

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



**“DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO AUTOMATIZADO CON
ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE
VILAVILA”**

TESIS

PRESENTADO POR:

RAMIRO AHUMADA VALDEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA, ELECTRONICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA ELECTRONICA

“DISEÑO DEL SISTEMA DE BOMBEO AUTOMATIZADO CON ENERGIA FOTVOLTAICA PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE VILAVILA”

TESIS PRESENTADA POR:

RAMIRO AHUMADA VALDEZ

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRONICO

FECHA DE SUSTENTACION: 07-07-2017

APROBADO POR EL JURADO CONFORMADO POR:



PRESIDENTE

: 

Mg. MARCO ANTONIO RAMOS GONZALEZ

PRIMER MIEMBRO

: 

M. Sc. DAVID SALINAS MENDOZA

SEGUNDO MIEMBRO

: 

Ing. LUCIO QUISPE APAZA

DIRECTOR DE TESIS

: 

Dr. MARCO ANTONIO QUISPE BARRA

Área: Control y Automatización

Tema: Automatización

PUNO-PERU

2017

DEDICATORIA

A mis padres por el incondicional apoyo que me brindan en el logro de mis objetivos y metas.

A Mariluz Palomino Canaza, por su gran apoyo y consejos para poder seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecer a mi familia, en especial a mis padres por las enseñanzas que me brindaron para formarme como persona y así poder lograr mis objetivos.

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, quienes con sus enseñanzas supieron impartir el conocimiento para mi formación profesional.

INDICE

RESUMEN	14
ABSTRACT	15
INTRODUCCION	16
CAPITULO I	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION	17
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	17
1.2 PROBLEMA GENERAL	19
1.2.1 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	19
1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	19
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	20
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
CAPITULO II.....	21
MARCO TEORICO	21
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	21
2.2 SUSTENTO TEORICO	22
2.2.1 AGUAS RESIDUALES	22
2.2.2 HIDRAULICA.....	27
2.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	43
2.2.4 GENERALIDADES DEL SISTEMAS DE CONTROL	66
2.2.5 CONTROL ON-OFF	74
2.2.6 GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS	75
2.3 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION.....	76
2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	76
2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	76
2.3.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	76

CAPITULO III.....	77
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN	77
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	77
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACION.....	78
3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION	78
3.3.1 UBICACIÓN DE LA POBLACION	78
3.3.2 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LA ZONA	79
3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR LA INFORMACION	80
3.4.1 TECNICAS	80
3.4.2 INSTRUMENTOS.....	81
3.5 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS	81
3.5.1 PROCESAMIENTO DE DATOS	81
3.6 ANALISIS DE DATOS	82
3.6.1 PERIODO DE DISEÑO	82
3.6.2 POBLACION ACTUAL Y FUTURA.....	83
3.6.3 DOTACION DE AGUA.....	83
3.7 CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO	84
3.7.1 CAUDAL MEDIO DIARIO (QP)	84
3.7.2 CAUDAL MAXIMO DIARIO (QMD).....	85
3.7.3 CAUDAL MAXIMO HORARIO (QMH).....	85
3.7.4 CAUDAL EVACUADO POR LA POBLACION (QE).....	86
3.7.5 CAUDAL POR INFILTRACION (QI)	86
3.7.6 CAUDAL POR PRECIPITACION PLUVIAL (QPP)	87
3.7.7 CAUDAL DE INGRESO A PLANTA DE TRATAMIENTO (QDP)	87
3.7.8 CAUDAL DE DISEÑO (QD)	87
3.7.9 CALCULO DE CAUDAL DE BOMBEO	88
3.8 CALCULO DE LA LINEA DE IMPLUSION	90
3.8.1 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE IMPULSION (DI)	90
3.8.2 VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO	91
3.8.3 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGAS EN TUBERIAS DE IMPULSION	91

3.8.4 CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA DE BOMBEO (HDT).....	93
3.9 CALCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA EL SISTEMA MOTOR-BOMBA.	93
3.9.1 CALCULO DE LA POTENCIA DE CONSUMO	93
3.10 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO	94
3.10.1 NUMERO DE PANELES SOLARES NECESARIOS	94
3.10.2 PÉRDIDAS EN EL GENERADOR FOTOVOLTAICO.....	96
3.10.3 VOLTAJE DEL SISTEMA EN CORRIENTE CONTINUA	98
3.10.4 ORIENTACION Y ANGULO DE INCLINACION DE LOS PANELES	99
3.10.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACION	100
3.10.6 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR	101
3.10.7 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR	102
3.10.8 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROTECCION (FUSIBLE)	103
3.10.9 DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO	103
3.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION.....	105
3.11.1 CONTROL DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	105
3.11.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC	107
3.11.3 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC.....	112
CAPITULO IV	115
ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	115
4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	115
4.1.1 RESULTADOS DEL DISEÑO	116
4.1.2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA DEL PROYECTO	130
4.1.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	130
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	140

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 01: Perdidas de carga local por accesorios.....	32
Cuadro 02: Eficiencia de células fotovoltaicas.....	55
Cuadro 03: Operacionalización de variables.....	76
Cuadro 04: Rutas de acceso al distrito de Vilavila.....	79
Cuadro 05: Valores de radiación solar del distrito de Vilavila.....	82
Cuadro 06: Periodo de diseño.....	83
Cuadro 07: Parámetros de la Organización Mundial de la Salud.....	84
Cuadro 08: Tensión en DC del sistema fotovoltaico de acuerdo a la potencia.....	98
Cuadro 09: Caída de tensión admisible entre componentes.....	104
Cuadro 10: Accionamiento lógico de los sensores de nivel.....	103
Cuadro 11: Datos técnicos de sensor de nivel.....	106
Cuadro 12: Altura de instalación de los sensores de nivel.....	107
Cuadro 13: Entradas del PLC.....	110
Cuadro 14: Salidas del PLC.....	110
Cuadro 15: Comparación de parámetros del sistema fotovoltaico.....	129
Cuadro 16: Comparación del costo del uso de energía fotovoltaica y convencional..	133
Cuadro 17: Presupuesto sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica..	145

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Diagrama de flujo del proceso de control de nivel.....	111
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Vilavila.....	18
Figura 02: Bombas centrifugas de eje horizontal.....	36
Figura 03: Bomba centrifuga vertical.....	36
Figura 04: Bomba sumergible.....	37
Figura 05: Rendimiento de una bomba, varía con la frecuencia.....	41
Figura 06: Emisión de radiación solar.....	43
Figura 07: Esquema de distribución de radiación.....	46
Figura 08: Tipos de radiación solar.....	47
Figura 09: Mapa Irradiación solar de Latinoamérica.....	48
Figura 10: Geometría Solar.....	49
Figura 11: Coordenadas celestes horarias.....	50
Figura 12: Concepto de Horas Sol Pico.....	51
Figura 13: Estructura de una célula solar y panel fotovoltaico.....	52
Figura 14: Funcionamiento célula silicio.....	53
Figura 15: Árbol de tecnologías fotovoltaicas.....	54
Figura 16: Tecnologías fotovoltaicas más comunes.....	54
Figura 17: Curva I vs V / P vs V.....	55
Figura 18: Efecto de la temperatura.....	56
Figura 19: Efecto de radiación.....	56

Figura 20: Sistema fotovoltaico aislado conectado a la carga.....	58
Figura 21: Sistema fotovoltaico aislado con regulador.....	58
Figura 22: Sistema fotovoltaico aislado con inversor.....	59
Figura 23: Partes de una batería.....	60
Figura 24: Monitoreo de tensión de una batería de 12V.....	62
Figura 25: Curva típica de eficiencia del Inversor.....	64
Figura 26: Estructura Fija.....	65
Figura 27: Funcionamiento del PLC.....	67
Figura 28: Estructura de un autómatas.....	68
Figura 29: Medidas de cámara de bombeo.....	88
Figura 30: PLC LOGO.....	108
Figura 31: Terminales de entrada y salida del PLC	109
Figura 32: Pantalla de Inicio de CADe_SIMU.....	112
Figura 33: Esquema de circuito de Fuerza.....	113
Figura 34: Esquema del circuito de control PLC.....	114
Figura 35: Pantalla de inicio de PVSYST.....	117
Figura 36: Ventana de creación del proyecto nuevo.....	118
Figura 37: Ventana de base datos de clima y componentes.....	119
Figura 38: Ventana de importación de datos de clima del sitio.....	120
Figura 39: Datos de radiación del distrito de Vilavila.....	121

Figura 40: Orientación del panel solar.....	122
Figura 41: Ventana de ingreso de datos de consumo de energía del sistema.....	123
Figura 42: Ingreso de datos del sistema de acumulación.....	124
Figura 43: Ingreso de datos de los paneles solares.....	125
Figura 44: Definición de sombras cercanas	126
Figura 45: Ventana para el inicio de simulación del sistema.....	127
Figura 46: Cuadro de resultados del sistema.....	128

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Hoja de datos Bomba sumergible de lodos Barmesa.....	141
ANEXO 2: Hoja de Datos de Panel fotovoltaico de CORA 250 W.....	143
ANEXO 3: Detalle de Presupuesto del Sistema de Bombeo Automatizado con Energía Fotovoltaica.....	145

RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende mostrar el diseño de un sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica para la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila, como medio de optimización en el proceso de funcionamiento de la planta de tratamiento, aprovechando la energía solar como fuente de energía alternativa para el funcionamiento del sistema automatizado, haciendo uso de un PLC LOGO de la marca Siemens para el control de la planta. Para lograr ello se realizó el cálculo del sistema a partir de datos técnicos de la planta de tratamiento y también se utilizaron varias herramientas computacionales con el fin de contrastar las hipótesis planteadas, elegir los componentes adecuados para el sistema de bombeo automatizado así como el sistema fotovoltaico y de esta manera contribuir con la reducción de la contaminación del principal recurso hídrico del distrito de Vilavila y aprovechar el recurso solar existente como fuente de energía. También se realizó el estudio de factibilidad técnica-económica del sistema y buscar las mejores opciones para su implementación.

Palabras Clave: Energía solar, autómatas programables, aguas residuales

ABSTRACT

This research aims to show the design of an automated pumping system with photovoltaic energy for the Vilavila district wastewater treatment plant as a means of optimizing the process of the treatment plant, taking advantage of solar energy as an alternative energy source for the operation of the automated system, making use of a Siemens LOGO PLC for the control of the plant. To achieve this, the system was calculated from technical data of the treatment plant and several computational tools, were also used to test the hypotheses, choose the appropriate components for the automated pumping system as well as the photovoltaic system and thus contribute to the reduction of pollution of the main water resource of the district of Vilavila and to take advantage of the existing solar resource as an energy source. The technical-economic feasibility study of the system was also carried out and the best options for its implementation were sought.

Keywords: Solar Energy, Programmable Automation, Wastewater

INTRODUCCION

En la actualidad, debido al problema de contaminación ambiental causada por diversas fuentes, se tiene previsto la construcción de varias plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel de la región de Puno, en el presente proyecto de investigación nos enfocamos en desarrollar un sistema de automatización para optimizar el proceso de funcionamiento de las plantas de tratamiento, así mismo utilizar el recurso solar como fuente de energía ya que es limpia y renovable.

El proyecto de investigación está organizado en cuatro capítulos. El **primer capítulo** se describe el problema de la investigación y se establecen los objetivos a seguir en el desarrollo de la investigación.

El **segundo capítulo** se trata de estudios e investigaciones realizadas previas a esta y también aborda el marco teórico necesario sobre los sistemas de bombeo, sistemas fotovoltaicos y sistemas de automatización, para llegar a realizar los objetivos planteados.

En el **tercer capítulo** se describe el esquema de la investigación, su tipo y alcance así como el desarrollo de los cálculos justificativos del sistema de bombeo automatizado y el sistema fotovoltaico.

En el **cuarto capítulo** se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior, así como el estudio de factibilidad técnico-económico del proyecto, para la responder las hipótesis planteadas.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En nuestro país el uso de energía fotovoltaica poco a poco va tomando un lugar importante, usado generalmente en proyectos de electrificación rural, por la lejanía de estos, pero son muy poco utilizados para procesos industriales.

Por otro lado el distrito de Vilavila cuenta con una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales como se ve en la figura 1, implementado debido a la gran cantidad de aguas residuales producidas, las cuales contaminan el rio Vilavila, afluente del Lago Titicaca, afectando a la población y ganadería del lugar. La planta sigue un proceso biológico en el tratamiento, pero opera de forma mecánica y de acuerdo a las observaciones realizadas el proceso es ineficiente.

Figura 1: Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila.



Elaboración: Propia

En nuestra región de Puno, el problema de la contaminación ambiental es preocupante, principalmente del agua, causado por la minería y zonas urbanas (aguas residuales, basura) que causan que el 80 % de agua de la región esté contaminada, lo que provoca que se tengan perturbaciones en el ecosistema de nuestra región, por lo tanto la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales es muy importante.

De otra parte el distrito de Vilavila, sufre de constantes cortes de energía eléctrica, por la lejanía y al constante cambio climático de la zona (tormentas eléctricas, vientos, nevada) por lo cual el flujo de energía constante requerido en procesos industriales es bastante limitado. De acuerdo al expediente técnico realizado para la obra “Electrificación Rural del Distrito de Vilavila en 2009”, el promedio de cortes de fluido eléctrico es de 1 por mes con una duración de 40 horas promedio hasta la reposición del mismo.

Al no contar con energía eléctrica para su funcionamiento, se utiliza bombas manuales en la planta de tratamiento para el bombeo de lodos, las cuales usan

combustible, lo que genera un gasto adicional mensual que la municipalidad debe considerar en su presupuesto. Sin mencionar que el uso de estos tipos de energía convencional contribuye a la contaminación ambiental del distrito.

1.2 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo se mejora la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila con el uso de sistemas de bombeo automatizado con energía fotovoltaica?

1.2.1 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es la mejora del sistema automatizado, respecto al consumo de energía?

¿Cómo mejora el sistema automatizado, el funcionamiento continuo de la planta de tratamiento?

¿Cuál es la factibilidad del sistema de bombeo automatizado para su implementación?

1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

a) Justificación técnica

El desarrollo del proyecto de tesis contribuye técnicamente aprovechando el uso de energía solar, como fuente energética para la automatización de la planta de tratamiento del distrito de Vilavila. Es así que la aplicación adecuada y oportuna de estas tecnologías permitirá y contribuirá con el desarrollo sostenible del distrito de Vilavila.

b) Justificación social

La justificación social del desarrollo de la tesis será evidente considerando que se contribuirá en el desarrollo sostenible del distrito mediante el uso de energías renovables y el tratamiento de aguas residuales para el cuidado del medio ambiente del distrito de Vilavila.

c) Justificación económica

Mediante el desarrollo de la tesis se contribuye en el aprovechamiento de energía renovable, libre y gratuita, ya que de esta manera se podrá mejorar la calidad de vida de la población del distrito de Vilavila.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION**1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el diseño de un sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica para la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar el diseño de un sistema fotovoltaico como fuente de energía de la planta de tratamiento.
- b) Diseñar un sistema de bombeo automatizado mediante el uso de PLC.
- c) Analizar la factibilidad técnico-económica del sistema para su implementación.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

1. (Inguil Lema & Ezpinoza Ortega, Mayo-2014), Trabajo de fin de carrera: “Análisis, modelado y validación de un sistema fotovoltaico para el alumbrado vial de la avenida las Américas” en la cual se concluyó que: mediante el modelado del sistema fotovoltaico se cumplió con los criterios de luminancia y alumbrado público para su posterior implementación. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador.
2. (Calsina Pari, 2015), Tesis de Grado “Diseño del sistema de bombeo automático de 60 HP para agua potable con energía solar para las comunidades Balsapata, Caluyo y sector Añaypata Carmen Alto del distrito de Orurillo, provincia de Melgar” en el cual se diseñó un equipo de bombeo

demostrativo automatizado con registro de datos instantáneos. Universidad Nacional del Altiplano Puno.

3. (Tisalema Guamanquispe, Junio 2011), Tesis de grado “Sistema automatizado para el control, monitoreo y almacenamiento de datos del módulo fotovoltaico de la facultad de ingeniería de sistemas, electrónica e industrial” en la cual se concluyó que: el sistema automatizado permito establecer un buen funcionamiento del módulo fotovoltaico, permitiendo su uso académico de manera regular. Universidad Técnica de Ambato.

2.2 SUSTENTO TEORICO

2.2.1 AGUAS RESIDUALES

A las aguas residuales también se les llama aguas servidas, fecales o cloacales. Son residuales, habiendo sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; y cloacales porque son transportadas mediante cloacas (alcantarilla), nombre que se le da habitualmente al colector. Están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

Todas las aguas naturales contienen cantidades variables de otras sustancias en concentraciones que varían de unos pocos mg/litro en el agua de lluvia a cerca de 35 mg/litro en el agua de mar. Las aguas residuales pueden estar contaminadas por desechos urbanos o bien proceder de los variados procesos industriales. La composición y su tratamiento pueden diferir mucho de un caso a otro. (Ramos Calla, 2013)

2.2.1.1 Características:

2.2.1.1.1 Sustancias químicas

Las aguas servidas están formadas por un 99% de agua y un 1% de sólidos en suspensión y solución. Estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos (Ramos Calla, 2013).

- Los sólidos inorgánicos están formados principalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos y algunas sustancias tóxicas como arsénico, cianuro, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plomo y zinc.
- Los sólidos orgánicos se pueden clasificar en nitrogenados y no nitrogenados. Los nitrogenados, es decir, los que contienen nitrógeno en su molécula, son proteínas, ureas, aminas y aminoácidos. Los no nitrogenados son principalmente celulosa, grasas y jabones.

2.2.1.1.2 Características bacteriológicas

Una de las razones más importantes para tratar las aguas residuales o servidas es la eliminación de todos los agentes patógenos de origen humano presentes en las excretas con el propósito de cortar el ciclo epidemiológico de transmisión. (Ramalho) Estos son, entre otros:

- Coliformes totales.
- Coliformes fecales.
- Salmonellas.
- Virus.

2.2.1.1.3 Influencias en el medio receptor

Se entiende por contaminación, a la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía en el agua, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

- Vertido de sustancias orgánicas degradables: producen una disminución del oxígeno disuelto, Se puede llegar a un ciclo anaeróbico, donde el agua se torna oscura, de olor desagradable y con gérmenes patógenos.
- Incorporación de compuestos tóxicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Eliminan los organismos depuradores, o bien inhiben su desarrollo impidiendo reacciones enzimáticas. Intoxican también a varios niveles de la cadena trófica, desde microorganismos hasta animales superiores.
- Incorporación de materia en suspensión, que reduce la entrada de luz y atasca los órganos respiratorios y filtradores de muchos animales.
- Alteración del equilibrio salino (balance en sodio, calcio, etc...) y del pH.

2.2.1.2 Tratamiento del Agua Residual

Toda agua servida o residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente. Antes de tratar cualquier agua servida debemos conocer su composición. Esto es lo que se llama caracterización del agua. Permite conocer qué elementos químicos y

biológicos están presentes y da la información necesaria para el diseño una planta.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas debe tener como propósito eliminar toda contaminación química y bacteriológica del agua que pueda ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna, de manera que el agua sea devuelta al medio ambiente en condiciones adecuadas. El proceso, además, debe ser optimizado de manera que la planta no produzca olores ofensivos hacia la comunidad en la cual está inserta. Una planta de aguas servidas bien operada debe eliminar al menos un 90% de la materia orgánica y de los microorganismos patógenos presentes en ella. (Ramos Calla, 2013)

2.2.1.2.1 Etapas del tratamiento del agua residual

El proceso de tratamiento del agua residual se puede dividir en cuatro etapas:

a. Etapa preliminar

La etapa preliminar debe cumplir dos funciones:

- Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta.
- Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena (a veces, también la grasa).

Normalmente las plantas están diseñadas para tratar un volumen de agua constante, lo cual debe adaptarse a que el agua servida producida por una comunidad no es constante. Hay horas, generalmente durante el día, en las que el volumen de agua producida es mayor, por lo que deben instalarse sistemas de regulación de forma que el caudal que ingrese al sistema de tratamiento sea uniforme.

Asimismo, para que el proceso pueda efectuarse normalmente, es necesario filtrar el agua para retirar de ella sólidos y grasas. Las estructuras encargadas de esta función son las rejillas, tamices, trituradores (a veces), desgrasadores y desarenadores.

b. Etapa primaria

Tiene como objetivo eliminar los sólidos en suspensión por medio de un proceso de sedimentación simple por gravedad o asistida por coagulantes y floculantes. Así, para completar este proceso se pueden agregar compuestos químicos con el objeto de precipitar el fósforo, los sólidos en suspensión muy finos o aquellos en estado de coloide.

Las estructuras encargadas de esta función son los estanques de sedimentación primarios.

En esta etapa se elimina por precipitación alrededor del 60 al 70% de los sólidos en suspensión. En la mayoría de las plantas existen varios sedimentadores primarios y su forma puede ser circular, cuadrada a rectangular, en el caso de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila es de forma rectangular.

c. Etapa secundaria

Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica en disolución y en estado coloidal mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación. Este proceso biológico es un proceso natural controlado en el cual participan los microorganismos presentes en el agua residual, y que se desarrollan en un reactor o cuba de aireación. Estos microorganismos, principalmente bacterias, se alimentan de los sólidos en suspensión y estado coloidal produciendo en su degradación anhídrido

carbónico y agua, originándose una biomasa bacteriana que precipita en el decantador secundario. Así, el agua queda limpia a cambio de producirse unos fangos para los que hay que buscar un medio de eliminarlos.

Las estructuras usadas para el tratamiento secundario incluyen filtros de arena intermitentes, filtros percoladores, contactores biológicos rotatorios, lechos fluidizados, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación y sistemas de digestión de fangos.

d. Etapa terciaria

Tiene como objetivo suprimir algunos contaminantes específicos presentes en el agua residual tales como los fosfatos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales y cuya descarga en cursos de agua favorece la eutrofización, es decir, un desarrollo incontrolado y acelerado de la vegetación acuática que agota el oxígeno, y mata la fauna existente en la zona. No todas las plantas tienen esta etapa ya que dependerá de la composición del agua residual y el destino que se le dará.

2.2.2 HIDRAULICA

2.2.2.1 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. (Ricardo Berru, Diciembre-2009)

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.

2.2.2.2 Diámetro De La Tubería

El diámetro de la tubería es un factor importante en el diseño de la línea de impulsión, para obtener el diámetro óptimo y económico se utilizara la formula empírica de BRESSE para sistemas de bombeo convencionales y fotovoltaicos.

$$D_i = 1.12 * \left(\frac{N}{4}\right)^{0.25} * \sqrt{Q_b} \quad \dots (Ec. 1)$$

Dónde:

N: Número de horas de bombeo (horas)

Q_b : Caudal de bombeo (m³/h)

D_i : Diámetro de impulsión (m)

2.2.2.3 Velocidad Media Del Flujo

En el 2015 Calsina Pari, encontró que luego de establecer el diámetro de la tubería, si este no es comercial se determina la velocidad media de flujo en la tubería escogiendo para esto el diámetro inmediato superior comercial y para ello utilizamos la siguiente ecuación:

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

Dónde:

D_i : diámetro de impulsión (m)

Q_b : caudal de bombeo (m³/s)

V : Velocidad media de flujo (m/s)

2.2.2.4 Pérdidas En Las Tuberías

La pérdida de carga en una tubería, es la perdida dinámica del fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre si 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 las circunstancias particulares, como un estrechamiento, un cambio de dirección, presencia de una válvula, etc.

Las pérdidas de carga de una tubería son de dos tipos.

Perdidas 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 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 las pérdidas de carga por fricción utilizando para lo cual la ecuación de HAZEN-WILLIAMS expresado por la siguiente ecuación:

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 * C * D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}} \quad \dots (Ec. 3)$$

$$H_f = S * L \quad \dots (Ec. 4)$$

Dónde:

Q_b: Caudal de Bombeo (m³/s)

C: Coeficiente de Hazen-Williams

D_i: Diámetro de Impulsión (m)

S: Relación de Hazen-Williams

L: Longitud de la línea de impulsión (m)

H_f: Altura de pérdidas por fricción (m)

Perdidas secundarias:

Cuando el fluido se desplaza uniformemente en 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 normalmente se produce en el flujo de la 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 la ecuación de BORDE-BELANGER teniendo en cuenta la cantidad de accesorios y la velocidad del flujo:

$$H_s = \sum K * \frac{V^2}{2g} \quad \dots (Ec. 5)$$

Dónde:

V: velocidad media de flujo (m/s)

g: gravedad

K: sumatoria de accesorios (adimensional)

H_s: Pérdidas de carga secundarias (m)

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

En el cuadro se muestra los valores aproximados de las pérdidas de carga locales de los diferentes accesorios utilizados en sistemas de impulsión.

