte de simulaciones.

### 2.6.1 Primer diseño existente

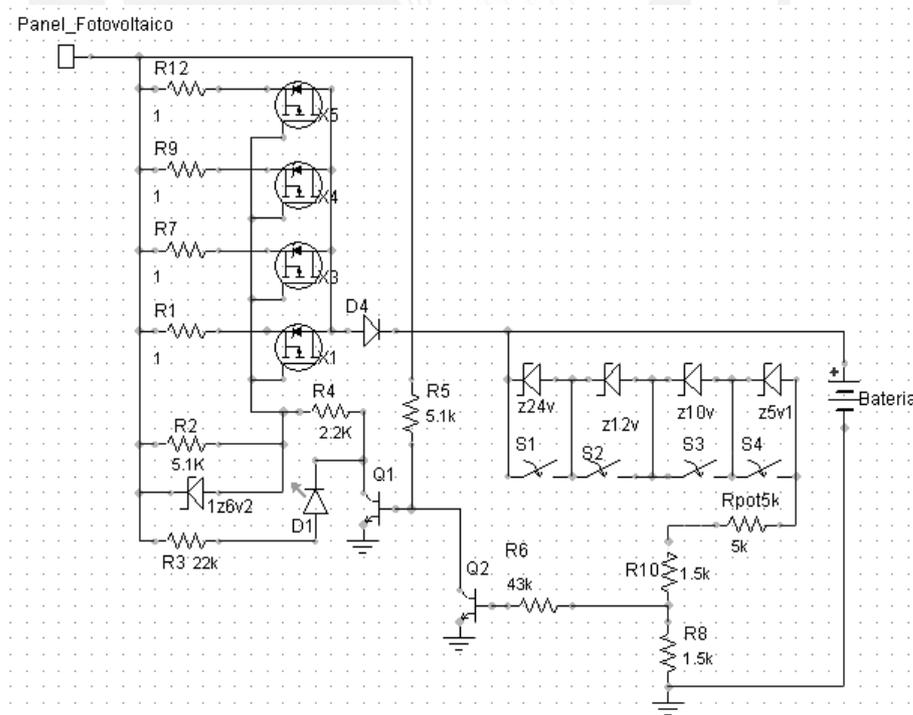


Figura 2.2 Diagrama esquemático del primer diseño existente para la carga de baterías mediante un panel fotovoltaico.

FUENTE: <http://www.telefonica.net/web2/pantufloagonza/solar3.htm>

## Descripción de su funcionamiento

El cargador de baterías aquí presentado cuenta con varias etapas, las cuales se enunciarán a continuación:

- Una entrada, la cual es el panel fotovoltaico.
- Una salida, la cual es la batería a ser cargada
- Un selector de voltaje a regular el cual se cambiará según el voltaje de la batería a utilizar. Con este se selecciona el diodo zener, que regulará el máximo valor de voltaje que debe tener la batería.
- Un diodo MBR1060 con capacidad de 60 Voltios y 10 Amperios, el cual tiene como fin no dejar que la corriente de la batería se descargue en sentido contrario por el panel fotovoltaico.
- Una configuración de 4 MOSFET IRF5210 en paralelo para el control de corriente a suministrarse a la batería. El IRF5210 es un MOSFET de enriquecimiento tipo P, el cual se activa por un voltaje negativo entre el pin de compuerta y surtidor en un rango de -2 a -4 Voltios y soporta una corriente de surtidor a drenador de hasta 40 amperios. Estos datos fueron sustraídos de la hoja técnica del mismo.
- El control de paso de corriente hacia la batería lo dictamina el voltaje que presente la misma. En este caso se tomó como ejemplo una batería de 12 voltios y se seleccionó el valor del diodo zener de 10 voltios. Si su valor de voltaje empieza a exceder el máximo permitido para su funcionamiento eficiente, es decir más de 12.7 voltios (valor máximo regulable por el potenciómetro), la corriente que ya circula por las resistencias hacia el transistor Q3 lo activará y este pasará a estado de saturación. Al estar en saturación este transistor, el voltaje entre el colector y el emisor será de aproximadamente 0.2 con lo que el transistor Q2 pasará a estado de corte; esto hará que se desactiven los MOSFET y bloqueen el paso de corriente hacia la batería.

### Ventajas del Diseño

- Se colocan MOSFET en paralelo para que estos se dividan la corriente proveniente del panel fotovoltaico y así disipen el calor producido por esta, de manera más efectiva. Además se colocan resistencias en serie con el surtidor, debido a que la tensión de umbral de los mismos varía de uno a otro a pesar de ser del mismo tipo.
- Se realiza la desactivación del paso de corriente a la batería si esta llega a un valor adecuado de voltaje; alargando así su vida útil.
- Se posee un diodo de luz, el cual se encuentra encendido mientras hay paso de corriente hacia la batería y se apaga cuando no lo hay.
- Se cuenta con un diodo que evita la descarga de la batería a través del panel fotovoltaico.

### Desventajas del Diseño

- Se tiene una carga continua de las baterías en todo momento y no una carga pulsante.
- Si las variaciones de corriente suministradas por el panel fotovoltaico son bruscas, estas irán directamente sin ningún tipo de acondicionamiento ante estas fluctuaciones.
- Si la batería llega a descargarse debajo de su nivel de voltaje óptimo, las cargas conectadas a ella seguirán consumiendo corriente sin ninguna restricción.
- No poseen dispositivos de protección ante corrientes elevadas, se debería tener algún fusible en la entrada en serie con el panel fotovoltaico.

### 2.6.2 Segundo diseño existente

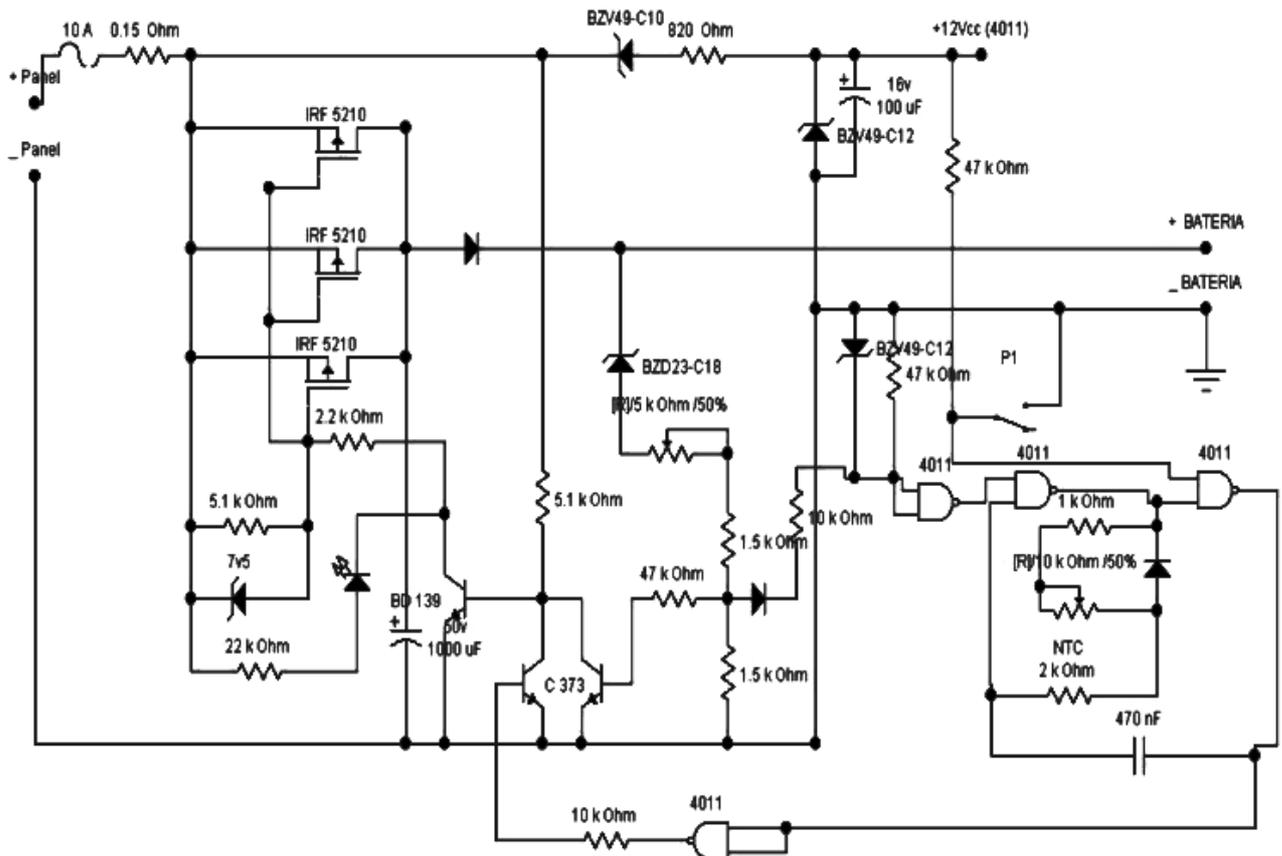


Figura 2.3 Diagrama esquemático del segundo diseño presentado para la carga de baterías mediante un panel fotovoltaico.

FUENTE: <http://www.telefonica.net/web2/pantufloagonza/regulador.htm>

#### Descripción de su funcionamiento

El cargador de baterías aquí presentado cuenta con varias etapas, las cuales se enunciarán a continuación:

- Una entrada, la cual son dos paneles fotovoltaicos que pueden tener a su salida hasta 42 voltios a pleno sol y una corriente máxima de 5,59 amperios; el rango de voltaje especificado es de 28 a 42 voltios [17].
- Una salida, la cual es un arreglo en serie de dos baterías de 12 voltios.
- Una configuración de 3 MOSFET IRF5210 en paralelo para el control de corriente a suministrarse a las baterías. El IRF5210 es un MOSFET de enriquecimiento tipo P, el cual se activa por un voltaje

- negativo entre el pin de compuerta y surtidor en un rango de -2 a -4 Voltios y soporta una corriente de surtidor a drenador de hasta 40 amperios. Estos datos fueron sustraídos de la hoja técnica del mismo
- Un condensador a la salida de los MOSFET para regular las variaciones bruscas, suavizando las fluctuaciones rápidas que se puedan producir por parte de la entrada.
  - Un diodo de potencia, el cual tiene como fin no dejar que la corriente de las baterías se descargue en sentido contrario por los paneles solares.
  - El control de paso de corriente hacia el arreglo de baterías lo dictamina el voltaje que presente el mismo. Si su valor de voltaje empieza a llegar a su valor tope (valor máximo regulable por el potenciómetro), la corriente que ya circula por las resistencias hacia el transistor C373 lo activará y este pasará a estado de saturación. Al estar en saturación este transistor, el voltaje entre el colector y el emisor será de aproximadamente 0.2 con lo que el transistor BD139 pasará a estado de corte; esto hará que se desactiven los MOSFET y bloqueen el paso de corriente hacia la batería.
  - Posee un oscilador hecho con compuertas lógicas NAND con una frecuencia variable de 180 a 500 Hertz aproximadamente; esta variación a causa del cambio de resistencia tanto del potenciómetro como del termistor que posee. Esta oscilación de voltaje hará cambiar de estado al transistor C373, conectado a la salida de este oscilador luego de una compuerta lógica NAND, de corte a saturación con la frecuencia antes mencionada. Esto hará que el transistor BD139 varíe también su estado según esta frecuencia; y con lo que se daría o no el paso de corriente a través de los MOSFET.
  - La alimentación del integrado 4011 de las compuertas lógicas NAND es alimentado con 12 voltios provenientes de los paneles fotovoltaicos y enclavados con un diodo zener; además posee un condensador en paralelo para que las variaciones de voltaje no sean tan bruscas.

### Ventajas del Diseño

- Se colocan MOSFET en paralelo para que estos se dividan la corriente proveniente del panel fotovoltaico y así disipen el calor producido por este de manera más efectiva.
- Se realiza la desactivación del paso de corriente al arreglo de baterías si este llega a un valor adecuado de voltaje; alargando así su vida útil.
- Se cuenta con un diodo de luz, el cual se encuentra encendido mientras hay paso de corriente hacia los acumuladores y se apaga cuando no lo hay.
- Se coloca un diodo que evita la descarga de las baterías a través del panel fotovoltaico.
- Se da una carga pulsante de las baterías, lo cual alarga la vida útil de las mismas.
- Se cuenta con un fusible de protección ante alzas de corriente mayores de las óptimas para un buen funcionamiento de todo el circuito y sus componentes.

### Desventajas del Diseño

- El diseño analizado es para una configuración en serie de 2 paneles fotovoltaicos y 2 baterías, caso que no se requiere en nuestro diseño.
- Si las baterías llegan a descargarse debajo de su nivel de voltaje óptimo, las cargas conectadas a estas seguirán consumiendo corriente sin ninguna restricción.
- No se colocan resistencias en serie con el surtidor, esto podría originar el mal funcionamiento y el posible daño de los MOSFET.

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CARGADOR DE BATERÍAS**

### **3.1 Planteamiento del diseño a elaborar**

En el presente capítulo, se propone el diseño del cargador de baterías usando un panel fotovoltaico, así como sus correspondientes diagramas de bloques, esquemáticos y flujo respectivos; además de tablas comparativas del porqué de la selección de los componentes a utilizar.

Para prolongar la vida útil de la batería al cargarla, el fabricante recomienda que esta carga sea sin cambios bruscos de voltaje y corriente, debido a que al usar un panel fotovoltaico se originarían estas variaciones debido a cambios en la irradiación solar. Además, se requiere que la corriente para cargarla llegue a ella en forma de pulsos, con cierta frecuencia y ciclo de trabajo. De esta manera, se dejaría de lado la manera convencional de carga, la cual es de forma continua, y con esto se prolongaría la vida útil de la batería [16], [17], [18].

Igualmente, toda carga conectada a la batería deberá ser automáticamente desconectada si la capacidad de esta presenta porcentajes muy bajos; las cargas volverán a ser conectadas cuando esta tenga niveles de voltaje mayores, lo que significa mayor capacidad de la misma, y con esto se ofrecería un funcionamiento eficiente.

Se debe desconectar también todo flujo de corriente hacia la batería si esta llegó al punto de máxima carga. Además se debe colocar un indicador visual para mostrar que se ha alcanzado este estado.

### **3.2 Diagrama de bloques del diseño del cargador de baterías**

De acuerdo a los requerimientos planteados en el punto 3.1 del presente documento se presenta el diagrama de bloques propuesto de todo el sistema fotovoltaico:

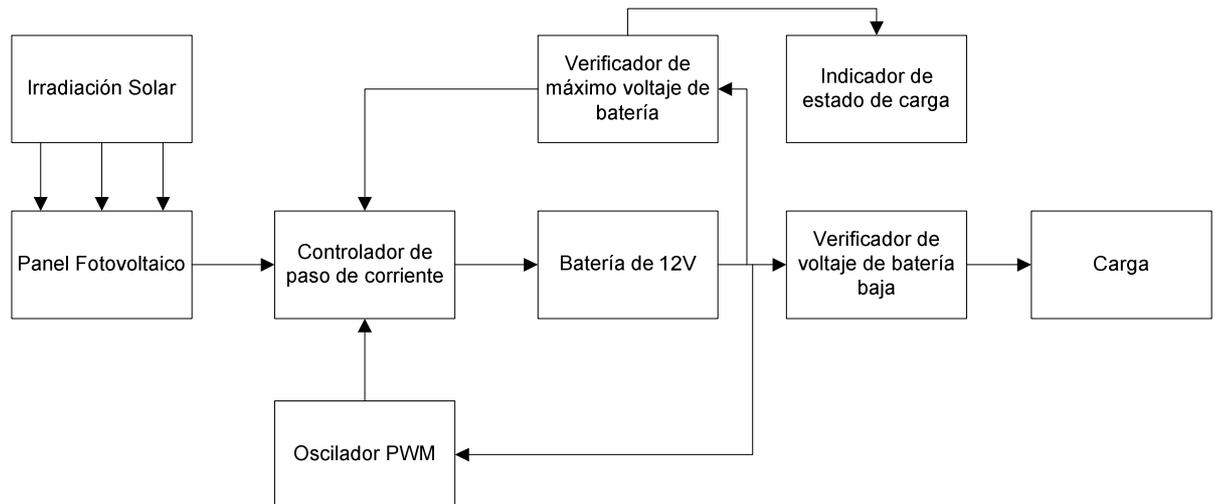


Figura 3.1 Diagrama de bloques del diseño del cargador de baterías

### Irradiación Solar

Las condiciones climáticas del poblado, en donde se realizará la instalación, dictaminarán la cantidad de irradiación solar. El promedio de esta debe ser el apropiado, para optimizar así el proceso de carga de la batería.

### Panel Fotovoltaico

El cual, de acuerdo a la intensidad de irradiación solar, suministrará corriente a la batería a un determinado valor de voltaje. La inclinación del mismo deberá ser la adecuada para captar la mayor parte de los rayos solares y así suministrar la mayor cantidad de potencia a la batería.

### Controlador de paso de corriente, Oscilador PWM y Verificador de máximo voltaje de batería

El controlador de paso de corriente, como su nombre lo indica, hará los cortes de circulación de corriente. Este control se logra con un oscilador PWM, el cual mediante una onda cuadrada con ciclo de trabajo regulable, activará o desactivará el controlador; se tendrá entonces una carga discontinua de la batería y por consiguiente se optimizará la carga de la misma y prolongará su vida útil.

Se tendrá también un verificador de máximo voltaje de batería, el cual, cuando esta llegue a su valor de voltaje máximo prefijado (valor ajustable), desactivará todo paso de corriente hacia la misma.

### **Batería de 12 V**

Es el acumulador de carga, el cual recibirá toda la energía suministrada por el panel solar y será regulada por el cargador. Proporcionará la potencia necesaria para el uso de las cargas conectadas a la misma.

### **Indicador de estado de carga de batería**

Mediante un diodo de luz se indicará el estado de carga de la batería, el cual se apagará cuando la misma llegue a su valor de voltaje máximo de carga.

### **Verificador de voltaje de batería baja**

Al igual que el verificador de máximo voltaje de batería, este lo que verifica es que el voltaje de la batería no descienda demasiado para que la misma no pase a estado de ciclo profundo. Este estado se da cuando la batería pasa a tener un voltaje de aproximadamente 12 V, en este caso se cortará la circulación de corriente de la batería a las cargas, para que esta se cargue hasta niveles de voltaje adecuados para su funcionamiento y luego reconecte las cargas conectadas a la misma.

