

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
SISTEMAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBA SOLAR UTILIZANDO BOMBA  
SUMERGIBLE HIBRIDO CON VARIADOR DE VELOCIDAD PARA LA  
COMUNIDAD QUENAJAJA DEL DISTRITO DE ACORA PROVINCIA DE  
PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**ELVER DEMETRIO SOSA CUTIPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**ELECTRICISTA**

**Puno – Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBA SOLAR UTILIZANDO BOMBA SUMERGIBLE HIBRIDO CON VARIADOR DE VELOCIDAD PARA LA COMUNIDAD QUENAJAJA DEL DISTRITO DE ACORA PROVINCIA DE PUNO”**

TESIS PRESENTADA POR:

**ELVER DEMETRIO SOSA CUTIPA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACION: 21-12-2017



APROBADA POR EL JURADO CONFORMADO POR:

**PRESIDENTE**

: -----

**M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA**

**PRIMER MIEMBRO**

: -----

**M.Sc. HENRY SHUTA LLOCLLA**

**SEGUNDO MIEMBRO**

: -----

**Ing. OMAR LUIS NEIRA CUTIPA**

**DIRECTOR DE TESIS**

: -----

**Dr. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON**

**Área** : Energía Renovables

**Tema** : Energía Solar Fotovoltaica

**AGRADECIMIENTOS.**

- *Al señor todo poderoso “Dios” que siempre nos dio fuerzas espirituales para que podamos continuar en cada etapa de nuestra vida profesional.*
- *A nuestros docentes de la UNA, quienes nos alimentaron de conocimiento y a la búsqueda de la verdad, sembrando actitud, aptitud y espíritu emprendedor, que ahora son parte de mis raíces.*
- *A los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por velar con el conocimiento que sembraron en nosotros, el cual da sus primeros frutos y brindarnos lo necesario para crecer profesionalmente, los conocimientos que en dicha casa de estudio se imparte.*
- *A mi director de tesis Norman Jesus Beltran Castañon, que ha confiado en mí y en este trabajo aportando su gran experiencia profesional y apoyo personal.*
- *A mis padres y familia, Gracias por guiarme y encaminarme en la educación de valores, así como por alcanzar los objetivos trazados.*

*ELVER DEMETRIO SOSA CUTIPA*

## DEDICATORIA

*... a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*... Con eterna gratitud a mis padres, Andres Demetrio Sosa Pedraza y Gregoria cutipa catacora, por inculcarme principios, valores y brindarme todo su apoyo y cariño.*

*... a Nelly por su amor incondicional, por apoyarme y alentarme para continuar, cuando parecía que me iba a rendir.*

*A mi hijos Noelia, Flor, jair, quien siempre estuvo pendiente, brindarme todo su apoyo y cariño.*

*ELVER DEMETRIO SOSA CUTIPA.*

**INDICE GENERAL**

<b>RESUMEN .....</b>	<b>16</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>18</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. PROBLEMA GENERAL .....	20
1.1.2. PROBLEMA ESPECIFICO .....	20
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	20
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICAS.....	21
<b>REVISION DE LITERATURA .....</b>	<b>22</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
2.1.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	22
2.2 SUSTENTO TEÓRICO .....	23
2.2.1 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ENERGÍA SOLAR .....	23
2.2.2 CONCEPTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	37
2.2.3 ESTACIÓN DE BOMBEO Y CONCEPTOS SOBRE HIDRÁULICA .....	52
2.2.4 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	74
2.2.5 BENTLEY WATERCAD.....	76
2.2.6 ANÁLISIS DE FLUJO TRANSITORIO – GOLPE DE ARIETE.....	79
2.2.7 AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA	

POTABLE. ....	81
2.2.8 AUTOMATIZACIÓN. ....	89
2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS. ....	92
2.3.1 DISEÑO. ....	92
2.3.2 SISTEMA DE BOMBEO. ....	92
2.3.3 AUTOMATIZACIÓN. ....	92
2.3.4 AGUA POTABLE. ....	92
2.3.4 ENERGÍA SOLAR. ....	92
2.3.5 INSOLACIÓN. ....	93
2.3.6 WATERCAD. ....	93
2.3.7 GOLPE DE ARIETE. ....	93
2.3.8 PLC. ....	93
2.4 HIPÓTESIS DEL INVESTIGACIÓN. ....	94
2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL. ....	94
2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....	94
<b>CAPÍTULO III. ....</b>	<b>95</b>
<b>MATERIALES Y METODOS. ....</b>	<b>95</b>
3.1 DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN. ....	95
3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. ....	95
3.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	95
3.2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN. ....	95
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN. ....	96
3.4 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN. ....	96
3.4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS DE LA ZONA. ...	98
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN. ....	101

3.5.1	TÉCNICAS.....	101
3.5.2	INSTRUMENTOS.....	101
3.6	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	101
3.6.1	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	101
3.7	PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS.....	102
3.8	DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	103
<b>CAPÍTULO IV.....</b>		<b>104</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUCION.....</b>		<b>104</b>
4.1	MEMORIA DE CÁLCULOS.....	104
4.2	DEMANDA DE AGUA.....	104
4.2.1	PERIODO DE DISEÑO.....	104
4.2.2	POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA.....	105
4.2.3	DOTACIÓN DE AGUA.....	105
4.3	CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO.....	106
4.3.1	CAUDAL PROMEDIO DIARIO ( $Q_p$ ).....	106
4.3.2	CAUDAL MÁXIMO DIARIO ( $Q_{md}$ ).....	107
4.3.3	CAUDAL MÁXIMO HORARIO ( $Q_{mh}$ ).....	107
4.3.4	CÁLCULO DE CAUDAL DE BOMBEO ( $Q_B$ ).....	108
4.4	DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSIÓN.....	110
4.4.1	CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE IMPULSIÓN DE LA TUBERÍA.....	110
4.4.2	CÁLCULO DEL CAUDAL Y DE LA VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO CON LOS DATOS REALES.....	111
4.4.3	CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE IMPULSIÓN.....	111
4.5	CÁLCULO DE SOBREPRESIONES DE CIERRE INSTANTÁNEO O FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE.....	114

4.5.1	CÁLCULO DEL FENÓMENO DE PROPAGACIÓN DE ONDA. ....	114
4.5.2	RESISTENCIA AL GOLPE DE ARIETE PARA LA LÍNEA DE IMPULSIÓN. 115	
4.5.3	CÁLCULO DEL TIEMPO CRÍTICO DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA.	115
4.5.4	CÁLCULO DE SOBREPRESIÓN EN LA TUBERÍA.....	116
4.5.5	CÁLCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA EN EL PUNTO MÁS BAJO. ....	116
4.6	CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA - MOTOR.....	117
4.6.1	CÁLCULO DE POTENCIA DE CONSUMO (POTENCIA DE LA BOMBA). 117	
4.6.2	CÁLCULO DE LA POTENCIA INSTALADA DEL SISTEMA.....	117
4.6.3	SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LA BOMBA.....	118
4.7	MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA CON EL PROGRAMA WATERCAD.....	119
4.7.1	DISEÑO DE TUBERÍAS CON WATERCAD V8i.....	119
4.7.2	LA DEMANDA DE AGUA POTABLE.....	120
4.7.3	TANQUE DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	121
4.7.4	MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA .....	122
4.8	CÁLCULO DE ARREGLO FOTOVOLTAICO. ....	122
4.8.1	ENERGÍA HIDRÁULICA REQUERIDA. ....	122
4.8.2	CÁLCULO DE POTENCIA PICO NECESARIO .....	123
4.8.3	CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS PANELES SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS.....	125
4.8.4	CÁLCULO DEL ÁREA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	125
4.8.5	CÁLCULO DEL N° DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. ....	126



4.9	CÁLCULO DE CAPACIDAD DEL RESERVORIO.1 .....	126
4.9.1	CÁLCULO DE MÁXIMA DEMANDA DIARIA.....	127
4.9.2	CÁLCULO DE VOLUMEN DE REGULACIÓN.....	127
4.9.3	VOLUMEN CONTRA INCENDIO.....	127
4.9.4	VOLUMEN DEL RESERVORIO TOTAL PARA EL SISTEMA.....	128
4.10	SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO Y TUBERÍAS DE IMPULSIÓN.128	
4.10.1	SELECCIÓN DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN.....	128
4.11	SELECCIÓN DE LA BOMBA DE IMPULSIÓN.....	129
4.12	SELECCIÓN DE LOS PANELES SOLARES .....	129
4.13	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	130
4.13.1	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	130
4.13.2	EL PLC MICRO-1 .....	130
4.13.3	ELECTRONIVELES .....	137
4.13.4	ANÁLISIS DEL ESTUDIO ECONÓMICO AL SISTEMA AUTOMATIZADO 140	
4.14	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	141
4.14.1	ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE.....	141
4.14.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.....	141
4.15	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO .....	142
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>144</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>145</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>146</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>148</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N° 1 Tipos de radiación en la superficie.....</i>	25
<i>Figura N° 2 Piranómetro Kipp, Medidor de radiación solar portátil Cortesía: Eudora Solar. ....</i>	27
<i>Figura N° 3 Heliógrafo Campbell-Stokes.....</i>	28
<i>Figura N° 4 Recorrido solar anual. ....</i>	28
<i>Figura N° 5 Irradiancia y horas solares pico (Insolación).....</i>	30
<i>Figura N° 6 Conversión de energía en la célula. ....</i>	31
<i>Figura N° 7 Aspecto de una red de células de silicio monocristalino. ....</i>	34
<i>Figura N° 8 Células policristalinas. ....</i>	34
<i>Figura N° 9 Célula de capa delgada montada sobre un sustrato flexible.....</i>	35
<i>Figura N° 10 Partes de una instalación fotovoltaica. ....</i>	37
<i>Figura N° 11 Radiación solar sobre superficies inclinadas en Puno.....</i>	42
<i>Figura N° 12 Paneles solares fotovoltaicos.....</i>	44
<i>Figura N° 13 Partes de un panel fotovoltaico. ....</i>	44
<i>Figura N° 14 Principio de funcionamiento de la Solar Fotovoltaica. ....</i>	46
<i>Figura N° 15 Curvas Características de las Celdas Fotovoltaicas .....</i>	47
<i>Figura N° 16 Parámetros punto de máxima potencia eléctrica.....</i>	48
<i>Figura N° 17 Variación de las curvas I-V de un módulo FV típico con la irradiancia incidente para una temperatura de 25°C. ....</i>	49
<i>Figura N° 18 Variación de las curvas I-V de un módulo FV típico con la temperatura de operación para una irradiancia constante de 1000 W/m2. ....</i>	50
<i>Figura N° 19 Elementos hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.....</i>	61

*Figura N° 20 Comparación entre curvas características típicas Altura-Caudal de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo a velocidad constante, las bombas centrífugas proporcionan una curva caudal-altura variable. .... 64*

*Figura N° 21 Ejemplo de curvas h-Q para una bomba centrífuga a diferentes frecuencias (velocidades) obtenidas a partir de datos de catálogo a frecuencia nominal y aplicando las leyes de semejanza. Se presentan las curvas de Iso-rendimiento. .... 65*

*Figura N° 22 Curvas h-Q-Rendimiento para una bomba centrífuga a diferentes frecuencias de operación. Para una altura dada, en este ejemplo, cuando la frecuencia disminuye el rendimiento de operación de la bomba aumenta. .... 66*

*Figura N° 23 Bombas Sumergibles. .... 69*

*Figura N° 24 Carga dinámica total – Volumen bombeado. .... 71*

*Figura N° 25 Curvas altura-caudal y rendimiento-caudal de una bomba centrífuga... 76*

*Figura N° 26 Simulación en el programa Watercad. .... 77*

*Figura N° 27 Componentes de la red de distribución de agua..... 78*

*Figura N° 28 Automatización de un sistema..... 90*

*Figura N° 29 Lugar de ubicación del proyecto. .... 98*

*Figura N° 30 Diámetro de las tuberías de distribución. .... 120*

*Figura N° 31 Demanda de agua potable para la red de distribución. .... 120*

*Figura N° 32 Elevación del tanque de distribución. .... 121*

*Figura N° 33 Modelamiento computarizado de la red de distribución de agua potable. .... 122*

*Figura N° 34 Irradiación media de cada mes y del año. .... 124*

*Figura N° 35 Diagrama de bloques del sistema de bombeo. .... 130*

*Figura N° 36 PLC MICRO-1. .... 131*

<i>Figura N° 37 Esquema de instalación del PLC.....</i>	<i>133</i>
<i>Figura N° 38 Diagrama del control en el Sistema de Bombeo, por el método ladder. 136</i>	
<i>Figura N° 39 Colocación de los electroniveles.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura N° 40 Pasos en que se puede encontrar la pera según el nivel del agua.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura N° 41 Pasos en que se puede encontrar la pera según el nivel del agua.....</i>	<i>139</i>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<i>Tabla N° 1 Características de las diferentes células solares.</i> .....	36
<i>Tabla N° 2 Radiación Solar en el Perú.</i> .....	41
<i>Tabla N° 3 Radiación Solar en Puno</i> .....	42
<i>Tabla N° 4 Valores aproximados de K (pérdidas de carga locales).</i> .....	57
<i>Tabla N° 5 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de bombas.</i> .....	70
<i>Tabla N° 6 Operacionalización de variables.</i> .....	94
<i>Tabla N° 7 Ruta de acceso distrito de Acora - Comunidad Quenafajja.</i> .....	97
<i>Tabla N° 8 Diez primeras causas de morbilidad, etapa de vida: niños de 0 a 9 años. .</i> 100	
<i>Tabla N° 9 Numero de pobladores en dichas comunidad (2015).</i> .....	102
<i>Tabla N° 10 Valores de la Radiación solar en las Comunidad de Acora.</i> .....	102
<i>Tabla N° 11 Periodo de diseño (DIGESA).</i> .....	105
<i>Tabla N° 12 Dotación de agua según DIGESA.</i> .....	106
<i>Tabla N° 13 Parámetros de la OMS.</i> .....	106
<i>Tabla N° 14 Consumo de agua proyectado en la localidad de Quenafajja</i> .....	108
<i>Tabla N° 15 Cálculo de caudales de bombeo por hora.</i> .....	109
<i>Tabla N° 16 Elementos con los que cuenta y la dirección en que están guardados. .</i> 132	
<i>Tabla N° 17 Datos de las 1 bombas en serie.</i> .....	142
<i>Tabla N° 18 Sobrepresiones de cierre instantáneo o fenómeno de golpe de ariete....</i> 142	

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo N° 1 CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SOLAR PARA BOMBEO DE AGUA POTABLE  
..... 149

Anexo N° 2 CARACTERÍSTICAS Y PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA SOLAR ELEGIDA  
..... 150

Anexo N° 3 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE UNA BOMBA SOLAR SUMERGIBLE ..... 152

Anexo N° 4 METRADO Y PRESUPUESTO ..... 153

Anexo N° 5 PLANOS Y LAMINAS DE DETALLE DEL DISEÑO DE LA BOMBA ..... 154

## INDICE DE ACRONIMOS

*”*: *pulgadas*

*°C*: *grados celsius*

*°C/w*: *grados celsius por watt*

*ANOVA*: *analysis of variance*

*ASTM*: *american society of testing materials*

*CM*: *cuadrados medios*

*CV*: *coeficiente de variacion*

*DCA*: *diseño completamente al azar*

*DTML*: *diferencia de temperatura media logaritmica*

*E.E.*: *error experimental*

*F*: *factor*

*GL*: *grados de libertad*

*kg/m.s*: *kilogramos metros por segundo*

*kg/m<sup>3</sup>* : *kilogramo por metros cubico*

*KW*: *kilowatt*

*m.s.n.m*: *metros sobre el nivel del mar*

*m<sup>2</sup>*: *metros cuadrados*

*m<sup>3</sup>*: *metros cubicos*

*ppm*: *particulas por millon*

## RESUMEN

El presente trabajo surge de la necesidad de dar solución a los problemas existentes en el sistema de abastecimiento de agua potable que afecta a las Comunidad de Quenafajja Distrito de Acora, provincia de puno. Debido al crecimiento poblacional y a la antigüedad de los sistemas de suministro que generan un abastecimiento racionalizado en ciertos sectores de la población. Diseñar el sistema de bomba solar con paneles FV automatizado, utilizando variador de velocidad y bombeo de agua hacia un reservorio y distribuido por gravedad, contribuyan a mantener un adecuado y seguro suministro de agua. Los datos a reunir se obtendrán del número de familias, área de caudal del nivel del pozo, bomba sumergible, paneles FV, variador de velocidad y dimensión del reservorio; investigación de ciencia aplicada, Mediante este diseño lo que se pretende es obtener la mejor opción técnica económica que nos permita definir el tipo, sistema de bombeo automatizado, al menor costo de inversión presente, cumpliendo con todos los requerimientos que el diseño exige. Durante el desarrollo de este proyecto se observó que la automatización trae grandes beneficios. Tiempos exactos, mayor eficiencia en el servicio y los más importantes es que se reducen los costos de mano de obra, y una alta calidad en la distribución de agua, en los sistemas de bombeo. Así mismo la población se beneficiara con agua potable y traerá mejor calidad de vida.

**Palabras Claves.** Automatización, bombeo, Energía solar, fotovoltaica, hidráulica, potencia.



## ABSTRACT

This work arises from the need to resolve some of the problems in the system of water supply affecting the Communities Quenafajja District due to population growth and the age of the delivery systems that generate a streamlined supply in certain sectors of the population that have been conditioned their health status. Thus it is expected that the design of the pumping system automated help maintain an adequate and safe supply of water, which is stored in one of the main reservoirs feeding communities. By this design the aim is to obtain the best technical option - Economic able to define the type, automated system pumping, diameter and type of pipe longest stretch that makes up the delivery system going from the tube well into the reservoir, the lower cost of this investment to meet all requirements that the design demands. Industrial automation can be understood as the power of autonomy or action to operate alone possessing industrial processes where production activities are conducted through autonomous actions with participation of minimal human physical strength, making the involvement of intelligence artificial high.

**Keywords.** Automation, pumping, Solar energy, photovoltaic, hydraulics, power.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

En los años venideros la limitación de recursos hídricos tendrá graves consecuencias sobre los abastecimientos de agua potable y no potable para la ciudad y poblaciones urbanas rurales. Para poder abordar estos problemas, los Gobiernos y Autoridades a cargo del suministro de agua ya están tomando en cuenta la prevención de suministro.

Si bien la población de centros urbanos tiene agua de calidad relativamente buena, las Comunidades Rurales están lejos de tener un suministro adecuado. En las Comunidades Rurales el agua potable y agua se obtiene de varias fuentes: captación de agua de lluvia, pozos profundos o superficiales, ríos, lagos, estanques, arroyos. De esta fuente, el agua de pozos profundos o superficiales podrá ser tratada y apta para consumo humano.

Las necesidades de los pobladores e impulsar el desarrollo. El estudio que corresponde el presente trabajo beneficiara a las comunidad: Quenafajja, del Distrito de Acora

disminuyendo la tasa de mortalidad y morbilidad de las personas por falta de agua potable en condiciones adecuadas para el consumo humano.

En el siguiente estudio se realizaron basados en un análisis adecuado para determinar las necesidades principales de las comunidades ya mencionadas, haciendo encontrado una de las principales: el diseño de agua potable apta para el consumo humano. En ese orden se presentan en este trabajo, dando a conocer los cálculos. Se incluye los planos, así como las conclusiones y sugerencias, para la efectividad del diseño.

El presente trabajo está dividido en siete capítulos:

**CAPÍTULO I.** Se describe la descripción del problema, justificación del problema, el origen a la idea para optar esta energía alternativa y también se detalla los objetivos de este estudio; Objetivo General y Objetivos específicos.

**CAPÍTULO II.** Contiene Antecedentes de investigación, Sustento Teórico Conceptual se desarrolla todas las teorías, conceptos referentes a energía Solar, Energía Hidráulica, automatización de sistema de bombeo. Además en este capítulo se describe la operacionalización de variables, hipótesis general y las hipótesis específicas.

**CAPÍTULO III.** Se desarrolla el Diseño Metodológico de Investigación, hace la descripción de todas las características del área de investigación, ubicación geográfica, características geográficas, demografía, crecimiento de la población.

**CAPÍTULO IV.** Se desarrolla el cálculo del diseño fotovoltaico, hidráulico y automatización del sistema de bombeo para agua potable, interpretación de los resultados obtenidos, selección de equipos y materiales. Y además la conclusión y sugerencias producto de los análisis realizados.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Se podrá diseñar un sistema de bombeo solar con paneles FV automatizado, utilizando variador de velocidad y bombear agua hacia un reservorio y distribuirlo por gravedad para el consumo humano de la comunidad de quenafajja?

#### **1.1.2. PROBLEMA ESPECIFICO**

- a) ¿Se podrá analizar la demanda para consumo humano de toda la comunidad?
- b) ¿Se podrá seleccionar paneles FV, bomba sumergible y accesorios para accionar el sistema de bombeo?
- c) ¿Se podrá diseñar el sistema de control automatizado utilizando el variador de velocidad para la operación del sistema de bombeo?

### **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Se plantea los siguientes objetivos de la investigación:

#### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar el sistema de bomba solar con paneles FV automatizado, utilizando variador de Velocidad y bombeo de agua hacia un reservorio y distribuido por gravedad para consumo humano para la comunidad de Quenafajja.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICAS

- a) Analizar el diseño de demanda para consumo humano de toda la comunidad.
- b) Seleccionar paneles FV, bomba sumergible y accesorios para accionar el sistema de bombeo.
- c) Diseñar el sistema de control automatizado utilizando variador de velocidad para la operación del sistema de bombeo.

## CAPÍTULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Revisada la bibliografía como antecedentes al presente trabajo de investigación, se tiene desde los tiempos más remotos el agua ha constituido un factor fundamental en el desarrollo y la estructuración política, social y económica de los pueblos, considerando que el agua es uno de los elementos fundamentales para la vida, gracias a ella el hombre puede desarrollarse y transformarse. Apreciación personal; el estudio ha comprobado que la población quedó satisfecho por usar una energía renovable como es la energía solar.

La tesis: “Diseño de un Sistema Fotovoltaico para Alimentar una potabilizadora desalinizadora autónoma” de autor (VENTOCILLA, 2012) realizado en Málaga España, el diseño es de tipo experimental, se diseñó para producir agua potable a partir de agua de mar (40.000 ppm de cloruros), agua salina (5,000 ppm de cloruros), para una población de 50 familias. El diseño de una planta potabilizadora portátil alimentada con energía solar fotovoltaica es capaz de suministrar agua potable para uso humano y agrario a partir de agua de mar, fue provecho para la población necesitada

La tesis “propuestas de automatización de un sistema de bombeo de agua potable” (GARCIA LOPEZ IVAN y NUÑES CADENA DAVID , 2009) este proyecto se realizó en México. Este trabajo es de tipo experimental, la automatización está conformado de 4 bombas centrifugas de 100HP cada una, la propuesta de automatización trajo muchos beneficios como la reducción de la operación del personal (operario) y la reducción de pago al operario encargado de la planta.

## **2.2 SUSTENTO TEÓRICO**

### **2.2.1 CONCEPTOS GENERALES SOBRE LA ENERGÍA SOLAR**

#### **2.2.1.1 LA ENERGÍA SOLAR.**

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano. En la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la energía solar es bastante grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso. En términos generales se dispone un promedio anual de 4-6 kWh/m<sup>2</sup>-día (Puno, Arequipa y Tacna) en la costa y selva y de 5-6 kWh/m<sup>2</sup>-día (Puno), aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable. (Rubio, 2001)

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor: de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y transforma en calor, que puede ser usado para bombeo de agua, iluminación, calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles

solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. Apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.

No toda la radiación solar extraterrestre que intercepta a la Tierra llega a la superficie de la misma, aun en condiciones de cielo despejado. La radiación solar sufre transformaciones al incidir sobre la atmósfera, entonces es necesario manejar conceptos específicos para los diversos tipos de radiación, que nos ayuden a esclarecer:

**Luz.** Es la energía que recibimos directamente y es llamada energía luminosa.

**Calor.** Por medio de colectores térmicos, la energía solar es transformada en energía térmica.

**Electricidad.** Se logra a través de las llamadas celdas solares, la energía luminosa puede ser transformada en energía eléctrica.

La radiación solar tiene tres tipos:

- Radiación directa.
- Radiación difusa.
- Radiación reflejada.

a) Este no logra traspasar la interfaz entre dos medios) y refracción **La radiación**

**directa.** Es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias, esta puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Para captar mejor la radiación directa se pueden utilizar unos mecanismos llamados seguidores que sirven para orientar el sistema receptor hacia el sol.

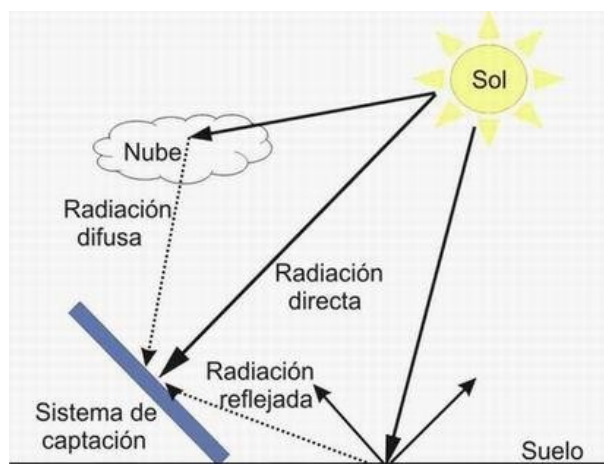
b) **La radiación difusa.** Es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión (es el cambio en la dirección de un rayo de luz cuando solar en la atmosfera (es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro), en las nubes, y el resto de elementos



atmosféricos y terrestres, en este tipo de radiación no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas direcciones.

- c) **La radiación reflejada.** Es la radiación reflejada por el suelo o por los objetos cercanos.

*Figura N° 1 Tipos de radiación en la superficie.*



*Fuente: Rubio (2010), sistema solar, en [www.arquitexs.com](http://www.arquitexs.com).*

### 2.2.1.2 FUENTES DE ENERGÍA SOLAR.

La radiación solar es la energía electromagnética que se emana en los procesos de fusión del hidrógeno en átomos de helio contenido en el sol.

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda es de  $1.5 \times 10^{17}$  kWh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a  $1353 \text{ W/m}^2$ , variable

durante el año un  $\pm 3\%$  a causa de la elasticidad de la órbita terrestre.

El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup>, en condiciones óptimas de sol, a mediodía y en un día despejado.

La radiación solar que llega a la superficie terrestre puede ser directa o dispersa. Mientras la radiación directa incide sobre cualquier superficie con un único y preciso ángulo de incidencia, la dispersa cae en esa superficie con varios ángulos. Es necesario recordar que cuando la radiación directa no puede dar a una superficie a causa de la presencia de un obstáculo, el área en sombra no se encuentra completamente a oscuras gracias a la contribución de la radiación dispersa. Esta observación tiene importancia técnica para los dispositivos fotovoltaicos, que pueden funcionar incluso solamente con radiación dispersa. (CHAVÉZ, 2005)

### **2.2.1.3 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE RADIACIÓN SOLAR.**

Son instrumentos que miden la irradiación solar global (directa y difusa) en un plano horizontal. El elemento receptor debe estar horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste, pero debe estar protegido de la irradiación que regresa del suelo y los alrededores.

Al encontrarse expuesto a todo tipo de condiciones ambientales, el piranómetro debe ser robusto en su estructura y resistir la corrosión del aire húmedo, además su elemento receptor debe encontrarse debidamente aislado (herméticamente cerrado) por un domo de vidrio y ser de fácil desmonte para su desecación.

Los piranómetros normalmente usan sensores termoeléctricos, fotoeléctricos, piroeléctricos o elementos bimetálicos. Tales instrumentos pueden ser usados para medir irradiación a escala diaria, horaria o menor, lo que va a depender más de la programación

del instrumento de adquisición de datos asociado.

Las propiedades de los piranómetros en relación a su grado de precisión y confiabilidad son: sensibilidad, estabilidad, tiempo de respuesta, linealidad, respuesta de temperatura y respuesta espectral.

*Figura N° 2 Piranómetro Kipp, Medidor de radiación solar portátil Cortesía: Eudora Solar.*



*Fuente: Ramón Baylin (1968), Piranómetro, en <http://www.atmosfera.cl/HTML>.*

#### 2.2.1.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE HORAS DEL SOL.

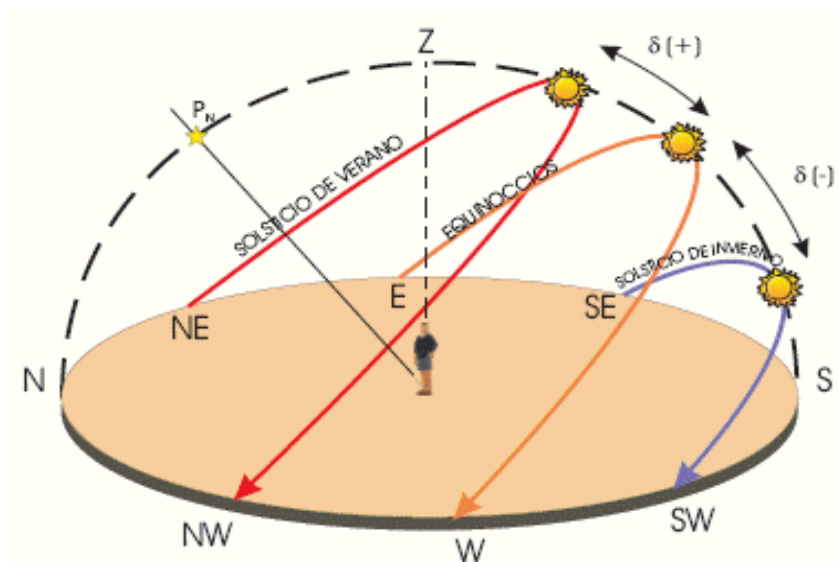
El instrumento de medición se llama Heliógrafo, que mide la cantidad de horas de sol (total en horas y décimos) durante el día en un lugar determinado.

