

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA**

**UNAN – MANAGUA**

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN.**



**TEMA:**

**Diseño de un sistema de bombeo automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos en la finca “El Santiago” ubicada en el municipio de la concepción Masaya.**

**AUTOR: BR. David Enmanuel Castillo Cerda**

**TUTOR: MSC Adriana Suazo**

**ASESOR TECNOLÓGICO: MSC Reynaldo Espino**

**Febrero, 2016**

## DEDICATORIA

Dedico este éxito primeramente a **DIOS**: Por prestarme vida para culminar y poder llegar a esta etapa final para coronar mi carrera, por darme sabiduría y fuerza para vencer los obstáculos que se presentaron. Y porque siempre está conmigo en las buenas y en las malas. A Él sea toda la gloria y toda la honra.

**A mis padres:** José David e Ileana Iveth por sacrificar su tiempo y su dinero en los gastos; de mis estudios, salud, por darme un techo, por ayudarme en los momentos de dificultad, y darme ánimo en los momentos de angustia por darme consejos de día a día y buenos ejemplos para resolver mis problemas. Sobre todo porque me enseñaron grandes valores y virtudes como responsabilidad, paciencia, esfuerzo, sacrificio, perseverancia y entusiasmo.

**A mis abuelos:** María Genera Aguirre de Castillo (Q.E.P.D) y José del Carmen Castillo (Q.E.P.D), por ser abuelos ejemplares ,darme ánimo para esforzarme, apoyo económico, por aconsejarme a bien, ayudarme a tomar decisiones correctas ..

**A mis hermanos y novia:** Davixia Iveth Castillo Cerda, Christopher Castillo Cerda y Josías Castillo Cerda. Por darme su hermandad incondicional también a mi novia Karen Sorayda Mejía por brindarme su amor y compañerismo incondicional durante el tiempo que hemos estado junto.

**A mis amigos:** Por brindarme su amistad, su apoyo y compañerismo en todos los momentos de alegría y dificultades que experimentamos en la universidad. A todos éxitos y bendiciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios padre todo poderoso por darme la vida y la dicha de seguir siempre adelante a mis padres y familia por darme su apoyo incondicional.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), por permitirme ser parte del gremio estudiantil, por brindarme los beneficios que la universidad ofrece a sus estudiantes y formarnos como profesionales en esta reconocida Institución Universitaria.

A mi tutora Msc. Adriana Suazo, a mi asesor tecnológico MSc. Reinaldo Espino por haberme dirigido en la realización del seminario y brindado los medios necesarios e información básica para desarrollar nuestro trabajo.

Al ingeniero Freddy Manzanares por brindarme sus conocimientos y ayuda en la parte de automatización de los PLC.

Al cuerpo de docentes de la facultad de Ciencias e Ingeniería porque durante cinco años nos impartieron los conocimientos que aplicaremos en nuestra vida laboral de manera profesional.

A la dueña de la finca donde se realizó el diseño del proyecto por brindarnos su apoyo. También a las diferentes instituciones encargadas de generar energía renovable y a su personal. Porque me dieron la información necesaria para la realización del presente documento.

# INDICE

RESUMEN .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.1 ANTECEDENTES:.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.2 JUSTIFICACIÓN:.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CAPITULO II: OBJETIVOS .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.1 OBJETIVO GENERAL .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CAPITULO III: DESARROLLO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1 PROBLEMÁTICA .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2 UBICACIÓN DE LA FINCA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.3 FUENTE DE AGUA DISPONIBLE EN LA FINCA EL SANTIAGO Y CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA LOS CULTIVOS ..	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.4 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DEL MUNICIPIO DE LA CONCEPCIÓN.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.5 ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE BOMBEO AUTOMATIZADO Y ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL CULTIVO DE CÍTRICOS .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.5.1 Sistema de riego.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1.1 Tanque de almacenamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1.2 Red de tubería.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1.3 Goteros.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.1.4 Manómetro.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2 Sistema de control automático.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.1 Autómata programable.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.2 PLC LOGO DE SIEMENS 230 RC.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.3 Las características específicas del PLC logo 230 RC son:.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.4 Sistemas de control.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.5 Controlador de nivel de agua.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.6 Electroválvula.....	¡Error! Marcador no definido.
3.5.2.7 Conexión entre el PLC y la electroválvula.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6 DISEÑO PROGRAMACIÓN DEL PLC SELECCIONADO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.6.1 Condiciones de bombeo y riego automatizado.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.2 Plano del diseño de sistema deseado.....	¡Error! Marcador no definido.
Plano del proyecto. Fuente: propia.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.3 Etapa de bombeo.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.4 Salida o variable controlada.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.5 Variable manipulada.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.6 Sistema de control.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.7 Tipo de control.....	¡Error! Marcador no definido.
3.6.8 Etapa de control automático.....	¡Error! Marcador no definido.
Salida o variable controlada.....	¡Error! Marcador no definido.
Variable manipulada.....	¡Error! Marcador no definido.
3.7 SISTEMA ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.7.1 Dimensionado del sistema de bombeo fotovoltaico .....	¡Error! Marcador no definido.
3.7.2 Determinación del régimen de bombeo.....	¡Error! Marcador no definido.

3.7.3	<i>Determinación de la carga dinámica total y la carga hidráulica, para determinar el control</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.4	<i>Determinación de la potencia del arreglo fotovoltaico</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.5	<i>Selección de la bomba</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.6	<i>La bomba solar o fotovoltaica</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.7	<i>Panel solar</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.8	<i>Características eléctricas del panel seleccionado</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.9	<i>Características físicas del panel seleccionado</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.7.10	<i>Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos</i> ....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.8	ETAPAS DEL SISTEMA.....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.8.1	<i>Captación y conversión de la energía solar</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.8.2	<i>Bombeo</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.8.3	<i>Control del volumen de agua almacenado en el tanque</i> ....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.8.4	<i>Diagrama del sistema de bombeo fotovoltaico del sistema de riego por goteo automatizado diseñado</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.8.5	<i>Dimensionado del sistema de alimentación fotovoltaica para el sistema de control automático</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.9	BANCO DE BATERÍA O ACUMULADORES .....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.10	CONTROLADOR DE CARGA .....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.11	INVERSOR DE CARGA .....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.12	MANTENIMIENTO A CARGO DEL USUARIO .....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.12.1	<i>Supervisión general</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.12.2	<i>Limpieza</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.12.3	<i>Verificación visual del campo fotovoltaico</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.12.4	<i>Mantenimiento a cargo del servicio técnico</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.12.5	<i>Mantenimiento de rutina y reparaciones menores</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.12.6	<i>Reparaciones preventivas y correctivas</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.13	PRESUPUESTO DE COSTO DEL PROYECTO .....	<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
3.13.1	<i>Costo de control de calidad y mantenimiento</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.13.2	<i>Costo de los componentes del sistema diseñado</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.13.3	<i>Factibilidad del proyecto</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.13.3.1	<i>Tasa Interna de Retorno</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
3.13.3.2	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i> .....	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
CAPITULO IV: CONCLUSIONES.....		<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
CAPITULO V: RECOMENDACIONES .....		<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA .....		<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
CAPITULO VII: ANEXOS .....		<i>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>

## RESUMEN

El estudio está dirigido al diseño de un sistema de bombeo para riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica, para la Finca el Santiago ubicada en el Municipio de la Concepción, Masaya como una solución a la problemática de riego y producción de los cultivos de cítrico en esta región y a la falta de energía eléctrica comercial necesaria para atender el riego de los cultivos.

La realización del estudio contempla la descripción de la fuente de agua (pozo) disponible en la finca, y a partir de la recopilación de los datos mencionados elaborar el diseño del sistema de bombeo automatizado, alimentado con energía fotovoltaica. Las especificaciones del sistema que se determinaron fueron el sistema de bombeo para el riego, el sistema de control automático y el sistema de alimentación fotovoltaica. También se describió las características climáticas de la finca y se demostró que este lugar es óptimo para la realización de dicho proyecto.

Se realizaron los cálculos de potencia del arreglo fotovoltaico y carga dinámica total. El costo de la inversión para diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para el riego de cultivo de cítricos es de U\$ 10,863.43, monto de inversión que se recuperara en el lapso de 2 años y que a su vez generara ganancias y beneficios de producción para los propietarios.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El sol es la fuente de vida y origen de las demás formas de energía, que el hombre ha utilizado desde el principio de los tiempos para satisfacer parte de sus necesidades aprovechando de forma racional la luz que continuamente se irradia sobre el planeta y que ha generado novedosas formas de utilización de sistemas renovables. En el municipio de la Concepción, Masaya se encuentra la finca “El Santiago”, es en esta finca donde se diseñara un sistema de bombeo automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos. Siendo el bombeo de agua para riego, una aplicación que puede presentar en el futuro un gran potencial de desarrollo, teniendo en cuenta que las necesidades de agua para riego suelen ir asociadas a las épocas de mayor insolación dando una excelente relación entre oferta y demanda.

El riego por goteo es uno de los sistemas más eficientes para regar el agua en los cultivos, este sistema se ha utilizado mucho en las regiones áridas del mundo también se ha implementado en los últimos años en las zonas de producción de Nicaragua y ahora se desea implementar en el Municipio de la Concepción. El agua aplicada por este método de riego se infiltra de forma directa en la zona de afluencia de la raíces a través de tuberías y emisores (goteros) estratégicamente distribuidos para una irrigación eficiente, aprovechando de esta forma casi en un cien por ciento el recurso de agua disponible.

La tecnología de automatización optimiza el control y administración de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego .ya que en todo momento se está supervisando el estado y los diferentes procesos que este ejecuta, solo basta una programación adecuada del sistema de automatización para que se pueda llevar acabo correctamente el control de todos estos procesos y de esta forma obtener una buena cosecha y mejores ingresos económico para la finca el Santiago.

## 1.1 Antecedentes:

En Nicaragua existen empresas que trabajan con energía renovable, cuya función es hacer instalaciones de equipo que funcionan con energía renovables, en especial con energía solar. En el periodo de 2005- 2008 la ONG nacional, Asociación de Desarrollo Integral Comunitario (ADIC, Masaya) desarrolló un programa de fomento de energía fotovoltaica doméstica. El cual estaba dirigido al sector rural del departamento de Masaya y tenía como objetivo generar energía eléctrica renovable y ayudar al riego de los cultivos.

En el 2010 se diseñó un sistema de riego por aspersión automatizado con PLC y energía solar para los jardines en el sector de los edificios impares de la UNAN, Managua, RURD. Con el propósito de solucionar la problemática de derroche de agua en el presente recinto. En el diseño se incluyeron controladores lógicos programables, (PLC), para controlar la apertura o cierre total de las electroválvulas.

En el 2011 un grupo de estudiantes diseñaron un sistema de riego automatizado, alimentado con energía fotovoltaica para una finca de cinco manzanas localizada en el viejo Chinandega para el cultivo de hortalizas. Según los estudios de acuerdo a este diseño se lograría mejoras de producción, calidad y desarrollo de los cultivos así como la generación de ingresos económicos anuales de la finca. De manera que en el diseño de un sistema de bombeo automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos en finca el Santiago, se pretende alcanzar y mejorar los logros obtenidos en los proyectos antes descritos.

## 1.2 Justificación:

El presente trabajo pretende aportar un sistema automatizado de bombeo de agua como una solución eficiente a la finca “El Santiago” ubicado en la Concepción, Masaya. Este sistema utilizará la energía solar para extraer o bombear el vital líquido de un pozo ubicado en la misma, hasta la superficie donde se encontrara un tanque de almacenamiento, conectado a una red de tubería para el riego de los cultivos de cítricos que se encuentran en este lugar. Además se implementará la tecnología de automatización para garantizar la eficiencia de riego y llenado de tanque. Esto en conjunto con cada uno de los materiales a utilizar garantizará que el cultivo reciba la cantidad de agua necesaria para su nutrición. El diseño de irrigación se hará por el método de goteo y se dividirá por zonas de cultivos es decir cada zona tendrá un tiempo determinado de irrigación.

Se propone este proyecto debido a que en los últimos dos años el cambio climático se ha acentuado. La estación lluviosa en esta zona y en el resto del país no ha tenido un gran desempeño sobresaliendo un verano prolongado o sequía. Por eso se ha implementado el método de riego de forma manual a cada uno de los árboles cultivados en la finca lo cual hace más pesado e ineficiente el trabajo debido a que la plantación no se puede regar en su totalidad. Además la producción de cítricos ha disminuido, entonces para dar respuesta a esta problemática, se realizará el diseño de este novedoso sistema de bombeo para riego.

El diseño de este proyecto beneficiará de forma significativa la producción de la finca. De manera que el cultivo reciba la cantidad de agua necesaria mejorando la cosecha y por consiguiente se obtendrán mayores ingresos económicos. Además la realización de este proyecto no provoca contaminación al medio ambiente lo cual hace que sea utilizado a su máxima capacidad, esto sin la preocupación de dañar el ecosistema de la zona.

## **CAPITULO II: OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- ❖ Diseñar un sistema de bombeo automatizado alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos en la finca “El Santiago” en el municipio de la Concepción, Masaya.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ❖ Describir características climáticas de la finca, la fuente de agua disponible y cantidad de agua necesaria para los cultivos establecidos.
- ❖ Determinar las especificaciones del sistema de Bombeo automatizado, alimentado con energía fotovoltaica.
- ❖ Diseñar la simulación del sistema de bombeo automatizado alimentado con energía fotovoltaica.
- ❖ Realizar el costo de la inversión del sistema automatizado con energía fotovoltaica.

## **CAPITULO III: DESARROLLO**

### **3.1 Problemática**

La problemática que se presenta en la finca el Santiago es la necesidad de aumentar la producción de la plantación de cítricos y que sea abundante en las dos estaciones del año. Actualmente la finca carece de un sistema de bombeo y riego que proporcione la cantidad de agua necesaria para lograr el objetivo. Otro punto que hay que destacar es el método de riego que se aplica en la propiedad ya que es deficiente porque depende de la precipitación de la época lluviosa y del riego manual que no se hace diariamente debido a la falta de coordinación de mano de obra en la finca. Por otra parte en la finca no se cuenta con el suministro de energía eléctrica comercial, además en la finca no se han hecho estudios que propongan un sistema de riego automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para la mejora de la producción. También los propietarios no cuentan con datos estadísticos científicos de los rendimientos de los años anteriores, únicamente se basan en estimaciones, es decir que la finca carece de tecnificación.

### **3.2 Ubicación de la finca**

La finca “ El Santiago” se encuentra ubicada en el Municipio de la Concepcion a 32 Km de la capital de Nicaragua. Se ubica entre las coordenadas  $11^{\circ} 56'$  de latitud norte y  $86^{\circ} 11'$  de longitud oeste. Apoyandonos de la plataforma de geoogle earth podemos hubicar la posicion geografica donde se encuentra la propiedad donde se llevara acabo el diseño de un sistema de bombeo automatizado y alimentado con energiafotovoltaico para el cultivo de citricos, en la figura número 1 se muestra la ubicación de la finca.