Cuadro 01: Perdidas de carga local por accesorios

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
Boquilla	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 retención	2.50
Ampliación gradual	0.30
Reducción gradual	015

Fuente: (Calsina Pari, 2015)

2.2.2.5 Potencia De Impulsión

La potencia de impulsión es la potencia necesaria para impulsar la columna de fluido desde el pozo o cámara al tanque o reservorio.

Se tiene que conocer lo siguientes parámetros:

Caudal de bombeo (Q_b): Es aquel caudal requerido para abastecer el tanque o reservorio y que es producido por el pozo o cámara con un cierto descenso en el nivel del fluido (en este caso lodo), respecto del nivel estático cuando se realiza la extracción del fluido, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_b = Q_d * \frac{t}{t_b} \quad \dots (Ec. 6)$$

Dónde:

Qd: caudal de diseño (m³/s)

Tb: tiempo de bombeo. (s)

Qb: caudal de bombeo (m³/s)

t: tiempo de llenado de la cámara (s)

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): Es representado por la del nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada (nivel máximo de descarga al tanque o reservorio) y el nivel dinámico de los pozos incluidos 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 la altura de succión, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$HDT = H_e + H_f + L \quad \dots \text{(Ec. 7)}$$

Dónde:

L: longitud de línea de impulsión (m)

Hf: Perdidas de carga por fricción (m)

Hs: Perdidas de carga local (m)

HDT: Altura dinámica de bombeo (m)

Potencia de Consumo: la energía que requiere la bomba para su normal funcionamiento es conocida como potencia de consumo (Pb) y es calculada por la siguiente expresión:

$$P_B = \frac{\delta * g * HDT * Q_b}{\eta_B} \quad \dots (Ec. 8)$$

Dónde:

δ : Densidad del agua (kg/m³)

g : Gravedad (m/s²)

HDT : Altura dinámica de bombeo (m)

Q_b : Caudal de bombeo (m³/s)

η_B : Eficiencia del sistema bomba

P_B : Potencia de la bomba

Potencia instalada: el motor que se acopla a la bomba para su funcionamiento necesita una energía denominada potencia instalada (P_i) la cual se calcula con la ecuación anterior cambiando el valor de la eficiencia de la bomba, por el valor de la eficiencia del sistema motor-bomba.

2.2.2.6 Bombas

Las bombas son equipos mecánicos que permite elevar los líquidos y trasladarlos de un punto a otro consiguiendo aumentar su energía cinética o presión del fluido, es decir, se aplica cierta cantidad de energía (carga) que permita vencer la resistencia de las tuberías a la circulación, así como la carga que representa la diferencia de nivel del punto de donde se desplaza el líquido hasta el punto donde se quiera llevar. (Gamarra, 2012)

2.2.2.7 Tipos de bombas

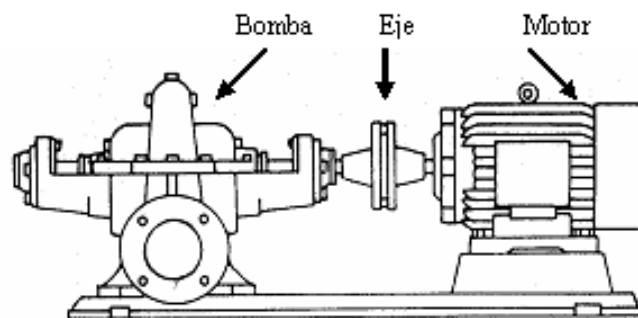
Las bombas más frecuentemente usadas son las bombas centrífugas y las bombas sumergibles. El diseñador según las características del proyecto, seleccionará el tipo de bomba más adecuada a las necesidades del mismo.

2.2.2.7.1 Bombas centrífugas horizontales

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal, tal como la figura 2, Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses.

Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional.

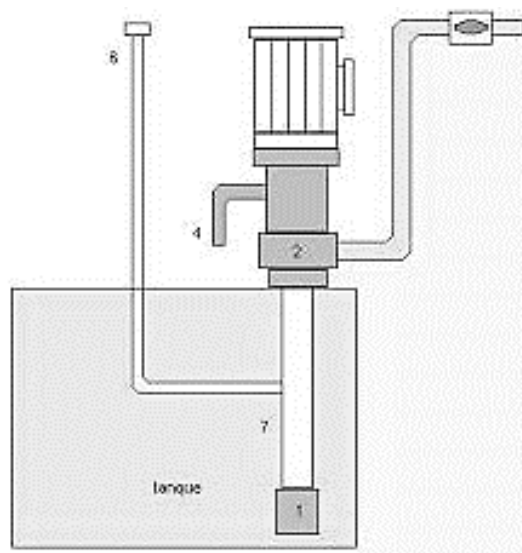
La mayor desventaja que presentan estas bombas es la limitación en la carga de succión, ya que el valor máximo teórico que alcanza es el de la presión atmosférica del lugar (10,33 m. a la altura del mar), sin embargo, cuando la altura de succión es de 7 metros la bomba ya muestra deficiencias de funcionamiento. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Figura 2: Bombas centrifugas de eje horizontal.

Fuente: (Calsina Pari, 2015)

2.2.2.7.2 Bombas centrifugas verticales

Son equipos que tienen el eje transmisión de la bomba en forma vertical sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos, tal como se observa en la figura 3.

Figura 3: Bomba centrífuga vertical

Fuente: (Calsina Pari, 2015)

Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducir las en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo.

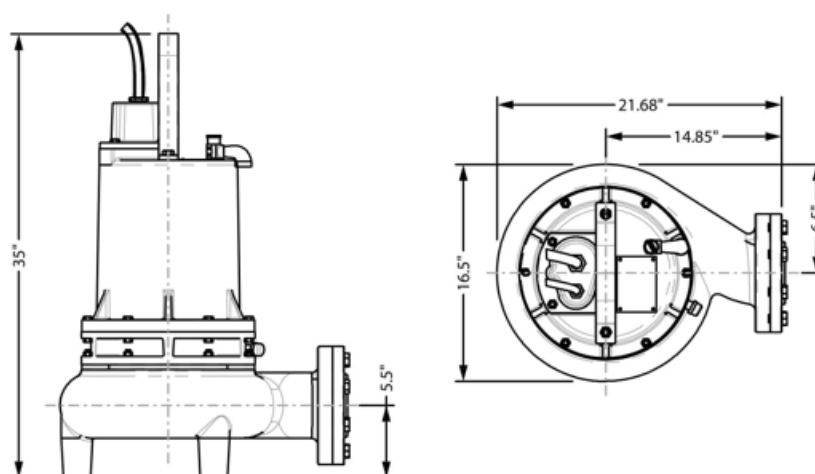
La ventaja principal de estos equipos es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están lo ruidosas que son y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación.

Los costos de instalación de este tipo de bombas son menores a los demandados por la instalación de una bomba de eje horizontal; sin embargo, la operación y mantenimiento exige cuidado especial y mayores costos. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

2.2.2.7.3 Bombas sumergibles

Son equipos que tienen la bomba y motor acoplado en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación, figura 4; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical.

Figura 4: Bomba sumergible



Fuente: (Barnes de Mexico S.A., 2015) Ficha técnica

Estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente bajas, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía

Nota: como el eje debe atravesar la caja de la bomba en dos sitios, estas bombas requieren doble juego de prensa estopas.

Otra desventaja es que al estar el motor y la bomba sumergidos, no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados, en otras palabras la unidad no es susceptible de recibir mantenimiento sin paralizar el bombeo.

Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto a la misma, no es factible hacer regulaciones durante la operación para variar la velocidad. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

2.2.2.8 Motores

Los motores para bombas se clasifican en dos grupos principales: de combustión y eléctricos.

2.2.2.8.1 Motores eléctricos

Estos motores utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante o los que tienen velocidad prácticamente constante.

Es decir, se puede considerar únicamente los dos tipos siguientes:

- a) Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y al ciclaje o frecuencia de la línea de alimentación.

b) Motor de inducción, es decir, asíncrono con velocidad dependiente al valor de la carga.

Los motores sincrónicos pueden resultar más económicos para accionamientos de gran potencia y baja velocidad. En todo caso, la eficiencia del motor sincrónico es ligeramente mayor que el motor de inducción. Las desventajas de estos motores están en que requieren una operación más cuidadosa y no soportan bien las caídas de tensión.

Los motores de inducción con rotor bobinado, particularmente los de tipo de rotor en jaula o cortocircuito, ya sea común o de alto par de arranque, constituyen en la actualidad las máquinas motrices más empleadas en la industria. La ventaja de estos motores está en su simplicidad, fiabilidad y economía.

Los motores eléctricos por su principio sencillo y construcción robusta, no exigen grandes requisitos de mantenimiento, evitando costosas interrupciones en el servicio que prestan y los gastos consiguientes de reparación, si se tiene el cuidado de emplearlas correctamente, sobre todo en lo que se refiere las siguientes características de placa: potencia, corriente, tensión, frecuencia, velocidad, número de fases, temperatura, lubricación y condición del medio ambiente donde opera.

Este tipo de motores es de menor costo comparado con los motores de combustión.

Son de más sencilla construcción, fáciles de utilizar para mover las bombas centrifugas, y su costo de mantenimiento es prácticamente despreciable.

La velocidad de los motores sincrónicos depende de la corriente (ciclaje y frecuencia) y del número de pares de polos. En los motores de inducción el fenómeno de deslizamiento disminuye la velocidad aproximadamente en 2 - 6%.

2.2.2.8.2 Motores de combustión interna

La potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores diésel o de encendido por bujías, alimentados por gas natural o propano. En algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible.

Estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos, generalmente se encuentran entre 1700 a 2400 rpm.

El empleo de estos motores es recomendable para el accionamiento de bombas en lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable.

Podría extenderse su uso en estaciones gran capacidad, como fuente de energía de reserva para el accionamiento de las bombas y de los controles eléctricos críticos en caso de fallo del suministro de energía.

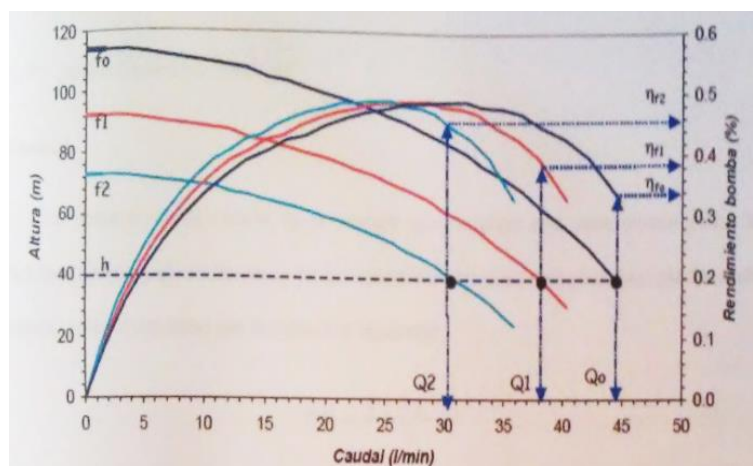
2.2.2.9 Características Del Rendimiento De Una Bomba

La eficiencia total de una bomba es afectada por las pérdidas hidráulicas en la bomba y sus accesorios o por fuga de líquido, las características de rendimiento para una geometría y velocidad de operación de una bomba dada se proporciona en forma de gráficos de carga, eficiencia y potencia al freno centro del caudal.

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 del funcionamiento de las distintas bombas entre las que vaya a realizar la elección.

El punto de funcionamiento o punto óptimo de una bomba 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 5: Rendimiento de una bomba, varía con la frecuencia



Fuente: (Raboso Lopez, 2013)

El rendimiento de una bomba varía con la frecuencia tal y como se muestra en la figura 5. 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 la bomba para la 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 el 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. (Calsina Pari, 2015)

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 situó a la derecha del punto máximo de 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.

2.2.2.10 Selección Sistema Motor-Bomba

Para sistemas fotovoltaicos el motor debe ser capaz de soportar la potencia pico del generador fotovoltaico, por tanto, el valor de su potencia eléctrica de entrada debe ser al menos igual a la potencia pico del generador fotovoltaico.

La configuración del generador, esto es, el número de módulos fotovoltaicos conectados en serie y en paralelo, debe adaptarse a las limitaciones de corriente y voltaje del motor (o del sistema de acondicionamiento de potencia), procurando acoplar bien ambos elementos para optimizar las relaciones de máxima potencia.

Por último es importante señalar que en la actualidad, en muchos modelos comerciales, el motor está acoplado a la bomba de fábrica con lo que

deberemos seleccionar un motor-bomba que cumpla el requisito anterior y las necesidades para una altura total h dada.

2.2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

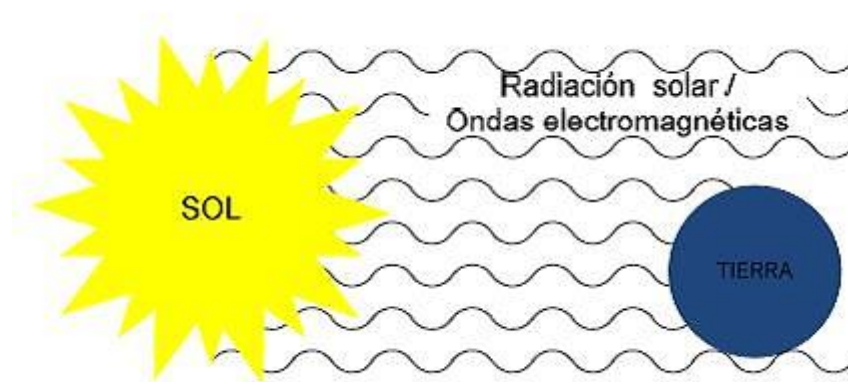
2.2.3.1 Introducción

En este apartado se describirá el estado del arte de la energía solar actual en el Perú y los sistemas fotovoltaicos, para ello es necesario explicar brevemente el fundamento teórico relacionado a las instalaciones fotovoltaicas, el cual incluye el principio básico de funcionamiento de los componentes y tecnologías actuales.

2.2.3.2 Energía solar

La energía solar es la energía radiante emitida por el sol y recibida en la tierra en forma de ondas electromagnéticas. El sol emite continuamente radiación a todo el espacio, figura 5. La tierra intercepta aproximadamente 1.7×10^{14} kW, de tal manera que la tierra es como un gran colector solar.

Figura 6: Emisión de radiación solar



Fuente: (Ricardo Berru, Diciembre-2009)

La energía solar tiene una serie de ventajas:

- Es inagotable.
- No es contaminante.
- Es un sistema de aprovechamiento idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega.
- Los sistemas de captación solar son de fácil mantenimiento.

Sin embargo, la utilización artificial de la energía solar no es simple y carente de problemas, ya que tropieza con tres dificultades importantes:

- El flujo de potencia que alcanza la superficie terrestre es pequeño ($< 1kW/m^2$), comparado con el suministrado por los combustibles fósiles.
- La energía solar disponible en una localidad varía estacionalmente durante el año y además se ve afectada por las variaciones meteorológicas, fuera del control del hombre.
- Los equipos necesarios para utilizar la energía solar requieren de inversiones iniciales elevadas, comparados con las que requieren para sistemas convencionales.

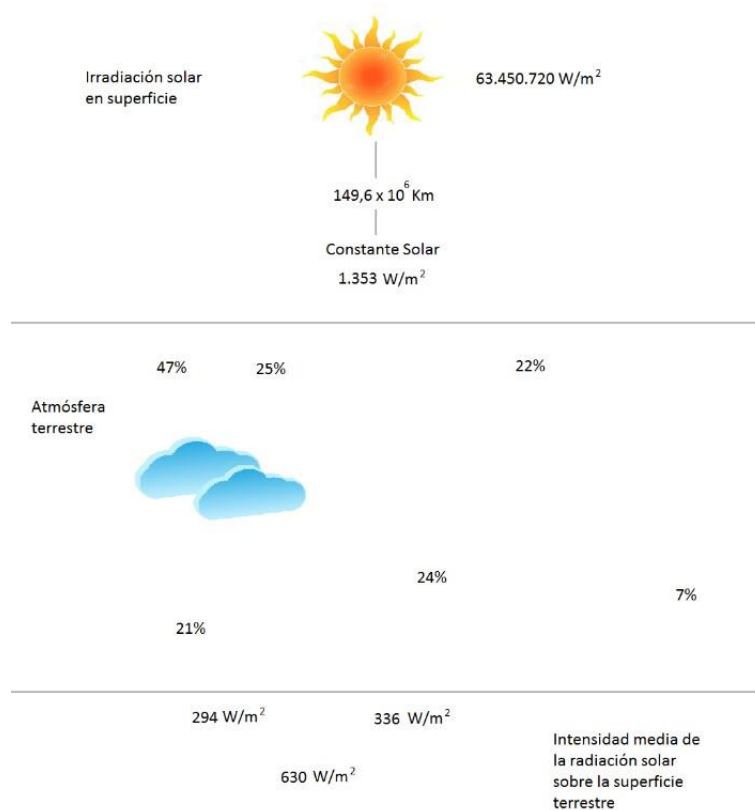
El bajo flujo de potencia implica que la utilización de la energía solar es extensiva, es decir, que a mayor potencia se requiere mayor área de dispositivos. La variabilidad implica la necesidad de acumular energía con el fin de suministrar el consumo requerido. Y la alta inversión inicial implica considerar la viabilidad económica del proyecto teniendo en cuenta su vida útil y las ventajas que conlleva la utilización de la energía solar.

Un sistema fotovoltaico es una fuente de potencia eléctrica en el cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad en corriente directa. Estos sistemas pueden ser colocados en todos los lugares donde haya suficiente energía solar, no requieren combustibles y por tratarse de dispositivos de estado sólido, carecen de partes móviles, por consiguiente, no requieren de mayor mantenimiento, no producen ruido, emisiones toxicas, contaminación ambiental ni polución electromagnética. Su confiabilidad es entonces elevada y se emplea desde hace cerca de 40 años en lugares inhóspitos tales como el espacio, desiertos, selvas, regiones remotas, etc.

Los sistemas fotovoltaicos se pueden diseñar para una operación autónoma o funcionamiento con sistemas híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencionales. También pueden operar aislados de redes o interconectadas a ellas. La capacidad de los dispositivos fotovoltaicos varía desde algunos mWp hasta decenas de MWp. (Ricardo Berru, Diciembre-2009)

2.2.3.3 Radiación Solar

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100%. Según el Instituto Geofísico del Perú, en términos generales, el 24% de la radiación llega directamente, el 21% de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29% se pierde en el espacio.

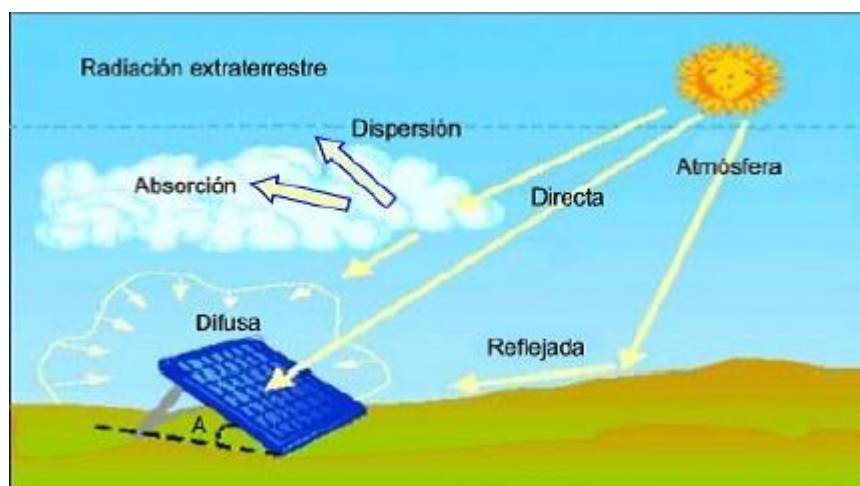
Figura 7: Esquema de distribución de radiación

Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

Existen tres componentes de la radiación solar:

- Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.
- Difusa: Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.
- Albedo o reflejada: Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico, en la figura 8 se puede observar esto.

Figura 8: Tipos de radiación solar

Fuente: (Ricardo Berru, Diciembre-2009)

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura 9.

Figura 9: Mapa Irradiación solar de Latinoamérica.

Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

2.2.3.4 Geometría Solar

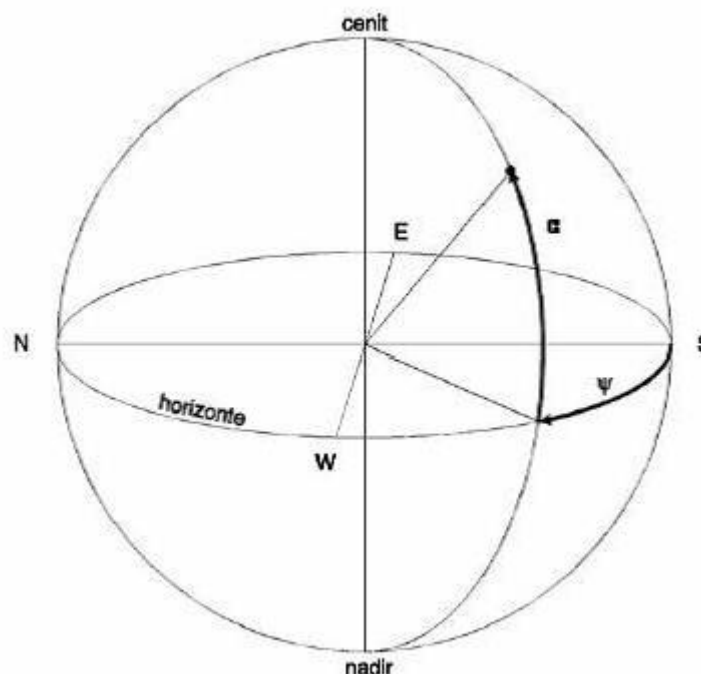
Conocer la geometría solar es fundamental para poder estimar la posición óptima del panel solar así como la cantidad de energía que aprovecha el mismo.

La orientación se define mediante el ángulo Azimut (Ψ), como se observa en la figura 10, el Azimut se define como el ángulo que forma la dirección sur con el objeto. (Positivo hacia el oeste)

La altura del sol (α) varía de acuerdo a las estaciones, este parámetro es importante, ya que aporta en la creación de sombras y en la irradiación

recibida por el módulo. Se mide a partir del horizonte, con un valor de 0° y es positivo en el cenit.

Figura 10: Geometría Solar

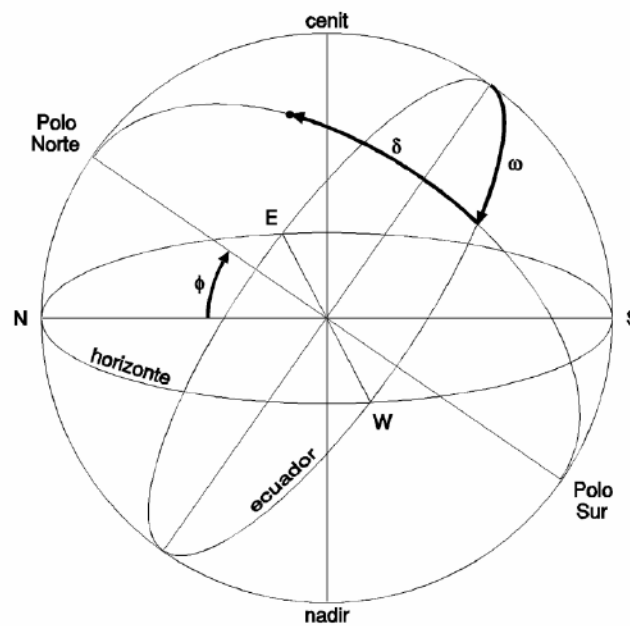


Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

2.2.3.4.1 Coordenadas celestes horarias

Debido a los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, se debe dar un seguimiento al sol a lo largo de los días, ya que su posición relativa varía. Se deben definir dos parámetros importantes:

- Ángulo horario (ω), se mide sobre el ecuador a partir del punto de intersección entre el meridiano superior del lugar y aquel, de 0° a $\pm 180^\circ$, positivamente hacia el oeste.
- Declinación (δ) es el arco del círculo horario que pasa por el sol, comprendido entre el ecuador y éste. Se cuenta a partir del ecuador de 0° a $\pm 90^\circ$, positivamente hacia el polo Norte y negativamente hacia el polo Sur.