### **Carga**

A las cuales se les suministrará corriente, sea por parte del panel fotovoltaico directamente o de la batería



- Un diodo, el cual tiene como fin no dejar que la corriente de la batería se descargue en sentido contrario por el panel fotovoltaico.
- Una configuración de 4 MOSFET en paralelo para el control de corriente a suministrarse a la batería. Dichos MOSFET son de enriquecimiento tipo P, el cual se activa por un voltaje negativo entre el pin de compuerta y surtidor en un rango estipulado.
- Un condensador a la salida de los MOSFET para regular las variaciones bruscas, suavizando las fluctuaciones rápidas que se puedan producir por parte de la entrada.
- El control de paso de corriente hacia la batería lo dictamina el voltaje que presente la misma. Si su valor de voltaje empieza a exceder el máximo permitido para su funcionamiento eficiente, es decir, más de 12.7 voltios (valor máximo a regular por el potenciómetro Rpot10k), la corriente que ya circula por las resistencias hacia el transistor Q2 lo activará y este pasará a estado de saturación. Al estar en saturación este transistor, el bajo voltaje entre su colector y emisor hará que el transistor Q1 pase a estado de corte; esto hará que se desactiven los MOSFET y bloqueen el paso de corriente hacia la batería.
- Posee un oscilador hecho con compuertas lógicas NAND con una frecuencia y ciclo de trabajo (menor a 50%) variables, esta variación la produce el cambio de resistencia del potenciómetro que posee.  
Cuando se tiene un voltaje bajo (menor al voltaje umbral de la compuerta lógica) a la entrada de la NAND A4, su salida estará en alta y por consiguiente una entrada de las NAND A2 y A3 también. Asumiendo el condensador descargado, entonces la salida de la NAND A3 estará en cero y la otra entrada de la NAND A2 también, por lo tanto la otra de sus entradas se encontrará en alta y el condensador empezará a cargarse con la corriente que circulará por R14, R21 y Rpot5k. Al aumentar el voltaje del mismo, la entrada de la NAND A2 superará su voltaje umbral y su salida pasará a baja, esto hará que la salida de la NAND A3 pase a estado de alta y el condensador se comenzará a descargar. En este último caso, el condensador se descargará ya no por la resistencia R14, ya que esta

tiene un diodo en paralelo, sino por la resistencia R21 y el potenciómetro Rpo5k.

Cuando se tiene un voltaje alto (mayor al voltaje umbral de la compuerta lógica) a la entrada de la NAND A4, su salida estará en baja, lo que hará que la salida de la NAND A3 se encuentre siempre en alta y el oscilador deje de operar.

- El oscilador antes mencionado hará cambiar de estado al transistor Q3, conectado a la salida de este oscilador, de estado de corte a saturación con la frecuencia del mismo; esto hará que el transistor Q1 varíe también su estado según esta frecuencia, con lo que activaría o no al MOSFET para dar paso al flujo de corriente. Nótese que a menor ciclo de trabajo del oscilador, mayor va a ser la cantidad de corriente que circulará hacia la batería, esto debido a que si se tiene menor tiempo en voltaje alto de dicho oscilador, el transistor Q3 estará en estado de corte el tiempo en voltaje bajo del oscilador y hará que el transistor Q1 esté más tiempo activo, con lo que se activaría el MOSFET y por consiguiente se cargaría la batería. De manera contraria para cuando se tenga mayor ciclo de trabajo, menor será la corriente que circulará a la batería.
- Las compuertas lógicas NAND son alimentadas con 6.2 voltios, enclavados con un diodo zener dependiente de la salida de voltaje del panel fotovoltaico. Además se le ha colocado un condensador en paralelo al diodo zener en caso ocurriesen cambios bruscos de voltaje.
- Se cuenta con un relé (A6) el cual nos hará las veces de interruptor de desactivación de las cargas conectadas a la batería con un diodo en paralelo para que la bobina del relé no genere algún pico de voltaje luego que la corriente deja de circular por ella. Un amplificador operacional (OPAM), en serie con la compuerta de un transistor (Q4), compara un voltaje fijado por un zener de 6.2 voltios en la entrada inversora, que tiene como fuente a la batería, con un divisor de voltaje en la entrada no inversora, el cual tiene la misma fuente. Cuando el voltaje de la batería sea muy cercano a 12V (ya en estado crítico), el OPAM tendrá a su salida un nivel bajo de voltaje y el

transistor pasará a estado de corte, con lo cual no circulará corriente por la bobina del relé y este desactivará su contacto para cortar la circulación de corriente por las cargas. Asimismo, cuando la batería esté en un voltaje mayor al antes mencionado (aproximadamente 12.1V), el OPAM tendrá a su salida aproximadamente el valor de la fuente de referencia, el transistor dejará circular la corriente por la bobina del relé y este activará su contacto para dejar circular la corriente por las cargas.

- El OPAM será alimentado con 6.2 voltios, enclavados con un diodo zener dependiente del voltaje de la batería.

### Ventajas del Diseño

- Se colocan MOSFET en paralelo para que estos se dividan la corriente proveniente del panel fotovoltaico y así disipen el calor producido por esta de manera más efectiva. Además se colocan resistencias en serie con el surtidor, debido a que la tensión de umbral de los mismos varía de uno a otro a pesar de ser del mismo tipo y con esto se evitará que por uno solo circule toda la corriente del panel fotovoltaico hacia la batería en vez de dividírsela por los cuatro.
- Se realiza la desactivación del paso de corriente a la batería si esta llega a un valor adecuado de voltaje; alargando así su vida útil.
- Se incluye un diodo de luz, el cual se encuentra encendido mientras hay paso de corriente hacia el acumulador y se apaga cuando no lo hay.
- Se cuenta con un diodo que evita la descarga de la batería a través del panel fotovoltaico.
- El oscilador cuenta con un potenciómetro, el cual será variado para obtener mayor o menor porcentaje de corriente para cargar la batería. Esto hace que, al disminuir el valor de la resistencia del potenciómetro, la frecuencia del oscilador aumentará, su periodo y ciclo de trabajo disminuirán y por consiguiente como antes se explicó se tendrá mayor cantidad de corriente que circulará hacia la batería, lo mismo para el caso contrario.

- El oscilador también servirá como dispositivo de protección debido a que, cuando llegue un valor elevado de voltaje en su entrada, este dejará de oscilar y mantendrá su valor en alta. Por consiguiente, el transistor Q3 se encontrará en estado de saturación, lo que hará que el transistor Q1 esté en estado de corte y así no circulará corriente del panel fotovoltaico hacia la batería.
- La batería tiene en todo momento una carga pulsante debido al oscilador, lo cual alarga la vida útil de las mismas.
- Se protege la batería ante un posible estado de ciclo profundo mediante la desactivación de las cargas a utilizarse; si esta cuenta con un valor de voltaje muy cercano a los 12 voltios aproximadamente se corta el paso de corriente por las mismas.
- Se tienen fusibles de protección ante alzas de corriente mayores de las óptimas, para un buen funcionamiento de todo el circuito y sus componentes.

### 3.4 Cálculos justificativos del diseño propuesto

#### a) Controlador de paso de corriente

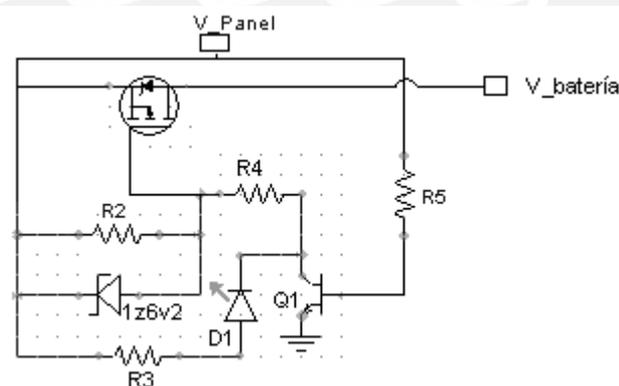


Figura 3.3 Circuito simplificado del controlador de paso de corriente hacia la batería, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

En la figura 3.3 se muestra un circuito simplificado del controlador de paso de corriente hacia la batería, tomado del diseño propuesto en la figura 3.2, del cual se procederá a hallar los valores de resistencias para un funcionamiento óptimo del circuito.

Asumiendo:  $V_{\text{Panel}} = 16.8 \text{ V}$   
 $V_{D1} = 1.85 \text{ V}$  (voltaje típico diodo de luz)  
 $V_{CE-SAT} = 0.2 \text{ V}$  (de Q1)

Se quiere tener como máximo una corriente de 50mA que circule por el diodo de luz para tener la máxima luminiscencia, entonces:

$$R3 = \frac{V_{\text{panel}} - V_{D1} - V_{CE-SAT}}{i_C} = \frac{16.8V - 1.85V - 0.2V}{50mA} = 295\Omega \dots \dots \dots (\text{Ecuación } _3.1)$$

Se seleccionará una resistencia de 330Ω para R3 al tener un valor comercial. La corriente que circulará por el diodo será ahora:

$$i_{C1} = \frac{V_{\text{panel}} - V_{D1} - V_{CE-SAT}}{R3} = \frac{16.8V - 1.85V - 0.2V}{330\Omega} = 44.7mA \dots \dots \dots (\text{Ecuación } _3.2)$$

Para la selección del transistor Q1 se tendrá que tener en cuenta uno que pueda soportar corrientes en el orden de los Amperios, en caso de una posible sobre corriente generada por el panel fotovoltaico.

En un MOSFET del enriquecimiento de tipo p, el valor de voltaje, entre los pines de compuerta y surtidor ( $V_{GS}$ ), mínimo para su activación es aproximadamente de -2V a -4V. Asimismo, el valor de voltaje máximo entre compuerta y surtidor típico es  $\pm 20V$ .

Lo que se ha dispuesto a colocar es un divisor de voltaje entre el voltaje del panel fotovoltaico, el cual es el mismo punto del surtidor del MOSFET, y colector del transistor Q1; el punto medio entre las 2 resistencias se conectará al pin de compuerta del MOSFET. Al realizar dicha configuración se disminuirá el voltaje del panel fotovoltaico para adecuarlo a uno óptimo para la activación del MOSFET. Además se le colocó un diodo zener entre  $V_{GS}$  (también paralelo a R2) para no sobrepasar el valor

de voltaje máximo entre compuerta y surtidor ante un posible caso de sobrevoltaje.

Para asegurar la activación del MOSFET el valor del  $V_{GS}$  deberá ser aproximadamente  $-6V$ . Se hará que la activación del MOSFET sea aproximadamente desde que el voltaje del panel fotovoltaico sea de  $10V$ , entonces:

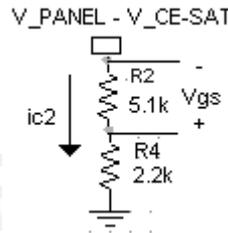


Figura 3.4 Circuito simplificado de aseguramiento de activación del MOSFET, esquemático en el software B2 Spice A/D Versión 5.

$$V_{PANEL} - V_{CE-SAT} = 10V - 0.2V = 9.8V \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.3)$$

$$V_{R2} = -V_{GS} = 6V \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.4)$$

Entonces el valor de voltaje en  $V_{R4}$  será:

$$V_{R4} = V_{PANEL} - V_{CE-SAT} - V_{R2} = 9.8V - 6V = 3.8V \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.5)$$

Aproximando los valores de voltajes se puede asumir que el valor de voltaje  $V_{R4}$  es cercano a la tercera parte del valor de  $V_{PANEL} - V_{CE-SAT}$ .

Si asumimos  $R2 = 5.1k\Omega$  y  $R4 = 2.2k\Omega$  (valores comerciales), entonces:

$$V_{R4} = \frac{(V_{PANEL} - V_{CE-SAT}) \times R4}{R2 + R4} = \frac{9.8V \times 2.2k\Omega}{7.3k\Omega} = 3V \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.6)$$

Para este valor de  $V_{R4}$ , el valor de  $V_{GS}$  será  $-7V$ .

La corriente máxima que circulará por dichas resistencias será cuando el panel fotovoltaico de su máximo voltaje ( $V_{Panel} = 16.8V$ ). Entonces:

$$i_C = \frac{V_{PANEL} - V_{CE-SAT}}{R2 + R4} = \frac{16.8V - 0.2V}{7.3k\Omega} = 2.3mA \dots \dots \dots (Ecuación \_ 3.7)$$

Para no sobrepasar el valor de voltaje máximo de  $V_{GS}$  ante un posible caso de sobrevoltaje en el circuito, y además para mantener su voltaje cercano a los -6V, el voltaje que tendrá el diodo zener será de 6.2V (valor comercial).

Al tener ya los valores de resistencias de las dos ramas se puede determinar la corriente de colector la cual será:

$$i_C = i_{C1} + i_{C2} = 44.7mA + 2.3mA = 47mA \dots \dots \dots (Ecuación \_ 3.8)$$

Para asegurarnos que el transistor se encuentre en estado de saturación asumiremos que el valor de  $\beta$  del transistor es igual a 10. Entonces la corriente de la base debería ser:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{47mA}{10} = 4.7mA \dots \dots \dots (Ecuación \_ 3.9)$$

Asumiendo un  $V_{BE}$  de saturación igual a 0.7V, entonces el valor de la resistencia R5 será:

$$R5 = \frac{V_{PANEL} - V_{BE-SAT}}{i_B} = \frac{16.8V - 0.7V}{4.7mA} = 3.43k\Omega \dots \dots \dots (Ecuación \_ 3.10)$$

Se elegirá entonces un valor del R5 igual a 3.3k $\Omega$  (valor comercial).

#### b) Cantidad de MOSFET en paralelo y resistencia en serie con surtidor

La mayoría de los MOSFET tienen una resistencia de 1 $\Omega$  aproximadamente entre sus pines drenador y surtidor, con lo que la potencia que disipará será aproximadamente el valor de la corriente que circula por el, al cuadrado; es por ello que se quiere calcular cuantos MOSFET se colocarán en paralelo para reducir la potencia que disiparán individualmente. Se sabe también que poseen, en general, una resistencia térmica máxima entre la unión del componente y el ambiente de

aproximadamente 62°C/W y una temperatura máxima de operación de 175°C.

Según la Ley Ohmica térmica:

$$T_J - T_A = P \times R_{th\_t} \dots \dots \dots (Ecuación\_3.11)$$

Con:

- T<sub>J</sub>: Temperatura máxima de la unión del elemento semiconductor
- T<sub>A</sub>: Temperatura ambiente
- P: Potencia consumida por el componente
- R<sub>th\_t</sub>: Resistencia térmica total entre la unión y el aire del ambiente.

Asumiendo una corriente de 5A que vendría del panel fotovoltaico y una temperatura de ambiente de 25°C, se muestra a continuación los valores que tendrá la T<sub>J</sub> estimada de los MOSFET dependiendo de la potencia que disipe cada uno; a medida que se coloquen mayor cantidad de estos en paralelo, la corriente que circulará por cada uno de estos disminuirá y por consiguiente disipará menor cantidad de potencia individualmente.

Cantidad de MOSFET en paralelo	Corriente por cada MOSFET (A)	T <sub>J</sub> (°C) de cada uno de los MOSFET
2	2.5	412.5
3	1.67	197.2
4	1.25	102.5

Tabla 3.1 Valor de la temperatura estimada de la unión del componente semiconductor

Como se ve, al poner 4 MOSFET en paralelo no se supera la máxima temperatura de operación del MOSFET, es por eso que estrictamente no es necesario el uso de disipadores, pero se le colocarán con el fin de disminuir su temperatura de operación y de esta manera alargar su vida útil [19].

En los MOSFET, la tensión de umbral de activación varía a pesar de ser del mismo tipo. Si se les coloca en paralelo no siempre se activarán a la

vez y los que sí se activen dejarán pasar por ellos una mayor cantidad de corriente, en vez de distribuirla. Por eso es que es necesario poner una resistencia en serie con el surtidor pero de un valor muy bajo para que no afecte demasiado con caída de tensión. Se asumirá para este caso resistencias de  $1\Omega$ , así al dividirse la corriente por los 4 MOSFET su caída de tensión y su potencia consumida sea baja.

**c) Verificador del máximo voltaje de la batería**

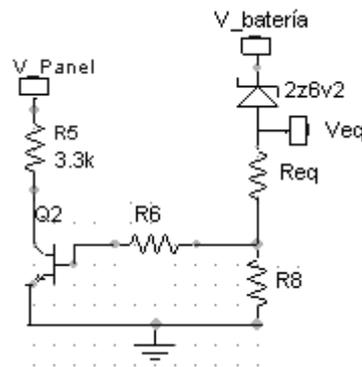


Figura 3.5 Circuito simplificado del verificador de máximo voltaje de la batería, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

En la figura 3.5 se muestra un circuito simplificado del verificador de máximo voltaje de la batería, tomado del diseño propuesto en la figura 3.2, del cual se procederá a hallar los valores de resistencias para un funcionamiento óptimo del circuito.

- Asumiendo:
- $V_{Panel} = 16.8\text{ V}$
  - $V_{CE-SAT} = 0.2\text{ V}$  (de Q2)
  - $V_{BE-SAT} = 0.7\text{ V}$  (de Q2)

La corriente que circulará entonces por el colector de Q2 será:

$$i_c = \frac{V_{PANEL} - V_{CE-SAT}}{R5} = \frac{16.8V - 0.2V}{3.3k\Omega} = 5mA.....(Ecuación \_ 3.12)$$

Si se toma como referencia un transistor 2N3904, entonces de la gráfica de la región de saturación del colector  $V_{CE}$  vs.  $i_B$  para un  $V_{CE-SAT}$  de 0.2V y

una corriente de colector de 5mA, la corriente de base ( $i_B$ ) será aproximadamente 0.18mA.

El voltaje que tiene que tener en la resistencia R8 debe ser mucho mejor que el voltaje de la batería pero lo suficiente para saturar al transistor. Se asumirá una resistencia R6 de valor 3.3k $\Omega$ , entonces el voltaje en la resistencia R8 para que el transistor esté en saturación será:

$$V_{R8} = V_{BE-SAT} + i_B \times R6 = 0.7V + 0.18mA \times 3.3k\Omega = 1.29V \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.13)$$

Se comienza por asumir la resistencia R8 para tener un valor conocido de la corriente que circula por la rama que viene de la batería. Se asumirá un valor de 1.5k $\Omega$  (valor comercial), entonces la corriente por R8 será:

$$i_{R8} = \frac{V_{R8}}{R8} = \frac{1.29V}{1.5k\Omega} = 0.86mA \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.14)$$

Los rangos máximos de voltaje que se quieren tener de la batería a cargarse van de 12.1V a 12.7V. Se ha colocado un diodo zener de 6.2V (valor comercial) para tener una disminución fija de voltaje, entonces el  $V_{eq}$  tendrá valores entre 5.9V y 6.5V.

Para  $V_{eq} = 5.9V$  la  $R_{eq}$  será:

$$R_{eq} = \frac{V_{eq} - V_{R8}}{i_{R8}} = \frac{5.9V - 1.29V}{0.86mA} = 5.36k\Omega \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.15)$$

Para  $V_{eq} = 6.5V$  la  $R_{eq}$  será:

$$R_{eq} = \frac{V_{eq} - V_{R8}}{i_{R8}} = \frac{6.5V - 1.29V}{0.86mA} = 6.06k\Omega \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.16)$$

Por lo tanto la resistencia  $R_{eq}$  tiene que tener una variación de 700 $\Omega$ .