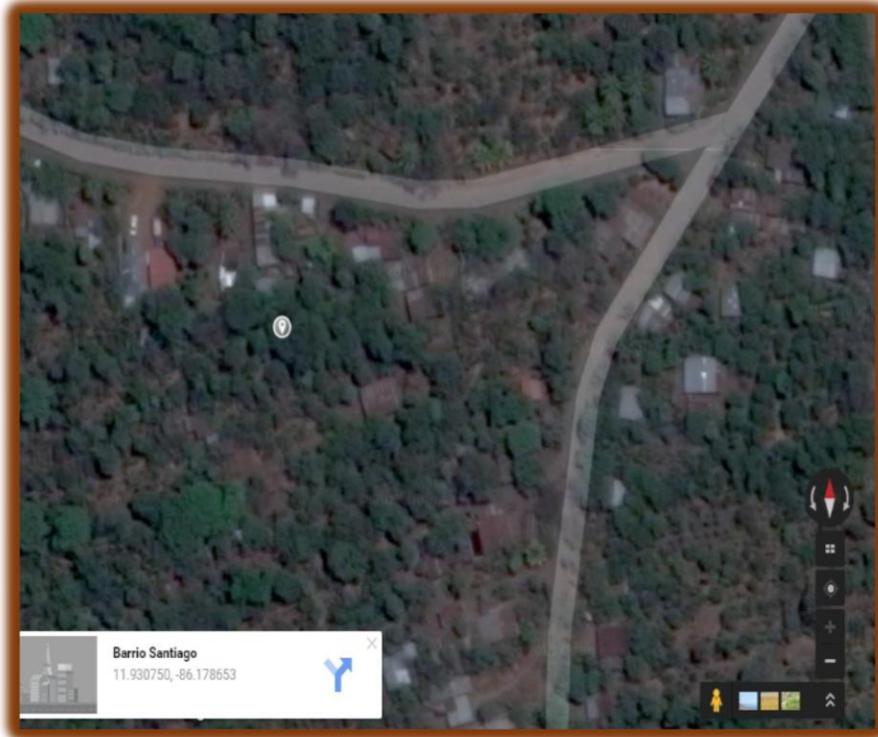


Figura No 1 ubicación de la finca. Fuente:( Google Earth 2014)

### 3.3 Fuente de agua disponible en la finca el Santiago y cantidad de agua necesaria para los cultivos

La fuente de agua disponible en la finca está dada por un pozo artesanal que suministra agua subterránea, la cual cubre la demanda del vital líquido en esta propiedad. El pozo se encuentra ubicado dentro de la misma a través de las medidas que proporcionó el dueño de la finca, las cuales fueron realizadas con cinta métrica. El pozo tiene un diámetro de 1.8 m, una profundidad de 15m, entre el nivel del suelo y el espejo de agua, el nivel de agua estático es de 3 m. Actualmente el agua es extraída del pozo de forma manual, en la figura número 1

se muestra una fotografía del pozo.



**Figura No 2 fotografía del pozo ubicado en la finca. Fuente: (propia)**

El volumen de agua disponible determina la capacidad que tiene el pozo para los requerimientos de agua que necesitan los cultivos de cítricos. Las dimensiones de diámetro, profundidad y nivel estático del pozo determinan la sumersión de la bomba.

La dimensión de la finca el Santiago ubicado en la concepción Masaya es de 3.5 manzanas de tierras, de las cuales 3 de ellas están cultivadas con cítricos de diferentes especies las cuales son naranja, limón y mandarina. Estos están divididos en partes iguales 1Manzana de tierra por cada especie de cítricos, además la cantidad de árboles por manzana es de 140 esto equivale a un total de 420 árboles en total.(la distancia que hay entre cada árbol es e 7 varas).

En la temporada de verano pasado el dueño de la finca aplico por medio de riego manual una cantidad promedio de 60 litros de agua semanal por árbol de cítrico y a pesar de que la plantación sobrevivió a la fuerte insolación. La cantidad de agua que se suministró no fue suficiente para cumplir con la demanda de agua que realmente necesita este cultivo.

Las necesidades de agua de la plantación de cítricos dependen de la temperatura la duración de día, la humedad relativa. Los requerimientos de agua de los cítricos estimados con base en la evapotranspiración en un suelo poroso pueden variar a un promedio de 20 a 25 litros de agua diarios para asegurar la vida del árbol y aprovechar al máximo su producción, según Sánchez, M. (2013). Manual de producción de cítricos. Esto quiere decir que se va a necesitar, la cantidad de 10,500 litros de agua a diario, que equivalen  $10.5\text{ m}^3$  de agua, es decir que semanalmente se utilizara  $73.5\text{ m}^3$  para mantener la plantación de cítricos en óptimas condiciones.

### **3.4 Características climáticas del municipio de la Concepción**

En los estudios realizados por la Dirección General de Meteorología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), del año 2014 se muestra que dentro de las características climáticas del Municipio de la Concepción se encuentran una temperatura promedio anual  $20.1^{\circ}\text{C}$  y  $30.0^{\circ}\text{C}$ . Podemos destacar que se presenta un clima subtropical fresco con marcada estación seca de seis meses, comprendido de noviembre hasta el mes de abril y estación lluviosa o invierno que comprende del mes de mayo a octubre. La precipitación promedio anual del año registra un acumulado promedio de 1,407.6 mm.

La situación del clima en este municipio se ve afectada por múltiples variaciones en el clima a nivel global, la presencia del fenómeno natural El NIÑO en el país ha ocasionado constantes periodos de sequía en los últimos años, lo que provoca

deficiencia en la producción de este municipio, ya que gran parte de los cultivos se han visto afectados en los últimos años.

En la siguiente tabla tomada del software de la NASA Restscreen se muestran con más exactitud las características climáticas.

Condiciones de referencia del sitio

Seleccionar ubicación de datos meteorológicos

Ubicación de datos meteorológicos

Masaya

Mostrar datos ▼

	Unidad	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación del Proyecto	Fuente
Latitud	°N	12.0	11.9	
Longitud	°E	-86.1	-86.2	
Elevación	m	54	54	NASA
Temperatura de diseño de la calefacción	°C	23.0		NASA
Temperatura de diseño del aire acondicionado	°C	31.1		NASA
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	5.1		NASA

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Radiación solar		Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Días-grado de calentamiento 18 °C	Días-grado de enfriamiento 10 °C
	°C		diaria - horizontal	Presión atmosférica	m/s	°C	°C-d	°C-d
		%	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa				
Enero	26.7	64.6%	6.24	100.1	6.0	27.0	0	518
Febrero	27.4	61.5%	6.84	100.1	5.3	27.7	0	486
Marzo	28.1	59.7%	7.40	100.0	4.6	28.9	0	560
Abril	28.6	61.8%	7.28	99.9	3.7	29.8	0	557
Mayo	27.5	74.6%	6.37	100.0	3.3	28.8	0	543
Junio	26.8	81.2%	5.95	100.0	3.4	28.0	0	503
Julio	26.7	79.4%	6.26	100.0	4.3	27.6	0	516
Agosto	26.6	80.1%	6.27	100.0	3.7	27.7	0	515
Setiembre	26.3	81.8%	5.76	100.0	3.2	27.6	0	490
Octubre	26.2	80.6%	5.74	100.0	3.4	27.2	0	502
Noviembre	26.3	75.7%	5.74	100.0	4.4	26.8	0	488
Diciembre	26.4	69.3%	5.84	100.1	5.9	26.7	0	510
<b>Anual</b>	<b>26.9</b>	<b>72.6%</b>	<b>6.30</b>	<b>100.0</b>	<b>4.3</b>	<b>27.8</b>	<b>0</b>	<b>6,186</b>
Fuente	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Medido a					m	10	0	

Tabla No 1 Características Climáticas de La concepción fuente: (RETSCREEN, 2015)

Estos índices de radiación muestran que hay una buena fuente de energía renovable que es el sol y al aplicar un sistema de bombeo automatizado no habrá ningún problema.

### **3.5 Especificaciones del sistema de bombeo automatizado y alimentado con energía fotovoltaica para el cultivo de cítricos**

El diseño de estudio que se desea elaborar integra tres tecnologías las cuales son sistema de riego, sistema de control automático y sistema de energía fotovoltaico. En el presente documento se hablara de cada uno de los sistemas tomando en cuenta los componentes más esenciales del sistema.

#### **3.5.1 Sistema de riego**

Conforma el mecanismo de riego que está conformado tuberías, tanque de almacenamiento, válvulas, entre otros los cuales integrados en un sistema bien elaborado generan un sistema de bombeo eficiente y avanzado.

##### **3.5.1.1 Tanque de almacenamiento**

Según la cantidad de agua que se desea regar por día es de  $10.5\text{m}^3$ , Para almacenar el agua bombeada se ha propuesto utilizar un tanque de almacenamiento de plástico con capacidad de  $15\text{m}^3$ , esto se hizo por que el diseño de bombeo es por energía fotovoltaica, entonces se podrá acumular reservas para los días poco soleados que se presenten; este tanque será ubicado en una torre metálica para que el agua almacenada descienda por las tuberías PVC, vía gravedad llegando hasta los arboles de cítricos cultivados en la finca y suministrando el vital líquido.

Según Tirado (2014), con base en el volumen de agua que se requiere almacenar diario, las dimensiones del tanque deberán ser las siguientes:

$$h = \frac{\text{VOL}(\text{ciento metros}^3)}{3} + k \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

h: es la altura del tanque en metros

Vol (ciento metros<sup>3</sup>): es el volumen expresado en ciento de metros cúbicos

k: coeficiente en ciento de metros cúbicos, obtenidos de la siguiente tabla.

Vol (ciento de metros cúbicos)	k
<3	2.0
3-6	1.8
7-9	1.5
10-13	1.3
14-16	1.0
>17	0.7

Tabla No 2 Valores de k, para el dimensionado del tanque

Fuente: Tirado V. (2014)

Volumen ciento de metros cúbicos va ser igual a:

$$\text{Vol (ciento metros}^3) = \frac{\text{Volumen}}{100} = \frac{15\text{m}^3}{100} = 0.15$$

Como Vol (ciento de metros<sup>3</sup>) es menor que 3, se obtiene un valor para k de 2.0.  
La altura del tanque tiene que ser entonces de:

$$h = \frac{0.15}{3} + 2.0 = 2m$$

Según Tirado (2010), a esta altura tiene que sumársele el borde libre que debe de tener tanque, que es de 0.5m, la altura del tanque será entonces de:

$$h = 2m + 0.5m = 2.5m$$

El diámetro que debe de tener el tanque está en función del volumen y la altura:

$$\phi = \frac{\sqrt{4 \cdot Vol}}{\pi h} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

$\phi$ : Es el diámetro en metros

Vol = Es el volumen que se requiere almacenar en m<sup>3</sup>

h: Es la altura del tanque en metros

$$\phi = \frac{\sqrt{4 \cdot 15}}{\pi(2.5)} = 2.7m$$

Para los 15m<sup>3</sup> de agua que se pretenden almacenar por día, se requiere un tanque con una altura de 2.5m y un diámetro de 2.7m. Estas son las dimensiones

propicias para el tanque de almacenamiento, las cuales las compare con las dimensiones de los tanques que hay disponible en el mercado nacional, y así elegimos uno con dimensiones similares a las que se determinaron. Ver figura



**Figura No 3 tanques Rotoplas con capacidad de 15 m<sup>3</sup>**

**Fuente:** (Rotoplas, 2015)

La altura de la torre de elevación del tanque será proporcional a la altura del tanque. Donde partiendo de la ecuación del volumen:

$$D = h$$

$$D^3 = 15 \times 4 / \pi$$

$$\text{Donde } V = (\pi \cdot D^3 \div 4) \cdot h \quad \text{Ecuación 3}$$

$$D = \sqrt[3]{19.09} = 2.67\text{m} = h$$

$$\text{Si } D = h$$

$$V = h D^3 / 4 = 15\text{m}^3$$

Donde h es la altura de la torre que soportara al tanque de almacenamiento del sistema.

### 3.5.1.2 Red de tubería

La línea de tubería que se instalara el sistema será PVC en distintas dimensiones de diámetro; para determinar el diámetro de la tubería utilizamos la ecuación del diámetro económico que se enuncia como:

$$\phi = 1.13 \sqrt{\frac{Q}{v_{lim}}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$\phi$ : es el diámetro de la tubería en metros

Q: es el caudal del diseño

$v_{lim}$ : es la velocidad límite

La determinación de los diámetros de todas las tuberías de la red de distribución, se hizo en base a los requerimientos de agua del cultivo de cítricos. Los diámetros determinados se muestran en la siguiente tabla.

Tubería	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro (m)
Porta goteros	0.000088	0.01 0.025m
Terciaria	0.0007	0.034 m
Secundaria	0.0014	0.042 m
Primaria	0.0028	0.059 m

Tabla No3 diámetro de red de tubería Fuente: (Ecamí, 2015)

Los diámetros de las tuberías influyen en las perdidas por fricción en la presión del flujo de agua, entre menor es el diámetro mayores son las perdidas por fricción.

Para el caso de la tubería porta goteros se eligió un diámetro (1 pulgada) mayor al determinado ( $0.01\text{m} = \frac{1}{2}$  pulgada) mediante la ecuación del diámetro económico, ya que el diámetro determinado es demasiado pequeño y esto aumentaría las pérdidas de presión del flujo de agua.

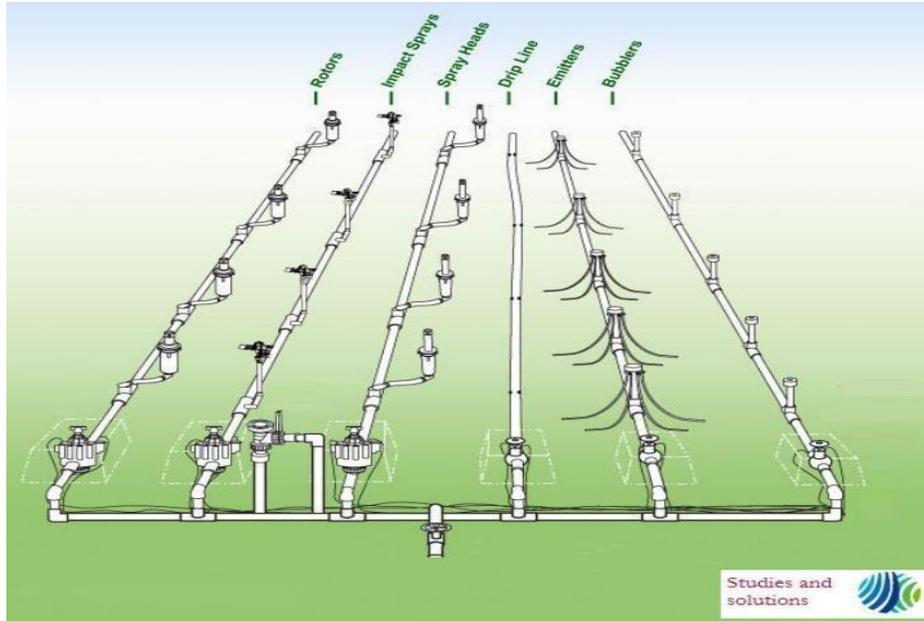
También se empleara una válvula de retención a la salida del tanque para cortar el flujo de agua en caso de mantenimiento de la red de tuberías, goteros, etc., o alguna emergencia que se presente. En caso de que los elementos de control (electroválvulas) fallen, se emplearan tres válvulas manuales por cada electroválvula.

De acuerdo a las medidas de las dimensiones de la propiedad se genera el resultado en la siguiente tabla se muestran las longitudes de cada una de las tuberías

Tubería	Longitud (M)	Diámetro(pulgada)
Sumergida en el pozo (PVC)	12.5	1 ½
Descarga (PVC)	139	1 ¼
Primaria (PVC)	10	2 ¼
Secundaria (PVC)	550	1 ½
Terciarias (PVC)	248 (4x41.5m y 4x20.5m)	1 ¼

Tabla No 4 descripción de la red de tubería fuente: propia.

En la siguiente figura se muestra un diagrama corto de la red de tubería e imagen de los tubos PVC seleccionados para el proyecto.