Figura 11: Coordenadas celestes horarias

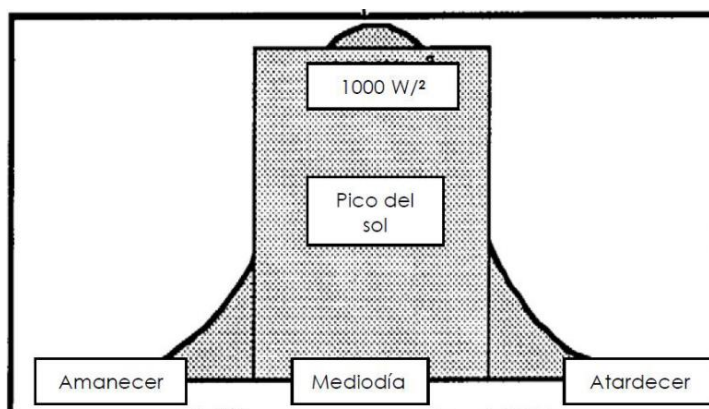
Fuente (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

2.2.3.4.2 Horas de Sol Pico (H.S.P.)

Las horas de sol pico son las horas se definen como el número de horas al día con una irradiancia hipotética de 1000 W/m^2 que sumen la misma irradiancia total que la real ese día.

Se puede notar que cuando la irradiancia se expresa en kw-h/m^2 es numéricamente similar a las H.S.P. Este concepto es importante, ya que junto con un factor de pérdidas ayuda a estimar la potencia producida por los paneles fotovoltaicos. La distribución de la radiación a lo largo del día y el concepto de horas pico de sol se muestran en la figura 12.

(Valdiviezo Salas, Junio-2014)

Figura 12: Concepto de Horas Sol Pico.

Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

2.2.3.5 Panel Fotovoltaico

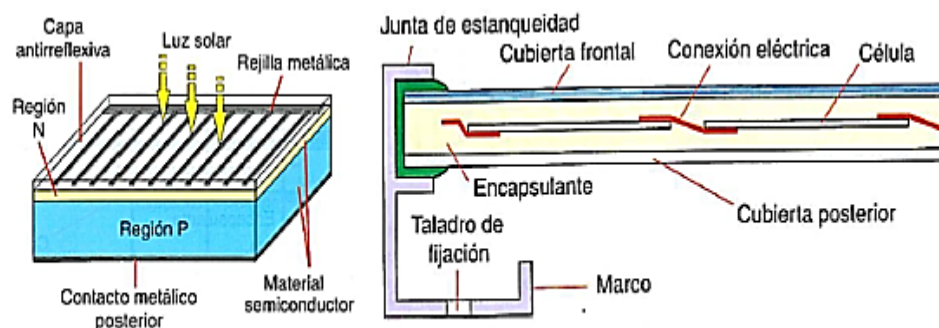
Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje.

Es un requisito que los módulos se fabriquen de acuerdo a la norma internacional IEC-61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente. Dicha norma establece las pruebas necesarias para evaluar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico
- Requerimientos eléctricos
- Parámetros de rendimiento
- Requerimientos térmicos
- Requerimientos de irradiación
- Requerimientos de ambientales
- Requerimientos de mecánicos
- Protecciones

En la figura 13, se muestra la composición de la célula fotovoltaica a la izquierda y el panel fotovoltaico a la derecha.

Figura 13: Estructura de una célula solar y panel fotovoltaico

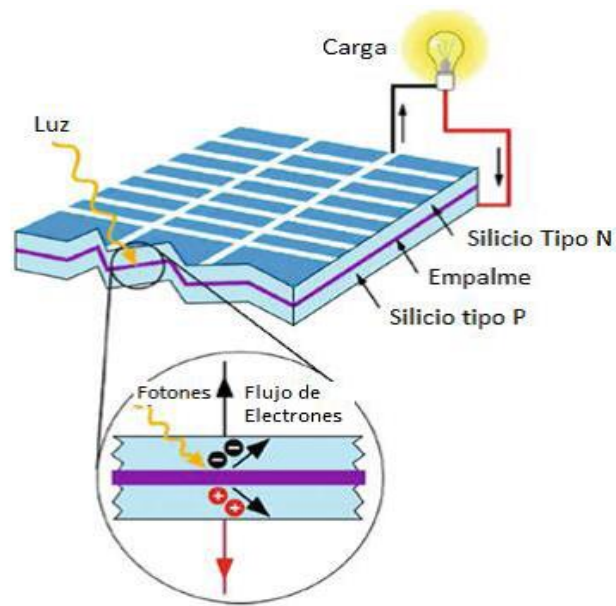


Fuente: (Castejon Oliva & Santamaria Herranz, 2010)

2.2.3.6 Células fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas son el componente fundamental de los paneles solares, son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, vía el efecto fotovoltaico o mediante la previa conversión de energía solar a calor o energía química. (Martinez Robles, Marzo-2014)

Las células fotovoltaicas son sensibles a la luz, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de casos, el cual se excita ante la presencia de radiación (aumento de temperatura) y los electrones pueden fluir del tipo P (positivo) al tipo N (negativo), esto ocasiona un voltaje interno de 0.46 a 0.48 V, el cual ante la presencia de una resistencia genera una corriente de 2 a 4 amperios, las celdas se montan en serie para obtener el voltaje adecuado y tienen una capa antirreflejo que aumenta la eficacia de la celda.

Figura 14: Funcionamiento célula silicio

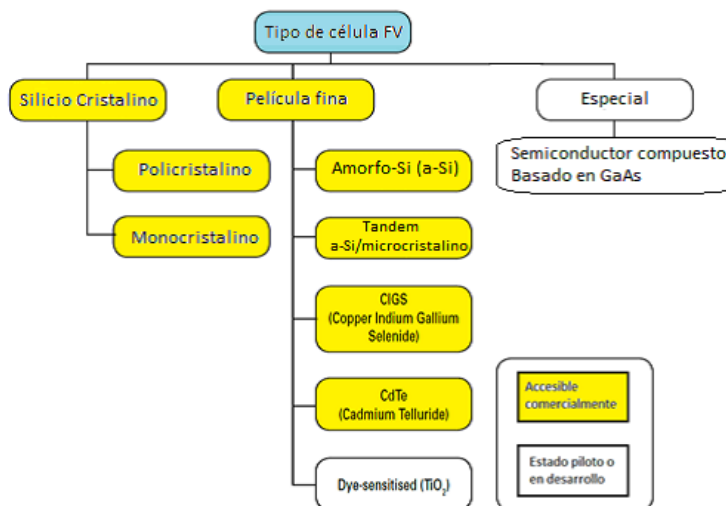
Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

En la actualidad, existen varios tipos de células fotovoltaicas con diversas tecnologías, cada una de ellas tiene diferentes propiedades y se debe escoger la más apropiada dependiendo de los siguientes factores:

- **Cristalinidad:** Indica el grado de orden en la estructura cristalina de los átomos de silicio. Puede ser: monocristalino, policristalino o amorfo.
- **Coefficiente de absorción:** Indica como la luz puede penetrar antes de ser absorbida por el material. Esto depende del material de la célula y de la longitud de onda de la luz.
- **Costo y complejidad de fabricación:** Depende de un gran grupo de factores, número de pasos implicados, necesidad de ambiente especial, cantidad y tipo de material, necesidad de mover las células, entre otros.

En la figura 15, se muestra un esquema de las tecnologías actuales en el desarrollo de células fotovoltaicas.

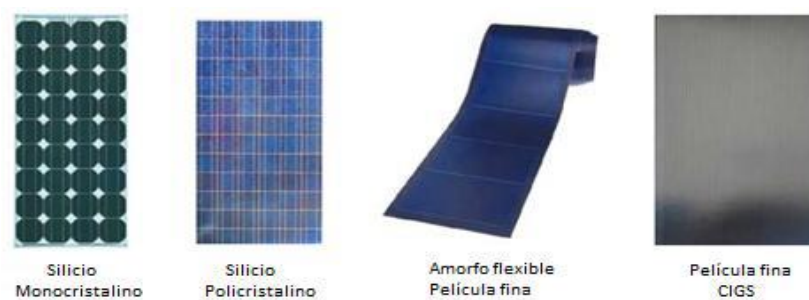
Figura 15: Árbol de tecnologías fotovoltaicas



Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

La imagen de las tecnologías más utilizadas se muestra en la figura 16:

Figura 16: Tecnologías fotovoltaicas más comunes



Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

Cuadro 02: Eficiencia de células fotovoltaicas

Tecnología	Eficiencia del modulo
Mono-crystalline silicon	12.5-15%
Poly-crystalline silicon	11-14 %
Cooper iridium gallium selenoide (CIGS)	10-13%
Cadmium telluride (CdTe)	9-12%
Amorphus silicon (a-Si)	5-7%

Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

Podemos notar que la eficiencia de la célula de Silicio mono-cristalina es la más alta, sin embargo su alta pureza que eleva los costos de producción y la encarecen. En nuestro caso, la mejor opción es la de utilizar la tecnología policristalina, ya que es la superior en el balance rendimiento/costo. (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

2.2.3.6.1 Parámetros característicos

En las fichas técnicas los paneles muestran datos de eficiencia, voltaje y amperaje bajo condiciones estándares, las cuales son llamadas STC (Standard Testing Condition). Estos parámetros son los siguientes:

- Irradiación: 1000 W/m²
- Temperatura del módulo: 25°C
- AM: 1.5.

El voltaje y la intensidad producida por los paneles fotovoltaicos depende de diversos factores, los más importantes son la irradiación y la temperatura a la cual se encuentre el módulo.

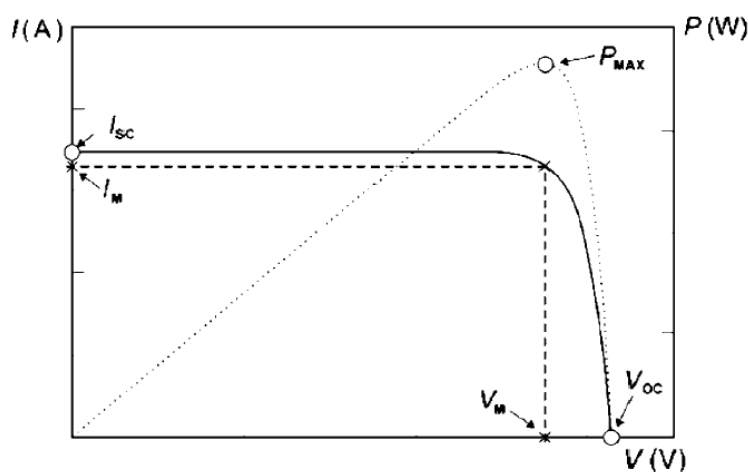
2.2.3.6.2 Curvas características

Los paneles fotovoltaicos tienen curvas características en las cuales se muestra el funcionamiento de los paneles y cuál es el efecto antes cambios en la temperatura o radiación.

- **Curvas Intensidad vs Tensión y Potencia vs Tensión**

La figura 17 muestra puntos característicos en los catálogos de paneles, usualmente se expresa la potencia del panel en el Punto de Máxima Potencia (PMP), aunque para el cálculo del cableado es recomendable utilizar el punto de corto circuito (I_{cc}).

Figura 17: Curva I vs V / P vs V



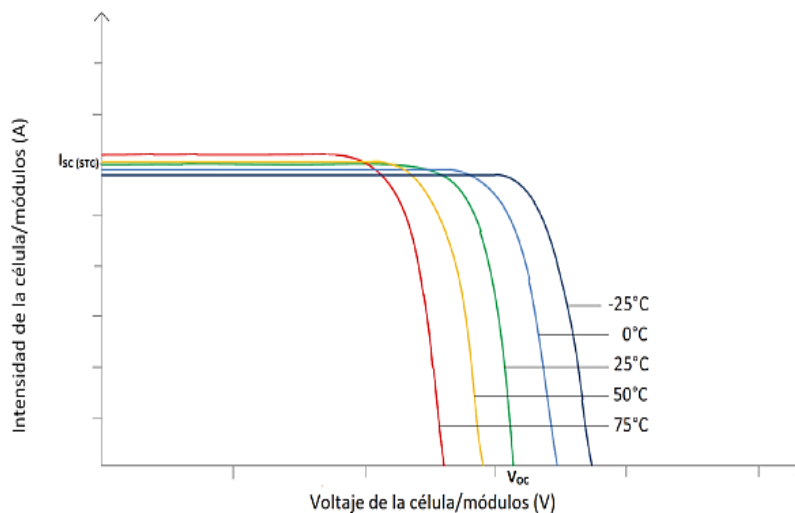
Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

- **Efecto de la temperatura**

Los efectos de la temperatura y radiación son de mucha importancia, ya que las mismas varían continuamente debido a las condiciones ambientales a lo largo del tiempo, alterando el comportamiento de los parámetros de la célula durante la generación de energía eléctrica. (Horacio Vera, 2004)

La figura 18 representa la curva característica donde podemos notar que conforme disminuye la temperatura, aumenta la tensión de salida (también la potencia), y la corriente se mantiene casi constante.

Figura 18: Efecto de la temperatura

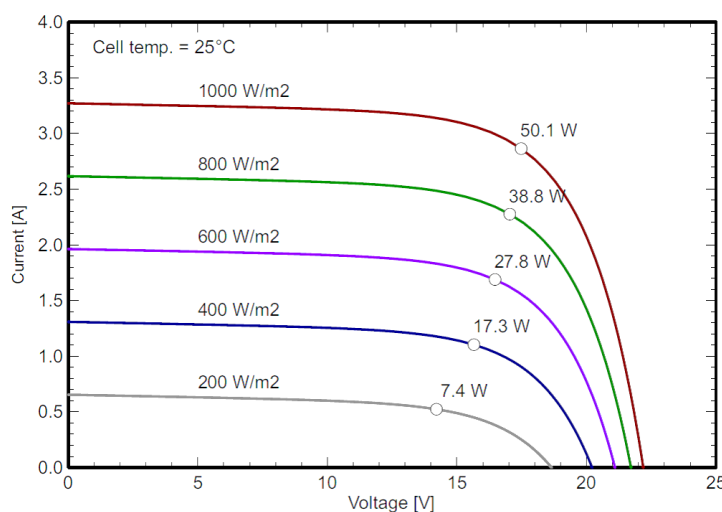


Fuente: (Ingelibre, 2014) Curva de temperatura en paneles.

- **Efecto de la radiación**

El aumento de la corriente es proporcional a la intensidad de radiación incidente. Este efecto se muestra en la figura 19.

Figura 19: Efecto de radiación



Fuente: (Ingelibre, 2014) Curva de radiación en paneles solares.

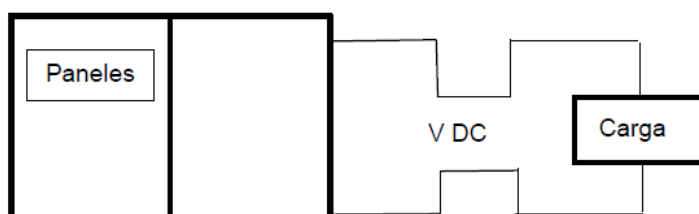
2.2.3.7 Componentes de un sistema fotovoltaico aislado

Se suplirá la demanda utilizando únicamente la energía generada por los paneles solares, es decir, el sistema fotovoltaico será aislado.

Los sistemas fotovoltaicos aislados se subdividen en tres tipos:

- Directamente conectados a una carga: Es el más simple y eficiente, se utiliza cuando se alimenta un sistema de corriente continua de manera discreta.

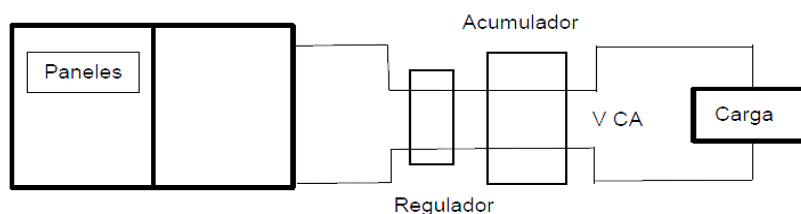
Figura 20: Sistema fotovoltaico aislado conectado a la carga



Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014) tipos de sistemas fotovoltaicos aislados

- Sistemas con regulador y batería: Las baterías alimentan a la carga en corriente continua y los reguladores cuando el buen funcionamiento de las baterías.

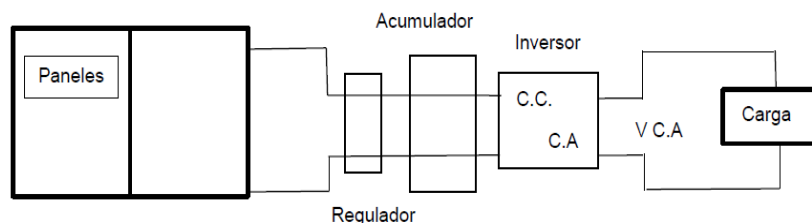
Figura 21: Sistema fotovoltaico aislado con regulador



Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014) tipos de sistemas fotovoltaicos aislados

- Sistemas con regulador, batería e inversor: Este tipo de sistema es necesario cuando se requiere alimentar una carga en corriente alterna.

Figura 22: Sistema fotovoltaico aislado con inversor

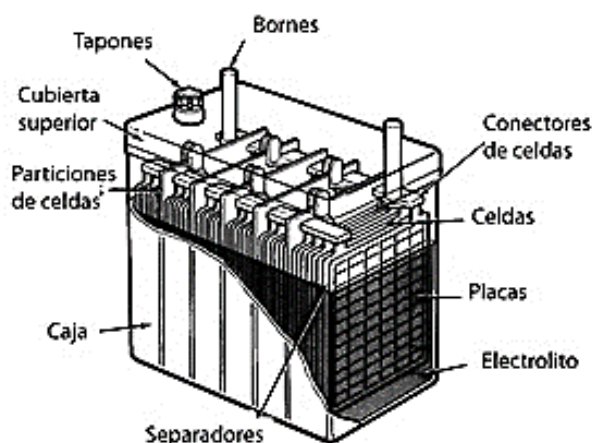


Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014) tipos de sistemas fotovoltaicos aislados

2.2.3.8 La batería o acumulador

La batería o acumulador es un dispositivo electroquímico capaz acumular energía en forma química y transformarla en energía eléctrica cuya función prioritaria en sistemas fotovoltaicos es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos. (Barrero Franco, 2011)

Figura 23: Partes de una batería**Fuente:** (Harper, 2010)

Las partes esenciales para explicar su funcionamiento son las siguientes:

- Placas: Son conductores metálicos de diferente polarización, con lo cual permiten un flujo de electrones.
- Electrólito: Puede ser líquido, sólido o en pasta, es un conductor iónico que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

El voltaje o la tensión de la batería es función del número de celdas electroquímicas, siendo el voltaje de cada celda de 2V, los principales parámetros que determinan el comportamiento de la batería son:

- Capacidad de descarga (Ah): Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa, se expresa en Amperios Hora.
Si la temperatura es mayor a la indicada en el catálogo, la capacidad disminuye; si la temperatura es menor, puede afectar la vida útil de la batería.
- Profundidad de la descarga: Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para

aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 75% - 80%.

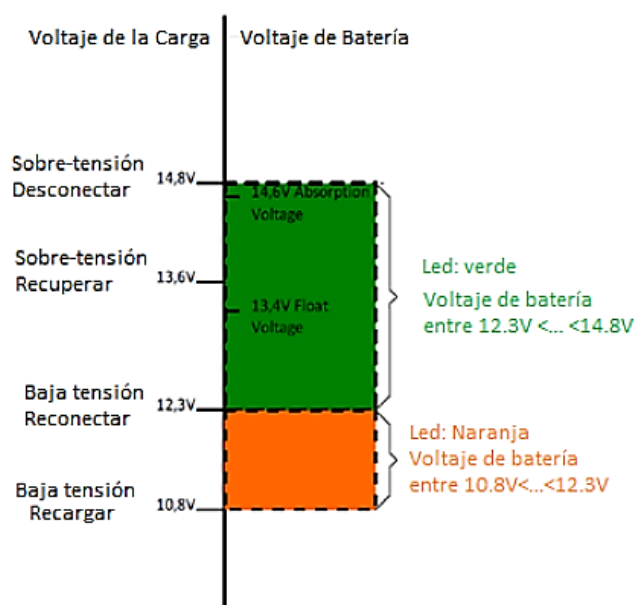
Los principales tipos de batería disponibles en el mercado son los mencionados a continuación:

- a) Plomo-Ácido: Usadas en aplicaciones en las cuales el peso y el tamaño no son factores decisivos. Las capacidades de servicio típicas son de 1-10,000 Ah. Requieren mantenimiento considerable y se debe proporcionar una adecuada ventilación y protección contra ambientes corrosivos, debido al electrólito (ácido).
- b) Níquel-Cadmio: Se caracterizan por tener un electrólito alcalino, bajo coeficiente de autodescarga, alto rendimiento de absorción de carga (mayor a 80%) y alto costo comparativo.

2.2.3.9 Unidad de control o regulador

El regulador de carga, tiene la misión de regular la corriente que absorbe la batería con el fin de que en ningún momento esta pueda sobrecargarse y, al mismo tiempo evitando que deje de aprovechar energía captada por los paneles, también evita la descarga de las baterías sobre los paneles, para ello utiliza un diodo.

Asimismo, cuida la vida útil de la batería, para ello monitorea la tensión de la batería, como se observa en figura 25, se desconecta al llegar a 14.8V y se debe recargar al llegar al valor de 10.8V.

Figura 24: Monitoreo de tensión de una batería de 12V

Fuente: (Valdiviezo Salas, Junio-2014)

Según (Barrero Franco, 2011), los parámetros de regulación que un buen regulador debe ser capaz de aceptar, pudiendo ser fijados según las peculiaridades de cada instalación, son los siguientes:

- El voltaje máximo de regulación: Es el máximo voltaje que el regulador permite que sea aplicado a la batería.
- El intervalo de histéresis superior: Se denomina así a la diferencia entre el voltaje máximo de regulación y el voltaje al cual el regulador permite el paso de toda intensidad de la corriente producida por los paneles. Para un voltaje intermedio, el regulador únicamente permite el paso hacia la batería de una fracción de la corriente producida por los paneles.
- Voltaje de desconexión. Es el valor al cual se desconectan automáticamente las cargas de consumo, a fin de prevenir una sobre descarga de la batería.

- El intervalo de histéresis inferior. Es la diferencia entre el voltaje de desconexión y el voltaje al cual se permite que las cargas de consumo se reconecten de nuevo a la batería.

2.2.3.10 Inversores o convertidores

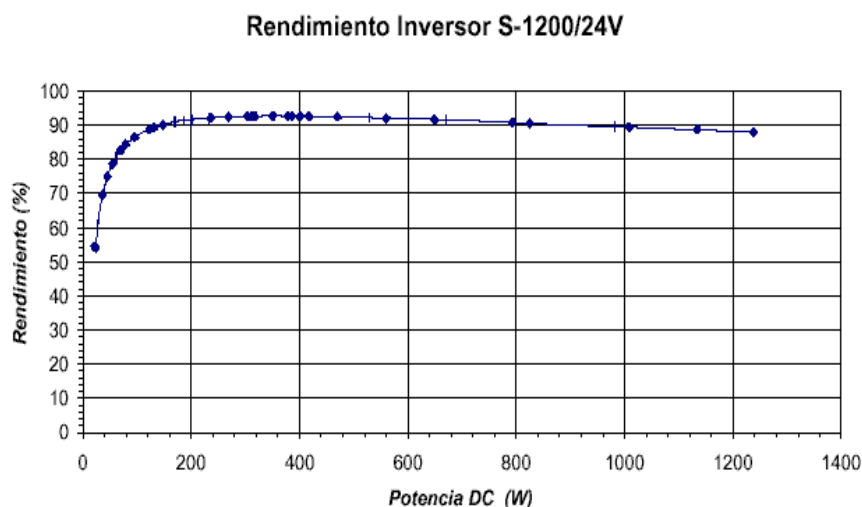
Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad. Para las aplicaciones de una instalación aislada, deben ser autoconmutados, es decir, no utilizan energía de una fuente exterior.