**Figura N° 3** Heliógrafo Campbell-Stokes.

**Fuente:** Ramón Baylin (1968), *Heliógrafo*, en <http://www.atmosfera.cl/HTML>.

### 2.2.1.5 TRAYECTORIA ANUAL DEL SOL.

Debido a la existencia del ángulo de declinación solar, el sol nace y se pierde en diferentes puntos de lo cual se describe una trayectoria con inclinación diferente en cada día del año como se muestra en la figura.

**Figura N° 4** Recorrido solar anual.

**Fuente:** Ramón Baylin (1968), *Sistema Solar*, en <http://www.atmosfera.cl/HTML>.

### 2.2.1.6 IRRADIACIÓN.

La potencia de la radiación solar, que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se le conoce como irradiancia y se mide en unidades de  $W/m^2$ .

Se sabe que la atmósfera terrestre está constituida por gases, nubes, vapor de agua, partículas contaminantes y sólidos en suspensión, que constituyen lo que se conoce comúnmente como masa de aire (AM). A medida que la luz solar la atraviesa, ésta sufre procesos como los anteriormente nombrados, pero que vale la pena recordar como son: absorción, reflexión y refracción, y lo que, en consecuencia hace que la irradiancia disminuya su valor respecto de afuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el Sol en el cenit, la irradiancia máxima que un captador podría recibir es de  $1,000 W/m^2$  como un valor promedio normalizado. Para un día despejado, la componente recibida mayormente en el captador es la directa, mientras que en un día nublado, es la componente difusa, ya que la radiación directa es obstruida por las nubes.

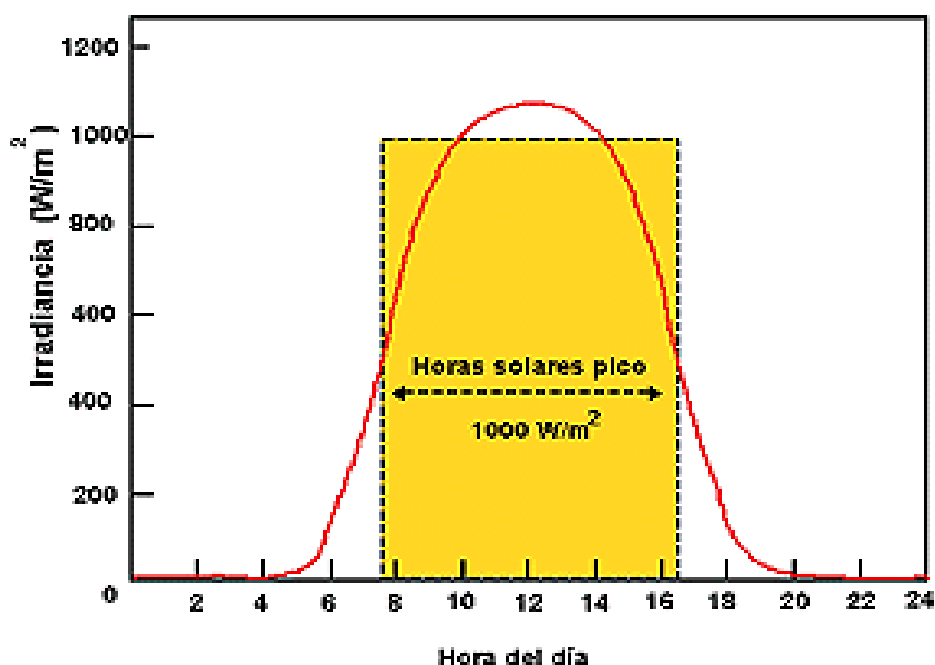
A lo largo del día y bajo condiciones atmosféricas iguales, la irradiancia recibida en un captador varía cada instante, presentando valores mínimos en el amanecer y atardecer, y adquiriendo valores máximos al mediodía. Esto es, por ejemplo, que a las 10 am, el valor de la irradiancia sea diferente y menor al que se obtiene a las 12 pm, ya que la distancia de la luz solar al mediodía es mínima. Lo anterior, se debe por efectos horarios y estacionales. (Soto, 2012)

### 2.2.1.7 INSOLACIÓN.

Éste es otro concepto importante, el cual corresponde al valor acumulado de la

irradiancia en un tiempo dado. Si el tiempo se mide en horas (h), la insolación tendrá unidades de Watts-hora por metro cuadrado (W-h/m<sup>2</sup>). Generalmente, se reporta este valor como una acumulación de energía que puede ser horaria, diaria, estacional o anual. La insolación también se expresa en términos de horas solares pico (HSP). Una hora solar pico es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1,000 W/m<sup>2</sup> (véase figura 6). La energía que produce un arreglo FV es directamente proporcional a la insolación que recibe.

*Figura N° 5 Irradiancia y horas solares pico (Insolación).*



*Fuente: Blasco (2009), horas solares pico, en*

*[http://www.re.sandia.gov/mat/energ\\_solar\\_basica/sld005.htm](http://www.re.sandia.gov/mat/energ_solar_basica/sld005.htm).*

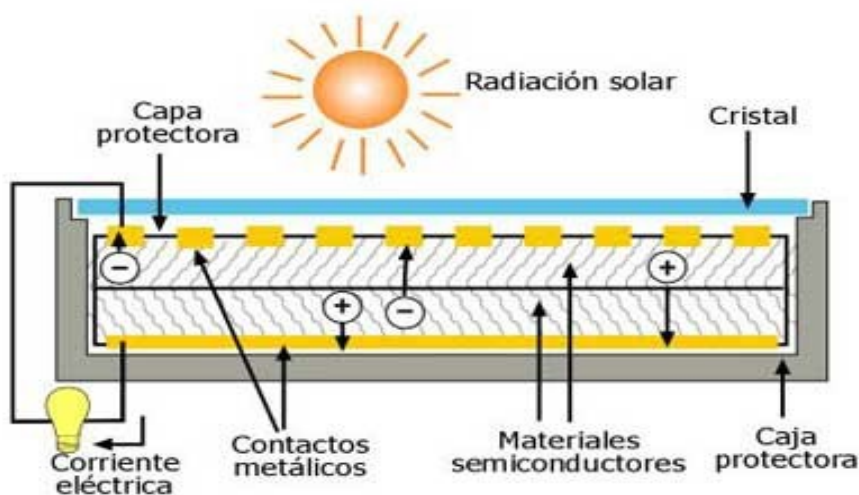
### 2.2.1.8 CONVERSIÓN DE ENERGÍA.

Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada banda de

valencia. Cuando se aplica una cierta cantidad de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada banda de conducción. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso.

El flujo de electrones en el circuito exterior se llama corriente de la célula y su producto por el voltaje con el que se liberan los electrones por los contactos selectivos determina la potencia generada. Todo esto ocurre a temperatura ambiente y sin partes móviles, pues las células solares, que convierten en electricidad sólo una parte de la energía de los fotones absorbidos se calientan sólo unos 25-30°C por encima de la temperatura ambiente.

*Figura N° 6 Conversión de energía en la célula.*



*Fuente: Blasco (2009), Conversión de energía, en <http://www.empresaeiciente.com>*

La estructura típica de una célula solar es una unión p-n similar a los diodos semiconductores. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor. (LAMIGUEIRO, MARZO DE 2013)

#### **2.2.1.9 MATERIALES Y DISPOSITIVOS.**

Los dispositivos FV transforman la energía solar en energía eléctrica. La celda es el dispositivo FV más básico. Las celdas Una célula fotovoltaica es. Una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión P-N, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. También existen celdas no cristalinas o también llamadas amorfas, las cuales existen en diferentes variedades. Una célula suelta es capaz de proporcionar alrededor de medio voltio y una potencia máxima de uno o dos W.

Un módulo FV, también llamado panel solar, es un conjunto de celdas interconectadas eléctricamente y protegidas contra la intemperie. Generalmente, los módulos tienen una cubierta frontal de vidrio templado y un marco de aluminio que facilita su transporte e instalación. Debido a que no tienen partes móviles, los módulos son muy confiables y duraderos. Algunos fabricantes los garantizan hasta por 25 años contra defectos de fábrica y reducción de rendimiento. Otra característica importante es el mínimo mantenimiento que requieren.

Los módulos amorfos tienden a sufrir degradación más acelerada y su eficiencia energética es menor. Sin embargo, en un futuro cercano, la tecnología de módulos



amorfos promete alcanzar la confiabilidad de los módulos cristalinos a un costo más bajo.

Los fabricantes ofrecen módulos de diferentes tamaños o potencia nominal. Los hay de 10 a 300W, aunque los más comunes son los de 50W de potencia nominal, Los módulos cristalinos de 50W y 100W tienen una superficie de aproximadamente 0.5m<sup>2</sup>. En un arreglo FV los módulos se interconectan para obtener mayor potencia.

### **Materiales de fabricación.**

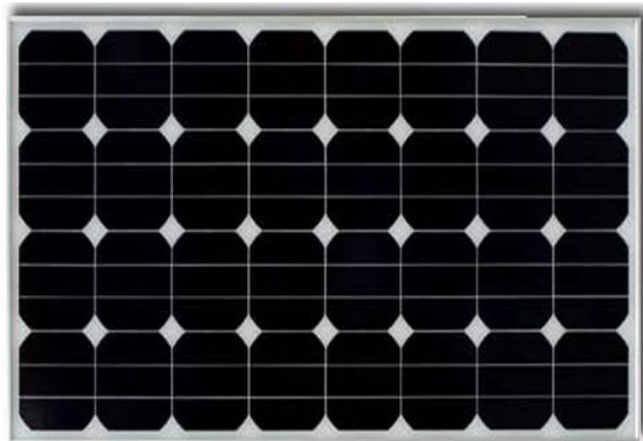
El efecto fotovoltaico se puede llevar a cabo en materiales sólidos, líquidos o gaseosos; pero es en sólidos, especialmente en los materiales semiconductores, en donde se han encontrado eficiencias aceptables de conversión de energía luminosa a eléctrica. Existen diferentes materiales semiconductores con los cuales se pueden elaborar celdas solares, pero el que se utiliza comúnmente es el silicio en sus diferentes formas de fabricación:

### **Silicio Monocristalino.**

Son las primeras células fotovoltaicas que salieron al mercado y son las más utilizadas. Su superficie homogénea y de color azul, puede tomar forma redonda o cuadrada. Aunque su fabricación es más compleja que la del resto, y su costo es superior, su rendimiento es el más elevado, lo cual se traduce en una reducción de espacio. Se obtienen cortando obleas de un solo cristal de silicio puro.

El grosor de las células es del orden de 300 micras. Su rendimiento se sitúa entre el 15 y 20% en la fabricación en serie, cifrándose la duración de las células entre 25 y 30 años.

*Figura N° 7 Aspecto de una red de células de silicio monocristalino.*



*Fuente: Rubio (2010), paneles solares, en <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>*

### **Silicio Policristalino.**

Se elaboran a partir de obleas formadas por muchos cristales de silicio. El rendimiento de estas células se encuentra entre el 10 y el 15% en la fabricación en serie. En general, ocupan un tercio más de espacio que las monocristalinas, son de constitución cuadrada y tienen un precio inferior.

Las células de silicio policristalino se distinguen claramente porque la superficie de la célula tiene muchos tonos diferentes de color azul.

Actualmente son la tecnología mayoritaria en términos de producción.

*Figura N° 8 Células policristalinas.*



*Fuente: Rubio (2010), paneles solares, en <http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>*

**Silicio Amorfo.**

Dentro de la tecnología del silicio en capa delgada, destaca la de la a-si (silicio amorfo).

La célula se fabrica depositando átomos de silicio en un material de sustrato, que puede ser rígido o flexible (figura 10). Durante la solidificación, los átomos no pueden enlazarse entre sí, por lo que quedan desordenados, sin formar una estructura cristalina.

*Figura N° 9 Célula de capa delgada montada sobre un sustrato flexible.*



*Fuente: Rubio (2010), paneles solares, en  
<http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>*

*Tabla N° 1 Características de las diferentes células solares.*

TIPO DE CELULA	RENDIMIENTO	CARACTERISTICAS
Monocristalino	15-18%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cristal único</li> <li>• Buen rendimiento</li> <li>• Color azul homogéneo</li> </ul>
Policristalino	12-14%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferentes cristales elementales</li> <li>• Precio inferior al del anterior</li> <li>• Diferentes tonalidades de azul</li> </ul>
Amorfo	<10%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capa delgada</li> <li>• Células flexibles en forma de laminas</li> <li>• Color marrón homogéneo</li> </ul>

*Fuente: Cáceres (2010), paneles solares, en  
<http://www.consoliderhope.uji.es/energiaSolar.php>*

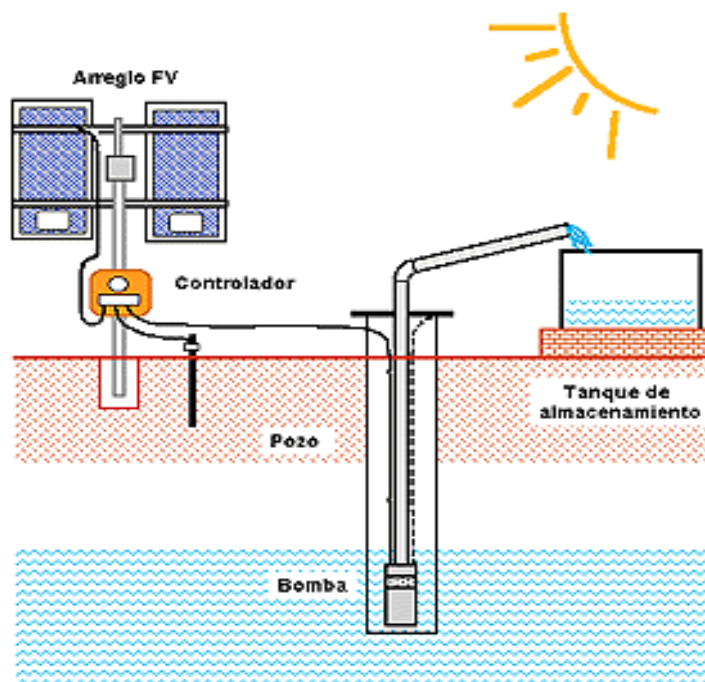
### **Instalación.**

Una instalación fotovoltaica está compuesta por un grupo generador, formado por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un regulador de carga, un grupo acumulador y un inversor.

Durante las horas de insolación, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua que es almacenada en los acumuladores. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran ésta electricidad, teniendo que ser transformada en corriente alterna por el inversor, a los receptores.

La potencia de las instalaciones fotovoltaicas se da en Wp, que corresponde a la potencia que dan los módulos a 25°C de temperatura y bajo condiciones de insolación de 1000 W/m<sup>2</sup>. La potencia en Wp del módulo corresponde, aproximadamente, a la potencia máxima que puede generar. (LAMIGUEIRO, MARZO DE 2013)

*Figura N° 10 Partes de una instalación fotovoltaica.*



*Fuente: Cáceres (2012), energías renovables y aplicación, en <http://solar.nmsu.edu>*

## 2.2.2 CONCEPTOS DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

### 2.2.2.1 FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Los países desarrollados han asumido el compromiso de disminuir sus emisiones de gases efecto invernadero mediante la introducción de energías renovables y medidas de eficiencia energética, en sustitución del uso de combustibles fósiles.

El crecimiento de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial en el año 2010, superó el 70% de la potencia instalada en el 2009. Solamente en el 2010 se instalaron en el mundo, principalmente en los países industrializados (China, Asia Pacífico, EEUU, Japón, la Unión Europea y otros) 39600 MW de generación fotovoltaica, mayormente conectados a la red, ocasionando que el precio por vatio instalado se redujera en un 71.4% en comparación con el año 2000, lo que representó en ese año un auge de este tipo de tecnología renovable.

Como parte de un modelo de transformación, que combata la crisis económica y social, la Unión Europea planteó en el año 2010 una estrategia que enfrente las debilidades estructurales de los sistemas vigentes hasta esa fecha, con lo cual, el desarrollo de una economía basada en el conocimiento y la innovación, la promoción de un uso más eficaz de los recursos, que sea más verde y competitiva y el fomento de un alto nivel de empleo que tenga cohesión social y territorial, sean los tres pilares fundamentales que le permitan encontrar nuevos mecanismos para afrontar los retos del siglo XXI.

El escenario los módulos fotovoltaicos que garanticen una rentabilidad para los sistemas fotovoltaicos en los diferentes sectores de consumo para esta década, considerando un incremento de la tarifa convencional en un 5%, y con la participación de los industriales quienes pueden lograr la paridad en el año 2013 con la entrada en operación de generación fotovoltaica en el orden de 20 kW hasta los 2 MW. De igual forma al año 2016, el sector residencial se verá enormemente favorecido al transformarse en autoproducer.

Por otro lado, con las fluctuaciones del precio del petróleo crudo y la inestabilidad de los sistemas económicos de los países productores de petróleo, harán insostenible una matriz basada en generación con derivados de petróleo. Los nuevos avances en la integración del mercado europeo de la energía podría añadir un porcentaje a su PIB, a parte que el fomento a las energías renovables crearía nuevos puestos de trabajo en la UE, además de los ahorros producidos para el Estado, por la aplicación de medidas de eficiencia energética.

Sólo un conjunto específico de medidas garantizará un impacto considerable, en pro de fomentar a las energías renovables. Dichas medidas pueden resumirse en las

siguientes:

- a) Inclusión en una Ley de la Constitución de un País, para la lucha contra el cambio climático y la diversificación de la matriz energética.
- b) Estrategia definida dentro de una Planificación de Estado (Perú).
- c) Normativa y Regulación vigente que fije el precio, el tiempo y la forma de pago de las energías renovables.
- d) Normalización, Estandarización y Certificación de tecnologías.
- e) Incentivos y fomento de industrias.
- f) Socialización y capacitación de estas tecnologías a la población.

En resumen, las energías renovables tendrán un rol creciente entre los años 2000 y 2020 por el agotamiento de los hidrocarburos, el petróleo y el gas natural y la disminución del uso de la biomasa tradicional (leña) y del carbón. Las restricciones ambientales han ido deprimiendo la posible expansión de los energéticos más contaminantes, a la vez que la tecnología desarrolla nuevos combustibles como el etanol, el biodiesel e hidrógeno a partir de fuentes renovables y de menor impacto ambiental. Esas fuentes ya están ingresando intensamente en el mercado ante los crecientes precios de los hidrocarburos líquidos y gaseosos. Paralelamente, se registra una fuerte entrada de la generación de electricidad con energía eólica y solar cuyos costos de inversión son más bajos. Así entonces, varios países del mundo consideran a la energía fotovoltaica dentro de su mix energético, que aproximadamente estará en el orden del 2% de su potencia instalada al año 2020. (Herrejón, 2009)

### 2.2.2.2 SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EL PERÚ.

Para darse una idea mejor de su capacidad, especialistas han estimado que la energía solar que llega a la Tierra es de aproximadamente 15,000 veces más de lo que toda la humanidad usa anualmente.

Con tecnología adecuada tendríamos energía más que suficiente para aprovechar. Con la energía solar podemos convertir la radiación directamente en electricidad sin quemar nada, siendo esta una de las razones que la convierten en una opción atractiva para solucionar problemas de la electrificación en zonas rurales, protegiendo el ambiente.

Otras de las razones es su gran disponibilidad como recurso energético. Comparando con otros países, en la gran mayoría de localidades del Perú su disponibilidad es bastante grande y uniforme durante el año.

Además, la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia.

El Perú cuenta con un importantísimo potencial en energía solar. Por ejemplo, en el sur se puede encontrar que la energía solar incidente diaria promedio anual es de 6-6.5 kWh/m<sup>2</sup> (Puno).

Está en nuestras manos proponer proyectos de desarrollo rural viables, sostenibles y reproducibles acordes con la propuesta de política energética del Estado peruano para el año 2040.

La meta es contar con una matriz energética diversificada con énfasis en las fuentes renovables, sostenibles y eficiencia energética, como es el caso de la energía solar. Para ello hace falta mejorar la tecnología aplicada y adecuar los costos a la realidad peruana.



*Tabla N° 2 Radiación Solar en el Perú.*

LUGAR	DEPARTAMENTO	ALTITUD (m)	RAD. SOLAR $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 - \text{día}}$
Characato	Arequipa	2461	7.094
Puno	Puno	3825	6.804
Huancayo	Junin	3350	6.780
Moquegua	Moquegua	1420	6.141
Huaraz	Ancash	3207	5.792
Kayra	Cusco	3219	5.280
Abancay	Apurimac	2398	5.210
Cajamarca	Cajamarca	2750	4.582

*Fuente: Ministerio de Energía y Minas - Atlas Minería y Energía en el Perú 2001.*

### 2.2.2.3 SITUACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN PUNO.

El altiplano andino es una región localizada en el Sur del Perú y se prolonga hacia el territorio boliviano. Como su nombre mismo lo sugiere, es una extensa llanura ubicada a una altura de alrededor de los 4.000 m.s.n.m. En el invierno la temperatura en algunos lugares puede llegar hasta  $-16^{\circ}\text{C}$ , alcanzando un máximo de  $19^{\circ}\text{C}$  en la primavera. En Puno el promedio anual de la irradiación solar sobre superficie horizontal es de 6.80 kWh/m<sup>2</sup>día (Puno). La irradiación mínima ocurre en el mes de enero con 5,1 kWh/m<sup>2</sup>día y la máxima en el mes de octubre con 7,2 kWh/m<sup>2</sup>día (Horn, CER-UNI).

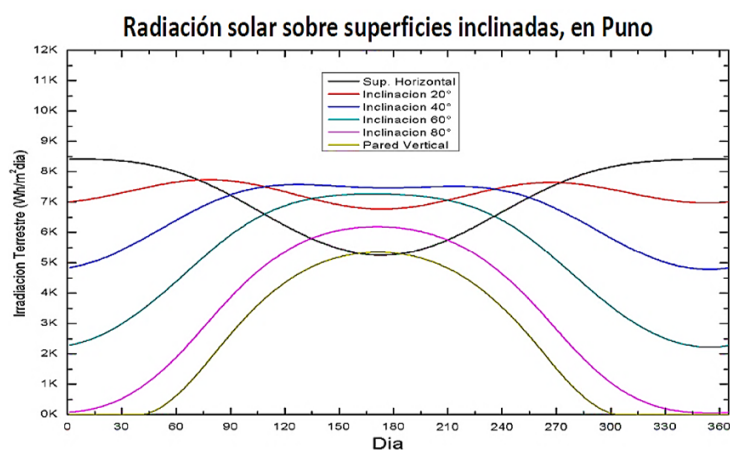
*Tabla N° 3 Radiación Solar en Puno*

RADIACION, TEMPERATURA Y PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL PARA EL DEPARTAMENTO DE PUNO				
MES	RADIACION (kWh/m2-DIA)	TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	PRECIPITACION (MM2)	OBSERVACIONES
Enero	5.06	10.00	143.00	
Febrero	5.70	10.20	129.00	
Marzo	5.40	9.20	140.00	
Abril	5.80	9.80	36.00	
Mayo	5.70	8.30	10.00	
Junio	5.50	7.10	1.00	
Julio	5.50	6.80	2.00	
Agosto	6.50	8.10	9.00	
Setiembre	6.70	10.20	28.00	
Octubre	7.20	11.40	33.00	
Noviembre	6.70	10.70	45.00	
Diciembre	6.30	9.40	98.00	
<b>PROMEDIO ANUAL</b>	<b>6.01</b>	<b>9.27</b>	<b>56.17</b>	

*Fuente: Atlas Solar del Perú 2002.*

El Perú es un país dentro de la zona del trópico (latitudes de 0 –18°sur), con niveles de radiación solar muy alta. Del gráfico se observa que para captar más energía solar durante todo el año, la mejor orientación es una superficie inclinada 0 –40° hacia el norte. (Rubio, 2001)

*Figura N° 11 Radiación solar sobre superficies inclinadas en Puno.*



*Fuente: XVIII Simposio Peruano de Energía Solar Lima 14 –2011/UNI*

### *ENERGÍA SOLAR PARA EL DESARROLLO DE REGIONES RURALES ANDINAS ALEJADAS*

La radiación solar directa diaria, incidente sobre una superficie mirando al norte y con una inclinación con respecto a la horizontal, para lat. 15°sur y altitud 4000 msnm.

#### **2.2.2.4 ELEMENTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.**

##### **Panel solar o modulo fotovoltaico**

El panel fotovoltaico (FV), es el sistema captador de la energía solar en el que tiene una conversión directa, para proporcionar corriente eléctrica continua. Su tamaño (superficie captación), el rendimiento de componentes semiconductores, la irradiación solar en un momento dado y el ángulo sobre en el que se proyectan los rayos del sol, determinan la potencia proporcionada.

Es el generador del sistema, transformando la energía de la radiación solar en energía eléctrica de corriente directa DC. El panel solar o conjunto de paneles deben ser determinados de tal manera que suministren la energía requerida por todo el sistema, donde se los aplique.

Un panel solar es el conjunto de celdas o células solares en una determinada configuración para conseguir un voltaje y una corriente específicos. Estos son construidos con silicio, material abundante en nuestro planeta.

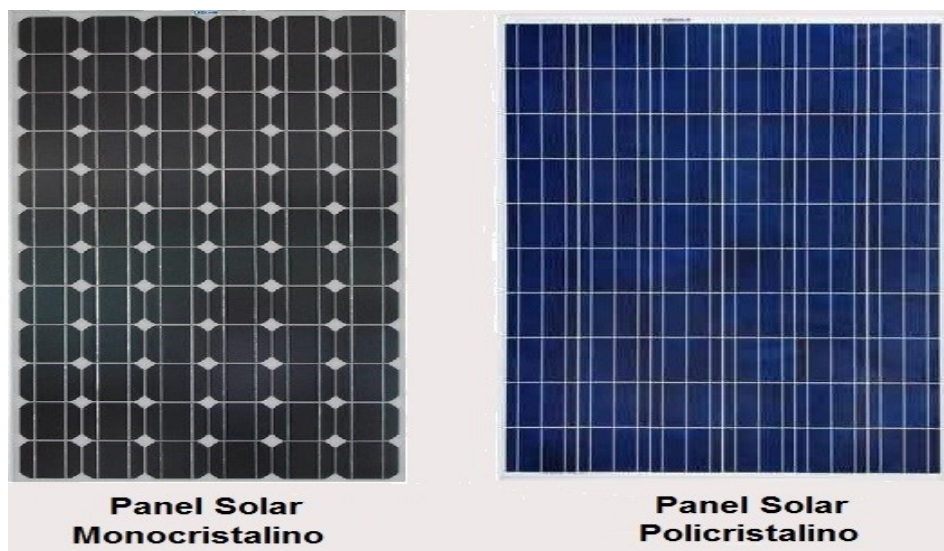
Cada celda típica de un panel fotovoltaico provee una cantidad relativamente pequeña de energía, por ejemplo una celda de silicio de 6cm de diámetro puede producir 0.5 amperios a 0.5 voltios. Por lo que es necesario realizar conexiones serie-paralelo de las celdas para que el panel tenga un voltaje y una corriente nominales estándar.

Para la protección física del panel y para que este pueda disipar el calor de la

radiación solar no convertida en electricidad, se tienen capas de sustrato y vidrio especiales protegiéndolo además del polvo, la lluvia y daños por corrosión.

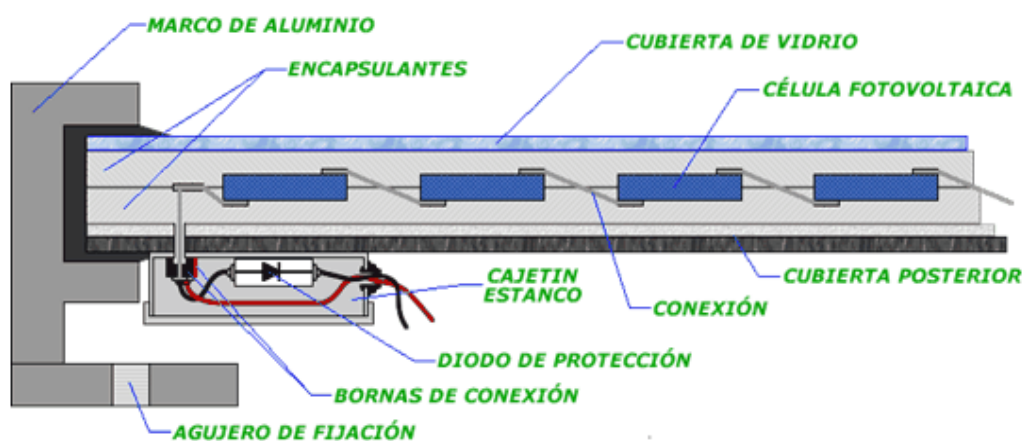
Los valores de generación de potencia de los paneles solares van en el rango de 50-150 W/m<sup>2</sup>.

