



Transferencia de carga para riego solar.

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALÚRGICO DE MOA
"Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD DE METALURGIA Y
ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Eléctrico

Transferencia de Carga para Riego Solar

Autor: William Daniel Arías García.

Tutor: Ing. Daniel Mendiola Elias.

Moa, 2017.

"Año 59 de la Revolución".





Transferencia de carga para riego solar.

Declaración de Autoría.

En decisión conjunta, el autor William Daniel Arías García y el tutor Ing. Daniel Mendiola Elias, certificamos como nuestra propiedad intelectual este Trabajo de Diploma con el título: Transferencia de carga para riego solar donde el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, podrá hacer uso del mismo, para fines docentes y educativos.

Para que así conste se firma la presente a los__ días del mes de Junio de 2017.

Firma del autor.

Firma del tutor.





Agradecimientos.

A mis madres por su apoyo, por haberme enseñado a ser mejor persona cada día.

A mi familia por alentarme a seguir adelante.

A mis amigos que han estado pendientes de mí, dando su apoyo aún sin pedírselo.

A mi tutor Ing Daniel Mendiola Elias que con sus sugerencias, y confianza me guío a cumplir mis metas.

Quiero agradecer de forma muy especial a todas las personas que de una o de otra forma me brindaron de su apoyo, paciencia y consejos para terminar de forma exitosa este proyecto.

A la revolución y al Comandante en Jefe por haberme dado la oportunidad de estar donde estoy.



Dedicatoria.

Este trabajo se lo dedico a una persona muy especial en mi vida que no se encuentra ya físicamente entre nosotros, pero que sin él no hubiese llegado hasta aquí, donde quiera que estés Enrique García Santiesteban... gracias por haber sido mi guía, mi abuelo y mi padre a la vez, por haberme enseñado parte de tus conocimientos, por haberme criado con valores y por enseñarme a ser un buen hombre.

Gracias TITO.

William Daniel Arías García



Transferencia de carga para riego solar.

Pensamiento.

“El aspecto fundamental en el cual la juventud debe señalar el camino es precisamente en el aspecto de ser vanguardia en cada uno de los trabajos que le compete.”

Ché.





Resumen.

En el presente trabajo se hace la simulación de un sistema de transferencia de carga para riego solar que determina de entre la fuente solar o la red pública, cuál será que fuente de potencia que le entregue al motor del riego solar la energía necesaria para su funcionamiento. El circuito fue diseñado y simulado en la herramienta de diseño NI Multisim 14.0. El trabajo aborda los principales aspectos teóricos relacionados con las formas de conmutación y transferencia de carga. Se hace alusión a la posibilidad de la incorporación de estos sistemas en organopónicos que actualmente realizan el riego exclusivamente por la red pública y que constituiría un importante ahorro de energía y una menor contaminación al medio ambiente. También se hacen observaciones sobre los distintos tipos de sistemas híbridos y las formas en las que se aprovecha la energía solar en el riego. Además, se abordan aspectos tales como los elementos que componen un sistema de riego y la forma en que estos se dimensionan. En el último capítulo se realiza la evaluación de los resultados obtenidos durante la simulación de la propuesta y se hace la valoración económica del mismo.



Summary.

In the present work the simulation of a charge transfer system for solar irrigation is determined that chooses between the solar source or the public network, which will be that source of power that will give to the motor of the solar irrigation the energy necessary for its operation . The circuit was designed and simulated in the NI Multisim 14.0 design tool. The paper deals with the main theoretical aspects related to the forms of switching and load transfer. It is alluded to the possibility of the incorporation of these systems into organoponics that currently perform irrigation exclusively by the public network and that would constitute a significant energy saving and less pollution to the environment. Observations are also made about the different types of hybrid systems and the ways in which solar energy is used in irrigation. In addition, it addresses aspects such as the elements that make up an irrigation system and the way in which these are dimensioned. In the last chapter the evaluation of the results obtained during the simulation of the proposal is carried out and the economic valuation of the proposal is made.



Índice

Introducción.....	1
Problema.....	2
Hipótesis.....	2
Objetivo General.	2
Objetivos Específicos.	3
Tareas.	3
CAPÍTULO #I: Marco Contextual y Teórico.....	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Usos de la Energía Solar Fotovoltaica.	4
1.3 Utilización de la energía solar en riego.....	4
1.3.1 Funcionamiento de un riego solar.....	5
1.3.2 Condiciones que requiere un riego solar.....	5
1.4 Elementos que conforman los sistemas de riego solar en general.....	5
1.5 Múltiples fuentes de riego.....	9
1.5.1 Solar-eólica.	9
1.5.2 Solar-diésel	10
1.5.3 Solar-red.....	10
1.6 Conmutadores.....	11
1.7 Trabajos precedentes.....	12
1.8 Utilidad de la energía transferida.....	13
1.9 Justificación de los procedimientos de síntesis.	14
CAPÍTULO # II Métodos y Técnicas.....	15
2.1Introducción.....	15
2.2 Historia del Riego Solar.....	15
2.3 Método de síntesis.	17
2.4 Necesidades de Riego.	17



2.4.1 Agua Necesaria Para el Riego:	17
2.4.2 Energía necesaria para el riego en un organopónico de media hectárea.	20
2.5 Redes de transferencia.	20
2.6 Dimensionado.	21
2.6.1 Red pública.	21
2.6.2 Red fotovoltaica.....	21
2.7 Transferencia de la carga.....	25
2.7.1 Flujos de potencia	26
2.7.1 Elementos de Transferencia.....	27
2.7.2 Relés.	27
2.8 Control de la transferencia.	30
2.8.1 Sensores.	31
2.8.2 Monoestables no redisparables:.....	34
2.8.3 El monoestable redisparable:	34
Capítulo #3 Análisis de los resultados y valoración económica.	35
3.1 Caracterización del Organopónico Las Coloradas.	35
3.1.1 Sistema de riego:.....	35
3.1.2 Forma de alimentación del sistema de riego:	36
3.1.3 Tipos de cultivos:.....	36
3.2 Cálculo de Necesidades.....	36
3.3 Propuesta y evaluación de los resultados.	38
3.4 Valoración económica.	45
3.5 Conclusiones.....	51



Introducción.

En el mundo actual existe una tendencia positiva respecto a enfrentar los problemas medioambientales acumulados por el uso de los combustibles fósiles. La dirección principal a la que se apunta es las fuentes de energías renovables, debido a sus compromisos mínimos de contaminación.

La energía solar se considera en el centro de estas fuentes, lugar dado por su amplia variedad, así como por su impacto contributivo estratégico frente a este fenómeno de escala global.

Las formas de aprovechamiento de la energía solar se pueden dividir en:

- directas
 - fotovoltaica
 - térmica
- indirectas
 - eólica
 - biomasa

En cualquiera de los casos se enfrenta el inconveniente requerido de estudios y acopio de datos debido al número de horas de aprovechamiento, los factores climatológicos impactantes y la eficiencia de conversión de los materiales que captan la energía incidente.

El estudio y acopio de datos asociado a las horas de aprovechamiento se expresa mediante modelos de naturaleza estadística o estocástica, i.e estimadores o predictores; también mediante modelos analíticos aproximados de los sensores y captadores, así como agregados que asumen las funciones de conversión, almacenamiento o transferencia. Los datos se incorporan desde las entradas pero también se necesitan referencias debidas a los procesos de salida; tomando que la energía solar puede ser aprovechada por transformación, incidencia, convección o reflexión



Transferencia de carga para riego solar.

Los factores climatológicos refuerzan la presencia de modelos estocásticos y conducen a la obtención de acotamientos y formas de complementación desde el punto de vista de ingeniería.

Debe destacarse que la selección de materiales para convertir la luz solar combinados con el procesamiento de datos implica la aparición de criterios tanto ingenieriles, económicos o ergonómicos.

Todo lo anterior indica espacios de investigación científica y técnica, búsqueda de soluciones de ingeniería y formulación de criterios para la satisfacción de compromisos de índole económica o social, que pueden relacionarse con:

- Creación de dispositivos
- Diseño de formas de conversión
- Selección de materiales
- Evaluación de comportamientos
- Estudios proponentes de sistemas de control, almacenamiento y transferencia energética

También con aplicaciones en:

- Comunicaciones
- Dispositivos sociales
- Medioambiente
- Dispositivos técnicos incidentes sobre aspectos de la sociedad y medioambientales.

De especial interés tenemos:

- Los sistemas para producir bienes y servicios, e.g. riego solar;
- Los aparatos facilitadores y propiciadores de confort, dígase cocinas solares o acondicionadores;
- Los sistemas o redes de generación y distribución de energía fotoeléctrica



Transferencia de carga para riego solar.

- Las aplicaciones que acarrearán de formas combinatorias, tales como un hogar o las comunidades.

El riego solar es todo sistema de riego en el cual la energía solar es la principal fuente de potencia utilizada para llevar a cabo la operación del sistema en cualquier parte del proceso de riego.

Los sistemas de riego están compuestos por los siguientes elementos:

- Depósitos acumuladores
- Sistema Motor-bomba
- El generador fotovoltaico
- Actuadores

Una característica de estos sistemas es que se pueden alimentar por diferentes vías, la cual es aprovechable en lugares donde no existan las fuentes convencionales de energía o que lleve a ahorros significativos.

Una alimentación múltiple permite asegurar la continuidad de suministro de energía en caso de que la fuente principal falle transfiriendo la potencia mediante un circuito que controle esta operación.

Problema.

Se tienen bajas posibilidades de aprovechar el riego solar porque existen en Cuba insuficientes estudios documentados sobre su utilización, lo que a su vez hace que se desconozca cuán eficiente puede ser su uso.

Hipótesis.

Si se realizan propuestas sobre el aprovechamiento del riego solar con múltiples fuentes daría lugar a la realización de proyectos aplicables en Cuba.

Objetivo General.

Proponer y simular un circuito capaz de conmutar el sistema de riego solar entre dos fuentes de potencia buscando potenciales ahorros.



Objetivos Específicos.

- Identificar ahorros en circuitos de riego solar con múltiples fuentes
- Proponer un esquema de transferencia de carga.
- Validar la propuesta a través de la simulación.

Tareas.

Identificación paramétrica de los sistemas de riego solar

Estimar el potencial de ahorro.

Proponer un esquema de transferencia de cargas.

Aplicar y evaluar el circuito en condiciones de un caso de estudio.



CAPÍTULO #I: Marco Contextual y Teórico

1.1 Introducción.

En este capítulo se hace una breve introducción a los modos de aprovechamiento fotovoltaicos, así como a los elementos que conforman los sistemas de riego solar y se abordan temas relacionados con la transferencia de carga y los elementos de conmutación que intervienen en la misma.

1.2 Usos de la Energía Solar Fotovoltaica.

Los usos dados a la Energía Solar Fotovoltaica pueden ser numerosos. Los sistemas aislados de la red pueden tener usos como viviendas, bombeos, repetidores de telecomunicaciones... Mediante instalaciones conectadas a la red eléctrica se pueden utilizar para instalaciones pequeñas, como sería el caso de viviendas o aplicaciones a mayor volumen, como sería el caso de centrales, de hasta 5MW.

1.3 Utilización de la energía solar en riego.

Dentro de los usos posibles de la energía solar fotovoltaica, tal vez el riego sea uno de los que mejor se adaptan a este tipo de energía fluctuante. Tanto la potencia eléctrica generada en los paneles fotovoltaicos como las necesidades de agua de los cultivos, están regidas por la misma variable, la radiación solar; a mayor insolación mayores necesidades de agua del cultivo, pero también en mayor capacidad de producir energía fotovoltaica. Cuanto más se necesita regar, más potencia fotovoltaica está disponible para el bombeo.

El riego con energía solar es importante en cuanto a que en lugares apartados puede ser una forma efectiva para el abastecimiento de agua. En estos sistemas el almacenamiento de energía suele ser en forma de energía potencial bombeando el agua a depósitos elevados o enviándola directamente a las plantaciones y se puede decir que los usos comunes son los siguientes:

1. Bombeo: En pozos alejados de la red eléctrica, para el bombeo.
2. Riego directo desde pozo o desde agua embalsada, con posibilidad de



mantener caudal de riego constante.

3. Acumulación de agua en altura para su uso posterior en riego.
4. Abastecimiento de agua para ganado.
5. Abastecimiento de agua para consumo en zonas aisladas.
6. Como medida de ahorro económico.[1]

1.3.1 Funcionamiento de un riego solar.

La energía lumínica solar es captada a través de los paneles fotovoltaicos y transformada en electricidad, que alimenta a la bomba para poder extraer el agua de la tierra, con cualquier rango de potencia y utilizando siempre bombas de alta fiabilidad.

El agua extraída puede ser utilizada para el riego directo o se puede almacenar en altura (balsa o depósito) para su uso posterior, de acuerdo a las necesidades de la instalación. [2]

1.3.2 Condiciones que requiere un riego solar.

La elección de un sistema de bombeo fotovoltaico alimentado con energía solar depende principalmente de factores geográficos, económicos, volumen diario ($m^3/día$) y la altura de bombeo. El rango óptimo para la utilización de un sistema fotovoltaico ronda entre 150-1500 $m^3/día$. Los sistemas de bombeo eólicos y diésel son más competitivos cuando se necesita un mayor caudal. [2]

1.4 Elementos que conforman los sistemas de riego solar en general.

El sistema de riego estará conformado según las necesidades de riego ya sea un sistema por goteo o por aspersión.