Fijaremos un valor de resistencia cercano no variable, para este caso tres resistencias en serie: una resistencia de 5.1kΩ y dos de 100Ω (valores comerciales) y tener así una resistencia equivalente de 5.3kΩ. Ahora lo que se necesita es una resistencia en serie con la anterior que varíe con un rango máximo de hasta 700Ω para que no cambien los valores de voltaje máximos que tiene que tener la batería según la  $R_{eq}$ .

Para esto se colocará en serie con la resistencia de 5.3kΩ, un arreglo de 2 resistencias en paralelo. La primera una resistencia fija cercana a 700Ω, se elegirá una resistencia de 820Ω (valor comercial), para la segunda se necesitará de un potenciómetro con un rango comercial conocido. El circuito equivalente al de la figura 3.5 con los valores encontrados será:

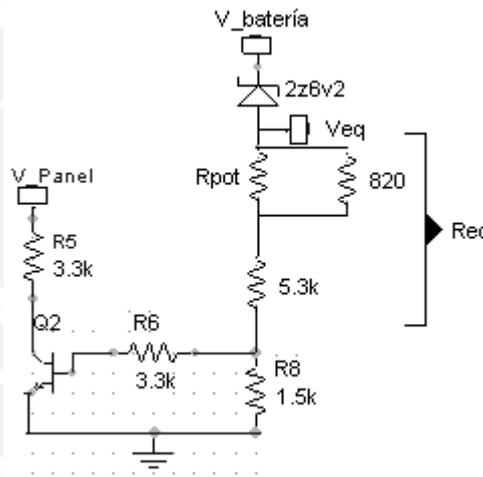


Figura 3.6 Circuito simplificado del verificador de máximo voltaje de la batería con valores hallados, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

Se asumirá un valor de 10kΩ para el potenciómetro  $R_{pot}$  a ser analizado a continuación:

Para un  $R_{pot_{min}} = 50\Omega$

$$R_{eq} = 5.3k\Omega + \frac{R_{pot_{min}} \times 820\Omega}{R_{pot_{min}} + 820\Omega} = 5.3k\Omega + \frac{50\Omega \times 820\Omega}{50\Omega + 820\Omega} = 5.3k\Omega.....(Ecuación \_ 3.17)$$

Para un  $R_{pot_{max}} = 10k\Omega$

$$R_{eq} = 5.3k\Omega + \frac{R_{pot_{max}} \times 820\Omega}{R_{pot_{max}} + 820\Omega} = 5.3k\Omega + \frac{10k\Omega \times 820\Omega}{10k\Omega + 820\Omega} = 6.06k\Omega \dots \dots (Ecuación \_ 3.18)$$

Los valores concuerdan con lo esperado así que se utilizará un potenciómetro Rpot de valor 10kΩ.

**d) Oscilador PWM**

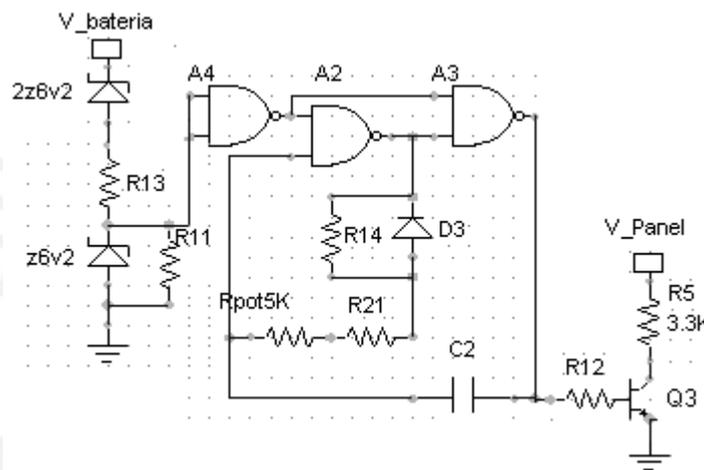


Figura 3.7 Circuito simplificado del oscilador PWM y de sus circuitos de entrada y salida, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

Para el diseño de esta etapa se tomó la configuración de los componentes siguiendo el segundo diseño existente mostrado en la figura 2.3. El análisis del funcionamiento lógico de este oscilador figura en la octava viñeta del punto 3.3 en la descripción del funcionamiento del diseño propuesto. El cálculo de la frecuencia de oscilación según las resistencias colocadas se muestra a continuación.

**Frecuencia del Oscilador**

Aplicando las siguientes fórmulas sobre osciladores PWM y aproximando el voltaje umbral del las compuertas lógicas a la mitad de su valor de voltaje de alimentación, se tendrá entonces:

$$T_{osc} = \frac{1}{f_{osc}} = t_{ALTA} + t_{BAJA} \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.19)$$

$$VCC \approx 2V\tau \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.20)$$

$$Ciclo\_trabajo = \frac{t_{ALTA}}{T_{osc}} \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.21)$$

De acuerdo al circuito del oscilador PWM propuesto con compuertas lógicas NAND:

$$t_A = R_A \times C \times \ln\left(\frac{VCC}{V\tau}\right) \approx R_A \times C \times \ln 2 \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.22)$$

$$t_B = (R_A + R_B) \times C \times \ln\left(\frac{VCC}{VCC - V\tau}\right) \approx (R_A + R_B) \times C \times \ln 2 \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.23)$$

Se obtendrán los valores de las resistencias y condensador para un rango aproximado de ciclo de trabajo de 9% a 35%

Para un ciclo de trabajo de 9%:

Asumiendo:  $R_A = 1.1k\Omega$        $C = 1\mu F$

Entonces:  $t_A \approx 762\mu s$

Por consiguiente  $f_{osc} = 118$  Hz y su  $t_B$  tendrá que ser igual a 7.63ms

Con este tiempo en baja se obtiene que  $R_B = 5.1K\Omega$

Para un ciclo de trabajo de 35%:

Asumiendo:  $R_A = 6k\Omega$        $C = 1\mu F$

Entonces:  $t_A \approx 4.15ms$

Por consiguiente  $f_{osc} = 84.43$  Hz y su  $t_B$  tendrá que ser igual a 7.69ms

Con este tiempo en baja se obtiene que  $R_B = 5.1K\Omega$

De acuerdo a los cálculos mostrados se utilizará una resistencia (R21) de 1KΩ en serie con un potenciómetro (Rpot5k) de 5KΩ para  $R_A$  y una resistencia (R14) de 5.1kΩ para  $R_B$ . Además de un condensador (C2) de 1μF.

### Circuito de alimentación de la compuerta lógica

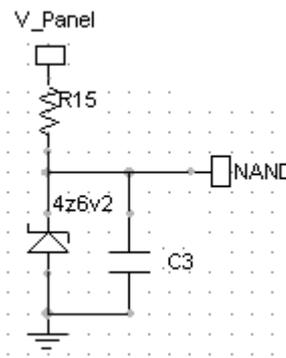


Figura 3.8 Circuito simplificado del circuito de alimentación de la compuerta NAND, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

El voltaje típico de alimentación de las compuertas lógicas varía en un rango de 3V a 15V aproximadamente. Se asegurará que el voltaje de alimentación de la compuerta NAND no sobrepase su máximo permitido, por lo que se ha colocado un diodo zener en su entrada. Se asume un valor de 6.2 V (valor comercial) para el diodo zener. Además se le ha colocado un condensador en paralelo a este diodo para que disminuya las variaciones bruscas de voltaje que pueda tener el panel fotovoltaico. Se le ha colocado una resistencia en serie a este arreglo en paralelo para efectuar la carga de dicho condensador, a continuación se hallarán los valores de los componentes:

Asumiendo:  $V_{Panel}: 16.8V$

De la ecuación de carga y descarga del condensador:

$$V_c(t) = V_f - (V_f - V_i) \times e^{-\frac{t}{RC}} \dots\dots\dots(Ecuación \_3.24)$$

$$6.2 = 16.8 - (16.8 - 0) \times e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$0.63 = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$-0.46 = -\frac{t}{RC}$$

$$t = 0.46 \times R \times C$$



$$V_{R11} = \frac{(V_{BATERÍA} - 6.2) \times R11}{R11 + R13} \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.26)$$

$$3.1V = \frac{(22V - 6.2V) \times R11}{R11 + R13}$$

$$0.196 = \frac{R11}{R11 + R13}$$

Si se asume el valor de 1kΩ para la resistencia R11, entonces el valor de R13 será de 4.09kΩ. Para efectos prácticos se colocará una resistencia R13 de valor 3.9kΩ (valor comercial).

#### e) Modo de circulación de la corriente de carga hacia la batería

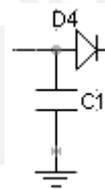


Figura 3.9 Circuito de control de dirección de corriente hacia la batería, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

Se da la necesidad de la colocación de un diodo que evite la descarga de la batería a través del panel fotovoltaico cuando este se encuentre en condiciones de baja irradiación solar (voltaje de la batería mayor al voltaje generado por el panel fotovoltaico). De ser así, la corriente se dirigirá en dirección a los paneles (descarga de la batería) y no en dirección a la batería (carga de la batería).

Dicho diodo deberá soportar un voltaje inverso mayor al del voltaje generado por la batería (12V aproximadamente), además de la capacidad de soportar la corriente generada por el panel fotovoltaico ( $I_{SC}$ : corriente máxima de corto circuito del panel fotovoltaico).

Además, se colocará un condensador de gran capacidad con un voltaje máximo permitido mayor al máximo voltaje pico generado por el panel fotovoltaico ( $V_{OC}$ ).

Se hará que el tiempo de carga del condensador de tales características sea el menor posible para no generar retardos en los tiempos de carga debido a que el panel fotovoltaico tiende a tener un voltaje de salida variables, a continuación se muestra el cálculo correspondiente a la carga de condensador.

$$V_C(t) = V_f - (V_f - V_i) \times e^{-\frac{t}{R \times C1}} \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.27)$$

$$0.99V_{cc} = V_{cc} - (V_{cc} - 0) \times e^{-\frac{t}{R \times C1}}$$

$$0.01 = e^{-\frac{t}{R \times C1}}$$

$$-4.61 = -\frac{t}{R \times C1}$$

$$t = 4.61 \times R \times C1$$

El valor de resistencia de carga será la resistencia equivalente del paralelo de los 4 MOSFET, cada uno con una resistencia de  $1\Omega$  en serie. Cada MOSFET tiene entre sus pines surtidor y drenador una resistencia típica de  $1\Omega$ , entonces cada rama de cada MOSFET equivale aproximadamente a  $2\Omega$ . Si se tienen 4 ramas de esta configuración la resistencia equivalente será de  $0.5\Omega$ .

Si se asume un valor de tiempo de carga pequeño de 2ms entonces:

$$t = 4.61 \times R \times C1 \dots\dots\dots(Ecuación \_ 3.28)$$

$$C1 = \frac{2ms}{0.5\Omega \times 4.61} = 867 \mu F$$

Se elegirá entonces un condensador C1 con valor de  $1000\mu F$  (valor comercial).

## f) Verificador de voltaje de batería baja

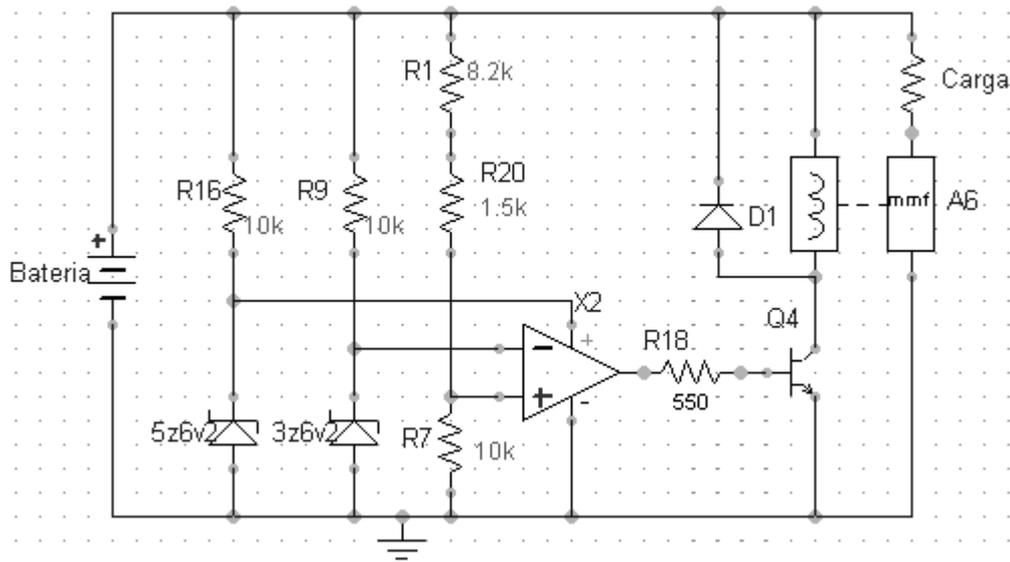


Figura 3.10 Circuito del verificador de voltaje de batería baja, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

Para el diseño de esta etapa utilizará el voltaje de la batería, haciendo la comparación de un voltaje fijo y un divisor de voltaje mediante un OPAM unipolar en configuración comparador.

La alimentación de dicho OPAM será por parte de la misma batería, a la cual se le disminuye el valor del voltaje poniéndola en paralelo con un diodo zener de menor valor a 12v, asumimos un valor comercial de 6.2v, en serie con una resistencia. La corriente de alimentación consumida por un OPAM tiene un valor típico entre 0,5mA y 0,7mA, al tener que el voltaje de la batería fluctuará entre 12V y 12,7V aproximadamente entonces:

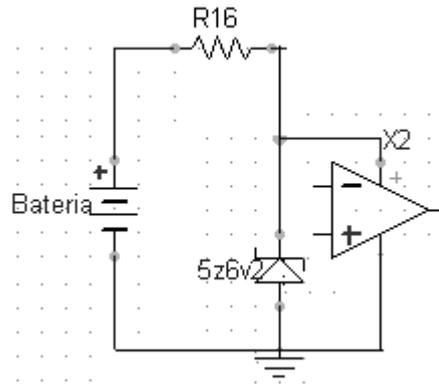


Figura 3.11 Circuito simplificado de la alimentación del OPAM, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

$$R = \frac{V_{BATERÍA} - V_{5z6v2}}{I_R} = \frac{12 - 6,2}{0,5mA} = 11,6k\Omega \dots\dots\dots (Ecuación \_ 3.29)$$

$$R = \frac{V_{BATERÍA} - V_{5z6v2}}{I_R} = \frac{12 - 6,2}{0,7mA} = 8,3k\Omega \dots\dots\dots (Ecuación \_ 3.30)$$

$$R = \frac{V_{BATERÍA} - V_{5z6v2}}{I_R} = \frac{12,7 - 6,2}{0,5mA} = 13k\Omega \dots\dots\dots (Ecuación \_ 3.31)$$

$$R = \frac{V_{BATERÍA} - V_{5z6v2}}{I_R} = \frac{12,7 - 6,2}{0,7mA} = 9,3k\Omega \dots\dots\dots (Ecuación \_ 3.32)$$

De los anteriores cálculos se asumirá una resistencia comercial de 10kΩ como promedio del valor de la resistencia R16 hallada. El voltaje de alimentación del OPAM se conecta al diodo zener.

El voltaje fijo que tendrá la entrada inversora será aproximadamente la mitad del valor mínimo que tiene la batería antes de cortar todo flujo de corriente de esta hacia las cargas; este valor lo fijará un diodo zener, asumimos uno comercial de 6.2V, en serie con una resistencia de alto valor debido a que la corriente de entrada del OPAM esta en el orden de los nano amperios, asumimos 10kΩ. El voltaje variable que tendrá la entrada no inversora se hallará mediante un divisor de voltaje, para que el voltaje máximo deseado a la entrada no inversora sea 6.2V (donde la salida del OPAM es 0V) y el de la batería sea 12.1V aproximadamente. Se asumirá la resistencia R7 = 10kΩ, entonces la entrada no inversora quedará de la siguiente manera:

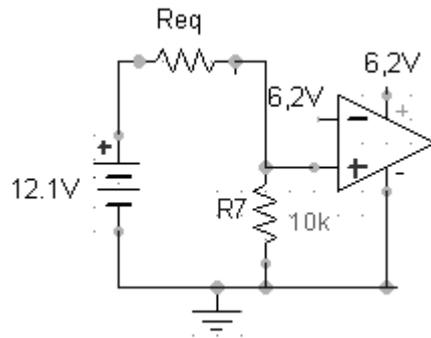


Figura 3.12 Circuito simplificado del divisor de voltaje de la entrada no inversora del OPAM, esquematizado en el software B2 Spice A/D Versión 5.

$$V_+ = V_- = 6.2V = \frac{10k\Omega \times 12.1V}{10k\Omega + Reqk\Omega} \dots\dots\dots(Ecuación\_3.33)$$

De la ecuación se halla que Req = 9.51kΩ, para efectos prácticos se eligieron 2 resistencias comerciales en serie de 8.2 kΩ y 1.5kΩ.

Se necesita que la salida de voltaje que da el OPAM sature al transistor Q4. Si típicamente la corriente que consume una bobina de relé para un valor de voltaje de activación de 12V (voltaje de la batería) es aproximadamente 100mA. Se asumirá un valor de β=10 para asegurar el estado de saturación de transistor. Se tomará el valor de V<sub>EB-SAT</sub> = 0.7. Entonces el valor de la resistencia R18 será:

$$R18 = \frac{V_{SALIDA\_OPAM} - V_{CE-SAT}}{i_B} = \frac{V_{SALIDA\_OPAM} - V_{CE-SAT}}{i_C \div \beta} \dots\dots\dots(Ecuación\_3.34)$$

$$\frac{6.2V - 0.7V}{100mA \div 10} = 550\Omega$$

**f) Circuito Impreso del Diseño Propuesto**

Se realizó el diseño de la tarjeta del circuito impreso (ver anexo 3) en el software EAGLE Layout Editor 4.11. Se aplicó la norma de dibujo industrial UNE 20-621-84/3 para establecer el ancho de pista y espesor de la placa de cobre, según el máximo de corriente admisible; como criterio práctico se dibujaron pistas con un ancho de 1mm por Amperio de corriente y un espesor de la placa de cobre de 18µm. El diseño de dicha tarjeta tiene una dimensión de 11.4 cm x 15.2cm.