*Figura N° 12 Paneles solares fotovoltaicos.*



*Fuente: Rubio (2001), paneles solares, en <http://energia-renovable.eu>.*

*Figura N° 13 Partes de un panel fotovoltaico.*



*Fuente: Herrejón (2009), paneles solares, en <http://www.ujaen.es>.*

## **Controlador**

Los controles electrónicos pueden mejorar el rendimiento de un sistema de bombeo solar bien diseñado del 10 al 15%. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen del 4 al 7% de la potencia del arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico). (Richard Cáceres Ortiz, Fidel Lagos Gómez, Frans Dennys Carhuamaca Castro., 2012)

### **2.2.2.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.**

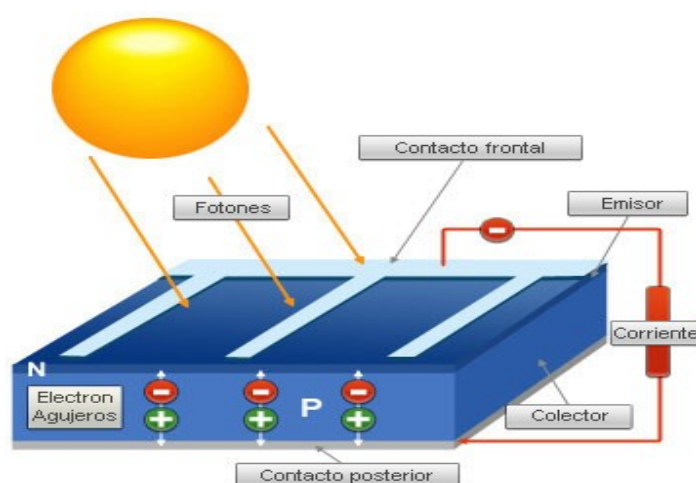
Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica están basadas en el aprovechamiento del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la radiación solar sobre las celdas fotovoltaicas formadas por materiales semiconductores. Los fotones que integran la radiación solar incidente chocan con los electrones de valencia de los materiales semiconductores, de manera que estos electrones rompen su enlace que anteriormente los tenía ligado a un átomo. Por cada enlace que se rompe queda un electrón y un hueco (falta de electrón en un enlace roto) cuyo movimiento en sentidos opuestos (conseguido con la aplicación de un campo eléctrico) genera una corriente eléctrica en el semiconductor la cual puede circular por un circuito externo.

El campo eléctrico necesario al que hacíamos referencia anteriormente, se consigue con la unión de dos semiconductores a los que artificialmente se han dotado de concentraciones diferentes de electrones (mediante la adición de las sustancias dopantes, como pueden ser el fósforo, que le da una característica negativa y el boro, que le da una

característica positiva). Se forma de esta manera un semiconductor tipo P (exceso de huecos) y otro tipo N (exceso de electrones), que al unirlos crea el campo eléctrico.

De esta forma, cuando sobre la célula solar fotovoltaica incide la radiación solar, aparece en ella una tensión que mediante la colocación de contactos metálicos en cada una de las caras puede “extraerse” la energía eléctrica, que es utilizada en distintas aplicaciones. (Rubio, 2001)

*Figura N° 14 Principio de funcionamiento de la Solar Fotovoltaica.*



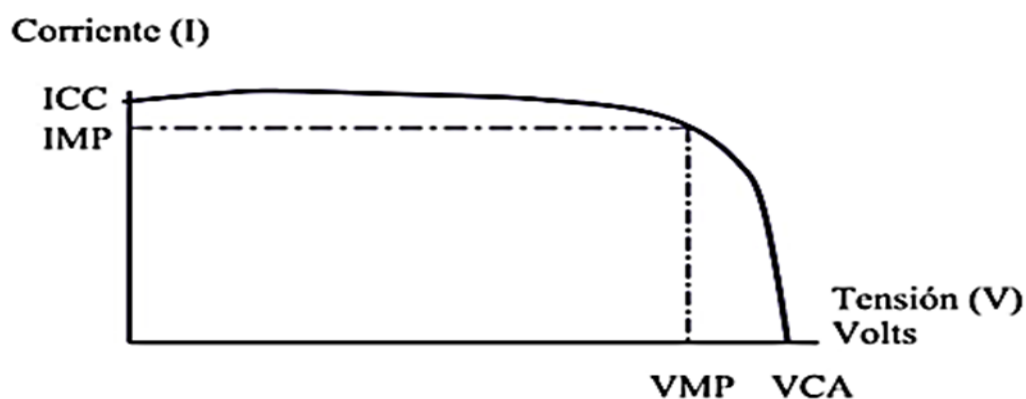
*Fuente: Rubio (2001), energías renovables y aplicación, en <http://www.ujaen.es/>.*

#### **Denomina curva corriente tensión.**

La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango.

La corriente y tensión a la cual opera el dispositivo fotovoltaico están determinadas por la radiación solar incidente, por la temperatura ambiente, y por las características de la carga conectadas al mismo.

*Figura N° 15 Curvas Características de las Celdas Fotovoltaicas*



*Fuente: Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>*

Los valores trascendentes de esta curva son:

**Corriente de cortocircuito ( $I_{cc}$ ):** Máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

**Tensión de circuito abierto ( $V_{ca}$ ):** Máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

**Potencia Pico ( $P_{mp}$ ):** Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto  $V \times I$  es máximo.

**Corriente a máxima potencia ( $I_{mp}$ ):** Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como corriente nominal del mismo.

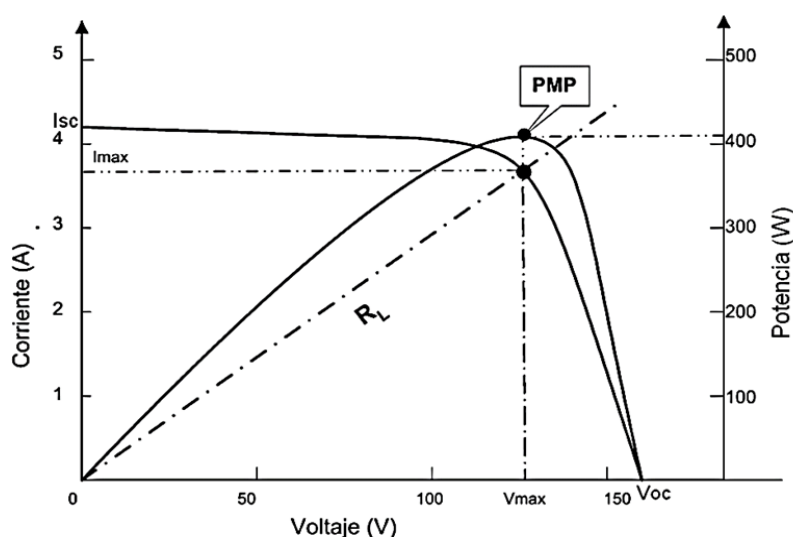
**Tensión a máxima potencia ( $V_{mp}$ ):** tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y Temperatura. Se la utiliza como tensión nominal del mismo.

Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica: proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Después, son ensambladas de la manera adecuada para constituir una única estructura: los módulos fotovoltaicos.

#### Parámetros eléctricos del generador fotovoltaico.

Cuando las celdas del generador se exponen a la luz, en las terminales eléctricas del generador aparece un voltaje, el cual se conoce como voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$ ; si las terminales se cortocircuitan, circulará una corriente eléctrica, denominada corriente de corto circuito  $I_{sc}$ . Cualquier elemento resistivo  $R_L$  que se conecte al generador definirá un voltaje y una corriente de operación; luego entonces, al variar la resistencia  $R_L$  se puede generar la curva característica I-V del generador FV, como se muestra en la Figura 17. Si además se realiza el producto de los valores de I-V, se obtiene la curva de potencia del generador.

**Figura N° 16** Parámetros punto de máxima potencia eléctrica.



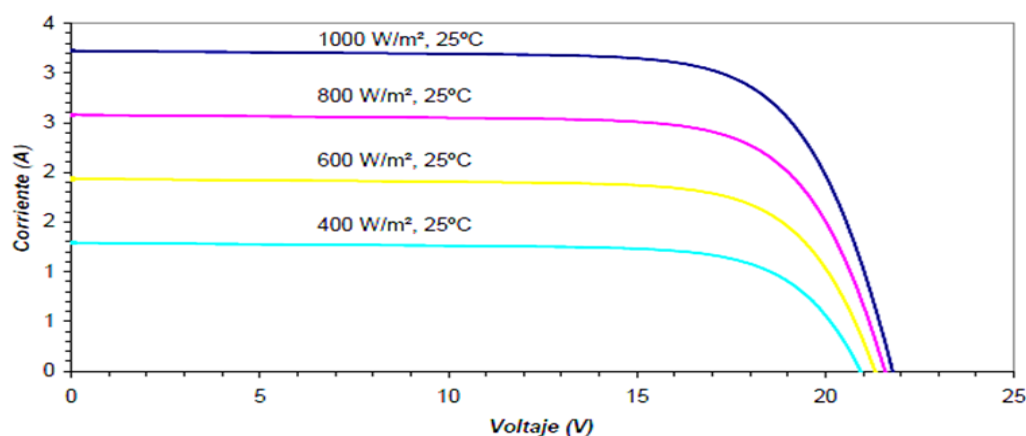
**Fuente:** Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>



### *Efectos de la intensidad luminosa y la temperatura*

En un generador FV, la corriente generada es proporcional a la irradiancia de una forma prácticamente lineal, lo cual puede apreciarse en la Figura 19, donde al disminuir la irradiancia la corriente de corto circuito ISC disminuye de una forma proporcional; el voltaje suele permanecer casi constante cuando se opera en puntos trazados por la recta que define los diferentes puntos de máxima potencia.

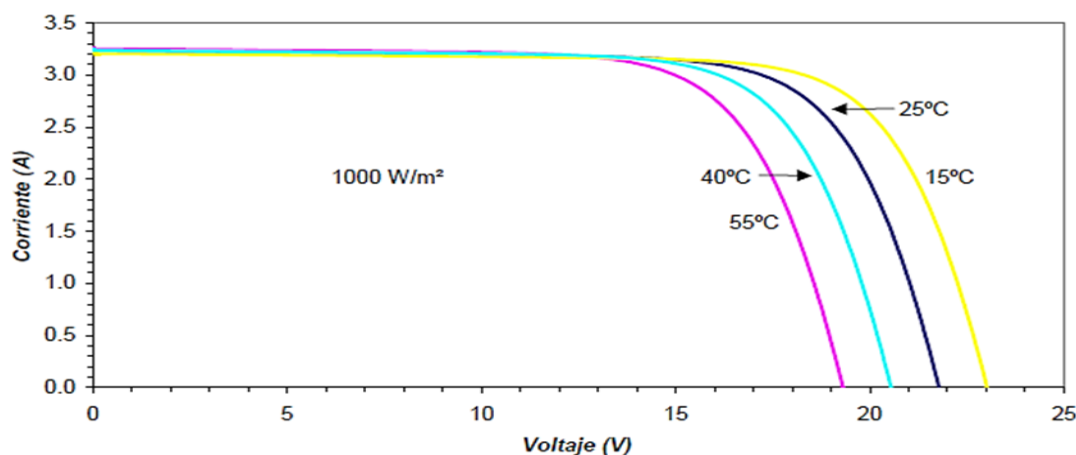
*Figura N° 17 Variación de las curvas I-V de un módulo FV típico con la irradiancia incidente para una temperatura de 25°C.*



**Fuente:** Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>

El generador fotovoltaico se calienta al exponerse al sol como cualquier otro captador solar. Este aumento de temperatura afecta sus características eléctricas, lo cual se ve reflejado en una ganancia marginal de ISC, mientras que el voltaje se ve afectado más significativamente a la baja, conforme aumenta la temperatura (Figura 20). En la práctica, esto se traduce en una baja de la potencia entregada por el mismo, lo que significa también una menor eficiencia. (LAMIGUEIRO, MARZO DE 2013)

**Figura N° 18** Variación de las curvas I-V de un módulo FV típico con la temperatura de operación para una irradiancia constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ .



**Fuente:** Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>

### 2.2.2.6 TIPOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS.

#### Paneles Solares Termodinámicos.

Los paneles solares termodinámicos son la solución más popular últimamente, debido a su mayor eficiencia, mejor precio y mayor versatilidad. Son más eficientes debido a que son capaces de captar energía de cualquier estado meteorológico, la lluvia, el viento, la luna, etc. Son más versátiles por el peso de los paneles, mucho más ligeros que las demás alternativas. Además de estas ventajas, tanto los equipos como su instalación tienen un coste menor.

#### Paneles solares térmicos.

Los paneles solares térmicos son los que funcionan de forma más simple. Consiste en que los rayos del sol calientan los paneles, que contienen un líquido caloportador que circula hacia el interior de la vivienda. Estos son recomendables para zonas que tengan recepción directa del sol a altas temperaturas, preferiblemente en zonas rurales, donde hay espacio suficiente, ya que necesitan un tamaño mayor debido a la menor eficiencia de este tipo de panel.

**Paneles solares fotovoltaicos.**

Los paneles solares fotovoltaicos fueron una revolución cuando se inventaron. Su implantación en los primeros edificios hizo que se vislumbrara por primera vez la posibilidad de generar suficiente energía como para abastecer las necesidades del propio edificio. Este tipo de sistema consiste en que la energía de la radiación solar se transmite a los electrones de los materiales semiconductores de los paneles, que consiguen así separarse del núcleo y trasladarse, creando una corriente eléctrica.

**2.2.2.7 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.****Ventajas**

- a) Es energía no contaminante.
- b) Proviene de una fuente de energía inagotable.
- c) Es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (campo, islas).
- d) Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.
- e) El costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando (el costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo porque cada vez hay menos).

**Inconvenientes**

- a) El nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra, en nuestra zona varía un 20% de verano a invierno).
- b) Para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno.
- c) Requiere gran inversión inicial.

- d) Se debe complementar este método de convertir energía con otros.
- e) Los lugares donde hay mayor radiación, son lugares desérticos y alejados, (energía que no se aprovechara para desarrollar actividad agrícola o industrial, etc.)
- f) Se tiene que instalar en un lugar donde haya radiación solar.
- g) menor rendimiento.
- h) Su instalación debe ser en zonas donde la radiación solar sea mayoritaria, diaria y anualmente.
- i) Tiene menos rendimiento que otros sistemas.
- j) Su mecánica es más compleja que otros sistemas de aprovechamiento de energías.
- k) Tiene peligro por las altas temperaturas que alcanza.

### **2.2.3 ESTACIÓN DE BOMBEO Y CONCEPTOS SOBRE HIDRÁULICA**

#### **1.1.1.1. ESTACIÓN DE BOMBEO.**

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

#### **Elementos de las Estaciones de Bombeo.**

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:

- a) Caseta de bombeo.
- b) Cisterna de bombeo.
- c) Equipo de bombeo.
- d) Grupo generador de energía y fuerza motriz.

- e) Tubería de impulsión.
- f) Válvulas de regulación y control.
- g) Equipos para cloración.
- h) Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- i) Tableros de protección y control eléctrico.
- j) Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- k) Área para el personal de operación.
- l) Cerco de protección para la caseta de bombeo.

#### **Ubicación de la Estación de Bombeo.**

La ubicación de la estación de bombeo debe ser seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo, para lo cual se tendrá en cuenta los siguientes factores:

- a) Fácil acceso en las etapas de construcción, operación y mantenimiento.
- b) Protección de la calidad del agua de fuentes contaminantes.
- c) Protección de inundaciones, deslizamientos, huaycos y crecidas de ríos.
- d) Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- e) Disponibilidad de energía eléctrica, de combustión u otro tipo.
- f) Topografía del terreno.
- g) Características de los suelos.

#### **1.1.1.2. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.**

Un fluido es una sustancia que fluye porque las partículas que lo componen no se encuentran unidas de forma rígida. Esta definición incluye principalmente a líquidos y gases.

Las principales propiedades que presenta un fluido son:

**Temperatura.-** es la medida de la actividad molecular de una sustancia, a mayor actividad es mayor la temperatura. Es común relacionarlo con la cualificación de qué tan caliente o frío se encuentra una sustancia.

**Presión.-** es la medida de la fuerza ejercida por unidad de área en la superficie externa del fluido.

**Volumen específico.-** es el volumen de fluido que contiene una unidad de masa del mismo.

**Densidad.-** es la masa que tiene una unidad de volumen del fluido.

**Flotabilidad.-** la tendencia de un cuerpo a flotar o suspenderse en un fluido cuando se encuentra sumergido en éste.

**Compresibilidad.-** es la medida del cambio en volumen que una sustancia sufre cuando existe presión sobre ella. En el caso de fluidos, los líquidos son considerados incompresibles y los gases como compresibles.

**Viscosidad.-** es la medida de la resistencia de un fluido a deformarse debido a una fuerza cortante. Se debe a la fricción entre las capas internas del fluido, la cual produce una resistencia a fluir.

### 1.1.1.3. DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.

Un paso para la determinación del diseño de la línea de impulsión es la elección del diámetro de la tubería, y para obtener el diámetro óptimo y económico utilizamos la fórmula empírica de BRESSE para bombeos convencionales y fotovoltaicos.

$$D_{imp} = 1.12 \times \left(\frac{N}{4}\right)^{0.25} \times \sqrt{Q_B} \dots \dots \dots (Ec. 1)$$

Donde:

$Q_B$ : Caudal de Bombeo Diario ( $m^3/s$ )

$N$ : Número de Horas de Bombeo (horas)

$D_{imp}$ : Diámetro de la Tubería de Impulsión (m)

#### 1.1.1.4. VELOCIDAD MEDIA DEL FLUJO.

Establecido el diámetro de diseño, si este no es comercial se determina la velocidad media del flujo en la tubería escogiendo para esto el diámetro inmediato superior comercial y utilizando la ecuación de continuidad tenemos:

$$V = \frac{4Q_b}{\pi D^2} \dots \dots \dots (Ec.2)$$

Donde:

$V$  : Velocidad media del agua a través de la tubería (m/s).

$D^2$  : Diámetro interior comercial de la sección transversal de la tubería (m).

$Q_b$  : Caudal de bombeo igual al caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

Si la velocidad no se encuentra dentro de los rangos permitidos ( $0.21 < > 3.81m/s$ ) para líneas de impulsión que son definidos en la sección de criterios y parámetros de diseño, el diámetro se cambia a uno en el cual se cumpla estas exigencias.

#### 1.1.1.5. PÉRDIDAS EN TUBERÍAS.

La pérdida de carga en una tubería, es la pérdida de energía dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene.

Pueden ser continuas, a lo largo de conductos regulares o accidental o localizada, debido a circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, la

presencia de una válvula, etc.

Las pérdidas de carga en las tuberías son de dos tipos: pérdidas primarias y pérdidas secundarias. (Guillermo, 1978)

### **Pérdidas primarias.**

Son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluidos con otras (régimen laminar) o las de partículas de fluido entre sí (régimen turbulento).

Con los datos de la velocidad de flujo en el sistema de impulsión se procede con el cálculo de la pérdida por carga por fricción en la línea utilizando para lo cual la ecuación de HAZEN – WILLIAMS el cual se expresa:

$$S = \left( \frac{Q_b}{0.0004264 \times D^{2.63} \times C} \right)^{\frac{1}{0.54}} \dots\dots\dots(\text{Ec.3})$$

El sistema de bombeo tiene dos tramos con tuberías de impulsión de diferente material (HDPE y tubo de F°G°).

### **Pérdidas secundarias.**

Cuando el fluido se desplaza uniformemente por una tubería recta, larga y de diámetro constante, la configuración del flujo indicada por la distribución de la velocidad sobre el diámetro de la tubería adopta una forma característica. Cualquier obstáculo en la tubería cambia la dirección de la corriente en forma total o parcial, altera la configuración característica del fluido y ocasiona turbulencia, causando una pérdida de energía mayor de la que normalmente se produce en un flujo de tubería recta. Ya que las válvulas y accesorios en una línea de tuberías alteran la configuración del flujo, producen una pérdida de presión adicional llamada pérdida secundaria. Las pérdidas secundarias en válvulas y accesorios que conforman un sistema de tuberías se pueden calcular por el



siguiente método que se explican a continuación:

La determinación de las pérdidas locales es calculada por la ecuación de BORDE – BELANGER teniendo en cuenta la cantidad de accesorios y la velocidad del flujo:

$$h_s = \sum K \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(Ec4)$$

Dónde:

*h<sub>s</sub>* : Pérdidas de carga secundarias (m)

*K* : Coeficiente de pérdida de conexiones (adimensional)

*V* : Velocidad del fluido dentro del accesorio (m/s)

Si se trata de un cambio de sección como contracción o ensanchamiento, suele tomarse la velocidad en la sección menor.

**Tabla N° 4** Valores aproximados de *K* (pérdidas de carga locales).

\*Con base en la velocidad mayor (sección menor)

Pieza o Accesorio	K
Compuerta abierta	1.00
Codo 90°	0.90
Codo 45°	0.40
Curva de 90°	0.40
Curva de 45°	0.20
Curva de 22.30°	0.10
Rejilla	0.75
Boquillas	2.75
Válvula de angula abierta	5.00
Válvula de compuerta abierta	0.20
Válvula tipo globo abierta	10.0
Salida de tubo	1.00
Entrada normal del tubo	0.50
Entrada de borda	1.00
Válvula de pie	1.75
Válvula de retencion	2.50
Ampliacion gradual	0.30*
Reduccion gradual	0.15*

**Fuente:** Manual de hidráulica, (Guillermo, 1978).

**1.1.1.6. POTENCIA DE IMPULSIÓN.**

Establecidas las pérdidas se procede a calcular la potencia necesaria para impulsar la columna de agua desde el pozo al reservorio.

Para esto es necesario conocer ciertos parámetros como:

**Caudal de bombeo (Qb).**- Es aquel caudal requerido para abastecer al reservorio y que es producido por el pozo con un cierto descenso en el nivel de agua respecto del nivel estático cuando se realiza la extracción del acuífero.

A este nivel de descenso se le denomina nivel dinámico y se obtiene de las pruebas de bombeo que se realiza al pozo antes de la puesta en operación.

**Altura dinámica total (HDT).**- Representado por la diferencia del nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada (nivel máximo de descarga al reservorio) y el nivel dinámico del pozo incluido las pérdidas de carga totales (fricción y locales) desarrolladas durante la impulsión y descarga. También se obtiene por la sumatoria de la altura de impulsión más altura de succión.

**Altura de impulsión.**- Se obtiene por la diferencia de niveles entre la llegada de las aguas en el reservorio y el eje de la bomba más las pérdidas de carga (fricción y locales) de dicho tramo.

**Potencia de consumo.**- La Energía que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como Potencia de Consumo (Pc) y es calculada por la expresión:

$$P_B = \frac{\delta \times g \times HDT \times Q_B}{\eta_B} \dots \dots \dots (Ec.5)$$

Donde:

$P_B$ :	Potencia de la bomba	$W$
$\delta$ :	Densidad del agua	$kg/m^3$
$g$ :	Gravedad	$m/s^2$
$HDT$ :	Altura Dinámica total de Bombeo	$m$
$Q_B$ :	Caudal de Bombeo	$(m^3/s)$ .

$\eta_b$ : Eficiencia de la Bomba

### Potencia instalada.

El motor que se acopla a la bomba para su funcionamiento necesita una energía denominada potencia Instalada ( $P_i$ ) y es calculada por la expresión:

Se calcula con la eficiencia del sistema en conjunto BOMBA – MOTOR, dicha eficiencia se calcula con la expresión:

$$\eta_c = \eta_B \times \eta_M \dots \dots \dots (\text{Ec.6})$$

Donde:

$\eta_c$  : Eficiencia del sistema en conjunto bomba-motor (%).

$$\eta_c = \eta_b \cdot \eta_m$$

Y por consiguiente el Cálculo de potencia instalada del sistema se da por la ecuación:

$$P_B = \frac{\delta \times g \times HDT \times Q_B}{\eta_c} \dots \dots \dots (\text{Ec.7})$$

Donde:

$P_B$ : Potencia de la bomba (W)

$\delta$ : Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$G$ : Gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

$HDT$ : Altura total de Bombeo (m)

$Q_B$ : Caudal de Bombeo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$\eta_b$ : Eficiencia de la Bomba

$\eta_m$ : Eficiencia del motor

$\eta_c$ : Eficiencia Total

Eficiencia de la bomba obtenida por la transformación de la energía mecánica de rotación en energía potencial de fluido y la eficiencia del motor obtenida de la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica de rotación componen la eficiencia del sistema de conjunto que describe el grado de aprovechamiento energético que tiene un sistema al suministrarle una energía determinada, y como este llega a convertirla en energía útil ganada por el fluido. (Guillermo, 1978)

#### 1.1.1.7. BOMBA DE AGUA.

Una bomba de agua es un elemento de transformación de energía mecánica o eléctrica en hidráulica. Ésta se utiliza para llevar al fluido de una zona de menor presión o altitud a una zona de mayor presión o altitud, ya que al incrementar la energía en un fluido, se aumenta su velocidad, su presión o su altura, según el principio de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_p + h_s \dots \dots \dots (\text{Ec.8})$$

Donde:

*P*: Presión hidrostática (Pa)

*γ*: peso específico. (N/m<sup>3</sup>)

*g*: aceleración de la gravedad. (m/s<sup>2</sup>)

*v*: velocidad del fluido. ( m/s)

*Z1,Z2*: diferencia de altura geodésica. (m.)

*hp*: pérdidas primarias (m).

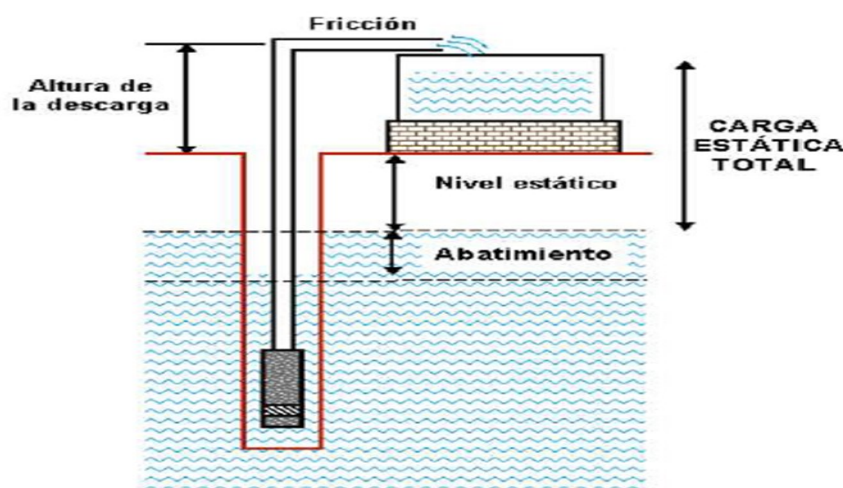
*hs*: pérdidas secundarias (m).

#### Conceptos básicos de un sistema de bombeo de agua

La Figura 20 muestra el esquema hidráulico de un sistema de bombeo de agua propuesto para el proyecto en estudio, los cuales son datos necesarios del pozo y de las

tuberías para poder dimensionar el sistema de bombeo. (Richard Cáceres Ortiz, Fidel Lagos Gómez, Frans Dennys Carhuamaca Castro., 2012)

**Figura N° 19** Elementos hidráulicos de un sistema de bombeo de agua.



**Fuente:** Cáceres (2012), *energías renovables y aplicación*, en <http://solar.nmsu.edu>

**Nivel estático:** Es la distancia vertical entre el nivel de espejo del agua antes del abatimiento, hasta el nivel del suelo en la superficie.

**Altura de descarga:** Es la distancia vertical desde el nivel del suelo hasta donde se descarga el agua en un tanque o reservorio.

**Carga estática (CE):** La carga estática total es la suma del nivel estático del pozo más la altura de descarga.

**Abatimiento:** Es la disminución del nivel de agua de pozo debido a la constante extracción de agua.

**Fricción:** Es la resistencia al flujo de agua que se crea por el paso de ésta en las tuberías y accesorios como codos o reductores, ésta debe ser considerada en el diseño. Por defecto se puede dejar un 2% del recorrido del agua por la tubería, o para mayor exactitud se puede recurrir a tablas de fricción por cada elemento, para calcular exactamente éste valor.

**Carga dinámica (CD):** La carga dinámica es la suma del abatimiento más la fricción de las tuberías.

La carga dinámica total (CDT) es la suma de la carga estática y la carga dinámica:

$$\text{CDT} = \text{CE} + \text{CD} = \text{nivel estático} + \text{descarga} + \text{abatimiento} + \text{fricción}$$

Se debe tener en cuenta que un pozo de agua, accede a fuentes de agua subterránea, la cual se va consumiendo conforme se extrae del pozo, sin embargo el agua de lluvia se filtra por las paredes del pozo, reponiendo el nivel de agua en éste, dependiendo de la permeabilidad del suelo. Al instalar un sistema de bombeo de agua de pozo se debe procurar que la velocidad de vaciado del pozo sea menor que la velocidad de reposición, de lo contrario el pozo se secaría dejando sin abastecimiento de agua a sus consumidores.

Para determinar el caudal requerido en zonas rurales se puede sumar la cantidad de agua al día que se va a consumir por las personas. Según la **OMC (Organización Mundial del Comercio)** una persona requiere 50 litros de agua diarios para todas sus actividades alimenticias y sanitarias, mientras que la **OMS (Organización Mundial de la Salud)** recomienda 80 litros diarios.