Un sistema de bombeo fotovoltaico está formado por un generador fotovoltaico establecido por paneles solares los cuales generan una corriente continua que será transmitida al sistema motor-bomba. Para que la electricidad que generan los paneles solares sea adecuada para el sistema moto-bomba existen sistemas de acondicionamiento de potencia (inversores, reguladores, convertidores...), también consta de un sistema de tuberías, un depósito de acumulación (opcional) y un pozo para la extracción de agua.



- **El generador fotovoltaico** está compuesto por varios módulos fotovoltaicos que pueden estar conectados en serie y/o en paralelo en función de las necesidades hasta obtener la potencia deseada, primero se realiza la asociación en serie hasta conseguir la tensión adecuada y luego la asociación en paralelo hasta alcanzar el nivel de corriente deseada.
- **Existen varios tipos de bombas:**
 - **Bomba centrífuga:** Los principales componentes de una bomba centrífuga son el tambor y la carcasa. El tambor es un disco con alabes que, al girar a una velocidad suficientemente alta, la fuerza centrífuga produce un flujo ascendente del agua, que es lanzada hacia el conducto de salida, así se crea una succión que fuerza la entrada de más agua. Las bombas centrífugas son capaces de bombear hasta 60 metros de carga dinámica.
 - **Bomba de diafragma:** Estas bombas desplazan el agua por medio de diafragma de un material flexible y resistente. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos. En la actualidad, estos materiales son muy resistentes y pueden durar de dos a tres años de funcionamiento continuo antes de requerir reemplazo, dependiendo de la calidad del agua. Los fabricantes de estas bombas proveen un juego de diafragmas para reemplazo que pueden adquirirse a un precio razonable. Existen modelos sumergibles y de superficie.
 - **Bomba de desplazamiento positivo:** Las bombas de desplazamiento positivo presentan mayores rendimientos que las centrífugas para similares niveles de potencia nominal. Por contra tienen un elevado par de arranque por lo que, en general, necesitan dispositivos de acondicionamiento de potencia, aunque estén accionadas por motores DC.
 - **Bomba volumétrica de cilindro:** Las bombas de cilindro han sido muy populares en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja el agua del pozo entra a su cavidad y cuando este sube empuja el agua a la superficie. La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica sólo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo de potencia.



- **Motores:** Un motor eléctrico es una máquina que transforma energía eléctrica en energía mecánica. Los motores eléctricos pueden ser DC, AC o DC sin escobillas. Es habitual que el motor y la bomba formen una única unidad compacta que denominaremos motobomba o simplemente bomba.
- **Motores DC:** Las principales partes del motor de corriente continua son el inductor y el estator. Se denomina estator a la parte fija de la máquina y rotor a la parte giratoria. Estos motores se caracterizan por su voltaje, potencia y velocidad. La potencia que puede desarrollar un motor es proporcional al par y a su velocidad. La velocidad de giro del motor depende del voltaje, la intensidad y el flujo magnético. La utilización de estos motores debe evitarse en sistemas sumergibles debido a que las escobillas requieren un mantenimiento regular que implica sacar la bomba del pozo. Los motores DC ofrecen un alto rendimiento y no necesitan inversor.
- **Motores DC sin escobillas:** Los motores sin escobillas tiene un rotor de imanes permanentes y un estator bobinado (normalmente a tres fases). La conmutación del campo, que es realizada por las escobillas es realizada electrónicamente. La electrónica de control puede estar incorporada tanto en el propio motor como externamente. Estos motores son ideales para ser utilizados en bombas sumergibles, su rendimiento es menor al no existir escobillas. Presentan un alto rendimiento y su fiabilidad es parecida a los motores de corriente alterna.
- **Motores AC:** Los motores AC son los más usados, existen dos tipos, asíncronos y sincrónicos. Los más habituales en el uso de energía fotovoltaica son los motores asíncronos. Al igual que en los motores de corriente continua, los alternos se componen de estator y rotor, con la diferencia que en éstos, su voltaje, potencia y velocidad de giro dependen fundamentalmente de la frecuencia. Su principales inconvenientes frente a los motores DC, es su menor rendimiento por las pérdidas en el circuito magnético o el calentamiento del motor, y su coste económico superior por la necesidad de un inversor DC/AC. El sistema de acondicionamiento de potencia está formado por inversores (DC/AC), convertidores (DC/DC), controladores de motor y reguladores.
- **El convertidor** convierte una potencia de entrada en otra de diferentes magnitudes a la salida Existen dos tipos de convertidores, los que elevan la tensión de salida y los reductores de tensión.



- **Inversores DC/AC:** Tienen la misión de transformar la corriente continua de salida del generador en corriente alterna para el funcionamiento del motor AC. Los inversores fotovoltaicos generan una salida monofásica o trifásica con voltaje y frecuencia variable, una frecuencia variable permite operar con distintas velocidades así pueden disminuir el par de arranque y aumentar las horas de funcionamiento. Normalmente estos inversores incorporan seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP).
- **Convertidores DC/DC:** Su objetivo principal es conservar tanto al generador como a la carga en su punto óptimo de trabajo. Se utilizan como dispositivo de acoplo entre el generador FV y el motor DC. Aunque podrían disponer de SPMP, habitualmente operan a tensiones constantes de generador FV. Su utilización es recomendable porque aumentan el rendimiento diario del sistema. En el caso de bombas de desplazamiento positivo puede incrementar en un 30% el volumen diario de agua bombeada. Este incremento es menor en el caso de motores DC accionando bombas centrífugas.
- **El controlador de motor** se utiliza en motores sin escobillas y es necesario para la conmutación del motor. Este controlador también posee un sistema SPMP.
- **Baterías:** El sistema de baterías es opcional, el objetivo principal de la batería es acumular la energía sobrante durante las horas de sol y máximo funcionamiento, para después re-utilizarla en horario nocturno o en días de baja irradiación solar. El principal problema que tiene el uso de baterías es la reducción considerable en la fiabilidad de la instalación e incrementa la necesidad de mantenimiento, además es necesario el uso de un regulador y diodos de bloqueo para evitar que la batería se descargue por la noche, suponiendo un coste añadido en la instalación. En definitiva el uso de baterías es razonable únicamente cuando el bombeo durante las horas de sol no es suficiente para satisfacer las necesidades mínimas de agua.
- **Regulador:** El regulador es exclusivamente necesario con el uso de baterías para protegerla de sobrecargas o sobre-descargas.
- **Depósito de acumulación:** Un sistema de bombeo alimentado con energía solar solamente bombea agua por el día. Si no se tiene un sistema de baterías la única forma de disponer de un suministro de agua en horas



Transferencia de carga para riego solar.

nocturno es un depósito de almacenamiento. El sistema de riego estará conformado según las necesidades de riego ya sea un sistema por goteo o por aspersión, etc. [2]

1.5 Múltiples fuentes de riego.

Los riegos solares pueden ser alimentados por más de una fuente de potencia, cualidad que asegura la continuidad del proceso de riego en caso de que alguna fuente deje de suministrar energía por cualquier razón. Algunas de estas fuentes son la eólica, la diésel y la red pública que, al combinarse con la solar o entre ellas se denominan sistemas híbridos.

1.5.1 Solar-eólica.

Se contempla esta posibilidad, cuando en el lugar de la instalación hay presencia de viento y luz solar. Estas condiciones no se dan en todas partes, por lo que es necesario conocer con detalle el potencial eólico y solar de un lugar antes de decidirse por esta opción. [3]

El potencial de la energía solar y eólica que recibe la tierra es enorme. La cantidad de esta energía recibida es tan vasta que equivale aproximadamente al doble de toda la energía producida por otras fuentes de energía no renovable como el petróleo, carbón, uranio y gas natural. Entre las energías renovables más populares y utilizadas en el mundo se encuentran la energía solar fotovoltaica (FV) y la energía eólica. La primera convierte la radiación solar en electricidad en forma de corriente directa (CD). La segunda utiliza el movimiento de las aspas de una turbina a través del viento, generando corriente directa a la salida. [4]



Transferencia de carga para riego solar.

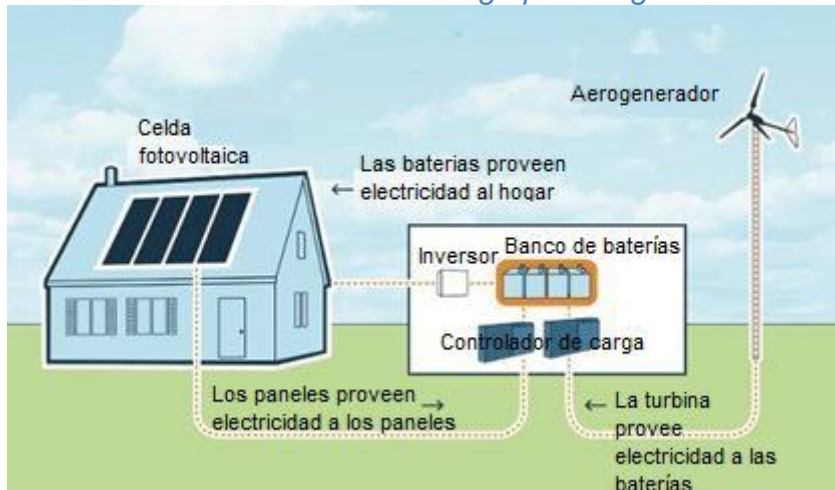


Imagen 1: Generación híbrida solar-eólica

1.5.2 Solar-diésel

En los entornos aislados, las principales tecnologías de generación eléctrica utilizadas en la actualidad son: grupos diésel, turbinas micro-hidráulicas, pequeños aerogeneradores y sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, los sistemas de generación con renovables se pueden asociar con el generador diésel, con el fin de aumentar su fiabilidad y disminuir el coste del sistema. Dentro de la hibridación fotovoltaica, caben diferentes configuraciones, en donde la combinación Fotovoltaica + Diésel (GD), es una de las más recurridas, con o sin almacenamiento. [5]

1.5.3 Solar-red

Con el fin de obtener beneficios económicos o en función de proteger el medio ambiente se puede asociar la red eléctrica a un sistema de generación fotovoltaica. Donde, la principal fuente de energía sería la solar y la potencia de la red quedaría en segundo plano como fuente de emergencia.

KIT SOLAR DE RIEGO HASTA 1,5 HP
SISTEMAS SOLARES PARA RIEGO AGRÍCOLA PROFESIONAL

Incluye:

- 10 Paneles Fotovoltaicos SEC 250W Policristalinos Konig Sonne
- 1 Inversor On Grid Solar 1.5 KW Input DC Para Paneles Solares
- Set de Cables & Conectores MC4 2 x 10 Mts de Largo Certificados

GRATIS!! BOMBA

- Bomba Centrífuga 1,5 HP 1,1 KW Caudal Máx. 120 Lts/W

EXCLUSIVO!!

Solar 100%

KING SOLAR

Sucursal +562 2884 5109 Santiago +569 6658 1284

Sucursal +5675 222 2982 Curicó +569 9647 6160

ventas@praverd.com www.praverd.com

IMPORTADORA Y COMERCIALIZADORA PRAVER SpA

Imagen 2: Kits para riego solar



Transferencia de carga para riego solar.



Imagen 3: Kits para riego solar de menor potencia

1.6 Conmutadores.

Los conmutadores son elementos que permiten o no el paso de una corriente eléctrica por el conductor en el que se encuentren. Se pueden encontrar de tres maneras:

- **Mecánicos:** son accionados debido a que una fuerza mecánica cierra los contactos.
- **Electromecánicos:** son aquellos que cierran sus contactos debido a la acción de una corriente eléctrica.
- **De estado sólido:** están basados en los principios de los semiconductores y no tienen componentes móviles.

Los conmutadores se pueden asociar de diferentes formas según las conexiones y los elementos que integren el circuito. Son importantes cuando se trata de la conexión o desconexión de cargas eléctricas y en el caso de los elementos que se deban mantener conectados, incluso cuando su fuente principal de energía falla, aseguran la alimentación del elemento transfiriéndolo a otra fuente de emergencia.

En casos como la transferencia de carga se deben tener en cuenta aspectos adicionales. La transferencia de carga implica que existe más de una fuente de potencia y para que ocurra la transferencia debe de estar disponible al menos una de esas fuentes auxiliares de ahí que deban hallarse elementos que indiquen la disponibilidad de cada una de ellas.



1.7 Trabajos precedentes

Los sistemas de regadíos solares están ganando cada vez más terreno en el marco actual. Con el alza de los precios de los combustibles y de las tarifas ofrecidas por las compañías eléctricas, además de una visible disminución de los precios de los componentes necesarios para la instalación del servicio han propiciado un incremento del interés por este tipo de energías.

Con una mayor demanda de este tipo de sistemas, aumentan los estudios para garantizar el funcionamiento de los mismos así como también para complacer las necesidades de los clientes según las situaciones en las que estos deseen instalarlos.

Para la realización de este trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica en la que se consultaron gran cantidad de artículos, páginas web, publicaciones, revistas y otros con el fin de buscar información sobre el tema. Se pudo evidenciar que existe gran cantidad de trabajos realizados en el área de aprovechamiento de la energía solar para el bombeo de agua en los cuales se evidencia el desarrollo paulatino de los sistemas que se encargan del su funcionamiento. Dentro de estos trabajos tenemos:

[2] “Sistema de Energía Solar Fotovoltaica Aislado Para una Estación de Bombeo” en el que se propone un sistema que garantizaría el riego de cuatro hectáreas de olivo además de el llenado de una piscina de 7,54 de largo, 2,96 de ancho y 1,5 de altura los cuales se encuentran en una zona rural apartada a donde no llega la red eléctrica.