Debido a que se alimentarán cargas del tipo electrónico, es recomendable utilizar un inversor que genere una onda senoidal pura, es decir, muy similar a la de la red eléctrica (Valdiviezo Salas, Junio-2014). Se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La distorsión armónica total en tensión del inversor debe ser inferior a 5 % en relación a la tensión fundamental RMS.
- La frecuencia nominal se debe mantener entre ± 5 % del valor nominal.
- La caja del inversor debe cumplir con un índice de protección de IP 54.
- La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o, en su defecto, arenado y pintados al horno, con doble base anticorrosiva.

El inversor se debe proteger antes las siguientes circunstancias:

- Tensión de entrada fuera del rango de operación.
- Desconexión de las baterías.
- Cortocircuito en la salida de corriente alterna.
- Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

Figura 25: Curva típica de eficiencia del Inversor

Fuente: (Solener, 2012),

2.2.3.11 Elementos de protección

Además de los sistemas de protección inherentes a la unidad de control, se puede contar con sistemas de protección externos, los cuales pueden ser desconectores térmicos (fusibles o relés), protección contra altas tensiones tanto para corriente alterna como para corriente continua y diodos.

Los fusibles deben elegirse de modo tal que la máxima corriente de operación esté en el rango del 50 al 80 % de la capacidad nominal del fusible (I_{nom}) (Valdiviezo Salas, Junio-2014).

2.2.3.12 Cables

Los cables para la instalación deben contar con el aislamiento adecuado, la selección de los mismos depende de la aplicación y del tipo de canales utilizados. Para realizar los cálculos se seguirán las indicaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y del Código Nacional de Electricidad (CNE).

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3 % entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1 % entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5 % entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.

Los cables expuestos a la intemperie deberán cumplir la norma internacional IEC 60811.

2.2.3.13 Estructura de soporte

El tipo de estructura depende de las condiciones climatológicas, la aplicación y los requerimientos específicos de cada proyecto.

- **Sistema Fijo**

Este sistema está fijo y para ello se debe realizar un estudio de determinación de la inclinación adecuada. El mantenimiento es mínimo, es la estructura que genera menor eficiencia pero es la más económica.

El sistema fijo tiene mayor duración y casi no requiere mantenimiento. Debido a que no puede variar la inclinación, se debe considerar la lluvia y efecto de sombras en la elección de la inclinación.

Figura 26: Estructura Fija



Fuente: (Saitim, 2006)

- **Seguidores solares**

Especialmente en cielos despejados, con alto efecto de radiación directa (nubosidad baja), se suele utilizar seguidores solares. Estos incrementan los costos iniciales, ya que se necesitan sistemas de control para modificar la inclinación (seguir al sol), un motor, engranajes y demás elementos mecánicos. Además, se necesitan realizar un mantenimiento a estos equipos mecánicos. Sin embargo, al seguir al sol en su trayectoria, suelen incrementar las potencias generadas. Existen diversos tipos de seguidores solares en la actualidad.

- Seguidores de un solo eje: Horizontal, vertical, polar.
- Seguidores doble eje

2.2.4 GENERALIDADES DEL SISTEMAS DE 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 esta funciones se debe tomar en consideración que tan simple o complejo puede ser es sistema, ya que esto se define por el tipo de sistema que se va a controlar y por los componentes que constituyen tales como interruptores, contactores, controladores, etc.

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 es 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 bien funcionamiento del sistema. (Calsina Pari, 2015)

2.2.4.1 AUTÓMATAS PROGRAMABLES

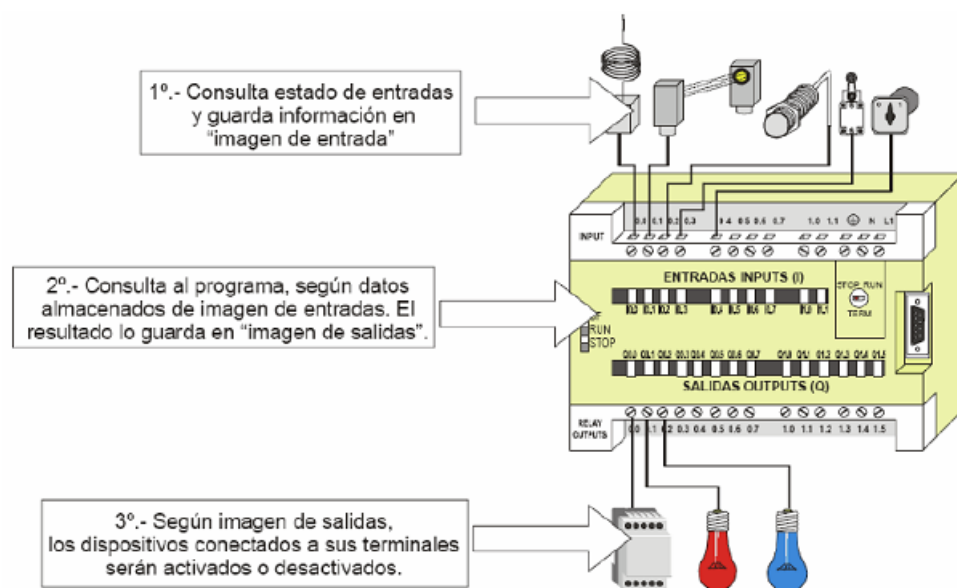
Se entiende por Autómata Programable, o PLC (Controlador Lógico Programable), toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones, etc.

La función básica de los autómatas programables es la de reducir el trabajo del usuario a realizar el programa, es decir, la relación entre las señales de entrada que se tienen que cumplir para activar cada salida, puesto que los elementos tradicionales (como relés auxiliares, temporizadores, contadores...) son internos.

Funcionamiento

El PLC es una máquina secuencial que ejecuta correlativamente instrucciones indicadas en el programa almacenado en su memoria, generando señales de mando a partir de señales de entrada, realizando cambios y el PLC reacciona de acuerdo al programa hasta obtener las ordenes de salida necesarias o deseadas.

Figura 27: Funcionamiento del PLC

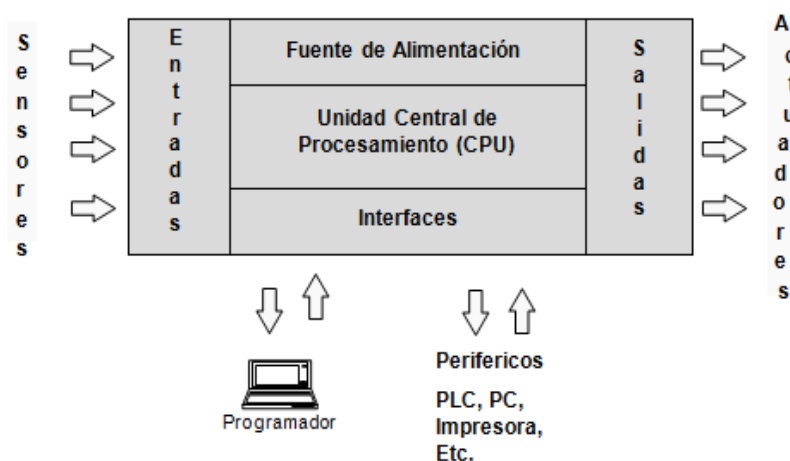


Fuente: (SIEMENS, 2003) Controladores Programables

Estructura

La estructura básica de un autómata programable es la siguiente:

Figura 28: Estructura de un autómata



Fuente: (SIEMENS, 2003)

Fuente de alimentación

Es la encargada de convertir la tensión de la red, 220v, a la tensión necesaria para el funcionamiento de los sistemas del PLC, normalmente a 24v, siendo esta la tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el PLC.

Unidad Central de Proceso

La CP es la parte inteligente del sistema. Interpreta las instrucciones del programa de usuario y consulta el estado de las entradas, procesando estos datos y de acuerdo al programa, ordena la activación de las salidas deseadas.

La CPU está constituida por los siguientes elementos:

Contiene las siguientes partes:

- Unidad central o de proceso
- Temporizadores y contadores
- Memoria de programa
- Memoria de datos

- Memoria imagen de entrada
- Memoria de salida

Módulo de entrada

Es al que se unen los captadores (interruptores, finales de carrera, pulsadores).

Cada cierto tiempo el estado de las entradas se transfiere a la memoria imagen de entrada. La información recibida en ella, es enviada a la CPU para ser procesada de acuerdo a la programación.

Se pueden diferenciar dos tipos de captadores conectables al módulo de entradas: los pasivos y los activos.

Los captadores pasivos son los que cambian su estado lógico (activado o no activado) por medio de una acción mecánica. Estos son los interruptores, pulsadores, finales de carrera...

Los captadores activos son dispositivos electrónicos que suministran una tensión al autómatas, que es función de una determinada variable.

Módulo de salida

Es el encargado de activar y desactivar los actuadores (bobinas de contactores, lámparas, motores pequeños)

La información enviada por las entradas a la CPU, una vez procesada, se envían a la memoria imagen de salidas, de donde se envía a la interface de salidas para que estas sean activadas y a la vez los actuadores que en ellas están conectados.

Según el tipo de proceso a controlar por el autómatas, podemos utilizar diferentes módulos de salidas. Existen tres tipos bien diferenciados:

- A Relés: son usados en circuitos de corriente continua y corriente alterna. Están basados en la conmutación mecánica, por la bobina del relé, de un contacto eléctrico normalmente abierto.

- A Triac: se utilizan en circuitos de corriente continua y corriente alterna que necesitan maniobras de conmutación muy rápidas.
- A transistores a colector abierto: son utilizados en circuitos que necesiten maniobras de conexión / desconexión muy rápidas. El uso de este tipo de módulos es exclusivo de los circuitos de corriente continua.

2.2.4.2 VENTAJAS

Flexibilidad

En el pasado cada máquina controlada electromagnéticamente requería a su propio controlador, ahora es posible emplear un PLC para hacer trabajar cualquier máquina, ya que bajo el control del PLC cualquier maquina 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 mayor tiempo para instalar un nuevo relevador o un bloque de contactos auxiliares.

Sin embargo con 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.

Observación visual

La operación de un circuito programado en un PLC puede ser observado directamente en un 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 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 está 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 se 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 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.

2.2.4.3 DEVENTAJAS**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 un PLC.

Aplicación a 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 serían menos costosos, el PLC es más efectivo cuando se realizan cambios periódicos en el sistema de control.

Consideraciones ambientales

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

2.2.4.4 Lenguajes de programación

Cuando surgieron los autómatas programables, lo hicieron con la necesidad de sustituir a los enormes cuadros de maniobra construidos con contactores y relés. Por lo tanto, la comunicación hombre-máquina debería ser similar a la utilizada hasta ese momento. El lenguaje usado, debería ser interpretado, con facilidad, por los mismos técnicos electricistas que anteriormente estaban en contacto con la instalación. Estos lenguajes han evolucionado, en los últimos tiempos, de tal forma que algunos de ellos ya no tienen nada que ver con el típico plano eléctrico a relés.

Los lenguajes más significativos son:

a. Lenguaje de contactos

Es la representación gráfica que tiene cierta analogía a los esquemas de contactos. Su estructura obedece a la semejanza que existe con los circuitos de control con lógica cableada, es decir utiliza la misma representación de los contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados, con la diferencia que su interpretación es totalmente diferente.

Además de los simples contactos que dispone, existen otros elementos que permiten realizar cálculos aritméticos, operaciones de comparación, implementar

algoritmos de regulación, etcétera. Su gran difusión se debe por facilitar el trabajo a los usuarios.

b. Lenguaje por lista de instrucciones

En los autómatas de gama baja, es el único modo de programación. Consiste en elaborar una lista de instrucciones o nemónicos que se asocian a los símbolos y su combinación en un circuito eléctrico a contactos. También decir, que este tipo de lenguaje es, en algunos casos, la forma más rápida de programación e incluso la más potente.

2.2.5 CONTROL ON-OFF

También llamado todo-nada, es la forma más simple de control para realimentación, es un control de dos posiciones en que el elemento de final de control solo ocupa una de las dos posibles posiciones, en el cual la salida del controlador va de un extremo a otro cuando el valor de la variable controlada se desvía del valor deseado.

Este método solo acepta dos posiciones para el actuador: encendido (100%) y apagado (0%). La lógica de funcionamiento es tener un punto de referencia, si la variable es mayor el actuador asume una posición y si la variable es menor asume la otra posición.

Características del control on-off

- Variación cíclica continua de la variable controlada.
- El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia.
- Funcionamiento óptimo en procesos con tiempo de retardo mínimo y velocidad de relación lenta.

2.2.6 GLOSARIO DE TERMINOS BASICOS

- **Automatización:** La automatización es un sistema donde se cambian las tareas realizadas por personal humano, a un conjunto de máquinas y elementos tecnológicos en la realización de un proceso.
- **PLC:** Es un dispositivo electrónico que permite resolver problemas de secuencias en maquinaria o procesos industriales, mediante un programa desarrollado por el usuario, ahorrando costos y la confiabilidad de los equipos.
- **Bomba:** Es un dispositivo que transforma energía para incrementar la presión de un líquido o gas, añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión a otra de mayor presión.
- **Energía solar:** Es una fuente de energía renovable, que llega en forma de radiación electromagnética del sol a la tierra, con el cual se puede generar calor y electricidad, se puede aprovechar mediante la energía fotovoltaica, la energía fototérmica y energía termoeléctrica.
- **Panel fotovoltaico:** Es un dispositivo que contiene un conjunto de células fotovoltaicas que nos permiten aprovechar la energía solar incidente en ellas mediante el efecto fotoeléctrico para producir energía eléctrica.
- **Inversor:** Un inversor es un convertidor electrostático, que por medio del uso de componentes electrónicos de potencia nos permite convertir la corriente continua en corriente alterna.

2.3 HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

2.3.1 HIPÓTESIS GENERAL

Mediante el diseño del sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica se lograra mejorar el desempeño la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila.

2.3.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) Con el diseño del sistema fotovoltaico se podrá mejorar el consumo de energía de la planta de tratamiento automatizado.
- b) Mediante el diseño del sistema de bombeo automatizado con PLC se lograra mejorar el funcionamiento continuo de la planta de tratamiento.
- c) El análisis técnico-económico permitirá demostrar que el sistema automatizado posee la factibilidad para poder implementarse en la planta de tratamiento.

2.3.3 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro 03: Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTES Radiación Caudal Potencia	W/m ² m ³ /s watts	Cantidad de radiación Cantidad de caudal Cantidad de watts
DEPENDIENTES Consumo de energía	kWh	Cantidad de energía consumida

Elaboración: Propia

CAPITULO III

DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es de tipo de descriptivo cuantitativo, porque se apoya en el contexto teórico para conocer, describir, relacionar o explicar una realidad, de acuerdo a lo planeado.

El tipo de investigación también es de tipo no experimental, porque no se pueden, manipular deliberadamente variables, lo que se hace en este tipo de investigación es observar fenómenos tal y como se dan en el contexto natural, para después poder analizarlos como la cantidad de población del distrito y la cantidad de radiación existente en el distrito de Vilavila.

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

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACION

La población total del distrito de Vilavila al año 2014, de acuerdo a los datos estadísticos del INEI es de 1321 habitantes, con un promedio de 5 personas por domicilio y con una tasa de crecimiento del 1.21% anual.

3.3 UBICACIÓN Y DESCRIPCION DE LA POBLACION

3.3.1 UBICACIÓN DE LA POBLACION

Este proyecto se encuentra ubicado en el distrito de Vilavila en la Provincia de Lampa, Región Puno; geográficamente se ubica en la Región Natural de la sierra sur del Perú, se encuentra sobre los 4300 msnm a 15° 11' 06'' de latitud Sur, y 70° 31' 39'' de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

Comunidades Campesinas: Chivay. Gast, Angara y Quepa.

Barrios: Arriba, Central y Miraflores.

Límites:

Norte : Distrito de Ayaviri de la Provincia de Melgar.

Este : Distrito de Palca de la Provincia de Lampa

Sur : Distrito de Palca y Paratia

Oeste : Distrito de Ocuvi

El distrito de Vilavila abarca una superficie territorial de 256.5 Km², que representa el 2.7% de la superficie provincial (5791.73 Km²) y el 0.21% de la extensión del departamento de Puno (71,999.00 Km²); presenta una unidad geográfica Puna o Cordillera. (MUNICIPALIDAD DE VILAVILA, 2013)

Vías de Comunicación:

La localidad de Vilavila se encuentra a 45 Km. De la provincia de Lampa del Departamento, desde la ciudad de Vilavila el acceso es como sigue:

Cuadro 04: Rutas de acceso al distrito de Vilavila.

NIVEL DE VIDA	RUTA	TIEMPO DE VIAJE	DISTANCIA EN Km
Pista Asfaltada	Puno-Juliaca-Lampa	1.3	72
Afirmada	Lampa-Palca-Vilavila	1.2	40

Fuente: (MUNICIPALIDAD DE VILAVILA, 2013)

3.3.2 CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LA ZONA

3.3.2.1 Clima

El clima por lo general es frígido seco y ventoso; las temperaturas más bajas en el distrito se registran en los meses de junio y julio con 15° hasta 25° grados bajo cero; sin embargo en los últimos años constantemente se registran temperaturas de -25°C, con dispersión anual de 7.6°, lo que determina un clima frígido y seco con intensidad media de vientos de 4.3m/seg en los meses de Mayo, Junio y Julio.

La nubosidad es un indicador directo de la precipitación, la nevada en el verano es predominante, la magnitud de la precipitación pluvial en forma normal es de 480.52 mm como promedio anual.

3.3.2.2 Economía

Sector Agricultura y Ganadería

La actividad ganadera en camélidos sudamericanos es la más importante en los pobladores de las localidades de la zona del proyecto de investigación, el

90% de la población se dedica a esta actividad. El comercio es de intercambio de productos del campo a la ciudad y viceversa, principalmente los productos son llevados a los mercados de la ciudad de Lampa y Juliaca.

Sector Comercial e Industrial

El sector comercial es casi nulo, existiendo solo locales de comercio denominados bodegas, para el expendio de artículos básicos de consumo. Estos locales son generalmente casas-tiendas.

El sector industrial es nulo, debido a que no se cuenta con servicio de energía eléctrica de gran potencia ni otra fuente de energía.

Sector Minería

La actividad minera de la empresa Aruntani SAC opera en las proximidades del distrito de Vilavila, cuya infraestructura de energía eléctrica se encuentra en operación. Actualmente tiene suministro mediante una línea de transmisión de 33KV, desde la subestación de Ayaviri.

3.4 TECNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR LA INFORMACION

3.4.1 TECNICAS

La técnica que se utilizó en la presente investigación fue la toma de datos del lugar del proyecto, para recoger la información sobre el Diseño de un Sistema de Bombeo Automatizado con Energía Fotovoltaica para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Distrito de Vilavila.

3.4.2 INSTRUMENTOS

No se ha recogido ningún instrumento para la investigación de este trabajo, se realizó mediante la toma de datos siguientes:

- a) Numero de pobladores
- b) Radiación solar del lugar
- c) Coordenadas geográficas
- d) Datos técnicos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila.

3.5 TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

3.5.1 PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

Recolección de datos del número de pobladores de la localidad de Vilavila, el cual cuenta con una población de 1321 personas de acuerdo al INEI en el 2014.

La recolección de datos de la radiación solar en el distrito de Vilavila, el cual se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 05: Valores de radiación solar del distrito de Vilavila

AÑO	MES	PROMEDIO RADIACION EN KWH/m2/día
2016	Enero	5.84
2016	Febrero	5.84
2016	Marzo	5.66
2016	Abril	5.65
2016	Mayo	5.63
2016	Junio	5.39
2016	Julio	5.57
2016	Agosto	5.94
2016	Septiembre	6.49
2016	Octubre	6.84
2016	Noviembre	7.01
2016	Diciembre	6.05

Fuente: (Atmospheric Science Data Centar NASA, s.f.),

3.6 ANALISIS DE DATOS

Para el desarrollo de la investigación convenimos en iniciar con el análisis de los datos técnicos obtenidos a partir del expediente técnico de la obra “Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Vilavila-Lampa-Puno”.

3.6.1 PERIODO DE DISEÑO

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

Cuadro 06: Periodo de diseño

Sistema	Periodo (años)
Gravedad	20
Bombeo	10
Tratamiento	10

Fuente: (Garcia Trisolini, Junio 2009)

3.6.2 POBLACION ACTUAL Y FUTURA

La población actual de la localidad de Vilavila de acuerdo a las autoridades locales y en contrastación de datos con el INEI es de 1321 habitantes.

La población futura se calcula mediante la **ecuación 9**:

$$P_f = P_0 * \left(1 + r * \frac{t}{100} \right) \quad \dots (Ec. 9)$$

$$P_f = 1321 * \left(1 + 1.4\% * \frac{20}{100} \right) = 1696 \text{ hab.}$$

Dónde:

<i>r</i> : Tasa de crecimiento	<i>r</i> =1.4%
<i>t</i> : Periodo de diseño en años	<i>t</i> =20 años
<i>P</i> ₀ : Población actual	<i>P</i> ₀ =1321 hab.
<i>P</i> _f : Población futura	<i>P</i> _f = 1696 habitantes

3.6.3 DOTACION DE AGUA

La dotación de agua se expresa en litros por persona por día (lppd), la OMS recomienda los siguientes parámetros:

Cuadro 07: Parámetros de la Organización Mundial de la Salud

POBLACIÓN	CLIMAS	
	FRIO	CALIDO
Rural	110	100
2000-10000	120	150
10000-50000	150	200
50000 a mas	200	250

Fuente: (Garcia Trisolini, Junio 2009), dotación de agua potable.

De acuerdo al cuadro anterior la dotación de agua requerida en la presente investigación es de **110 lppd**.

3.7 CALCULO DE CAUDALES DE DISEÑO

Los parámetros para el diseño para la presente investigación son los siguientes:

- Caudal medio diario (Qp)
- Caudal máximo diario (Qmd)
- Caudal máximo horario (Qmh)
- Caudal evacuado por la población (Qe)
- Caudal por infiltración (Qi)
- Caudal por precipitación pluvial (Qpp)

3.7.1 CAUDAL MEDIO DIARIO (QP)

Para realizar el cálculo se considera la **ecuación 10**:

$$Q_p = P_f * \frac{Dot}{86400} \quad \dots (Ec. 10)$$

$$Q_p = 1696 * \frac{110}{86400} = 2.16 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$P_f: \text{Población futura} \qquad P_f = 1696 \text{ hab.}$$

$$Dot: \text{Dotación de agua} \qquad Dot = 110 \text{ lppd}$$

$$Q_m = \text{Caudal medio diario} \qquad Q_m = 2.16 \text{ l/s}$$

3.7.2 CAUDAL MAXIMO DIARIO (QMD)

El caudal máximo diario es el que se prevé durante 24 horas en el periodo de un año, cuando no se tienen datos el caudal medio diario (Q_p) se multiplica por el factor de día máximo ($K1= 1.5$), se calcula mediante la **ecuación 11**:

$$Q_{md} = Q_p * K1 \qquad \dots (\text{Ec. 11})$$

$$Q_{md} = 2.16 * 1.5 = 3.24 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$Q_p: \text{Caudal medio diario} \qquad Q_p = 2.16 \text{ l/s}$$

$$K1: \text{Factor de caudal diario} \qquad K1 = 1.5$$

$$Q_{md}: \text{Caudal máximo diario} \qquad Q_{md} = 3.24 \text{ l/s}$$

3.7.3 CAUDAL MAXIMO HORARIO (QMH)

El caudal máximo horario es el que se prevé en una hora, en un periodo de un año, cuando no se cuenta con datos del consumo de agua, este se determina multiplicando el caudal medio diario (Q_p) por el factor de hora máxima ($K2=2.60$), y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{mh} = Q_p * K2 \qquad \dots (\text{Ec. 12})$$

$$Q_{mh} = 2.16 * 2.60 = 5.614 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$Q_p: \text{Caudal medio diario} \quad Q_p = 2.16 \text{ l/s}$$

$$K2: \text{Factor de caudal diario} \quad K2 = 2.60$$

$$Q_{mh}: \text{Caudal máximo horario} \quad Q_{mh} = 5.614 \text{ l/s}$$

3.7.4 CAUDAL EVACUADO POR LA POBLACION (QE)

De acuerdo al expediente técnico de la obra “Mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del distrito de Vilavila-Lampa-Puno” los caudales hallados anteriormente son referidos al sistema de captación y dotación de agua a la población de la localidad de Vilavila, de acuerdo a estos parámetros es que se calcula el caudal que evacua la población hacia la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual se calcula mediante la **ecuación 13**:

$$Q_e = Q_{md} * 0.8 \quad \dots (\text{Ec. 13})$$

$$Q_e = 5.614 * 0.8 = 4.491 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$Q_{md}: \text{Caudal máximo diario} \quad Q_{mh} = 5.614 \text{ l/s}$$

$$Q_e: \text{Caudal máximo horario} \quad Q_e = 4.491 \text{ l/s}$$

3.7.5 CAUDAL POR INFILTRACION (QI)

$$Q_i = Q_{ii} * \frac{L}{86400} = 1.164 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$Q_{ii}: \text{Caudal de infiltración} \quad Q_{ii} = 20000 \text{ l/km/día}$$

$$L: \text{longitud de colector} \quad L = 5.0304 \text{ Km}$$

Q_i : Caudal por infiltración

$$Q_i = 1.164 \text{ l/s}$$

3.7.6 CAUDAL POR PRECIPITACION PLUVIAL (QPP)

$$Q_{pp} = \text{Modulo de pp} * \frac{\text{n}^\circ \text{ de buzones}}{86400} = 0.398 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$\text{Módulo de pp} = 382 \text{ l/buzón/día}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de buzones} = 90 \text{ unidades}$$

$$Q_{pp}: \text{Caudal por precipitación pluvial} = 0.398 \text{ l/s}$$

3.7.7 CAUDAL DE INGRESO A PLANTA DE TRATAMIENTO (QDP)

El caudal de diseño se obtiene a partir de la **ecuación 14**:

$$Q_{dp} = Q_e + Q_i + Q_{pp} \quad \dots (\text{Ec. 14})$$

$$Q_{dp} = 4.491 + 1.164 + 0.398 = 6.05 \text{ l/s}$$

Dónde:

$$Q_e: \text{Caudal evacuado por la población} \quad Q_e = 4.491 \text{ l/s}$$

$$Q_i: \text{caudal por infiltración} \quad Q_i = 1.164 \text{ l/s}$$

$$Q_{pp}: \text{Caudal por precipitación pluvial} \quad Q_{pp} = 0.398 \text{ l/s}$$

$$Q_{dp}: \text{Caudal de ingreso a planta} \quad Q_{dp} = 6.05 \text{ l/s}$$

$$Q_{dp} = 0.006 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.7.8 CAUDAL DE DISEÑO (Qd)

El caudal de diseño, es el caudal que ingresa hacia la cámara de bombeo de lodos, el cual de acuerdo al diseño de la planta de tratamiento de aguas

residuales es el 16 % del caudal que ingresa del sistema de alcantarillado a la planta de tratamiento el cual es de 0.006 m³/s.

$$Q_d = Q_{ap} * 16\% = 0.00096 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto el caudal de diseño para el sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica para la planta de tratamiento de aguas residuales es de 0.00096 m³/s.