**Figura No 4 ejemplos de la red de tubería de sistema.**

Fuente: (google, 2016)

### 3.5.1.3 Goteros

Los goteros, son elementos que se utilizaran para aplicar el agua proveniente de la red de tuberías al suelo a regar, de manera lenta y uniforme según los caudales proyectados. Estos dispositivos de emisión de agua son únicos para el sistema de riego por goteo.

Las dos principales características de un gotero son:

- 1- Caudal pequeño, pero constante y poco sensible a las variaciones de presión.
- 2- Orificio suficientemente grande para evitar obstrucciones.

Se eligieron goteros regulables con capacidad de descarga de 10 – 15 litros de agua por hora para suministrar la cantidad de agua que requerimos para el riego del cultivo que es de 25 litros de agua por árbol. Se empleara un total de un gotero por árbol de cítrico, esto quiere decir que si tenemos una plantación total de 420

árboles, entonces la cantidad de goteros que se comprara será de 420 unidades.

#### **3.5.1.4 Manómetro**

El manómetro es un instrumento que será utilizado para la medición de la presión del agua, generalmente determinando la diferencia de la presión entre el fluido y la presión local.

Para monitorear la presión en el sistema se instalará un manómetro en la tubería primaria. Debido a que el riego por goteo se realiza por efecto de gravedad, la presión en la tubería primaria es equivalente a la diferencia de altura entre el tanque y el punto donde se instalará el nanómetro. La ubicación del manómetro es a 1.5 metros sobre el suelo y la altura a la que se encuentra el tanque sobre el suelo es de 4 metros, por lo tanto, la diferencia de presión en el punto donde se ubica el manómetro es de 2.5 metros. No se consideran las pérdidas por fricción en la tubería primaria debido a que la distancia entre el tanque y el punto donde se instalara el manómetro es mínima.

El supervisor debe verificar en el manómetro que la presión del flujo de agua en la tubería primaria sea de 2.5 metros, durante el tiempo de riego, de lo contrario, si la presión es menor quiere decir que hay perdidas en la tubería de distribución, provocadas principalmente por roturas en las tuberías y obstrucción en los

En caso que la presión sea menor a 2.5 metros, el procedimiento a seguir es verificar las presiones al final de cada tubería porta goteros con un manómetro móvil, para determinar en qué parte de la red de tubería la presión es inferior al valor establecido.

### **3.5.2 Sistema de control automático**

Abarca todos los dispositivos electrónicos para controlar a manera simple y eficiente el flujo necesario del agua en el sistema de bombeo y riego, está conformado por el PLC, contactor, relé, cables eléctricos etc. La parte electrónica es fundamental para que el sistema de bombeo pase de manual a uno totalmente automático y tecnológico donde se aplica la ingeniería de control automático.

#### **3.5.2.1 Autómata programable**

El principal componente eléctrico del sistema de control automático es el autómata programable, conocido en sus siglas en inglés como PLC, esta unidad tiene la forma mínima de una computadora y posee una determinada cantidad de memoria del sistema, una cantidad variable de puertos y funciones, un programa que administra el hardware y una interface que permite al usuario controlar el PLC, a diferencia de las computadoras de propósito general, el PLC para múltiples señales de entradas, salidas. Los programas para el control de funcionamientos de la maquina se suelen almacenar en baterías copias de seguridad o memorias no volátiles, además sus funciones básicas han ido evolucionando a medida que pasan los años por ejemplo: La capacidades de almacenamiento, potencia de procesamiento y comunicación de algunos PLC modernos, son iguales a la de una computadora de escritorio. El autómata programable es el que se encarga de interpretar las señales enviadas por el operador. También en dependencia de su programación brinda cierta jerarquía entre uno y otro circuito para los procesos en el sistema automático propuesto.

#### **3.5.2.2 PLC LOGO DE SIEMENS 230 RC.**

Es el más adecuado para implementarse al sistema, debido a su bajo costo, durabilidad y alta eficiencia; posee los elementos necesarios básicos en un controlador para el sistema de bombeo propuesto, tanto en características

eléctricas como en sus acciones de control, además el lenguaje de programación es muy fácil y rápido, esto hace que confirmemos la utilización de este dispositivo en nuestro trabajo.

En la siguiente figura se muestran imagen de logo programable



Figura No 5 logo siemens 230RC fuente: (propia)

### 3.5.2.3 Las características específicas del PLC logo 230 RC son:

1. 4 salidas a relevador.
2. 24 funciones de contador.
3. 8 interruptores de horario.
4. 8 entradas.
5. 3 contadores de horas de funcionamiento.
6. 42 relé de impulso de movimientos.
7. 16 funciones horarias.
8. Funciones para procesar valores textos analógicos y textos de avisos.

#### **3.5.2.4 Sistemas de control**

La etapa del PLC, las electroválvulas están en lazo abierto. El PLC no puede detectar si cada una de las electroválvulas está funcionando o si hay flujo o no flujo en las tuberías.

La detección del estado de las electroválvulas, se realiza mediante los diodos emisores de luz (Led), integrados en las electroválvulas:

- Si la electroválvula está en buen estado y está siendo alimentada, el led debe de encenderse cuando el PLC la activa.
- Si la electroválvula está en mal estado o no está siendo alimentada, el led debe permanecer apagado cuando el PLC la activa.

Por otra parte, se censara el electro nivel del tanque después de cada descarga de agua por zona. La detección de flujo o no flujo de agua en las tuberías se hace por medio de los manómetros utilizados en el método de riego.

#### **3.5.2.5 Controlador de nivel de agua**

Para controlar el tiempo de funcionamiento y el tiempo inactivo de la bomba según se requiera, el controlador solar dispone de un control de nivel de agua que apagara la bomba cuando el nivel de agua máximo y enciende la bomba cuando el nivel de agua en el tanque baja del nivel máximo a cierto límite en este caso a bajo del nivel mínimo.

El dispositivo controlador de nivel de agua funciona como una boya electrónica también es conocido como electro nivel y se coloca en el interior del tanque de almacenamiento. Para controlar la activación y desactivación de la bomba sumergible solar, este dispositivo prueba de nivel de agua en el tanque de

almacenamiento y es controlado por una de las salidas del autómata programable.

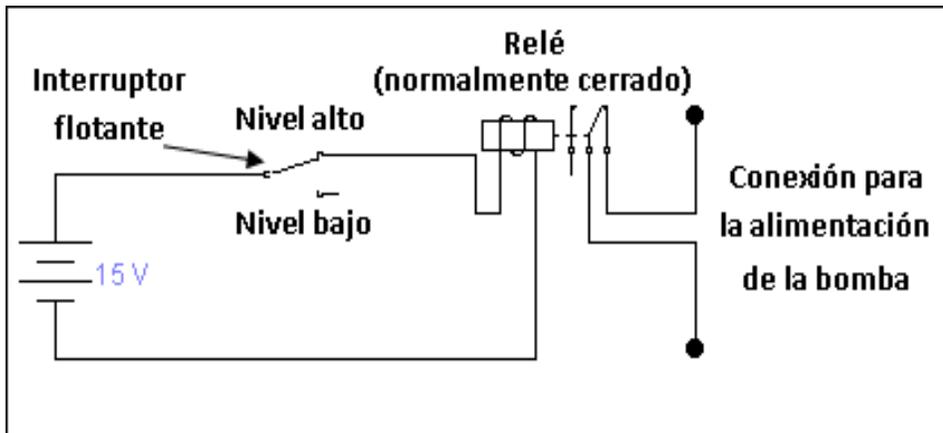


Figura No 6 diagrama del electro nivel. Fuente: (google, 2015)

### 3.5.2.6 Electroválvula

Es un dispositivo diseñado para controlar el flujo de un fluido en este caso agua a través de un conducto. Una electroválvula tiene dos partes fundamentales que son: el solenoide y la válvula. La función del solenoide es convertir la energía eléctrica en mecánica, para actuar sobre la válvula, es por eso que se dice que la electroválvula es un dispositivo electromecánico que consta de dos estados o posiciones abierto o cerrado; es común que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle y el solenoide lo abra venciendo la fuerza del muelle, esto

Quiere decir que el solenoide debe estar activo y consumiendo energía; mientras la válvula se encuentre abierta la mayoría de las electroválvulas comerciales emplean este mismo principio, se muestra una imagen de la electroválvula que serán utilizadas para habilitar el paso de agua para el sistema de riego de árboles de cítricos en la finca el Santiago.

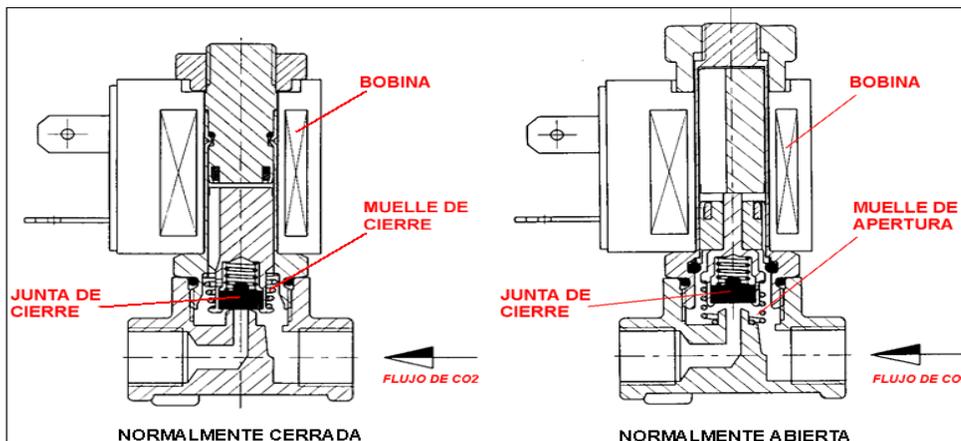


Figura No 7 imagen de la electroválvula Fuente: (<http://es.wikipedia.org>,2015)

### 3.5.2.7 Conexión entre el PLC y la electroválvula

La conexión entre la electroválvula y el controlador, están en dependencia de los datos eléctricos de ambos dispositivos. Se puede hacer directamente, cuando el controlador y la electroválvula tiene una conexión directa entre si, sin ningun elemento o componente intermedio. Esto se da solo cuando la alimentacion electrica del controlador y la electroválvula sean del mismo valor de tension.

Tambien se puede conectar de manera indirecta, es decir si el valor de tension entre los dos elementos es diferente, es necesario emplear otros dispositivos como rectificadores de voltaje según sus caracterizticas electricas y transformadores reductores, en nuestro sistema la conexión sera de forma directa debido a que la alimentacion electrica de ambos elementos sera la misma. En el presente diseño se utilizaran cuatro electroválvulas una principal y tres secundarias, la principal tendra una mayor capacidad de caudal que las secundarias, la principal tendra una mayor capacidad de caudal que las secundaria esto es por que por ella pasa mayor cantidad de fluido y tiene un diametro de 1 1/2" mientras que las otras tres son de 1 " En la siguiente figura se

muestra el diagrama electrico entre el PLC y las electrovalvulas.

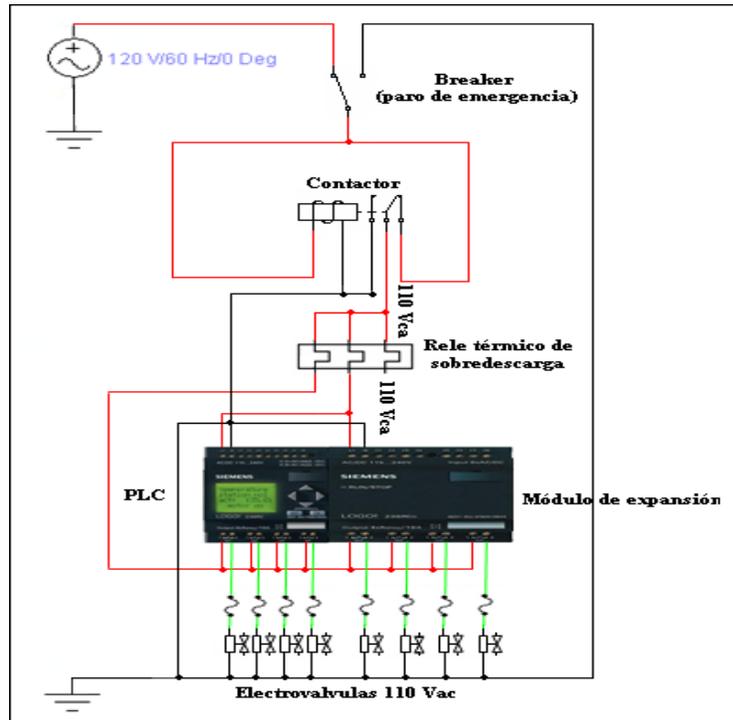


FIGURA NO 8 DIAGRAMA ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE RIEGO AUTOMÁTICO CON CONEXIÓN DIRECTA PLC- ELECTROVÁLVULA

Fuente: Ramírez A. (2011)

### 3.6 Diseño Programación del PLC seleccionado

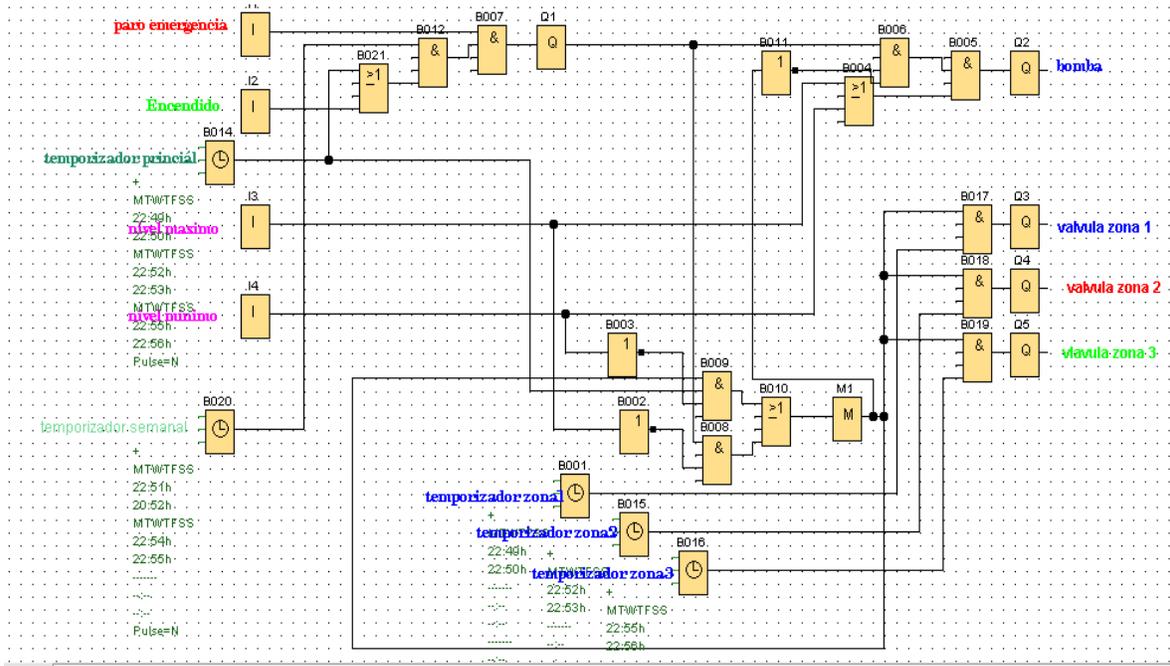


Figura No 6 programación del plc logo fuente : propia

#### 3.6.1 Condiciones de bombeo y riego automatizado

En el interior del tanque de almacenamiento estará ubicado el electro nivel de agua con 2 niveles de medición máximo y mínimo. Cuando el nivel de agua este por debajo del mínimo, la bomba se activara para llenar el tanque cuando este haya alcanzado su nivel máximo la bomba se apagara, de esta manera funcionara la activación y desactivación de la bomba sumergible.