En este trabajo el autor se refiere al conjunto necesario para el funcionamiento del sistema así como a las características necesarias en cada uno de sus componentes. Hace mención de las ventajas que le traerían al propietario de la parcela la instalación de este sistema y los beneficios que obtendría una vez que pasara el periodo de amortiguación. También hace referencia a los costos de la instalación, al tipo de bomba, la cantidad de agua necesaria y las especificaciones técnicas de los accesorios a emplear.



[6] “Paneles Solares Como Fuente de Energía Eléctrica Para Sistemas de Mini-riego en Producción de Hortalizas en el Departamento de Quiché”. En el trabajo se refiere a la utilización de la energía solar fotovoltaica para lograr el bombeo de aguas que posteriormente serían utilizadas para el riego de hortalizas. También se refiere a la información teórica necesaria para lograr los cálculos necesarios.

[7] “Bombeo de Agua Para Riego en Cerro Calán Utilizando Energía Solar Fotovoltaica”. En este documento el autor hace referencia al uso de la energía solar fotovoltaica para la elevación de agua que posteriormente sería utilizada para riego. En el trabajo detalla también la determinación del caudal de diseño de la impulsión, el diseño de los paneles solares, la selección de las bombas, así como otros accesorios.

[8] “Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaicos”. En el artículo se desarrolla un sistema de bombeo fotovoltaico de pequeñas proporciones destinado a instalaciones pecuarias. Como objetivo primordial persigue en su publicación el objetivo económico, la fiabilidad, así como lograr una alta competitividad en el mercado internacional. En la redacción se tienen presentes puntos claves tales como: los usos de la energía solar para el riego, generación fotovoltaica, acondicionamiento de la potencia y el uso de micro-controladores.

[9] “Diseño de un sistema híbrido basado en energía solar y red eléctrica convencional”. En este trabajo se realiza el diseño y cálculo de los dispositivos de un sistema híbrido de energía, integrado por un generador fotovoltaico (arreglo de paneles solares), una fuente de energía convencional (red eléctrica), un banco de baterías para el almacenamiento de la energía proveniente del arreglo fotovoltaico y los respectivos dispositivos de control de las etapas y la interacción de las mismas.

1.8 Utilidad de la energía transferida

El sistema de riego solar controlará la conmutación a fin de alimentar un sistema motor-bomba transfiriendo al agua la energía necesaria para que llegue a los cultivos. La potencia que se transfiere asegura la continuidad del riego.



1.9 Justificación de los procedimientos de síntesis.

En el mundo está de moda el uso de paquetes que contienen los elementos necesarios para instalar un sistema de riego. Estos paquetes también llamados kits de sistemas de riego tienen una amplia variedad de servicios, cualidades precios y productores. En general, estos kits contienen temporizadores, generadores fotovoltaicos, complejos motor-bomba y sensores, que, en conjunto facilitan las labores de riego buscando ahorrar tiempo, agua y dinero. En Cuba existe no este tipo de mercados por lo que la simulación es el método elegido para realizar las valoraciones del trabajo.



2.1 Introducción.

En este capítulo se hará una descripción de los métodos y las técnicas que se emplean durante la investigación. En él se sintetizan los conocimientos necesarios para dar resolución al problema planteado y se describen los métodos utilizados.

2.2 Historia del Riego Solar

No es hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se dan las condiciones necesarias para que la nueva tecnología solar fotovoltaica encuentre su oportunidad dentro del panorama energético en general, y en el de su utilización para el bombeo de agua en particular. La crisis petrolífera de 1973 fue la que hizo que algunos ingenieros buscaran otras fuentes de energía. En esta época, ya existían una producción de módulos fotovoltaicos, y éstos eran utilizados en campos de la industria muy restringidos como por ejemplo la alimentación de sistemas de señalización: boyas en las costas o balizas en las vías públicas. En este escenario, Dominique Campana, ingeniera francesa y apasionada por los problemas medioambientales, enseguida se preocupó del problema del abastecimiento de agua en zonas aisladas.

Gracias a conversaciones con expertos en el mundo de la energía solar fotovoltaica, Campana pensó en la modalidad fotovoltaica de la energía solar para hacer funcionar bombas de agua. Con la colaboración del fabricante de bombas Guinard, líder en Francia, y Philips como suministrador de módulos, llevó a cabo su idea poniendo en marcha el primer sistema de bombeo fotovoltaico del mundo. El prototipo fue instalado en una granja en la isla francesa de Córcega, residencia habitual de Campana, y allí fue puesto a punto por ella misma.

El padre Bernard Verspieren, al frente de una misión católica, era testigo de la dura sequía que sufría el país, y contra la que luchaba mediante una red de bombas manuales instaladas en su área de influencia. En estas condiciones, Verspieren supo del prototipo instalado por Campana, y se las ingenió para visitar las montañas corsas y ver en acción el invento. Según palabras suyas



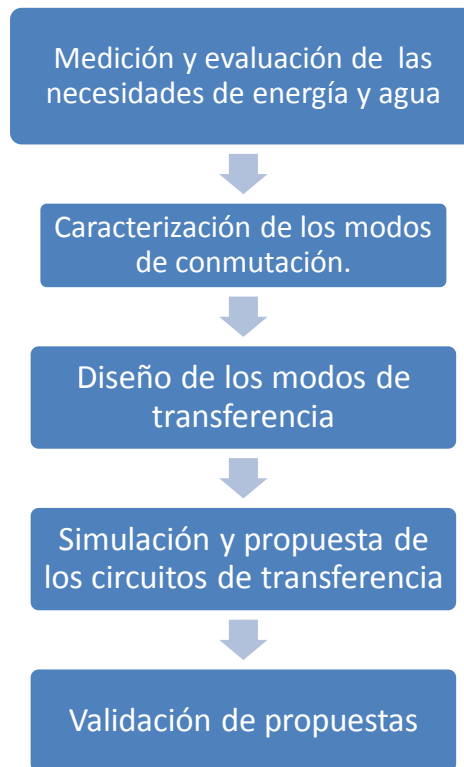
Transferencia de carga para riego solar.

“fue un amor a primera vista”. Con gran esfuerzo consiguió financiamiento en Europa y pudo realizar la primera instalación de bombeo fotovoltaica en Nabasso, la ciudad en donde vivía en Mali. La instalación resultó un éxito y el acontecimiento enseguida fue conocido en gran parte del país, y en consecuencia, el padre Verspieren recibió una gran cantidad de solicitudes para replicar su sistema.

En los años subsiguientes, y gracias al apoyo de agencias de desarrollo internacional, se llevaron a cabo programas de bombeo fotovoltaico de diferentes tamaños. Entre 1990 y 1994, la agencia de cooperación alemana (GTZ) llevó a cabo un proyecto de instalación de 90 sistemas de bombeo, totalizando una potencia de 180 kWp, con el objetivo de demostrar la viabilidad de esta tecnología y los costos reales que conllevaba. Los sistemas se instalaron en varios países: Argentina, Brasil, Filipinas, Indonesia, Túnez, Jordania y Zimbawe, en colaboración con las agencias locales encargadas del suministro de agua de cada país. Siguiendo el camino abierto por la experiencia en Mali del padre Verspieren, los países integrantes del Comité Permanente Inter-estados en lucha contra la sequía (CILSS, en sus siglas en Francés) (Burkina Faso, Cabo Verde, Gambia, Guinea-Bisau, Nigeria, Senegal, Chad y Mali) lanzaron el Programa Regional Solar (PRS), financiado por la Unión Europea, con el objetivo de mejorar el suministro de agua en emplazamientos seleccionados empleando criterios de disponibilidad de agua, alejamiento de las vías principales, número de habitantes y grados de compromiso entre otros para la selección de los emplazamientos. [7]



2.3 Método de síntesis.



2.4 Necesidades de Riego.

Una parte importante del cultivo de verduras es determinar la cantidad correcta de agua para su riego. Si se riega adecuadamente, se puede minimizar las pérdidas por escurrimiento, disminuir la cantidad de trabajo necesario y producir un cultivo más abundante y de mejor calidad. La reducción de las pérdidas por escurrimiento también ayudará a disminuir la erosión del suelo y la necesidad de fertilizantes.

2.4.1 Agua Necesaria Para el Riego:

En los organopónicos que abarcan un área cercana a la media hectárea se cultivan gran cantidad de verduras destinadas al mercado. Algunas de estas plantas son: las legumbres, el nabo, el rábano, la zanahoria, el ajo, la cebolla, la remolacha, etc. Generalmente se cultivan de acuerdo al grado de humedad que necesitan para hacer un riego homogéneo en todo el organopónico. Por lo general, estos locales están provistos de algún tipo de almacenamiento de agua elevado que pueden ser tanques o cisternas a fin de utilizar la energía almacenada en forma de gravedad para regar los canteros



Transferencia de carga para riego solar.

Para calcular la necesidad de riego, se necesitará hacer cuatro mediciones: cantidad de lluvia efectiva, evapotranspiración del cultivo; eficacia de riego y coeficiente del cultivo.

La cantidad de lluvia efectiva es la cantidad total de lluvia que recibe un lugar durante un período específico menos la cantidad perdida por escorrentía o filtración profunda del lugar en ese período.

Tabla 1: Factores de corrección para diferentes cantidades de lluvia por semana

Cantidad de lluvia (en pulgadas)	Factor de corrección
0.0-0.2	0.1
0.2-0.4	0.3
0.4-0.6	0.4
0.6-0.9	0.5
0.9-1.6	0.6
1.6-2.5	0.7

La cantidad de lluvia total del área se puede encontrar en un sitio web de la red. La red basa sus cálculos en los datos de las estaciones meteorológicas. Se pueden utilizar los datos de la estación más cercana al organopónico junto con la información local como la cantidad de lluvia caída en su área específica.

La cantidad de agua perdida por escurrimiento o filtración profunda depende de la cantidad de lluvia recibida. Cuando llueve poco, la mayoría del agua se pierde por evaporación. Cuando llueve mucho, la mayoría del agua se pierde por escurrimiento en la superficie. La cantidad de lluvia efectiva se calcula mediante los factores de corrección. Multiplique el factor de corrección por la cantidad de lluvia durante ese período.

Tabla 2: Eficacia promedio de varios sistemas de riego

Tipo de sistema	Eficacia
Goteo bajo la superficie	90%
Goteo en superficie	65%
Aspersor y pivote central	65%



Evapotranspiración del cultivo (ET_o) es la cantidad de agua perdida del suelo debido a evapotranspiración o transpiración, que es el agua que viaja del suelo hasta la planta y fuera de sus poros o estomas. Los valores actuales de ET_o de las estaciones meteorológicas también pueden encontrarse en la red.

Eficacia de riego (IE) es el porcentaje de agua aplicada que las plantas pueden realmente utilizar. Una pequeña cantidad del agua aplicada por el sistema de riego se evapora antes de que llegue a las raíces de la planta; otro poco del agua se escurre por el lugar; y un poco caerá en el suelo lejos de las plantas. El cálculo de IE tiene en cuenta estas pérdidas además del tipo de sistema de riego que utiliza.

El coeficiente del cultivo (K_c) se basa en el tipo de verduras que se cultivan y el punto actual de su ciclo de cultivo. En la tabla se indican los coeficientes para varios tipos de verduras en tres etapas de desarrollo: temprana, media temporada y cosecha.

Tabla 3: Coeficiente del cultivo en las diferentes etapas de cultivo

Cultivo	K_c temprana	K_c media temporada	K_c Final
Algunas verduras (hierbas, hojas para ensalada)	0.7	1.05	0.95
Familia Solanum (berenjenas, pimientos, tomates)	0.6	1.15	0.8
Familia Cucurbitácea (pepinos, melones, calabazas, calabacín)	0.5	1.0	0.8
Raíces y tubérculos (remolachas, zanahorias, cebollas, papas)	0.5	1.1	0.95
Legumbres (frijoles, lentejas, cacahuete, guisantes)	0.4	1.15	0.55
Promedio	0.6	1.1	0.81

Utilice esas mediciones y la siguiente ecuación para determinar la necesidad de riego semanal para un cultivo y una fecha específica:

$$IR = \frac{(ET_o * K_c) - ER}{IE}$$

Dónde:



Transferencia de carga para riego solar.

IR = Necesidad de riego (pulgadas)

ET_o = Evapotranspiración de referencia (pulgadas)

K_c = Coeficiente del cultivo

ER = Cantidad de lluvia efectiva = Cantidad de lluvia total × factor de corrección (pulgadas)

IE = Eficacia de riego

Área total a regar:

Para la determinación del área total de riego tomamos las medidas de cada uno de los canteros en los que se debe regar y la suma del área de todos los canteros nos dará la cantidad total a regar.

Relación entre depósitos y riego.

Los contenedores de agua para el riego deben tener la capacidad necesaria para abastecer al sistema durante todo el proceso de riego. Por esta razón se deben dimensionar de forma tal que su capacidad supere la demanda de agua requerida.