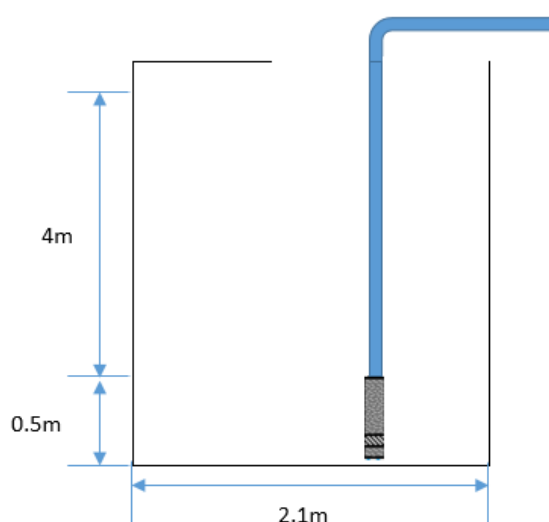
3.7.9 CALCULO DE CAUDAL DE BOMBEO

Para el cálculo del caudal de bombeo, es necesario calcular el tiempo de bombeo mediante la **ecuación 6**.

3.7.9.1 DIMENSIONES DE LA CAMARA DE BOMBEO

De acuerdo al expediente técnico la cámara de bombeo tiene las siguientes medidas:

Figura 29: Medidas de cámara de bombeo



Elaboración: propia

Medidas de la cámara de Bombeo:

Largo= 2.1m

Ancho=2m

Alto= 4 m

V= 16.8 m³

Por lo tanto el volumen total de la cámara de bombeo es de 16.8 m³.

3.7.9.2 TIEMPO DE LLENADO DE LA CAMARA DE BOMBEO

Se calcula de acuerdo a la **ecuación 15**:

$$t = \frac{V}{Q_d} \quad \dots (Ec. 15)$$

$$t = \frac{16.8}{0.00096} = 17500 \text{ seg}$$

Dónde:

V: volumen de la cámara de bombeo

V= 16.8 m³

Q_d: Caudal de diseño

Q_d= 0.00096 m³/s

T: tiempo de llenado

t= 17500 segundos

t= 4.86 hrs \cong 5hrs

El tiempo de bombeo recomendado por el expediente técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales es de aproximadamente de 15 minutos, se toma este valor como referencia para el cálculo del sistema de bombeo.

Reemplazando los valores en la **ecuación 6** se tiene:

$$Q_b = Q_d * \frac{5 \text{ horas}}{t_b} \quad \dots (\text{Ec. 6})$$

$$Q_b = 0.0187 * \frac{5 \text{ horas}}{15} = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dónde:

$$Q_d: \text{caudal de diseño} \quad Q_d = 0.00096 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$T_b: \text{tiempo de bombeo} \quad T_b = 15 \text{ min.}$$

$$Q_b: \text{caudal de bombeo} \quad Q_b = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

3.8 CALCULO DE LA LINEA DE IMPLUSION

3.8.1 CALCULO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA DE IMPULSION (DI)

Es importante determinar el diámetro de la tubería de impulsión, debido a que de esta depende la potencia de la bomba, si se adopta un diámetro relativamente grande, resultaran perdidas de carga pequeñas y en consecuencia la potencia del sistema de bombeo será reducida; lo cual significa que la bomba será de menor costo, pero el costo de la tubería de descarga será elevado, y si el diámetro es pequeño, la tubería será de menor costo pero la bomba de mayor costo y consumirá más energía.

Para determinar el diámetro de la tubería de manera óptima y económica utilizaremos **la ecuación 1**, ecuación empírica de BRESSE, para bombeos convencionales y fotovoltaicos:

$$D_i = 1.12 * \left(\frac{0.25}{4}\right)^{0.25} * \sqrt{0.0187} = 0.0751 \text{ m}$$

Dónde:

$$N: \text{Número de horas de bombeo} \quad N = 0.25 \text{ h}$$

Q_b: Caudal de bombeo

$$Q_b = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

D_i: Diámetro de impulsión

$$D_i = 0.0751 \text{ m}$$

3.8.2 VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO

Se calculara mediante la siguiente ecuación de continuidad, **ecuación 2**:

$$V = \frac{0.0187}{\frac{\pi * 0.0751^2}{4}} = 0.264 \text{ m/s}$$

Dónde:

D_i: diámetro de impulsión

$$D_i = 0.0751 \text{ m}$$

Q_b: caudal de bombeo

$$Q_b = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

V: Velocidad media de flujo

$$V = 0.264 \text{ m/s}$$

3.8.3 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGAS EN TUBERIAS DE IMPULSION

El cálculo de pérdidas se divide en dos tipos:

3.8.3.1 CALCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN (PERDIDAS PRIMARIAS H_f)

El cálculo de las pérdidas de carga por fricción se realiza utilizando la ecuación de HAZEN-WILLIAMS, el cual se expresa con la **ecuación 3** como:

$$S = \left(\frac{Q_b}{0.2785 * C_x * D^{2.63}} \right)^{\frac{1}{0.54}} = 0.1883 \quad \dots (Ec. 3)$$

Dónde:

Q_b: Caudal de Bombeo

$$Q_b = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

C: Coeficiente de Hazen-Williams $C= 150$

Di: Diámetro de Impulsión $D= 0.0751 \text{ m}$

S: Relación de Hazen-Williams $S= 0.1883$

La pérdida por fricción se calcula mediante la **ecuación 4**:

$$H_f = 0.1883 * 10.45 = 1.96 \text{ m}$$

Dónde:

S: Relación de Hazen-Williams $S= 0.1883$

L: Longitud de la línea de impulsión $L= 10.45 \text{ m}$

Hf: Altura de pérdidas por fricción $Hf= 1.96 \text{ m}$

3.8.3.2 CALCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA LOCAL (PERDIDAS SECUNDARIAS H_s)

Para determinar las pérdidas de carga locales hay que tener en cuenta la cantidad de accesorios utilizados y la velocidad del flujo, de acuerdo a la **ecuación 5**:

$$H_s = 3.5 * \frac{0.264^2}{2(9.81)} = 0.0124 \text{ m}$$

Dónde:

V: velocidad media de flujo $V= 0.264\text{m/s}$

g: Gravedad $g= 9.81 \text{ m/s}^2$

Para hallar K, debemos considerar los siguientes accesorios:

K1: Válvula de compuerta $K1= 1$

$$K2: \text{Codo de } 90^\circ (4) \qquad K2 = 4(0.45) = 1.8$$

$$K3: \text{Derivación en T} \qquad K3 = 0.5$$

$$K4: \text{Uniones y Empalmes (2)} \qquad K4 = 2(0.1) = 0.2$$

$$K: \text{sumatoria de accesorios} \qquad K = 3.5$$

$$Hs: \text{perdidas de carga local} \qquad Hs = 0.0124 \text{ m}$$

3.8.4 CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA DE BOMBEO (HDT)

Para determinar la altura total dinámica de bombeo, recurrimos a la **ecuación**

7:

$$HDT = 0.0124 + 1.96 + 10.50 = 12.473$$

Dónde:

$$L: \text{longitud de línea de impulsión} \qquad L = 10.50 \text{ m}$$

$$Hf: \text{Perdidas de carga por fricción} \qquad Hf = 1.96 \text{ m}$$

$$Hs: \text{Perdidas de carga local} \qquad Hs = 0.0124 \text{ m}$$

$$HDT: \text{Altura dinámica de bombeo} \qquad HDT = 12.473 \text{ m}$$

3.9 CALCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA EL SISTEMA MOTOR-BOMBA.

3.9.1 CALCULO DE LA POTENCIA DE CONSUMO

La energía necesaria para su funcionamiento se calcula utilizando la

ecuación 8:

$$P_B = \frac{1200 * 9.81 * 12.47 * 0.0187}{0.5} = 5490.2 \text{ w}$$

Dónde:

$$\delta: \text{Densidad del agua} \quad \delta = 1200 \text{ kg/m}^3$$

$$g: \text{Gravedad} \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$HDT: \text{Altura dinámica de bombeo} \quad HDT = 12.47 \text{ m}$$

$$Q_b: \text{Caudal de bombeo} \quad Q_b = 0.0187 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta_B: \text{Eficiencia del sistema motor-bomba} \quad \eta_B = 0.50$$

$$P_B: \text{Potencia de la bomba} \quad P_B = 5490,2 \text{ w}$$

La potencia necesaria de la bomba debe ser de 7.5HP

De acuerdo a los datos obtenidos, se recomienda utilizar la bomba sumergible para lodos de la marca Barmesa de 7.5HP, cuya hoja de datos característico se muestra en el Anexo 1.

3.10 CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.10.1 NUMERO DE PANELES SOLARES NECESARIOS

El número de paneles solares se calcula empleando el número de horas de pico solar, del peor mes del año y la potencia pico del panel solar escogido, mediante la siguiente ecuación:

$$N_T = \frac{E_T}{P_G * W_P * HPS} \quad \dots (Ec. 16)$$

3.10.1.1 Calculo De La Energía Necesaria diaria

La energía diaria total necesaria para el funcionamiento del sistema automatizado, es la energía de consumo del sistema por la cantidad de horas de trabajo en un día, lo calculamos mediante la siguiente ecuación:

$$E_1 = P_B * H_d$$

Dónde:

$$P_b: \text{Potencia de consumo} \quad P_b = 5490.2 \text{ w}$$

$$H_d: \text{Horas trabajo} \quad H_d = 1 \text{ h/día}$$

$$E_1: \text{Energía necesaria bomba} \quad E_1 = 5490.2 \text{ wh/día}$$

En el presente proyecto de investigación también se va a considerar el uso de cuatro Luminarias de 30 W de potencia para proveer de luz durante la noche, debido que se observó que la planta de tratamiento de aguas residuales no cuenta con alumbrado, esto se implementara para alguna emergencia nocturna que pueda suceder, el funcionamiento de estas luminarias será de 12 horas, por lo tanto se tiene:

$$4L * 30w = 120 \text{ w}$$

$$E_2 = 120w * \frac{12h}{día} = 1440 \text{ w}$$

Dónde:

$$E_2: \text{energía necesaria de luminarias} \quad E_2 = 1440w$$

Por lo tanto la energía necesaria diaria para el funcionamiento del sistema se obtiene de la siguiente ecuación:

$$E_T = E_1 + E_2 = 6930.2$$

Dónde:

$$E_t: \text{Energía necesaria total} \quad E_t = 6930.2 \text{ w/día}$$

3.10.2 PÉRDIDAS EN EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Las principales pérdidas que existen en el generador fotovoltaico son debidas a las sombras, temperatura en las celdas superior a 25°C, elementos dispares perdidos en el cableado, o diferencias significativas entre el voltaje de operación y el del punto de máxima potencia.

Estas pérdidas pueden ser compensadas inicialmente mediante una instalación cuidadosa, que permita una adecuada ventilación de los módulos y cables. Debe buscarse además, que las características eléctricas de los módulos empleados permitan una adecuada recarga de las baterías en las condiciones climáticas particulares del lugar en las que sean instaladas.

Con el propósito de la disminución de pérdidas, deben considerarse que el generador fotovoltaico debe estar totalmente libre de sombras durante por lo menos 8 horas diarias, centradas al medio día, y a lo largo de todo el año.

Para este diseño se considera el 15% de pérdidas, el cual es sugerido por distintos autores, considerando las pérdidas antes mencionadas, por lo cual se debe compensar estas pérdidas con energía adicional que sea proporcional al porcentaje de pérdidas, mediante la **ecuación 17**:

$$E_3 = \frac{\% * E_T}{100} \quad \dots (Ec. 17)$$

$$E_3 = \frac{15 * 6930.2}{100} = 1039.53$$

Dónde:

Et: Energía necesaria

Et=6930.2 wh/dia

%: tanto por ciento, según sea 10 o 15 %.

%= 15 %

E_3 : Energía parcial añadida según coeficiente de pérdidas $E_3 = 1039.53 \text{ wh/día}$

Por lo tanto la energía total necesaria para el sistema de bombeo automatizado se consigue con la **ecuación 18**:

$$E_{TN} = E_T + E_3 \quad \dots \text{(Ec. 18)}$$

$$E_{TN} = 6930.2 + 1039.53 = 7969.73 \text{ wh/día}$$

Reemplazando valores en la **ecuación 16**, se obtiene:

$$N_T = \frac{7969.73}{0.9 * 250 * 5.39} = 9.85$$

Dónde:

E_t : Energía total $E_t = 7969.73 \text{ wh/día}$

W_p : Potencia nominal del panel fotovoltaico $W_p = 250W$

HPS : Horas pico solar $HPS = 5.39 \text{ Kwh/m}^2/\text{día}$

P_g : Factor global de pérdidas (oscila entre 0.65 y 0.9) $P_g = 0.65$

N_p : Numero de paneles solares $N_p = 9.85 \text{ paneles}$

Por lo tanto el número total de paneles para la autonomía del sistema de bombeo automatizado es de 10 paneles. El panel solar elegido es de la marca CORA de 250W, los datos específicos se encuentran en el Anexo 2.

3.10.2.1 Área del arreglo fotovoltaico

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{P_M}{\eta_M}$$

Dónde:

$$P_M: \text{Potencia del sistema} \quad P_M = 5490.2 \text{ w}$$

$$\eta_M: \text{Eficiencia del modulo} \quad \eta_M = 15\%$$

$$A: \text{Area del arreglo fotovoltaico} \quad A = 36 \text{ m}^2$$

3.10.3 VOLTAJE DEL SISTEMA EN CORRIENTE CONTINUA

El voltaje del sistema en corriente continua, se establece por el voltaje del banco de baterías, en los sistemas autónomos. El voltaje en CC para sistemas fotovoltaicos basados en baterías es usualmente un múltiplo de 12, puede ser 12V, 24V o 48V.

El voltaje del sistema de CC se selecciona en proporción al tamaño del arreglo fotovoltaico. Los valores bajos de corriente reducen los tamaños requeridos de conductores, los dispositivos de contracorriente, controladores de carga y otros equipos. También la caída de voltaje y pérdidas eléctricas son menores a baja corriente, los sistemas con voltajes más altos son generalmente más eficientes (Harper, 2010) el voltaje se elige de acuerdo a la siguiente tabla:

Cuadro 08: Tensión en DC del sistema fotovoltaico de acuerdo a la potencia

Potencia demandada por el sistema (W)	Tensión de trabajo del sistema fotovoltaico (Volts.)
Menos de 1.500W	12V
Entre 1.500W y 5.500W	24- 48V
Más de 5.000W	120-300V

Fuente: (Harper, 2010)

De acuerdo a la tabla anterior el voltaje en C.C. debe ser de 48V.

3.10.4 ORIENTACION Y ANGULO DE INCLINACION DE LOS PANELES

Un panel solar genera electricidad incluso en ausencia de luz solar directa, es decir en días aun nublados esta generara energía, sin embargo las condiciones óptimas de operación implica la presencia de luz solar plena y un panel orientado lo mejor posible hacia el sol, con la única finalidad de aprovechar al máximo la luz solar directa.

La orientación optima es un valor constante, con una inclinación (β) que va a depender de la latitud del lugar de proyecto y un acimut (α) que depende del hemisferio en el que esté situado el generador.

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se usa la **ecuación 19**, basada en el análisis estadístico de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares de diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\phi| \quad \dots (Ec. 19)$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * 15.185 = 14.1^\circ$$

Dónde:

$$|\phi|: \text{Latitud del lugar (grados)} \quad |\phi| = 15.185^\circ$$

$$\beta_{opt}: \text{Angulo de inclinación optimo} \quad \beta_{opt} = 14.1^\circ$$

El Angulo de inclinación óptimo es de 14.1°

El acimut óptimo para que una superficie fija reciba la mayor cantidad posible de energía solar debe ser ($\alpha=0^\circ$), la superficie se debe orientar hacia el sur si está situado en el hemisferio norte o hacia el norte si está en el hemisferio sur.

3.10.5 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ACUMULACION

Para el dimensionamiento del acumulador solar se debe conocer los días de autonomía del sistema fotovoltaico que nos indica el tiempo que funcionara por si solo en días nublados sin que haya luz solar radiante, en el presente proyecto se toma tres días de autonomía, ya que al revisar otros sistemas aislados se encuentra este valor como el mínimo número de días utilizado, se calcula mediante la **ecuación 20**:

$$C_n = \frac{D * E_{TN}}{V_{BAT} * P_d} \quad \dots (Ec. 20)$$

$$C_n = \frac{3 * 7969.73}{12 * 0.7} = 2846.3 Ah$$

Dónde:

D: Número de días de autonomía

D= 3 días

Etn: Consumo de energía total

Etn= 7969.73w

V_{BAT}: Tensión nominal de la batería solar

V_{BAT}= 12 V

Pd: Profundidad de descarga

Pd= 0.7

Cn: capacidad total del acumulador

Cn= 2846.3 Ah

Luego de realizar el cálculo de la capacidad del acumulador se procede a calcular la cantidad de baterías solares necesarias para satisfacer la energía de consumo del sistema aislado mediante la **ecuación 21**:

$$N_{BAT} = \frac{C_n}{\text{Capacidad del acumulador}} \quad \dots (Ec. 21)$$

$$N_{BAT} = \frac{2846.3}{100} = 28.4$$

Dónde:

$$C_n: \text{capacidad total del acumulador} \quad C_n = 2846.3 \text{ Ah}$$

De acuerdo a la hoja de datos del acumulador seleccionado la capacidad es de 100 Ah

$$N_{BAT}: \text{Número total de baterías} \quad N_{BAT} = 28.4 \cong 28$$

La cantidad de baterías para el sistema de acumulación será de 28 baterías, la batería elegida es de la marca Solar Bloc, 12 voltios y 100 Ah de capacidad.

3.10.6 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR

Para la selección de este componente, se debe conocer la corriente máxima que atraviesa los conductores, que generalmente viene dado entre el panel y la batería o la carga y la batería, por cual procedemos a realizar el análisis respectivo, mediante la **ecuación 22**:

$$I_R = N_{PP} * I_P \quad \dots (\text{Ec. 22})$$

$$I_R = 5 * 8.17 = 40.85$$

Dónde:

$$N_{pp}: \text{Numero de paneles en paralelo} \quad N_{pp} = 5$$

$$I_p: \text{Intensidad máxima que brinda el panel solar} \quad I_p = 8.17 \text{ A}$$

$$I_r: \text{intensidad del regulador en (A)} \quad I_r = 40.85 \text{ A}$$

En el dimensionado de los reguladores se debe tener en cuenta el margen de seguridad tal que entre la potencia máxima producida por el campo fotovoltaico y la potencia máxima del regulador hay un margen aproximado del 10%.

Para calcular el número de reguladores necesario se aplica la **ecuación 23**:

$$N_r = \frac{N_{pp}i_p + (N_{pp}i_p * 0.1)}{I_r} \quad \dots (Ec. 23)$$

$$N_r = \frac{5 * 8.17 + (5 * 8.17 * 0.1)}{40.85} = 1.1$$

Dónde:

N_{pp}: Numero de paneles en paralelo *N_{pp}*= 5

I_p: Intensidad máxima que brinda el panel solar *I_p*=8.17 A

I_r: intensidad del regulador en (A) *I_r*= 40.85 A

N_r: Numero de reguladores *N_r*=1.1

Se utilizara 1 regulador en el sistema fotovoltaico, el regulador seleccionado es de la marca Relay Driver, 12-48 V de sistema.

3.10.7 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

Para seleccionar el inversor se debe tener en cuenta las siguientes características:

- **Tensión nominal de entrada:** $U_s = 48V$.

Esta tensión fue la seleccionada para el dimensionamiento del sistema.

- **Potencia Nominal:** $E_{tn} = 7969.73$

El sistema presenta una potencia máxima de 7969.73w, pero se escoge un inversor de 10000W debido a que da un amplio margen de crecimiento y el sistema se adapta correctamente a él.

- **Tensión nominal y frecuencia de salida:** $U_{ac} = 220Vac$ a 60Hz

Estas son la tensión y la frecuencia nominales en Peru y por tal razón, todas las cargas funcionan con estas características.

El inversor seleccionado es la marca Quattro, que cumple las características necesarias antes mencionadas.

3.10.8 DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE PROTECCION (FUSIBLE)

El dimensionamiento del equipo de protección (fusible) de la carga, se realiza en base a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico, y tiene que estar considerando entre 1 a 2.5 de la corriente corto circuito.

$$I_{fusible} = 2 * I_{cortocircuito}$$

Dónde:

Icortocircuito: Corriente de cortocircuito, (proporcionado por el fabricante del generador fotovoltaico)= 8.74A

$$I_{fusible} = 17.48 A$$

3.10.9 DIMENSIONAMIENTO DEL CABLEADO

El dimensionamiento del cableado constituye una de las tareas en las que se deberá prestar especial cuidado, ya que siempre que exista un consumo habrá pérdidas debido a las caídas de tensión en los conductores.

Para dimensionar correctamente el cableado de un sistema fotovoltaico se debe tomar en cuenta algunos factores con los cuales están vinculados la corriente, longitud y el diámetro del conductor, etc. La longitud de los conductores entre los componentes del sistema debe ser lo más corto posible para minimizar las caídas de voltaje y reducir los costos. Se calcula mediante la **ecuación 24**:

$$S = 2 * \frac{L * I}{\Delta V * K} \quad \dots (Ec. 24)$$

Dónde:

S: Sección del conductor

L: longitud de del tramo del conductor a considerarse

I: Intensidad de corriente que circula por el conductor

ΔV: Caída de tensión máxima permitida en el tramo del conductor

K: Conductividad del conductor del cable (56 Cu; 35 Al)

De acuerdo al IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía) la caída de tensión máxima admisible y a tomar en cuenta según el subsistema a analizar son:

Cuadro 09: Caída de tensión admisible entre componentes

Subsistema	Caída tensión Máxima	Recomendada
Paneles – Regulador	3%	1%
Regulador – Baterías	1%	0,5%
Baterías – Inversor	1%	1%

Fuente: (Harper, 2010)

Subsistema Panel-Regulador

Para este tramo se considerara los siguientes datos:

$$L= 25 \text{ m} \qquad I= 16.34\text{A}$$

$$K= 56 \qquad \Delta V= 1.44 \text{ V}$$

Reemplazando valore en la **ecuación 24** se tiene:

$$S = 2 * \frac{25 * 16.34}{1.44 * 56} = 10.131$$

$$S= 10.131$$

Se necesita un cable de 8 AWG para este tramo.