#### 1.1.1.8. CARACTERÍSTICAS DEL RENDIMIENTO DE LA BOMBA.

La eficiencia total de la bomba es afectada por las pérdidas hidráulicas en la bomba y además por las pérdidas mecánicas en los cojinetes y los sellos. También puede haber algo de pérdida de potencia debido a fuga del líquido entre la superficie trasera de la placa del cubo del impulsor y la caja, o a través de otros componentes de la bomba. Las características de rendimiento para una geometría y velocidad de operación de una bomba dada se proporcionan en forma de gráficas de carga, eficiencia y potencia al freno contra el caudal.

Como se muestra en dicha gráfica la eficiencia es función del caudal y alcanza un valor máximo en un valor particular del caudal, comúnmente denominado caudal de diseño o capacidad de la bomba. Los puntos sobre las diversas curvas correspondientes a la eficiencia máxima se denotan como puntos de mejor eficiencia (PME).

El rendimiento de una bomba varía considerablemente dependiendo de las condiciones bajo las cuales esté operando. Por tanto, cuando se selecciona una bomba para una situación dada, es importante que la persona encargada de realizar dicha selección tenga información relativa el funcionamiento de las distintas bombas entre las que vaya a realizarse la elección. El fabricante de bombas suele tener información de este tipo, basada en ensayos de laboratorio, sobre su catálogo de bombas estándar. Sin embargo, algunas veces las bombas de gran capacidad se fabrican a medida. A menudo se fabrica y se ensaya un modelo de tal bomba antes de realizar el diseño final del prototipo de la bomba. Aun cuando algunas bombas centrífugas son accionadas por motores de velocidad variable, la forma más frecuente de operación de las bombas es a velocidad constante.

La forma de los impulsores y de los alabes y su relación con la envolvente de la bomba dan lugar a variaciones en la intensidad de las pérdidas por choque, la fricción del fluido y la turbulencia. Dichos parámetros varía con la altura y el caudal, siendo responsables de las grandes modificaciones en las características de las bombas.

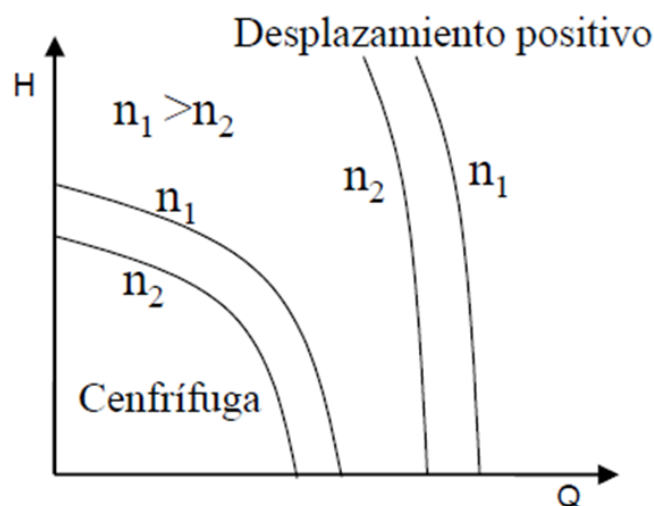
La elección de una bomba para condiciones determinadas dependerá de la velocidad de giro del motor que la acciona. Si la curva característica de una bomba para una velocidad de giro dada es conocida, la relación entre la altura y el caudal para velocidades de giro distintas puede deducirse a partir de ecuaciones.

### a. Punto de Funcionamiento de una Bomba

La manera en la que una bomba trabaja depende no sólo de las características de funcionamiento de la bomba, sino también de las características del sistema en el cual va a trabajar. Para el caso de una bomba dada, mostramos las características de funcionamiento de la bomba ( $h$  respecto a  $Q$ ) para una velocidad de operación dada, normalmente cercana a la velocidad que da el rendimiento máximo.

El punto de funcionamiento o punto óptimo de una bomba solo dinámica es el de la curva  $H - Q$  que corresponde a un rendimiento máximo. Cuanto más empinada es la curva  $H - Q$ , más significativo será el efecto de cualquier cambio de altura en el punto de funcionamiento.

**Figura N° 20** Comparación entre curvas características típicas Altura-Caudal de las bombas centrífugas y de desplazamiento positivo a velocidad constante, las bombas centrífugas proporcionan una curva caudal-altura variable.

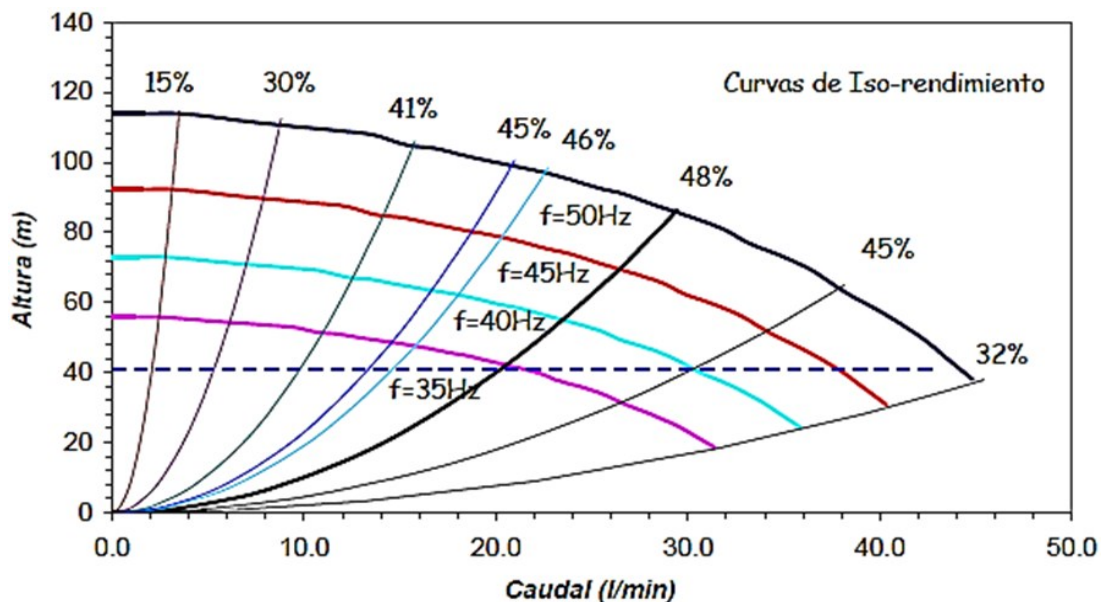


**Fuente:** Soto (2012), sistema del desplazamiento positivo altura caudal, en <http://www.ujaen.es/>



Aplicando las leyes de semejanza, a una curva característica  $h-Q$  conocida normalmente el fabricante de bombas suministra la curva  $h-Q$  de la bomba a una velocidad nominal, se pueden obtener directamente las curvas  $h-Q$  a diferentes frecuencias, tal y como se muestra en la figura 30 cuando la frecuencia se reduce, los puntos de las curvas se mueven a lo largo de curvas cuadráticas con rendimiento constante hacia el origen de coordenadas. (CHAVÉZ, 2005)

**Figura N° 21** Ejemplo de curvas  $h-Q$  para una bomba centrífuga a diferentes frecuencias (velocidades) obtenidas a partir de datos de catálogo a frecuencia nominal y aplicando las leyes de semejanza. Se presentan las curvas de Iso-rendimiento.

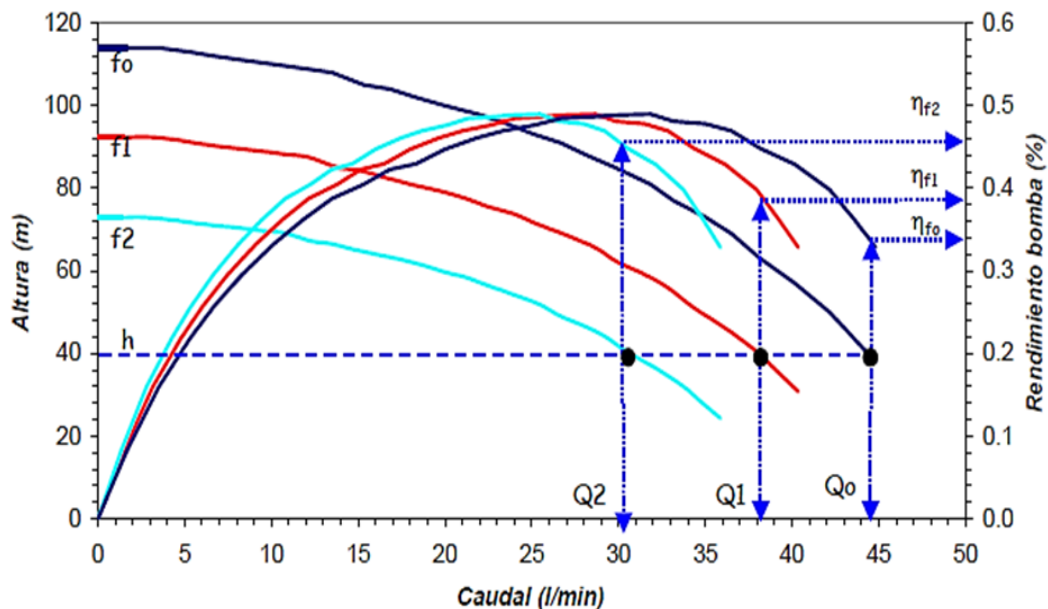


**Fuente:** Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>

El rendimiento de la bomba varía con la frecuencia tal y como se muestra en la figura 24. Considerando la operación a una altura constante  $h$ , se puede ver como el rendimiento aumenta cuando la frecuencia disminuye para los tres puntos mostrados. Por debajo de una determinada frecuencia la bomba no podría suministrar la altura de trabajo,

h. esto puede servir como indicación de como seleccionar una bomba para operación en un sistema FV, si se conoce la altura de trabajo: si se selecciona una bomba para operar en su punto de máximo rendimiento a frecuencia nominal entonces el rango de variación de frecuencia, y en consecuencia el rango de potencia de entrada, será muy estrecho, cerca de los valores nominales. Por tanto los umbrales de irradiancia y potencia de arranque serán elevados y el número de horas de operación durante un día será bajo. Una regla general cualitativa para aplicaciones fotovoltaicas es que, para una altura de trabajo dado, se ha de seleccionar una bomba cuyo punto de operación h-Q a frecuencia nominal se situé a la derecha del punto de máximo rendimiento. Operando a menores rendimientos a frecuencia nominal y a mayores rendimientos a bajas frecuencias se consigue incrementar el rendimiento medio diario del sistema de bombeo fotovoltaico. (Rubio, 2001)

**Figura N° 22** Curvas h-Q-Rendimiento para una bomba centrífuga a diferentes frecuencias de operación. Para una altura dada, en este ejemplo, cuando la frecuencia disminuye el rendimiento de operación de la bomba aumenta.



**Fuente:** Soto (2012), sistema de energía fotovoltaica, en <http://www.ujaen.es/>

**Altura dinámica de bombeo (HB).**

Representa la cantidad de energía que entrega la bomba por cada m-Kg/Kg del líquido bombeado. Se expresa ya sea en metros (m) en el sistema internacional.

Para determinar la altura dinámica total del Sistema de bombeo de agua es necesario tener algunos datos como la altura estática, abatimiento y pérdidas de carga por fricción.

$$HDT = H_E + H_A + H_f \dots \dots \dots (Ec.9)$$

Donde:

*He:* Altura estática (m)

*Ha:* Altura de Abatimiento (m)

*Hf:* Altura total de pérdidas por fricción (m)

*HDT:* Altura Dinámica Total (m)

**Potencia.**

La potencia de la bomba es la energía que requiere ésta para vencer todas las pérdidas presentes en un sistema y poder abastecer con suficiente presión y caudal dicho sistema, podrá calcularse por la ecuación siguiente:

$$HP = \frac{Q * H_b * \gamma}{\eta} \dots \dots \dots (Ec.10)$$

Dónde:

*HP:* Potencia de la bomba. (W)

*Q:* Caudal (m<sup>3</sup>/s)

*Hb:* Carga total de la bomba en metros (m)

*η:* Eficiencia de la bomba, para efectos del cálculo teórico se estima en 60%

*γ:* Peso específico del fluido (N/m<sup>3</sup>)

### 1.1.1.9. TIPOS DE BOMBA DE AGUA

Existen varios tipos de bombas según su funcionamiento:

#### **Bombas volumétricas o de desplazamiento positivo.**

Tienen como elemento impulsor un cilindro o pistón, el cual transporta un volumen determinado del fluido en cada ciclo. Estas bombas se basan en los principios de la hidrostática. Pueden ser rotativas o de émbolo alternativo. Se utilizan cuando la profundidad del pozo es muy grande pero a bajos caudales. (Rubio, 2001)

#### **Bombas centrífugas o cinéticas.**

Se basa en principios hidrodinámicos, ya que se intercambia la cantidad de movimiento entre el fluido y la máquina, con un conjunto de elementos rotativos, que básicamente generan diferenciales de presión. Éstas a su vez pueden ser centrífugas, axiales o diagonales.

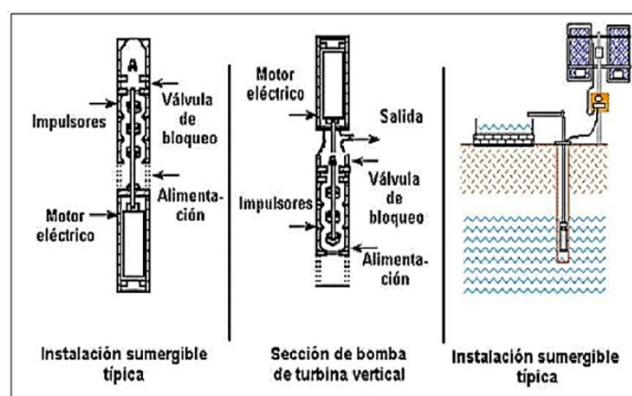
#### **Bombas sumergibles.**

Estas bombas se colocan dentro del pozo y desde allí movilizan el agua hasta un tanque o reservorio en la superficie. La gran mayoría son diseñadas especialmente para operar con la potencia variable que suministra un sistema fotovoltaico, el cual depende de la disponibilidad de radiación solar.

Estas bombas también se dividen en centrífugas y volumétricas. Algunos fabricantes utilizan aceite refrigerante en la construcción de la bomba, mientras que otros aprovechan el hecho de que la bomba va a estar sumergida en el agua, para que así se enfríen sus elementos sin necesidad del aceite refrigerante.

Las bombas centrífugas constan de un motor eléctrico y varios impulsores acoplados en un mismo eje, los cuales desplazan el agua del pozo radialmente gracias a su gran velocidad, como se muestra en la Figura 25. El motor debe ser cerrado herméticamente, para evitar cortocircuitos. Éste tipo de bombas puede ser usado para cargas dinámicas totales de hasta 60m. (Rubio, 2001)

Figura N° 23 Bombas Sumergibles.



**Fuente:** Rubio (2001), bombeo de agua con energía fotovoltaica, en

<http://solar.nmsu.edu>

Ventajas y desventajas de las diferentes bombas

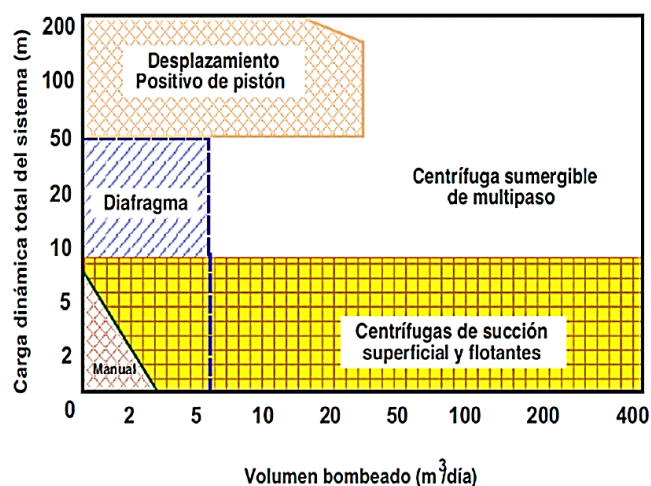
Tabla N° 5 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de bombas.

Principales características de las bombas fotovoltaicas		
Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	<p>Comúnmente disponibles.                      Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.                      Pueden utilizar el agua como lubricante.                      Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.                      Manejan flujos altos.                      Operan a cargas dinámicas grandes.                      Tienen un diseño modular que permite obtener más agua al agregar más módulos fotovoltaicos.</p>	<p>Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.                      Se dañan si trabajan en seco.                      Deben extraerse para darles mantenimiento.                      Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.</p>
Centrífugas de succión superficial	<p>Comúnmente disponibles.                      Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena.                      Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales.                      Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA.                      Manejan flujos altos.                      Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.</p>	<p>Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT.                      Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas.                      Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.</p>
Desplazamiento o positivo de pistón	<p>Soportan cargas dinámicas muy grandes.                      La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.</p>	<p>Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón.                      No toleran arenas o sedimentos.                      La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro.                      Debe extraerse el pistón y el cilindro del pozo para reparar los sellos.                      No dan grandes flujos.</p>
Diafragma	<p>Operan a cargas menores de 40 metros.                      Son muy económicas.</p>	<p>No toleran arenas o sedimentos.                      No trabajan a cargas dinámicas profundas.                      Bajos flujos.</p>

Fuente: Rubio (2001), bombeo de agua con energía fotovoltaica, en

<http://solar.nmsu.edu>

Figura N° 24 Carga dinámica total – Volumen bombeado.



*Fuente:* Rubio (2001), *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con ENERGÍA FOTOVOLTAICA*, en <http://solar.nmsu.edu>

#### 1.1.1.10. TUBERÍAS DE IMPULSIÓN.

El diámetro de la tubería de impulsión deberá ser determinado en base a un análisis técnico económico; teóricamente puede asumir cualquier valor; sin embargo, existe un valor para el cual cumple los criterios mencionados.

El análisis debe considerar que si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es válido, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final, el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado.

De acuerdo a esta fórmula la medición de una línea de impulsión se hace básicamente por imposiciones económicas, por tanto, el valor del coeficiente K es consecuencia del precio de la energía eléctrica, de los materiales y de las máquinas

empleadas en las instalaciones, variando por esto con el tiempo y con la región considerada.

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión, además, se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Dotar al sistema de los dispositivos que aseguren los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.
- b) A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
- c) El diámetro de las tuberías largas, debe ser calculado con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0,6 a 1,50 m/s.
- d) El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, debe calcularse para velocidades mayores, que esté entre 1,50 a 2,00 m/s.

La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo. Deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contra flujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que exista falla eléctrica. (Rubio, 2001)

#### **1.1.1.11. RESERVORIO DE ALMACENAMIENTO DE AGUA.**

El reservorio de almacenamiento tiene un papel muy importante en los sistemas de distribución de agua, su importancia se manifiesta en el funcionamiento hidráulico del sistema y en el mantenimiento de un servicio eficiente y continuo. El diseño del reservorio se realiza para que cumpla con 5 propósitos fundamentales:

- a) Compensar las variaciones de consumo.
- b) Regular las presiones de servicio en la red de distribución.



- c) Mantener almacenado un volumen adicional de agua para atender situaciones de emergencia, como interrupciones por daños.
- d) Uniformizar la carga a la que trabajara el equipo de bombeo.
- e) Poder aumentar la presión en los lugares de nivel alto de la población.

#### **1.1.1.12. ACCESORIOS DEL SISTEMA DE BOMBEO.**

##### **Accesorios sistema de bombeo:**

- a) Codos 90°
- b) 1 Válvula Chek
- c) 1 Válvulas de Aire
- d) 2 Válvula Compuerta
- e) 2 Codo 45°
- f) 2 Uniones.

##### **Material de Tubería**

Tubería de Polietileno de Alta Densidad HDPE de 4”

##### **Bomba**

Bomba solar Lorentz PS4000 C-SJ3-32 más Controladores y accesorios.

Potencia: 2 HP

#### **1.1.1.13. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ECONÓMICA – DIÁMETRO ECONÓMICO.**

Al ser el diseño de la línea de impulsión un problema básicamente de costos relativos al diámetro de la tubería, calidad y potencia del sistema de bombeo es necesario el análisis económico de varias alternativas de diseño para resolverlas y escoger la que nos proporcione el menor costo de total.

Estos costos totales están compuestos por varios tipos de costos en el sistema:

Costo total de tubería instalada (adquisición, transporte, instalación y testeo) que se calcula como:

$$\text{Costo Total de Tubería Instalada (S/.)} = \text{Costo Tubería} * \text{Longitud total tubería (m)}$$

Costo total del equipo de bombeo instalado (adquisición, transporte, instalación, mantenimiento, costo energético consumible, y testeo) que se calcula utilizando los coeficientes de costos del equipo (K, a) y su potencia instalada (HP).

$$\text{Costo Total Equipo Instalado (S/.)} = K * (Pi)^a$$

Costo Anual de Operación (Energía consumida) que se calcula de acuerdo a la potencia instalada y al costo de energía por kW-h/año.

$$\text{Costo Anual de Operación} = \frac{\text{Horas de Bombeo}}{\text{Año}} * P_i(\text{kW}) * \text{Energía} \left( \frac{\text{S/.}}{\text{kW-hora}} \right)$$

Costo Anual de Mantenimiento (Repuestos, insumos, personal, herramientas, etc).

Para la obtención de la mejor alternativa de menor costo es necesario llevar los costos anteriores a sus valores presentes de acuerdo al horizonte de anualidades condicionado por el tiempo de vida útil del equipo de bombeo y tubería.

## 2.2.4 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.

### 1.1.1.14. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE RED Y BOMBA.

Análisis de costos para varias alternativas con diámetros cercanos al calculado con la fórmula de Hazen William (diámetros comerciales) se determina el diámetro correspondiente al menor costo, es decir diámetro económico con lo cual podremos luego construir la curva característica de la red compuesta por la línea de impulsión y confrontarla con las curvas características del equipo de bombeo escogido en el desarrollo

del análisis de sensibilidad económica para el diámetro económico, y así determinar el punto óptimo de operación del sistema (eficiencia > 50%).

Las curvas características de la electrobomba son proporcionadas por el fabricante o proveedor de acuerdo al tipo de aplicación que se le dé al equipo.

Confrontando estas curvas se obtiene un punto en donde ambas se interceptan, es decir el caudal  $Q$  reemplazado en ambas ecuaciones de curvas nos da un único valor de  $H$ , a este punto se le denomina punto óptimo de operación.

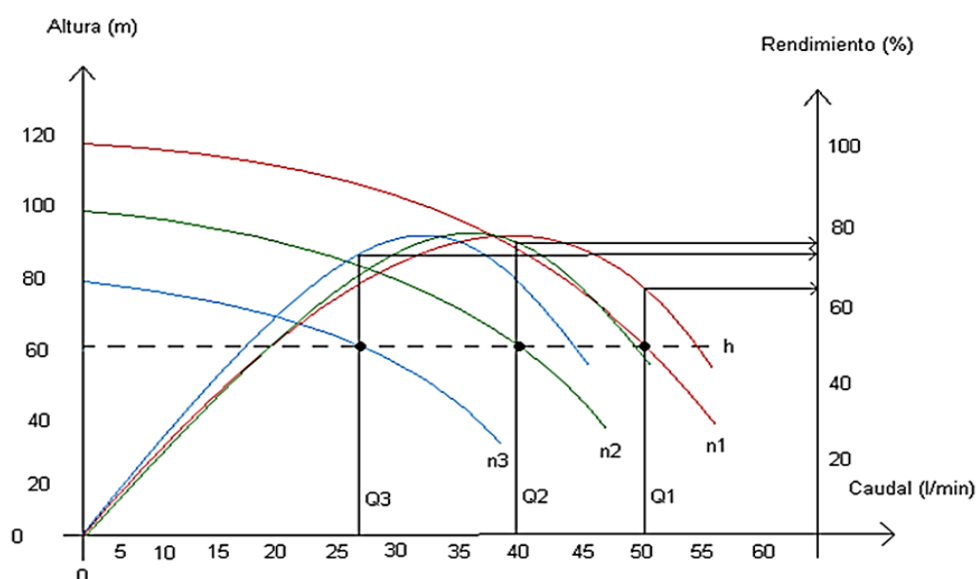
Como la curva característica de la red puede interceptarse con más de una curva característica de equipos de bombeo similares producto de varias pruebas con diferentes diámetros del impulsor, tendremos un punto óptimo de operación para cada una de estas curvas.

El punto óptimo de operación debe de ser aquel que caiga en la zona de rendimiento máximo y donde  $Q$  y  $HDT$  del punto óptimo sean mayores o iguales al  $Q$  y  $HDT$  de diseño. Además la Potencia de consumo de la bomba ( $P_c$ ) seleccionada debe ser menor o igual a la potencia de consumo calculada en el análisis económico.

Este punto óptimo de operación determinará el diámetro que debe de tener los impulsores, la altura de succión neta positiva y la potencia optima a las revoluciones del equipo bomba-motor.

Con esto ya se tendría una solución de mínimo costo y alto rendimiento operativo que cumplan con todas las condiciones de diseño para asegurar el abastecimiento desde el pozo al reservorio.

**Figura N° 25** Curvas altura-caudal y rendimiento-caudal de una bomba centrífuga.



**Fuente:** CHAVEZ (2010), *Motores eléctricos. Accionamiento de Máquinas. 30 Tipos de Motores.* 4ª edición. Thomson editors.

### 2.2.5 BENTLEY WATERCAD.

Es un programa de cómputo que va permitir realizar el análisis, simulación y diseño de sistemas de distribución de agua.

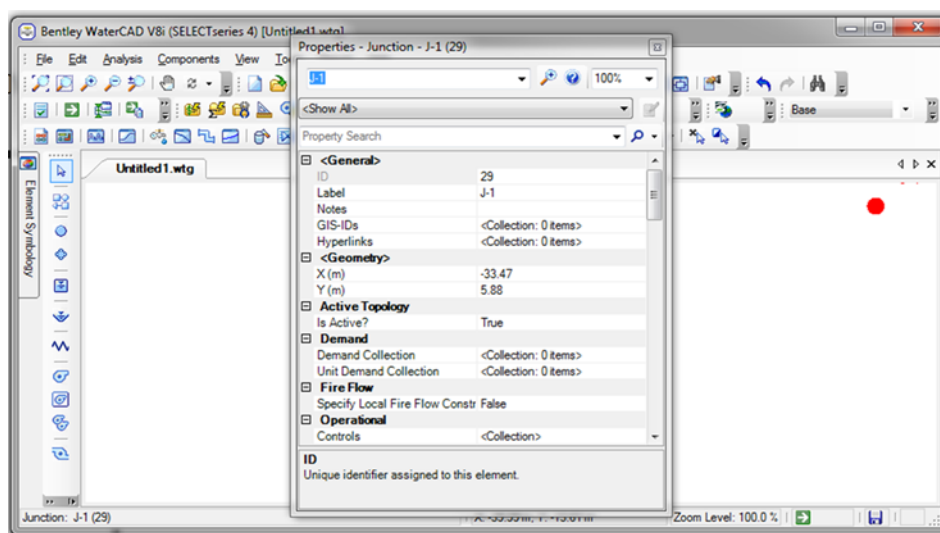
WaterCAD permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo: Línea (tramos de tuberías), Punto (Nodos de Consumo, Tanques, Reservorios, Hidrantes) e Híbridos (Bombas, Válvulas de Control, Regulación, etc.)

#### 2.2.5.1 DESCRIPCIÓN.

El software cuyo algoritmo de cálculo se basa en el método del Gradiente Hidráulico, permite el análisis hidráulico de redes de agua (aunque puede usarse para cualquier fluido newtoniano) determinando las presiones en diversos puntos del sistema,

así como los caudales, velocidades, pérdidas en las líneas que conforman la red hidráulica; así como otros muchos parámetros operativos derivados de los elementos presentes en el sistema como: Bombas, Válvulas de Control, Tanques, etc. a partir de las características físicas del sistema y unas condiciones de demanda previamente establecidas. WaterCAD además permite extender sus capacidades a temas de gestión a largo plazo de sistemas de abastecimiento incluyendo: análisis de vulnerabilidad, análisis de protección contra incendio, estimación de costos energéticos, calibración hidráulica, optimización, etc. (Simón, 1980)

*Figura N° 26 Simulación en el programa Watercad.*



*Fuente: Shames (2015), programa Watercad versión 8.*

### 1.1.1.15. COMPONENTES DEL PROGRAMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.

El análisis y simulación de redes se realiza para investigar la relación compleja que existe entre las características de la red, la demanda de los consumidores (Doméstico, comercial, Industrial y público), los caudales y cargas en un momento determinado.

Básicamente se calcula caudales, presiones y valores asociados en un momento determinado, mediante un cálculo hidráulico (al modelo matemático).

Aplicaciones del análisis y simulación de redes:

Conocer el comportamiento de los sistemas de distribución de agua.

- a) Estimación de niveles de servicio.
- b) Diseño de nuevos sistemas.
- c) Evaluación de la capacidad de conducción de la red existente.
- d) Uso eficiente y/o reforzamiento de las redes existentes.
- e) El planeamiento contingente. Solución de las redes para diferentes escenarios y alternativas.

*Figura N° 27 Componentes de la red de distribución de agua.*



*Fuente: Ronald (1970), componentes de la red de distribución en watercad, en <http://es.slideshare.net/>*

### 2.2.6 ANÁLISIS DE FLUJO TRANSITORIO – GOLPE DE ARIETE.

Es un fenómeno que ocurre cuando se interrumpe súbitamente la energía que propulsa la columna de agua en la línea de impulsión o por el cierre rápido de la válvula de regulación de flujo a la salida de la bomba ocasionando una presión interna a todo lo largo de la tubería, la cual es recibida en la paredes de la tubería y los accesorios como un impacto.