El horario de irrigación fue propuesto tomando en cuenta la hora adecuada para riego, es decir la hora en que los arboles necesitan absorber el vital líquido para contar con suficiente agua para hacer su proceso de evo transpiración. Es decir, las plantas pierden agua en forma de vapor y lo transfieren a la atmosfera. Los parámetros de irrigación será dividida por zonas: zona 1, cultivo de mandarina, zona 2, cultivo de naranja y zona 3 cultivos de limón. Con un tiempo de irrigación de dos horas y con goteo rápido el horario de irrigación y condiciones de llenado

se aprecia mejor en la tabla No 5. Ubicada en la siguiente página.

La programación interna del PLC Logo! 230RC. La función especial Temporizador Semanal le da al controlador la capacidad de abrir y cerrar las electroválvulas a la hora y el día programado.

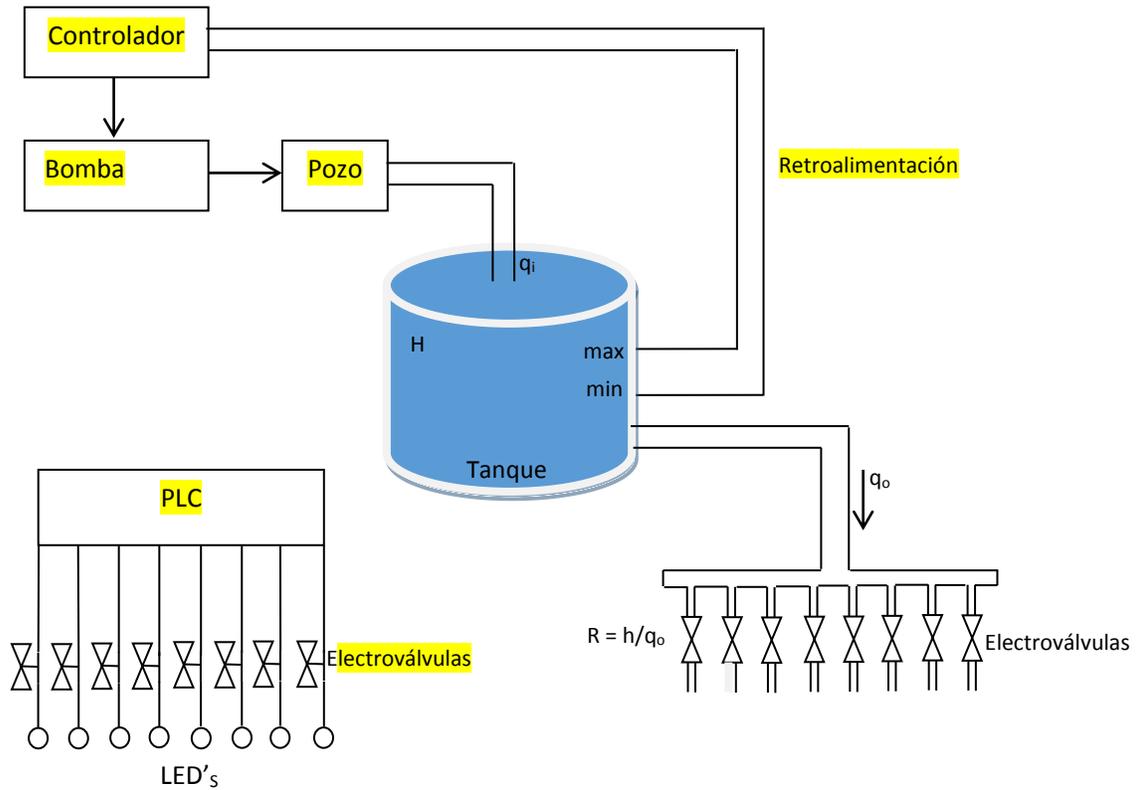
Día de la semana	Cultivo de mandarina (zona1)	Cultivo de Naranja (zona2)	Cultivo de limón (zona3)
Lunes	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Martes	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Miércoles	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Jueves	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Viernes	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Sábado	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm
Domingo	6am-8am	8am-10am	4pm-6pm

**Tabla No 5 Horario de riego determinado en el diseño del proyecto.**

**Fuente: propia**



### 3.6.3 Etapa de bombeo



### 3.6.4 Salida o variable controlada

Nivel de agua en el tanque

15 m<sup>3</sup>: Nivel máximo

7m<sup>3</sup>: Nivel mínimo

### 3.6.5 Variable manipulada

Caudal de salida de la bomba.

### **3.6.6 Sistema de control**

La etapa de bombeo de agua es un sistema de lazo cerrado. El control de nivel ubicado en el tanque, le indica al controlador solar el nivel de agua en el tanque:

- Si la prueba de nivel es máxima, el controlador solar apaga la bomba.
- Si la prueba de nivel es mínima, el controlador solar enciende la bomba.

### **3.6.7 Tipo de control**

El tipo de control es discreto. Los cambios se dan en dos estados:

- On: Nivel de agua en el tanque mínimo
- Off: Nivel de agua en el tanque máximo

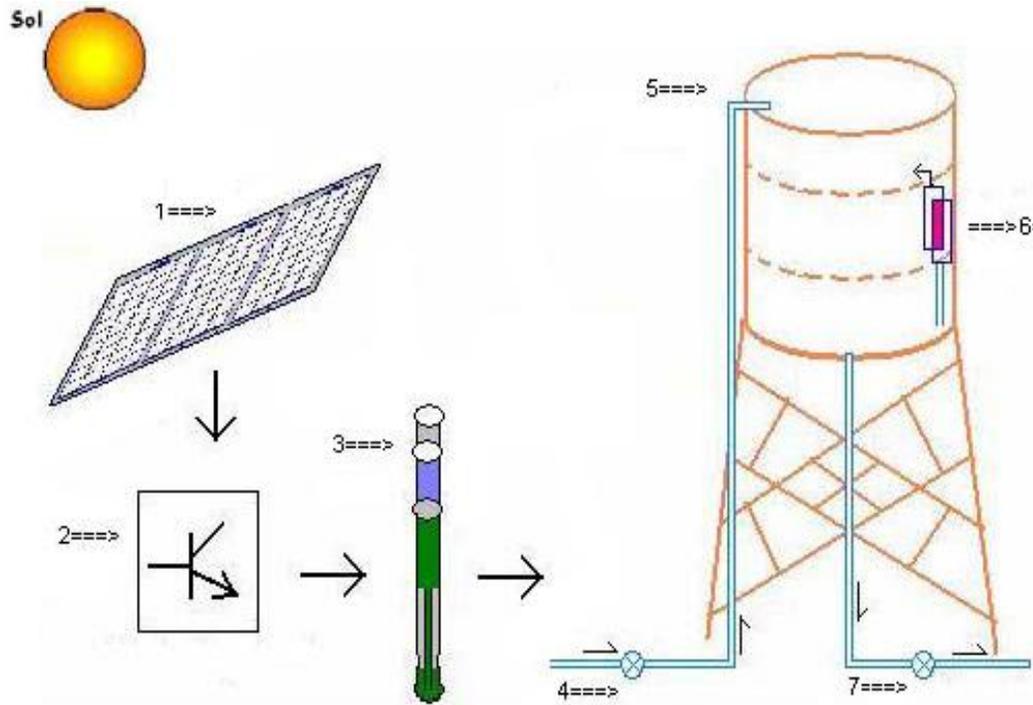
### **3.6.8 Etapa de control automático**

Salida o variable controlada: Flujo o no flujo de agua

Variable manipulada: Estado de electroválvula (Abierta o Cerrada)

## **3.7 Sistema alimentado con energía fotovoltaica**

Está formado por un sub sistema de bombeo fotovoltaico y un conjunto de componentes como controlador de carga, paneles solares, inversores, batería, etc., estos componentes son utilizados para la generación de energía eléctrica y bombeo de agua partiendo del principio de energía renovable en este caso energía solar.



**Figura No 9** Configuración típica de un sistema de bombeo fotovoltaico

Fuente: Molina M. & Escobar M. (2012)

### 3.7.1 Dimensionado del sistema de bombeo fotovoltaico

Una vez conocida la demanda de agua a regarse diario, la capacidad del pozo y las dimensiones del sistema de riego, se procedió a realizar los cálculos para dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico.

A continuación, se presenta un esquema básico de cálculo para el diseño de instalaciones de bombeo solar.

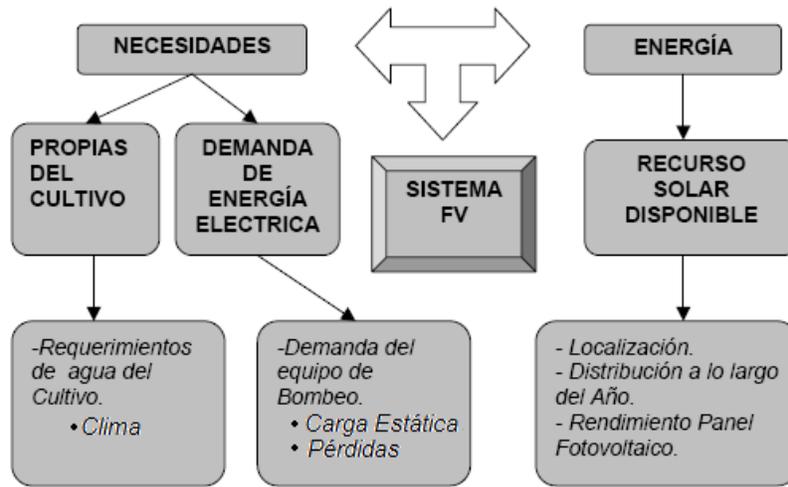


Figura No 10 Esquema básico de cálculo para el diseño de instalaciones de bombeo solar

Fuente:( Valdivia-Chile ,2011)

El procedimiento de diseño para sistemas de bombeo solar, se basa en aspectos de necesidades de demanda energéticas, más las necesidades propias de los cultivos, versus la energía que es posible de captar mediante los paneles fotovoltaicos, teniendo presente todas las condicionantes que afectan la captación de la energía solar.

En la determinación de los requerimientos de agua, se debe tener en consideración aspectos fundamentales para el correcto y debido crecimiento del fruto, para no afectar el desarrollo de éste. Además, es un aspecto muy importante, ya que el tamaño y costo del sistema dependerá de la cantidad de agua requerida, es por ello que se tiene que tener sumo cuidado en el cálculo necesario para el cultivo, para no sobredimensionar y no estar elevando aún más los costos que significa emplazar este tipo de tecnología.

### 3.7.2 Determinación del régimen de bombeo

El dimensionado del sistema de bombeo solar está diseñado para el mes con menor insolación, de modo que el régimen de bombeo del sistema cubra las necesidades de agua en cada mes del año. Se puede ver que noviembre, con 5.8 horas de sol pico, es el mes con menos insolación. El régimen de bombeo (Q) del sistema está definido por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\text{Volumen diario en m}^3}{\text{Insolacion minima (seg)}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

El volumen de agua requerido diario es de 10.5m<sup>3</sup>, y el mes con menos insolación corresponde a noviembre con 5.8 horas (20,880 segundos). Con toda seguridad a lo largo del año se van a presentar días con una insolación menor a 5.8 horas, si diseñamos el caudal de bombeo para un régimen diario de 10.5m<sup>3</sup> en 5.8 horas, en los días con menor insolación no se alcanzarían la cantidad de agua requeridos, por tal motivo el diseño propuesto lo dimensionamos para un requerimiento de agua de 10.5m<sup>3</sup> con el objetivo de recuperar, en los días con insolación normal, la cantidad de agua que faltó en los días pocos soleados, de esta forma el régimen de bombeo es:

$$Q = \frac{10.5 \text{ m}^3}{20,880 \text{ seg}} = 0.0005 \text{ m}^3/\text{seg}$$

### 3.7.3 Determinación de la carga dinámica total y la carga hidráulica, para determinar el control

La determinación de las medidas del pozo y de los componentes (tubería, tanque y torre) del sistema de riego, serán útiles para determinar la Carga Dinámica Total que consiste en las elevaciones a las cuales el fluido se tiene que desplazar por medio de la energía que la bomba le imparta.

La carga dinámica total está definida por la siguiente ecuación:

$$CDT = CE + CD \quad \text{Ecuación 6}$$

Dónde:

CDT = Carga dinámica total (m)

CE = Carga estática (m)

CD = Carga dinámica (m) = Fricción

La carga estática de un sistema de bombeo se define como:

$$CE = \text{Abatimiento} + \text{Nivel Estático} + \text{Altura de descarga} \quad \text{Ecuación 7}$$

Sustituyendo los valores correspondientes se obtiene:

$$CE = 3.2 \text{ m} + 2 \text{ m} + 10 \text{ m} = 15.2 \text{ m}$$

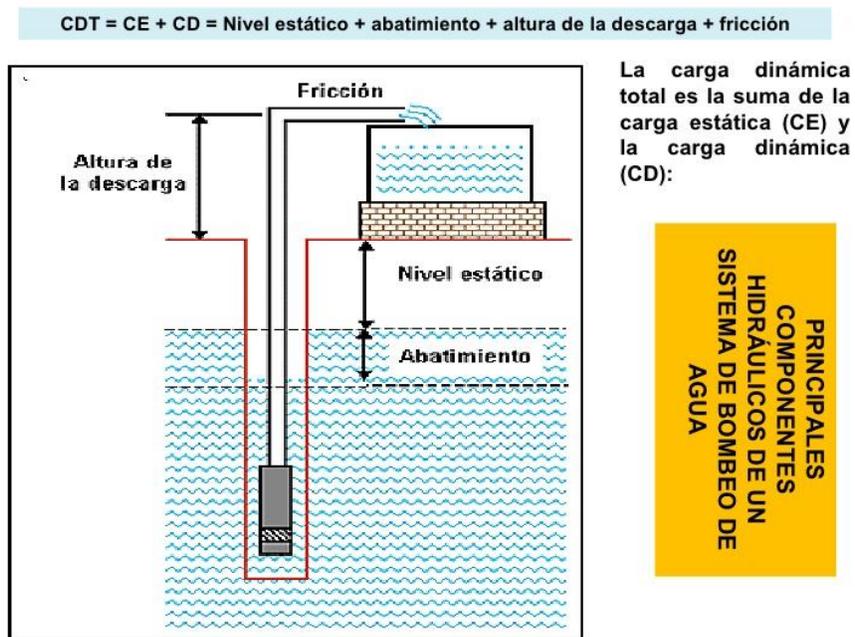


Figura No 11 Medidas de los componentes hidráulicos para calcular la CDT

Fuente: (Google, 2016)

Para calcular la carga dinámica, es necesario conocer la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro.

El método utilizado para determinar la carga dinámica, fue el método de Manning. La fórmula matemática se expresa en la ecuación

$$HF = k \cdot L \cdot Q^2 = CD \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

Hf es el incremento en la presión causada por la fricción y expresada en distancia lineal (m).

k es una constante empírica con unidades de (m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>.

L es la distancia total recorrida por el agua. Su unidad es metros (m).

Q es el régimen de bombeo expresado en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).