Subsistema Regulador-Baterías

Para este tramo se considerara los siguientes datos:

$$L = 2 \text{ m} \quad I = 40.85 \text{ A}$$

$$K = 56 \quad \Delta V = 0.48 \text{ V}$$

Reemplazando valores en la **ecuación 24** se obtiene:

$$S = 2 * \frac{2 * 40.85}{0.48 * 56} = 6.76$$

$$S = 6.76 \text{ mm}^2$$

Se necesita un cable de 10 AWG para este tramo.

3.11 DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION

3.11.1 CONTROL DEL SISTEMA DE BOMBEO

Para realizar la automatización del sistema de bombeo utilizaremos un control de nivel mediante un PLC LOGO de SIMENS. El control de nivel se encuentra determinado por tres sensores tipo boya los cuales representan un tipo de control de nivel on-off (todo o nada), accionados de acuerdo al siguiente cuadro lógico:

Cuadro 10: Accionamiento lógico de los sensores de nivel

NIVEL BAJO	NIVEL MEDIO	NIVEL ALTO	SALIDA
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	-
0	1	1	1
1	0	0	-
1	0	1	-
1	1	0	-
1	1	1	1

Elaboración: Propia

De acuerdo al cuadro, esta se encuentra establecida para realizar el control de nivel verificando correctamente las características de funcionamiento, los cuales garantizan el llenado y vaciado de la cámara de lodos.

Alarma de llenado

Se debe considerar una alarma para la verificación del nivel y así garantizar el funcionamiento de los sensores y el correcto funcionamiento de la bomba, debido a que la misma no debe trabajar en vacío.

Datos técnicos del sensor de nivel

Cuadro 11: Datos técnicos de sensor de nivel

Tensión	100-250V
Corriente máxima	15 A
Temperatura máxima del liquido	60° C
Distancia máxima	10 m
Potencia máxima del motor	7.5 HP

Fuente: (Tipan, 2011) Sensor de nivel tipo Boya

Instalación de sensores:

Los sensores se instalaran en la siguiente posición:

Cuadro 12: Altura de instalación de los sensores de nivel

NIVEL	DISTANCIA	ENTRADA AL PLC
Boya alta	4.5 m de la base	Input I:0/5
Boya media	3 m de la base	Input I:0/6
Boya baja	1 m de la base	Input I:0/7

Elaboración: Propia

El sistema de nivel será instalado de acuerdo a una lógica de control para el accionamiento de la bomba de lodos, la cual vacía la cámara de lodos cada vez que esta se llena.

3.11.2 PROGRAMACIÓN DEL PLC

De acuerdo a la necesidad del sistema se ha incorporado un PLC que cumpla todas las características de funcionamiento y fiabilidad de un sistema industrial. Se ha elegido el PLC LOGO de la Marca Siemens, por las razones siguientes:

- Manejo fácil-montaje simple – sencillez en conexión
- Ahorro en cableado
- Es escalable, se puede añadir más entradas y salidas.
- Resistentes a polvo, ruido, vibración
- Programación relativamente sencilla
- Puede tener una pantalla asociada de Mando

Figura 30: PLC LOGO

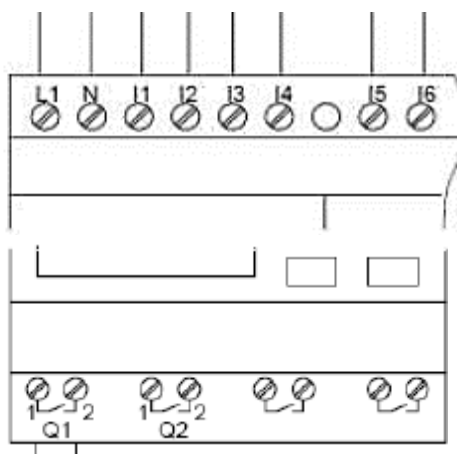
Fuente: (SIEMENS, 2003) Manual PLC LOGO

3.11.2.1 Datos del PLC

Terminales de entrada y salida

En la figura se puede visualizar los terminales tanto de las entradas del PLC como de las salidas.

Se escogió este PLC debido a las condiciones y necesidades del sistema, tales como los pulsadores, entradas de los sensores de nivel, señales de falla por sobrecorriente en la bomba; las salidas fueron indispensables para un accionamiento de salida al relé, debido a que el sistema necesita accionar contactores para el motor de la bomba y relés para la alarma.

Figura 31: Terminales de entrada y salida del PLC

Fuente: (SIEMENS, 2003) PLC LOGO

Características y ventajas

El PLC LOGO cuenta con una pantalla y teclado para poder programarlo directamente sin necesidad de utilizar una PC.

También cuenta con la opción del software LogoComfort, para poder descargar el programa elaborado en la PC. El modo de programación es a través del lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones), que utiliza símbolos gráficos de algebra booleana para representar la lógica, también se puede utilizar el modo de programación ladder, el cual es el más clásico de todos (SIEMENS, 2003).

Configuración general**Entradas del PLC:****Cuadro 12:** Entradas del PLC

Dirección	Descripción
I1	Arranque de bomba
I2	Parada de bomba
I3	Indicador sensor de nivel bajo
I4	Indicador sensor de nivel medio
I5	Indicador sensor de nivel alto
I6	Indicador de alarma de sobrecarga de bomba

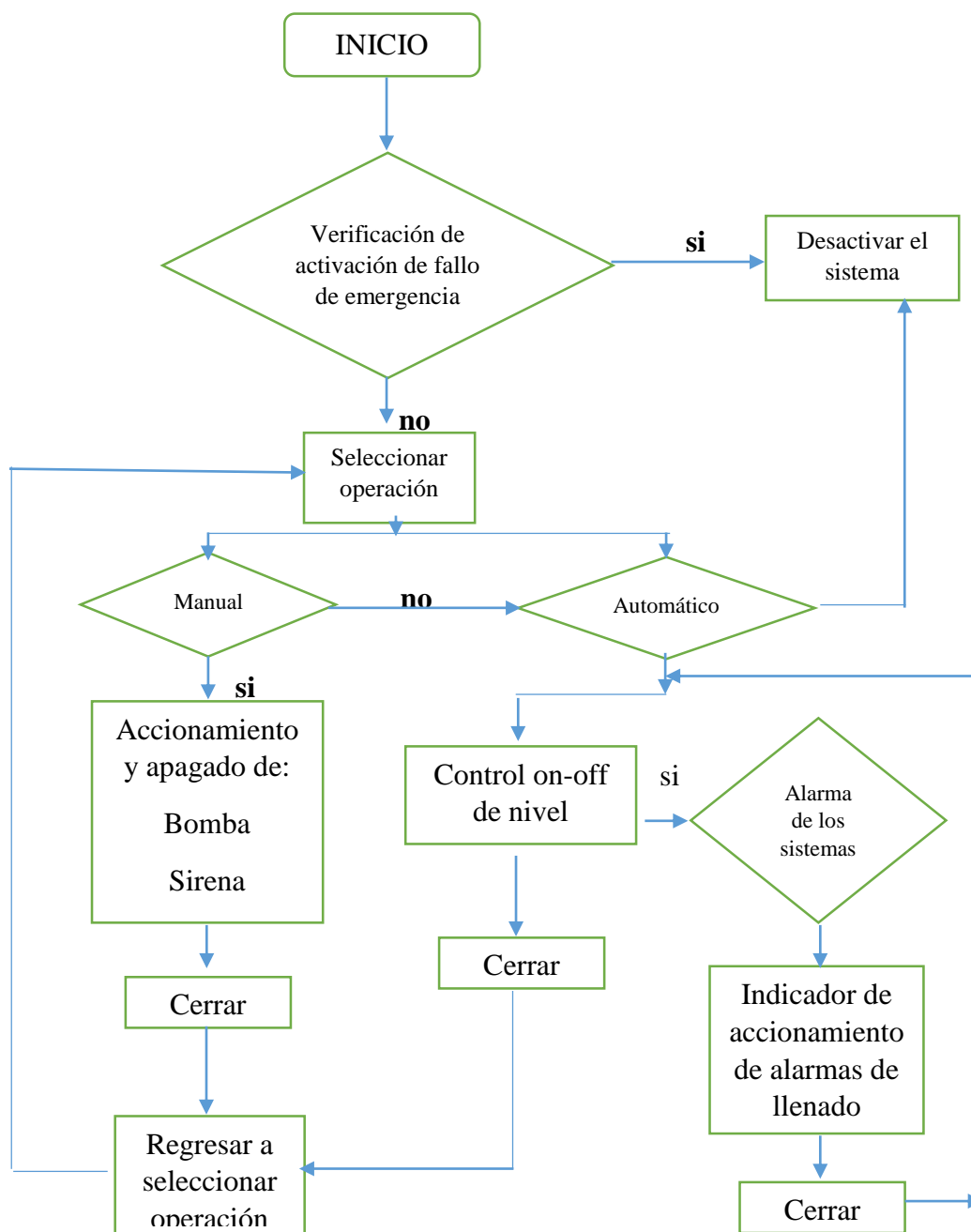
Elaboración: Propia**Salidas del PLC:****Cuadro 13:** Salidas del PLC

Dirección	Descripción
Q1	Enclavamiento Contactor de arranque de bomba
Q2	Alarma nivel bajo
Q3	Alarma nivel alto
Q4	Alarma fallo motor

Elaboración: Propia

Diagrama de flujo del proceso de control de nivel

Grafico 1: Diagrama de flujo del proceso de control de nivel



Elaboración: Propia

3.11.3 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC

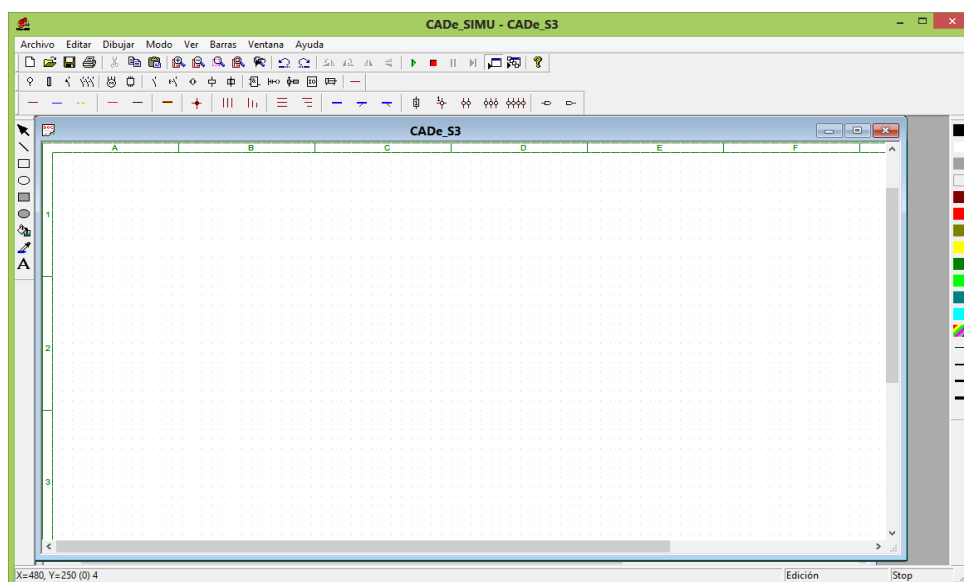
Para el diseño del programa del PLC se utilizara el programa CADe_SIMUV3, así mismo también utilizara este programa para realizar la simulación del programa diseñado.

3.11.3.1 CADe SIMU V3

CADe_SIMU es un programa de CAD electrotécnico que permite insertar los distintos símbolos organizados en librerías y trazar un esquema eléctrico, de una forma fácil y rápida para posteriormente realizar una simulación.

El programa en modo simulación permite visualizar es estado de cada componente eléctrico cuando está activado al igual que resalta los conductores eléctricos sometidos al paso de la corriente eléctrica, en la figura se muestra la pantalla de inicio del software.

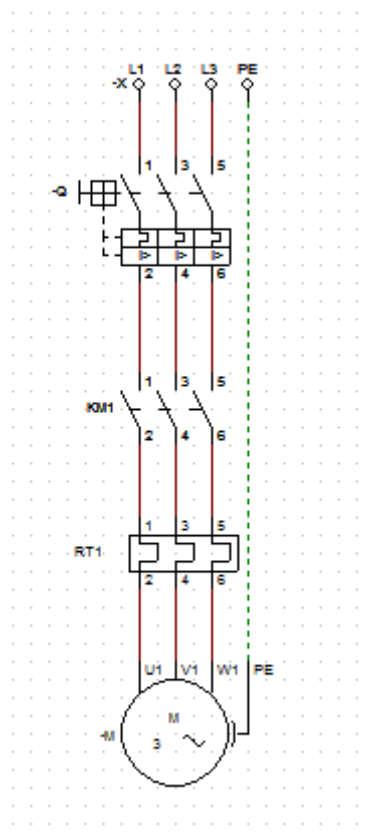
Figura 32: Pantalla de Inicio de CaDe_SIMU V3



Fuente: (Cade Simu, 2017)

Diagrama del circuito de Fuerza

Figura 33: Esquema de circuito de Fuerza

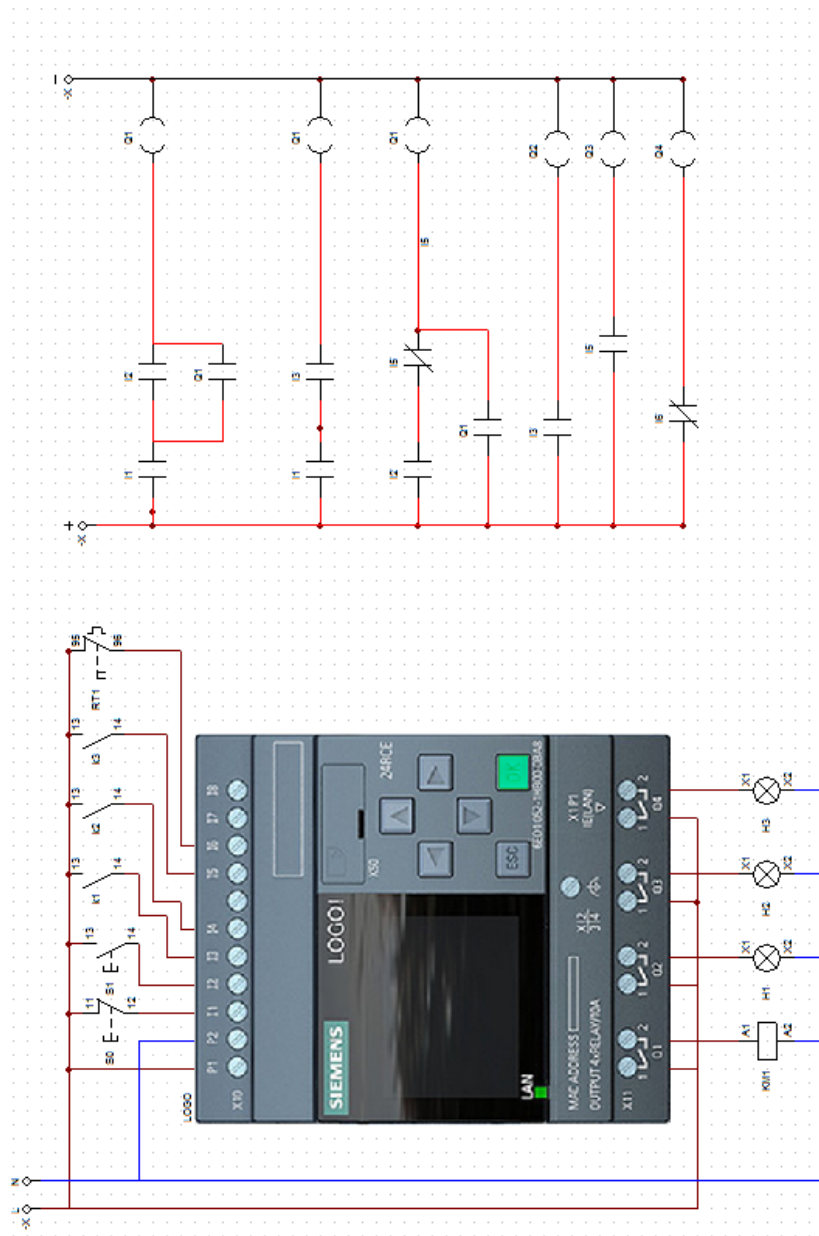


Elaboración: Propia

De acuerdo a los datos técnicos de la bomba sumergible de 7.5HP la corriente nominal del motor es de 23.6 amperios, el cual al momento del arranque puede llegar a triplicarse, debido a esto es que se debe considerar el uso de un arrancador suave, para limitar la corriente y el par de arranque permitiendo ejercer un control de la tensión de 0 hasta la nominal del par de arranque y al revés para la parada.

Esquema del circuito de Control con PLC

Figura 34: Esquema del circuito de control PLC



Elaboración: Propia

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrara los resultados de la investigación, iniciando con los resultados del diseño del subsistema fotovoltaico, el cual se valida los datos de los cálculos mediante la simulación en el software Pvsyst 6.43, mediante la validación también se mostrara las características y materiales necesarios en el diseño. Los cuales nos darán la factibilidad técnica del proyecto para su implementación.

Seguidamente mostraremos un análisis económico del diseño, haciendo una comparación de los costos en el uso la energía fotovoltaica y energía convencional como fuente de energía del sistema de bombeo automatizado.

4.1.1 RESULTADOS DEL DISEÑO

4.1.1.1 Sistema de bombeo automatizado

En el sistema de bombeo automatizado, de acuerdo a los cálculos realizados, se utilizara una bomba sumergible para lodos de la marca BARMESA de 7.5HP y para el control de nivel (on-off) se utilizara un PLC LOGO de la marca SIEMENS, que actuara de acuerdo al estado lógico de los sensores de nivel tipo boya, así mismo se considera el uso de 4 luminarias LED de 30w de potencia para el alumbrado del sistema.

4.1.1.2 Sistema fotovoltaico

De acuerdo al sistema de bombeo automatizado, la cantidad de energía necesaria para el funcionamiento del proyecto es de 7969 w de potencia, 220VAC, por los cálculos realizados son necesarios los siguientes materiales:

N° de paneles solares: 10

N° de baterías: 28

N° de reguladores: 1

N° de inversores: 1

Para la validación del subsistema fotovoltaico se realizó la simulación en el software PVsyst 6.43.

4.1.1.3 Simulación Del Subsistema Fotovoltaico

Para la simulación del sistema fotovoltaico, se usó el software PVSYST 6.4.3, el cual nos brinda las herramientas necesarias para que podamos validar los cálculos obtenidos.

4.1.1.4 PVSYST 6.43

Esta herramienta para el diseño de sistemas fotovoltaicos se ha desarrollado en el Centre 'Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie (CUEPE) de la Universidad de Génova.

PVSYST, permite el estudio, dimensionado, simulación y análisis de datos de funcionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos o conectados a red, incluye potentes bases de datos climáticas y de componentes del sistema: Baterías, reguladores, inversores y módulos fotovoltaicos. Es una de las herramientas más recomendables dentro del campo de los sistemas fotovoltaicos, en la figura 35 se puede observar la pantalla de inicio de PVSYST.

Figura 35: Pantalla de inicio de PVSYST 6.43



Fuente: (PVSYST SA, 2016)

4.1.1.5 Creación de nuevo proyecto en PVSYST

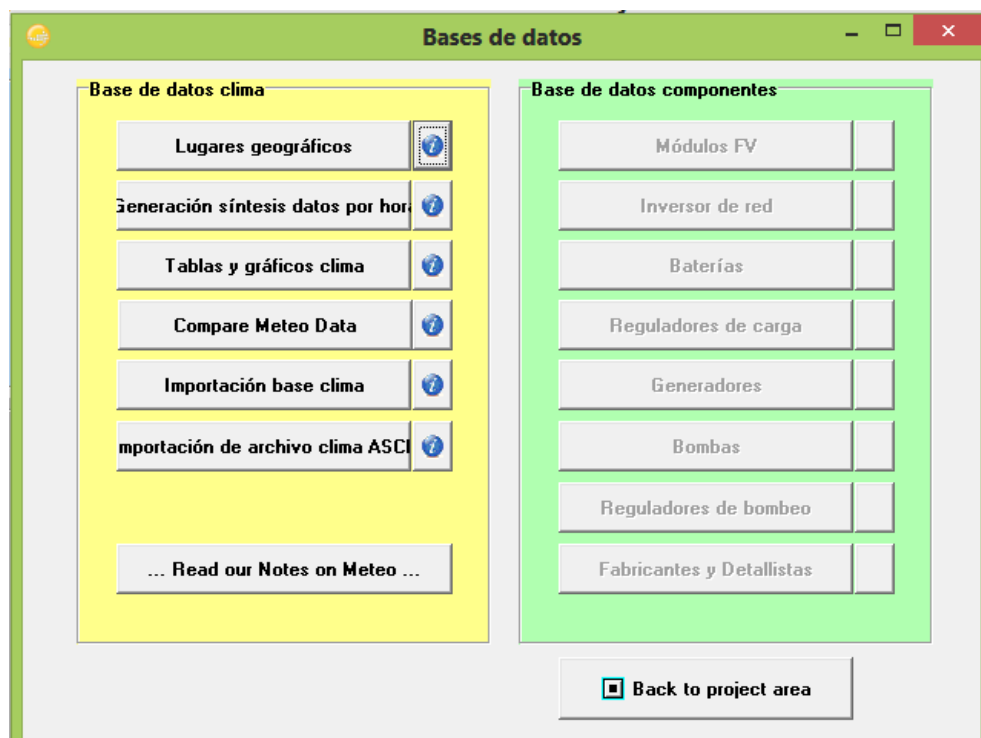
Para la creación del nuevo proyecto se debe ingresar por la pantalla de inicio mostrada en la figura 36 al tipo de sistema que queremos iniciar, en este caso un sistema fotovoltaico aislado. Luego en la figura 36 se aprecia la ventana principal del proyecto donde se ingresa todos los datos del sistema para su simulación.

Figura 36: Ventana de creación del proyecto nuevo



Fuente: (PVSYST SA, 2016)

Luego se ingresa a la base de datos a utilizar para realizar el cálculo, en la figura 37 se observa, una ventana que nos proporciona diferentes alternativas para el ingreso de datos de clima y componentes del sistema.

Figura 37: Ventana de base datos de clima y componentes

Fuente: (PVSYST SA, 2016)

Para este caso vamos a importar los datos de la pestaña importación base clima de la figura 37 desde la página web de la nasa, anteriormente utilizada, para realizar los cálculos. Seleccionamos la ubicación del lugar mediante las coordenadas geográficas, e importamos los datos de clima, tal como se ve en la ventana de la figura 38.

Figura 38: Ventana de importación de datos de clima del sitio

Importación datos Clima diferentes fuentes

External Data Source

Hourly data
Monthly Data

NASA-SSE (Worldwide) 1983-2005

1983-2005 Satellite data, worldwide.
1°x1° spatial resolution (1°lat=111 km).

Preferably to be used when no specific data available.
Temperatures may be unreliable in mountaneous regions.

Included with PVSyst.

Defina la altitud.