Al cerrar instantáneamente o parar el equipo de bombeo, la compresión del agua y expansión de la tubería comienza en el punto de cierre, transmitiéndose hacia arriba a una velocidad determinada por la expresión:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho\left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{d}{e*E}\right)}} \dots\dots\dots(\text{Ec.11})$$

Dónde:

$a$  : *Velocidad de propagación de la onda (m/s).*

$\rho$ : *Densidad del líquido ((Kg/m<sup>3</sup>).*

$d$  : *Diámetro interior de la tubería (m).*

$e$  : *Espesor de la tubería (m).*

$E$  : *Modulo de elasticidad del agua (2.00x10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>).*

$E$  : *Modulo de elasticidad de tracción del material que compone la tubería (N/m<sup>2</sup>).*

El tiempo de propagación de la onda (ida y vuelta) es conocido como tiempo crítico y se expresa como:

$$T_c = \frac{2L}{a} \dots\dots\dots(\text{Ec.12})$$

Dónde:

$T_c$ : *Tiempo crítico o de propagación de la onda en cierre instantáneo (s).*

*L: Longitud de la tubería por donde transita la onda (m).*

Si el tiempo de cierre de la válvula es menor al tiempo crítico entonces la presión irá aumentando hasta el cierre completo de la válvula y dicho valor será entonces considerado como el de un tiempo de cierre instantáneo.

En el diseño de la línea de impulsión se debe considerar la sobrepresión que se genera por efecto del golpe de ariete como medida de seguridad por una posible desconexión del fluido eléctrico que alimenta al motor de la bomba. Por eso es fundamental el estudio de este fenómeno para poder determinar la clase de tubería a utilizar que pueda soportar esta sobrepresión sin mayores inconvenientes, sin la necesidad de instalar accesorios de seguridad como válvulas especiales que contrarresten el impacto del golpe de ariete elevando por consiguiente el costo total de inversión. (Guillermo, 1978)

La sobrepresión por este efecto se calcula para un cierre instantáneo que genera una presión mayor que la originada por un tiempo de cierre gradual, es decir un tiempo mayor al tiempo crítico regulado por la válvula de control y se expresa como:

$$\Delta H_a = \frac{V \cdot a}{g} \dots \dots \dots \text{(Ec.13)}$$

Dónde:

$\Delta H_a$  : Carga por sobrepresión (m.c.a).

$V$ : Velocidad del flujo en la tubería (m/s).

$g$ : Constante de aceleración de gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>).

Entonces con la determinación de la sobrepresión por efecto del golpe de ariete la carga que debería soportar la línea en su punto más bajo estará dado por la siguiente expresión:



$$P_{max} = \Delta H + \Delta H_a \dots \dots \dots (Ec.14)$$

Dónde:

$P_{max}$  : Presión máxima en el punto más bajo de la tubería (m.c.a).

$\Delta H$ : Diferencia de nivel entre el punto donde llega el agua (reservorio) y el punto más bajo de la tubería igual a la carga estática en ese punto (m.c.a).

$\Delta H_a$ : Carga por sobrepresión por efecto del golpe de ariete (m.c.a).

La tubería entonces debe ser elegida considerando el espesor y el material del que está compuesta para soportar dicha presión máxima con el diámetro calculado.

## 2.2.7 AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE.

### 1.1.1.16.GENERALIDADES DEL CONTROL.

Cuando se habla de control, se está refiriendo a todo aquello capaz de gobernar, dirigir, mandar o regular un sistema incluyendo en el todas las funciones que realiza. De acuerdo a estas funciones se debe tomar en consideración que tan simple o complejo puede ser el sistema, ya que esto se define por el tipo de sistema que se va a controlar y por los componentes que lo constituyen tales como un interruptor, relevadores y controladores de tiempo.

Los controladores realizan varias funciones como arranque, aceleración, regulación de velocidad, regulación de potencia, protección, inversión y parada. Esto hace que el trabajo sea más fácil y rápido, pero se debe considerar que cada una de estas funciones se lleva a cabo por medio de elementos del equipo y dispositivos utilizados para regular o manejar la maquina (en la mayoría de los casos un motor) al cual se está implementando el control; a estos elementos del equipo se les llama componentes de control, los cuales

se encargan de llevar a cabo el buen funcionamiento del sistema.

#### **1.1.1.17.CONTROL POR PLC.**

Se entiende por controlador lógico programable (PLC), a toda máquina diseñada para controlar en tiempo real procesos secuenciales, su manejo y programación pueden ser llevadas a cabo por personal con estudios eléctricos o electrónicos sin conocimientos informáticos.

El PLC realiza funciones lógicas, series, paralelos, temporizaciones, conteos y otras más complicadas como cálculos y regulaciones. También se le pueden definir como una caja negra en el que existen unas terminales de entrada a las que se conectaran bobinas de contactores, electroválvulas, lámparas, etcétera. De tal forma que la operación de estos últimos este en función de las señales de entrada que estén activadas en cada momento, según el programa almacenado.

Los elementos tradicionales con relevadores auxiliares, de enclavamiento, temporizaciones, etc., son internos. En realidad la tarea del usuario se reduce a realizar un programa que establece la relación entre señales de entrada, que se deben cumplir para activar cada salida con una programación adecuada, se puede llevar a cabo funciones de control de muchos tipos y diferentes niveles de complejidad.

Se puede observar que para automatizar el sistema de bombeo del presente proyecto, es necesario ocupar este control para reducir el costo de manos de obra. Llevando a cabo la automatización se obtendrán una mayor precisión y eficiencia en el suministro de agua.

### 1.1.1.18. VENTAJAS.

#### *Flexibilidad*

En el pasado cada máquina controlada electromagnéticamente requería su propio controlador, ahora es posible emplear un PLC para hacer trabajar cualquier máquina, ya que bajo el control del PLC cualquier máquina puede trabajar con su programa.

#### *Modificación de programas y corrección de errores*

Con un circuito tradicional cableado, cualquier alteración a este requiere mucho tiempo debido a que para realizar este cambio es necesario volver a cablear tableros de control. Con un PLC se pueden hacer cambios fácilmente a través de la terminal de programación, no es necesario volver a cablear en su totalidad el cambio, si existe un error puede corregirse rápidamente.

#### *Gran cantidad de contactos*

Un PLC tiene un gran número de contactos para cada una de las bobinas disponibles en su programación; pensar que un panel tradicional con relevadores cableados tiene un número muy reducido de contactos, por lo que cuando es necesario realizar un cambio en el diseño del sistema de control se requiere agregar más relevadores, esto implica que se ocupe un mayor tiempo para instalar un nuevo relevador o un bloque de contactos auxiliares.

Sin embargo en un PLC solo se requiere programar esos contactos adicionales y automáticamente estarían disponibles; así mismo, es posible que un ciento de contactos puedan usarse para una sola bobina si existe memoria disponible en el PLC.

#### *Menor costo*

El avance tecnológico ha hecho compactar diversas funciones en equipos pequeños

y cada vez más económicos. En la actualidad es posible comprar un PLC, el cual contiene relevadores, temporizadores, contadores, secuenciadores, etc., a un costo más bajo que si se comparan todos estos equipos por separado.

#### *Pruebas preliminares*

Un circuito de control programado en un PLC, puede ser pre arrancado y evaluado en la oficina o en el laboratorio, en estas condiciones el programa a ser simulado, puede ser observado y modificado si es necesario, así ahorra tiempo valioso y evita fallas costosas en el equipo de industria. La tecnología con relevadores debe ser probada en las propias plantas, lo cual puede consumir tiempo invaluable en áreas de producción.

#### *Observación visual*

La operación de un circuito programado en un PLC puede ser observado directamente en una pantalla, de esta forma pueden solucionarse los problemas más rápidamente. En sistemas de PLC's avanzados se pueden programar mensajes al operador para cada posible falla, entonces la descripción de la misma aparece en la pantalla cuando es detectada por el PLC.

#### *Velocidad de operación*

Los relevadores tradicionales pueden tomar un tiempo considerable para actuar. La velocidad de operación para ejecutar un programa en un PLC es muy rápida y esta determinada por el tiempo de SCAN (búsqueda), en cuestión de milisegundos.

#### *Método de programación Ladder o Booleano*

La programación del PLC puede ser llevada a cabo en lenguaje Ladder (escalera) por cualquier técnico. Existen también PLC's que pueden ser programados en lenguaje Booleano a través de la terminal de programación.

### *Confiabilidad*

En general los equipos de estado sólido son más confiables que los relevadores y temporizadores electromecánicos. Los PLC's están fabricados con componentes electrónicos de estado sólido con altos estándares de confiabilidad.

### *Sencillez para disponer de elementos de control*

Un PLC es un equipo muy completo; cuando se dispone de contadores, relevadores y otros componentes de manera inmediata, así como los elementos adicionales.

### *Documentación*

Si se requiere un circuito de control programado en un PLC, puede imprimirse en minutos, no es necesario buscar un archivo, planos y diagramas, con el PLC se imprime la información de un circuito, mostrando el estado de los componentes en un momento específico haciendo más fácil la tarea de verificación y mantenimiento.

### *Seguridad*

Un programa en el PLC no puede ser cambiado a menos que se tenga el código de acceso al propio programa y la terminal de programación, en los tableros de control por relevadores con frecuencia se realizan cambios sin que se lleven registros.

### **1.1.1.19.DESVENTAJAS.**

#### *Tecnología más nueva*

Se presenta dificultad para cambiar la forma de pensar del personal técnico, a la tecnología tradicional de relevadores hacia la tecnología programada por PLC.

#### *Aplicación en programas fijos*

Un PLC tiene múltiples elementos que pueden adecuarse a diversos programas. Si el circuito de control es pequeño y prácticamente no tendrá cambios, es posible que un

PLC no sea necesario; además los relevadores tradicionales serian menos costosos, el PLC es más efectivo cuando se realizan cambios periódicos en los sistemas de control.

#### *Consideraciones ambientales*

Ciertos procesos donde se trabaja a temperaturas altas y grandes vibraciones, interfieren con los equipos electrónicos en los PLC's lo que hace limitado su uso. (VENTOCILLA, 2012)

#### **1.1.1.20. ESTRUCTURA DE UN PLC.**

Para poder estudiar la estructura de un PLC es necesario dividirlo en dos tipos (estructuras externas y estructura interna) las cuales se mencionan a continuación, con sus deferentes elementos que las componen.

#### **ESTRUCTURA EXTERNA**

Se refiere a la configuración externa de un PLC o aspecto físico exterior del mismo, bloques o elementos en que está dividido, desde el surgimiento y hasta la actualidad han sido varias las estructuras y configuraciones que han salido al mercado condicionadas por el fabricante y el lugar donde fueron construidas.

Actualmente son dos las estructuras más importantes que existen en el mercado:

#### **ESTRUCTURA COMPACTA**

Este tipo de PLC se distingue por representar en un solo bloque todos sus elementos, estos son fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc.; por ejemplo los PLC's de gama baja son los que suelen tener una estructura compacta, su potencia de proceso suele ser muy limitada dedicándose a controlar maquinas muy pequeñas o cuadros de mando.

#### **ESTRUCTURA MODULAR**

Su característica principal es que existe un módulo para cada uno de los diferentes

elementos que componen el PLC como puede ser una fuente de alimentación, CPU, o E/S, la sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los distintos módulos que lo componen.

Son los PLC's de gama altas los que suelen tener una estructura modular, que permiten una gran flexibilidad en su constitución, cabe mencionar que esta estructura se puede dividir en dos tipos, de acuerdo a su lugar de origen (Americana y Europea).

### **ESTRUCTURA INTERNA**

Se refiere al conjunto de elementos internos que componen al PLC, el cual está constituido por diferentes elementos, pero tres son básicos:

- a) CPU
- b) Entradas
- c) Salidas

#### ***CPU***

La CPU (unidad Central de Proceso) es la parte inteligente del sistema, interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas, dependiendo de dichos estados y del programa, ordena la activación de las salidas deseadas. La CPU está constituida por los siguientes elementos:

- a) Procesador
- b) Memoria monitor del sistema
- c) Circuitos auxiliares

### **FUNCIONES BÁSICA DEL CPU**

- a) Vigilar que el tiempo de ejecución del programa de usuario no exceda de un determinado tiempo máximo.

- b) Ejecutar el programa usuario
- c) Crear una imagen de las entradas, ya que el programa de usuario no debe acceder directamente a dichas entradas.
- d) Renovar el estado de las salidas en función de la imagen de las mismas, obtenida al final del ciclo de ejecución del programa usuario.
- e) Chequeo del sistema.

## ENTRADAS

La sección de entradas mediante el interfaz, adapta y codifica de forma comprensible por el CPU las señales procedentes de los dispositivos de entrada o detectores.

Hay dos tipos de entradas:

- a) Entradas digitales
- b) Entradas analógicas

Salidas digitales. Un módulo de salida digital permite al PLC actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admiten ordenes de tipo todo o nada. El valor binario de las salidas digitales se convierte en la apertura o cierre de un relevador interno del PLC.

Los módulos de salidas estáticos al suministrar tensión, solo pueden actuar sobre elementos que trabajan todos a la misma tensión. En cambio los módulos de salida electromecánicos, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas.

Salidas analógicas. Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del PLC se convierta en tensión o intensidad, lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el PLC solo trabaja con señales digitales. Esta conversión



se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

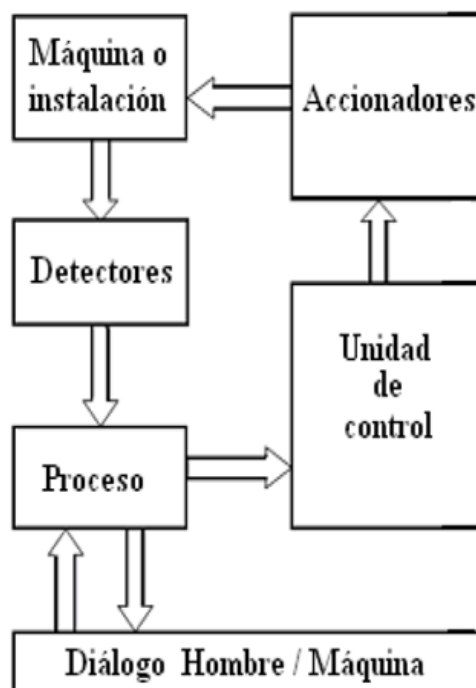
Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para accionadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos y reguladores de temperatura. Permitiendo al PLC realizar funciones de regulación y control de procesos continuos.

Las señales analógicas sufren un gran proceso de adaptación tanto en los módulos de entrada como en los módulos de salida. Las funciones de conversión A/D y D/A que realiza son esenciales, por ello los módulos de E/S analógicos se les consideran, módulos de E/S especial.

#### **2.2.8 AUTOMATIZACIÓN.**

Se entiende por automatización de la implementación de un dispositivo tecnológico, a una maquina o proceso, el cual se encarga de controlar su funcionamiento. Este nuevo sistema (sistema automatizado), es capaz de reaccionar ante las diferentes situaciones que se pueden presentar y tomar decisiones por sí solo. En la fig. 30 se muestra un esquema de la automatización de un sistema. (GARCIA LOPEZ IVAN y NUÑES CADENA DAVID , 2009)

*Figura N° 28 Automatización de un sistema.*



*Fuente: Ogata (2010), ingeniería de control moderna, en <http://www.aimcra.com/>*

En el diagrama anterior de un sistema automatizado se puede observar que la información que rige a la unidad de control, es mandada por un conjunto de elementos denominados detectores. Esta información que se recoge, es el resultado de una serie de cambios físicos que tienen lugar como consecuencia del funcionamiento de la máquina o proceso, después de que la unidad de control recibe estas órdenes, esta genera sus propias respuestas las cuales envía a la máquina a través de los accionadores. Los detectores transforman las órdenes recibidas en magnitudes o cambios físicos en el sistema mediante una aportación de potencia.

### 1.1.1.21. ESTRUCTURA DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO.

En este punto se tratará la estructura de un sistema automatizado y sus diferentes elementos que interactúan con este, para facilitar el estudio de un sistema automatizado es necesario que se divida en dos partes las cuales se describen a continuación:

#### PARTE OPERATIVA

Es la parte que opera sobre la máquina y el producto. En general comprende:

##### *Detectores.*

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados necesitan de los transductores (Dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas) para adquirir información de:

La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.

El estado físico de sus componentes.

##### *Accionadores y Preaccionadores*

El accionador es el elemento final de control, que en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso. Un accionador transforma la energía de salida de la parte de mando, en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, puede estar bajo el control directo o bien requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando; esta pre amplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía de la fuente al accionador, los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

##### *Accionadores eléctricos*

Estos utilizan directamente la energía eléctrica distribuida en las máquinas y toman

diferentes formas: motores de velocidad constante o variable, válvulas eléctricas de flujo, resistencias de calentamiento, electroimanes, cabezas de soldadura por resistencia, etc. los preaccionadores asociados a estos accionadores eléctricos son principalmente los contactores de velocidad. (VENTOCILLA, 2012)

## **2.3 GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS.**

### **2.3.1 DISEÑO.**

Diseño se define como el proceso previo de configuración mental, "pre-figuración", en la búsqueda de una solución en cualquier campo.

### **2.3.2 SISTEMA DE BOMBEO.**

Sistema de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor.

### **2.3.3 AUTOMATIZACIÓN.**

Es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos.

### **2.3.4 AGUA POTABLE.**

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

### **2.3.4 ENERGÍA SOLAR.**

La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol.

### **2.3.5 INSOLACIÓN.**

La insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).

### **2.3.6 WATERCAD.**

Es un software comercial de análisis, modelación y gestión de redes a presión (sistemas de distribución o de riego), propiedad de la Empresa de Software Bentley Systems, Incorporated que produce soluciones para el diseño, construcción y operación de infraestructuras en diversos campos.

### **2.3.7 GOLPE DE ARIETE.**

El golpe de ariete se origina debido a que el fluido es ligeramente elástico (aunque en diversas situaciones se puede considerar como un fluido no compresible). En consecuencia, cuando se cierra bruscamente una válvula o un grifo instalado en el extremo de una tubería de cierta longitud, las partículas de fluido que se han detenido son empujadas por las que vienen inmediatamente detrás y que siguen aún en movimiento.

### **2.3.8 PLC.**

Los PLC (controladores lógicos programables) sirven para realizar automatismos; son dispositivos electrónicos que reproducen programas informáticos, que permiten controlar autómatas. Se tiene que saber que hay infinidad de tipos de PLC, los cuales tienen diferentes propiedades, que ayudan a facilitar ciertas tareas para las cuales se los diseñan.

## 2.4 HIPÓTESIS DEL INVESTIGACIÓN.

### 2.4.1 HIPÓTESIS GENERAL.

Se puede diseñar el sistema de bombeo automatizado de 2 HP para agua potable con energía solar para las comunidad de Quenafajja del Distrito de Acora Provincia de puno.

### 2.4.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.

- a) Es viable el estudio de la demanda de agua potable para la Comunidad de Quenafajja.
- b) Es posible seleccionar el equipo de bombeo solar.
- c) Es factible diseñar el sistema de control y automatizado para la operación de un sistema de bombeo.

## 2.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

Dentro de sistema a estudio, básicamente identificaremos las variables básicas que interactúan para la solución del problema, estos variables se muestran en la tabla...

*Tabla N° 6 Operacionalización de variables.*

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
N° de usuarios	Potencia de la bomba solar
Radiación solar	Volumen de agua

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN.

#### 3.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

##### 3.2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El trabajo de investigación es de tipo investigación descriptiva cuantitativa porque se apoya en el contexto teórico para conocer, describir, relacionar o explicar una realidad, de acuerdo a lo planteado.

##### 3.2.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del diseño de la investigación se obtendrá toda la información necesaria y requerida para aceptar o rechazar la hipótesis.

Esta investigación es de tipo, no experimental, descriptivo. No experimental porque no se pueden manipular las variables, los datos a reunir se obtendrán del número de pobladores de la comunidad de Quenafajja.

La investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente variables; lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como

se dan en su contexto natural, para después analizarlos.

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.

La población total del distrito de Acora, al año 2007 haciende a 28,189 habitantes, que representa el 2.5% de tasa de crecimiento; de los cuales el distrito de Acora-Urbano son 684 habitantes que representa el (49%) son varones y 688 (51.%) son mujeres respectivamente; así mismo, 21,779 habitantes (90%) se encuentra asentados en el área rural y 1372 habitantes (10 %) en el área urbana, lo cual nos indica que la población de Acora es eminentemente rural.

La proyección poblacional prevista para esta etapa es de 620 habitantes y para el horizonte de planteamiento al año 2037, se estima en un total de 810 habitantes

El consumo promedio es de 50lt/hab-día correspondiente a la dotación de agua para una población rural.

### 3.4 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN.

Departamento	: Puno
Provincia	: Puno
Distrito	: Acora
Región Natural	: Sierra
Altitud	: 3853 m.s.n.m.
Topografía	: Llana
Comunidades	: Quenafajja
Límites	
Por el Norte	: Con la comunidad de Amparani.
Por el Este	: Con la comunidad de Alfaro.
Por el Sur	: Con la comunidad de Tapaca.
Por el oeste	: Ancacca.
Coordenada Geográfica	: 16°07' 52.21" Latitud Sur 69°41' 52.72" Latitud Oeste



El lugar del área del proyecto se encuentra ubicado a 30 kilómetros de la Ciudad de Acora, el acceso se da a través de la Panamericana sur del tramo Puno – Acora, desviando hacia el Salida de totorani en el lugar denominado Quenafajja. En el siguiente cuadro e imagen se muestra la localización del distrito de Acora.

La comunidad en este proyecto cuenta con una extensión de 57.62 hás, que comprende básicamente áreas de cultivo, no cultivada, terrenos erizos, y cerros. La vía de acceso es por la carretera hacia la comunidad de Quenafajja; en una distancia de 20.0 Km. De la ciudad de Acora de 30 minutos en vehículos de transporte público, la cual se detalla en el siguiente cuadro:

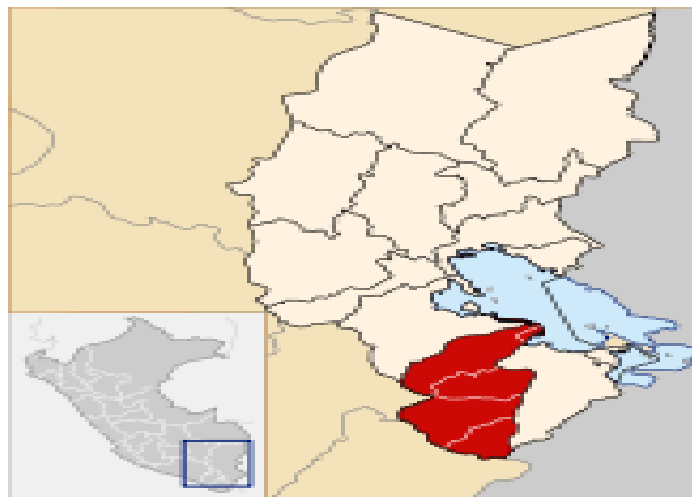
*Tabla N° 7 Ruta de acceso distrito de Acora - Comunidad Quenafajja.*

RUTAS	TRAMO	TIPO DE VIA	ESTADO	LONGITUD	TIEMPO
RUTA	Puno-Acora	Asfaltada	Regular	20 Km	20 min.
	Acora – quenafajja	Asfaltada y Trocha Carrosable	Regular	20 Km	30 min.

**Fuente:** Ruta de acceso.

## MAPA DE UBICACIÓN DEL PROYECTO

*Figura N° 29 Lugar de ubicación del proyecto.*



**Fuente:** : Google (2015), ubicación geográfica, en <http://mapas.deperu.com/>

### 3.4.1 CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS DE LA ZONA.

#### 1.1.1.22.CLIMA.

El clima de la zona del proyecto es frígido y semiseco típico del altiplano, se observa temperatura variables desde una máxima de 11.3 °C, la temperatura mínima media anual es de 1.5 °C. La presencia de la precipitación pluvial entre los meses de diciembre a abril y en época de estiaje con presencia de vientos fuertes entre los meses de julio a setiembre, heladas en los meses de mayo a julio.

#### 1.1.1.23.ECONOMÍA.

Las principales actividades económicas, que se desarrollan en las comunidad de Quenafajja, están enmarcadas dentro de las relaciones sociales del mercado de oferta y demanda de productos de primera necesidad, así como la venta de productos de dichas

comunidad}.

En referencia a la actividad ganadera se viene impulsando el desarrollo del ganado Vacuno principalmente, seguido del ganado ovino, y en las partes altas la crianza de camélidos sudamericanos.

La agricultura se ha convertido en una actividad secundaria, por cuanto sus productos son de auto consumo y viene disminuyendo la producción agrícola.

Según INEI – 2015, los pobladores de dichas comunidad, se dedican a la actividad económica Agricultura Trabajo calificado agropecuario 51.40%, Trabajo no calificado servicio, peón, vendedor ambulante, y afines 37.20%, Obreros construcción, confecciones, papelería, fabricas 2.10% y Obreros y operarios en minas, industrial manufacturero otros 1.90% y en menor porcentaje son miembros personal de ejercicio y legislativo directivos, administración pública y empleados con 0.10%.

#### **1.1.1.24.NIVEL DE POBREZA.**

Los habitantes de esta localidad se encuentran en una situación de pobreza, falta de ingresos de recursos económicos, falta de mejoramiento de condiciones para una buena producción agropecuaria, que no les permite mejorar sus condiciones de vida.

#### **1.1.1.25.VIVIENDA.**

El 85% de las viviendas de las familias están construidas de adobe con techo de calamina; y el 15 % con ladrillos, son viviendas de uso múltiple y de regular estado de conservación.

#### **1.1.1.26.SALUD.**

Las comunidades beneficiaria cuenta con un Puesto de salud, que está ubicado en el Centro Poblado de Amparani a una distancia de 2 a 4 km.

### 1.1.1.27. ENFERMEDADES PREDOMINANTES.

La población afectada de la comunidad sufre especialmente de las enfermedades gastrointestinales, en especial los niños, son los más vulnerables a estas enfermedades.

*Tabla N° 8 Diez primeras causas de morbilidad, etapa de vida: niños de 0 a 9 años.*

N°	Causas	Casos	%
1	Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores	8,549	35.70%
2	Enfermedades de cavidad bucal, de las glándulas salivales y de los maxilares	3,084	12.88%
3	Otros indicadores agudas de las vías respiratorias inferiores	3062	12.79%
4	Desnutrición	1,746	7.29%
5	Enfermedades infecciosas intestinales	1,728	7.22%
6	Síntomas y signos generales	1,579	6.59%
7	Dermatitis y eczema	556	2.32%
8	trastornos de la conjuntiva	509	2.13%
9	Infecciones de la piel y del tejido subcutáneo	426	1.78%
10	Micosis	307	1.28%
11	Las demás causas	1,045	4.36%
	<b>TOTAL</b>	<b>23,944</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Plan de desarrollo concertado de acora-puno 2014.*

De acuerdo al cuadro N° 10, Las enfermedades causadas por la falta de recursos hídricos y la falta de higiene son las enfermedades de la piel, la cual está ubicado en el noveno lugar de causas de morbilidad de niños de 0 a 9 años de edad, y tenemos en el quinto lugar las enfermedades infecciosas intestinales, esta enfermedad según la posta de salud de Acora se presenta por el consumo de agua de mala calidad, o el agua de lluvia que reciben del techo de su casa, la cual es recibida en recipientes oxidados, consumo de agua de riachuelos contaminados, pozos artesanales que a su costado construyeron una letrina artesanal la cual contamina el agua subterránea.

### **3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN.**

#### **3.5.1 TÉCNICAS.**

La técnica que se utilizó en la presente investigación fue la toma de datos del lugar del proyecto, esta técnica nos permitió recoger la información sobre el Diseño del Sistema de Bombeo Automatizado de 2 HP para Agua Potable con Energía Solar para las Comunidad Quenafajja Del Distrito De Acora Provincia de Puno.

Observación es un proceso de búsqueda y recojo de información orientado en encontrar significación que puedan explicar algunos hechos que afectan al proyecto de investigación.

#### **3.5.2 INSTRUMENTOS.**

No se ha recogido ningún instrumento para la investigación de este trabajo, ya que los datos se recogen en la comunidad:

- a) Numero de pobladores.
- b) La radiación solar.
- c) El Nivel de altura que estará ubicado el Reservorio.
- d) La distancia que tendrá la tubería de succión y descarga.
- e) Las Coordenadas geográficas (Latitud Longitud).