### 3.5 Diagrama de flujo del diseño propuesto

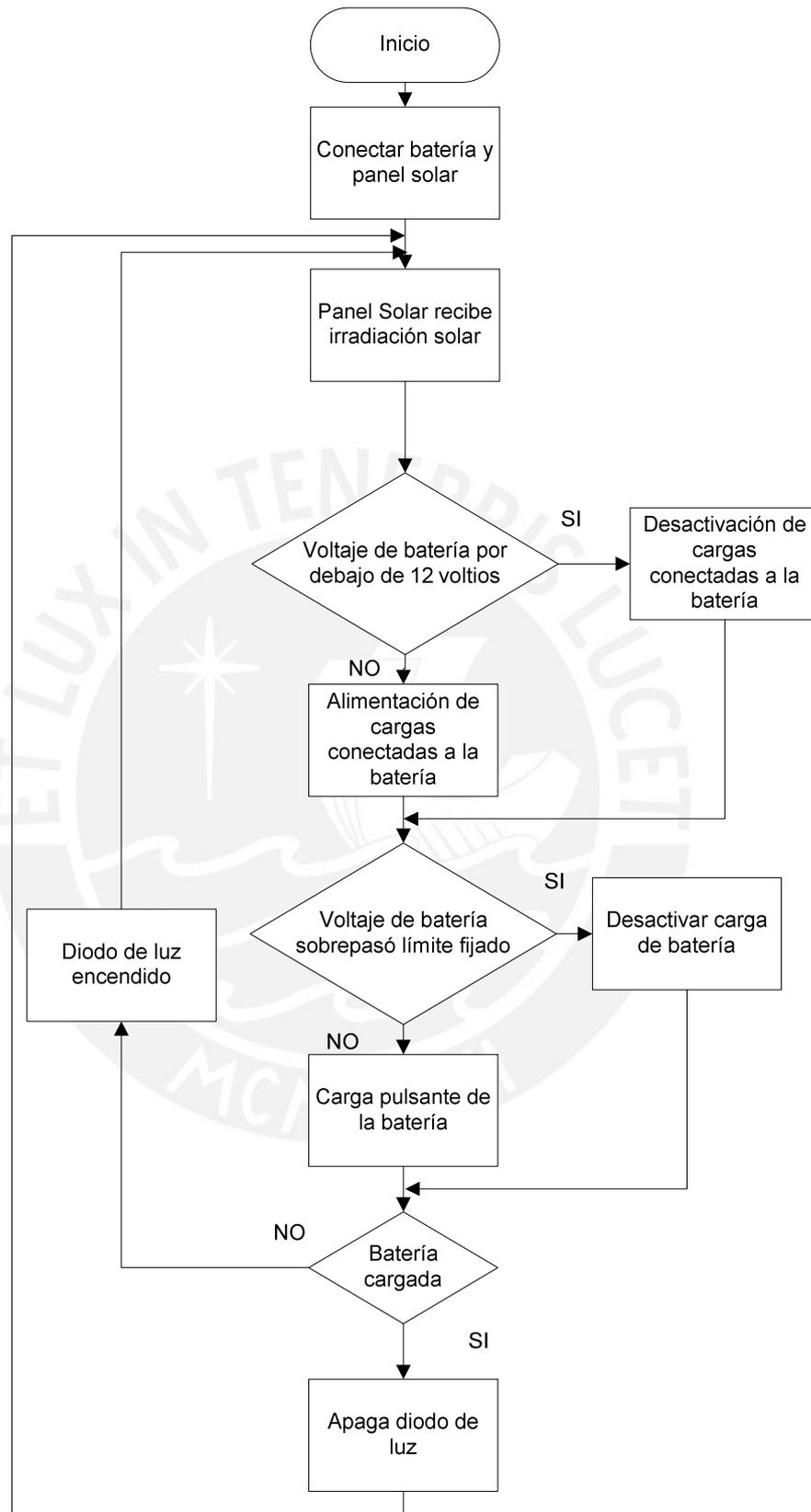


Figura 3.13 Diagrama de flujo del diseño propuesto para la carga de baterías mediante un panel solar.

### 3.6 Selección de componentes

#### 3.6.1 Panel Fotovoltaico

##### Criterios de Selección

Según la cantidad de potencia utilizada (ver tabla 1.1) en la comunidad de Micaela Bastidas se necesitaría de un panel que cubra los 243 W-h requerido diariamente. Si se tiene además de un promedio de 4.5 horas de sol diarias a máxima irradiación solar durante el año y se considera 35% más de la potencia consumida como margen de error, se tendrá entonces:

$$Potencia\_Panel\_Fotovoltaico = \frac{243}{4.5} \times 1.35 = 72.9W \dots\dots\dots(Ecuación\_3.35)$$

Por lo tanto se necesitará un panel fotovoltaico de potencia mayor a 72.9W, para dejar un margen de potencia de reserva.

##### Posibles elecciones

##### a) Panel Fotovoltaico Suntech STP80- 12Bb (ver anexo 4)

Potencia máxima del panel fotovoltaico: 80Wp

Voltaje en circuito abierto: 21.2V

Voltaje óptimo de operación: 16.8V

Corriente de corto circuito: 5.12A

Corriente óptima de operación: 4.76A

Precio en el mercado local: \$617.61 = (ver anexo 5)

Precio en soles a tipo de cambio S/.3.00 = S/.1852.83

Garantía: 2 años

##### b) Panel Fotovoltaico Kyocera KC80-2 (ver anexo 11)

Potencia máxima del panel fotovoltaico: 80Wp

Voltaje en circuito abierto: 21.5V

Voltaje óptimo de operación: 16.9V

Corriente de corto circuito: 4.97

Corriente óptima de operación: 4.73A

Precio en el mercado local: S/2300 (ver anexo 12)

Garantía: 2 años

## c) Panel Fotovoltaico Yingli [38]

Potencia máxima del panel fotovoltaico: 75Wp

Voltaje en circuito abierto: 20.9V

Voltaje óptimo de operación: 17.5V

Corriente de corto circuito: 4.7A

Corriente óptima de operación: 4.3A

Precio en el mercado extranjero: € 327.7 [38]

Precio en soles a tipo de cambio S/.4.2 = S/.1376.34

Garantía: 2 años

Se procede a la elección del panel fotovoltaico del tipo policristalino STP80-12Bb de 80 Watts de la marca Suntech (Ver anexo 4) el cual tiene un precio estipulado de \$617.61 en el mercado local (Ver anexo 5). Se hizo contacto con el proveedor de dicho panel y se dan todas las facilidades para un plazo de entrega inmediata. Con dicho panel y con la cantidad de horas diarias de máxima irradiación solar de la comunidad (ver punto 1.2) se obtendrán 360 W/h diarios los cuales que cubren lo necesitado a un precio razonable y disponibilidad inmediata en el mercado local sin costos de importación.



Figura 3.14 Panel Fotovoltaico STP80-12Bb

FUENTE: Suntech Power [37]

### 3.6.2 Batería

#### Criterios de Selección

Se tiene 243 W-h de máxima demanda de potencia diaria en la comunidad de Micaela Bastidas; si a esto se le aumenta el 35% como margen de error, de manera similar que en el dimensionamiento del panel fotovoltaico, se tendrá 328.1W-h. Al tener la batería un voltaje nominal de 12 V se puede hallar la máxima demanda de corriente, la cual es de 27.3 A-h; si se considera la eficiencia del alambre y la de la batería, las cuales son 98% y 85% respectivamente, se tendrá una corriente requerida de 32.8 A-h.

Tomando en cuenta que se tengan 2 días sin sol y estos días se tenga un 60% de la descarga de la batería, entonces se podrá hallar la capacidad necesaria de la batería la cual será:

$$\text{Capacidad}_{\text{Batería}} = \frac{32.8 \times 2}{0.6} = 109.3 \text{ Ah}$$

Por lo tanto se necesitará una batería de capacidad mayor a 109.3 A-h, para dejar un margen de capacidad de reserva.

#### Posibles elecciones

a) Batería Fotovoltaica ACDELCO S2000 (ver anexo 6)

Capacidad: 115A-h

Tensión nominal: 12VDC

Capacidad de arranque en frío: 580A

Capacidad de reserva: 165 minutos

Tipo de batería: Solar de libre mantenimiento

Precio en el mercado local: \$193.97 (ver anexo 7)

Precio en soles a tipo de cambio S/.3.00: S/.581.91

Garantía: 1 año

b) Batería DELKOR N120 (ver anexo 10)

Capacidad: 120A-h

Tensión nominal: 12VDC

Capacidad de arranque en frío: 800A

Capacidad de reserva: 230 minutos

Tipo de batería: Convencional de libre mantenimiento

Precio en el mercado local: \$299.88 (ver anexo 10)

Precio en soles a tipo de cambio S/.3.00: S/.899.64

Garantía: 1 año.

c) Batería ACDELCO M30HMF (ver anexo 10)

Capacidad: 115A-h

Tensión nominal: 12VDC

Capacidad de arranque en frío: 625A

Capacidad de reserva: 180 minutos

Tipo de batería: Convencional de libre mantenimiento

Precio en el mercado local: \$209.34 (ver anexo 10)

Precio en soles a tipo de cambio S/.3.00: S/.628.16

Garantía: 1 año.

Observación: Todos los precios tienen un descuento del 34% ya aplicado al precio mostrado por tener conexión con el proveedor, el descuento aplicado se puede corroborar en la cotización de la batería ACDELCO S2000 mostrada en el anexo 7. Los precios reales se muestran en el anexo 10.

Según las conclusiones dadas por el Dr. Manfred Horn, físico alemán promotor del uso de la energía solar [20], en su artículo “¿Qué baterías usar en sistemas fotovoltaicos domiciliarios?” [21] se expresa lo siguiente:

“Para aplicaciones en SFD no se requiere de baterías caras que resistan muchos ciclos de carga-descarga profundos. Desde el punto de vista

económico es más barato usar una buena batería solar tipo arranque mejorado. Con estas baterías se puede obtener menores costos, expresados en \$/kWh de energía almacenada. Por eso, diversos proyectos de la cooperación internacional utilizan baterías de plomo-acido tipo arranque mejorado para pequeños sistemas FV, que requieren un bajo mantenimiento (revisión del agua cada 6 - 12 meses).”

De acuerdo a esta afirmación, se procederá a la elección de baterías del tipo “solar” o las también llamadas baterías fotovoltaicas. En este caso en específico la batería fotovoltaica S2000 comercializada por la marca ACDELCO [22], la cual tiene una capacidad de 115A-h (ver anexo 6) y un precio estipulado de \$193.97 dólares en el mercado local (Ver anexo 7). Se hizo contacto con el proveedor de dicho panel y se dan todas las facilidades para un plazo de entrega inmediata. Así se cubre lo necesitado a un precio razonable y disponibilidad inmediata en el mercado local sin costos de importación.



Figura 3.15 Batería S2000

FUENTE: ACDELCO [22]

### 3.6.3 Componentes para el diseño del cargador de baterías

#### a) MOSFET de potencia

##### Criterios de selección

De acuerdo a los requerimientos del diseño propuesto se necesitan cuatro MOSFET de enriquecimiento de tipo P, los cuales tendrán que tener una alta conmutación; esto debido a que estarán expuestos a un oscilador el cual los activará y desactivará con una determinada frecuencia.

Se necesita que se cubran los requerimientos de valores de corrientes mayores a 10 amperios y un voltaje entre surtidor y drenador alto; esto para que el diseño soporte una posible ampliación del número de paneles fotovoltaicos a su entrada y, dependiendo de su configuración (serie o paralelo), aumente el voltaje o la corriente de entrada.

Se ha realizado la comparación entre 3 MOSFET de enriquecimiento tipo P comerciales que poseen las capacidades antes mencionadas:

Parte	Marca	Tipo	Máximo voltaje continuo Vsd	Máxima corriente continua Id @ Vgs=10v	Máxima resistencia Rds a un Id y Vds @ 25°	Máxima Potencia Disipada	Precio (\$)
IRF5210	International Rectifier	P-Channel	100V	40A	60 mOhm @ 24A, 10V	200W	2.64
IRF9540	International Rectifier	P-Channel	100V	19A	200 mOhm @ 11A, 10V	150W	1.84
IRFP9140	International Rectifier	P-Channel	100V	21A	200 mOhm @ 13A, 10V	180W	2.81

Tabla 3.2 Tabla de especificaciones y precios de MOSFET de enriquecimiento tipo P

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Se ha procedido a la elección del MOSFET IRF9540 debido a que cumple con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño antes mencionadas; además por la facilidad de poderlo hallar en el mercado de componentes local. A continuación se presentan más características técnicas de dicho componente (Ver anexo 13):

- Máximo voltaje entre surtidor y drenador: 100 V
- Máxima resistencia de surtidor a drenador: 19 A
- Máximo voltaje entre compuerta y surtidor: [-20 a 20] V
- Resistencia entre surtidor y drenador:  $1 \Omega @ T_{unión} = 25^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de operación: [-55 a 175]  $^{\circ}\text{C}$ .
- Máxima disipación de potencia: 150 W @  $T_{capsula} = 25^{\circ}\text{C}$ .
- Rango de voltaje umbral Vgs: [-2 a -4] V
- Máxima resistencia térmica entre la juntura y el ambiente:  $62.5^{\circ}\text{C/W}$

## b) Condensadores - Capacitores

### Criterios de selección

De acuerdo a los requerimientos del diseño propuesto se necesitan 3 condensadores, los cuales dos serán del tipo electrolítico debido a su mayor tolerancia a las variaciones de temperatura y uno cerámico de mayor capacidad para soportar voltajes elevados.

De acuerdo a los cálculos justificativos del punto 3.4, para el oscilador de frecuencia variable se necesita de un condensador 1u el cual soporte voltajes de hasta 12 voltios por la salida de la compuerta lógica.

Para la alimentación de las compuertas lógicas se necesita también de un condensador de 1uF y que soporte un voltaje de hasta 12 voltios para evitar los cambios bruscos a la entrada de la compuerta NOR que podrían ser causados por el Panel Fotovoltaico.

Para evitar las variaciones de voltaje bruscas a la entrada de la batería se necesita de un condensador de mayor capacidad y que soporte un voltaje de hasta 50 voltios, el cual podría darse si no se tuviera una carga conectada al cargador de baterías y se instalase un panel solar de mayor potencia.

Para el primer y segundo caso, del oscilador de voltaje y de la alimentación de la compuerta lógica respectivamente, se seleccionaron

dos condensadores electrolíticos de 1uF 16 voltios con una tolerancia de  $\pm 20\%$ , para cumplir así con las especificaciones del diseño propuesto [24].

Para el tercer caso del se encontraron valores de voltaje comerciales de 25, 35, 40, 50 y 63 voltios para los condensadores cerámicos de 1000uF, con lo que seleccionó; y según las especificaciones del diseño, el condensador cerámico de 1000uF a 50 voltios. En el caso de la elección de un panel fotovoltaico de mayor potencia entregada, el voltaje a su salida aumentará. Se toma este valor como medida de precaución y además como medida cautelar ante próximas mejoras [24].

### c) Diodo de barrera Schottky

#### Criterios de selección

Se necesita un dispositivo, en este caso un diodo, que obstruya la posible descarga de la batería a través del panel fotovoltaico. Además de una caída de tensión entre sus bornes que no sea significativa. El presente dispositivo debe tener la capacidad de soportar hasta 10 amperios de corriente, que se ha elegido con el fin de tolerar un flujo mayor de corriente en caso de una posible ampliación del sistema (mayor cantidad de paneles fotovoltaicos y/o de baterías) y, a su vez, debe trabajar con normalidad ante valores de voltaje que fluctuarán de acuerdo a la frecuencia del oscilador. Un punto también a considerar será también el voltaje inverso que soporte el diodo para que no ocurran flujos de corriente inversa.

Se ha realizado la comparación entre 3 diodos schottky comerciales que poseen las capacidades antes mencionadas:

Parte	Marca	Tipo	Max. Voltaje Inverso (Vr)	Corriente promedio de rectificación (Io)	Max. Voltaje directo @ If	Velocidad	Precio (\$)
MBR1035	ON Semiconductor	Schottky	35V	10A	840mV @ 20A	Rápida recuperación =< 500ns, > 200mA	1.01
MBR1045	ON Semiconductor	Schottky	45V	10A	840mV @ 20A	Rápida recuperación =< 500ns, > 200mA	1.01
MBR1060	ON Semiconductor	Schottky	60V	10A	800mV @ 10A	Rápida recuperación =< 500ns, > 200mA	1.01

Tabla 3.3 Tabla de especificaciones y precios de diodos Schottky

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Se ha procedido a la elección del diodo de barrera Schottky MBR1060 debido a que cumple con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño sobre su capacidad máxima de soportar un voltaje inverso, la corriente promedio de rectificación, su rápida respuesta y su bajo valor de caída de potencial entre sus bornes en estado directo; además es posible encontrarlo en el mercado local de componentes, a continuación se muestran algunas otras de sus características (ver anexo 14):

- Bajo valor de voltaje directo: [0.2 a 0.8] V
- Alta eficiencia.
- Temperatura de operación: [-65 a 150] °C.
- Máximo voltaje inverso: 60 V
- Corriente promedio de rectificación: 10 A @ T=133°C.
- Tipo de diodo: Modo de conmutación (Switchmode)

#### d) Transistor de potencia

##### Criterios de selección

De acuerdo al diseño propuesto y los cálculos justificativos del mismo se necesita de cuatro transistores de los cuales uno es de potencia y los otros tres convencionales.

Para el caso del transistor de potencia, se tiene la necesidad de usarlo ya que se podría dar el caso que trabajara con valores de voltaje altos que vienen de la salida del panel fotovoltaico y que fueron explicados en el punto 3.6.1 Se necesitará un voltaje mínimo tanto de colector-emisor como de colector-base de 50 voltios.

Para los otros tres transistores solo se necesita que sean convencionales ya que su única función será la de trabajar en estado de corte y saturación según el voltaje con el que cuente la batería.

Se ha realizado la comparación entre 3 transistores de potencia con los valores requeridos:

Parte	Marca	Tipo	Máximo Voltaje Colector Emisor Vce	Máxima corriente de colector Ic	Máxima potencia disipada	Valor del Hfe mínimo @ Ic, Vce	Voltaje de saturación @ Ib, Ic	Precio (\$)
BD135	ON Semiconductor	NPN	45V	1.5A	8W	40 @ 150mA, 2V	500mV @ 50mA, 500mA	2
BD137	ON Semiconductor	NPN	60V	1.5A	8W	40 @ 150mA, 2V	500mV @ 50mA, 500mA	2
BD139	ON Semiconductor	NPN	80V	1.5A	8W	40 @ 150mA, 2V	500mV @ 50mA, 500mA	2

Tabla 3.4 Tabla de especificaciones y precios de transistores de potencia necesarios

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Se ha procedido con la elección de los transistores BD139 y 2N3904 debido a que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño. Se eligió el BD139 que posee, según especificaciones dadas en el punto anterior, mayor soporte de voltaje entre sus pines e igual precio a los otros expuestos (ver anexos 15y 16); además de la facilidad de encontrarlo en el mercado de componentes local:

#### BD139

- Máximo voltaje colector-base: 100 V
- Máximo voltaje colector-emisor: 80 V
- Máximo voltaje emisor-base: 5 V
- Máxima corriente de colector: 1.5 amperios (corriente continua)
- Máxima potencia disipada: 8 watts
- Temperatura de operación: [-65 a 150] °C.

#### 2N3904

- Máximo voltaje colector-base: 60 V
- Máximo voltaje colector-emisor: 40 V
- Máximo voltaje emisor-base: 6 V
- Máxima corriente de colector: 200 mA (corriente continua)
- Máxima potencia disipada: 1.5 W
- Temperatura de operación: [-55 a 150] °C.