Importing instructions
[Go to Web page](#)

Ubicación

Lugar: Vilavila
País: Peru
Región: América del Sur
Huso horario: -5.0 corresponde a una diferencia media
Hora Legal - Hora Solar = 0h-17m

Get from coordinates

Coordenadas Geográficas

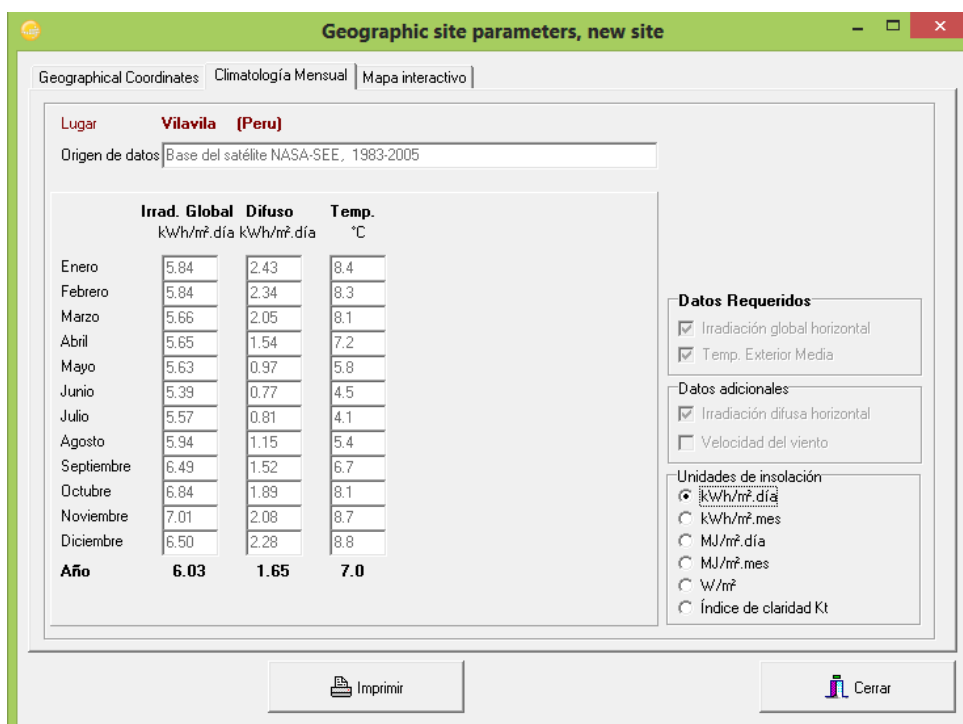
	Decimal	Grad.	min.	
Latitud	-15.18 °	-15	11	(+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
Longitud	-70.52 °	-70	31	(+ = Este, - = Oeste Greenwich)
Altitud	0	metros sobre el nivel del mar		

Clear
Importar
Temperaturas
View site
Guarda lugar
Crea Meteo
Cerrar

Elaboración: Propia

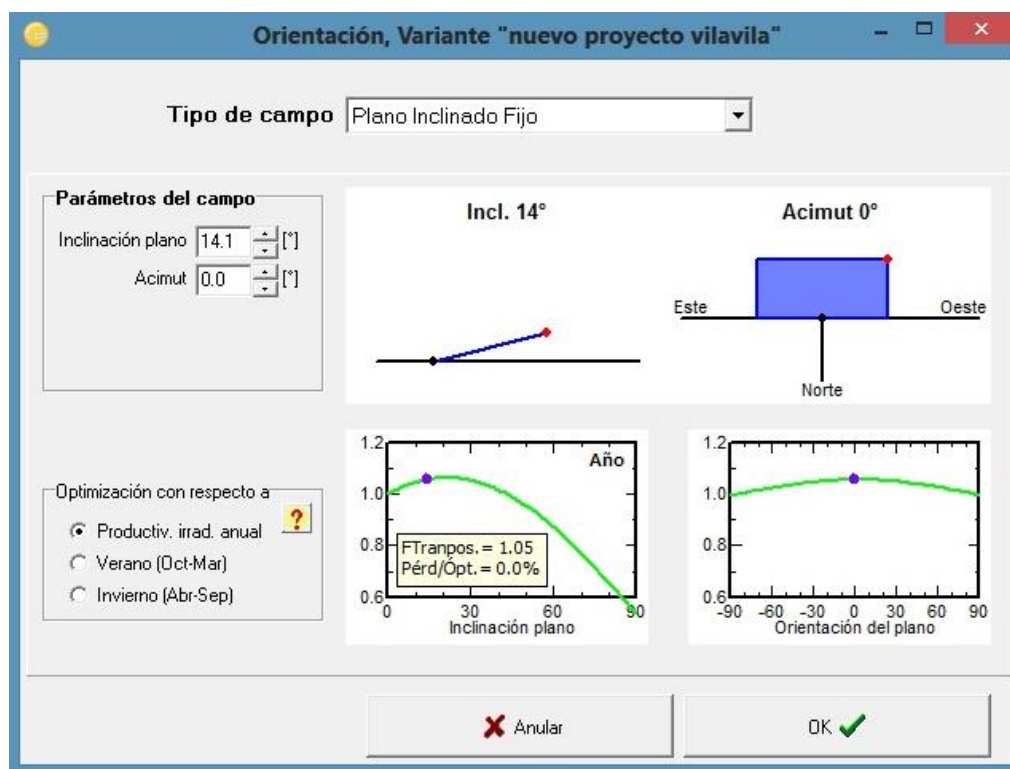
En la ventana de importación de datos del clima se utiliza las coordenadas geográficas del lugar en este caso el distrito de Vilavila, con $-15^{\circ} 11'$ de latitud y $-70^{\circ} 31'$ de Longitud.

Figura 39: Datos de radiación del distrito de Vilavila



Elaboración: Propia

En la figura 39 se puede observar los datos de radiación promedio mensual del distrito de Vilavila, donde se aprecia que el mes de menor promedio de radiación es el mes de junio.

Figura 40: Orientación del panel solar

Elaboración: Propia

En la figura 40 se ingresan los datos respectivos a la orientación y el ángulo de inclinación de los paneles solares para que estos puedan recolectar la mayor cantidad de energía solar posible.

Figura 41: Ventana de ingreso de datos de consumo de energía del sistema

Daily use of Energy, Variant "nuevo proyecto vilavila"

Definition of Daily Household consumptions, year

Consumptions | Hourly distribution

Daily consumptions

Number	Appliance	Power		Daily use	Hourly distrib	Daily energy
4	Lamps (LED or fluo)	30	W/lamp	12.0	h/day OK	1440 Wh
0	TV / PC / Mobile	0	W/app.	0.0	h/day	0 Wh
0	Electrodomésticos	0	W/app.	0.0	h/day	0 Wh
0	Frigorífico/Congelador	0.00	kWh/day	0.0	h/day	0 Wh
0	Dish- & Cloth-washers	0.0	W aver.	0.0	h/day	0 Wh
1	bomba de lodos	6200	W/app.	1.0	h/day OK	6200 Wh
0	Otras utilizaciones	0	W/app.	0.0	h/day	0 Wh
Stand-by consumers		1	W tot	24 h/day	<input checked="" type="checkbox"/> 7 days/7	24 Wh
Total daily energy						7664 Wh/day
Total monthly energy						229.9 kWh/month

Appliances info

Consumption definition by

Year Seasons Months

Week-end or Weekly use

Use only during

7 days in a week

Model

Load Save

Other profile Cancel OK

Elaboración: Propia

La ventana de la figura 41, nos permite ingresar lo datos de la potencia de los actuadores del sistema así como la cantidad de horas de trabajo por día de cada uno de ellos, obteniendo así la potencia total del sistema.

Figura 42: Ingreso de datos del sistema de acumulación

Design of a Standalone system, Variant "nuevo proyecto vilavila"

Specified Load | Pre-sizing suggestions | System summary

Av. daily needs : 7.7 kWh/day

Enter accepted LOL: 15.0 %

Enter requested autonomy: 3.0 day(s)

Battery (user) voltage: 24 V

Suggested capacity: 1127 Ah

Suggested PV power: 1527 Wp (nom.)

Detailed pre-sizing

Storage | Generator FV | Back-up | Schema

Procedure

The Pre-sizing suggestions are based on the Monthly meteo and the user's needs definition

1. - Pre-sizing: Define the desired Pre-sizing conditions (LOL, Autonomy, Battery voltage)
2. - Storage: Define the battery pack (default checkboxes will approach the pre-sizing)
3. - PV Array design: Design the PV array (PV module) and the control mode. You are advised to begin with a universal controller.
4. - Back-up: Define an eventual Genset.

Specify the Battery set

Sort Batteries by: voltage capacity manufacturer

Volta | 12 V | 100 Ah | Volta 6SB100 | Open

4 Batteries in serie | Number of batteries: 28

7 Batteries in parallel | Number of elements: 168

Battery pack voltage: 48 V

Global capacity: 700 Ah

Stored energy (80% DOD): 26.9 kWh

Total weight: 896 kg

Operating battery temperature

Temper. mode: Fixed (tempered local)

Fixed temperature: 20 °C

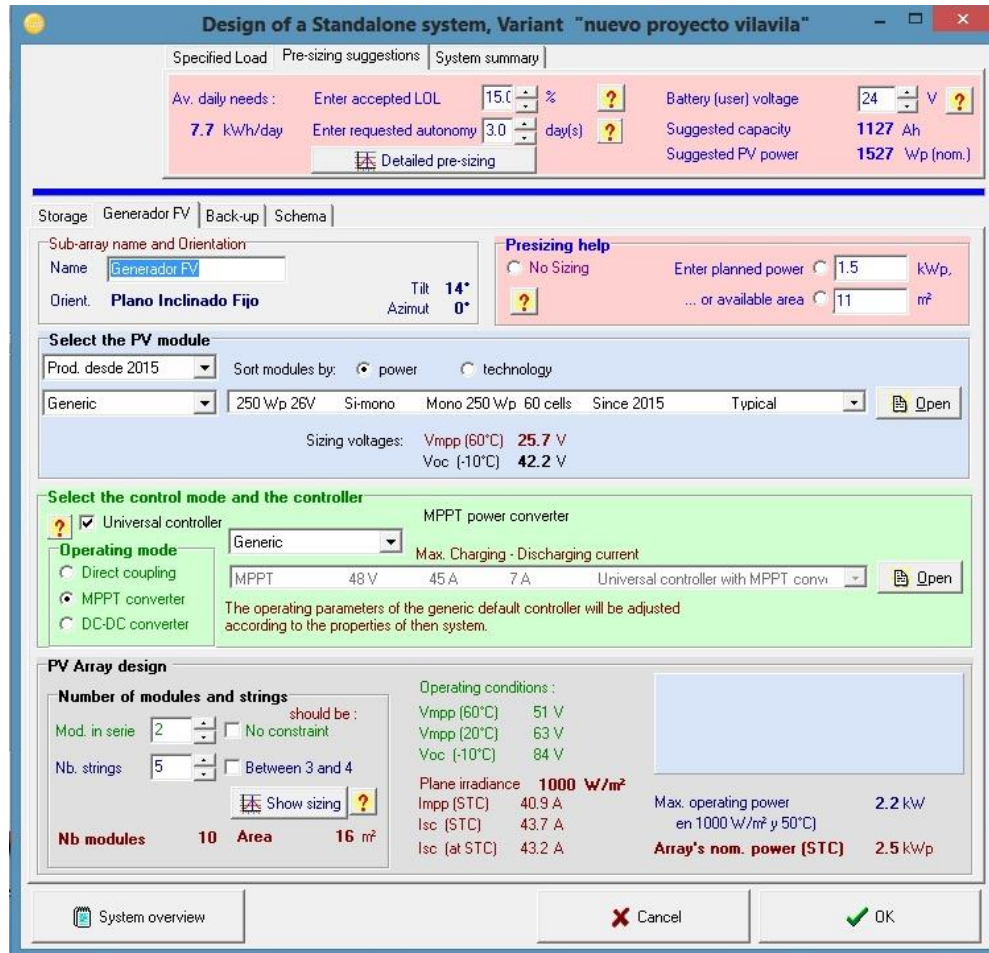
The battery temperature is important for the ageing of the battery. An increase of 10 °C divides the "static" battery life by a factor of 2.

The PV array power is strongly oversized with respect to the Load. This will induce high "unused energy" losses.

System overview | Cancel | OK

Elaboración: Propia

En la ventana de la figura 42, de acuerdo a la base de datos del software se realiza la elección de los acumuladores que vamos a utilizar, en este caso son baterías Volta de 12 V y 100 Ah.

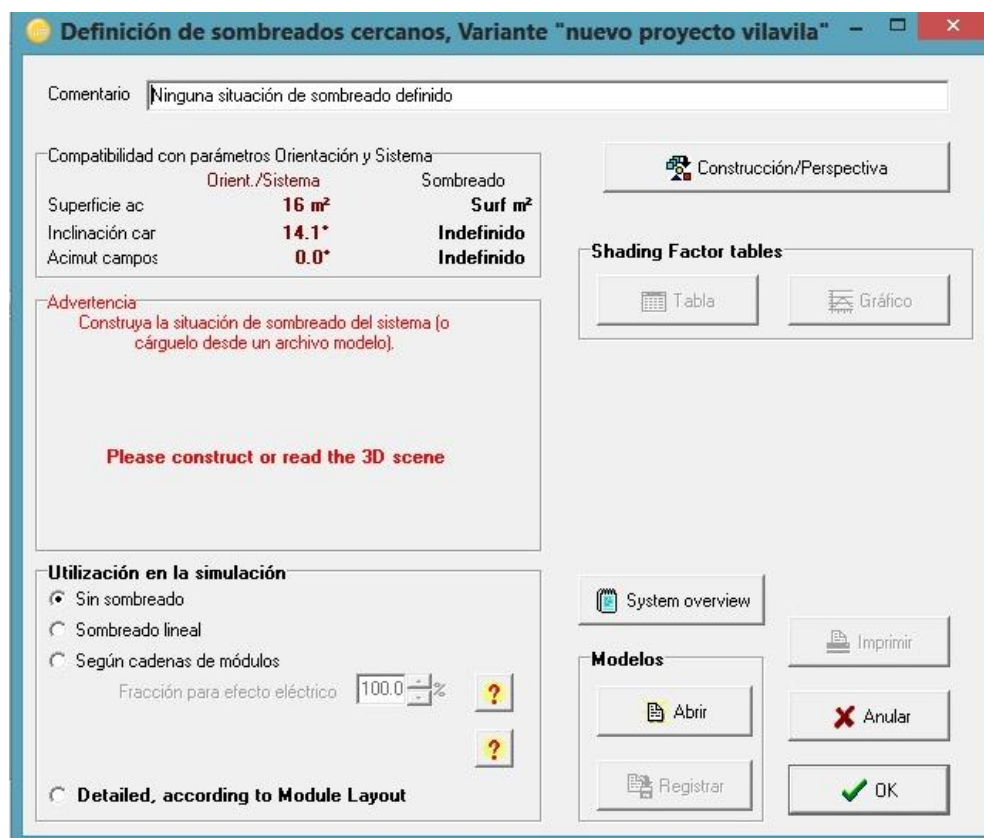
Figura 43: Ingreso de datos de los paneles solares


The screenshot displays the 'Design of a Standalone system, Variant "nuevo proyecto vilavila"' software interface. The window is divided into several sections:

- Specified Load / Pre-sizing suggestions / System summary:** Shows 'Av. daily needs: 7.7 kWh/day', 'Enter accepted LOL: 15.0%', and 'Enter requested autonomy: 3.0 day(s)'. It also indicates 'Battery (user) voltage: 24 V', 'Suggested capacity: 1127 Ah', and 'Suggested PV power: 1527 Wp (nom.)'.
- Storage / Generator FV / Back-up / Schema:** The 'Generator FV' tab is active, showing 'Sub-array name and Orientation: Generador FV', 'Orient: Plano Inclinado Fijo', 'Tilt: 14°', and 'Azimut: 0°'.
- Select the PV module:** Shows 'Prod. desde 2015', 'Sort modules by: power', and 'Generic' selected. The module is '250 Wp 26V Simono Mono 250 Wp 60 cells Since 2015 Typical'. Sizing voltages are 'Vmpp (60°C): 25.7 V' and 'Voc (-10°C): 42.2 V'.
- Select the control mode and the controller:** Shows 'Universal controller' checked, 'MPPT power converter' selected, and 'Operating mode: MPPT converter'.
- PV Array design:** Shows 'Number of modules and strings' with 'Mod. in serie: 2' and 'Nb. strings: 5'. It also displays 'Operating conditions: Vmpp (60°C): 51 V, Vmpp (20°C): 63 V, Voc (-10°C): 84 V', 'Plane irradiance: 1000 W/m²', and 'Array's nom. power (STC): 2.5 kWp'.

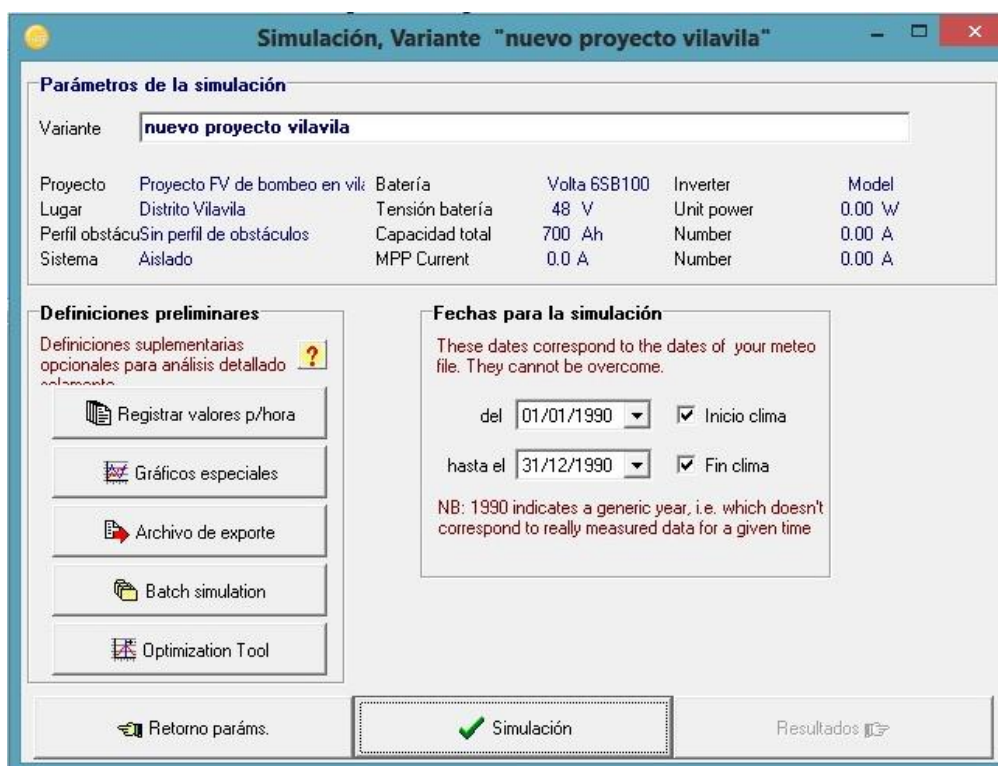
Elaboración: Propia

En la ventana de la Figura 43, se ingresan los datos de los paneles solares de acuerdo a la base de datos del software, en este caso es un panel solar de 250 W de potencia de 26V, el tipo de arreglo se los paneles son de 2 en serie y 5 en paralelo.

Figura 44: Definición de sombras cercanas

Fuente: (PVSYST SA, 2016)

En este proyecto no se considera los efectos de sombras ni obstáculos ya que en el sitio designado para la instalación no existen obstáculos que puedan influir en la generación de energía, y la sombra es por el movimiento del sol durante el día.

Figura 45: Ventana para el inicio de simulación del sistema



Simulación, Variante "nuevo proyecto vilavila"

Parámetros de la simulación

Variante:

Proyecto	Proyecto FV de bombeo en vil	Batería	Volta 6SB100	Inverter	Model
Lugar	Distrito Vilavila	Tensión batería	48 V	Unit power	0.00 W
Perfil obstácu	Sin perfil de obstáculos	Capacidad total	700 Ah	Number	0.00 A
Sistema	Aislado	MPP Current	0.0 A	Number	0.00 A

Definiciones preliminares

Definiciones suplementarias opcionales para análisis detallado 

Registrar valores p/hora

Gráficos especiales

Archivo de exporte

Batch simulation

Optimization Tool

Fechas para la simulación

These dates correspond to the dates of your meteo file. They cannot be overcome.

del Inicio clima

hasta el Fin clima

NB: 1990 indicates a generic year, i.e. which doesn't correspond to really measured data for a given time

Elaboración: Propia

Una vez ingresado los datos, se procede con la simulación como indica la ventana de la figura 45, luego del realizar la simulación este nos muestra un informe con los detalles de la instalación, con el cual podemos validar los cálculos realizados, estos se muestran en la figura 47.

4.1.1.6 Resultados de la simulación:

Los principales resultados obtenidos tras la simulación del proyecto de instalación fotovoltaica en Vilavila se resumen a continuación:

Figura 46: Cuadro de resultados del sistema

PVSYST V6.43		13/06/17	Página 1/5
Sistema Aislado: Parámetros de la simulación			
Proyecto :	Proyecto FV de bombeo en vilavila		
Lugar geográfico	Distrito Vilavila	País	Peru
Ubicación	Latitud	15.2°S	Longitud 70.7°W
Hora definido como	Hora Legal	Huso hor. UT-5	Altitud 4300 m
Datos climatológicos:	Albedo	0.20	Base del satélite NASA-SEE, 1983-2005 - Síntesis
Variante de simulación :	nuevo proyecto vilavila		
	Fecha de simulación	13/06/17 12h01	
Parámetros de la simulación			
Orientación Plano Receptor	Inclinación	14°	Acimut 0°
Modelos empleados	Transposición	Perez	Difuso Perez, Meteonorm
Características generador FV			
Módulo FV	Si-mono	Modelo	Mono 250 Wp 60 cells
<small>Original PVsyst database</small>		Fabricante	Generic
Número de módulos FV	En serie	2 módulos	En paralelo 5 cadenas
N° total de módulos FV	N° módulos	10	Pnom unitaria 250 Wp
Potencia global generador	Nominal (STC)	2500 Wp	En cond. funciona. 2217 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del generador (50°C) V mpp		54 V	1 mpp 41 A
Superficie total	Superficie módulos	16.3 m²	Superf. célula 14.2 m²
Factores de pérdida Generador FV			
Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s
Pérdida Óhmica en el Cableac.Res. global generador		23 mOhm	Fracción de Pérdidas 1.5 % en STC
Pérdida Diodos en Serie	Caída de Tensión	0.7 V	Fracción de Pérdidas 1.1 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de Pérdidas -0.8 %
Pérdidas Mismatch Módulos			Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAIAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05
Parámetro del Sistema			
Batería	Tipo de sistema	Sistema Aislado	
	Modelo	Volta 6SB100	
	Fabricante	Volta	
Características del banco de baterías	Tensión	48 V	Capacidad Nominal 700 Ah
	N° de unidades	4 en serie x 7 en paralelo	
	Temperatura	Fijo (20°C)	
Controller	Modelo	Universal controller with MPPT converter	
	Tecnología	MPPT converter	Coef. temp. -5.0 mW/°C/elem.
Convertidor	Eficiencias Máx. y EURO	97.0/95.0 %	
Battery management control	Threshold commands as	SOC calculation	
	Carga	SOC = 0.90/0.75	i.e. approx. 54.5/50.1 V
	Descarga	SOC = 0.20/0.45	i.e. approx. 47.1/48.9 V

Traducción en garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Elaboración: Propia

4.1.1.7 Comparación de resultados

En el cuadro 15 se muestra la comparación de resultados obtenidos:

Cuadro 15: Comparación de parámetros del sistema fotovoltaico.

DESCRIPCIÓN	DATOS DE DISEÑO DEL SISTEMA	DATOS DE SIMULACIÓN
Inclinación de los módulos fotovoltaicos	14.1°	14°
Orientación de los módulos fotovoltaicos	0°	0°
Numero de Paneles solares necesarios	10	10
Número total de baterías	28	28
Número total de reguladores	1	1
Número total de inversores	1	-
Potencia producida de los paneles	7969 w	4890 w
Rendimiento de generador	15%	12%

Elaboración: Propia

De acuerdo a la comparación realizada en la tabla 15, los datos obtenidos en el diseño del sistema fotovoltaico son similares a los obtenidos en la simulación, con pequeñas variaciones en algunos parámetros debido a que el programa cuenta con su propia base de datos de componentes fotovoltaicos, los cuales no fueron seleccionados en el diseño del sistema fotovoltaico. Por lo tanto con esta comparación se puede validar el diseño del sistema fotovoltaico realizado como fuente de energía para el sistema de bombeo automatizado.

4.1.2 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TECNICA DEL PROYECTO

Se refiere a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto. Generalmente nos referimos a elementos tangibles (medibles). En el proyecto se debe considerar si los recursos técnicos actuales son suficientes o se deben complementar. (Dirección de Proyectos Aragua).