En el diseño propuesto la tubería utilizada es PVC con diámetro de 1.5 pulgada, por tanto el valor de la constante k es 31,282 (m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>. La longitud total de la tubería es igual a la suma de la longitud de la tubería sumergida (12.5m) más la longitud de la tubería de descarga (139m), en este caso el recorrido es de 151m. El régimen de bombeo del sistema es de 0.0007 m<sup>3</sup>/s. Sustituyendo estos valores

$$HF = 31,282(m$$

$$3/s)^2 \times 151m \times \left(\frac{0.0005m^3}{s}\right)^2 = 1.18 m$$

No se toman en cuenta las pérdidas localizadas (pérdidas en los accesorios), porque son mínimas.

Una vez encontrado la carga estática y la carga dinámica, se procede a sustituir los valores en la ecuación

$$CDT = 15.2 + 2.3 = 17.5m$$

Una vez conocida la carga dinámica total se determinó la carga hidráulica (CH) del sistema de bombeo, que es igual al producto de la carga dinámica total (CDT) y el volumen de agua requerido diario (Vol Diario).

$$CH = CDT \cdot Vol_{\text{Diario}} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$CH = 17.5 \cdot 10.5 = 183.75 \text{ m}^4/\text{dia}$$

### 3.7.4 Determinación de la potencia del arreglo fotovoltaico

Una vez conocida la carga hidráulica (ciclo hidráulico) del sistema, se procedió al cálculo de la potencia necesaria del campo fotovoltaico para satisfacer las necesidades de bombeo.

Primeramente se procedió al cálculo de la energía hidráulica necesaria que debe proporcionar el motor-bomba para elevar el caudal requerido hasta la altura deseada. La energía requerida está en función de la carga hidráulica:

$$\text{Energía Hidraulica} = \frac{\rho \cdot g \cdot CH}{3600} \quad \text{Ecuación 10}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del agua igual a 1000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = Fuerza de gravedad igual a 9.8 m / s<sup>2</sup>

CH = Carga hidráulica en m<sup>4</sup>/día

$$\text{Energía Hidraulica} = \frac{1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 183.75 \text{ m}^4}{3600} = 500.20 \text{ Wh/día}$$

La energía eléctrica que será necesario proporcionar a la bomba será dicha energía hidráulica más las pérdidas producidas en la propia bomba. Por tanto, deberá considerarse el rendimiento de las bombas sumergibles que es del 35% de eficiencia.

Tomando en consideración la eficiencia de la bomba, la energía del arreglo queda determinada por la siguiente expresión:

$$\text{Energía del arreglo} = \frac{\text{Energía Hidráulica}}{\text{Eficiencia de la bomba}} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\text{Energía del arreglo} = \frac{500 \text{ Wh/día}}{0.35} = 1,429 \text{ Wh/día}$$

Esta energía calculada debe ser corregida tomando en consideración las pérdidas

que se producen en los equipos (paneles, controlador y cables) del sistema fv. Considerando que los sistemas de bombeo fotovoltaico tienen una eficiencia promedio del 92%, la energía del arreglo queda ajustada de la siguiente forma:

$$\text{Energía del arreglo ajustada} = \frac{\text{Energía del arreglo}}{\text{Eficiencia del sistema FV}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\text{Energía del arreglo ajustada} = \frac{1,429 \text{ Wh/día}}{0.92} = 1553.3 \text{ Wh/día}$$

Para completar el dimensionado se calcula la potencia pico del generador ( $P_{\text{gen}}$ ) dividiendo la energía ajustada entre la insolación mínima (horas del mes con menos insolación). En Masaya el mes con menor insolación es Noviembre con 5.8 horas, por tanto la potencia pico será:

$$P_{\text{gen}} = \frac{\text{Energía del arreglo ajustado}}{\text{Insolacion minima}} \quad \text{Ecuación 13.}$$

$$P_{\text{gen}} = \frac{1553.3 \text{ Wh/día}}{5.8 \text{ h}} = 267.8 \text{ W}$$

El número de paneles necesarios para suministrar dicha potencia será igual a la potencia pico del arreglo dividida entre la potencia pico de los módulos a utilizar:

$$\text{Número de módulos} = \frac{P_{\text{gen}}}{\text{Potencia por módulo}} \quad \text{Ecuación 14.}$$

En este caso se asume que se usaran módulos de 120 W

Número de módulos =  $\frac{268 \text{ W}}{120 \text{ W}} = 2.3$  De acuerdo al cálculo 2 módulos no serán suficiente para la alimentación del sistema entonces hacemos uso de un tercer módulos para cubrir las necesidades del sistema de bombeo, mas 2 modulos adicionales para cubrir las necesidades de los otros componentes planteados en el sistema.(ver censo de carga tabla # 9)

Número de módulos = 3 +2=5 modulos fotovoltaicos.

### **3.7.5 Selección de la bomba**

Posteriormente a los cálculos hidráulicos y cálculos fotovoltaicos realizados, se analizaron las tablas y las gráficas de las bombas solares disponibles en el mercado nacional que tienen un rango de operación adecuado para satisfacer las necesidades de bombeo del sistema de riego por goteo propuesto.

Los datos fundamentales que se consideran para la elección de la bomba apropiada son: el caudal requerido diario y la carga dinámica total y el régimen de bombeo.

En el proceso de elección de la bomba se interpolaron los parámetros de carga dinámica total y volumen de agua requerido por día, en las curvas de operación, comparando los cálculos teóricos que realizamos con el caudal de bombeo y la potencia necesaria para dicha bomba (esta potencia define a su vez el número de paneles a utilizar).

La bomba seleccionada para el diseño propuesto es una bomba volumétrica de cavidad progresiva marca Sun-Sub. A continuación se muestra la intercepción de la curva de operación de las bombas Sun-Sub.

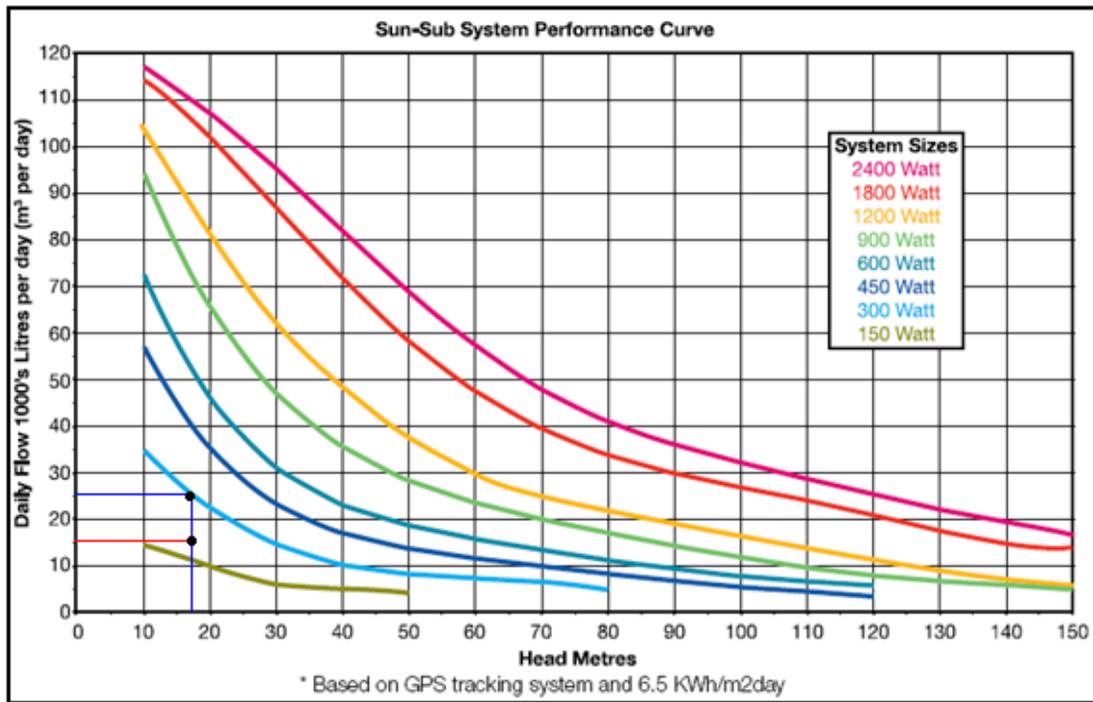


Figura No 12 Rango de operación de los sistemas Sun-Sub

Fuente: (Sun Solar,2014)

El punto de intersección entre la carga dinámica total que es de 17.5m y el caudal de agua requerido diario que es de 10.5m<sup>3</sup>/día, coincide con el rango de operación de la curva celeste que tiene un requerimiento de 300Wp a como lo indica la figura anterior.

En la figura anterior se puede apreciar que el punto de intersección entre la CDT y la curva celeste corresponde para un volumen de agua de 25m<sup>3</sup>/día, que es la producción de agua de la bomba Sun-Sub de 300Wp en base a una insolación de 6.5KWh/m<sup>2</sup>/día. El régimen de bombeo de la bomba Sun-Sub es igual a su caudal de salida por día entre la base de insolación:

$$\text{Régimen de bombeo Sun - Sub} = \frac{\text{Caudal de salida por día}}{\text{Base de insolación}} \quad \text{Ecuación 15.}$$

$$\text{Régimen de bombeo Sun - Sub} = \frac{25 \text{ m}^3/\text{día}}{6.5 \text{ h}} = 3.84 \text{ m}^3/\text{h}$$

Como en este caso la insolación mínima es de 5.8 horas (en noviembre), si multiplicamos el régimen de bombeo de la bomba Sun-Sub de 300Wp por esta cantidad de hora, el resultado será la producción de agua de nuestro sistema en cada día del mes de noviembre:

$$\text{Producción} = \text{Régimen de bombeo Sun - Sub} \cdot \text{insolación mínima} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\text{Produccion} = 3.84 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5.8 \text{ h} = 22 \text{ m}^3/\text{día}$$

Como era de esperar la producción de la bomba cubre las necesidades de agua superando los 15m<sup>3</sup>/día requeridos con una producción de 22 m<sup>3</sup>/día. En la siguiente tabla se muestra la cantidad de agua que se espera que la bomba Sun-Sub bombee en cada mes del año según la radiación solar del respectivo mes:

### 3.7.6 La bomba solar o fotovoltaica

Es una maquina hidráulica que absorbe energía mecánica a través de un eje o flecha y la transmite a un fluido como energía de posición o energía cinética, la bomba esta idealmente diseñada para aplicaciones de caudal tanto reducido como elevado y también permite el desarrollo de bombeo multi etapa que incrementa las capacidades de gestión y de presión. Es decir que será utilizada

para extraer la cantidad de agua que necesitamos para el riego de los cultivo, Ver figura



Figura No 13 imagen de bomba solar sumergible. Fuente: (Era solar,2015)

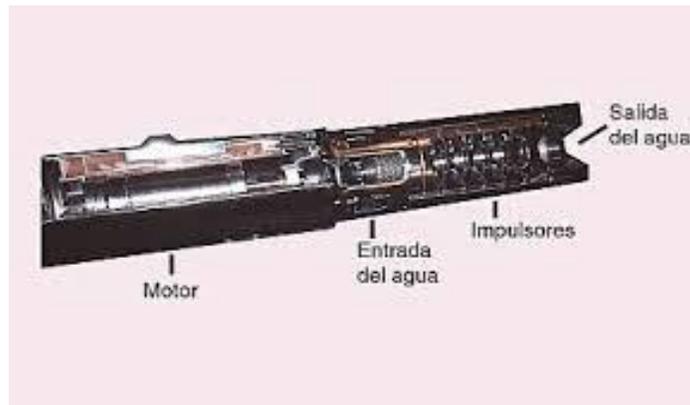


Figura No 14 imagen interna de bomba solar sumergible. Fuente:( Era solar,2015)

Se propone utilizar la Bomba volumétrica sumergible de cavidad progresiva serie 3000 SM022 debido a sus altas capacidades de bombeo y bajo consumo de

energía.

A pesar de que solo necesitamos 10.5m<sup>3</sup> de agua esta bomba consta con una capacidad de bombeo mayor a lo requerido en el proyecto esto se hizo para asegurar un desempeño exitoso de la misma donde podrá cumplir las demandas de fluido en los días de menor insolación.

A continuación en las siguientes tablas se muestran las especificaciones e información técnica de las características más importantes de la bomba sumergible, brindadas por el fabricante

<b>Rango de voltaje de entrada</b>	<b>0v – 180v (DC)</b>
<b>Potencia máxima</b>	200w – 360w
<b>Rango de frecuencia de operación</b>	0 HZ – 100 HZ
<b>Corriente máxima</b>	3 A
<b>Longitud de la cubierta del motor</b>	366mm
<b>Peso</b>	8 KG
<b>diámetro exterior</b>	93mm
<b>Revoluciones por minutos</b>	3000 rpm
<b>Núcleo del motor</b>	Acero blando
<b>Sello mecánico</b>	Carbón-cerámica
<b>Cable</b>	4 núcleo sumergible

Tabla No 6 especificaciones de la bomba sumergible. Fuente: (Era solar, 2015)

Mes del Año	Radiación (KW/m <sup>2</sup> /día)	Régimen de bombeo (m <sup>3</sup> /h)	Demanda (m <sup>3</sup> /día)	Producción de agua (m <sup>3</sup> /día)
<b>Enero</b>	6.24	3.84	10.5	23.88
<b>Febrero</b>	6.84	3.84	10.5	26.26
<b>Marzo</b>	7.40	3.84	10.5	28.41
<b>Abril</b>	7.28	3.84	10.5	27.95
<b>Mayo</b>	6.37	3.84	10.5	24.46
<b>Junio</b>	5.95	3.84	10.5	20.70
<b>Julio</b>	6.26	3.84	10.5	24.03
<b>Agosto</b>	6.27	3.84	10.5	24.07
<b>Septiembre</b>	5.76	3.84	10.5	22.11
<b>Octubre</b>	5.74	3.84	10.5	22.04
<b>Noviembre</b>	5.74	3.84	10.5	22.04
<b>Diciembre</b>	5.85	3.84	10.5	22.46

**Tabla No 7 producción de agua de la bomba en cada mes del año**

**Fuente:( Propia)**

Como se esperaba la producción de la bomba supera las necesidades de agua para el riego del cultivo de cítricos en la finca, lo cual es muy bueno porque de esta manera se puede aprovechar casi en un cien por ciento el potencial de la bomba, lo cual asegura un excelente funcionamiento, desempeño y durabilidad de la misma, la producción restante de agua se utilizara para cumplir necesidades cotidianas, además se podrá utilizar para cubrir otras necesidades de la finca en proyectos futuros.

En la sección anterior se determinó que la potencia del arreglo fotovoltaico tiene que ser de 380W, necesiándose aproximadamente 3 paneles de 120Wp para generar dicha potencia.

De acuerdo a la información ofrecida por el fabricante la potencia de entrada de la

bomba oscila entre 200 y 360W. Mas la potencia de entrada de los otros elementos electrónicos propuestos en el sistema suma la cantidad de 505W Se podrían utilizar 5 paneles de 120Wp. Es decir tendríamos 600 W.

El número de módulos y la potencia pico por modulo que se requieren para generar los 360W requeridos por la bomba Sun-Sub, es el arreglo que determinamos para el presente estudio, por lo que se estableció que se utilizaran 5 paneles de 120Wp conectados en series para alimentar la bomba Sun-Sub y el resto de los dispositivos seleccionados.

El sistema Sun-Sub incorpora los elementos necesarios para el bombeo solar:

- Bomba volumétrica de cavidad progresiva
- Controlador del motor solar
- Cables de conexión

### **3.7.7 Panel solar**

El panel solar es el corazón de todo el sistema, si este falla los demás dispositivos del sistema no funcionarían correctamente, está compuesto por celdas individuales conectadas en serie. La capacidad de generación de corriente eléctrica de los módulos depende de la radiación solar y su conexión puede ser en paralelo para aumentar la corriente o en serie para aumentar su voltaje el tipo de panel seleccionado para el diseño propuesto es el PERLIGHT poli cristalino.