### **3.6 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.**

#### **3.6.1 PROCESAMIENTO DE DATOS.**

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante los siguientes métodos:

- a). Recolección de datos del número de pobladores en las comunidad de Quenafajja, que se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla N° 9 Numero de pobladores en dichas comunidad (2015).*

COMUNIDAD	Nro. de Familia	Nro. de Usuarios
Quenafajja	190	620
TOTAL	190	620

*Fuente: INEI (2014), población en las comunidades del Distrito de Acora, en <http://www.inei.gob.pe/>*

b). Recolección de datos de la radiación solar en dichas comunidad, estos datos se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla N° 10 Valores de la Radiación solar en las Comunidad de Acora.*

Mes	La temperatura del aire (° C)	Humedad relativa (%)	Diario radiación solar - horizontal (kWh / m <sup>2</sup> / d)	La presión atmosférica (kPa)
Enero	9.6	84,0%	5.64	67
Febrero	9.4	84,1%	5.71	67.1
Marzo	9.2	83,2%	5.6	67.1
Abril	8.3	81,5%	5.56	67.1
Mayo	7	71,5%	5.65	67.2
Junio	5.9	63,0%	5.42	67.2
Julio	5.6	55,3%	5.61	67.2
Agosto	6.9	55,0%	5.88	67.2
Septiembre	8	62,4%	6.3	67.2
Octubre	9.2	67,6%	6.43	67.1
Noviembre	9.7	75,0%	6.63	67
Diciembre	9.8	81,1%	6.16	67

*Fuente: NASA (2015), La meteorología de superficie y Energía Solar, en <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>*

### 3.7 PLAN DE TRATAMIENTO DE DATOS.

Se trató y sistematizó la información del presente trabajo de investigación utilizando lo siguiente:

- Se buscó información de la INEI (Instituto Nacional de Estadística Informática), Registro Civil de la Municipalidad del Distrito de Acora y conteo de viviendas la

cantidad de pobladores que existe en las comunidad, la cantidad de familias, número de ciudadanos que existe en dichas comunidades que se muestra en la tabla 11.

- b) Se buscó la información de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio) la radiación solar que existe en dichas comunidades ya que es de mucha importancia para el diseño del proyecto de bombeo solar para agua potable.

### **3.8 DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

El diseño estadístico para la prueba de hipótesis no es factible, porque es una investigación descriptiva, cuantitativa, no experimental. No se pueden manipular deliberadamente variables.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUCION

#### 4.1 MEMORIA DE CÁLCULOS.

#### 4.2 DEMANDA DE AGUA.

Para el cálculo de la demanda de agua se requiere analizar cuatro variables, que son:

- a) Periodo de diseño.
- b) Población actual y futura.
- c) Dotación de agua.
- d) Cálculo de caudales.

##### 4.2.1 PERIODO DE DISEÑO.

Según DIGESA, el periodo de diseño que debe considerarse de acuerdo al tipo de sistema a implementarse es:



*Tabla N° 11 Periodo de diseño (DIGESA).*

Sistema	Periodo (años)
Gravedad	20
Bombeo	10
Tratamiento	10

*Fuente:* Dirección General de Salud Ambiental (2014), dotación de agua potable, en <http://www.digesa.minsa.gob.pe/>

Debe entenderse sin embargo, que en todos los casos la red de tuberías debe diseñarse para 20 años.

#### 4.2.2 POBLACIÓN ACTUAL Y FUTURA

La población actual se obtendrá de la información de las autoridades locales, relacionándolo con los censos y con el conteo de viviendas y considerando los criterios indicados en el capítulo de información básica.

La población futura, se obtendrá con la fórmula siguiente:

$$Pf = Po \times \left(1 + r \times \frac{t}{100}\right) \dots\dots\dots(\text{Ec.15})$$

Donde:

*r:* Tasa de crecimiento *r* = 1.53

*t:* Periodo de diseño en años *t* = 20

*Po:* Población actual *Po* = 620

*Pf:* Población futura *Pf* = 810

#### 4.2.3 DOTACIÓN DE AGUA

La dotación de agua se expresa en litros por personas al día (lppd) y DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental), recomienda para el medio rural los siguientes parámetros:

*Tabla N° 12 Dotación de agua según DIGESA.*

ZONA	MODULO (lppd)
Sierra	50
Costa	60
Selva	70

**Fuente:** Dirección General de Salud Ambiental (2014), dotación de agua potable, en <http://www.digesa.minsa.gob.pe/>

La OMS recomienda los parámetros siguientes:

*Tabla N° 13 Parámetros de la OMS.*

POBLACION	CLIMAS	
	FRIO	CALIDO
Rural	100	100
2000 - 10000	120	150
10000 - 50000	150	200
50000	200	250

**Fuente:** Organismo Mundial de Salud (2014), dotación de agua potable, en <http://www.who.int/es/>

Y para el presente trabajo del “Sistema de Abastecimiento de Agua Potable con Energía Solar para la Comunidad de Quenafajja” se considera la Dotación de **50 lppd**.

### 4.3 CÁLCULO DE CAUDALES DE DISEÑO

Los parámetros para un proyecto de impulsión para agua potable son los siguientes:

- Caudal promedio diario ( $Q_p$ ).
- Caudal máximo diario ( $Q_{max.d}$ )
- Caudal máximo horario ( $Q_{max.h}$ )

#### 4.3.1 CAUDAL PROMEDIO DIARIO ( $Q_p$ ).

Para el cálculo se considera la siguiente relación y Formula:

$$Q_p = \frac{P_s \times \text{Dot}(s)}{86400} \dots\dots\dots (Ec.16)$$

Donde:

*Dot(s): Dotación a Población / Persona*                      *Dot(s) = 50 L/día*

*Ps: Población*    *Ps = 810*

***Qp: Caudal Promedio***    ***Qp = 0.469l/s***

**4.3.2 CAUDAL MÁXIMO DIARIO (Qmd)**

Es el caudal máximo que se prevé durante 24 horas en el período de un Año; cuando no se tienen datos, el caudal medio diario (Qm) se multiplica por el Factor de día máximo (K1 = 1.3), y se calcula con la siguiente expresión:

$$Qmd = Qp \times K1 \dots\dots\dots(Ec.17)$$

Donde:

K1:	Factor de Caudal Diario	K1 =	1.3
Qp:	Caudal Promedio	Qp =	0.469 l/s
<b>Qmd:</b>	<b>Caudal Máximo Diario</b>	<b>Qmd =</b>	<b>0.609 l/s</b>
			<b>Qmd = 52617.6 l/día</b>

**4.3.3 CAUDAL MÁXIMO HORARIO (Qmh)**

Es el caudal máximo que se prevé en una hora, en un período de un año; cuando no se cuenta con datos del consumo de agua en dicha comunidad; éste se determina multiplicando el caudal medio diario (Qm) por el factor de hora máxima (k2 = 2.0), y se calcula con la siguiente expresión:

$$Qmh = Qp \times K2 \dots\dots\dots(Ec. 18)$$

Donde:

K2:	Factor de Caudal Horario	K2 =	2.0
Qp:	Caudal Promedio	Qp =	0.469 l/s

**Qmh: Caudal Maximo Horario**

**Qmh = 0.937 l/s**

*Tabla N° 14 Consumo de agua proyectado en la localidad de Quenafajja*

Periodo	Año	Población	Caudal Promedio	Caudal Máximo Diario (Qmd)	Caudal Máximo Horario (Qmh)	Max. Demanda Diaria (Qmd)
		Hab.	l/s	l/s	l/s	m3/día
0	2017	620	0.359	0.466	0.718	40.30
1	2018	629	0.364	0.474	0.729	40.92
2	2019	639	0.370	0.481	0.740	41.53
3	2020	648	0.375	0.488	0.751	42.15
4	2021	658	0.381	0.495	0.762	42.77
5	2022	667	0.386	0.502	0.772	43.38
6	2023	677	0.392	0.509	0.783	44.00
7	2024	686	0.397	0.516	0.794	44.62
8	2025	696	0.403	0.524	0.805	45.23
9	2026	705	0.408	0.531	0.816	45.85
10	2027	715	0.414	0.538	0.827	46.47
11	2028	724	0.419	0.545	0.838	47.08
12	2029	734	0.425	0.552	0.849	47.70
13	2030	743	0.430	0.559	0.860	48.32
14	2031	753	0.436	0.566	0.871	48.93
15	2032	762	0.441	0.573	0.882	49.55
16	2033	772	0.447	0.581	0.893	50.17
17	2034	781	0.452	0.588	0.904	50.78
18	2035	791	0.458	0.595	0.915	51.40
19	2036	800	0.463	0.602	0.926	52.02
20	2037	810	0.469	0.609	0.937	52.63

*Fuente: Plan de Desarrollo Concertado del Distrito de Acora (2016).*

**4.3.4 CÁLCULO DE CAUDAL DE BOMBEO (QB)**

Las horas y el caudal de bombeo van íntimamente ligados, ya que si las horas de bombeo aumentan, el caudal de bombeo (QB) disminuirá y por el contrario si las horas de bombeo disminuyen, el caudal de bombeo (QB) deberá aumentar. Para determinar ambos, es preciso saber si el aforo de la fuente tiene la capacidad para soportar el

bombeo. La determinación del caudal de bombeo (QB) se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$Q_B = Q_{md} \times \frac{24}{T_b} \dots\dots\dots(Ec.19)$$

Donde:

*Qmd:* Caudal Máximo Diario  $Q_{md} = 2.193 \text{ m}^3/\text{h}$

*Tb:* Horas de Bombeo Diario  $T_b = 5 \text{ horas}$

*QB:* Caudal de Bombeo Diario  $Q_B = 10.53 \text{ m}^3/\text{h} = 0.00292 \text{ m}^3/\text{s}$

*Tabla N° 15 Cálculo de caudales de bombeo por hora.*

AÑO	POBLACIÓN	CAUDAL MAXIMO DIARIO (Qmd)	CAUDAL DE BOMBEO (QB) POR HORAS DE BOMBEO							
			1	2	3	4	5			
	Hab.	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h		
0	620	1.679	40.30	20.15	13.43	10.08	8.06			
1	629	1.705	40.92	20.46	13.64	10.23	8.18			
2	639	1.731	41.53	20.77	13.84	10.38	8.31			
3	648	1.756	42.15	21.07	14.05	10.54	8.43			
4	658	1.782	42.77	21.38	14.26	10.69	8.55			
5	667	1.808	43.38	21.69	14.46	10.85	8.68			
6	677	1.833	44.00	22.00	14.67	11.00	8.80			
7	686	1.859	44.62	22.31	14.87	11.15	8.92			
8	696	1.885	45.23	22.62	15.08	11.31	9.05			
9	705	1.910	45.85	22.92	15.28	11.46	9.17			
10	715	1.936	46.47	23.23	15.49	11.62	9.29			
11	724	1.962	47.08	23.54	15.69	11.77	9.42			
12	734	1.987	47.70	23.85	15.90	11.92	9.54			
13	743	2.013	48.32	24.16	16.11	12.08	9.66			
14	753	2.039	48.93	24.47	16.31	12.23	9.79			
15	762	2.065	49.55	24.77	16.52	12.39	9.91			
16	772	2.090	50.17	25.08	16.72	12.54	10.03			
17	781	2.116	50.78	25.39	16.93	12.70	10.16			
18	791	2.142	51.40	25.70	17.13	12.85	10.28			
19	800	2.167	52.02	26.01	17.34	13.00	10.40			
20	810	2.193	52.63	26.32	17.54	13.16	10.53			

*Fuente: Sosa (2017), Proceso de cálculo de caudales de bombeo.*

#### 4.4 DISEÑO DE LA LINEA DE IMPULSIÓN

##### 4.4.1 CÁLCULO DEL DIÁMETRO DE IMPULSIÓN DE LA TUBERÍA

Es preciso determinar el diámetro de tubería a utilizar ya que de éste dependerá en mucho la potencia de la bomba; si se adopta un diámetro relativamente grande, resultarán pérdidas de carga pequeñas y en consecuencia la potencia del sistema de bombeo será reducida; por tanto las bombas serán de menor costo, pero el costo de la tubería de descarga será elevado y si el diámetro de la tubería es pequeño, la tubería será de menor costo pero la bomba será costosa y consumirá más energía.

Existe un diámetro conveniente para el cual el costo total de las instalaciones es mínimo, así como su operación, a éste se le designa “diámetro económico (De)” y es el diámetro que permite conducir el caudal requerido a un mínimo costo total entre tubería y operación de bombeo. El diámetro económico (De) puede determinarse mediante la siguiente expresión.

Un paso para la determinación del diseño de la línea de impulsión es la elección del diámetro de la tubería, y para obtener el diámetro óptimo y económico utilizamos la fórmula empírica de BRESSE para bombeos convencionales y fotovoltaicos.

$$D_{imp} = 1.12 \times \left(\frac{N}{4}\right)^{0.25} \times \sqrt{Q_B} \dots \dots \dots (Ec.20)$$

Donde:

*QB:* Caudal de Bombeo Diario *QB = 0.00292 m3/s*

*N:* Número de Horas de Bombeo *N = 5*

***Dimp:*** Diámetro de la Tubería de Impulsión ***Dimp = 0.0639 m***

***Dimp:*** Diámetro de la Tubería (normalizado) ***Dimp = 0.073 m***

***Dimp = 2<sup>1/2</sup> pulg***

*Características de la tubería a usar:*

*Diámetro interior de la tubería de Impulsión*  $D_{imp} = 0.0639 \text{ m}$

*Espesor de la tubería de Impulsión*  $e = 0.00516 \text{ m}$

*Diámetro exterior de la tubería de Impulsión*  $D_{imp} = 0.073 \text{ m}$

**4.4.2 CÁLCULO DEL CAUDAL Y DE LA VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO CON LOS DATOS REALES.**

Una vez calculado y establecido el diámetro de impulsión de la tubería en diámetros normalizados y comerciales se pasa a recalculer nuevamente el caudal y la velocidad media reales que tendrá el sistema, para ello lo recalcularemos con la ecuación de HAZEN – WILLIAMS

$$Q_b = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times S^{0.54} \dots\dots\dots(\text{Ec.21})$$

*D:* *Diámetro de la tubería de Impulsión*  $D = 0.0639\text{m}$

*S:* *Relación de Hanzen - Williams*  $S = 0.0049467$

*C:* *Coficiente de Hanzen - Williams*  $C = 150$

***Q<sub>b</sub>:*** ***Caudal de Bombeo***  $Q_b = 0.00171 \text{ m}^3/\text{s}$

Por consiguiente la velocidad media se calculara con la ecuación de continuidad:

$$V = \frac{Q_b}{\frac{(\pi \times D^2)}{4}} \dots\dots\dots(\text{Ec.22})$$

Donde:

*Q<sub>b</sub>:* *Caudal de Bombeo*  $Q_b = 0.00171 \text{ m}^3/\text{s}$

*D:* *Diámetro de la tubería de Impulsión*  $D = 0.0639 \text{ m}$

*V:* *Velocidad Media del Flujo en la tubería*  $V = 0.533 \text{ m/s}$

**4.4.3 CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS DE IMPULSIÓN**

Estas se dividen en dos tipos:

**Cálculo de Pérdidas de carga por Fricción (perdidas primarias)**

Con los datos de la velocidad de flujo en el sistema de impulsión se procede con el cálculo de la pérdida por carga por fricción en la línea utilizando para lo cual la ecuación de HAZEN – WILLIAMS el cual se expresa:

$$S = \left( \frac{Q_b}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right)^{0.54} \dots\dots\dots(Ec.23)$$

$$hf = SxL$$

El sistema de bombeo tiene dos tramos con tuberías de impulsión de diferente material (HDPE y tubo de F°G°).

**TRAMO I (tubo HDPE)**

Donde:

- Qb: Caudal de Bombeo* *Qb = 0.00171 m3/s*
- D: Diámetro de la tubería de Impulsión* *D = 0.0639 m*
- C: Coeficiente de Hanzen - Williams* *C = 150.00*
- L: Longitud del tramo de la Línea de Impulsión* *L = 130 m*
- S: Relación de Hanzen - Williams* *S = 0.0049467*
- hf1: Altura de perdidas Primarias (TRAMO I)*** ***hf1 = 0.64m***

**TRAMO II (tubo de F°G°)**

Donde:

- Qb: Caudal de Bombeo (m³ /s)* *Qb = 0.00171 (m³/s)*
- D: Diámetro de la tubería de Impulsión (m)* *D = 0.0639 m*
- C: Coeficiente de Hanzen - Williams* *C = 150.00*
- L: Longitud del tramo de la Línea de Impulsión (m)* *L = 10.m (tramo II)*
- S: Relacion de Hanzen - Williams* *S = 0.0104812*
- hf2: Altura de perdidas Primarias (TRAMO II)*** ***hf2 = 0.10 m***



**TOTAL DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN**

*hf1: Altura de perdidas Primarias (TRAMO I)*                      *hf1 = 0.64 m*

*hf2: Altura de perdidas Primarias (TRAMO II)*                      *hf2 = 0.10 m*

*Hf = hf1 + hf2*

***Hf = 0.74 m***

***Hf: Altura total de perdidas*    *Hf = 0.74 m***

**Cálculo de Pérdida de carga Local (perdidas secundarias)**

La determinación de las pérdidas locales es calculada por la ecuación de BORDE – BELANGER teniendo en cuenta la cantidad de accesorios y la velocidad del flujo:

$$h_s = \sum K \times \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots(\text{Ec.24})$$

Donde:

*V: Velocidad Media del Fluido en la Tubería*                      *V = 0.533 m/s*

*g: Gravedad*    *g = 9.81 m/s<sup>2</sup>*

*K1: Válvula Check (1)*    *K1 = 2.5*

*K2: válvula de compuerta (2)*    *K2 = 1*

*K3: Derivación en T (1)*    *K3 = 0.5*

*K4: Codos de 90° (2)*    *K4 = 0.9*

*K5: Codos de 45° (2)*    *K5 = 0.4*

*K6: Uniones y empalmes (2)*    *K6 = 0.1*

*Kt: Suma total de perdidas*    *Kt = 5.4*

***hs: Pérdidas secundarias*    *hs = 0.078m***

**Cálculo la altura dinámica total del sistema de bombeo (HDT)**

Para determinar la altura dinámica total del Sistema de bombeo de agua es necesario tener algunos datos como la altura estática, abatimiento y pérdidas de carga por fricción.

$$HDT = H_E + H_A + H_f \dots\dots\dots(\text{Ec.25})$$

Donde:

<i>He:</i> <i>Altura estática (m)</i>	<i>He = 27 m</i>
<i>Ha:</i> <i>Altura de Abatimiento (m)</i>	<i>Ha = 5.8 m</i>
<i>Hf:</i> <i>Altura total de pérdidas por fricción (m)</i>	<i>Hf = 0.74 m</i>
<b><i>HDT:</i>    <i>Altura Dinámica Total (m)</i></b>	<b><i>HDT = 33.54 m</i></b>

**Cálculo de la presión hidrostática**

La presión es independiente del tamaño de la sección de la columna: depende sólo de su altura (nivel del líquido) y de la naturaleza del líquido (peso específico), se determina en el reservorio de almacenamiento de agua potable con la siguiente formula:

$$P = d \cdot h \cdot g \dots\dots\dots(Ec.26)$$

Donde:

<i>D:</i> <i>Densidad del agua potable (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>d = 1000</i>
<i>H:</i> <i>Profundidad del agua en el reservorio (m)</i>	<i>h = 3.80</i>
<i>G:</i> <i>Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)</i>	<i>g = 9.81</i>
<b><i>P:</i>    <i>Presión Hidrostática (Pa)</i></b>	<b><i>P = 37.278 kPa</i></b>

**4.5 CÁLCULO DE SOBREPRESIONES DE CIERRE INSTANTÁNEO O FENÓMENO DE GOLPE DE ARIETE.**

**4.5.1 CÁLCULO DEL FENÓMENO DE PROPAGACIÓN DE ONDA.**

Es el fenómeno producto de una interrupción súbita de la energía que propulsa el agua en una línea de impulsión, por el cierre rápido de una válvula de regulación de flujo a la salida de la bomba ocasionando una presión interna a lo largo de la tubería de impulsión el cual el efecto es adquirida por los accesorios y paredes de la tubería como un impacto. El cual es calculado por la ecuación: CÁLCULO DEL FENÓMENO DE PROPAGACIÓN DE ONDA

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \times \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{e \times E}\right)}} \dots\dots\dots (Ec.27)$$

Donde:

$\rho$ :	<i>Densidad del agua (kg/m3)</i>	$\rho = 1000.00 \text{ kg/m}^3$
$e$ :	<i>Espesor de la tubería (m)</i>	$e = 0.00516 \text{ m}$
$E$ :	<i>Módulo de elasticidad del material</i>	$E = 4.20E+09 \text{ N/m}^2$
$K$ :	<i>Módulo de elasticidad del Agua</i>	$K = 2.00E+09 \text{ N/m}^2$
$D$ :	<i>Diámetro Interior (m)</i>	$D = 0.0639 \text{ m}$
$a$ :	<b><i>Velocidad de Propagación de la Onda</i></b>	<b><math>a = 443.18 \text{ m/s}</math></b>

**4.5.2 RESISTENCIA AL GOLPE DE ARIETE PARA LA LÍNEA DE IMPULSIÓN.**

Para calcular el tiempo de cierre usaremos la expresión empírica de Mendiluce, de la ecuación:

$$T = 1 + \frac{k \times L \times V}{g \times H} \dots\dots\dots (Ec.28)$$

Donde:

$K$ :	<i>Coficiente de Mendiluce</i>	$(K=1, \text{ si } L < 3000m) K = 1.00$
$L$ :	<i>Longitud de la Tubería (m)</i>	$L = 130m$
$V$ :	<i>Velocidad del agua en la Tubería (m)</i>	$V = 0.533 \text{ m/s}$
$H$ :	<i>Altura de Impulsión del Tramo (m)</i>	$H = 37 \text{ m}$
$g$ :	<i>Constante de Gravedad (m/s<sup>2</sup>)</i>	$g = 9.81m/s^2$
$T$ :	<b><i>Tiempo de Cierre</i></b>	<b><math>T = 1.19 \text{ seg}</math></b>

**4.5.3 CÁLCULO DEL TIEMPO CRÍTICO DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA.**

Para calcular la velocidad de propagación de onda usaremos la ecuación de MICHAUD:

$$T_C = \frac{2 \times L}{a} \dots\dots\dots (Ec.29)$$

Donde:

- L*: Longitud de la Tubería (m) *L* = 130 m
- a*: Velocidad de propagación de la onda *a* = 437.70 m/s
- Tc***: **Tiempo crítico de Propagación** ***Tc* = 0.60 seg**

**4.5.4 CÁLCULO DE SOBREPRESIÓN EN LA TUBERÍA.**

Para este cálculo de sobrepresión en la tubería usaremos la ecuación de MICHAUD.

$$\Delta H_a = \frac{2 \times L \times V}{g \times T_c} \dots\dots\dots (Ec.30)$$

Donde:

- L*: Longitud de la Tubería (m) *L* = 130 m
- g*: Constante de gravedad(m/s<sup>2</sup>) *g* = 9.81m/s<sup>2</sup>
- V*: Velocidad de flujo en la tubería (m/s) *V* = 0.533m/s
- Tc*: Tiempo critico de Propagación(s) *Tc* = 0.60seg
- ΔHa***: **Carga por sobrepresión** ***ΔHa* = 23.55 m.c.a.**

**4.5.5 CÁLCULO DE LA PRESIÓN MÁXIMA EN EL PUNTO MÁS BAJO.**

Se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{max} = \Delta H + \Delta H_a \dots\dots\dots (Ec.31)$$

Donde:

- ΔHa*: Carga por Sobrepresión *ΔHa* = 42.19 m
- ΔH*: Diferencia de Altura RES - P. V. chek *ΔH* = 92.75 m
- Pmax***: **Presión Máxima en el punto más bajo** ***Pmax* = 134.94 m.c.a.**

**4.6 CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LA BOMBA - MOTOR.**

**4.6.1 CÁLCULO DE POTENCIA DE CONSUMO (POTENCIA DE LA BOMBA).**

La energía que necesita la bomba para su desenvolvimiento es calculado por la siguiente expresión:

$$P_B = \frac{\delta \times g \times HDT \times Q_B}{\eta_B} \dots\dots\dots (Ec.32)$$

Donde:

- $\delta$ : Densidad del agua  $\delta = 1000.00 \text{ kg/m}^3$
- $g$ : Gravedad  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $HDT$ : Altura total de Bombeo  $Ht = 36.61 \text{ m}$
- $Q_B$ : Caudal de Bombeo  $Q_B = 0.00171 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\eta_b$ : Eficiencia de la Bomba  $\eta_b = 0.7$
- $P_B$ : Potencia Requerida de la Bomba  $P_B = 877.337 \text{ W}$**   
 **$P_B = 1.176 \text{ HP}$**

**$P_B$ : Potencia Requerida de la Bomba en valores comerciales  $P_B = 1.5 \text{ HP}$**

**4.6.2 CÁLCULO DE LA POTENCIA INSTALADA DEL SISTEMA.**

Se calcula con la eficiencia del sistema en conjunto BOMBA – MOTOR, dicha eficiencia se calcula con la expresión:

$$\eta_t = \eta_B \times \eta_M \dots\dots\dots (Ec.33)$$

Donde:

- $\eta_m$ : Eficiencia del motor  $\eta_m = 0.60$
- $\eta_B$ : Eficiencia Bomba  $\eta_t = 0.70$
- $\eta_t$ : Eficiencia Total  $\eta_t = 0.42$**

Y por consiguiente el Cálculo de potencia instalada del sistema se da por la ecuación:

$$P_B = \frac{\delta \times g \times HDT \times Q_B}{\eta_c} \dots\dots\dots (Ec.34)$$

Donde:

$\delta$ : Densidad del agua (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta = 1000.00$ kg/m <sup>3</sup>
$g$ : Gravedad(m/s <sup>2</sup> )	$g = 9.81$ m/s <sup>2</sup>
HDT: Altura total de Bombeo (m)	$Ht = 36.61$ m
QB: Caudal de Bombeo (m <sup>3</sup> /s)	$QB = 0.0171$ m <sup>3</sup> /s
$\eta_b$ : Eficiencia de la Bomba	$\eta_b = 0.70$
$\eta_m$ : Eficiencia del motor	$\eta_m = 0.60$
$\eta_c$ : Eficiencia Total	$\eta_c = 0.42$

**PB: Potencia Requerida de la Bomba - Motor PB = 1.462 KW**

**PB: Potencia Requerida de la Bomba - Motor PB = 2 HP**

#### 4.6.3 SISTEMA DE PROTECCIÓN DE LA BOMBA.

Para que la bomba solar sumergible funcione adecuadamente nunca debe trabajar en vacío. La protección que se tendrá en cuenta:

- a) Trabajo en vacío controlando la sub intensidad. I <
- b) Sobrecargas con memoria térmica. I >
- c) Sobretensiones (+ 15%). U >
- d) Cortocircuito. I >>

La protección que vamos a emplear el arrancador suave de modelo como se menciona:

MODELO: ES400-45

CÓDIGO: 41845

In (A) intensidad nominal máxima: 45

Tensión nominal (V) 60 Hz: 400

El sistema de protección empleado tendrá las siguientes funciones:

- a) Arranque suave.
- b) Parada suave.

- c) Falta y desequilibrio de fase.
- d) Secuencia incorrecta de fases.
- e) Sobrecalentamiento del motor.

#### **4.7 MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA CON EL PROGRAMA WATERCAD.**

##### **4.7.1 DISEÑO DE TUBERÍAS CON WATERCAD V8i.**

Para características mostradas, determinar los caudales que circulan en el sistema y las presiones en los nudos. Se considera los siguientes datos:

- a)  $V_{\text{mínima}} = 0.60 \text{ m/s}$
- b)  $V_{\text{máxima}} = 3.00 \text{ m/s}$
- c) Presión mínima = 10mH<sub>2</sub>O
- d) Coeficiente C = 150

Para este proyecto, el programa nos da los siguientes datos de los diámetros de las tuberías, el coeficiente de Hazen-Williams C, la longitud de la tubería hacia los nudos y el material de la tubería:

Figura N° 30 Diámetro de las tuberías de distribución.

	Label	Material	Diameter (in)	Hazen-Williams C	Has User Defined Length?	Length (User Defined) (m)
37: P-1	P-1	PVC	8.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	970
38: P-2	P-2	PVC	9.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1,500
39: P-3	P-3	PVC	9.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1,120
40: P-4	P-4	PVC	9.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	1,651
41: P-5	P-5	PVC	9.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	3,500
42: P-6	P-6	PVC	0.5	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	980
43: P-7	P-7	PVC	6.0	150.0	<input checked="" type="checkbox"/>	976

\*  = Base data       = Local data       = Inherited data

Fuente: Watercad (2015), diseño del sistema de distribución.

#### 4.7.2 LA DEMANDA DE AGUA POTABLE.

Introducimos al programa las demandas que se desea obtener en cada nodo:

Figura N° 31 Demanda de agua potable para la red de distribución.

	ID	Label	Demand (Base) (L/s)	Pattern (Demand)	Zone
1	29	J-1	20.00	Fixed	<None>
2	30	J-2	20.00	Fixed	<None>
3	31	J-3	25.00	Fixed	<None>
4	32	J-4	30.00	Fixed	<None>
5	33	J-5	25.00	Fixed	<None>
6	34	J-6	30.00	Fixed	<None>
7	35	J-7	25.00	Fixed	<None>

Fuente: Watercad (2015), diseño del sistema de distribución.