2.4.2 Energía necesaria para el riego en un organopónico de media hectárea.

Normalmente, en los organopónicos de media hectárea se riega por gravedad aunque en gran parte se riega utilizando un complejo motor-bomba que se alimenta de la red. El riego en estos lugares se realiza casi diariamente y con motores que por no ser de la potencia requerida consumen mucho más de lo necesario en cuanto a energía y agua perdiendo además tiempo y fuerza de trabajo. Por estar ubicados generalmente cerca de zonas urbanas los organopónicos tienen a su disposición la potencia de la red pública, de la cual hacen uso para la puesta en marcha de estos motores ya sea para regar o para elevar el agua para el posterior riego.

2.5 Redes de transferencia.

Red pública:

La red pública tiene como característica la capacidad de suministrar una gran cantidad de energía. Está diseñada para alimentar grandes cargas o grupos de



Transferencia de carga para riego solar.

cargas a nivel residencial y estatal por lo que es una red confiable aunque su uso trae consigo un costo como factura eléctrica.

Red fotovoltaica:

Esta red está caracterizada por el dimensionado de los elementos que la conforman y su capacidad de entrega de energía está directamente asociada con la energía solar. Como la energía solar que llega a la superficie del generador no es constante entonces podemos decir que esta no es una red confiable.

2.6 Dimensionado.

2.6.1 Red pública.

En el caso de la red solo debe satisfacer las necesidades demandadas por la carga que en el caso de los organopónicos de media hectárea no es muy grande.

2.6.2 Red fotovoltaica.

En el caso de la red fotovoltaica debemos hacer el dimensionado de los elementos que lo integran.

Paneles fotovoltaicos:

Los paneles fotovoltaicos son la parte fundamental de nuestro sistema de riego ya que brindan la energía para que se realice el riego. Los mismos brindan diferentes valores de tensión y corriente en dependencia de las configuraciones que se apliquen para lograr los valores deseados.

Con la extraordinaria capacidad de transformar la luz en energía eléctrica, los paneles constituyen hoy en día una de las mejores soluciones para los problemas medioambientales y energéticos existentes en muchas partes del mundo. Están hechos de silicio y existen diversos tipos en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Actualmente los tipos de paneles solares que pueden encontrarse en el mercado son los siguientes:



Transferencia de carga para riego solar.

- Silicio monocristalino: Fabricados en base a lingotes de silicio puro. Posee un rendimiento en laboratorio de 25% y un rendimiento comercial entre 14-16%.

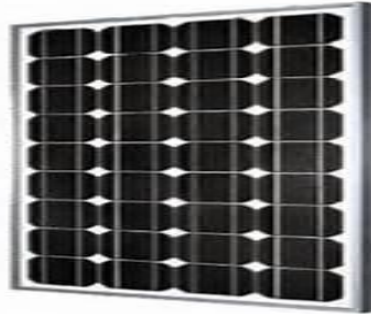


Imagen 4: Panel de silicio monocristalino

- Silicio policristalino: Fabricados en base a la refundición de piezas de silicio puro produciendo rendimientos menores al monocristalino. Los rendimientos de laboratorio se encuentran alrededor del 20,4% y su rendimiento comercial entre los 12-14%.

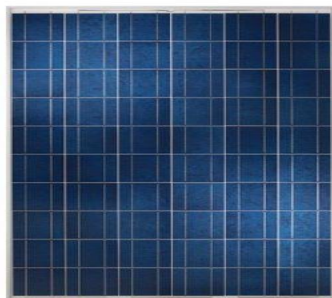


Imagen 5: Panel de silicio policristalino

- Silicio amorfo: Fabricados también en base a la refundición de silicio puro y además, combinado con múltiples capas u otras tecnologías, entregando rendimientos que supera el 18%.



Imagen 6: Panel de silicio amorfo



Transferencia de carga para riego solar.

Los mejores modelos son los que se construyen a base de silicio monocristalino por su mayor rendimiento en comparación con los demás tipos de silicio y son los que en la actualidad predominan en el mercado.

El símbolo eléctrico que se suele utilizar para representar gráficamente un panel fotovoltaico es el siguiente:

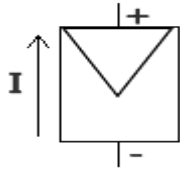


Imagen 7: Símbolo eléctrico de un panel fotovoltaico

Inversores.

Es el dispositivo electrónico de potencia cuya función principal es convertir la señal de CD del generador fotovoltaico en una señal de corriente alterna. La salida de corriente alterna puede ser monofásica o trifásica. Adicionalmente realiza otras funciones de protección y control para el funcionamiento eficiente y seguro del generador fotovoltaico y también es referenciado como subsistema de acondicionamiento de potencia. Es caracterizado por la potencia que puede suministrar a una determinada carga (desde unos watts hasta varios megawatts), y por una eficiencia que es dependiente de la potencia entregada.

El inversor debe convertir la potencia de entrada, P_{fv} , en la potencia de salida, P_g , con la mayor eficiencia posible, η , dada por:

$$\eta = P_g / P_{fv}$$

$$\eta = \frac{I_g * V_g * \cos\phi}{I_{fv} * V_{fv}}$$

Dónde:

$\cos \phi$ = Factor de potencia.

I_g = Corriente eficaz de salida del inversor (A).

V_g = Tensión eficaz en la red eléctrica (V).



Motor:

Es el encargado de convertir la energía eléctrica en energía mecánica demandada por la bomba.

Corriente demandada por el motor a plena carga:

$$\text{Para un motor trifásico: } In = \frac{Pn}{\sqrt{3} * Un * \eta * \cos\varphi}$$

$$\text{Para un motor monofásico } In = \frac{Pn}{Un * \eta * \cos\varphi}$$

Dónde:

In: corriente nominal que demanda el motor de la red.

Pn: potencia nominal del motor.

Un: tensión nominal, fase-fase.

η : rendimiento del motor.

$\cos\varphi$: factor de potencia del motor.

En caso de no disponer de los datos específicos del motor pueden manejarse los siguientes valores medios.

Tabla 4: Valores medios de distintos motores

Potencia nominal del motor (kW)	Factor de potencia	Rendimiento
< 1	0.5	---
1 a 4	0.7	0.7
5 a 50	0.8	0.8
>50	0.9	0.9

Bomba:

Transfiere en forma de energía cinética al agua la energía mecánica que le brinda el motor.

La elevación estática de una altura a otra, puede calcularse:

$$P = q \rho h / (3,6 * 10^6)$$

Dónde:

- P = Potencia (kW)



Transferencia de carga para riego solar.

- q = Capacidad de caudal (m^3/h)
- ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)
- g = Gravedad ($9,81 m/s^2$)
- h = Altura diferencial (m)

La potencia de una bomba hidráulica es:

$$P_b = \rho * g * Q * h_b = \gamma * Q * h_b$$

En donde:

- P_b es la potencia de la bomba (en W; 1 Hp = 745.7 W).
- ρ es la densidad del fluido ($1,000 kg/m^3$ en el caso del agua).
- g es la aceleración de la gravedad (generalmente se adopta: $9.81 m/s^2$).
- Q es el caudal (m^3/s).
- H_b es la ganancia de carga en la bomba, o en otros términos, altura dinámica de la bomba (m).
- γ es el peso específico del fluido ($1.000 kg/m^3$).

El rendimiento de la bomba se calcula

$$\eta_b = \frac{\rho * g * Q * h}{Pot_b}$$

La potencia del eje requerida para ser transferida desde el motor al eje de la bomba – depende de la eficiencia de la bomba y puede calcularse como:

$$P_s = P_h / \eta$$

Dónde:

- P_s = Potencia del eje (kW)
- η = Eficiencia de la bomba.

2.7 Transferencia de la carga.

Un sistema automático de transferencia es un conjunto de elementos que da la posibilidad de alimentar la carga desde dos fuentes diferentes. El primer paso para realizar la transferencia es la evaluación de la fuente emergente y las condiciones de los equipos para la transferencia. Durante los primeros



Transferencia de carga para riego solar.

milisegundos después de la perturbación, el control analiza la fuente emergente para asegurarse de que se encuentra en mejores condiciones que la preferente. Al mismo tiempo, se revisan las condiciones de los interruptores de transferencia para asegurarse de que estén listos para operar. El segundo paso es transferir la carga de la fuente 1 a la 2 y seguir monitoreando las condiciones de ambas fuentes. Si después de un determinado tiempo se requiere regresar a la fuente 1 se inicia con el primer paso. [10]

La transferencia de la carga en este caso se hace de dos formas que son distintas una de la otra. Cuando la carga se alimenta de la fuente solar está operando en el modo normal pero esto puede cambiar porque el paso de nubes o sombras momentáneas limitan la entrega de potencia de los paneles obligando a transferir la carga a la alimentación por la red. En sentido inverso no pasa igual ya que no se puede transferir momentáneamente la carga a la fuente solar porque en caso de ser un grupo de sombras pasajeras obligará al elemento de conmutación a hacer un grupo elevado de conmutaciones limitando la potencia del motor y acortando la vida útil de los componentes, por esta razón el mando espera un momento antes de volver a transferir la carga nuevamente a la fuente solar.

2.7.1 Flujos de potencia

En los dos casos anteriores la potencia no se comporta de la misma manera en cuanto a la vía que recorre y los elementos que transita.

Desde la red:



En este esquema se puede apreciar que la energía solo pasa por el conmutador y llega al motor sin más compromisos.



Desde el generador fotovoltaico:



En el esquema se aprecia que la potencia que recorre este circuito atraviesa al inversor en el cual existen pérdidas por cuestiones de rendimiento.

2.7.1 Elementos de Transferencia

Dentro de los mecanismos que existen en el mundo moderno para conmutar encontramos a los relés, que son interruptores que operan con señales de poca energía eléctrica y que controlan la mayoría de circuitos. Un ejemplo de la aplicación ideal de un relé es tener una señal eléctrica configurada para controlar varios circuitos, lo que lograría una aislación total de electricidad entre el controlador y los circuitos controlados.

En muchas ocasiones puede ser apropiado el uso de diversos tipos de relés dependiendo de su necesidad, pero es necesario entender los diferentes factores, estilos y tecnologías de relé para seleccionar adecuadamente el mejor para su caso. Algunas aplicaciones dependen de las ventajas de la aplicación de un relé, y en muchas ocasiones tienen limitaciones y no son apropiados para cualquier tipo de interruptor o controlador. [11]

2.7.2 Relés.

Las características generales de cualquier relé son:

- El aislamiento entre los terminales de entrada y de salida.
- Fácil conexión a la fuente de alimentación.
- Posibilidad de soportar sobrecargas, tanto en el circuito de entrada como en el de salida.



Transferencia de carga para riego solar.

• Las dos posiciones de trabajo en los contactos de salida de un relé se distinguen por:

- En estado abierto, alta impedancia.
- En estado cerrado, baja impedancia

Para los relés de estado sólido se pueden añadir:

- Gran número de conmutaciones y larga vida útil.
- Conexión en el paso de tensión por cero, desconexión en el paso de intensidad por cero.
- Ausencia de ruido mecánico de conmutación.
- Escasa potencia de mando, compatible con TTL y MOS.
- insensibilidad a las sacudidas y a los golpes.
- Cerrado a las influencias exteriores por un recubrimiento plástico.

Algunos tipos de relés:

Relés Electromecánicos

Están formados por una bobina y unos contactos los cuales pueden conmutar corriente continua o bien corriente alterna. Vamos a ver los diferentes tipos de relés electromecánicos.

Relés de tipo armadura

Son los más antiguos y también los más utilizados. El esquema siguiente nos explica prácticamente su constitución y funcionamiento. El electroimán hace vascular la armadura al ser excitada, cerrando los contactos dependiendo de si es N.O o N.C (normalmente abierto o normalmente cerrado).

Relés de Núcleo Móvil

Estos tienen un émbolo en lugar de la armadura anterior. Se utiliza un solenoide para cerrar sus contactos, debido a su mayor fuerza atractiva (por ello es útil para manejar altas corrientes).



Relé tipo Reed o de Lengüeta:

Formados por una ampolla de vidrio, en cuyo interior están situados los contactos (pueden ser múltiples) montados sobre delgadas láminas metálicas. Dichos contactos se cierran por medio de la excitación de una bobina, que está situada alrededor de dicha ampolla.

Relés Polarizados

Llevan una pequeña armadura, solidaria a un imán permanente. El extremo inferior puede girar dentro de los polos de un electroimán y el otro lleva una cabeza de contacto. Si se excita al electroimán, se mueve la armadura y cierra los contactos. Si la polaridad es la opuesta girará en sentido contrario, abriendo los contactos o cerrando otro circuito (o varios).

Relés de Estado Sólido:

Un relé de estado sólido SSR (Solid State Relay), es un circuito electrónico que contiene en su interior un circuito disparado por nivel, acoplado a un interruptor semiconductor, un transistor o un tiristor. Por SSR se entenderá un producto construido y comprobado en una fábrica, no un dispositivo formado por componentes independientes que se han montado sobre una placa de circuito impreso.

Estructura del SSR:

- Circuito de Entrada o de Control:

Control por tensión continua: el circuito de entrada suele ser un LED (Fotodiodo), solo o con una resistencia en serie, también podemos encontrarlo con un diodo en antiparalelo para evitar la inversión de la polaridad por accidente. Los niveles de entrada son compatibles con TTL, CMOS, y otros valores normalizados (12V, 24V, etc.).



Transferencia de carga para riego solar.