### **3.7.8 Características eléctricas del panel seleccionado**

1. Su potencia pico de salida (pm) es de 120W
2. Voltaje máximo es de 17.2 VC (Vmp)
3. Corriente máxima 6.9A (Ipm)

#### 4. El voltaje al circuito abierto 21.6 Vcc

### 3.7.9 Características físicas del panel seleccionado

1. Tamaño de la celda 156 x 156
2. Tamaño del módulo 1482mm x 676mm x 35mm
3. Numero de celdas 36
4. Peso 12kg

En seguida se presenta una imagen del panel solar PERLIGHT

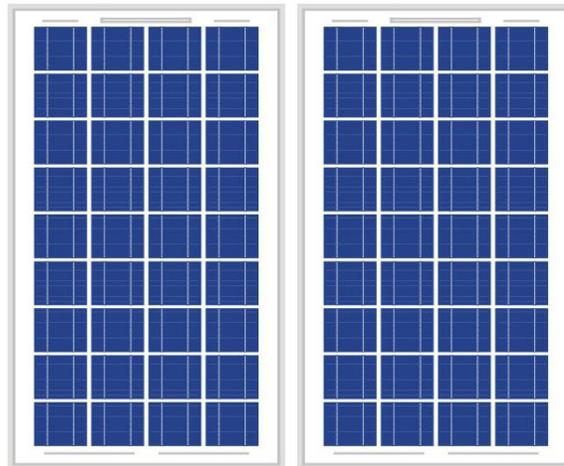


Figura No15 imagen del panel fotovoltaico PERLIGHT modelo

Fuente:(Suni Solar,2014)

Los módulos solares vienen caracterizados por su curva de voltaje contra corriente (v-i), que está definida por el voltaje de circuito abierto (VOC), por la corriente de corto circuito (ISC) y por la potencia máxima de salida (PMax), estas condiciones estándares de prueba (CEP) corresponden a una irradiancia de 1 KW/M2 y a una temperatura de celda de 25°C. La siguiente figura muestra la curva para un módulo FV típico de 50W a condiciones estándares de prueba.

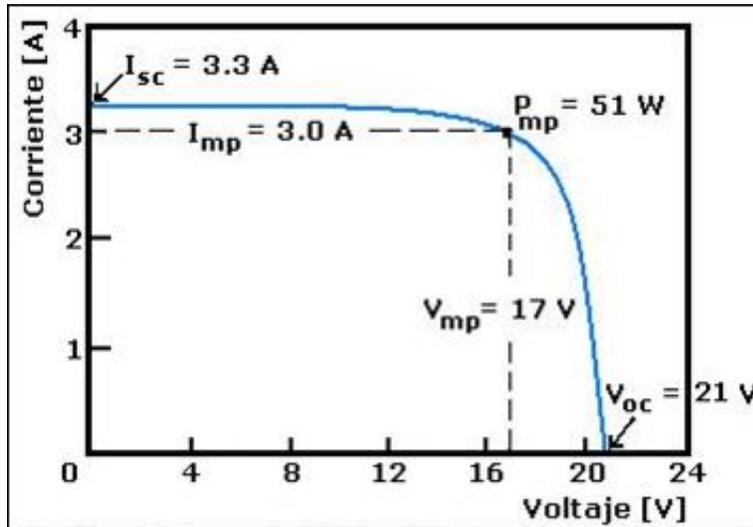


Figura No 15 características VI de un panel solar de 50w

Fuente: (Suni Solar,2015)

También hacemos referencia cuando el panel no hace un buen funcionamiento o no presenta un óptimo desempeño tanto para módulos de 50W, como para módulos de potencia, el comportamiento será el mismo.

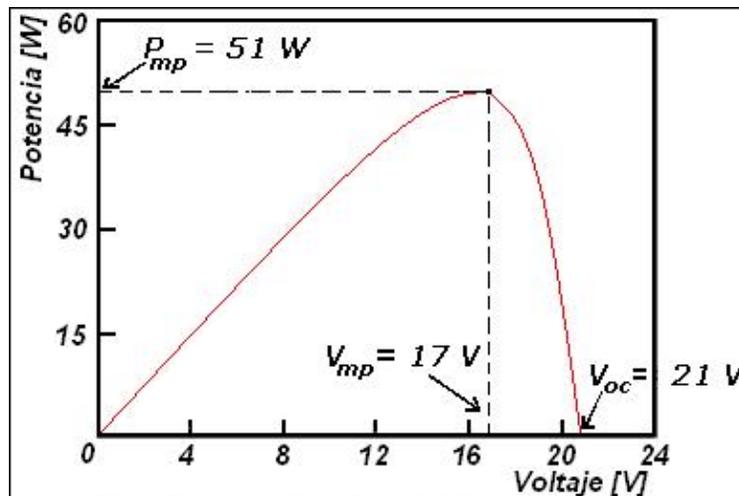


Figura No 16características VI de un panel solar de 50w

Fuente: (Suni Solar, 2014)

### 3.7.10 Orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos

La posición de los paneles fotovoltaicos en nuestro diseño estará sujeta a dos parámetros fundamentales que son: la orientación y la inclinación correcta y precisa de los paneles fotovoltaicos.

Los paneles solares alcanzan su máxima efectividad cuando están orientados al sol, formando un ángulo perpendicular con este al medio día. En la práctica se ha demostrado que en Nicaragua los paneles solares instalados a una inclinación de  $15^\circ$  logran grandes niveles de producción en los proyectos instalados, este dato fue proporcionado por la empresa ECAMI ; Además para realizar la inclinación del panel se hace uso de soportes variables que son ajustados manual mente hasta obtener la posición deseada.

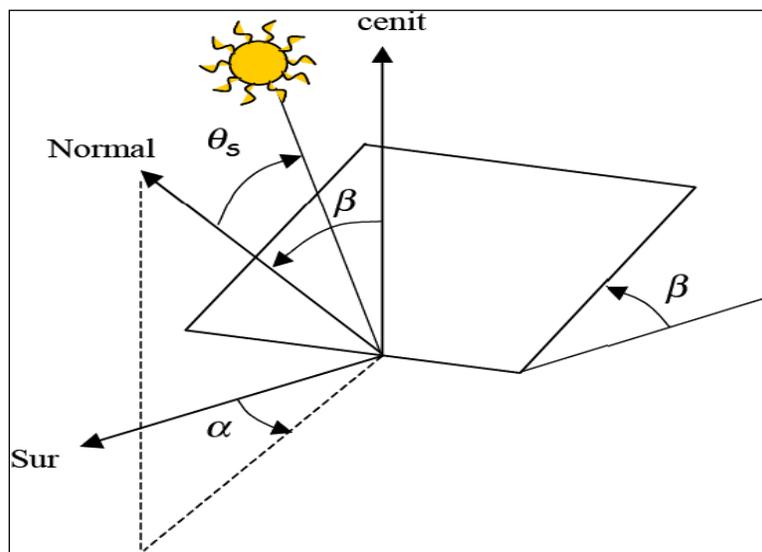


Figura No 17 grafico de irradiación solar sobre superficie inclinada del panel.

Fuente:( B. Povedano,2010)

Para la instalación de paneles, necesitamos ver la cantidad de radiación solar por día en la zona donde se realizara el proyecto, es por eso que en la siguiente tabla se muestra la radiación solar diaria en el Municipio de la Concepción, demostrando una vez más que las condiciones climáticas para alimentar los paneles solares son óptimas.

Mes del Año	Radiación (KW/m <sup>2</sup> /día)
Enero	6.24
Febrero	6.84
Marzo	7.40
Abril	7.28
Mayo	6.37
Junio	5.95
Julio	6.26
Agosto	6.27
Septiembre	5.76
Octubre	5.74
Noviembre	5.74
Diciembre	5.85

**Tabla No 8 radiación solar diaria del Municipio de la Concepción**

**Fuente:(propia)**

En la siguiente figura se muestra una imagen del diseño de bombeo fotovoltaico deseado.

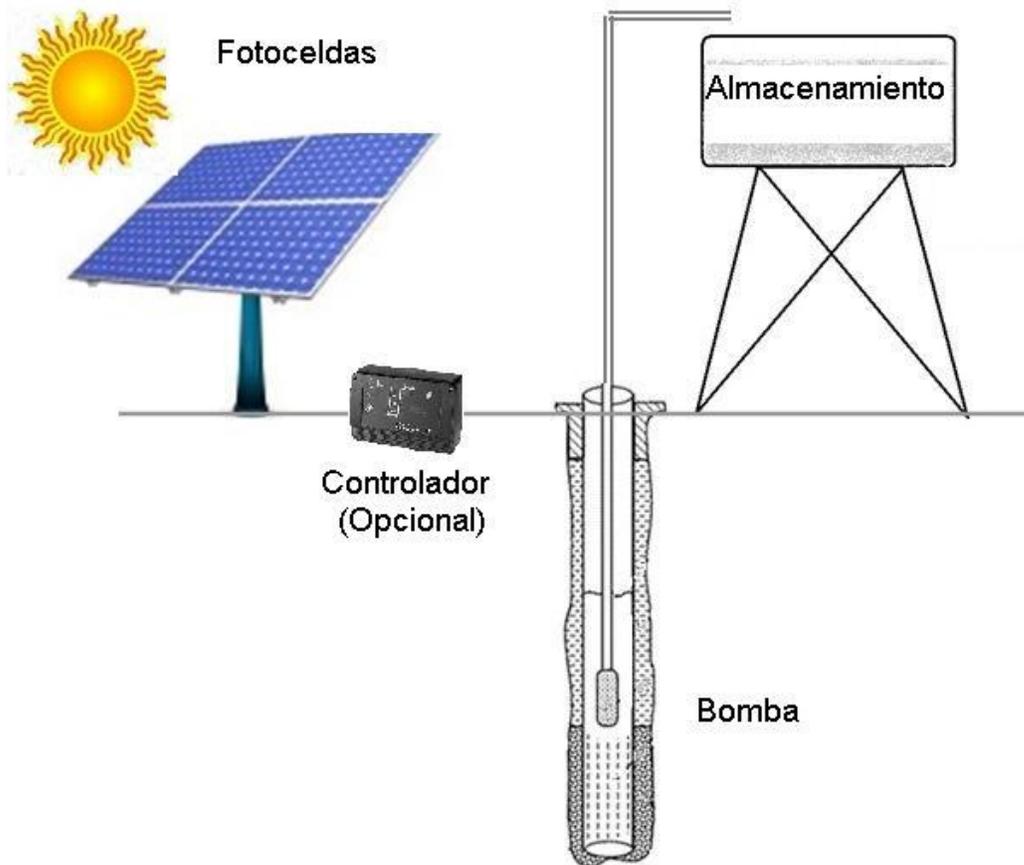


Figura No 18 gráfica del sistema de bombeo solar. Fuente:( google,2015)

### 3.8 Etapas del sistema

#### 3.8.1 Captación y conversión de la energía solar

En esta etapa, los elementos correspondientes son los paneles o módulos solares que se encargan de captar y posteriormente transformar energía solar en energía eléctrica, para alimentar la bomba a lo largo del periodo de insolación, el controlador solar encargado de optimizar la potencia de entrada de la bomba.

### **3.8.2 Bombeo**

En esta etapa se hace uso de la bomba que es la que se encarga de trasladar el agua para el riego del pozo al tanque. El volumen del agua almacenada al día en el tanque es de  $15\text{m}^3$ , pero el caudal que se desea bombear por día es  $10.5\text{ m}^3$  de agua. Para el riego de la plantación de cítricos el tanque será ubicado en una torre para que el agua se distribuya en la red de tubería por gravedad y así se efectúe el riego por goteo.

### **3.8.3 Control del volumen de agua almacenado en el tanque**

El controlador de nivel de agua tiene la función de controlar el volumen de agua para riego almacenado en el tanque, apagado y encendido de la bomba a lo largo de las horas de mayor irradiación solar, de forma que al final de este periodo el volumen de agua Almacenado sea de  $15\text{m}^3$ .

### 3.8.4 Diagrama del sistema de bombeo fotovoltaico del sistema de riego por goteo automatizado diseñado

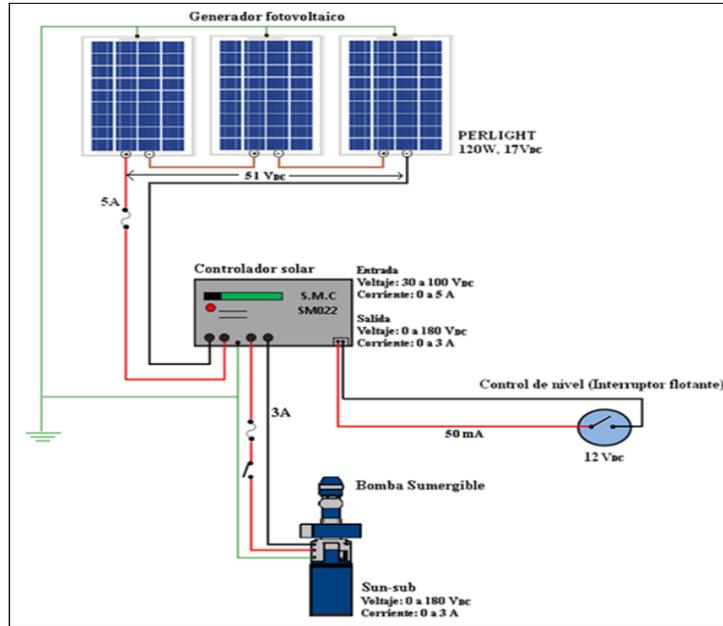


Figura No 19 Circuito electrónico del campo de bombeo fotovoltaico del sistema de riego por goteo automático diseñado. Fuente: (Propia)

### 3.8.5 Dimensionado del sistema de alimentación fotovoltaica para el sistema de control automático

Se comienza por realizar un censo de carga de todos los componentes que se van a utilizar

Componentes	cantidad	Corriente(A)	Potencia Individual(w)	Potencia total(W)	Tiempo de uso (h)	Energía AC (Wh/día)
PLC	1	0.5	5	5	14	70
Electroválvulas	4	0.045	5	20	2	40
Electro nivel	1	0.05	0.5	0.5	14	7
Bomba	1	3	200	200	1	200
Controlador de Carga	1	0.3	4	4	14	56
Lámpara	2	0.8	5.5	11	12	132
					<b>Carga total</b>	<b>505 (Wh/día)</b>

Tabla No 9 Censo de carga del sistema.

Fuente: Propia

Se realizó el censo de carga de todo el sistema donde se utilizara **505 (Wh/día) - 600W** generados por el sistema = **95w** restantes comprobando nuevamente la utilización de 5 paneles fotovoltaicos obteniendo en el censo una diferencia de casi el **16%** de energía lo cual lo hace cumplir con las capacidades requeridas.

### 3.9 Banco de batería o acumuladores

En base al estudio de carga del sistema propuesto, se determinara cuantas baterías se necesitan para almacenar para tres días de autonomía. Se inicia calculando el consumo total de todo el sistema con la ecuación:

$$Ah/dia\ prom = \left[ \frac{(E_{total\ AC/Ef\ Inversor}) + E_{total\ DC}}{Voltaje\ del\ sistema} \right]$$

Dónde:

Ah/día = corriente por hora que se consume en el día.

Energía total DC = 0v

El voltaje del sistema es igual a 12v. Se eligió este sistema debido a que son más económicas y eficientes.