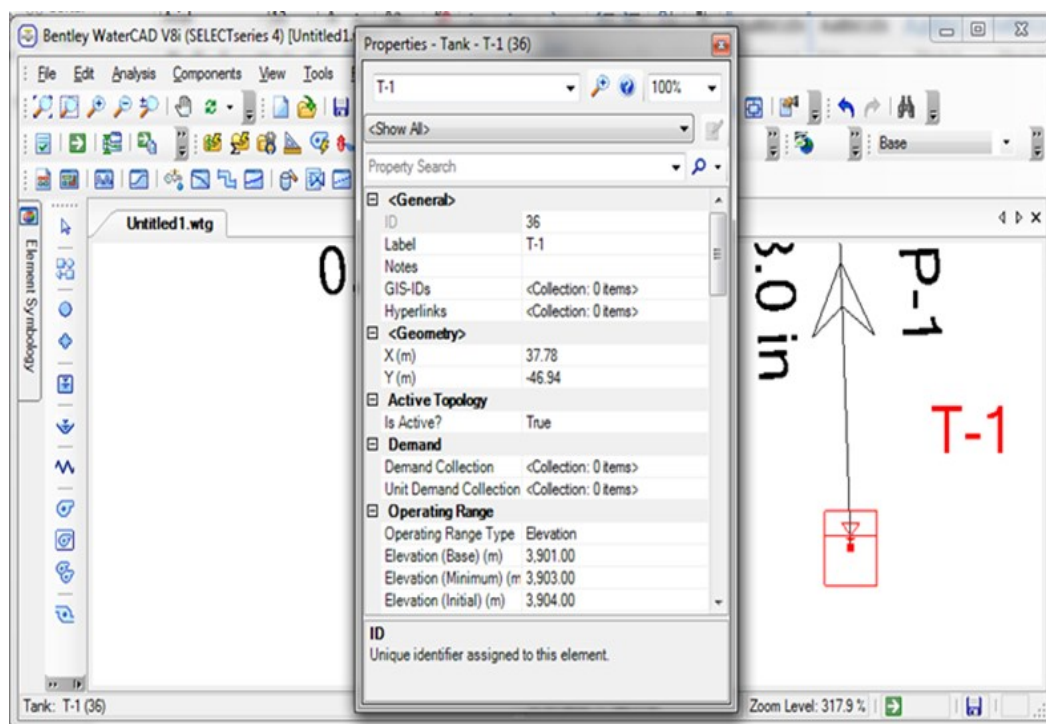
#### 4.7.3 TANQUE DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

Introducimos al programa los datos para el tanque que son los siguientes:

- a) Elevación base (m) : 3901 m
- b) Elevación mínima (m) : 3903 m
- c) Elevación inicial (m) : 3904 m
- d) Elevación máxima (m) : 3.908 m
- e) Elevación (m) : 3901 m
- f) Diámetro (m) : 5.60 m

Está representado mediante la siguiente figura:

*Figura N° 32 Elevación del tanque de distribución.*

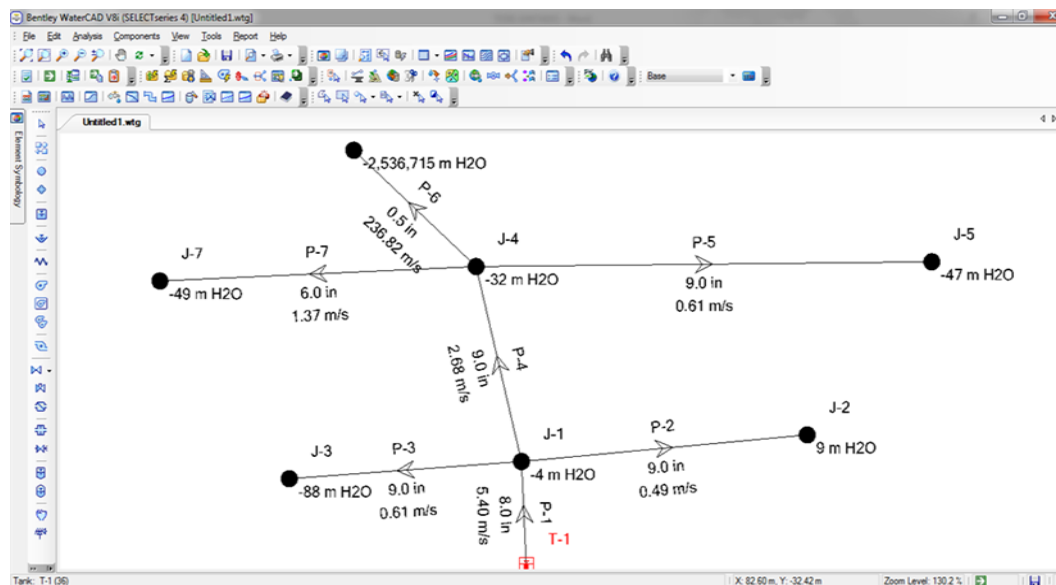


*Fuente: Watercad (2015), diseño del sistema de distribución.*

#### 4.7.4 MODELAMIENTO COMPUTARIZADO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

En esta figura se muestra el diseño el sistema de distribución de agua potable, nos indica la velocidad, diámetro de tubería y presión en cada nodo según las normas establecidas:

*Figura N° 33 Modelamiento computarizado de la red de distribución de agua potable.*



*Fuente: Watercad (2015), diseño del sistema de distribución.*

#### 4.8 CÁLCULO DE ARREGLO FOTOVOLTAICO.

El objeto de este apartado es evaluar el dimensionamiento del generador fotovoltaico que necesita el sistema en su conjunto. El cual se subdivide en los siguientes cálculos.

##### 4.8.1 ENERGÍA HIDRÁULICA REQUERIDA.

La energía hidráulica requerida EHR, es un parámetro ficticio que incluye todas las características que se presentan en un sistema de bombeo, como características físicas del pozo, las pérdidas por fricción en las tuberías (contribución equivalente en altura) y la variación del nivel dinámico del agua durante el bombeo. Para hacer el cálculo se puede

utilizar la siguiente ecuación:

$$E_{HR} = \frac{K \times Q_D \times H_{TE}}{\eta_{MB}} \dots \dots \dots (Ec.35)$$

Donde:

<i>K</i> : constante	<i>K</i> = 2.725
<i>QD</i> : Caudal requerido	<i>QD</i> = 252.72 m <sup>3</sup> /día
<i>HtE</i> : Altura total Equivalente	<i>HtE</i> = 36.61 m
<i>ηMB</i> : Rendimiento del conjunto bomba (0.3 - 0.42)	<i>ηMB</i> = 0.42
<b><i>EHR</i>: Energía Hidráulica Requerida</b>	<b><i>EHR</i> = 60028.371 Wh/día</b>

Comparando con los resultados obtenidos en el cálculo de potencia del sistema se tiene:

***PB*: Potencia Requerida del sistema de bombeo *PB* = 1.462 KW**

***PB*: Potencia Requerida del sistema de bombeo *PB* = 2 HP**

Entonces la energía Hidráulica requerida es:

$$EHR = P_B \times T_b \times 1000$$

Donde:

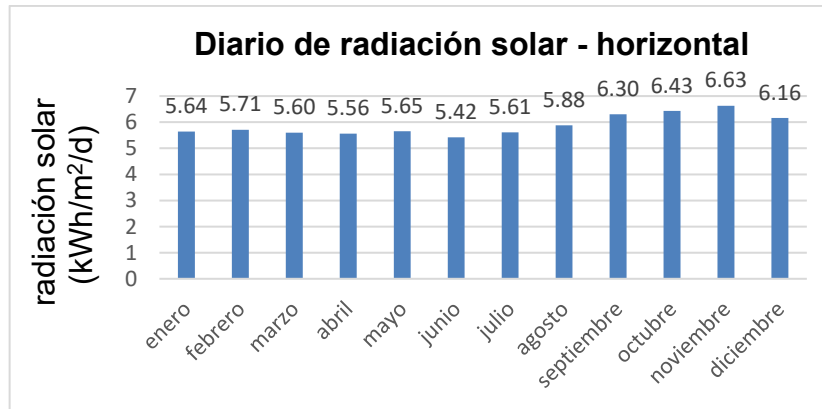
<i>PB</i> : Potencia Requerida de la Bomba	<i>PB</i> = 1.462 kw
<i>Tb</i> : Tiempo de Bombeo	<i>Tb</i> = 5 horas
<b><i>EHR</i>: Energía Hidráulica Requerida</b>	<b><i>EHR</i> = 7310 Wh/día</b>

#### 4.8.2 CÁLCULO DE POTENCIA PICO NECESARIO

Dentro de este apartado seleccionaremos el mes de dimensionamiento en función de los datos de irradiación proporcionados. Conseguimos los datos de irradiación media mensual tras introducir los datos de altitud y latitud para fijar la posición geográfica 16°07'52.21" Latitud Sur 69°41'52.72" Latitud Oeste

Estos datos son obtenidos de la NASA:

**Figura N° 34** Irradiación media de cada mes y del año.



**Fuente:** NASA (2015), medición de radiación solar, en <https://eosweb.larc.nasa.gov>, s.f.

Registrando los valores en la figura: 36 podemos comprobar que el mes más desfavorable dentro de nuestro periodo de dimensionamiento es junio con una irradiación media diaria de 5.42 KWh/m²/día y que nuestro ángulo de inclinación óptimo es de 15 grados con orientación al norte. Este ángulo nos indica hacia donde debemos orientar nuestros paneles fotovoltaicos para conseguir la mayor captación de irradiación solar.

Con esta potencia podemos seleccionar los paneles fotovoltaicos que se instalarán y el número de ellos mirando las tablas de características que nos aportan los fabricantes. La potencia pico del generador seleccionado deberá ser mayor o igual a la potencia pico requerida por la instalación con la expresión:

$$P_{PN} = \frac{E_{HR}}{\eta_{sist}} \times \frac{G_{CEM}}{F_m \times (1 - \delta(T_m - T_{CEM})) \times G_{dm}} \dots\dots\dots (Ec.36)$$

Donde:

*EHR*: Energía Hidráulica Requerida *EHR* = 7310 Wh/día  
*ηsist*: Rendimiento del sistema (0.8 - 0.9) *ηsist* = 0.90

<i>G<sub>CEM</sub></i> : Radiación media Diaria	$G_{CEM} = 1000.00 \text{ W/m}^2$
<i>F<sub>m</sub></i> : Factor de acoplo medio (0.90 bombas sumrg.)	$F_m = 0.90$
<i>δ</i> : Coef. de Variación de la potencia con la temp.	$\delta = 0.004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$
<i>T<sub>m</sub></i> : Temperatura media diaria en los módulos	$T_c = 40 \text{ }^\circ\text{C}$
<i>T<sub>CEM</sub></i> : Temperatura base de los Módulos	$T_{CEM} = 25^\circ\text{C}$
<i>G<sub>dm</sub></i> : Radiación media diaria en u mes dad	$G_{dm} = 5420.00\text{wh/m}^2/\text{dia}$
<b>Ppn</b> <i>Potencia pico necesaria</i>	<b><math>P_{pn} = 1774.1845\text{Wp}</math></b>

**4.8.3 CÁLCULO DEL ÁREA DE LOS PANELES SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS.**

Características del Módulo fotovoltaico:

<i>N<sub>c</sub></i> : Número de Células	$N_c = 60$
<i>D<sub>cel</sub></i> : Dimensión de las Células	$a = 156.00 \text{ mm}$
	$b = 156.00 \text{ mm}$
<i>D<sub>mod</sub></i> : Dimensión del módulo	$A = 1667.00 \text{ mm}$
	$B = 994.00\text{mm}$
	$C = 45.00 \text{ mm}$
<i>A<sub>cel</sub></i> : Área total de Células en el módulo	$A_{cel} = 1.460\text{m}^2$
<i>A<sub>mod</sub></i> : Área total del módulo	$A_{mod} = 1.657\text{m}^2$

**4.8.4 CÁLCULO DEL ÁREA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO.**

El dimensionado mínimo del área del generador, en primera instancia, se realiza suponiendo que opera en condiciones estándar (CEM: 25 °C y 1000 W/m<sup>2</sup>) y que el punto de trabajo coincide con el de máxima potencia todo el día.

El cual se expresa y se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_{total} = \frac{A_{cel} \times P_{rsp}}{P_{panel}} \dots\dots\dots(\text{Ec.37})$$

Donde:

*Acel*: Área total de Células en el módulo  $Acel = 1.460 \text{ m}^2$

*Prsp*: Potencia Requerida en el Sistema de Paneles  $Prsp = 1774.1845 \text{ Wp}$

*Ppanel*: Potencial del Panel elegido  $Ppanel = 250.00 \text{ Wp}$

***Atotal*: Área Total Requerida  $Atotal = 10.36 \text{ m}^2$ .**

#### 4.8.5 CÁLCULO DEL N° DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Se Calcula con la siguiente expresión:

$$N^{\circ}_{PS} = \frac{A_{total}}{A_{cel}}$$

Donde:

*Atotal*: Área Total Requerida  $Atotal = 10.36 \text{ m}^2$

*Acel*: Área total de Células en el módulo  $Acel = 1.460 \text{ m}^2$

*N°ps*: Numero de Paneles solares de 250 W  $N^{\circ}ps = 8 \text{ unid.}$

#### 4.9 CÁLCULO DE CAPACIDAD DEL RESERVORIO.1

Los aspectos más importantes a considerarse para el diseño son la capacidad del reservorio, ubicación y tipo de reservorio.

Para el cálculo de la capacidad del reservorio, se considera la compensación de variaciones horarias, diarias de consumo y los eventuales desperfectos en la línea de conducción. El reservorio debe permitir que la demanda máxima que se produce en el consumo sea satisfecha a cabalidad, al igual que cualquier variación en el consumo registrada en las 24 horas del día. Ante la eventualidad de que en la línea de conducción puedan ocurrir daños que mantengan una situación de déficit en el suministro de agua mientras se hagan las reparaciones pertinentes, es aconsejable un volumen adicional que

de oportunidad de restablecer la conducción de agua hasta el reservorio.

**4.9.1 CÁLCULO DE MÁXIMA DEMANDA DIARIA.**

$$MDD = Qmd \times \frac{86400}{1000} \dots\dots\dots(Ec.38)$$

Donde:

*Qmd*: Caudal Máximo Diario *Qm* = 0.00855m<sup>3</sup>/s  
*MDD*: Máxima Demanda Diaria *MDD* = 0.73872m<sup>3</sup>/día

**4.9.2 CÁLCULO DE VOLUMEN DE REGULACIÓN.**

Se Calcula con la siguiente expresión:

$$Vr = K \times MDD \dots\dots\dots(Ec.39)$$

Donde:

*K*: Factor de Volumen de Regulación (*k*=15% - 25%) *K* = 0.25  
*MDD*: Máxima Demanda Diaria *MDD* = 0.73872m<sup>3</sup>/día

*Vr*: Volumen de regulación *Vr* = 1.18468m<sup>3</sup>

Y teniendo en cuenta para días nublados la capacidad del reservorio deberá de tener una autonomía para abastecer a la población por tres días por consiguiente:

$$VrSBF = Vr \times 3 \dots\dots\dots(Ec.40)$$

*Vr*: Volumen de regulación *Vr* = 1.18468 m<sup>3</sup>  
*VrSBF*: Volumen de regulación para SBF *VrSFV* =3.55404 m<sup>3</sup>

**4.9.3 VOLUMEN CONTRA INCENDIO.**

Para el cálculo del volumen contra incendio deberá cumplir con las siguientes condiciones:

*Pf* < 10000 *Vi* = 0,

$$Pf > 10000, \quad Vi = 100m^3/dia$$

Donde:

$$Pf: \text{ Población futura} \quad Pf = 810$$

$$Vi: \text{ Volumen Contra Incendio} \quad Vi = 0.00 \quad m^3$$

**4.9.4 VOLUMEN DEL RESERVORIO TOTAL PARA EL SISTEMA.**

Expresado por:

$$Vtc = Vr + Ve + Vi.....(Ec.41)$$

Donde:

$$Vr: \text{ Volumen de regulación de un SBF} \quad Vr = 1.18468 \quad m^3$$

$$Ve: \text{ Volumen de Emergencia} \quad Ve = 9.00 \quad m^3$$

$$Vi: \text{ Volumen Contra Incendio} \quad Vi = 0.00 \quad m^3$$

$$Vtc: \text{ Volumen Total del reservorio} \quad Ve = 10.18468m^3$$

**4.10 SELECCIÓN DE EQUIPOS DE BOMBEO Y TUBERÍAS DE IMPULSIÓN.**

**4.10.1 SELECCIÓN DE TUBERÍA DE IMPULSIÓN.**

Para la selección de la tubería se tendrá en cuenta los resultados de:

**Calculo de la presión máxima en el punto más bajo**

$$P_{max} = \Delta H + \Delta H_a.....(Ec.42)$$

Donde:

$$\Delta H_a: \text{ Carga por Sobrepresión} \quad \Delta H_a = 42.19m$$

$$\Delta H: \text{ Diferencia de Altura RES - P. V. chek} \quad \Delta H = 92.75 \quad m$$

$$P_{max}: \text{ Presión Máxima en el punto más bajo} \quad P_{max} = 134.94 \quad m.c.a.$$

Entonces teniendo referencia el resultado de la Presión Máxima en el punto más bajo



de la Tubería que es de  $P_{max} = 134.94$  m.c.a., entonces se seleccionara una tubería de 2 pulg, espesor 22.4mm y con un diámetro interior de 155.2mm..

#### 4.11 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE IMPULSIÓN.

Se selecciona con los datos obtenidos:

- Caudal de Bombeo

$$Tb: \text{ Horas de Bombeo Diario} \quad Tb = 5 \text{ horas}$$

$$QB: \text{ Caudal de Bombeo Diario} \quad QB = 6.156 \text{ m}^3/h$$

- Potencia de la Bomba requerida en el Sistema

$$PB: \text{ Potencia Requerida de la Bomba} \quad PB = 1.462 \text{ KW}$$

$$PB = 2 \text{ HP}$$

- Altura Dinámica del Sistema

$$Ht: \text{ Altura de Bombeo del Sistema} \quad Ht = 36.61 \text{ m}$$

Se instalaran 1 bomba en serie de 2 HP con un caudal de bombeo de  $6.162 \text{ m}^3/h$ .

#### 4.12 SELECCIÓN DE LOS PANELES SOLARES

Con los datos:

$$Nc: \text{ Número de Células} \quad Nc = 60$$

$$D_{cel}: \text{ Dimensión de las Células} \quad a = 156.00 \text{ Mm}$$

$$b = 156.00 \text{ Mm}$$

$$D_{mod}: \text{ Dimensión del modulo} \quad A = 1667.00 \text{ mm}$$

$$B = 994.00 \text{ mm}$$

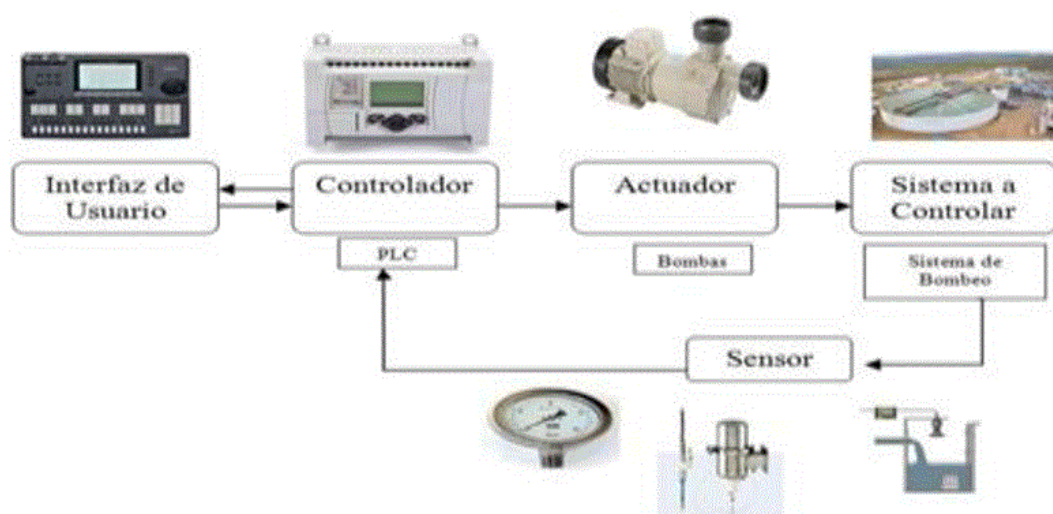
$$C = 45.00 \text{ mm}$$

#### 4.13 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO.

##### 4.13.1 DIAGRAMA DE BLOQUES.

Al ser especificadas las tecnologías de control que se desarrollarán para el sistema de automatización, se presenta el diagrama de bloques de los subsistemas involucrados

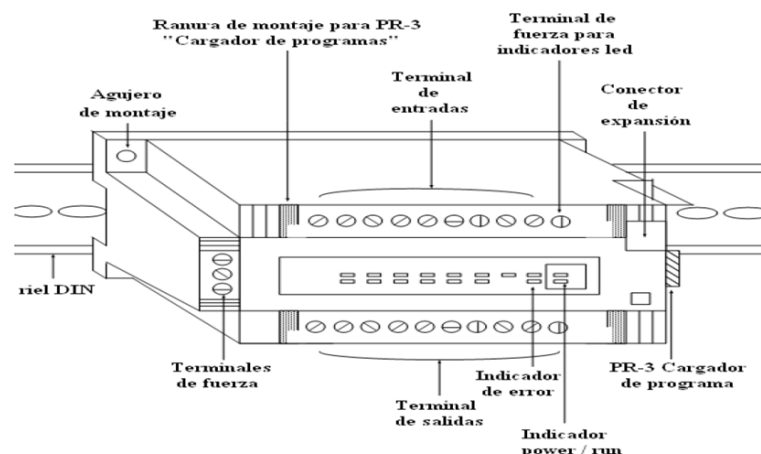
*Figura N° 35 Diagrama de bloques del sistema de bombeo.*



*Fuente: Shinsky (1996), control y automatización, en <http://isa.uniovi.es/>*

##### 4.13.2 EL PLC MICRO-1

El PLC Micro-1 está compuesto físicamente por una serie de elementos, los cuales son necesarios tanto para su instalación como para su programación e interconexión con otros dispositivos (Fig. 38). Cuenta con 8 puntos de entrada a 24 VCD, 6 de salida. Otro de los elementos que se pueden observar son los terminales de fuerza, que son las que alimentan al PLC, son tres entradas y una de ellas es para la conexión a tierra.

**Figura N° 36 PLC MICRO-1.**

*Fuente: García y Nuñez (2009), Controlador Lógico Programable*

### ELEMENTOS CON LOS QUE CUENTA LA MEMORIA DEL MICRO-1

Como se mencionó, una de las ventajas del PLC, es que está integrado internamente con una gran cantidad de elementos, los cuales se pueden ocupar en el momento que se desee. En la tabla 19 se mencionan todos los elementos con los que cuenta y la dirección en que están guardados.

Tabla N° 16 Elementos con los que cuenta y la dirección en que están guardados.

ELEMENTO	DIRECCION	DESCRIPCION
Entradas	0-7,10-17	16 Entradas
Salidas	200 - 205, 210 - 215	12 Salidas
Relevadores internos	400 - 597	160 Relevadores Internos - Del 1 al 160 pueden ser programados como retentivos.
Relevadores especiales	600 - 667	Estado de entrada de matriz
	680 - 687	Control de exploración de matriz
	690	Estado de entrada de corto pulso
	691 - 697	No usado
	700	No usado
	701 - 702	Control de encendido y apagado
	703	Todas las salidas apagadas
	704	Pulso inicializador (se enciende por un explorador al inicio)
	705-712	No usado
	713	1 - Reprogramación de la base de tiempo.
	714	1 - base de tiempo.
	715	Base de tiempo de 100 milésimas de s.
	716	Reloj/contador con valor previamente modificado
	717	En - operación salida
Relevador de tiempo	0-79	0.1-999.9 base de tiempo
Contador	0-44	0-999 contador
Contador reversible	45	Doble pulso (cuentas ascendentes y descendentes)
Contador reversible	46	Pulso único (selección arriba/abajo)
Cambio de registro	0 – 127	Bit 128 (bidireccional)
Salida única	0 - 95	96 salidas

*Fuente: García y Nuñez (2009), Elementos con los que cuenta y la dirección plc.*

### 1.1.1.28. INSTALACIÓN

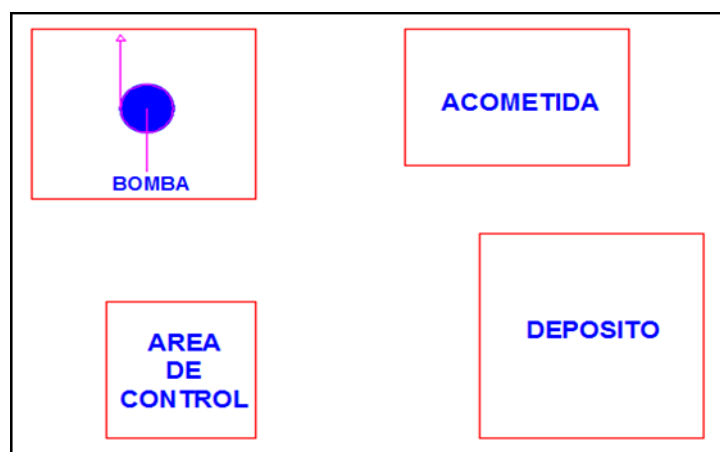
El PLC debe ser colocado en un lugar visible de manera horizontal, contra la pared, donde sea fácil darle mantenimiento y con la tablilla de terminal de entradas arriba. De este modo el lugar debe cumplir con las siguientes características:

- a) Temperatura ambiente de 0 55 oC.

- b) Humedad ambiente 45 a 85% Hr.
- c) Libre de polvo, sales y virutas.
- d) No expuesto a rayos directos del sol.
- e) Sin riesgo de vibración o golpes.
- f) Sin gases corrosivos o inflamables.
- g) Con el espacio necesario para lograr una ventilación adecuada.

En el sistema de bombeo el PLC se ubicara cerca del área de bombas, pero no dentro de esta zona, para evitar vibraciones que puedan afectar el óptimo funcionamiento del dispositivo. En la Figura 39 se observa un plano de la ubicación y distribución de las áreas que tiene el sistema de bombeo.

*Figura N° 37 Esquema de instalación del PLC.*



*Fuente:* García y Nuñez (2009), instalación del PLC, en <http://sminnova.mex.tl/>

#### 1.1.1.29. ALAMBRADO

El alambrado de la entrada y salida, alimentación y línea de motor deben ir necesariamente separados, puesto que se puede provocar problemas entre cables, ya sea visual o totalmente eléctrico (corto circuito). El calibre del cable necesario para la conexión de las entradas y salidas es del número 16 o 18 y para la alimentación del PLC

calibre 14. Este debe hacerse lo más corto posible y lejos de las líneas de motores.

#### **1.1.1.30. PROGRAMACIÓN DEL MICRO-1**

La programación se realiza guardando información en la memoria del usuario de manera secuencial (paso a paso) mediante lista de instrucciones. Este método es el que se utiliza para la programación final del control, en el sistema de bombeo.

Dentro del método de programación por lista de instrucciones, no necesariamente se deben tener conocimientos sobre informática puesto que los principales conocimientos que se necesitan son sobre el control. De esta manera la programación del PLC se realizara en su unidad de control mediante lista de instrucciones.

#### **1.1.1.31. UNIDAD DE PROGRAMACIÓN.**

Las terminales de programación es el medio de comunicación entre el hombre y la máquina, estos aparatos están constituidos por teclados y dispositivos de visualización. Una unidad de procedimiento MICRO-1 y un cargador de programas PR-3 pueden ser utilizados con interruptores conectados para simular las entradas. Los indicadores del estado de salida en la unidad, pueden utilizarse para indicar una salida.

#### **1.1.1.32. INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LA PROGRAMACIÓN.**

Para empezar a programar es necesario limpiar la memoria, después todos los programas comienzan con LOD esta instrucción almacena un nuevo renglón después de esta instrucción pueden ir una serie de instrucciones que a continuación se describen a detalle.

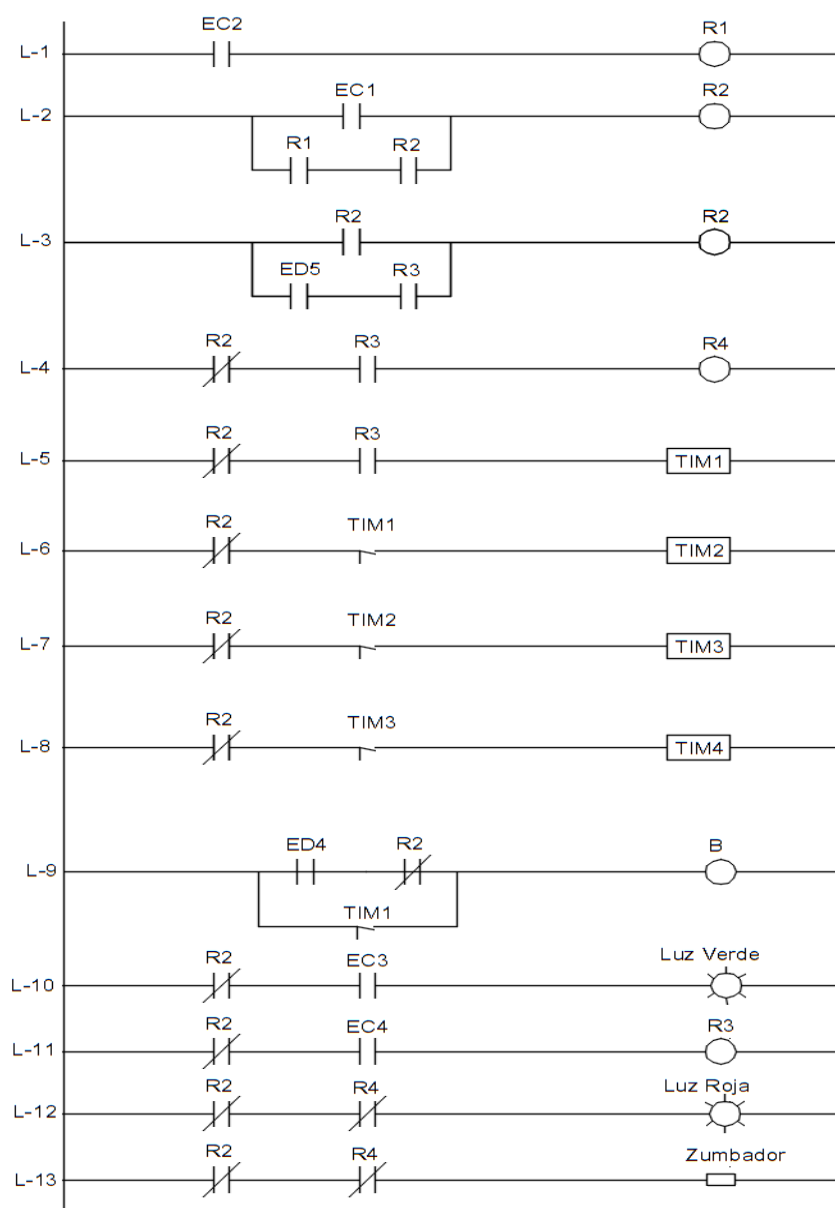
LOD NOT      Almacena el nuevo renglón (o rama) con un contacto N.C.