Control por tensión Alterna: El circuito de entrada suele ser como el anterior incorporando un puente rectificador integrado y una fuente de corriente continua para polarizar el diodo LED.

- Acoplamiento.

El acoplamiento con el circuito se realiza por medio de un optoacoplador o por medio de un transformador que se encuentra acoplado de forma magnética con el circuito de disparo del triac.

- Circuito de conmutación o de salida.

El circuito de salida contiene los dispositivos semiconductores de potencia con su correspondiente circuito excitador. Este circuito será diferente según queramos conmutar CC, CA. [12]

2.8 Control de la transferencia.

El circuito de mando del sistema de riego solar contiene un mínimo de control que asegura dos procesos diferentes que intervienen directamente en la transferencia de la carga.

- Cuando se produce la transferencia del riego solar al riego por la red.
- Cuando se produce la transferencia del riego por la red nuevamente al riego solar.

El primero será interrumpido solo por las variables que inhabilitarían el sistema como son la falta de agua para efectuar el riego o la saturación del suelo con agua además del tiempo de riego. De no haber ningún inconveniente la carga se transferirá automáticamente una vez que el circuito de mando detecte que la potencia de los paneles no es suficiente para alimentar la bomba. Por otro lado, el proceso inverso no ocurre así, para transferir la carga de la red a la fuente solar se debe tener en cuenta si hay la potencia necesaria en los paneles para soportarla y si ha pasado un tiempo aceptable con esta potencia estando disponible.



2.8.1 Sensores.

Los sensores son una parte muy importante para la instrumentación y el control de los procesos industriales, se utilizan para poder determinar el estado del proceso donde están instalados, ellos transforman las variaciones de la magnitud a medir en una señal eléctrica acondicionada de tal manera que pueda ser recibida en su destino.

La señal de salida de un sensor por lo general va a un indicador, a un registrador o a un controlador. Existen una gran variedad de sensores según la variable que se quiera medir, por ejemplo: presión, temperatura, nivel, flujo, posición (proximidad), velocidad, peso, voltaje, corriente, frecuencia, viscosidad, resistividad, radiación, pH, conductividad eléctrica, humedad entre otras.

Cuando los sensores tienen salidas digitales son llamados interruptores y cuando tienen salidas analógicas son llamados transmisores. [13]

Características de los sensores

Muchas de las características de los sensores dependen de la variable a medir, pero otras son comunes a todos los sensores. Algunos de los aspectos a tener en cuenta en el momento de seleccionar un sensor son los siguientes:

- **Exactitud:** especifica la diferencia entre el valor medido y el valor real de la variable que se está midiendo.
- **Conformidad o repetitividad:** el grado con que mediciones sucesivas difieren unas de las otras.
- **Resolución:** es el cambio más pequeño que se puede medir.
- **Precisión:** se compone de las características de conformidad y resolución.
- **Sensibilidad:** viene dado por el mínimo valor de la variable medida que produce un cambio en la salida.
- **Error:** es la desviación entre valor verdadero y valor medido.
- **Linealidad:** nos indica que tan cerca está la correlación entre la entrada y la salida a una línea recta.



Transferencia de carga para riego solar.

- Rango es la diferencia entre el mayor valor y el menor valor que se puede medir.
- Rapidez de respuesta: capacidad del instrumento de seguir las variaciones de la entrada.

Existen otros aspectos a toma en consideración, por ejemplo la alimentación del sensor, el tipo de salida, el tipo de conexión (a dos hilos o a tres hilos) de la salida. Los sensores de proximidad, que es uno de los más usados, son de varios tipos: ópticos, inductivos, capacitivos, ultrasónicos y finales de carrera. [13]

Sensores de Radiación Solar:

Sensores fotoeléctricos:

Un sensor fotoeléctrico o fotocélula es un dispositivo electrónico que responde al cambio en la intensidad de la luz. Estos sensores requieren de un componente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz generada por el emisor.

Todos los diferentes modos de censado se basan en este principio de funcionamiento. Están diseñados especialmente para la detección, clasificación y posicionado de objetos; la detección de formas, colores y diferencias de superficie, incluso bajo condiciones ambientales extremas.

Los sensores de luz se usan para detectar el nivel de luz y producir una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz detectada. Un sensor de luz incluye un transductor fotoeléctrico para convertir la luz a una señal eléctrica y puede incluir electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal de salida. [14]

Sensores crepusculares:

El sensor crepuscular mide la intensidad de luz ambiente y envía una señal cuando esta es inferior a una luminosidad patrón previamente marcada.



Transferencia de carga para riego solar.

En un sensor crepuscular acotado por ejemplo a 50 lux, cuando la luminosidad baje de 50 (es decir si "es de noche") se cierra el circuito y nos envía una señal al sistema domótico al que lo tengamos conectado. De la misma forma cuando la luminosidad supere los 50 luxes (es decir "si es de día") el circuito se abre y desactiva la señal.

Sensor de inundación:

Un Sensor de Inundación es un dispositivo que detecta las fugas de agua (por ejemplo un grifo mal cerrado en el baño), empleando para ello una sonda de nivel (al detectar una variación del mismo) emite una señal que podemos llevar al módulo de control domótico y mediante la programación adecuada lanzar las salidas correspondientes: cortar el suministro de agua cerrando electroválvulas de paso de agua, enviar avisos de inundación mediante señal acústica (sirena) avisando del peligro de inundación y/o emitir un aviso telefónico a una central de alarmas,... de manera aislada o combinada.

Los Sensores de Inundación están compuestos por dos elementos: la Sonda o elemento sensor y el Detector que analiza la señal procedente de la sonda y determina el estado de alarma (inundación) o reposo. Algunos modelos disponen de indicadores luminosos independientes para los estados de funcionamiento y alarma, sonido interno para aviso en caso de alarma. [15]

Higrómetros:

Un higrómetro o hidrógrafo es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad del aire o de otros gases. En meteorología es un instrumento usado para medir el contenido de humedad en la atmósfera.

Los instrumentos de medida de la humedad por lo general se basan en las mediciones de alguna otra magnitud como la temperatura, la presión, la masa o un cambio mecánico o eléctrico en una sustancia cuando absorbe la humedad. Mediante la calibración y el cálculo del funcionamiento del higrómetro, una vez conocidas estas otras magnitudes es posible deducir la medición de la humedad. Los dispositivos electrónicos modernos usan la temperatura de condensación (el punto de rocío), o cambios en la capacitancia o en la



resistencia eléctrica para medir las diferencias de humedad. [16]

2.8.2 Monoestables no redisparables:

En determinadas aplicaciones se necesita de algún circuito que sea capaz de generar un pulso ya sea positivo o negativo, es decir que permanezca en “1” o “0” durante un lapso dado de tiempo respectivamente y luego retorne a su nivel lógico inicial. Este circuito se denomina monoestable ya que logra cambiar su estado (nivel lógico “0” o “1”) inicial a su estado complemento (nivel lógico “1” o “0”) durante un cierto tiempo que es fijado ya sea externamente por una red R-C o mediante el empleo de algún circuito contador que luego de un número determinado de ciclos de reloj cambie nuevamente el estado lógico de su salida.

2.8.3 El monoestable redisparable:

Los monoestables redisparable son aquellos monoestables que comienzan su temporización (T_w) cada vez que se active su entrada de disparo, sin importar si la salida se encuentra en su estado estable o inestable.

74LS123 y 74123: Monoestable redisparable.

La configuración de sus pines y su tabla de funcionamiento se presenta a continuación. El circuito se puede disparar por flanco de subida (B) o por flanco de bajada (A), se configura por uno o por el otro según la tabla de funcionamiento suministrada por el fabricante, el pulso comienza cuando detecta un flanco en la entrada de disparo (A o B).

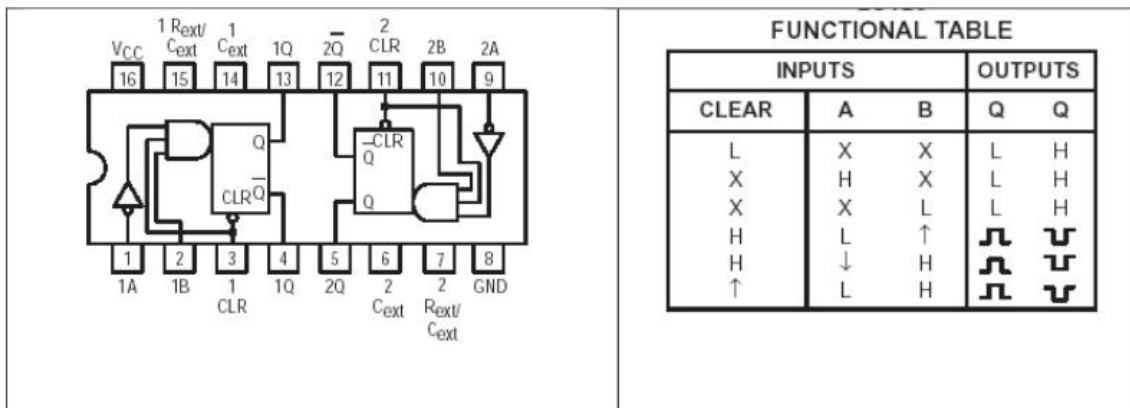


imagen 8: Configuración de los pines del circuito integrado 74LS123 y su tabla de funciones

El circuito integrado 555 como monoestable:



Transferencia de carga para riego solar.

El circuito integrado 555 es uno de los integrados más utilizados en el mundo de la electrónica por su bajo costo y su gran fiabilidad y es capaz de producir pulsos de temporización (modo monoestable) muy precisos y que también puede ser usado como oscilador (modo astable). Fue desarrollado y construido en el año 1971 por la empresa Signetics con el nombre: SE555/NE555 y se lo llamó: "The IC Time Machine" ("Circuito integrado la máquina del tiempo") [17]

Capítulo #3 Análisis de los resultados y valoración económica.

3.1 Caracterización del Organopónico Las Coloradas.

El organopónico se encuentra en un área semiurbana al noroeste de Moa, el mismo cuenta con un área total de media hectárea dentro de la cual existen un local de administración, un puesto de riego y el área cultivable. Dentro del área de cultivo se disponen 108 canteros con un largo de 28 metros y un ancho de un metro cada uno dando como resultado individual que cada cantero posee 23 metros cuadrados y el conjunto nos da un total de 2484 metros cuadrados de terreno apto para el cultivo. Para asegurar que se produzca el riego de este terreno se cuenta con dos tanques de almacenamiento de agua con una capacidad cada uno de 20000 litros cada uno que se encuentran en el puesto de riego ambos situados a la altura del nivel del suelo con una altura máxima de 6 metros.

El local de administración se encarga de organizar el trabajo en el lugar asegurando que se cumplan las actividades y que se seleccione correctamente el tipo de cultivo así como la disposición para un mayor aprovechamiento del terreno. También se encarga del arreglo de la producción y de la exportación de los productos obtenidos hacia los lugares dispuestos para su comercialización y venta a la población.

3.1.1 Sistema de riego:

El organopónico cuenta con un sistema de riego que actualmente no está en funcionamiento por problemas técnicos del complejo motor-bomba. El sistema realiza el riego en forma de aspersion a través de micro aspersores que se



Transferencia de carga para riego solar.

encuentran ubicados a una distancia de tres metros uno del otro en cada cantero para así regar un área aproximada de tres metros cuadrados. Para cubrir toda el área que se debe regar se cuenta con un número total de 540 aspersores distribuidos en los 108 canteros dispuestos para el cultivo. El riego se efectúa a una altura de 15 centímetros (sobre el nivel del cantero) durante un tiempo variable según el tipo de planta que esté regando. Este tiempo tiene un promedio de 30 minutos con una presión en la salida de 2.5ps proporcionada por una bomba con un caudal de 100 litros por hora que es accionada por un motor trifásico de un caballo de fuerza el cual se encuentra trabajando con tensión monofásica.

3.1.2 Forma de alimentación del sistema de riego:

El sistema de riego está alimentado exclusivamente por la red de distribución del SEN por el cual paga una factura mensual a la Empresa Eléctrica. La tensión a la cual se encuentra sometido el motor que impulsa el sistema es de 110v monofásica procedente de un transformador de 50kVA que se encuentra en un poste cercano. El control del mismo es manual mediante una cuchilla que un operador cierra y posteriormente abre después de un lapso de tiempo.

3.1.3 Tipos de cultivos:

- Tomate.
- Lechuga.
- Acelga.
- Cebollín.
- Ají.
- Repollo.

3.2 Cálculo de Necesidades.

Teniendo en cuenta que el suelo en el que se va a regar es principalmente orgánico, se presentan las siguientes necesidades de agua para cada tipo de cultivo.

Tabla 5: Necesidades hídricas de las plantas en el organopónico Las Coloradas.

Tipo de Cultivo	Demanda Hídrica en litros
-----------------	---------------------------



Tomate	23
Lechuga	23
Acelga	21
Cebollín	16
Ají	15
Repollo	18
Promedio	20

El sistema de riego ya instalado nos permite conocer de antemano el caudal necesario para el funcionamiento óptimo del sistema de riego que es de $6\text{m}^3/\text{s}$.