### e) Oscilador PWM

#### Criterios de selección

Se necesitará de un dispositivo que a su salida tenga una onda cuadrada con un ciclo de trabajo que pueda variarse. El valor de voltaje de alimentación del dispositivo tendrá que ser suministrado por el panel solar y se tendrá que tener las precauciones del caso para no dañar dicho dispositivo. La oscilación de voltaje podrá de tomar los valores de hasta 12 voltios.

Se ha realizado la comparación entre 2 dispositivos con los que se podrá realizar un oscilador:

Parte	Marca	Número de circuitos	Tipo de Compuerta	Número de entradas	Corriente de salida: alta, baja	Voltaje de alimentación DC	Precio (\$)
CD4011BCN	Fairchild Semiconductor	4 - Quad	NAND	2	8.8mA, 8.8mA	3 V ~ 15 V	0.5

Tabla 3.5 Tabla de especificaciones y precio del integrado CD4011 (compuerta lógica NAND)

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Parte	Marca	Tipo	Voltaje de alimentación DC	Corriente Máxima	Precio (\$)
LM555CM	Fairchild Semiconductor	555, Contador/Oscilador	4.5 V ~ 16 V	15mA	0.44

Tabla 3.6 Tabla de especificaciones y precio del LM555

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Se procedió a la elección de la compuerta lógica NAND para la realización de un oscilador. A pesar de costar ligeramente mayor que un integrado 555, para la elaboración de un oscilador con el último mencionado se necesitan de mínimo dos de ellos si es que se quiere tener una onda de ciclo de trabajo variable. La ventaja de este integrado es que posee 4 compuertas NAND en su encapsulado con las cuales se puede construir un oscilador [24].

Por consiguiente la elección del integrado CD4011 cumple con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño, las cuales se presentan a continuación (ver anexo 17):

- Rango de operación VDD: [3 a 15] VDC
- Temperatura de operación: [-65 a 150] °C

## f) Amplificador operacional

### Criterios de selección

Se necesitará de un dispositivo que compare 2 niveles de tensión; el valor que tiene en todo momento la batería y un valor prefijado, para así tener a su salida un '0' o '1' lógico, esto servirá para controlar el estado de un transistor que estará conectado a su salida, el cual, dependiendo de la salida el amplificador operacional, se encontrará en estado de corte o saturación. Solo se tienen valores positivos de voltaje por lo que este dispositivo debe ser de una sola polaridad; además su tiempo de respuesta no necesita ser muy rápido, debido a que las variaciones de voltaje en la batería tampoco lo son.

El voltaje a su salida tendrá que ser el apropiado para poder saturar al transistor que se le acople. Además se tiene que tener en cuenta los máximos y mínimos valores de entrada que debe tenerse para un correcto funcionamiento del dispositivo.

Se procedió a la elección del circuito integrado LM358, esencialmente por su alimentación de una polaridad y por la facilidad de encontrarlo en el mercado de componentes local. A continuación se presentan sus especificaciones técnicas (ver anexo 18):

- Voltaje de alimentación de una polaridad: [3 a 32] V
- Entrada diferencial de voltaje: [-32 a 32] V
- Entrada de voltaje: [-0.3 a 32] V
- Temperatura de operación: [0 a 70] °C
- Voltaje de desplazamiento a la entrada: [3 a 7] mV
- Corriente de desplazamiento a la entrada: [2 a 50] nA

## g) Diodo Zener

### Criterios de selección

De acuerdo al diseño propuesto y los cálculos justificativos del mismo se utilizarán seis diodos que enclaven los voltajes a valores de 6.2 voltios.

Uno de los diodos zener de 6.2 voltios servirá para mantener este valor de voltaje máximo entre los pines de compuerta y surtidor del MOSFET y así, según las características de este último, no sobrepasar los valores máximos de potencial entre estos pines. El segundo será para reducir el voltaje de la batería a uno menor y así poder controlar tanto la carga final de la batería como su carga discontinua con el oscilador. El tercero y cuarto de estos serán para enclavar el valor de voltaje tanto para la alimentación del OPAM como para la entrada que servirá de comparación de esta compuerta lógica.

Los dos últimos serán para limitar el máximo voltaje a la entrada sea de la compuerta NAND como del OPAM comparador y así no dañarlos.

Se ha realizado la comparación entre 3 diodos zener con los valores requeridos:

Parte	Marca	Tipo	Voltaje (Vz)	Máxima potencia disipada	Precio (\$)
BZV49-C3V9 T/R	NXP Semiconductors	Zener	3.9V	1W	0.135
BZV49-C6V2 T/R	NXP Semiconductors	Zener	6.2V	350mW	0.135
BZV49-C12 T/R	NXP Semiconductors	Zener	12V	830mW	0.135
1N4730A-T	Diodes Inc	Zener	3.9V	1W	0.41
1N4735A-T	Diodes Inc	Zener	6.2V	1W	0.41
1N4742A-T	Diodes Inc	Zener	12V	1W	0.41

Tabla 3.7 Tabla de especificaciones y precios de diodos zener necesitados

FUENTE: [www.digikey.com](http://www.digikey.com) [24]

Se ha procedido con la elección de los diodos zener BZV49-C3V9, 1N4735 y 1N4742 debido a que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño (ver anexo 19) y además por su facilidad de encontrarlo en el mercado de componentes local.

- Tolerancia de hasta 5% en el valor  $V_z$
- Máxima disipación de potencia: 1 W
- Temperatura de operación: Serie 1N74XX [-65 a 175] °C.

## h) Relé

### Criterios de selección

Para el presente diseño se necesita de un relé de tipo electrónico, el cual será activado por el cambio de estado del transistor Q4 de corte a saturación para así energizar la bobina de dicho relé.

Debe tener la capacidad de ser activado con voltaje continuo y de soportar corrientes altas en el lado de la carga, esto debido a que, al consumir la carga total una potencia máxima de 80W y tener un valor de voltaje de 12V, la corriente que circularía por el lado del contacto del relé sería de un poco más de 6A. Además tiene que tener la capacidad de que pueda ser montado en el circuito impreso.

Se ha procedido con la elección del mini relé modelo 40.31 de la marca Finder debido a que cumplen con las especificaciones técnicas requeridas por el diseño (ver anexo 20):

Temperatura de ambiente: [-40 a 85] °C

Contactos

- Corriente nominal: 10A

Bonina

- Tensión de alimentación ( $U_n$ ): 5, 12, 24, entre otros
- Tensión de desconexión: 0.1  $U_n$
- Potencia nominal: 1.2W

## i) Otros componentes

### Resistencias

De acuerdo a las especificaciones y requerimientos del circuito se han elegido los valores de las resistencias que se muestran en la figura 3.2, de 1W y 2W de potencia.

Se han elegido resistencias de 1W para guardar un margen de tolerancia con respecto a la real potencia consumida por cada resistencia. De acuerdo a los valores de corriente y resistencias halladas en el punto 3.4 de cálculos justificativos, la potencia consumida por las resistencias es relativamente baja pero se dejará este margen para que el diseño propuesto pueda cumplir a futuro un posible aumento de paneles fotovoltaicos. Esto traería el aumento de potencia consumida por las resistencias, pero el diseño estaría en las condiciones de poder soportar dichos incrementos. A continuación se muestra la cantidad de resistencias de 1W utilizadas y sus valores respectivos:

Valor	Cantidad
10k $\Omega$	4
2.2 k $\Omega$	1
5.1 k $\Omega$	3
3.3 k $\Omega$	2
8.2 k $\Omega$	1
820 $\Omega$	1
330 $\Omega$	1
1.5 k $\Omega$	2
1 k $\Omega$	3
500 $\Omega$	1
100 $\Omega$	2
3.9 k $\Omega$	1
<b>TOTAL</b>	<b>22</b>

Tabla 3.8 Tabla de cantidad de resistencias utilizadas y sus respectivos valores

Las únicas resistencias del circuito que son de 2W son las 4 de  $1\Omega$  en serie con los cada uno de los MOSFET; estas soportarán una corriente promedio de 1.25 A por lo que la potencia elegida de dichas resistencias es mayor. Además se utilizarán 2 potenciómetros, uno de 5 k $\Omega$  y otro de 10 k $\Omega$ , el primero para regular el ciclo de trabajo del oscilador y el segundo para variar el máximo voltaje de carga de la batería.

### **Diodo de luz**

Se utilizará un diodo de luz de color rojo para indicar el estado de carga de la batería, cuando este se encuentre encendido significa que la batería está aun cargándose. Por lo contrario, cuando este llegue a apagarse, significará que la batería llegó a su punto máximo de carga, el cual podrá regularse.



## CAPÍTULO 4: SIMULACIONES, EVALUACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS DE COSTOS

### 4.1 Simulaciones

Para el desarrollo de las simulaciones de los diseños se utilizó el software de simulación *B2 Spice A/D Version 5* en su versión demostrativa. En vista que el diseño propuesto se basa en el segundo diseño existente, más las mejoras respectivas, las comparaciones entre diseños se harán entre el primer diseño existente (punto 2.2) y el propuesto (punto 3.2). Para simplificar de aquí en adelante las denominaciones de los títulos, al primer diseño existente se le denominará como diseño existente.

**Nota 1:** Los valores de las resistencias y condensadores mostrados en el simulador aparecen sin los símbolos de Ohmios ( $\Omega$ ) y Faradios (F) respectivamente, por convención propia del simulador.

**Nota 2:** El panel fotovoltaico se ha representado por una fuente de corriente y un diodo zener en paralelo para enclavar un valor de voltaje, lo cual nos da un comportamiento próximo al de un panel fotovoltaico.

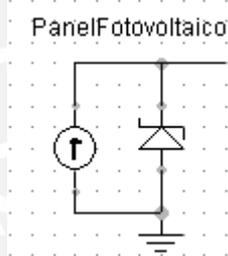


Figura 4.1 Representación de un panel fotovoltaico para efectos de simulación

Para todas las simulaciones se han tomado los valores óptimos de operación del panel fotovoltaico Suntech de 80W seleccionado en el punto 3.6.1, debido a que se desea verificar el funcionamiento del diseño en condiciones de alta irradiación solar como lo presenta la comunidad de Micaela Bastidas.

Voltaje del Panel Fotovoltaico (diodo zener): 16.8V

Corriente del Panel Fotovoltaico (fuente de corriente): 4.76A

#### 4.1.1 Diseño existente

El circuito de la figura 2.2 fue simulado mediante el software antes mencionado y para el cual se tuvieron las siguientes consideraciones:

Interruptores cerrados: S1, S2, S4

Interruptor abierto: S3

Rpot5k: 800Ω

#### Prueba del máximo voltaje de carga de la batería

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.8 \text{ V}$

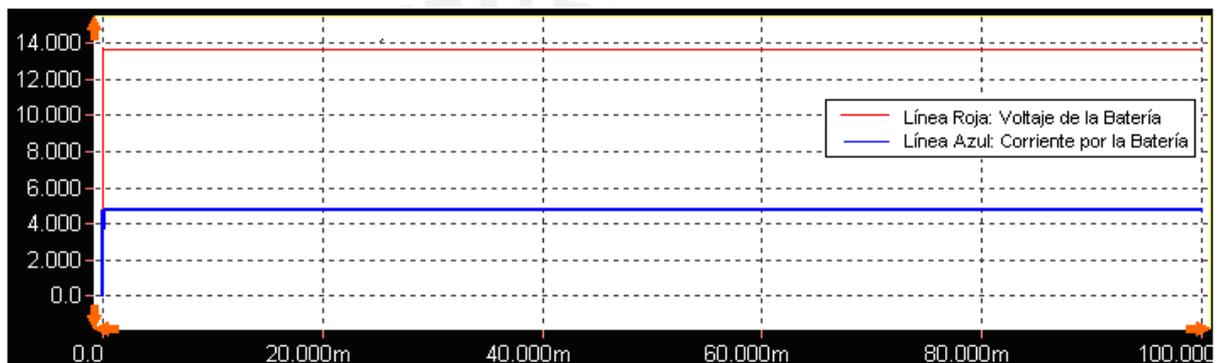


Figura 4.2 Prueba 1.1 de simulación del primer diseño presentado

En la figura 4.2 se observa la corriente que fluye desde el panel fotovoltaico hacia la batería de manera continua en todo momento.

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.9 \text{ V}$

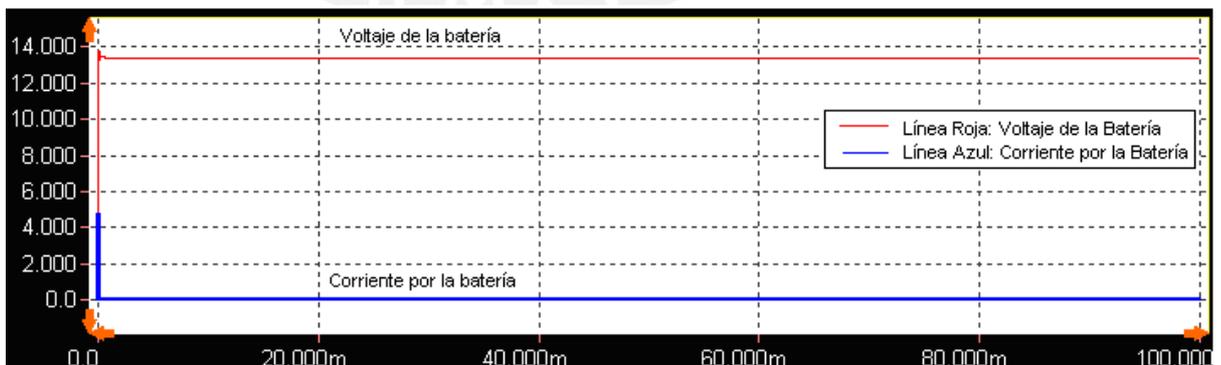


Figura 4.3 Prueba 1.2 de simulación del primer diseño presentado

En la figura 4.3 se observa que la corriente ya no circula del panel fotovoltaico hacia la batería, solo la corriente que consume el diodo zener y las resistencias en serie a él.

### Prueba de corriente por el diodo de luz

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.5 \text{ V}$

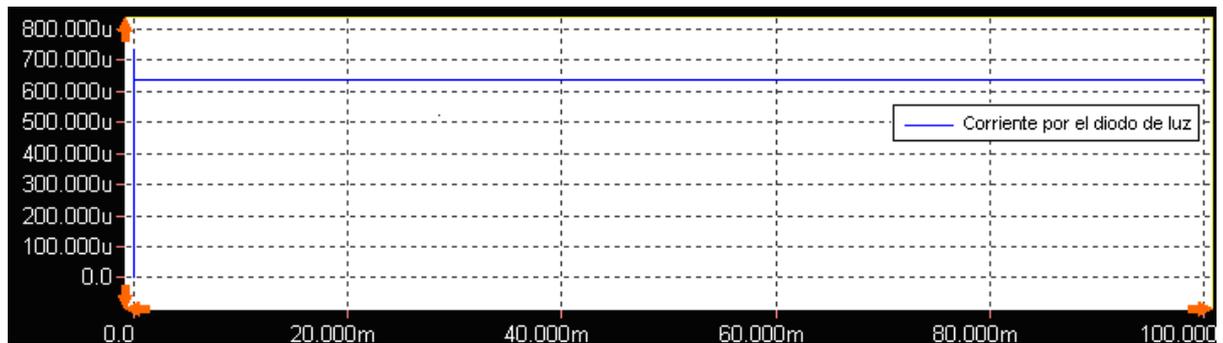


Figura 4.4 Prueba 2.1 de simulación del primer diseño presentado

En la figura 4.4 se muestra la corriente que circula por el diodo de luz al cargarse la batería, aproximadamente  $630 \mu\text{A}$ .

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.8 \text{ V}$

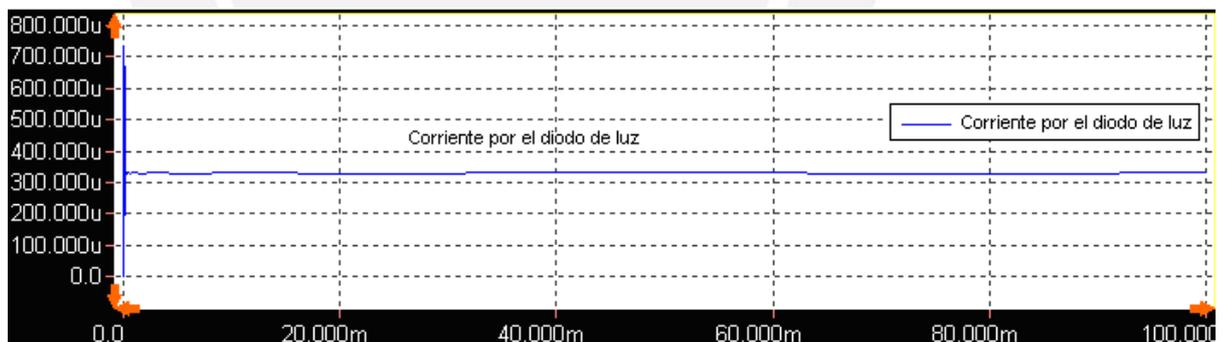


Figura 4.5 Prueba 2.2 de simulación del primer diseño presentado

En la figura 4.5 se muestra la corriente que circula por el diodo de luz al cargarse la batería, aproximadamente  $330 \mu\text{A}$ . Nótese que mientras la batería llega a su máximo valor de carga la corriente por el diodo de luz disminuye y por consiguiente su intensidad.

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.9 \text{ V}$



Figura 4.6 Prueba 2.3 de simulación del primer diseño presentado

En la figura 4.6 se puede notar que la batería, al sobrepasar su máximo valor de carga, deja de cargarse y por consiguiente la corriente deja de circular por el diodo de luz.

#### 4.1.2 Diseño propuesto

El circuito de la figura 3.2 fue también simulado mediante el mismo software antes utilizado. Siguiendo con el formato del diagrama de bloques presentado en la figura 3.1. Para el diseño propuesto se realizó la comprobación del funcionamiento de cada uno de los bloques funcionales de dicho diagrama, que son mostrados en los siguientes ítems:

##### a) Oscilador PWM

Para efectos de la simulación, el oscilador PWM ha sido reemplazado por una fuente de voltaje conmutada con los mismos valores máximos y mínimos de voltaje, frecuencia y ciclo de trabajo hallados en el punto 3.4 de cálculos justificativos del oscilador PWM. Esto debido a que la realización de un oscilador con compuertas lógicas responde al comportamiento interno de la misma y no a su comportamiento lógico, por ende el simulador utilizado no posee la capacidad de realizar este tipo de simulación.



Como se ve en la figura 4.9 el voltaje en el condensador se va incrementando hasta llegar al punto de voltaje máximo enclavado por el diodo zener, el cual es 6.2 V. El tiempo de subida que se tuvo del condensador fue de aproximadamente 0,46 ms.