A demás la eficiencia del inversor es de un 94%.

$$Ah/dia\ prom = \left[ \frac{(380\ Wh/dia / 0.94) + 0\ V}{12\ V} \right] = 33.69\ Ah/dia$$

Con este valor se determina cuantas baterías se disponen en paralelo.

$$Bat.\ paralelo = \frac{Ah/Dia\ prom \times (Dias\ de\ Autonomia / profundidad\ de\ descarga)}{Capacidad\ de\ Baterias\ en\ Ah}$$

Dónde:

Los días de autonomías son generalmente tres

El porcentaje de descarga es el 80% en todas las baterías

Se sugiere utilizar baterías con capacidad de 105Ah

$$Bat.\ paralelo = \frac{33.69Ah \times (3 / 0.8)}{105\ Ah} = 1$$

En este caso se conectaran baterías en paralelo.

Para obtener baterías en serie se toma en cuenta el voltaje del sistema que es de 12v y el voltaje de la batería que se escogieron es de 12v.

$$\text{Baterías en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje de batería}}$$

$$\text{Baterías en serie: } \frac{12\text{ V}}{12\text{ V}} = 1$$

En resumen, se usaran baterías de 12v ,105Ah, para almacenar la energía solar.

La batería que se propone en el sistema es una synthesis power Marine, proporcionan un arranque confiable y son de ciclo profundo. A esta batería se le asignara un panel solar de 100watts para garantizar su funcionamiento.



Figura No 20 tipo de batería a utilizar en el sistema Fuente: (Era Solar,2015)

### 3.10 Controlador de carga

El voltaje de salida de los paneles solares es nulo durante la noche. Al amanecer, atardecer o en días nublados, el nivel de insolación es bajo y los paneles no pueden cargar las baterías. En este caso el controlador de carga cumple con un rol muy importante, aislando el banco de acumulación del bloque para evitar su descarga. Y cuando la insolación aumenta, el voltaje de los paneles supera al banco de batería y el proceso de carga se reanuda, es entonces cuando el controlador de carga hace la función de evitar una gasificación excesiva de

electrolito.

El controlador que se propone utilizar es un SUNSAVER-10, marca MORNINGSTAR, modelo SS10

En la siguiente imagen se muestra el controlador de carga que se va utilizar en el sistema.



Figura No 21 Controlador de carga MORNINGSTAR modelo SUNSAVER-10

Fuente: (Era Solar, 2015)

### 3.11 Inversor de carga

La conversión de CC a CA, se lleva a cabo con una eficiencia que oscila entre 80% y 90%, es decir que las pérdidas varían entre el 20% y 10% de la potencia suministrada a la entrada, esto se debe a que el consumo del circuito del inversor no crece proporcionalmente, con el aumento de la potencia que este pueda manejar. Porcentualmente, estas pérdidas representan un menor valor cuando la potencia que maneja el inversor se eleva.

### 3.12 Mantenimiento a cargo del usuario

Para el mantenimiento del sistema de bombeo fotovoltaico, el usuario de la

instalación debe llevar a cabo las siguientes tareas:

### **3.12.1 Supervisión general**

Corresponde a la simple observación de los equipos; esto consiste en comprobar periódicamente que todo esté funcionando. Para ello basta observar los indicadores de los inversores, con esa información se comprueba que el inversor recibe energía del campo solar y genera corriente alterna. La verificación periódica de las cifras de electricidad generada, nos permitirá detectar bajadas imprevistas de producción, que serían síntoma de un mal funcionamiento.

### **3.12.2 Limpieza**

La limpieza incluye la eliminación de hierbas, ramas u objetos que proyecten sombras sobre las placas.

### **3.12.3 Verificación visual del campo fotovoltaico**

Con el objetivo de comprobar eventuales problemas de las fijaciones de la estructura sobre el edificio, aflojamiento de tornillos en la misma, o entre ésta y las placas, aparición de zonas de oxidación, etc.

### **3.12.4 Mantenimiento a cargo del servicio técnico**

El servicio técnico debería ser avisado por el usuario de la instalación, cuando se detecte la bajada o para total de la producción eléctrica, así como la aparición de defectos en la estructura de fijación del campo solar. En estos casos se realizará un mantenimiento correctivo, que detecte el origen de la avería y la repare.

Es igualmente importante efectuar un mantenimiento preventivo, mediante revisiones periódicas, en las que, como mínimo, se debería incluir:

- Comprobación de tensión e intensidad, para cada serie de placas fotovoltaicas (todas las series deberían dar valores idénticos o muy similares). Se pueden detectar fallos en las placas, como diodos fundidos o

problemas de cableado y conexiones.

- Verificación de la solidez de la estructura del campo solar, reapriete de tornillos, estado de la protección de los soportes metálicos y anclajes, etc.
- Caracterización de la onda, frecuencia y tensión de salida en corriente alterna del inversor.
- Comprobación de las protecciones, fusibles y diferenciales.
- Verificación de las conexiones del cableado en la caja de conexiones.

Los sistemas de bombeo Foto Voltaico requieren muy poco mantenimiento, aunque se ha de realizar un mantenimiento preventivo explicitado en el manual de operación y mantenimiento de la instalación. El sistema ha de arrancar y parar automáticamente en función de la demanda y la disponibilidad de radiación solar, mediante las sondas de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación. En general los sistemas FV de bombeo de agua bien diseñados y adecuadamente instalados son muy sencillos de operar y mantener realizando las siguientes tareas:

### **3.12.5 Mantenimiento de rutina y reparaciones menores**

Se incluye el monitoreo del desempeño del sistema, el nivel de agua y su calidad. Una inspección visual puede detectar ruidos o vibraciones inusuales, corrosión, invasión de insectos, componentes o conexiones eléctricas sueltas, fugas de agua, algas, etc. La mayoría de estos problemas pueden ser corregidos en el campo.

El operador del sistema (típicamente el propietario), debe ser capaz de realizar todo el mantenimiento de rutina y las reparaciones menores. El mantenimiento rutinario ayudará a detectar y corregir la mayoría de los pequeños problemas que con el tiempo se pueden convertir en mayores problemas que pueden dejar inoperable el equipo.

### **3.12.6 Reparaciones preventivas y correctivas**

Se incluyen los reemplazos o reparación de componentes tales como, reemplazo del diafragma o impulsores, y reemplazo de los componentes defectuosos. Este tipo de mantenimiento puede requerir herramientas especiales y conocimiento. En la mayoría de los casos, es necesario que un personal capacitado haga las reparaciones.

Desde el punto de vista operacional, el requisito más importante es evitar la operación de una bomba en seco debido a que el motor se sobrecalentará y se quemará. El agua es necesaria para la lubricación y disipación de calor.

El mantenimiento en campo de los controladores consiste en asegurar un buen sellado para evitar polvos, agua o insectos.

### **3.13 Presupuesto de costo del proyecto**

Para aprobar la implementación de un proyecto se debe tomar en cuenta la viabilidad económica del mismo. Para verificar si un proyecto es viable, es necesario conocer los costos de instalación y mantenimiento y compararlo con las ganancias que se esperan obtener.

En esta sección se presentara la relación de costos de la instalación de todos los equipos relacionados con el sistema de riego por goteo automatizado. El propósito de este estudio es obtener datos sobre los costos del proyecto que puedan ser utilizados en el futuro para realizar la programación y planeación de dicho proyecto. Además se incluyen los costos de control de calidad y mantenimiento.

#### **3.13.1 Costo de control de calidad y mantenimiento**

Las actividades de operación y mantenimiento de todo sistema son necesarios para asegurar el buen funcionamiento y prolongar la vida útil de la instalación, ya que esta tiene establecida una vida útil mínima para que sea factible su

aprobación y construcción.

Una vez que una instalación ha sido estragada y verificada, su recepción definitiva es necesario elaborar un plan de vigilancia, plan de mantenimiento y un contrato de mantenimiento.

El plan de vigilancia se realiza para revisar que los valores operacionales de la instalación sean los óptimos, refiriéndonos a la producción, aunque también entra aquí la limpieza de los módulos.

El plan de mantenimiento preventivo debe ser realizado por personal técnico que conozca sobre la instalación fotovoltaica, y se refiere a inspección visual y verificación que permiten mantener dentro de los límites el funcionamiento de la instalación. Aquí se incluyen actividades como comprobación de las protecciones eléctricas, del estado de los módulos, estado del inversor, de los cables y las condiciones de la estructura.

Cargo	Costo \$ por mes
Vigilante	75.00
Ing. Electrónico especialista	/ 150.00

**Tabla No10 Costo de personal de mantenimiento y vigilancia del sistema de bombeo para riego automatizado. Fuente: propia**

### 3.13.2 Costo de los componentes del sistema diseñado

Anteriormente se destacó cada uno de los materiales y componentes que conforman el sistema diseñado. A continuación se presenta una tabla con la cotización de cada uno de los componentes necesarios para el sistema y la instalación de los mismos.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Unidad (\$)</b>	<b>importe (\$)</b>	<b>Fuente</b>
5	Módulos solares 120W 12VDC PERLIGHT	288.00	1,440.00	SUNISOLAR
1	Bomba sumergible SUN SUB	2,700.00	2,700.00	SUNISOLAR
1	kit de Instalación módulos solares	250.00	250.00	SUNISOLAR
1	instalación	250.00	250.00	SUNISOLAR
1	Controlador de carga MORNINGSTAR	10.00	10.00	TECNOSOL
1	Batería de ciclo profundo 105 Ah	98.00	98.00	TECNOSOL
1	inversor de poder 300W Seno puro 12VDC	460.00	460.00	TECNOSOL
1	Sistema eléctrico de conexión	50.00	50.00	TECNOSOL
1	instalación	100.00	100.00	TECNOSOL
2	TUBERIA PVC S41 1 1/2" X 6M B C/C	5.00	10.00	AMANCO
1	Módulos solares 100W 12VDC	365.00	365.00	TECNOSOL
2	CODO 90 PVC 1 1/4" BL C/R	0.90	1.80	AMANCO
2	TUBERIA PVC SDR41 50 MM 2 1/2" X 6M VE C/CEM	8.00	16.00	AMANCO
1	Válvula manual PVC PVC 2"	7.00	7.00	AMANCO
2	Adaptador macho PVC40 2"	0.60	1.20	AMANCO
2	Manómetro Glicerina 0-100 PSI	6.00	12.00	AMANCO
1	Tapón hembra SHC40 liso 2 1/2"	1.45	1.45	AMANCO
1	Adaptador hembra SHC40 2 1/2"	2.00	2.00	AMANCO
2	TE PVC SCH40 2 1/2"	3.60	7.20	AMANCO
4	REDUCTOR PVC S40 2 1/2" 1 1/2"	1.10	4.40	AMANCO
2	Cruz PVC 2 1/2"	2.20	4.40	
94	TUBERIA PVC S41 1 1/2" X 6M B C/C	4.00	376.00	AMANCO
4	Electroválvula MN1H 1 1/2"	90.00	270.00	
8	Codo 90 PVC 1 1/2"	1.10	8.80	AMANCO
8	Te PVC SCH40, 1 1/2"	0.93	7.44	AMANCO
16	Codo 90 PVC 1 1/4"	0.90	14.40	
420	MANGUERA PG CIEFA 20MM X 1.2MM 2.5 ATM	0.40	160.00	AMANCO
420	GOTERO PLASTRO TIF 30 L/H	2.00	840.00	AMANCO
1	TORRE DE ELEVACION DE TANQUE	2,690.00	2,690.00	LA CASA DEL TANQUE

1	PARO DE EMERGENCIA EN CAJA PULSAR-GIRAR	63.00	63.00	SINSA
1	CONTACTOR SIEMENS 17A 120V	56.50	56.50	SINSA
1	RELE TERMICO (DISYUNTOR) 14-20A P/CONTACTOR	46.78	46.78	SINSA
1	CABLE DUPLEX CALIBRE 2X12 X 1M	1.24	1.24	SINSA
1	CABLE DUPLEX CALIBRE 2X14 X 1M	0.76	0.76	SINSA
2	INTERRUPTORES 10A/125V	2.08	4.16	SINSA
8	FUSIBLES	0.44	3.56	
1	PLC LOGO!230RC	180.00	180.00	SIEMENS
1	CABLE PARA LOGO	150.00	150.00	SIEMENS
1	MODULO EXPANSION PLC	120.00	120.00	SIEMENS
1	Caja para PLC LEGRAND 400X400X200MM	120.00	120.00	
<b>Total \$</b>		<b>10,863.85</b>		

**Tabla No11 Cotización del dimensionado del sistema**

**Fuente; propia**

La suma de todo lo que tiene que ver con el dimensionamiento general del sistema es de U\$ 10,863.85 inversión que se recuperara en uno o dos años, si el propietario de la finca no cuenta con suficiente capital para la ejecución del proyecto. En nuestro país Nicaragua, el gobierno actual ha impulsado una institución gubernamental denominado Banco Produzcamos (BP) cuya sede central está ubicada en el sector de Plaza el Sol, en Managua, el cual cuenta con planes diversos de financiamiento para impulsar el desarrollo del sector agrícola, buscando tecnificar el campo y aumentar la producción agrícola.

También existen instituciones privadas reconocidas en el país tales como ACODEP, FINDESA, PRO-CREDIT, FDL entre otros, que ofrecen diferentes planes de financiamiento para beneficiar al sector agrícola y así contribuir al desarrollo tecnológico de nuestro país.

### 3.13.3 Factibilidad del proyecto

En la siguiente sección se describe la factibilidad de implementación, partiendo de la estimación de la información de producción y costos actuales de la finca, con el sistema de riego actual versus el sistema de riego automatizado y alimentado con energía fotovoltaica.

Se calculará la Tasa interna de retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN), para determinar si el proyecto es viable o no.

Conforme a la información brindada por los propietarios de la Finca, se describen en la tabla siguiente los costos actuales de producción:

Descripción del gasto actual	Costos anuales x manzana	Costos anuales x manzana
lb x árbol de abono	C\$ 7,000.00	\$250.00
kl de foliar	C\$ 500.00	\$17.86
Podada x árbol	C\$ 2,800.00	\$100.00
Limpieza x árbol	C\$ 3,000.20	\$107.15
Vigilancia	C\$ 12,000.00	\$428.57
Costo de riego	C\$ 21,100.00	\$753.57
Total costo por manzana	C\$ 46,400.20	\$1,657.15
Total costo de las 3 manzanas	C\$ 139,200.60	\$4,971.45

**Tabla No12 Costos de producción anual de la Finca. Fuente: propia**

Se ha estimado, que una manzana de cítricos abarca una plantación de 140 árboles, a una distancia de 7 varas, donde cada árbol anualmente genera aproximadamente 1,428 frutos anuales. Conforme los datos suministrados por la dueña de la Finca el costo anual de mantenimiento de las 3 manzanas es de C\$ 139,200.60 Córdobas, equivalentes a U\$ 4,971.45 Dólares. Se observa que el costo de riego actual asciende a U\$ 753.57 Dólares por año, que representa el 45% de los costos totales por manzana.

De acuerdo a las estimaciones del costo de mantenimiento del nuevo sistema de riego, se obtiene que el costo de riego se reducirá a U\$ 450 Dólares anuales, con una reducción de costos del 40% en este rubro, según se demuestra en la tabla siguiente:

Descripción del gasto futuro	Costos anuales x manzana	Costos anuales x manzana
Descripción del gasto	Costos anuales x manzana	Costos anuales x manzana
lb x árbol de abono	C\$ 7,000.00	\$250.00
kl de foliar	C\$ 500.00	\$17.86
Podada x árbol	C\$ 2,800.00	\$100.00
Limpieza x árbol	C\$ 3,000.20	\$107.15
Vigilancia	C\$ 12,000.00	\$428.57
<b>Costo de riego automatizado</b>	<b>C\$ 12,600.00</b>	<b>\$450.00</b>
Total costo por manzana	C\$ 37,900.20	\$1,353.58
Total costo de las 3 manzanas	C\$ 113,700.60	\$4,060.74

**Tabla No 13 Costos de producción futuros de la Finca después de la inversión**

**Fuente: propia**

Dado que la inversión asciende a U\$ 10,863.43 Dólares, se ha considerado solicitar financiamiento al sistema financiero nacional, quienes tienen programas de crédito enfocados en eficiencia energética y cambio climático, con tasas de interés accesibles.