Siendo la densidad del agua igual a $1,000\text{ kg}/\text{m}^3$, la gravedad de $9.81\text{ m}/\text{s}^2$ y la altura dinámica de la bomba de unos 8 metros, entonces podemos calcular la potencia que necesita la bomba.

$$P_b = \rho * g * Q * h_b$$

$$P_b = 1,000\text{ kg}/\text{m}^3 * 9.81\text{ m}/\text{s}^2 * 6\text{m}^3/\text{s} * 8\text{ m}$$

$$P_b = 470.88\text{W}.$$

El rendimiento de la bomba centrífuga es del 98% así que calculamos la potencia que le transmite por el eje el motor a la bomba mediante la fórmula:

$$P_s = P_h / \eta$$

$$P_s = 470.88 / 0.98$$

$$P_s = 481\text{W}$$

Teniendo la potencia mínima asumo que un motor monofásico de $\frac{1}{2}$ hp puede asumir el trabajo bajo una tención de 110V y con arranque por condensador. Como no tenemos datos de chapa asumimos los valores aproximados para este tipo de motor con esta potencia que son del orden de 0,5.

La corriente que este motor demandará de la red se puede calcular entonces mediante la ecuación:



$$In = \frac{Pn}{Un * \eta * \cos\varphi}$$

$$In = \frac{481W}{110V * 0.9 * 0.6}$$

$$In = 8.1A$$

La potencia mínima del inversor del inversor = 481w

La corriente que deben soportar los contactos de los relés = 8.1A

La potencia mínima que debe suministrar el generador fotovoltaico = 481W

3.3 Propuesta y evaluación de los resultados.

Actualmente el precio de los KITS de riego solar tiende a bajar por causa del acelerado auge que van tomando los tipos de energía renovable y en especial la solar fotovoltaica. Sin embargo, en Cuba no existe este tipo de ofertas y la acción del bloqueo comercial y financiero impuesto por los Estados Unidos sobre nuestro país hace más compleja la obtención de este tipo de sistemas. Teniendo en cuenta esto y partiendo del organopónico Las Coloradas hago mi propuesta sobre el sistema de riego que presento a continuación.

El sistema posee un circuito de control que asegura el funcionamiento del riego transfiriendo la carga a la red en caso de que el clima no sea favorable para continuar regando por la fuente solar. Este circuito se encarga de revisar algunas variables externas que son fundamentales para la continuidad del riego o la transferencia de la carga.

El esquema que se propone es el siguiente:

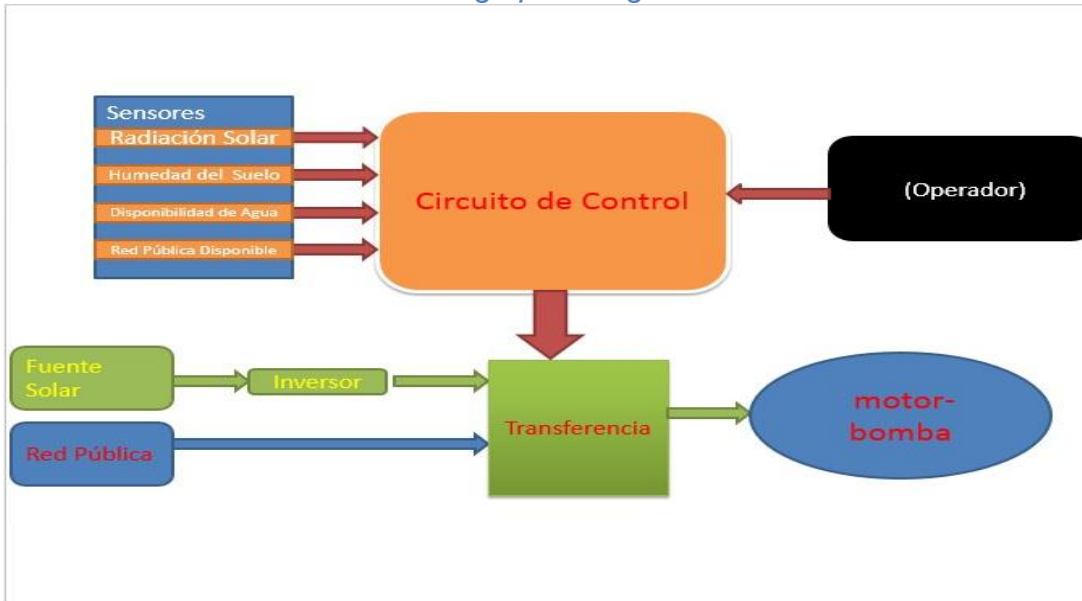


Imagen 9: Esquema del circuito propuesto.

El circuito propuesto cumple el algoritmo descrito a continuación.

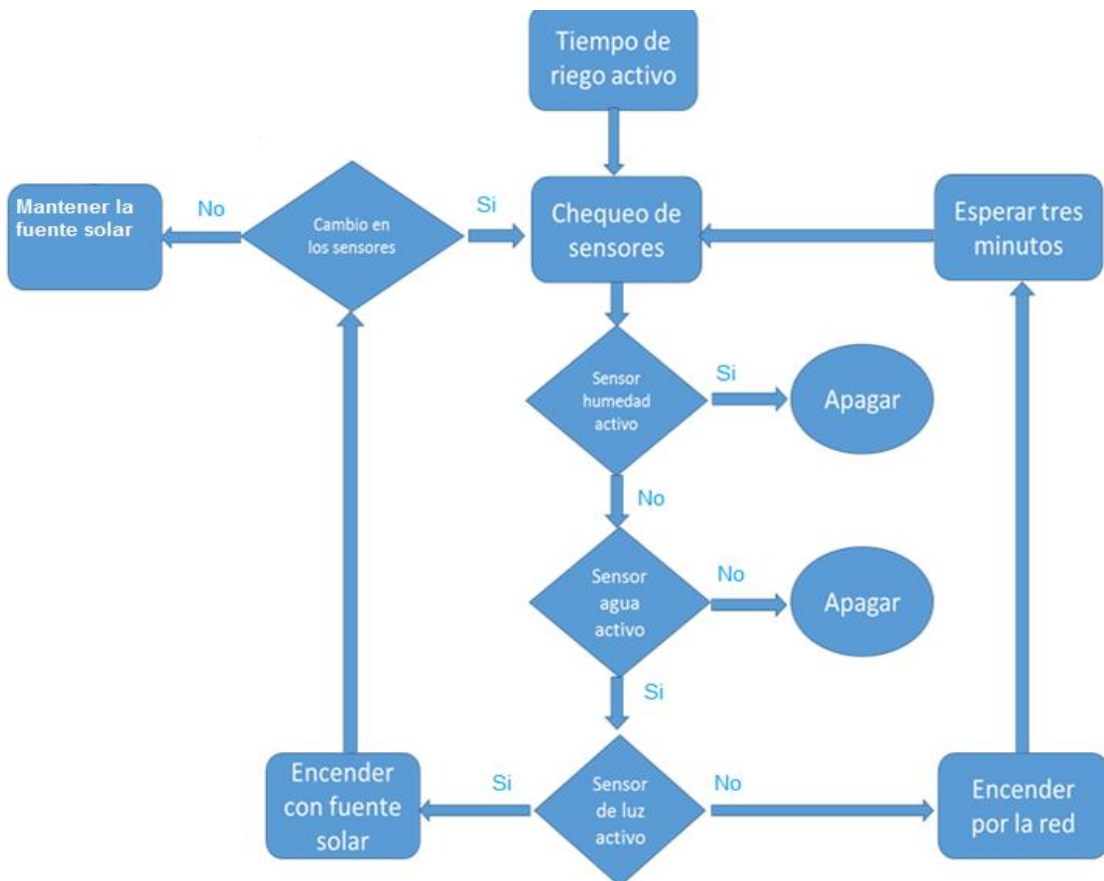


Imagen 10: Algoritmo de funciones del circuito propuesto.

El esquema representa el funcionamiento del circuito que comienza cuando amanece y se activa un elemento temporizador que iniciará el tiempo de riego.



Transferencia de carga para riego solar.

Una vez activado el tiempo de riego el circuito procede a chequear los diferentes valores de tensión de referencia de los sensores que indicarán las acciones subsiguientes.

- Primero: revisa el sensor de humedad que debe estar apagado porque de estar encendido indicaría que el terreno a regar ya tiene la cantidad de agua necesaria por lo que está saturado y sería perjudicial para el cultivo seguir regando indicando entonces al circuito apagarse.
- Segundo: revisa el sensor de disponibilidad de agua para riego que debe estar en uno lógico indicando que hay agua para regar, de estar en cero lógico entonces indicaría que no se dispone de agua para regar por lo que el complejo motor-bomba trabajaría en vacío produciéndose un gasto innecesario de la energía y la vida útil de los componentes.
- Tercero: chequea el sensor de luz que de estar en uno lógico indicará la acción normal del sistema que es el riego con energía solar, pero, si se encuentra en cero lógico el circuito de control transfiere la carga a la red asegurando así el riego, además, se activa un tiempo de retardo para el chequeo de los sensores: si los sensores no varían entonces ese tiempo de retardo vuelve a empezar; si las demás variables se mantienen constantes y el sensor de luz indica un uno lógico entonces transfiere la carga nuevamente a la fuente solar.

Dentro de las particularidades de este circuito podemos encontrar que está constituido fundamentalmente por componentes TTL que manejan las señales digitales con las que se toman las decisiones. Además, el elemento clave de control es el tiempo, que está dado por monoestables dispuestos en el circuito.

Elementos que componen el sistema de control:

- Monoestables no redisparables.
- Monoestables redisparables.
- Compuertas lógicas NOT y AND.
- Sensores interruptores.
- Señalizadores.

El circuito fue diseñado en el software NI Multisim y se presenta a continuación:

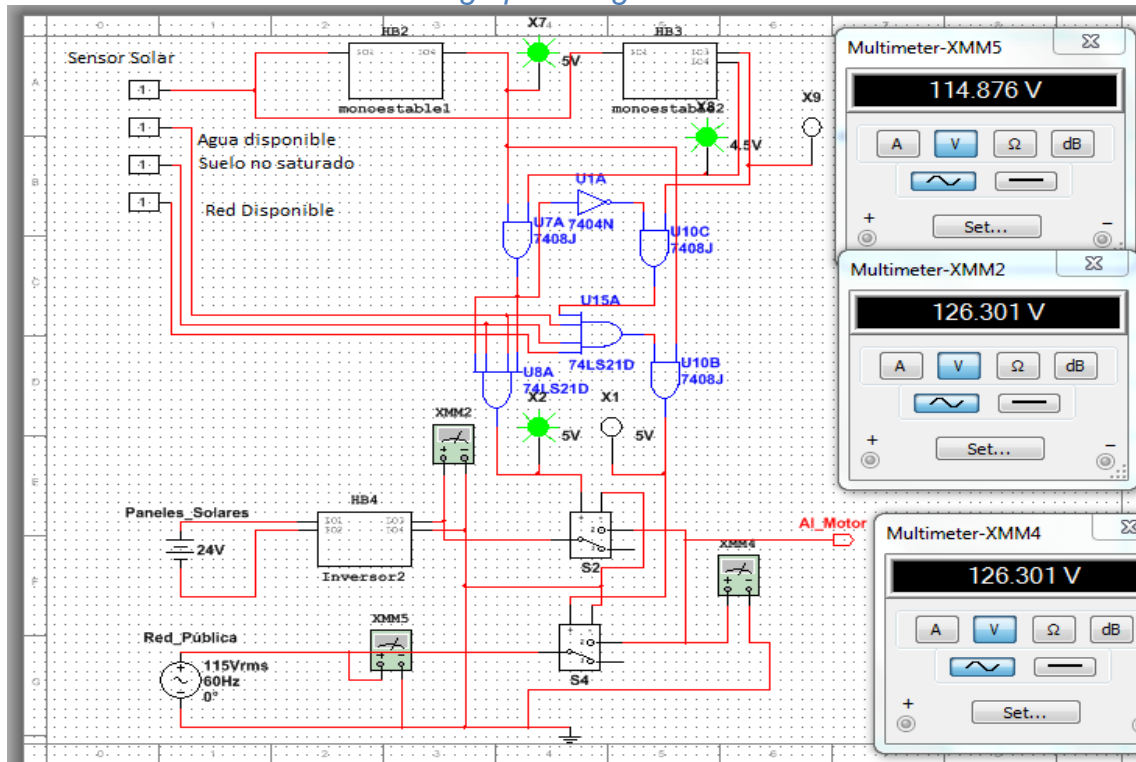


Imagen 11: Diseño del circuito en Multisim en funcionamiento normal

Suministro de energía fotovoltaica

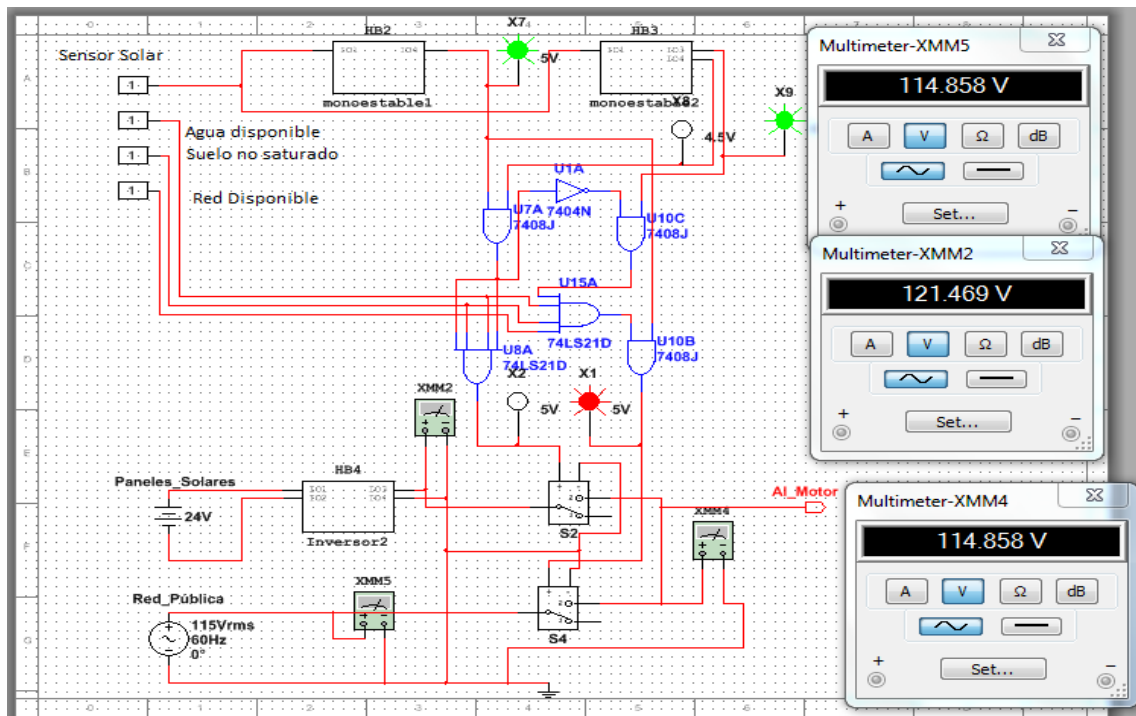


Imagen 12: Circuito simulado en condiciones de fuente emergente.