### Entrada de la compuerta lógica

A continuación se ha enmarcado el circuito de entrada de la primera compuerta NAND del integrado CD4011 para dar el inicio a las oscilaciones:

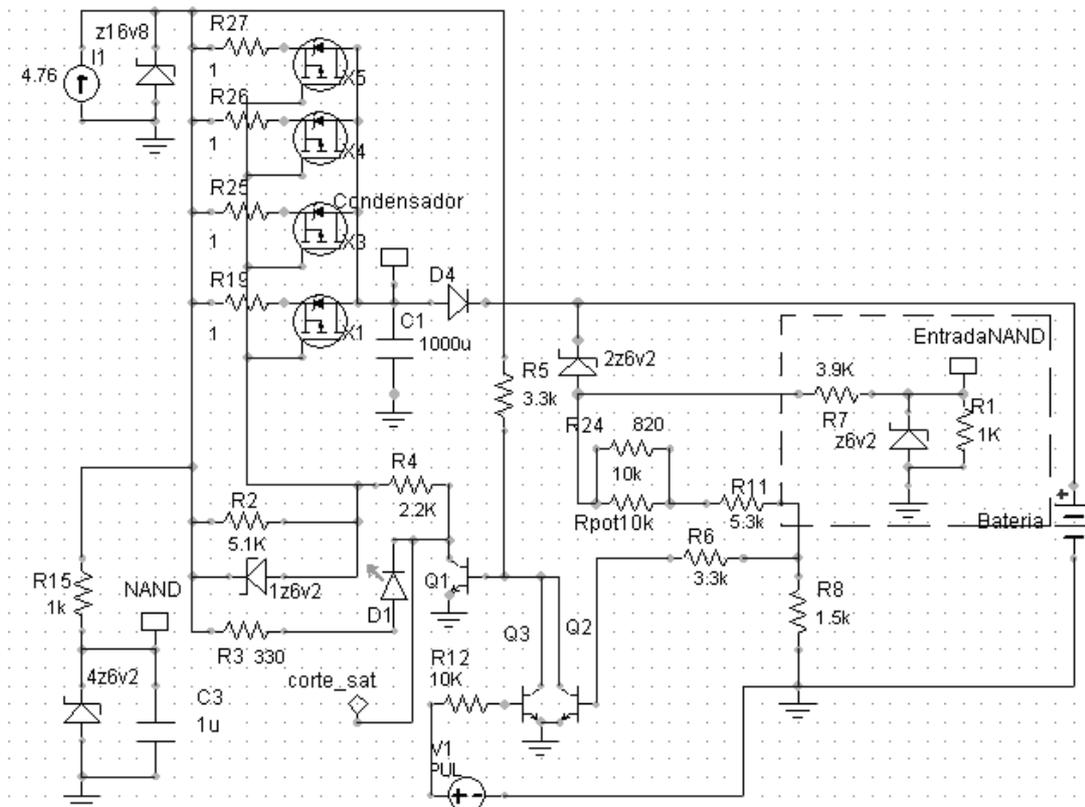


Figura 4.10 Diagrama esquemático de la entrada de la primera compuerta NAND

Tomando las consideraciones de entrada del integrado CD4011, el voltaje típico de entrada para que a su salida se tenga un '1' lógico (voltaje umbral), con un voltaje de alimentación de 6.2 V, será de 3.72 V aproximadamente (Ver anexo 17).

A continuación se mostrarán 2 valores de voltaje a la entrada de la primera compuerta, primero ante el voltaje óptimo de operación del panel solar y la batería cargándose, y segundo ante una posible desconexión de la batería

y un voltaje elevado que viene del panel fotovoltaico antes del diodo zener 2z6v2.

Con  $V_{\text{BATERIA}} = 12.5 \text{ V}$

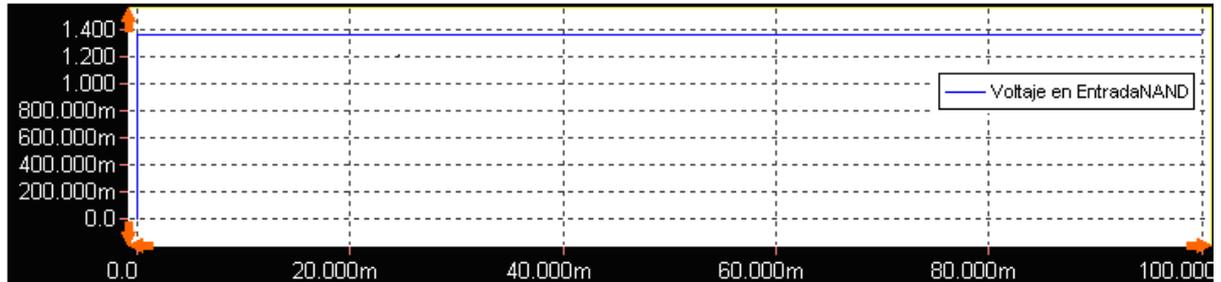


Figura 4.11 Primera simulación de la entrada de la primera compuerta NAND

Como se ven en la figura 4.11 ante los valores del panel fotovoltaico y la batería cargándose, el voltaje en la entrada de la primera compuerta NAND es de 1.36 V aproximadamente y aun no supera su valor umbral y mantendrá su salida en '0' lógico y por consiguiente estará oscilando.

Con un voltaje antes del diodo zener 2z6v2 = 25 V

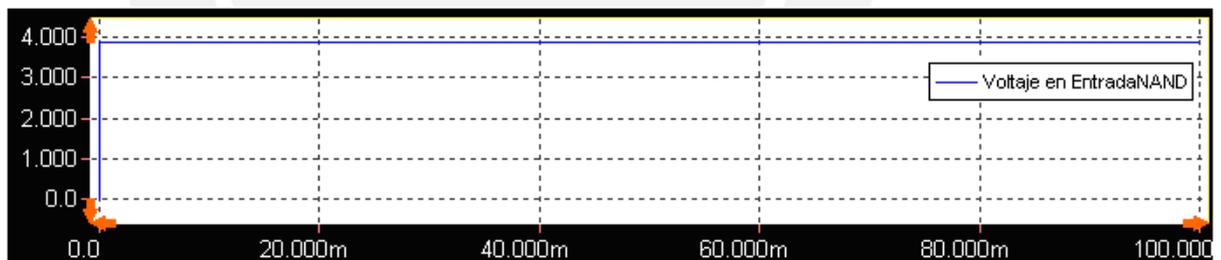


Figura 4.12 Segunda simulación de la entrada de la primera compuerta NAND

Como se ve en la figura 4.12 ante un voltaje elevado antes de diodo zener 2z6v2, el voltaje a la entrada de la primera compuerta NAND es de 3.87 V y ya superó el voltaje umbral con lo que su salida pasará de '0' a '1' lógico y el oscilador tendrá nivel alto de voltaje a la salida.

**b) Controlador de paso de corriente**

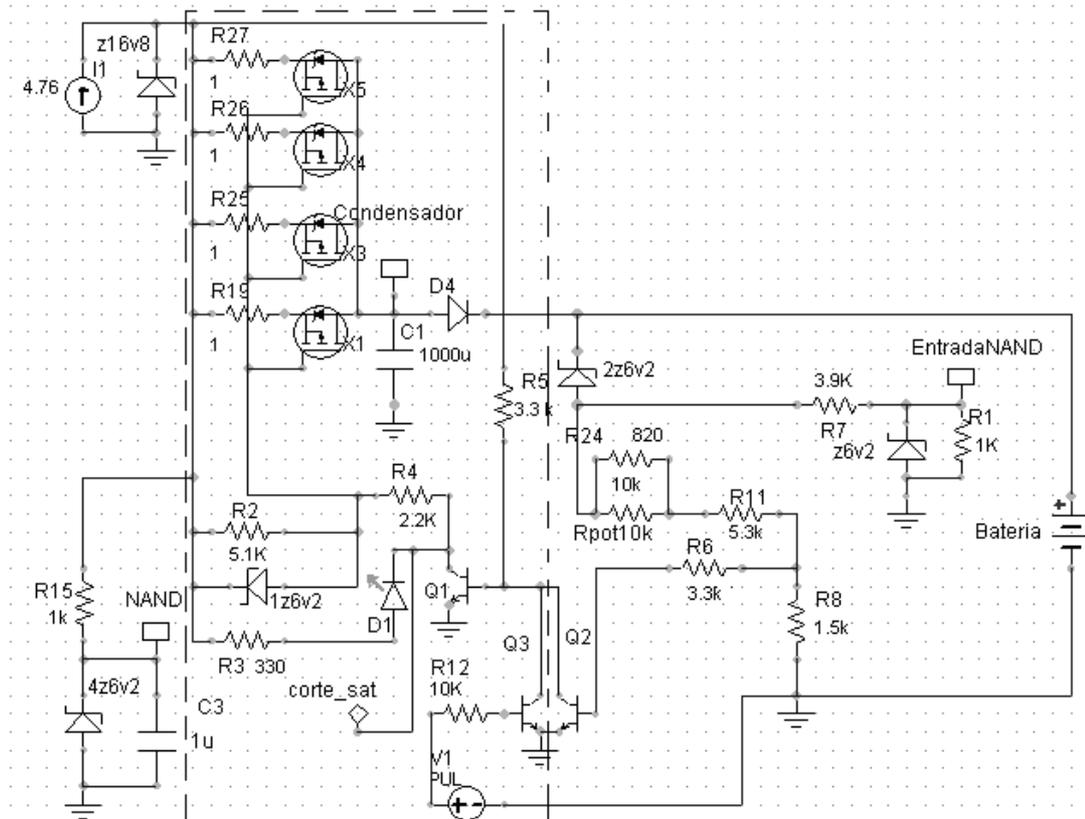


Figura 4.13 Diagrama esquemático del controlador de paso de corriente

En la figura 4.13 se ha enmarcado el controlador de paso de corriente el cual consta del oscilador, esquematizado como antes se mencionó como una fuente conmutada, y el MOSFET IRF9540 que dará el paso o no de corriente según las variaciones del oscilador.

A continuación se mostrarán dos pruebas de simulación para los valores máximos y mínimos de ciclo de trabajo del oscilador los cuales serán modificados en la fuente conmutada. A continuación se muestran las consideraciones para las dos simulaciones:

Voltaje de la Batería: 12.5 V

$R_{POT\ 10K\Omega}$ : 10 k $\Omega$

Voltaje de la fuente conmutada: 0 - 6.2 V

### Prueba 1

A continuación se muestran las consideraciones para la presente simulación:

$R_{POT\ 5K\Omega}$ :  $5k\Omega$  (valor máximo del potenciómetro de  $5k\Omega$  del oscilador)

$F_{OSCILADOR}$ : 84.4 Hz

Ciclo de Trabajo: 35% (valor máximo de ciclo de trabajo para valor más bajo de carga)

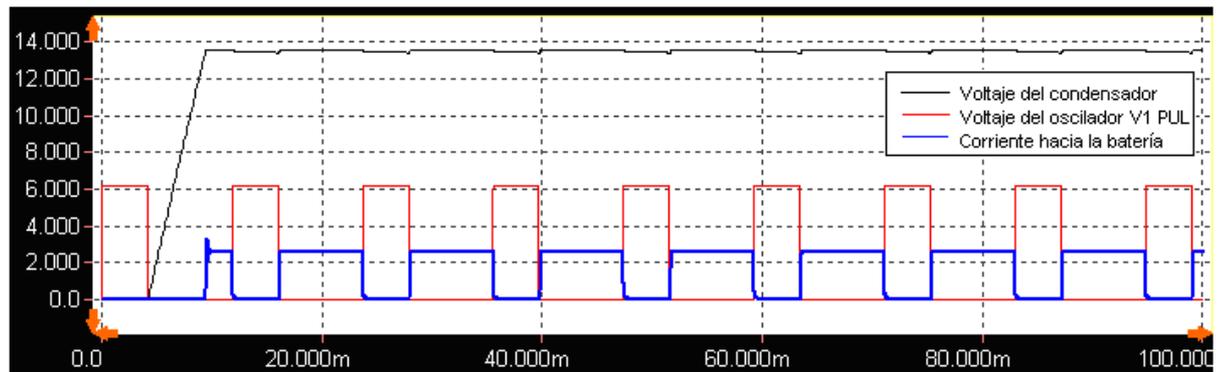


Figura 4.14 Prueba 1 de simulación del paso de corriente a la batería

Como se muestra en la figura 4.14 luego de que el condensador supera el voltaje de la batería más el del diodo, la corriente del panel fotovoltaico deja de pasar en su mayoría por este y fluye directamente hacia el acumulador de manera discontinua con la frecuencia del oscilador. Al inicio se tiene un pico de corriente de 3.6 A, pero luego se estabiliza para oscilar entre 0 y 3 A. El promedio de corriente para este tiempo de simulación es de 2.8 A aproximadamente (Ver anexo 8).

### Prueba 2

A continuación se muestran las consideraciones para la presente simulación:

$R_{POT\ 5K\Omega}$ :  $100\Omega$  (valor mínimo del potenciómetro de  $5k\Omega$ )

$F_{OSCILADOR}$ : 118 Hz

Ciclo de Trabajo: 9% (valor mínimo de ciclo de trabajo para valor más alto de carga)

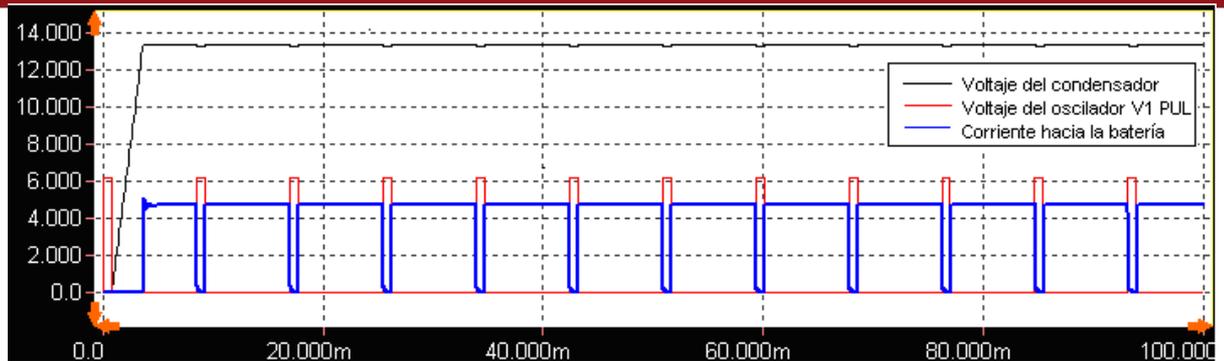


Figura 4.15 Prueba 2 de simulación del paso de corriente a la batería

Como se muestra en la figura 4.15 luego de que el condensador supera el voltaje de la batería más el del diodo, la corriente del panel fotovoltaico deja de pasar en su mayoría por este y fluye directamente hacia el acumulador de manera discontinua con la frecuencia del oscilador. Al inicio se tiene un pico de corriente de 5 A pero luego se estabiliza para oscilar entre 0 y 4.7 A. El promedio de corriente para este tiempo de simulación es de 4.13 A aproximadamente (Ver anexo 8).

**Nota:** Cabe resaltar que según el funcionamiento del oscilador explicado en el punto 3.3, la conmutación de la corriente a la entrada de la batería es inversa a la del voltaje del oscilador; esto se puede apreciar en ambas gráficas mostradas anteriormente.



valor óhmico del potenciómetro  $R_{pot10k}$ . Se harán las pruebas en el límite de voltaje que puede tener la batería como valor máximo.

Para ambas pruebas se consideraron los valores de voltaje y corriente óptimos entregados por el panel fotovoltaico; además de los siguientes valores:

$F_{OSCILADOR}$ : 84.4 Hz

Ciclo de trabajo del oscilador: 35 %

Voltaje de la fuente conmutada: 0 - 6.2 V

### Prueba 1 - $R_{pot10k} = 50\Omega$ .

Con  $V_{BATERIA} = 12\text{ V}$

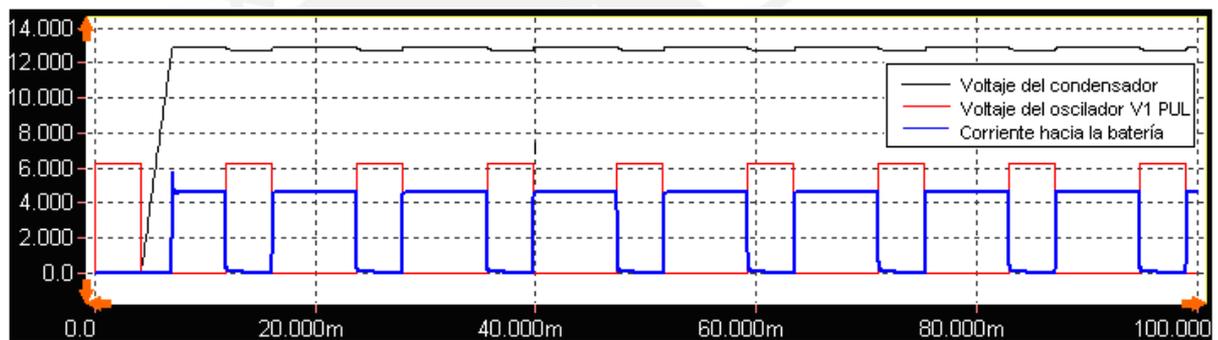


Figura 4.17 Prueba 1.1 de la simulación del máximo valor de voltaje de batería

Como se ve en la figura 4.17 al tener la batería un voltaje de 12 V, la corriente aun fluye hacia esta, y por lo tanto el transistor Q1 conmuta según las variaciones que da el oscilador sobre el transistor Q3.

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.1 \text{ V}$

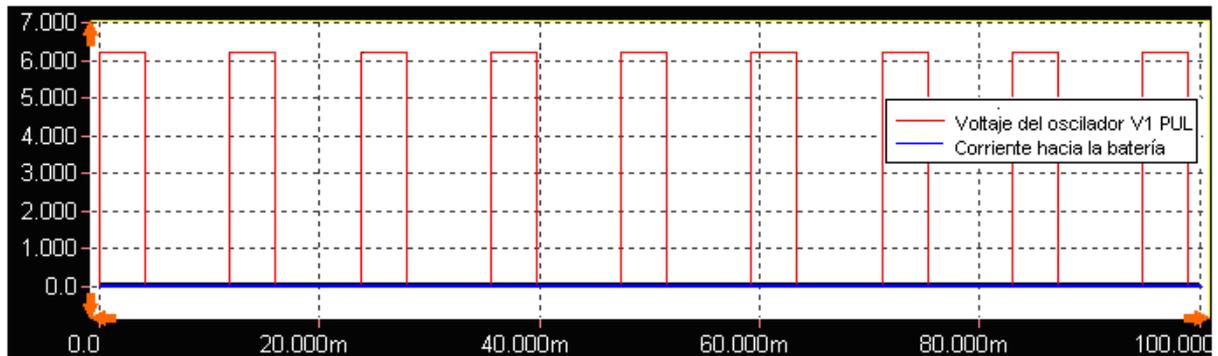


Figura 4.18 Prueba 1.2 de la simulación del máximo valor de voltaje de batería

Como se ve en la figura 4.18 al tener la batería un voltaje de 12.1 V, el transistor Q1 hace caso omiso a las conmutaciones producidas por el oscilador en el transistor Q3 y obedece solamente al transistor Q2 el cual, al pasar al estado de saturación, hace que el transistor Q1 pase al estado de corte. Por lo tanto la corriente deja de fluir del panel fotovoltaico hacia la batería y el condensador se descarga.