En vista que los cítricos tienen dos ciclos de cosechas anuales se han supuesto pagos semestrales de capital e intereses en correspondencia con los picos de cosechas, a un plazo de 24 meses, y una tasa anual del 18% de interés sobre saldo, tal y como se muestra en la tabla siguiente:

<b>Principal</b>		<b>\$ 10,863.43</b>		<b>Plazo: 2 años</b>	<b>T/I=18%</b>
<b>Meses</b>	<b>Fechas</b>	<b>Principal</b>	<b>Interes</b>	<b>Total</b>	
<b>Inversión</b>					<b>(10,863.43)</b>
6	13/07/2016	2,715.86	977.71	3,693.57	
12	13/01/2017	2,715.86	733.28	3,449.14	
18	13/07/2017	2,715.86	488.85	3,204.71	
24	13/01/2018	2,715.86	244.43	2,960.28	
<b>Total</b>			<b>\$2,444.27</b>	<b>\$13,307.70</b>	

**Tabla No 14 Tabla de Amortización del préstamo. Fuente: propia**

Producto que con el nuevo sistema fotovoltaico el riego será de mayor continuidad, se estima que la producción por árbol se verá incrementada en un 25%, traducido en mayores ingresos, tal y como se muestra en la tabla siguiente:

<b>Frutas por manzana</b>	<b>Anual</b>
Producción actual	600,000.00
Producción futura	750,000.00
Incremento de producción mínima	150,000.00
Porcentaje mínimo esperado	25%

**Tabla No 15 Tabla de Amortización del préstamo. Fuente: propia**

Conociendo los ingresos, los costos de producción y las cuotas de reembolso de préstamos, podemos calcular el flujo de caja para cada semestre y con ello calcular la TIR y la VAN.

### Flujo de Caja

Meses	Fechas	Ingresos	Costo de producción	Financiamiento	Total
<b>Inversión</b>					<b>(\$10,863.43)</b>
6	13/07/2016	10,714.29	2,030.37	3,693.57	\$4,990.35
12	13/01/2017	10,714.29	2,030.37	3,449.14	\$5,234.78
18	13/07/2017	10,714.29	2,030.37	3,204.71	\$5,479.21
24	13/01/2018	10,714.29	2,030.37	2,960.28	\$5,723.63
		\$	\$		
<b>Total</b>		<b>42,857.14</b>	<b>8,121.47</b>	<b>13,307.70</b>	<b>\$21,427.97</b>

<b>TIR</b>	<b>TIR</b>	<b>33.0%</b>
<b>VAN</b>	<b>VAN</b>	<b>\$6,025.44</b>

Tabla No 16 Tabla de Amortización del préstamo. Fuente: propia

#### 3.13.3.1 Tasa Interna de Retorno

La TIR es el indicador más utilizado para calcular y comparar los rendimientos de las inversiones. En términos más específicos, la TIR de la inversión es la tasa de interés a la que el valor actual neto de los costos (los flujos de caja negativos) de la inversión es igual al valor presente neto de los beneficios (flujos positivos de efectivo) de la inversión.

Las tasas internas de retorno se utilizan habitualmente para evaluar la conveniencia de las inversiones o proyectos. Cuanto mayor sea la tasa interna de retorno de un proyecto, más deseable será llevar a cabo el proyecto..

Fórmula de la TIR

$$VPN = \frac{\sum R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Donde

t- el tiempo del flujo de caja

i - la tasa de descuento (la tasa de rendimiento que se podría ganar en una inversión en los mercados financieros con un riesgo similar).

R<sub>t</sub> - el flujo neto de efectivo (la cantidad de dinero en efectivo, entradas menos salidas) en el tiempo t. Para los propósitos educativos, R<sub>0</sub> es comúnmente colocado a la izquierda de la suma para enfatizar su papel de (menos) la inversión.

Conforme las estimaciones plateadas, el resultado de la TIR del proyecto de inversión de sistema de bombeo automatizado, es de 33%, demostrando que el proyecto es viable y que por lo tanto debería procederse con la inversión.

### 3.13.3.2 Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actualizado Neto (VAN) es un método de valoración de inversiones que puede definirse como la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y de los pagos generados por una inversión. Proporciona una medida de la rentabilidad del proyecto analizado en valor absoluto, es decir expresa la diferencia entre el valor actualizado de las unidades monetarias cobradas y pagadas.

Analíticamente se expresa como la diferencia entre el desembolso inicial (que no se actualiza ya que se genera en el momento actual) y el valor actualizado, al mismo momento, de los cobros y pagos futuros, a los que se denomina flujos de caja:

Siendo:

- -  $k$  = tipo de descuento.
- -  $n$  = número de años, vida de la inversión.
- -  $A$  = desembolso inicial.
- -  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  = flujos netos de caja de cada período

El VAN sirve para tomar dos tipos de decisiones: la Efectuabilidad y la jerarquización.

- a) Efectuabilidad: Son efectuables, es decir interesa realizar, aquellas inversiones que tengan un VAN positivo, ya que en estos casos generan más cobros que pagos ( $VAN > 0$ ).
- b) Jerarquización: Entre las inversiones efectuables son preferibles las que tengan un VAN más elevado.

La VAN resultante de las estimaciones planteadas en el proyecto, es igual a U\$ 6,025.24 Dólares, mayor a cero, por lo tanto la inversión es factible y debería ser aceptada.

## CAPITULO IV: CONCLUSIONES

El sistema diseñado se empleó en calidad de proyecto donde se trabaja 3 tipos de tecnologías: sistema de riego por goteo y sistema de automatización de flujo total o nulo del agua y sistema energía fotovoltaica. Se diseñó un sistema de bombeo automatizado controlado por PLC y alimentado con energía solar para el cultivo de cítricos en la finca El Santiago ubicado en el Municipio de la Concepción Masaya.

Se diseña el sistema de riego por goteo, debido a su alta eficiencia de aplicar agua directamente a las raíces de las plantas, se puede automatizarse fácilmente para mejorar el control de la irrigación. Un tanque de almacenamiento con capacidad de 15m<sup>3</sup> abastece las necesidades de agua de los arboles seleccionados, se requiere gotero de 20-30litros/horas y tuberías PVC, debido a que presentan menos pérdidas que otros materiales.

Se aplica el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC) LOGO! 230RC, debido a que su lenguaje de programación (diagrama de flujo o SFC) es un lenguaje grafico mejor adaptado para programar la automatización, el PLC tiene 4 salidas para controlar 4 electroválvulas .

Con esta propuesta se disminuye las pérdidas económicas que genera la disminución de productividad por falta de agua en la época de verano.

## CAPITULO V: RECOMENDACIONES

Las recomendaciones de este capítulo se enfocan en dos vías, a la dueña de Finca y a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en electrónica:

Al dueño de la Finca: Informar acerca de las nuevas alternativas de energía renovable para suministrar energía a un sistema automatizado de riego fácil, moderno, eficiente y agradable para el usuario, capaz de aprovechar al máximo el uso de agua para la irrigación de la plantación de cítricos.

Realizar capacitaciones de uso del sistema de riego propuesto al propietario y trabajadores de la finca, con el fin de garantizar un correcto uso de los diferentes equipos propuestos en este diseño, para el correcto funcionamiento y evitar de esta manera daños en los equipos por la falta de experiencia en el manejo del mismo.

Además de los elementos electrónicos y mecánicos propuestos en el diseño del sistema de bombeo automatizado, se pueden utilizar otros dispositivos disponibles en el mercado, con características técnicas semejantes o superiores.

Proteger adecuadamente y dar mantenimiento preventivo a los componentes que presenten mayor costo, tales como las electroválvulas, el gabinete de almacenamiento de PLC's, contactores, relees térmicos, gabinete de almacenamiento de inversor, control de carga, baterías solares y paneles solares, para evitar el robo y daños a los mismos.

A los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica: recomiendo ampliar los conocimientos acerca del funcionamiento e instalación de equipos de bombeo, energía solar fotovoltaica y control automático, como nuevas alternativas de mejoramiento de procesos, que integre un componente de reducción de costos en beneficio de los pequeños, medianos y grandes productores a nivel nacional, así como una constante capacitación e investigación sobre el desarrollo de nuevas tecnologías.

## CAPITULO VI: BIBLIOGRAFÍA

### Bibliografía

Alberto. (2012). *Sistema de Riego Autmatizado*. Madrid: CEU .

Calero, L. (s.f.). produccion y gastos anuales de la finca el santiago. (D. c, Entrevistador)

Cerda, O. (12 de octubre de 2015). cantidad de riego necesaria para citricos. (D. Castillo, Entrevistador)

dreeber, G. (2010). *hidraulica de fluidos*. Belice: Asbbel.

google. (9 de Noviembre de 2015). Obtenido de google:

<https://www.google.com.ni/search?q=imagen+de+electronivel+de+agua&newwindow>

Google. (10 de Enero de 2016). Obtenido de Google:

<https://www.google.com.ni/search?q=carga+dinamica+total+de+un+sistema+de+riego&newwindow>

google. (8 de 01 de 2016). *google*. Obtenido de google: <https://www.google.com.ni/search?>

INETER. (2013). caracterizticas climaticas del departamento de masaya. *desarrollos ambientales*, (págs. 20,21,22). Managua.

jutglar, I. (2012). *Generacion de energia solar fotovoltaica*. santiago: marcombo.

Mendoza, J. (2013). *Ingenieria de control Moderno*. mexico: Aguila.

ogata, k. (2011). *fuentes de energia renovables*. chile: Universal.

RETSCREEN. (10 de diciembre de 2015). Caracterizticas Climaticas del Municipio de la concepcion. managua, masaya, la concepcion.

rodriguez, w. (15 de noviembre de 2015). <https://www.google.com.ni>. Obtenido de <https://www.google.com.ni/search?q=ingenieria>

Rotoplas. (10 de septiembre de 2015). tanque. managua, Nicaragua.

velasquez, j. (2012). *Recursos renovables en el estado de sinaloa*. sinaloa: Mexico.

## CAPITULO VII: ANEXOS



**Plantación del cultivo de mandarina fuente: Propia**



**Plantación de naranja fuente: Propia**



**Figura de plantacion de limon fuente:finca el Santiago .**

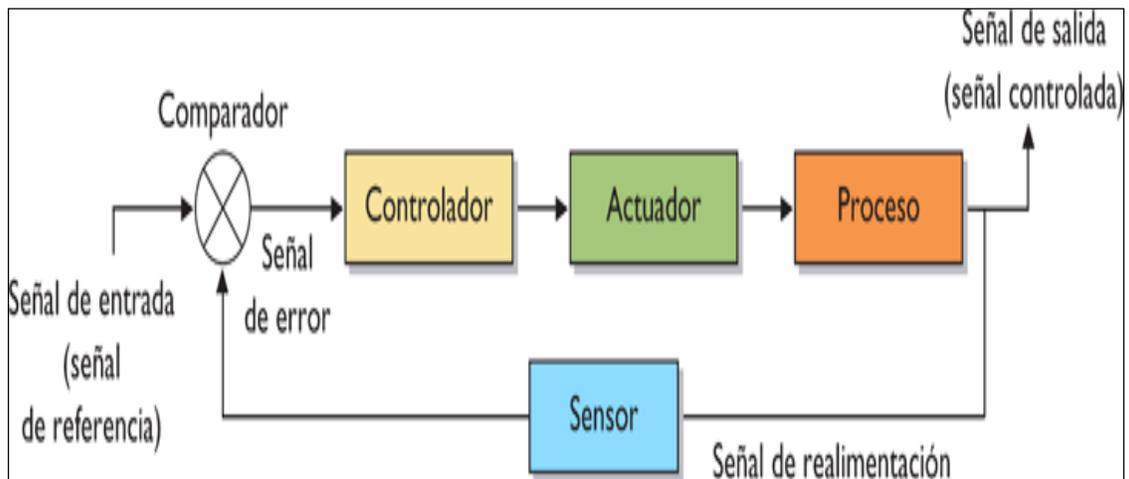
**Fuente:propia**

## Bomba sumergible

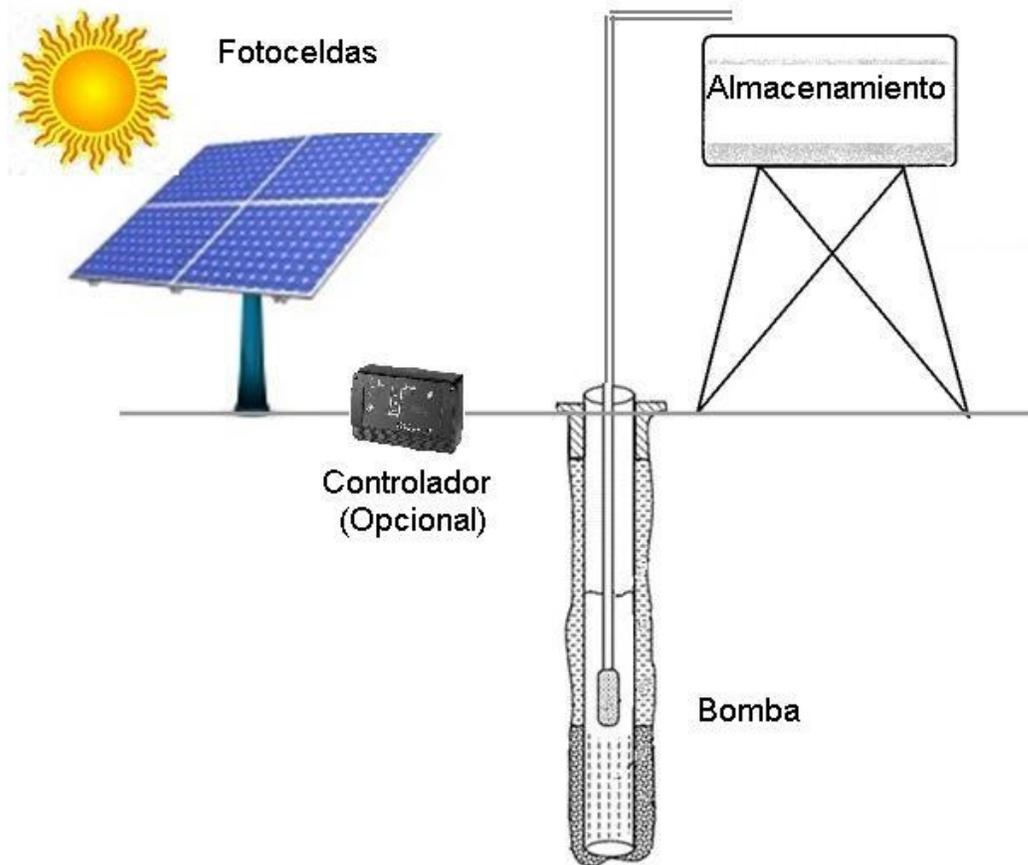


Fuente: (Era solar,2015)

## ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO



Fuente:( <http://es.wikipedia.org>)



**Sistema de bombeo fotovoltaico**

**Fuente:(Google, 2015)**