De acuerdo a los resultados mostrados en el desarrollo del proyecto se puede considerar al proyecto técnicamente factible, ya que todos los recursos técnicos necesarios se pueden adquirir e implementar el proyecto.

4.1.3 ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Para realizar el análisis económico del proyecto, primero vamos a considerar el costo de inversión de materiales y equipos necesarios del proyecto, luego calcular el tiempo de recuperación de la inversión y realizar la comparación del costo de implementación de las fuentes de energía, la fotovoltaica y convencional.

4.1.3.1 Costo de inversión

Son los gastos destinados para la adquisición de recursos necesarios para la ejecución del proyecto, en el Anexo 3 se puede observar en detalle los costos necesarios. El costo total del proyecto es de 83,290 soles

4.1.3.2 Costo de mantenimiento

El mantenimiento del sistema de bombeo automatizado es mínimo así como la del subsistema fotovoltaico.

4.1.3.3 Costo real de energía convencional y fotovoltaica

En el Departamento de Puno, la entidad que administra la energía eléctrica convencional es Electro Puno S.A., en el cual el costo de la energía es de 0.547 soles por KWh.

Para determinar el costo de la energía generada se debe conocer el ahorro energético anual de todo el sistema.

Calculo del ahorro energético

De acuerdo a los resultados del diseño la energía a generarse es de:

$$E_{TN} = 7969.73 \text{ watts}$$

Por lo tanto la energía generada en un año será:

$$E_A = E_{TN} * 1 \text{ año} \quad \dots (\text{Ec. 25})$$

$$E_A = \frac{7969.73 * 365}{1000} = 2908.95 \text{ Kw}$$

Dónde:

$$E_A: \text{Energía generada en 1 año} \quad E_A = 2908.95 \text{ Kw}$$

Calculo del ahorro económico

El ahorro económico para un año será:

$$AE = E_A * 0.547 \text{ soles}$$

$$AE = 2908.95 \text{ Kw} * 0.547 \text{ soles} = 1591.2 \text{ soles}$$

Dónde:

$$AE: \text{Ahorro económico en un año} \quad AE = 1591.2 \text{ soles}$$

E_A : Energía generada en 1 año

$E_A=2908.95 \text{ Kw}$

La vida útil de un sistema fotovoltaico depende de la vida de sus componentes, un valor estimado es de 20 a 25 años como vida promedio de estos sistemas. Para el presente proyecto se consideró 20 años, con lo cual se tendrá un ahorro económico de:

$$\text{energía en 20 años} = 2908.95 * 20 = 58179 \text{ Kw}$$

$$\text{ahorro en 20 años} = 1591.2 * 20 = 31824 \text{ soles}$$

Tiempo de recuperación del sistema

Para poder calcular el tiempo de recuperación se tiene que tener en cuenta la inversión total del proyecto, frente al ahorro económico del proyecto en 1 año.

$$TR = \frac{\text{Costo de inversion}}{\text{Ahorro economico en 1 año}} \quad \dots (\text{Ec. 26})$$

$$TR = \frac{50420}{1591.2} = 30 \text{ años}$$

Dónde:

$$\text{Costo de inversion} = 50420 \text{ Soles}$$

$$\text{Ahorro economico 1 Año} = 1591.2$$

Tal como se observa, el tiempo de recuperación de la inversión del sistema fotovoltaico rebasa la vida útil estimada, por lo tanto se puede decir que la implementación del sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica no es factible desde el punto de vista económico.

Comparación de la inversión necesaria

La comparación de la inversión para la implementación del proyecto con energía fotovoltaica y energía convencional se muestra en el cuadro 16:

Cuadro 16: Comparación del costo del uso de energía fotovoltaica y convencional.

DESCRIPCIÓN	ENERGÍA FOTOVOLTAICA S/.	ENERGÍA CONVENCIONAL S/.
Sistema de bombeo automatizado	27170	27170
Sistema fotovoltaico	50420	0
Sistema de Energía convencional	0	5000
Sistema de protección	5700	5700
Total	83290	37870

Elaboración: Propia

De los datos de la tabla 16 se puede observar que la diferencia en la inversión inicial del proyecto con la energía convencional como fuente de energía es mucho más económico que con la energía fotovoltaica.

CONCLUSIONES

PRIMERO: Como resultado de los datos obtenidos en el diseño de sistema fotovoltaico, es posible concluir que la radiación solar presente en el distrito de Vilavila, satisface de manera óptima la demanda de energía necesaria para el funcionamiento continuo del sistema de bombeo automatizado.

SEGUNDO: En el diseño del sistema de bombeo automatizado, el uso del PLC y los sensores de nivel, permiten tener un control eficiente del sistema de bombeo, además de proteger el sistema de posibles sobrecargas o la operación en vacío de la bomba, logrando así el funcionamiento óptimo de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Vilavila.

TERCERO: Luego de realizar el análisis de factibilidad técnico-económico del proyecto de investigación, se puede concluir que la implementación del sistema fotovoltaico como fuente de energía no es factible económicamente, debido a que el tiempo de recuperación de la inversión es mayor al tiempo de vida de útil del sistema y el alto coste de inversión inicial frente al uso de la energía convencional.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: Debido a la geografía accidentada del distrito de Vilavila que limita las horas de sol, se recomienda el uso de seguidores solares en la implementación de paneles fotovoltaicos, para que de esta manera se pueda aprovechar el máximo de la energía solar presente en el distrito.

SEGUNDO: Se recomienda realizar el análisis de componentes del tablero de control del sistema de bombeo automatizado con PLC antes de la instalación, para que los componentes sean los adecuados y de esta manera evitar las fallas y/o averías del sistema.

TERCERO: Debido al alto coste de implementación de los sistemas fotovoltaicos en especial los sistemas autónomos, se recomienda realizar el estudio con sistemas fotovoltaicos híbridos, ya sean conectados a red o con energía eólica, para observar si de esta manera se puede aminorar los costos de inversión en la implementación frente a la energía convencional.

CUARTO: Para mejorar el diseño y el costo-beneficio del sistema de bombeo automatizado con energía fotovoltaica, se recomienda el uso de una bomba analógica para de esta manera prescindir el uso del inversor.

BIBLIOGRAFÍA

Arija Gonzales, D. (Julio-2010). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACION AL DESARROLLO CON TECNOLOGIAS APROPIADAS*. Leganes-España.

Atmospheric Science Data Centar NASA. (s.f.). *NASA SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY-LOCATION*. Obtenido de NASA SURFACE METEOROLOGY AND SOLAR ENERGY-LOCATION:
<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

Barnes de Mexico S.A. (15 de Noviembre de 2015). *Barmesa*. Obtenido de
<http://www.barnes.com.mx/>

Barrero Franco, W. I. (2011). *DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SUMINISTRO ELECTRICO PROVENIENTE DE PANELES SOLARES A LOS EDIFICIOS DE LA FIA-UES*. San Salvador.

Cade Simu. (2017). *CadeSimu*. Obtenido de <http://www.cadesimu.net/>

Calsina Pari, V. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO AUTOMATIZADO DE 60 HP PARA AGUA POTABLE CON ENERGIA SOLAR PARA LAS COMUNIDADES BALSAPATA, CALUYO Y SECTOR AÑAYPATA CARMEN ALTO DEL DISTRITO DE ORURILLO PROVINCIA DE MELGAR*. Puno.

Castejon Oliva, A., & Santamaria Herranz, G. (2010). *INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS*. MADRID-ESPAÑA: EDITEX, S.A.

CORADIR S.A. (2013). *Coradir*. Obtenido de <http://www.coradir.com.ar>

Direccion de Proyectos Aragua. (s.f.). Obtenido de DIRECCION DE PROYECTOS ARAGUA-VENEZUELA:

<http://proyectos.aragua.gob.ve/descargas/ESTUDIOFACTIBILIDADECON%203%93MICA.pdf>

Gamarra, R. (2012). *CONTROL DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y CLORACION DE AGUA*. Lima-Peru.

Garcia Trisolini, E. (Junio 2009). *MANUAL DE PROYECTOS DE AGUA POTABLE EN POBLACIONES RURALES*. Lima.

Harper, E. G. (2010). *INSTALACIONES ELECTRICAS DOMESTICAS, CONVENCIONALES Y SOLARE FOTOVOLTAICAS*. LIMUSA S.A.

Horacio Vera, L. (2004). *PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACION DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS*. Porto Alegre-Brasil.

Ingelibre. (noviembre de 2014). Obtenido de <https://ingelibreblog.wordpress.com>

Inguil Lema, A. M., & Ezpinoza Ortega, H. S. (Mayo-2014). *ANALISIS, MODELADO Y VALIDACION DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL ALUMBRADO VIAL DE LA AVENIDA DE LAS AMERICAS*. Cuenca.

Martinez Robles, J. M. (Marzo-2014). *IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA EL ALUMBRADO DEL LABORATORIO DE AUTOMATIZACION DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UAQ*. SANTIAGO DE QUERETARO-MEXICO.

MUNICIPALIDAD DE VILAVILA. (2013). *MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO DEL DISTRITO DE VILAVILA*. VILAVILA.

Organizacion Panamericana de la Salud. (2005). *GUIA PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO DE AGUA POTABLE*. LIMA-PERU: COSUDE.

- PVSYST SA. (18 de Marzo de 2016). *PVSYST PHOTOVOLTAIC SOFTWARE*.
Obtenido de PVSYST 6.43: <http://www.pvsyst.com/en/>
- Raboso Lopez, A. M. (2013). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA ALIMENTAR UNA POTABILIZADORA DESALINIZADORA AUTONOMA*.
Andalucia-España.
- Ramalho, R. S. (s.f.). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*.
- Ramos Calla, W. (2013). *DISEÑO DE UN CONTROL SEMIAUTOMATIZADO USANDO PLC S7-200 CON INTERFAZ SCADA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BIOLOGICO DE LODOS ACTIVADOS BASADO EN LA MODALIDAD DE AIREACION EXTENDIDA*.
Puno-Peru.
- Ricardo Berru, S. U. (Diciembre-2009). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGIAS RENOVABLES DEL DECEM*.
Sangolqui-Ecuador.
- Saitim*. (2006). Obtenido de <http://www.saitim.com>
- SIEMENS, A. (2003). *Manual LOGO*.
- Solener*. (enero de 2012). Obtenido de <http://www.solener.com>
- Tipan, K. (2011). *DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE BOMBEO HIDRONEUMATICO PARA UN EDIFICIO, CONTROLADO POR UN PLC CON MONITOREO DE VARIABLES*. Sangolqui-Ecuador.
- Tisalema Guamanquispe, M. (Junio 2011). *SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL CONTROL, MONITOREO Y ALMACENAMIENTO DE DATOS DEL MODULO*

*FOTOVOLTAICO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS,
ELECTRONICA E INDUSTRIAL. Ambato- Ecuador.*

Valdiviezo Salas, P. D. (Junio-2014). *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO
PARA EL SUMINISTRO DE ENERGIA A 15 COMPUTADORAS PORTATILES
EN LA PUCP. Lima-Peru.*

ANEXOS

ANEXO 1: Hoja de datos Bomba sumergible de lodos Barmesa.



BOMBA SUMERGIBLE PARA LODOS

Modelos: 4SEH
 Descarga: 4"
 Paso de esfera: 3"
 4.5-15HP / 1750 RPM



DESCARGA
 4" (10.02 cm) horizontal, con brida.

TEMPERATURA MÁXIMA DEL LÍQUIDO
 71 °C (160 °F).

VOLUTA
 Hierro gris ASTM A-48, clase 30.

CUBIERTA DEL MOTOR
 Hierro gris ASTM A-48, clase 30.

PLATO DEL SELLO
 Hierro gris ASTM A-48, clase 30.

IMPULSOR
Diseño: 2 álabes, tipo abierto, con venas en la parte posterior. Balanceado dinámicamente.
Material: hierro gris ASTM A-48, clase 30.

FLECHA
 Acero inoxidable 416.

EMPAQUES
 Forma cuadrada de Buna-N.

SELLO
Diseño: doble, tipo mecánico, lubricado en aceite.
Material: carburo de silicio en el lado del impulsor y carbón en el lado del motor, elastómeros de Buna-N y resorte de acero inoxidable.

Actualizado: 11/01/2017

DIAFRAGMA
 Buna-N.

TORNILLERÍA
 Acero inoxidable.

CABLE
 Cuenta con 9.5 metros de cable para uso rudo de neopreno tipo SO 10/4. El cable es sellado con compuesto epóxico.

BALEROS
Superior: tipo bolas, lubricado en aceite, para carga radial.
Inferior: tipo bolas doble, lubricado en aceite, para carga radial y axial.

MOTOR
 Trifásico, NEMA B, 230/460 volts, 60 Hz, 1750 RPM, requiere de protección externa por sobrecarga. Operan en baño de aceite para su lubricación y enfriamiento.

SENSOR DE HUMEDAD
 Incluye del tipo "normalmente abierto" (N/O).

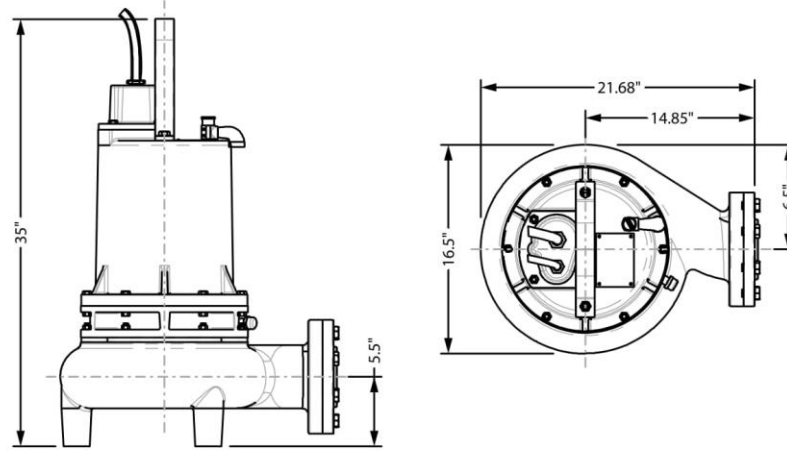
SENSOR DE TEMPERATURA
 Incluye del tipo "normalmente cerrado" (N/C).

EQUIPO OPCIONAL
 Cable adicional, sello de carburo de tungsteno, y codo de acoplamiento móvil CAM-4.

ESPECIFICACIONES

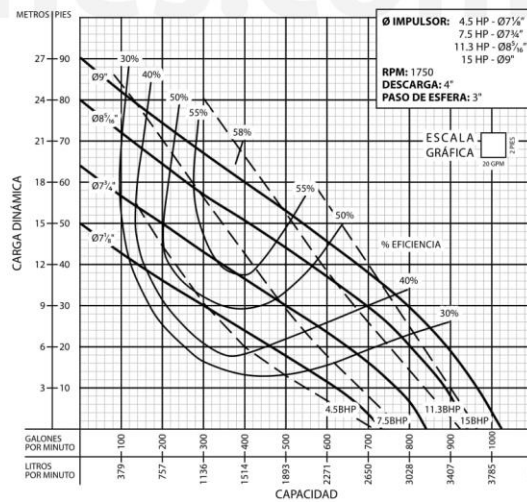
(Continua)

ESPECIFICACIONES



MODELO	HP	VOLTS	FASES	RPM (Nominal)	MÁX. AMPERES	AMPERES ROTOR BLOQUEADO	CÓDIGO NEMA	TAMAÑO DEL CABLE	TIPO DE CABLE	DIÁM. DE CABLE	PESO (kg)
4SEH302	4.5	230	3	1750	17.6	56	E	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	127
4SEH304	4.5	460	3	1750	8.8	28	E	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	127
4SEH502	7.5	230	3	1750	23.6	80	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	140
4SEH504	7.5	460	3	1750	11.8	40	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	140
4SEH752	11.3	230	3	1750	28.4	126	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	154
4SEH754	11.3	460	3	1750	14.2	63	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	154
4SEH1002	15	230	3	1750	40	160	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	181
4SEH1004	15	460	3	1750	20	80	D	10/4	SO	0.78" (19.8 mm)	181

El cable del sensor de humedad y/o de temperatura es 18/5 tipo SO, Ø0.485", para todos los modelos.



¡IMPORTANTE!

1. No utilice la bomba para bombear líquidos explosivos.
2. Esta bomba no está aprobada para ser utilizada en piscinas, instalaciones recreativas, o cualquier aplicación donde el contacto humano con la bomba sea común.
3. La bomba puede operar en seco por un largo periodo sin que se dañe el motor y/o sello.
4. Es indispensable conectar los sensores de humedad y temperatura correctamente al panel de control. Recomendamos utilizar el detector de fallas modelo DFS-3.

Barnes de México, S.A. de C.V.
 D. Ladrón de Guevara 302 ote.
 Monterrey, N.L., Méx. C.P. 64500
 Tel. (81) 8351.3737 / (81)8863.3737
 Fax. (81) 8331.1777 / (81)8351.9609
 ventasbarnes@barnes.com.mx
www.barnes.com.mx

Fuente: (Barnes de Mexico S.A., 2015)

ANEXO 2: Hoja de Datos de Panel fotovoltaico de CORA 250 W

Introducción



Panel Solar Fotovoltaico CORA 250W



Los paneles solares se han convertido en una opción rentable para negocios y particulares en todo el país utilizando energía renovable y limpia.

Funcionamiento general:

El funcionamiento del sistema consiste en captar mediante paneles solares, y transformar los rayos del sol (fotones) en energía eléctrica. Con un dispositivo denominado inversor, se transforma la corriente continua de 12 o 24 voltios en corriente alterna de 220 voltios, la cual se distribuye a través de la red eléctrica de la casa, donde están conectados los artefactos de consumo.

Entre los beneficios más importantes de la energía solar se puede destacar que:

Es una energía no contaminante.

Es energía limpia y renovable, que no cuesta dinero.

Proviene de una fuente de energía inagotable.

Los paneles solares no tienen partes móviles y por ello no necesitan mantenimiento.

Se trata de una solución inmejorable en zonas aisladas que, de otra forma, no tendrían acceso a la electricidad.

Independiente, porque solo depende del sol, no se necesita la conexión a la red eléctrica pública, ni combustibles.

Permite fijar costos de consumo. Evita los incrementos en los costos de electricidad.

Garantías

- Garantía producto: 1 año.
- Garantía 90% potencia nominal: 10 años
- Garantía 80% potencia nominal: 25 años.

(Continua)

Datos Técnicos



Marco

Aluminio anodizado. Robusto y resistente a la corrosión. Toma a tierra incorporada. Orificios para el drenaje del agua.

Caja de conexión

Sellada, robusta para favorecer la disipación del calor generado por el sol. Grado Protección IP65.

Conectores

MC4 (resistentes a radiación UV, de cierre automático/IP67)

Panel Frontal

Vidrio templado 3.2 mm de espesor. De alta transmisión y bajo en hierro.

Celdas

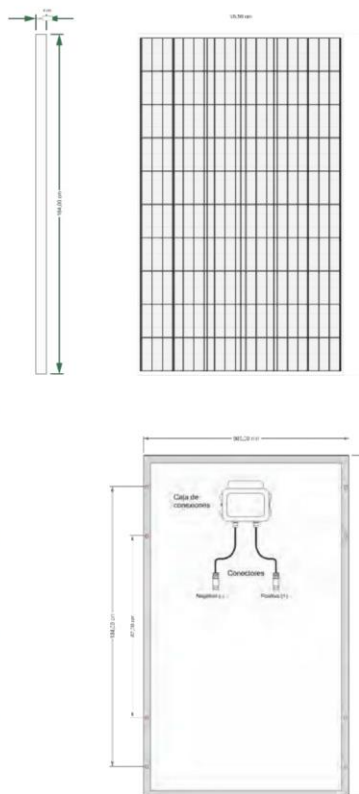
60 (6 x 10). Policristalino 156x156 mm.

Dimensiones

1640 x 992 x 40 mm.

Peso

19.5 Kg.



Propiedades Técnicas	
Potencia máxima nominal (Pmax)	250W
Voltaje a Pmax (Vmp)	30.65V
Corriente a Pmax (Imp)	8.17A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	37.8V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.74A
Eficiencia de Celdas (%)	17,40%
Eficiencia del Módulo	15,30%
Temperatura de operación (Cº)	-40Cº~+85Cº
Voltaje máximo del sistema	DC 1000V(TUV) / DC600V(UL)
Fusible serie máximo	15A
Tolerancia a potencia máxima	±3 %
Coefficiente de Temperatura a Pmax	(-0.45±0.05)% / Cº
Coefficiente de Temperatura a Voc	(0.05±0.01) % / Cº
Coefficiente de Temperatura a Isc	(-0.35±0.05)% / Cº
NOTC	(47±2) / Cº

Test en condiciones estándar 1000W/m2. Temp. del módulo 25º C, AM = 1,5

Fuente: (CORADIR S.A, 2013)

**ANEXO 3: Cuadro de detalle de Presupuesto del Sistema de Bombeo
Automatizado con Energía Fotovoltaica**

ITEM	DESCRIPCION DE PARTIDAS	UNIDAD	Metrado / Cantidad	Costo Unitario S/.	TOTAL S/.
A. COSTOS DIRECTOS					
1.00	SISTEMA FOTOVOLTAICO				
1.01	Paneles solares Monocristalino de 250 W, Cora	Pza.	10	1300	13000
1.02	Conectores de 12VDC	Pza.	10	20	200
1.03	Batería de 12 VDC 100AH	Und	28	300	8400
1.04	Soporte de batería	Und	4	80	320
1.05	Accesorios de Protección y conexión	Glb.		500	500
1.06	Soporte para paneles solares	Pza.	30	500	15000
1.07	Cable N° 8 AWG	m	100	10	1000
1.08	Conductores de Energía Tipo NYY	m	200	15	3000
1.09	Cable N° 10 AWG	m	50	10	500
1.10	Caja de distribución	Pza.	2	500	1000
1.11	Inversor	Und.	1	5500	5500
1.12	Regulador de carga	Und.	1	2000	2000
SUBTOTAL S/.					50420
2.00	SISTEMA DE BOMBEO				
2.01	Bomba de lodos Barmesa 7.5HP	Und.	1	9000	9000
2.02	Tubería PVC	M	5	50	250
2.03	Tubería acero	M	10	150	1500
2.04	Codos de 90°	Pza.	4	200	800
2.05	Uniones y empalmes	Pza.	2	30	60
2.06	Válvula de compuerta	Pza.	1	215	215
2.07	Válvula de alivio	Pza.	1	220	220
2.08	Base para soporte para la bomba sumergible	Jgo.	1	5000	5000
2.09	Reductor de acero para salida de la bomba	Pza.	1	250	250
SUBTOTAL S/.					17295
3.00	SISTEMA DE AUTOMATIZACION				
3.01	Tablero eléctrico	Und	2	600	1200
3.02	Contactores ABB 50 ^a	Und	2	200	400
3.03	Relés ABB	Und	2	100	200
3.04	PLC Allen Bradley Micrologix1100	Und	1	1500	1500
3.05	Guardamotor ABB 50 ^a	Und	1	250	250
3.06	Riel din	M	5	5	25
3.07	Canaletas	M	5	4	20

3.08	Fusibles	Und	10	50	500
3.09	Borneras	Und	50	5	250
3.10	Arrancador suave siemens sirius	Und	1	3000	3000
3.11	Pulsador de emergencia	Und	1	80	80
3.12	Prensa estopa	Und	5	120	600
3.13	Llave termo magnética	Und	3	120	360
3.14	Pulsador verde y rojo	Und	2	60	120
3.15	Luces para tablero	Und	5	60	300
3.16	Relé auxiliar	Und	2	120	240
3.17	Enchufe industrial (hembra y macho)	Jgo.	3	50	150
3.18	Cable de control	M	200	2	400
3.19	Sensor de nivel tipo boya	Und	3	60	180
3.20	Alarma acústica	Und	1	100	100
	SUBTOTAL S/.				9875
4.00	SISTEMA DE PROTECCION				
4.01	pararrayo tipo franklin, incluido estructura	Glb	1	3000	3000
4.02	puesta a tierra	Eq	2	750	1500
4.03	Luminarias	Und	4	150	600
4.04	soporte para luminarias	Und	4	150	600
	SUBTOTAL S/.				5700
TOTAL MATERIALES DEL SISTEMA DE BOMBEO, FOTOVOLTAICO, AUTOMATIZACION Y PROTECCION					83290

Elaboración: Propia