### Prueba 2 - $R_{\text{pot}10k} = 10k\Omega$

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.7 \text{ V}$

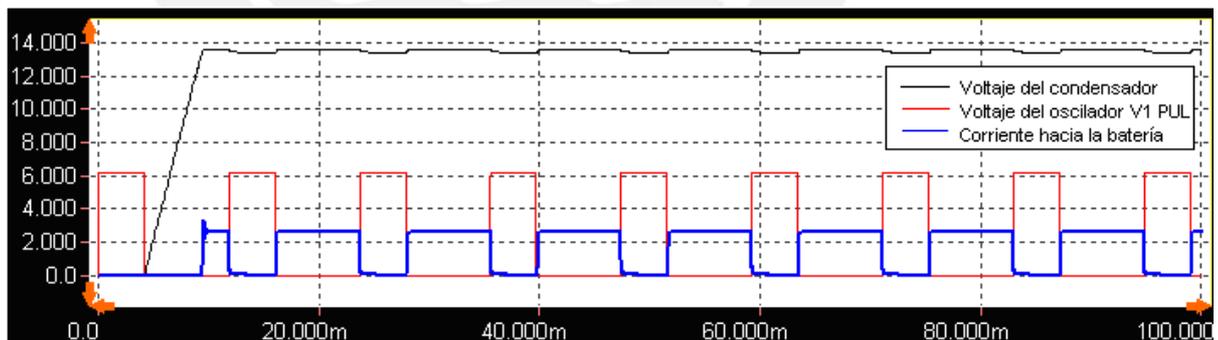


Figura 4.19 Prueba 2.1 de la simulación del máximo valor de voltaje de batería

Como se ve en la figura 4.19 al tener la batería un voltaje de 12.7 V, la corriente aun fluye hacia esta pero en menor magnitud, y por lo tanto el transistor Q1 conmuta según las variaciones que da el oscilador sobre el transistor Q3.

Con  $V_{BATERÍA} = 12.8 \text{ V}$

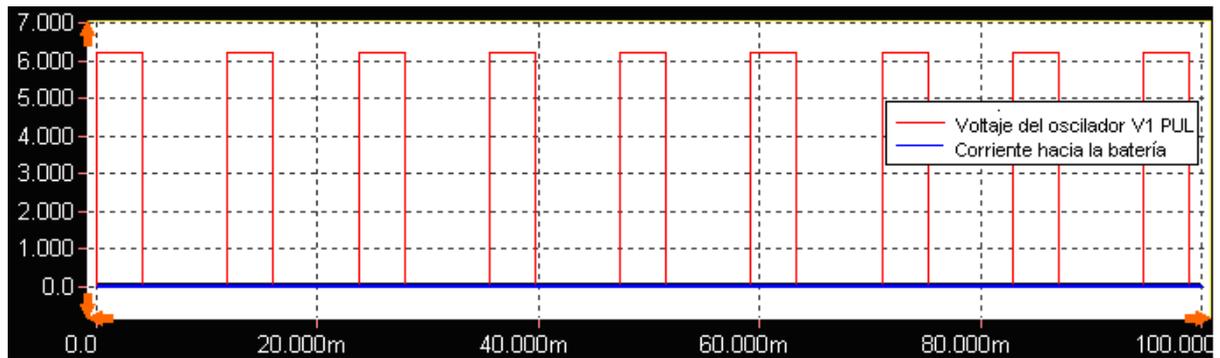


Figura 4.20 Prueba 2.2 de la simulación del máximo valor de voltaje de batería

Como se ve en la figura 4.20 al tener la batería un voltaje de 12.8 V, el transistor Q1 hace caso omiso a las conmutaciones producidas por el oscilador en el transistor Q3 y obedece solamente al transistor Q2 el cual, al pasar al estado de saturación, hace que el transistor Q1 pase al estado de corte. Por lo tanto la corriente deja de fluir del panel fotovoltaico hacia la batería y el condensador se descarga.

Además de estas dos pruebas se realizaron otras a diferentes valores del potenciómetro Rpot10k. Los resultados se presentan a continuación:

Valor del potenciómetro Rpot10k	Valor máximo de la batería en simulación
50Ω	12 V
100Ω	12.1 V
300Ω	12.2 V
500Ω	12.3 V
900Ω	12.4 V
1.5kΩ	12.5 V
3kΩ	12.6 V
7kΩ - 10kΩ	12.7 V

Tabla 4.1 Resultados de valores máximos de voltaje en la batería según valor de resistencia del potenciómetro Rpot10k obtenidos luego de su simulación.

#### d) Verificador de voltaje de batería baja

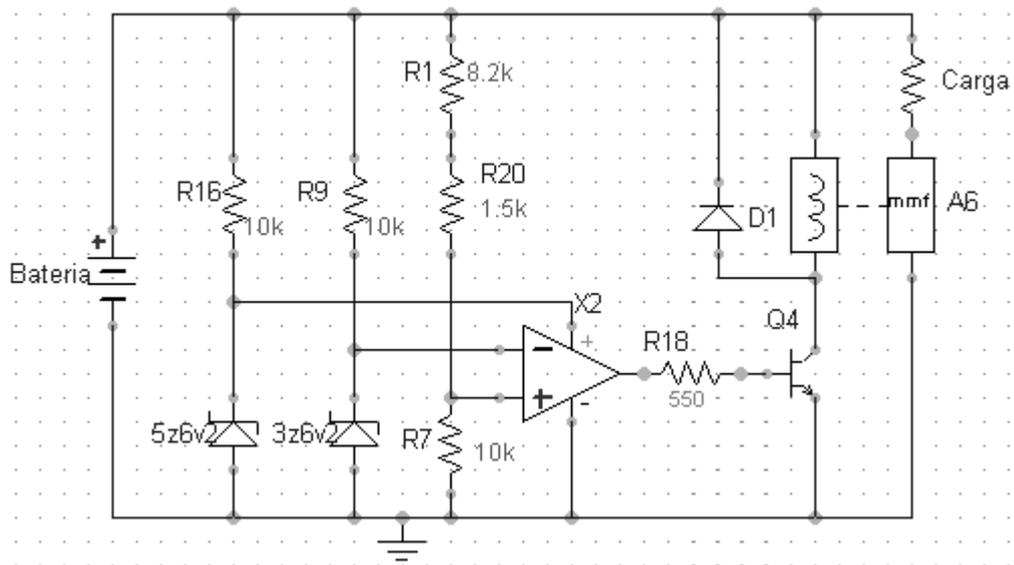
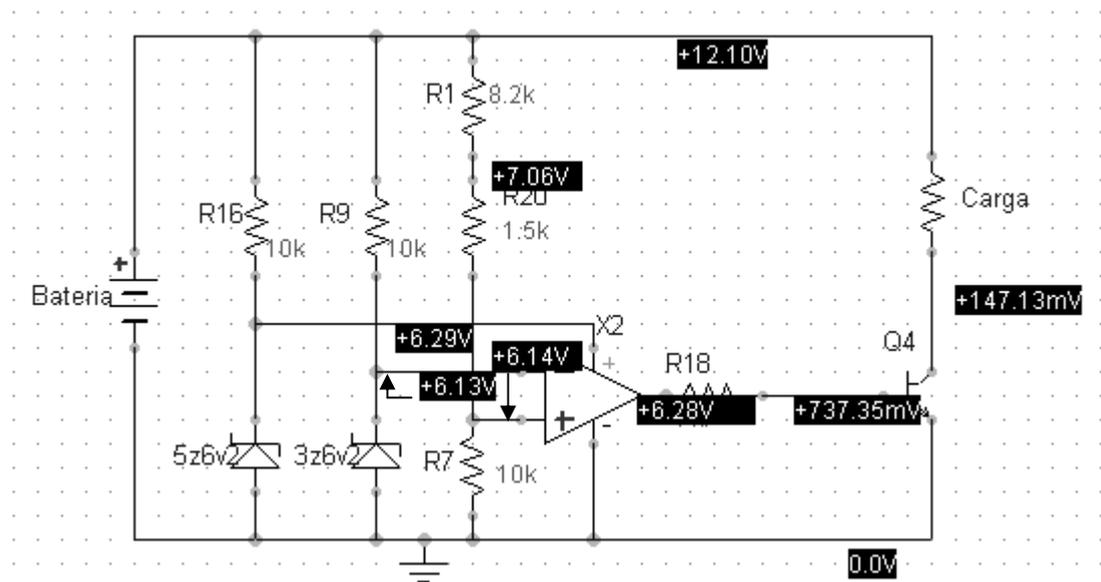


Figura 4.21 Diagrama esquemático del verificador de voltaje de batería baja

En la figura 4.21 se muestra el verificador de voltaje de batería baja, que consta de un OPAM que verifica el voltaje de la batería en todo momento; un voltaje de referencia de 6.2V enclavado por un diodo zener en la entrada inversora y un divisor de voltaje, ambos tienen como fuente a la batería. El OPAM hará que el transistor 2N3904 (Q4) cambie de su estado (saturación o corte), por consiguiente dejará o no circular la corriente por la rama de activación del relé (A6) y con esto, este último, controlará el paso de la corriente por la carga.

A continuación se mostrarán dos pruebas de simulación para el límite de valores de voltaje que puede tener la batería para dejar circular o no la corriente hacia las cargas. Debido a que el simulador no realiza la simulación de un relé el cual se utiliza en el diseño, se hará la comprobación de la activación del transistor Q4 para dejar o no pasar el flujo de corriente por la bobina del relé para activarlo o desactivarlo.

Prueba 1



Con  $V_{BATERÍA} = 12.1V$

Figura 4.22 Prueba 1 de simulación del verificador de voltaje de batería baja

Como se ve en la figura 4.22 al tener la batería un voltaje de 12.1 V, el valor de voltaje de la entrada no inversora está por encima del de la entrada inversora y por consiguiente se tiene un nivel alto de voltaje a la salida de operacional. El transistor se encontrará en estado de saturación y activará el relé, el cual dejará circular la corriente por la carga.

**Prueba 2**

Con  $V_{BATERIA} = 12.07V$

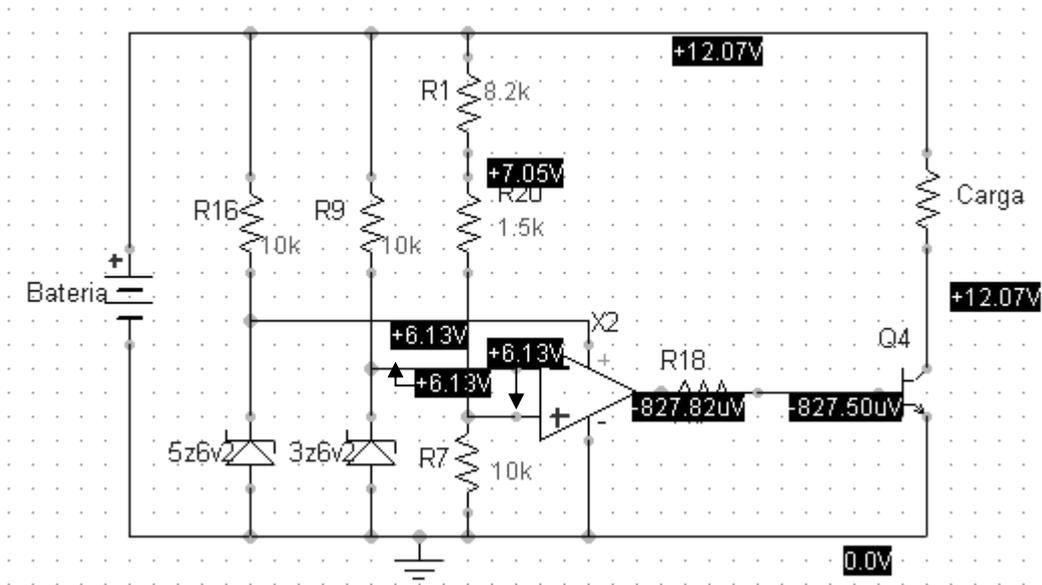


Figura 4.23 Prueba 2 de simulación del verificador de voltaje de batería baja

Como se ve en la figura 4.23 al tener la batería un voltaje de 12.07 V, el valor de la entrada no inversora ha descendido su voltaje por debajo de la entrada inversora y por consiguiente se tiene un nivel bajo de voltaje a la salida del operacional. El transistor se encontrará en estado de corte y desactivará el relé, el cual bloqueará la circulación de corriente por la carga.



Voltaje de la fuente conmutada: 0 - 6.2 V

Rpot10k: 10k $\Omega$  (en todo momento para valor de carga máximo de la batería)

### Prueba 1

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.5\text{V}$

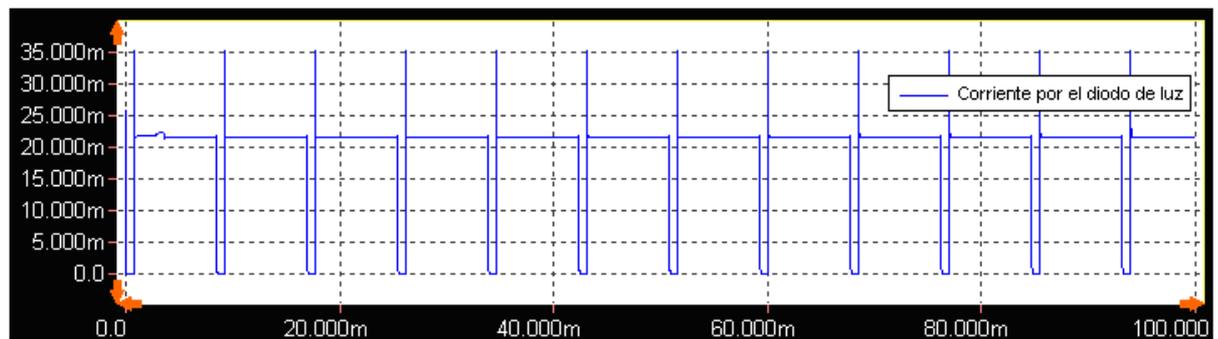


Figura 4.25 Prueba 1 de simulación del indicador del estado de carga

Como se ve en la figura 4.25 la corriente que circula por el diodo de luz conmuta con la frecuencia del oscilador y tiene un pico de corriente de casi 35 mA y luego una corriente estable de 21 mA. A pesar de que nuestro dispositivo estará constantemente prendiéndose y apagándose, estas variaciones generadas por el oscilador no serán percibidas por el ojo humano debido a su alto valor de frecuencia.

### Prueba 2

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.7\text{V}$

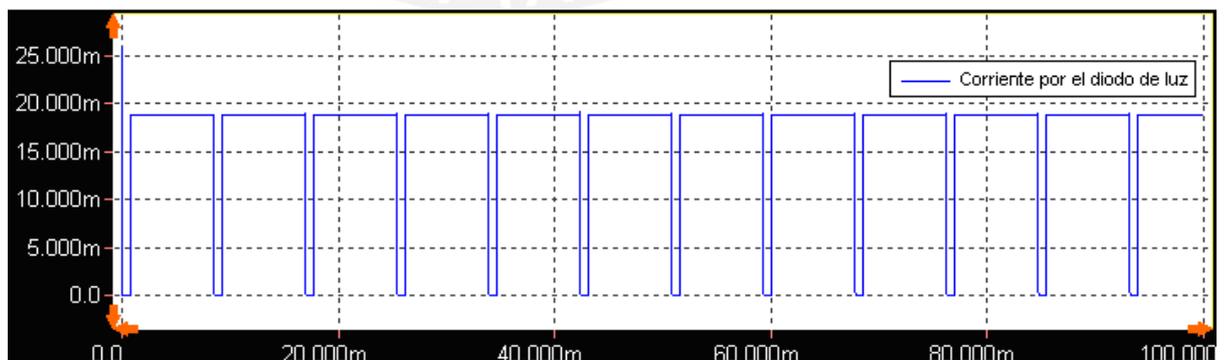


Figura 4.26 Prueba 2 de simulación del indicador del estado de carga

Como se ve en la figura 4.26 la corriente por el diodo de luz, a medida que la batería va alcanzando su máximo valor de carga, va disminuyendo ese pico de corriente que presentaba (ahora 25mA), y mantiene su corriente de 18 mA estable.

### Prueba 3

Con  $V_{\text{BATERÍA}} = 12.8\text{V}$

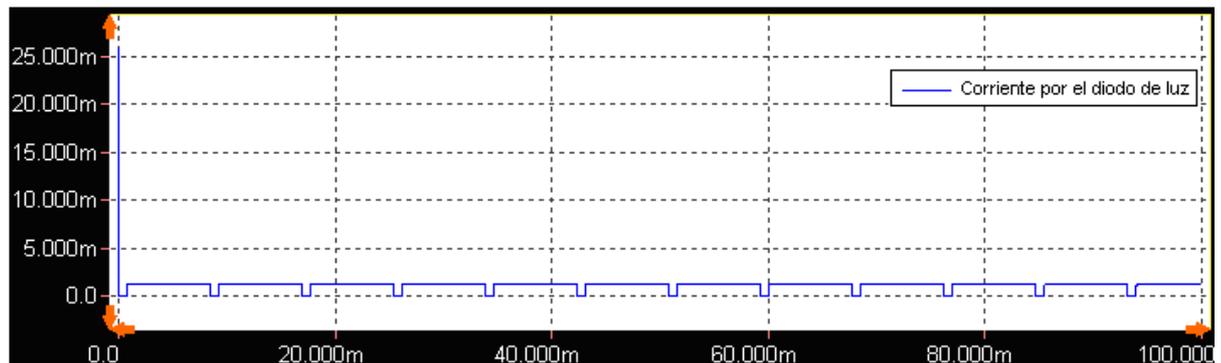


Figura 4.27 Prueba 3 de simulación del indicador del estado de carga

Al sobrepasar la batería su máximo valor de carga, la corriente que fluye por el diodo de luz en mínima, como se muestra en la figura 4.27, y por ende este se apagará.

## 4.2 Evaluación de resultados

De las dos simulaciones que se realizaron en el punto 4.1 se pudo apreciar dos tipos de cargadores de batería, uno de carga continua y otro con carga pulsante.

En el primero de ellos se comprueba su alta eficiencia de paso de corriente, debido a que toda la que el panel fotovoltaico proporciona pasa directamente a la batería (ver figura 4.2), con esto se reducirá el tiempo de carga de la misma pero a costa de reducir su vida útil.

Se puede ver en la figura 4.3 como, al tener la batería un voltaje prefijado como máximo, se corta todo paso de corriente por la misma, y así se evita una sobrecarga de esta. El problema ocurre al fijar el voltaje tope de la batería a cargarse, debido a que el potenciómetro de  $5\text{k}\Omega$  utilizado tiene

que tener un valor de máximo  $800\Omega$  para poder cargar baterías de 12 V hasta un valor de 12.8 V y su precisión en valores menores de resistencia no es muy exacta.