OR	Se coloca un elemento en paralelo.
OR NOT	Contacto N.C. en paralelo.
AND	Coloca cualquier elemento en serie.
AND NOT	Contacto N.C. en serie.
AND SHF LOD	Conexión en serie con resultados previamente establecidos.
OR LOD	Conexión en paralelo con resultados previamente establecidos.
OUT	Salida o relevador.
TIM	Relevador de tiempo.
CNT	Contador.
END	Termina un programa.

### **1.1.1.33. ELABORACIÓN DEL DIAGRAMA DE CONTROL.**

De acuerdo a los casos que se mencionaron y a las diferentes adversidades las cuales pueden presentarse en el sistema ahora se procede a desarrollar el control mediante un diagrama de control (escalera). En la Figura 40 se observan los elementos que se ocuparan para poder llevar el control, mencionando la simbología que utiliza el sistema de bombeo:

Figura N° 38 Diagrama del control en el Sistema de Bombeo, por el método ladder.



Fuente: Ventocilla (2012), simulación del sistema de bombeo con PLC, en <http://www.identi.li/>

### Explicación del diagrama de control

Para llevar a cabo la programación del control en el sistema de bombeo, es necesario



realizarlo por medio del método ladder, conocido como escalera. Este método servirá para realizar primero un diagrama de control con los elementos utilizados en el sistema y se observa en la Figura 42 y después pasarlo a un diagrama de control con los elementos que tiene el PLC.

#### **4.13.3 ELECTRONIVELES**

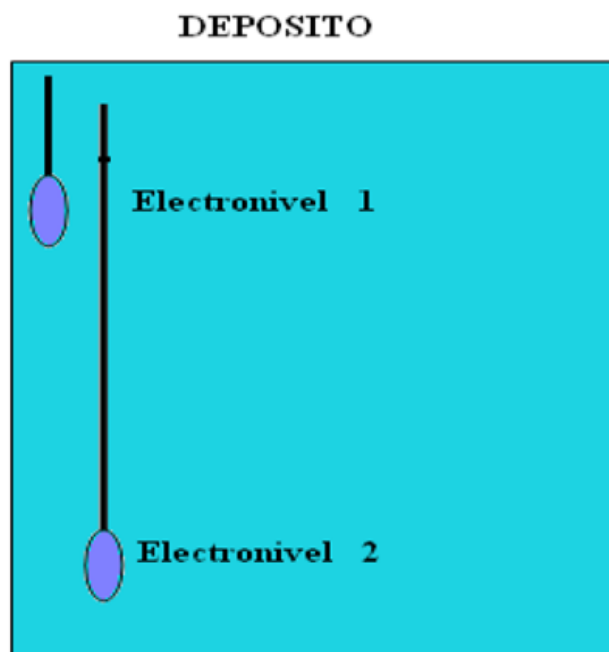
Los electroniveles sirven para mandar señal a otro dispositivo e indicarle el nivel en que se encuentra el agua en el reservorio, además de facilitar el control de las bombas. Hay gran variedad de electroniveles pero los que se pretenden utilizar son los de tipo pera, ya que son de los más confiables.

Estos están compuestos por dos cables (común y regreso), además internamente están divididos en dos partes, la primera esta al vacío para poder dejar que flote el dispositivo en el agua; en la parte inferior se encuentran los elementos que actúan como un interruptor, el elemento encargado de abrir y cerrar el circuito es el mercurio. En la Figura 44 se muestra como está compuesto el electronivel tipo pera.

##### **1.1.1.34. INSTALACIÓN**

Para poder explicar cómo se lleva a cabo la instalación de los electroniveles se parte del ejemplo más sencillo que es, controlar el nivel del reservorio por medio de 2 electroniveles los cuales controlan la bombas. Uno de ellos es colocado en la parte superior el cual indicara que el depósito está lleno, por lo tanto las bombas debe parar y el otro se colocara en la parte inferior indicando así que el depósito está vacío y que es necesario que la bomba comience a funcionar. En la Figura 41 se observa la colocación de los electroniveles.

*Figura N° 39 Colocación de los electroniveles.*



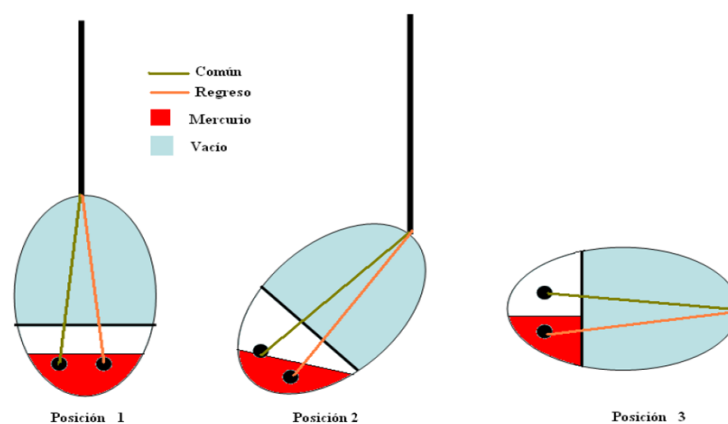
*Fuente: Ventocilla (2012), instalación de los electroniveles, en  
<http://www.preciolandia.com/>*

Como se observa el electronivel de abajo no está colocado hasta el fondo, esto es con el fin de que el depósito no se quede sin agua y el suministro no se interrumpa.

#### **1.1.1.35. FUNCIONAMIENTO**

Los electroniveles de pera actúan como un interruptor común, solo que lo hacen por medio del nivel agua, este cuenta con 2 puntos, uno de ellos es el común y el otro activa la señal de regreso por medio de un líquido conductor, el cual cuando la pera hace que el líquido se derrame abriendo de esta forma el circuito. En la Figura 42 se muestra tres pasos en que se puede encontrar la pera según el nivel del agua.

**Figura N° 40** Pasos en que se puede encontrar la pera según el nivel del agua.



**Figura N° 41** Pasos en que se puede encontrar la pera según el nivel del agua.

**Fuente:** Ventocilla (2012), instalación de los electroniveles, en  
<http://www.preciolandia.com/>

Cuando el electronivel está en la posición 1 el circuito está cerrado, lo que hace que las bombas se encienda. Cuando el nivel del agua comienza a subir llega a la posición 2 como se puede observar todavía está haciendo contacto por lo que las bombas siguen operando.

Caso contrario sucede en la posición 3 ya que el nivel del agua subió de tal forma que la pera por medio del vacío que tiene logro flotar lo suficiente, y el líquido se derramo solo hacia un lado, impidiendo que el circuito se cierre. Si el nivel del agua vuelve a bajar permitiendo que el electronivel cierre el circuito, de esta forma manda la señal al PLC y este determina las condiciones de operación por medio de la programación que se tenga establecida. En la tabla 15 Se muestra como el PLC interpreta las señales que le manda el electronivel, esta tabla puede ser llamada tabla de verdad del electronivel.

#### 4.13.4 ANÁLISIS DEL ESTUDIO ECONÓMICO AL SISTEMA AUTOMATIZADO

Para poder determinar si es factible o no la automatización es necesario realizar una comparación de costos. Por un lado, los gastos que implica automatizar el sistema y por el otro los que se tienen actualmente sin la automatización.

Como ya se comentó para que el sistema funcione es necesario contar con la presencia de una persona mínimo, pero como el sistema funciona las 5 hrs., se tienen 1 turno lo que da un total de 1 personas trabajando diariamente. A continuación se muestra el gasto de mano de obra que esto implica en un año que es el tiempo al que se pretende recuperar la inversión.

$$\text{Gasto de mano de obra} = 1 \text{ trabajadores} \times 1000 \text{ mensuales} = S/. 1000$$

$$\text{Gasto de mano de obra total en un año} = S/. 1000 \times S/. 12 = S/. 12000$$

Después de que se realice la automatización el gasto de mano de obra se reducirá a la mitad, debido a que solo es necesario contar con una persona, la cual está encargada de supervisar las señalizaciones que el PLC manda. Por lo tanto el gasto que se reducirá con la automatización es de:

$$\text{Gasto de mano de obra que se reduce} = S/. 12000/2 = S/. 6000$$

Se puede observar que el gasto necesario para realizar la automatización es de S/. 28174.60 y al hacer una comparación con lo que se ahorrara de mano de obra durante un año (S/. 6 000.00) se puede decir que dicho proyecto es rentable. La comparación de los gastos queda de la siguiente forma:

$$\text{Comparación} = \text{gasto reducido de mano de obra} - \text{gasto total de automatización.}$$

$$\text{Comparación} = 28174.6 - 6000 = S/. 22174.6$$

#### **4.14 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

##### **4.14.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE.**

Los resultados de análisis de la demanda de agua potable para las comunidad de Quenafajja son los siguientes:

- a) La dotación de agua para las comunidad de Quenafajja se consideró 50lppd que esta expresada en litros por personas al dia (lppd) según DIGESA(Dirección General de Salud Ambiental) y OMS(Organismo Mundial de Salud).
- b) La población actual en dichas comunidad es de 620 pobladores, obteniendo los datos de la INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) y la oficina de registro civil de la Municipalidad Distrital de Acora.
- c) La demande de agua potable se ha proyectado para un periodo de 20 años obteniendo una población futura de 810 habitantes, que será abastecido de un reservorio de 10 m<sup>3</sup> para las comunidad de Quenafajja.

##### **4.14.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO.**

Los resultados de la selección del equipo de bombeo para las comunidad del Distrito de Acora son las siguientes:

- a) El caudal de bombeo calculado es de 6.156 m<sup>3</sup> /h y una altura dinámica de 36.61m.
- b) Se seleccionó 1 bombas solares sumergibles de 2 HP de marca LORENTZ PS15K C-SJ17-18, funcionaran en serie con los siguientes datos que se muestrea en la tabla 18:

*Tabla N° 17 Datos de las 1 bombas en serie.*

CAUDAL DE BOMBEO (m <sup>3</sup> /h)	DIAMETRO DE IMPULSION(m)	VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO(m/s)
<b>10.53</b>	<b>0.073</b>	<b>0.533</b>

*Fuente: cálculos hidráulicos (2014).*

- a) La energía que será abastecida a las bombas solares sumergibles es a través de 8 paneles solares con una potencia nominal de 250 Wp cada una.
- b) En el fenómeno de golpe de ariete se tiene los siguientes resultados en la tabla 21:

*Tabla N° 18 Sobrepresiones de cierre instantáneo o fenómeno de golpe de ariete.*

VELOCIDAD DE PROPAGACION DE LA ONDA (m/s)	TIEMPO DE SIERRE (Seg)	PRESION MAXIMA EN EL PUNTO MAS BAJO (m.c.a.)
<b>443.18</b>	<b>1.19</b>	<b>134.94</b>

*Fuente: Cálculos del fenómeno de golpe de ariete (2014).*

#### **4.15 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO**

- a) En el sistema de automatización se usara un PLC MICRO-1(Controlador Lógico Programable), electroniveles y un zumbador que funcionara con el programa Ladder y se colocara en un lugar visible de manera horizontal para el control de la 1 bomba solares sumergibles para que sea eficiente.
- b) Para poder realizar la programación, es necesario acudir al sistema de bombeo, el cual se pretende automatizar y de esta manera ver la forma en que funcionara, así como determinar las fallas existentes para después proponer las mejoras que se pueden implementar

- c) Después de que se determinó la forma correcta la operación del sistema de bombeo con la implementación de los electroniveles y el PLC, se procede a realizar un diagrama de control por el método escalera, y posteriormente se desarrolla la programación por la lista de instrumentos para ingresarla al PLC.

## CONCLUSIONES

**PRIMERO:** Según los datos del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) y la oficina de registro civil de la Municipalidad Distrital de Acora, en la Comunidad Quenafajja la población actual es de 620 habitantes, en un periodo de 20 años la población ascenderá 810 pobladores(2037), para el proyecto se asignó un consumo de 50 l/hab./día para cada habitante según la DIGESA (Dirección General de Salud), OMS (Organización Mundial de la Salud) y FONDO PERU-ALEMANIA y del Ministerio de Salud, que será alimentada por un reservorio de 10m<sup>3</sup>.

**SEGUNDO:** Se seleccionó 1 bombas solares sumergibles de 2 HP marca LORENTZ modelo PS15k C-SJ17-18, 1 motores de corriente alterna de alta eficiencia de 2 fases de igual capacidad, para una altura dinámica de 36.61m y un caudal de bombeo de 6.156m<sup>3</sup>/h.

**TERCERO:** La implementación del PLC y los electroniveles al sistema de bombeo, ayudan a llevar acabo un control más eficiente sin riesgos de fuga de agua en el llenado del reservorio, además evitan que las bombas operen en vacío, permite una sincronización en el arranque.



## RECOMENDACIONES

**PRIMERO:** Se sugiere al gobierno central, regional y local deberán brindar soluciones a través de proyectos de inversión para solucionar la demanda de agua potable, ya que es una preocupación para los pobladores en las zonas rurales de nuestro país y especialmente en nuestra región de Puno, y así disminuir fallecimientos, enfermedades en los niños, adultos y adultos mayores.

**SEGUNDO:** Se sugiere a los especialistas en proyectos de sistemas de bombeo deben tener en cuenta en la selección de las bombas solares sumergibles para pozos se deberá tener muy presente la utilidad de este (suministro de agua potable, control de estanques, riego, ganadería) y de las condiciones a las cuales trabajará (en dichas comunidad las bombas sumergibles estarán instalados a una altura de 3853 m.s.n.m., la posición geográfica es de 16° 07' 52" latitud sur, 69° 41' 52" de latitud norte de latitud oeste), para determinar la más adecuada sin mayor costo de inversión ni problemas de cavitación.

**TERCERO:** Se sugiere a las plantas de bombeo efectuar proyectos de control y automatización ya que trae grandes beneficios (tiempos exactos, no hay perdidas, mayor eficiencia en el servicio y lo más importante es que se reduce los costos de mano de obra hasta un 50%), y una alta calidad en la distribución del agua.

## REFERENCIAS

- AG, F. A. (2006). FOTOVOLTAICA PARA PROFESIONALES. España:  
PROGENSA.
- Agua, C. N. (2007). MANUAL DE AGUA POTABLE,. México: Secretaría de Medio  
Ambiente y Recursos Naturales.
- CHAVÉZ. (21 de Octubre de 2005). Bombeo de agua con energías no convencionales.  
Obtenido de <http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/>
- CORFO. (2004). Suelos y Descripciones. Instituto de Investigación de Recursos  
Naturales Chile, 123.
- GARCIA LOPEZ IVAN y NUÑES CADENA DAVID . (2009). PROPUESTAS DE  
AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA  
POTABLE. TESIS, 100.
- Guillermo, A. N. (1978). Manual de Hidraulica. Mexico: Harla Sexta Edicion.
- Herrejón, J. C. (2009). Estudio de Sistemas de Bombeo Fotovoltaicos. Tesis de Maestría  
en Ciencias, 132.
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Buenos Aires Argentina: PEARSON.
- Richard Cáceres Ortiz, Fidel Lagos Gómez, Frans Dennys Carhuamaca Castro. (2012).  
ENERGIAS RENOVABLES Y APLICACIÓN. Huancayo: Imagen Gráfica.

- Rubio, A. R. (2001). GUÍA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA. Volumen 1 Libro de Consulta, 112.
- Shames, I. H. (1995). MECÁNICA DE FLUIDOS. Colombia: MECHANICS OF FLUIDS.
- Shinsky, F. (1996). Sistemas de Control de Procesos. México: McGRAW-HILL.
- Simón, A. R. (1980). Abastecimiento de Agua - Teoría y Problemas. Madrid: Editorial Vega.
- SMITH, C. A. (1991). CONTROL AUTOMÁTICO DE PROCESOS . México: EDITORIAL LIMUSA, S.A.
- Soto, A. C. (2012). SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADO. TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA, 183.
- VENTOCILLA, R. G. (2012). Control de un Sistema de Bombeo y Cloración de Agua. Tesis, 108.

## **ANEXOS**

## Anexo N° 1 CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA SOLAR PARA BOMBEO DE AGUA POTABLE




### PS4000 C-SJ3-32

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

#### Aplicaciones

- Abastecimiento de agua potable
- Gestión del depósito de agua
- Irrigación
- Bebedero para ganado
- Sistemas de compresión

#### Características

- Instalación rápida, libre de fallos
- Excelente funcionalidad
- Alta confiabilidad y vida útil
- Ciclo corto del retorno de inversión (ROI)
- Costo total más bajo de operación (TCO)

#### Datos técnicos

Altura dinámica	max. 160 m
Flujo	max. 4,2 m <sup>3</sup> /h
Vmp*	> 238 V
Voc	max. 375 V



#### Componentes

##### Controlador: PS4000

- Controlar y supervisar
- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT integrado

##### Motor: ECDRIVE 4000-C

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Sin elementos electrónicos en el motor
- Inmersión max. 250 m, IP68

##### Cabeza de bomba: PE C-SJ3-32

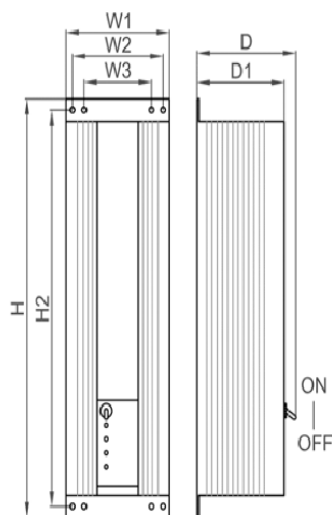
- Alta confiabilidad y vida útil
- Válvula no retorno
- Materiales Premium
- Opcional: protección contra operación en seco

**Anexo N° 2** CARACTERÍSTICAS Y PUNTO DE OPERACIÓN DE LA BOMBA SOLAR ELEGIDA

**PS4000 C-SJ3-32**  
Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

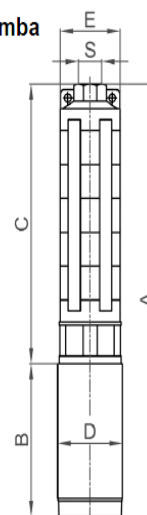
**Controlador**

- H = 595 mm
- H2 = 563 mm
- W1 = 178 mm
- W2 = 156 mm
- W3 = 116 mm
- D = 165 mm
- D1 = 150 mm



**Undidad de bomba**

- A = 1.088 mm
- B = 245 mm
- C = 843 mm
- D = 96 mm
- E = 98 mm
- S = 1,25 in

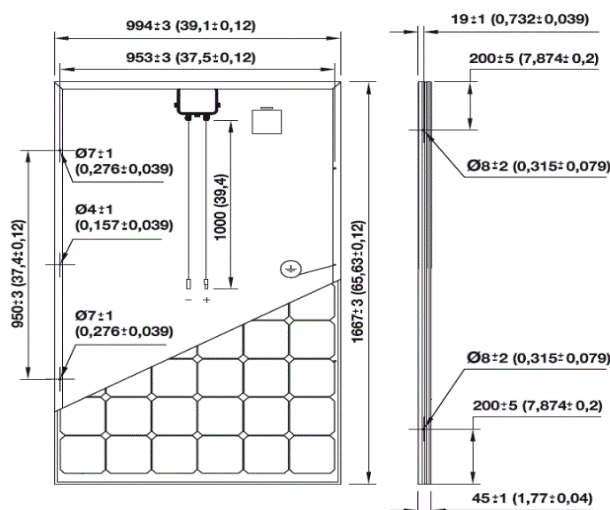


	Peso neto
Controlador	9,0 kg
Undidad de bomba	20 kg
Motor	10 kg
Cabeza de bomba	9,5 kg

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
	ISF-240	ISF-245	ISF-250
Potencia nominal - Pmax (Wp)	240	245	250
Tensión en circuito abierto - Voc (V)	37,0	37,3	37,6
Tensión en el punto de máxima potencia - Vmax (V)	29,9	30,2	30,4
Corriente de cortocircuito - Isc (A)	8,60	8,70	8,81
Corriente en el punto de máxima potencia - Imax (A)	8,03	8,12	8,22
Eficiencia (%)	14,5	14,8	15,1
Tolerancia de potencia (%/Pmax).	±3	±3	±3

Datos en condiciones estándar de medida (STC): 1.000 W/m<sup>2</sup>; 25° C; 1,5 ATM.

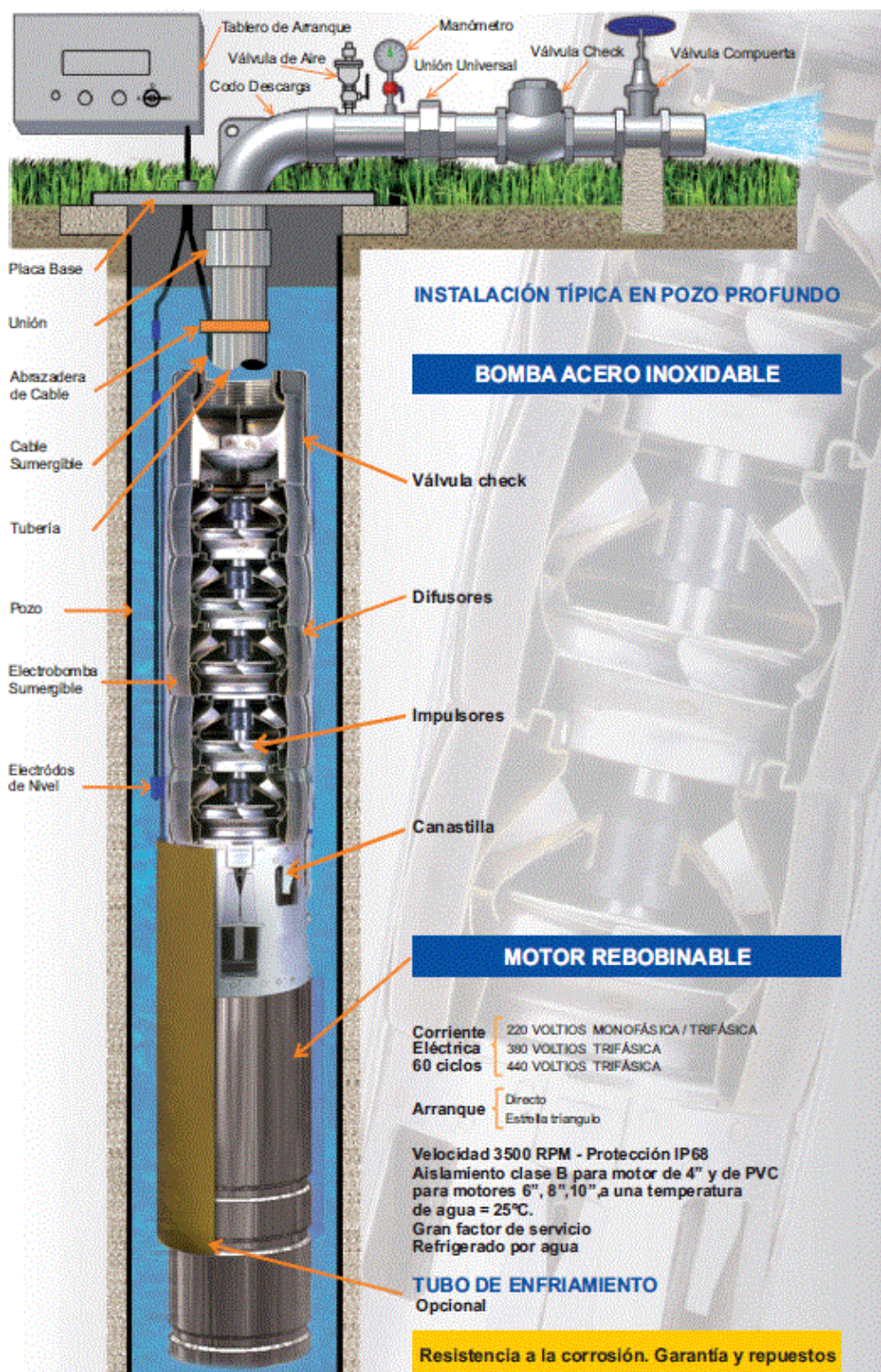
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	
Dimensiones	1.667 x 994 x 45 mm
Peso	19 kg
Tipo de célula	Silicio monocristalino, con capa antirreflexiva
Tamaño de célula	156 x 156 mm (6")
Número de células por módulo	60 células en configuración 6 x 10
Marco	Aluminio anodizado
Toma de tierra	Sí
Máxima carga admisible	5.400 Pa
Vidrio	Alta transmisividad, microestructurado y templado de 3,2 mm
Cajas de conexión	1 x IP-65, con 3 diodos de bypass
Cables	Cable solar de 1 m y sección de 4 mm <sup>2</sup> . Conector MC4 o compatible.
Condiciones embalaje	Caja de 20 módulos
Tamaño embalaje	1.725 x 1.055 x 1.245 mm.



VALORES PARA DISEÑO DEL SISTEMA	
Tensión máxima del sistema	1.000 V
Máxima corriente inversa	20 A
Condiciones de operación	De -40 a +85 °C

PARÁMETROS DE TEMPERATURA	
TONC	45°C ±2°C
CCT - I <sub>sc</sub>	0,042 %/K
CCT - V <sub>oc</sub>	-0,323 %/K
CCT - P <sub>max</sub>	-0,464 %/K

Anexo N° 3 ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE UNA BOMBA SOLAR SUMERGIBLE





**Anexo N° 4 METRADO Y PRESUPUESTO**

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	PRECIO	MONTO
<b>1</b>	<b>BOMBAS Y PANELES SOLARES</b>				
1.01	bomba Sistema Solar (PV)/Bomba de rotor helicoidal, para 20m3/día	Pza.	1	4000	4000
1.02	paneles solares monocristalino de 250W	Pza.	8	1000	8000
1.03	soporte para paneles solares	Pza.	1	1600	1600
					<b>13600</b>
<b>2</b>	<b>CONDUCTORES</b>				
2.01	Cable # 12 AWG	m	20	5	90
2.02	Conductor de energía tipo NYY, 1kV. De 3 x 1 x 35	m	20	22	50
2.03	Cable awg #14	m	20	5	10.4
					<b>150.4</b>
<b>3</b>	<b>EQUIPO DE PROTECCION Y MEDICION</b>				
3.01	Pararrayo Tipo Franklin, incluido estructura Poste	Gbl.	1	2000	2000
3.02	Puesta a Tierra	Eq.	1	780	780
					<b>2780</b>
<b>4</b>	<b>MATERIALES PARA INSTALACION INTERIOR Y EXTERIOR</b>				
4.01	Controlador de 10A 24VDC	Unid.	1	150	150
4.02	Batería de 12VDC 90AH	Unid.	2	400	800
4.03	Soporte de Batería	Unid.	1	60	60
4.04	Luminarias de 12W 12VDC	Unid.	2	45	90
4.05	Luminarias exteriores tipo bola	Unid.	1	50	50
4.06	interruptor simple	Unid.	2	5.2	10.4
4.07	Soquet para empotrar	Unid.	2	5.2	10.4
4.08	Tablero de distribución para instalación interior de caseta de vigilancia	Unid.	1	150	150
4.09	Conectores de 12VDC	Unid.	3	7.8	23.4
4.1	Accesorios de conexión y protección	Juego	1	500	500
					<b>1844.2</b>
<b>MONTAJE</b>					
1.01	Instalación de bomba solar	Gbl.	1	1000	1000
1.02	Instalación de estructuras y paneles solares	Gbl.	1	1000	1000
1.03	Instalación de cerco eléctrico	Gbl.	1	500	500
1.04	Instalación de sistemas de protección	Gbl.	1	700	700
1.05	Instalación de señalizaciones	Gbl.	1	100	100
					<b>3300</b>
<b>A.-</b>	<b>RESUMEN GENERAL</b>				
	SUMINISTRO DE MATERIALES				18374.6
	MONTAJE ELECTROMECHANICO				3300
	TRANSPORTE				1000
	GASTOS GENERALES				2500
	ELABORACION DE EXPEDIENTE TÉCNICO				3000
	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	S/.			<b>28174.6</b>

Elaboración Propia

**Anexo N° 5 PLANOS Y LAMINAS DE DETALLE DEL DISEÑO DE LA BOMBA**

**Lamina N°01: Reservorio**

**Lamina N°02: Línea de impulsión vista perfil longitud**

**Lamina N°03: Esquema de distribución de paneles e implementaciones de los componentes**

**Lamina N°04: Diagrama LADDER**

**Lamina N°05: Diagrama Eléctrico de automatización**

**Lamina N°06: Detalle de instalación de la bomba solar. control y automatización**