Suministro de energía de la red en tiempo de rechequeo



Comportamiento del circuito en las diferentes circunstancias:

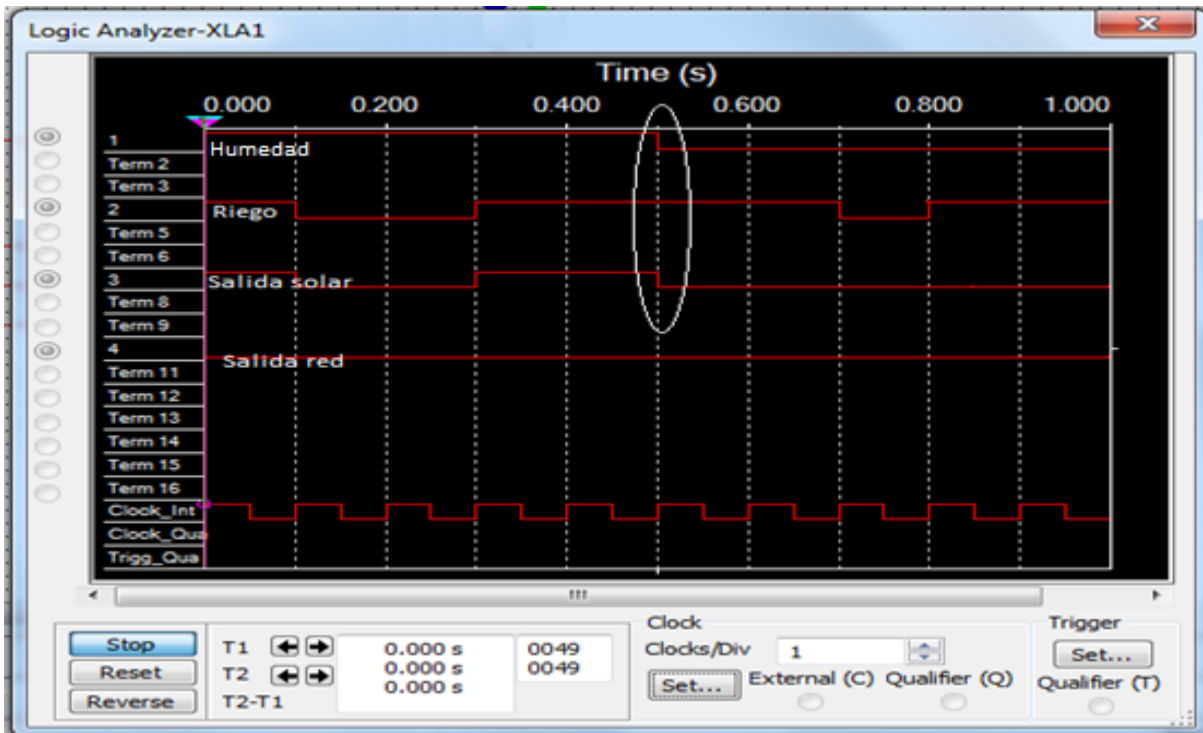


Imagen 13: Comportamiento del circuito ante la saturación del suelo.

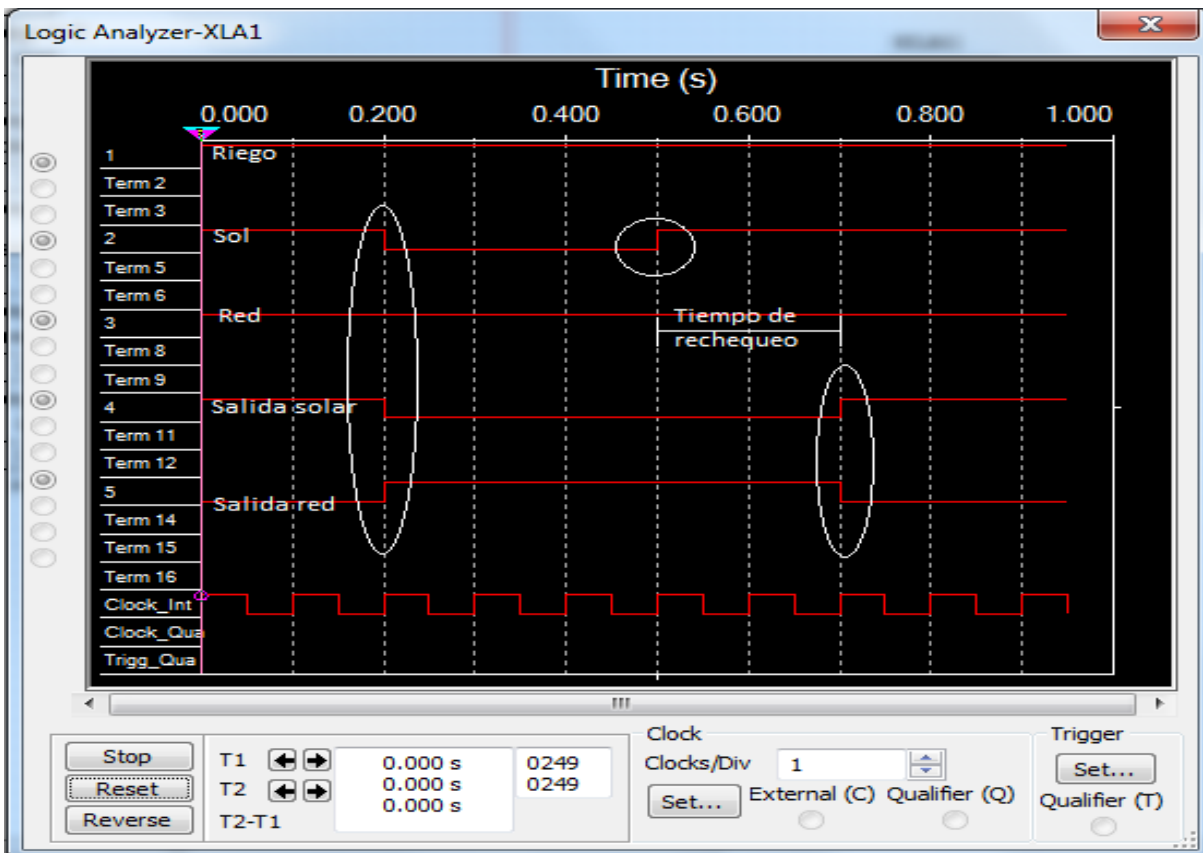


imagen 14: Transferencia tras un período sin potencia en el generador fotovoltaico.



Transferencia de carga para riego solar.

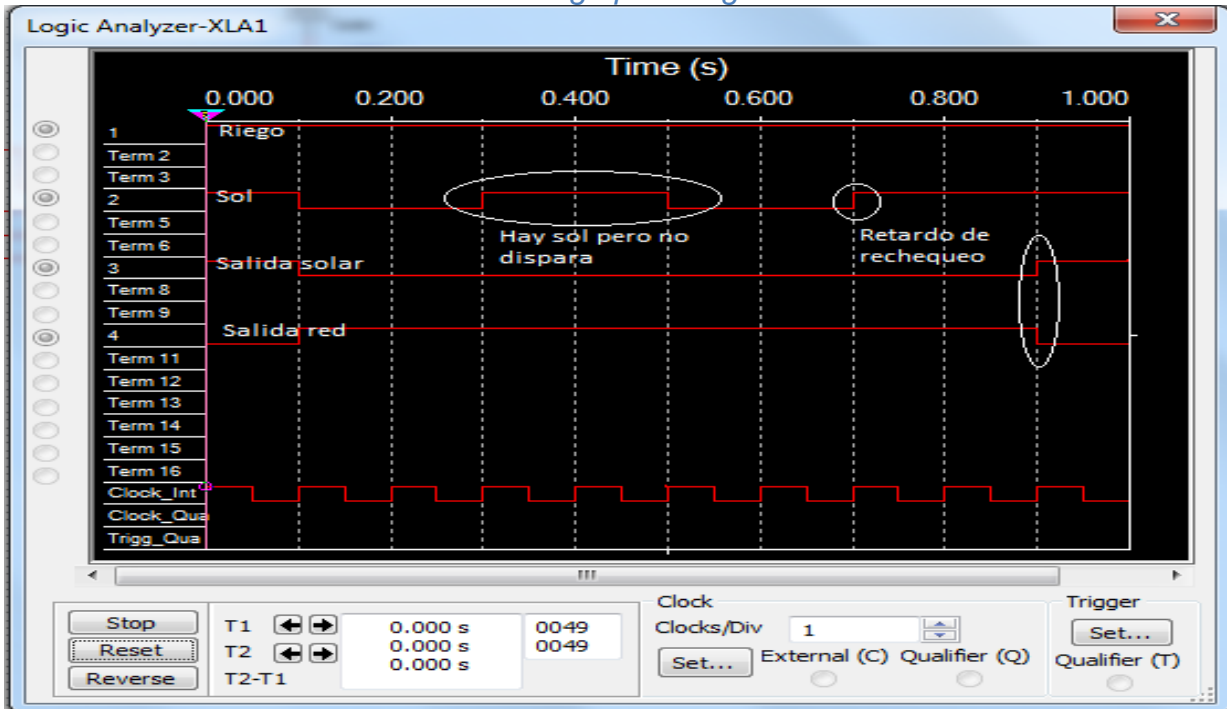


Imagen 15: Comportamiento ante apariciones momentaneas de potencia en el generador fotovoltaico.

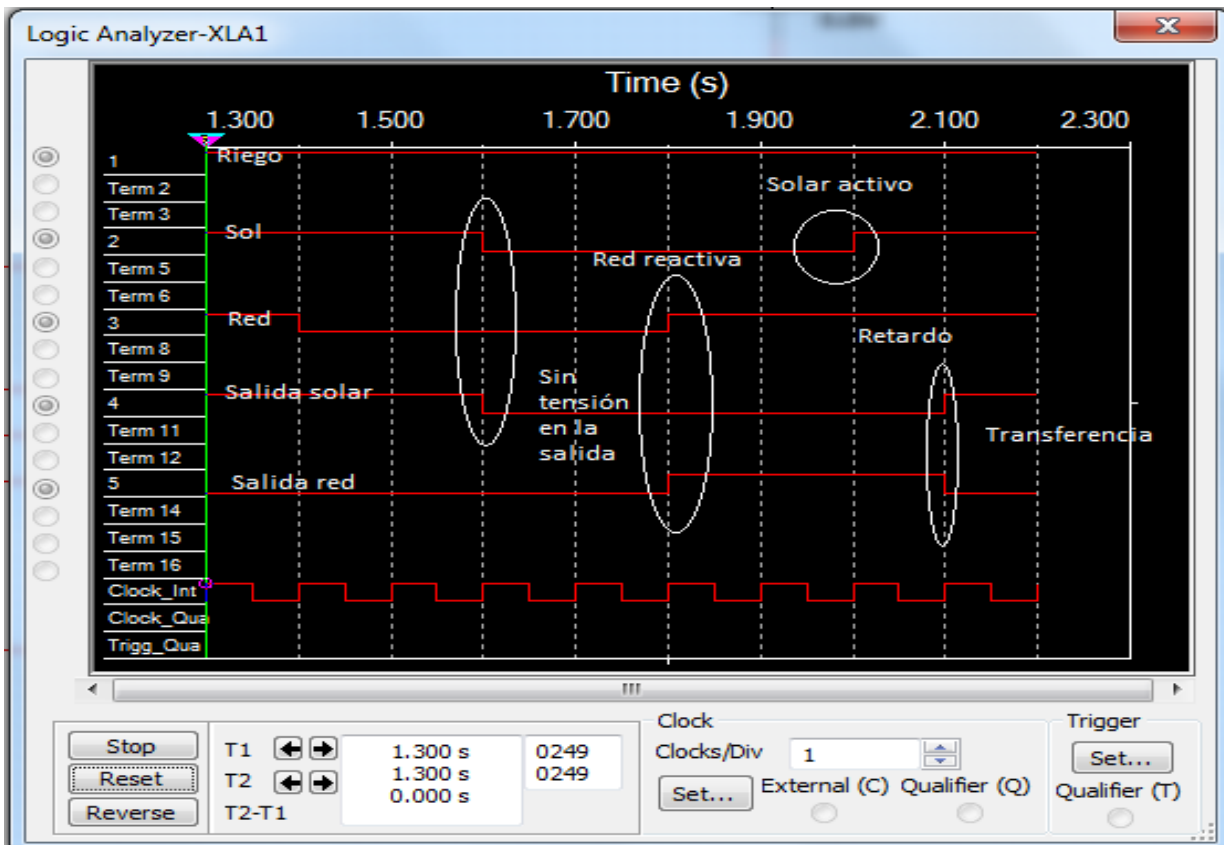


Imagen 16: Comportamiento ante eventual falta de potencia en ambas fuentes.