Se puede ver en la figuras 4.4 y 4.5 como se enciende un diodo de luz mientras la batería se encuentra cargando y como se apaga cuando esta termina de cargar (ver figura 4.6). El único inconveniente que se tiene es que la corriente máxima que circula por el diodo de luz, al momento de cargarse la batería, es muy pequeña (menos de 1 mA) y dicho diodo tendrá baja luminosidad, a menos que el voltaje de los paneles fotovoltaicos sea muy elevado.

En el segundo de ellos, diseño que se propone, se comprueba la carga discontinua que tendría la batería a diferentes regímenes de carga (ver figuras 4.14 y 4.15) mediante un oscilador PWM a base de compuertas NAND, pero este solo puede variar su ciclo de trabajo de 9% hasta 35 % aproximadamente.

Se verificó que se puede regular manualmente el valor tope de máxima carga de la batería (ver figuras 4.17 a 4.20 y tabla 4.1) y así evitar la sobrecarga de la misma; el único problema en ello es que al utilizar un potenciómetro para fijar este valor tope, no se tendría mucho grado de precisión. Además se le colocó un diodo de luz (ver figura 4.24) para indicar si la batería se está cargando y su fin de carga, aunque se tienen picos de corriente que podrían alterar el valor medio de esta.

Se constató también que ante una posible descarga de la batería, el sistema corta automáticamente toda corriente que circula por las cargas (ver figuras 4.22 y 4.23) para evitar descargas profundas de dicho acumulador; el problema que se suscitó es que el cargador vuelve a reconectar inmediatamente las cargas, si la batería supera nuevamente el voltaje umbral prefijado.

Para finalizar, se concluye que el diseño propuesto supera las prestaciones del primer diseño presentado, debido a que: en primer lugar, presenta una carga pulsante de la batería lo cual prolonga su vida útil; en segundo lugar, el indicador de luz tiene mayor luminosidad al momento de la carga de la batería; en tercer lugar, se puede variar su régimen de carga según lo desee el usuario y en cuarto lugar, protege a la batería ante un posible estado de descarga profunda, al desactivar toda carga conectada a ella si esta presenta un valor muy bajo de voltaje. Por estas razones es por lo que este diseño propuesto será el cargador de baterías a utilizar en el trabajo.

### **4.3 Análisis de costos**

Para el presente estudio se escogió como muestra a la comunidad de Micaela Bastidas, debido a la demanda eléctrica insatisfecha encontrada según una encuesta verbal realizada a los pobladores de dicha comunidad. Como se especificó en el punto 1.2.1 esta demanda insatisfecha representa un 95% aproximadamente de la población. Los comuneros carecen de un sistema eficiente para satisfacer sus necesidades de electrificación, a pesar que cuentan con un ingreso per capita promedio de S/.1189.2 mensuales (Ver anexo 2).

#### **4.3.1 Propuesta**

La propuesta presentada es la de vender un sistema fotovoltaico (panel fotovoltaico, cargador de batería y batería) a un precio de S/.3596.58 para cada familia de dicha comunidad que lo requiera. El precio se ha estipulado según los gastos por la compra del panel fotovoltaico, la batería (Ver anexos 5 y 7 respectivamente) y los gastos para la realización del cargador de batería personalizado (Ver anexo 9), esto es el principal valor agregado ya que se realizaría un diseño personalizado del cargador de baterías según la presente o la proyección futura de la máxima demanda de potencia de la familia. Asimismo se ha considerado una adhesión del 31% del costo total del producto por concepto de depreciación de instrumentos, pago por servicio de instalación y ganancia; además de la adhesión del precio de transporte a la localidad, el módulo para el panel fotovoltaico y otros.

A continuación se presentan las tablas totales de costos finales para la venta del sistema fotovoltaico (Ver anexo 9):

Parte	Serie	Cantidad	Precio unitario sin IGV (\$)	Precio unitario con IGV (\$)	Precio unitario sin IGV (S/.)	Precio unitario con IGV (S/.)	Totales (S/.)	Totales (\$)
Panel fotovoltaico	Suntech 80W	1	519	617.61	1557	1852.83	1852.83	617.61
Batería	AC DELCO S2000	1	163	193.97	489	581.91	581.91	193.97
Cargador de baterías	Diseño propio	1	51.76	61.59	155.3	184.78	184.78	61.59
<b>COSTOS DE SISTEMA FOTOVOLTAICO</b>						<b>Total (S/.)</b>	2619.52	873.17

Tabla 4.1.a Costos finales del sistema fotovoltaico

PRECIO DE COMPRA (S/.)	PRECIO DE COMPRA (\$)	PRECIO DE VENTA (S/.)	PRECIO DE VENTA (\$)
2619.52	873.17	3596.58	1118.86

Tabla 4.1.b Costos finales del sistema fotovoltaico

**Nota:** Para efectos de conversión del importe de dólares a soles se utilizó un T/C=3.00

#### 4.3.2. Ventaja competitiva

- Segmentación de los principales clientes potenciales.
- Alianza Estratégica con las empresas Detroit Diesel MTU Perú SAC y MG Trading; principales proveedores a nivel nacional de baterías y paneles fotovoltaicos, respectivamente.
- Suministro de Servicio de Asesoría Técnica y Diseño Personalizado.

#### Características competitivas del producto

- Uso de energía renovable.
- Prolonga la vida útil de la batería.
- Reducción de costos de carga de baterías.
- Optimización de la carga de la batería.
- Maximiza el uso de la electricidad en poblaciones rurales que carecen del servicio de electrificación pública.

- Pago único por el sistema fotovoltaico que incluye capacitación de uso y mantenimiento.

### **Características del Servicio de Asesoría Técnica y Diseño Personalizado**

- Dimensionamiento del sistema fotovoltaico de acuerdo a las características particulares de los clientes objetivos.
- Servicio de Asesoría Pre-Post venta.
- Capacitación de instrucción y mantenimiento del sistema fotovoltaico.

#### **4.3.3 Condiciones de Competidores Indirectos**

Actualmente existen empresas eléctricas que trabajan para el Estado y que brindan servicios con relación a electrificación rural. Este es el caso de ADINELSA [6], la cual es una empresa estatal de derecho privado, que tiene como finalidad administrar las obras de electrificación rural que el Estado haya ejecutado o ejecute en las zonas rurales y aisladas del Perú. Además se tienen también el Proyecto FONER, el cual es el Fondo Nacional de Electrificación Rural con el que cuenta el Perú y el Grupo de Apoyo al Sector Rural de la PUCP [31] que busca alternativas sostenibles para cubrir las necesidades básicas de pobladores rurales, una de ellas la eléctrica.

Estos tienen planificados cada vez más proyectos de electrificación rural en el país, ADINELSA [6] con proyectos de generación de energía por medios solares y eólicos, además de ampliación de líneas de transmisión para interconexiones entre poblados, el FONER con proyectos de PSE a lo largo del país y el Grupo de Apoyo al Sector Rural con proyectos de investigación científica y tecnológica en el tema de Energías Renovables.

#### **4.3.4 Descripción de la política comercial**

La política de calidad es proveer a los clientes un sistema de electrificación fotovoltaica que supere las prestaciones del producto original, con un costo beneficio óptimo para los usuarios finales.

La política crediticia se hará efectiva mediante un financiamiento del sistema a mediano plazo por parte del Banco de Crédito, el cual permite a personas naturales, que cuenten con un apoderado con RUC, adquirir bienes nacionales o importados, pagando enteramente el costo de dicho bien a la empresa que lo comercializa y dándole cuotas periódicas de pago (de 3 a 60 meses) al que lo adquiera [40], previa evaluación crediticia. Esto permitirá brindarles mayores facilidades de pago; debido a que se quiere avocar este trabajo con fines de apoyo a comunidades rurales.

Como segunda opción se podría recurrir al apoyo de la Municipalidad de Barranca, quienes a través de las políticas impartidas por el Estado brindarían la posibilidad de hacer factible los proyectos cuya finalidad sea el bienestar de la comunidad. La viabilidad de esta propuesta se haría efectiva con la sustentación y presentación de la misma por parte de la teniente alcalde de la comunidad de Micaela Bastidas, quien cuenta con el apoyo y respaldo de la población. Esto se indicó verbalmente en conversación hecha en la visita realizada a dicha comunidad.

Asimismo, brindar al cliente el Servicio Pre-Post Venta de capacitación de uso y mantenimiento permitirá optimizar la utilización del sistema maximizando su rendimiento.

#### **4.3.5 Canales de distribución**

El proceso de distribución del sistema fotovoltaico en zonas rurales, tomando como muestra los pobladores de la comunidad de Micaela Bastidas, será bajo la política de asumir dentro del precio de venta la incorporación de un importe de despacho (costo de flete) según la localidad en la se deba que transportar el producto. Cabe señalar que se cuenta con movilidad propia para el transporte del equipo, por lo cual para efectos de la evaluación de costos se ha considerado el costo del combustible (GLP) a utilizar por viaje y un porcentaje del costo de mantenimiento futuro del auto.

## CONCLUSIONES

1. Un sistema fotovoltaico para la recarga de las baterías de 12 voltios se presenta como buena alternativa de electrificación en los poblados que carecen de esta y que cuenten con un índice de irradiación solar apropiado.
2. Se evitaría la dependencia de proveedores externos para realizar la recarga de las baterías; con lo que se tendría un abastecimiento continuo de energía eléctrica, sin racionalizar el uso de las cargas, en cada uno de los hogares de la comunidad.
3. El indicador de estado de carga facilita de manera visual el monitoreo de la carga actual de la batería por parte del usuario. Además de saber cuándo se está consumiendo más de lo debido.
4. Los dos valores agregados principales que sostendrían la competitividad del producto, a nivel nacional, serían: la personalización del diseño del cargador y dimensionamiento del panel fotovoltaico y la batería, según la máxima demanda de potencia actual o futura del usuario, y el suministro de un servicio de asesoría técnica de instrucción y mantenimiento del sistema.
5. Este sistema podrá ser aplicado en otras zonas rurales que tengan la misma necesidad de abastecimiento continuo de energía como la muestra utilizada en este trabajo, además de la cantidad de irradiación solar necesarias.

## RECOMENDACIONES

1. Para un control de carga de la batería aún más efectivo en un diseño posterior, como la ampliación del rango del ciclo de trabajo del oscilador PWM o aplicar un retardo en la reconexión de las cargas conectadas a la batería luego de ser desconectadas ante un voltaje bajo de la misma, es recomendable el uso de un microcontrolador.
2. Para una simulación óptima del cargador de baterías, se necesitará de un programa que tuviese la opción de simular un panel fotovoltaico real y una batería que varíe su valor a medida que se cargue.
3. Si se desea aumentar la capacidad del panel fotovoltaico o colocar una mayor cantidad de los mismos, lo que implicará el aumento de corriente que se entregaría a la batería a valores:
  - 3.1. Mayores a 6A, se tendrá que colocar disipadores para los MOSFET de mayor cantidad de disipación de calor.
  - 3.2. Mayores a 10A, se necesitará de la colocación de una o más baterías en paralelo para dividir la corriente y evitar superar el máximo valor de corriente que soporta una sola.
4. Para la realización la tarjeta del circuito impreso del diseño propuesto se tendrá que considerar un espesor de la capa de cobre de  $18\mu\text{m}$ , esto debido a que se tomó este valor para el diseño de la misma.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Fondo Nacional de Electrificación Rural. (2008). Proyecto Foner [en línea]. [consultado 2008/03/30]. Disponible: <http://www.foner.gob.pe>
- [2] Grupo de Apoyo al Sector Rural PUCP. (2008). [en línea]. [consultado 2008/03/30]. Disponible: <http://www.pucp.edu.pe/grupo/>
- [3] Wiki Mapia. (2008). [en línea]. [consultado 2008/04/12]. Disponible: <http://wikimapia.org>
- [4] Alfonso Carrasco V. en *La electricidad en el Perú. Política estatal y electrificación rural*. Lima, Perú: ITAG, 1989.
- [5] Ministerio de Energía y Minas. (2001). Pequeños Sistemas Eléctricos [en línea]. [consultado 2008/05/01]. Disponible: [http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001/electricidad/pequenos\\_sistemas\\_electr.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001/electricidad/pequenos_sistemas_electr.pdf)
- [6] Adinelsa. (2008). [en línea]. [consultado 2008/05/01]. Disponible: [http://www.adinelsa.com.pe/Energia\\_Solar/](http://www.adinelsa.com.pe/Energia_Solar/)
- [7] Manfred Horn. (1999, Junio). ¿Son los paneles solares una alternativa real para la electrificación rural en el Perú? [en línea]. [consultado 2008/04/03]. Disponible: <http://fc.uni.edu.pe/solar/fv.html>
- [8] Gerald Foley en *Electricity for Rural People*. Londres, Inglaterra: The Panos Institute, 1990.
- [9] Soluciones Energéticas S.A. (2008). [en línea]. [consultado 2008/04/12]. Disponible: <http://www.solener.com/>
- [10] Marisa Jacott. (2005, Noviembre 29). Pilas y baterías: tóxicos en casa [en línea]. Disponible: <http://www.greenpeace.org/raw/content/mexico/prensa/reports/pilas-y-bater-as.pdf>
- [11] Vegas Electric. (2008). [en línea]. [consultado 2008/04/11]. Disponible: <http://www.vegaselectric.net/SolarPLG.jpg>
- [12] Ministerio de Trabajo y Promoción de Empleo. (2008). Programa de Estadísticas y Estudios Laborales [en línea]. [consultado 2008/09/17]. Disponible: [http://www.mintra.gob.pe/peel/estadisticas/demanda\\_laboral/inf\\_remuneraciones\\_Jun\\_2007.pdf](http://www.mintra.gob.pe/peel/estadisticas/demanda_laboral/inf_remuneraciones_Jun_2007.pdf)

- [13] Ministerio de Energía y Minas. (2006). Estadística Eléctrica por Regiones 2006 [en línea]. [consultado 2008/05/15]. Disponible: <http://www.minem.gob.pe/archivos/dge/publicaciones/regines2006.pdf>
- [14] Asociación para el Fomento de la Infraestructura Nacional. (2006). Memoria Institucional 2006 [en línea]. [consultado 2008/05/15]. Disponible: [http://www.afin.org.pe/index.php?option=com\\_docman&task=doc\\_view&gid=315&Itemid=110](http://www.afin.org.pe/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=315&Itemid=110)
- [15] Ministerio de Energía y Minas. (2001). Mapa de Potencial Disponible de Energía Solar [en línea]. [consultado 2008/05/01]. Disponible: [http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001/electricidad/2001\\_potenc\\_disponibl\\_ener\\_solar.pdf](http://www.minem.gob.pe/archivos/ogp/publicaciones/atlasmineriaenergia2001/electricidad/2001_potenc_disponibl_ener_solar.pdf)
- [16] Baterías Willard. (2003). Tecnología al Día [en línea]. [consultado 2008/09/20]. Disponible: [http://www.bateriaswillard.com/tecnologia\\_aldia.htm](http://www.bateriaswillard.com/tecnologia_aldia.htm)
- [17] Energía Total. (2006). Carga pulsante [en línea] [consultado 2008/09/20]. Disponible: <http://www.energiatotal.net/Carga%20Pulsante.pdf>
- [18] *The Battery Man Magazine*. (1998, Septiembre)
- [19] Carlos Zahumenszky. (2006, Diciembre 12). Un uso correcto de los equipos prolonga su vida útil [en línea] [consultado 2008/09/25]. Disponible: <http://canales.laverdad.es/nuestratierra/nt12052006/suscr/nec28.htm>
- [20] Ceprecyt. (2006, Marzo). Entrevistas al Dr. Manfred Horn [en línea]. Disponible: <http://www.ceprecyt.org/entrevistas/ManfredHorn2.htm>
- [21] Manfred Horn. (1997). ¿Qué baterías usar en sistemas fotovoltaicos domiciliarios? [en línea]. [consultado 2008/04/03]. Disponible: <http://fc.uni.edu.pe/solar/baterias.html>
- [22] Acdelco. (2008). [en línea]. [consultado 2008/10/02]. Disponible: <http://www.acdelco.com/>
- [23] Robert L. Boylestad y Louis Nashelsky, en *Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos*. México: Pearson Educación, 2003.

- [24] Digikey. (2008). [en línea]. [consultado 2008/10/15]. Disponible: <http://www.digikey.com>
- [25] Separata del curso de Circuitos Eléctricos 1 (IEE148). (2005). Circuitos que almacenan energía L C.
- [26] Electran: Electrónica y Robotica. (2008) [en línea]. [consultado 2008/10/16]. Disponible: <http://www.electan.com/>
- [27] Simbología Electrónica. (2008). [en línea]. [consultado 2008/10/16]. Disponible: <http://www.simbologia-electronica.com>
- [28] Curso de Circuitos analógicos (IEE203). (2005). Explicaciones de clase del curso.
- [29] Separata del laboratorio 3 del curso Diseño Electrónico 1 (IEE222). (2007). Amplificador Sintonizado y Osciladores.
- [30] Separata del curso de Circuitos Analógicos (IEE203). (2005). Diodo Zener.
- [31] R. Espinoza y M. Horn en *Electrificación rural con sistemas fotovoltaicos*. Lima, Perú: UNI, 1992.
- [32] Manfred Horn. (2001, Marzo 23). ¿ Experiencias de Electrificación Fotovoltaica en el Perú [en línea]. [consultado 2008/04/03]. Disponible: <http://fc.uni.edu.pe/mhorn/electrificacion.htm>
- [33] La Vivienda Solar. (2008). [en línea] [consultado 2008/08/03]. Disponible: <http://www.telefonica.net/web2/pantufloagonza/>
- [34] Appa – Asociación de Productores de Energía Renovables. (2005). [en línea]. [consultado 2008/06/13]. Disponible: <http://www.appa.es/>
- [35] Grupo Ipsilon. (2007). [en línea]. [consultado 2008/04/12]. Disponible: <http://www.ipsion.es/>
- [36] El Paso Solar Energy Association (2009). [en línea]. [consultado 2008/10/14]. Disponible: <http://www.epsea.org/>
- [37] Suntech Power (2009). [en línea]. [consultado 2009/06/18]. Disponible: <http://www.suntech-power.com/>
- [38] Izadivan Online (2009). [en línea]. [consultado 2009/06/18]. Disponible: [http://www.izadivanonline.com/articulo\\_detalle.php?formato=in&op=add&codigo=03020002&str=&familia=&marca=&subfamilia=&novedades=0&showhide=1&offset=360](http://www.izadivanonline.com/articulo_detalle.php?formato=in&op=add&codigo=03020002&str=&familia=&marca=&subfamilia=&novedades=0&showhide=1&offset=360)

- [39] Yingli Solar (2009). [en línea]. [consultado 2009/06/18]. Disponible:  
<http://www.yinglisolar.com/enmain/user/index.asp>
- [40] Banco de Crédito (2005). Financiamiento [en línea]. [consultado  
2009/06/21]. Disponible:  
[http://www.viabcp.com/zona\\_publica/02\\_pymes/interna.asp?SEC=2&JER=435](http://www.viabcp.com/zona_publica/02_pymes/interna.asp?SEC=2&JER=435)