Transferencia de carga para riego solar.

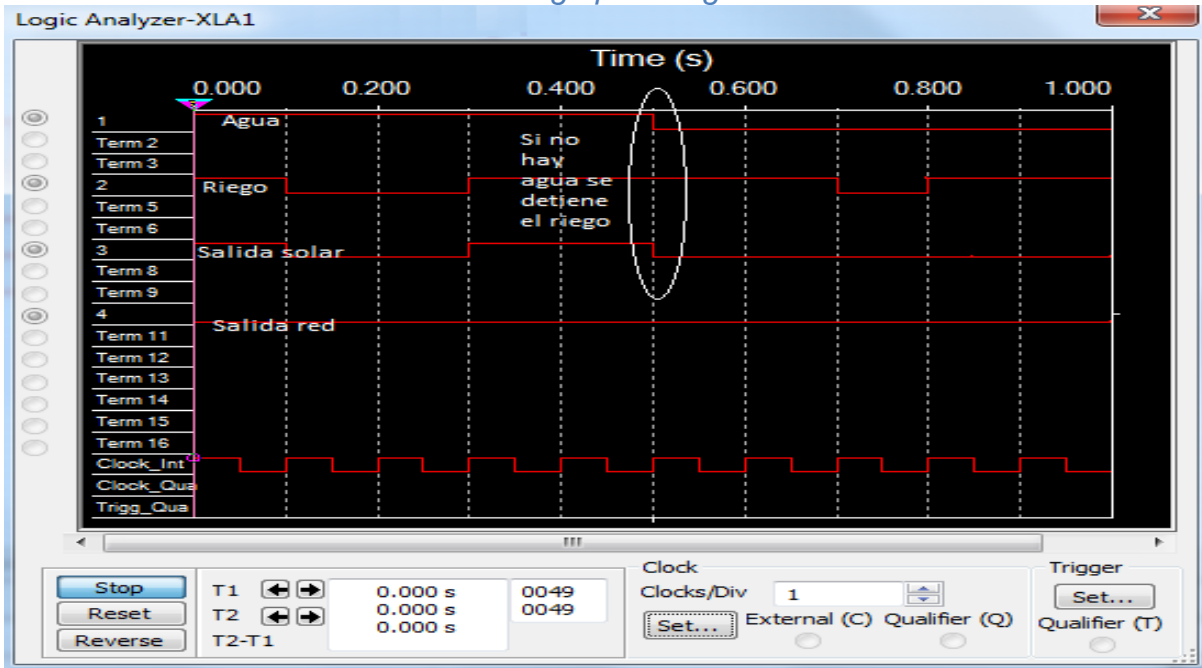


Imagen 17: Comportamiento ante la falta de agua para el riego.

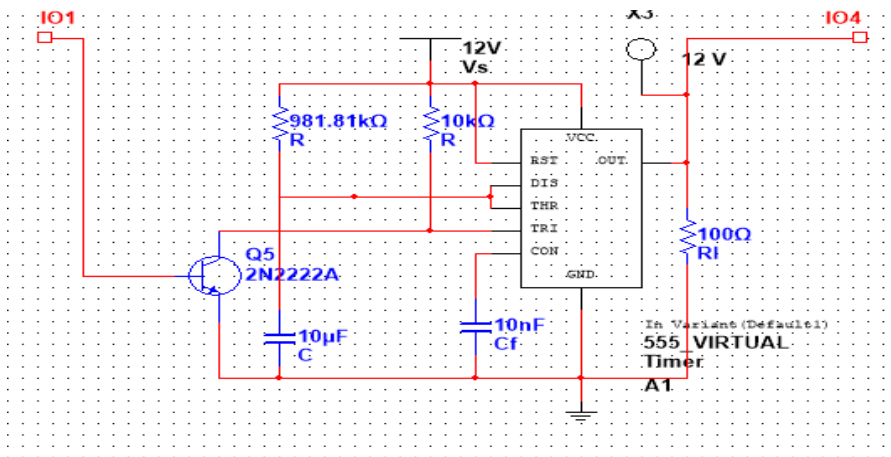


Imagen 18: Monoestable no redispensible (controla el tiempo de riego)



MODELO		POTENCIA		Q	m ³ /h																		
Monofásica	Trifásica	kW	HP		l/min	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6	
				H metros																			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50		22	21	20	18.5	17	15.5	14	12	9										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85		30	28.5	27	25.5	23.5	21.5	19	16	12										
CPm 620	CP 620	0.75	1		35	34	33	31.5	30.5	29.5	28	26.5	24.5	22	19								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5		42	41.5	41	40.5	39.5	39	38	36.5	35	33	30	27	24						
CPm 660	CP 660	1.5	2		48	47.5	47	46.5	46	45	43.5	42	40.5	38.5	36	33.5	31	28					
CPm 670	CP 670	2.2	3		57	56.5	55.5	55	54	53.5	53	52	50.5	49.5	47	45	42.5	38	33				
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5		39	38.5	38	37	36.5	36	35	34	33	32	30	28.5	26.5	24.5	22.5	20	18		
CPm 660M	CP 660M	1.5	2		43	42.5	42	41	40.5	40	39	37.5	36.5	35	34	32.5	31	29	27	25	23		
CPm 670M	CP 670M	2.2	3		51	50.5	50.5	50	49.5	48.5	47.5	46.5	45	44	42.5	41	39.5	37.5	36	34	32		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

Inversor modelo TW500W- ZONHAN con un valor de 59.5 dólares.



- Superior a la tecnología base de la actualidad.
- Protección contra bajo voltaje.
- Protección contra sobre voltaje.
- Protección contra conexión inversa.
- Protección contra sobrecarga.



Transferencia de carga para riego solar.

- Protección contra sobrecalentamiento.
- Selección de tensión de entrada y de salida.

Modelo: TW-500		TW-500-12V	TW-500-24V	TW-500-48V
Salida de la CA	Potencia continua	500W		
	Superpoder	1000W		
		120%		
		150%		
	Forma de onda de la salida	Onda sinusoidal pura (THD < 3="")>		
	Frecuencia de la salida	el 50Hz±0.1% o el 60Hz±0.1% (opcional)		
	Voltaje de salida de la CA	CA de 100-120V AC/200-240V (opcional)		
Entrada CC	Voltaje de entrada CC	12V DC	24V DC	48V DC
	Gama del voltaje	10.8-15.5V	21.6-31V	43.2-62V
	Alarma de la baja tensión	10.8V±0.2V	21.6V±0.4V	43.2V±0.8V
	Baja tensión cerrada	10.2V±0.2V	20.4V±0.4V	40.8V±0.8V
	Sobre el voltaje cerrado	15.5V±0.2V	31V±0.4V	62V±0.8V
Convertir eficacia máxima		90% (lleno)/el 95% (1/3 del cargamento que carga)		
Ningún consumo de la carga		<0>	<0>	<0>
Protección	Sobre la termal	Apague la salida automáticamente, la temperatura >75°C		



Transferencia de carga para riego solar.

	Protección del cortocircuito:	Polaridad reversa (fusible externo)	
	El ventilador corre automáticamente	Temperatura: $\geq 45^{\circ}\text{C}$	
Ambiente	Temperatura de trabajo	-10 a 50°C	
	Humedad de trabajo	derecho de 20to el 90% sin condensación	
	Gama de temperaturas de almacenamiento	-30 a $+70^{\circ}\text{C}$	
Indicador luminoso del LED		Inversor, falta	
El embalar	Dimensiones internas de la caja (milímetro)	315*195*135m m	6 pedazos/cartón
	Peso interno de la caja (kilogramo)	2.5kg	
	Dimensiones del cartón (milímetro)	420*340*460m m	
	Peso del cartón (kilogramo)	15kg	

Relé marca finder con un valor de 6,36 dólares.





Características:

El relé seleccionado cuenta con las siguientes características industriales:

Fabricante	FINDER
Modelo	40.31.8.110
Tensión de la Bobina	110V AC
Tensión de Mando	5V DC
Configuración de los Contactos	SPDT
Tipo de Montaje	Montaje en PCB
Corriente de Conmutación Máxima AC	10 A
Tipo de Terminal	Orificio Pasante
Resistencia de la Bobina	6,9 k Ω
Tensión de Conmutación Máxima AC	400V ac
Tipo de Aplicación	PCB
Longitud	29mm
Profundidad	12.4mm
Altura	25mm
Dimensiones	29 x 12.4 x 25mm
Dibujo CAD	Modelo CAD 3D
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+85°C
Aislamiento de Bobina a Contacto	6kV
Material de los Contactos	Aleación de Plata
Rango de Temperatura de Funcionamiento	-40 → +85°C
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40°C
Potencia de la Bobina	1.2W
Potencia de Conmutación Máxima AC	2,5 kVA



Transferencia de carga para riego solar.

Los paneles pueden ser del tipo Panel Solar Amerisolar AS-6P30 260 Wp con un valor de 473.4 dólares.



La potencia de estos paneles es de 260W por lo que para superar la demanda se deben colocar dos de este tipo alcanzando una potencia pico de 520



3.5 Conclusiones.

Del trabajo anteriormente realizado se puede decir que:

- La conexión de la carga a una fuente renovable evitará el consumo de gran parte de la energía que actualmente se le suministra a los organopónicos por la red, lo que generará grandes ahorros.
- Se realizó una propuesta de circuito que conmuta entre dos fuentes de potencia, una normal y otra emergente transfiriendo la carga.
- Se validó la propuesta realizada comprobando mediante la simulación del circuito en el software NI Multisim 14.0 que la simulación cumplía con los resultados esperados.



Bibliografía:

- [1] E. S. López-Argumedo, "ESTUDIO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA INSTALACIÓN

SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED DE 5KW," DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA, UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, Madrid, 2009.

- [2] A. C. Soto, "Sistema de Energía Solar Fotovoltaica Aislado para una Estación de Bombeo," 2012.

- [3] L. L. J. P. Flores Mondragón Josué, "Sistema híbrido Eólico-Fotovoltaico para casa

habitación con tarifa DAC," FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO, México, 2012.

- [4] R. C. M. M. Raúl Castillo Meraz, Finees Delgado Aranda, Isaac Campos Cantón. (2013) SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE

ENERGÍA ELÉCTRICA. *TLATEMOANI Revista Académica de Investigación.*

- [5] V. Salas, "INTEGRACIÓN DEL AUTOCONSUMO

FOTOVOLTAICO EN SISTEMAS

HÍBRIDOS DIÉSEL:

PARTE I," Universidad Carlos III de Madrid, Leganés2014.

- [6] E. A. M. Rodas, "Paneles Solares Como Fuente de Energía Eléctrica Para Sistemas de Mini-riego en Producción de Hortalizas en el Departamento de Quiché," Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2009.

- [7] E. J. A. Medina, "Bombeo de Agua Para Riego en Cerro Calán Utilizando Energía Solar Fotovoltaica," Departamento de Ingeniería Civil Universidad de Chile Chile, 2009.

- [8] J. c. Herrejón, "Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaicos," Departamento de Ing. Electrónica, CENIDET (Centro Nacional de



Investigación y Desarrollo Tecnológico); , Cuernavaca, Morelos, México, 2009.

- [9] I. L. P. F. Mg. Jorge Díaz Rodríguez, Ph.D. Aldo Pardo García, "SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR

Y RED ELÉCTRICA," *HYBRID POWER SYSTEM USING SOLAR ENERGY AND*

POWER LINE SUPPLY, 2012.

- [10] R. R. S. Juan Alberto Boyzo Ruiz , Jorge Ramírez, "Cálculo y selección de un sistema de transferencia de energía eléctrica," Escuela superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politecnico Nacional, México, 2008.

- [11] S. K. Joseph Masabni. (2014) Riego de las verduras. *Texas A&M Agrilife Extension*.

- [12] A. M. Matos. (2017). *Relés*.

- [13] M. P. Aponte. (2017). *Sensores. Definición y características*.

- [14] Wikipedia. (2015). *Sensor fotoeléctrico*.

- [15] M. C. Almaguer. (2016). *Sensores: Tipos y funcionalidades*.

- [16] Wikipedia. (2015). *Higrómetros*.

- [17] Alldatasheet.com. LM555 [Online].