

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE TESIS DE GRADO

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE
AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DEL DECEM**

ELABORADO POR:

Ricardo Berrú

Santiago Utreras

DIRECTOR: Ing. José Guasumba

CODIRECTOR: Ing. Fernando Montenegro

Diciembre 11, 2009

Sangolquí - Ecuador

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DEL DECEM” fue realizado en su totalidad por Ricardo José Berrú López y Óscar Santiago Utreras Venegas, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba

DIRECTOR

Ing. Fernando Montenegro

CODIRECTOR

Sangolquí, 11 de diciembre del 2009

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DEL DECEM”.

ELABORADO POR:

Ricardo José Berrú López

Oscar Santiago Utreras Venegas

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Emilio Tumipamba

DIRECTOR DE LA CIME

Sangolquí, 11 de diciembre del 2009

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres, quienes con su amor y apoyo me han dado la confianza para salir adelante; a mis hermanas, quienes siempre han estado pendientes y preocupadas por mi bienestar; a toda mi familia, abuelitas, tíos y primos, y a mis amigos que me ha respaldado en toda ocasión; y en memoria de mis abuelitos que me miran desde el cielo.

Ricardo Berrú

A mis padres, Oscar y Myriam, que con su gran amor, respeto y cariño han sido el pilar fundamental durante toda mi vida y con su abnegado esfuerzo me han encaminado para lograr alcanzar esta tan anhelada meta.

A mis hermanos, Esteban y Danilo, por haberme brindado su apoyo, comprensión y los consejos más acertados durante toda mi vida estudiantil.

Finalmente dedico este logro a la persona que apareció en mi vida y motivó día tras día a que este sueño se vuelva una realidad, mi amada Gaby.

Santiago Utreras

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María por iluminar, guiar y bendecir nuestras vidas.

A nuestras familias, que con el cariño y el ejemplo han sabido ser el soporte y apoyo constante durante nuestra vida universitaria.

A la Escuela Politécnica del Ejército, en particular a todos los que conforman el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, por permitirnos ser parte de esta comunidad.

A nuestros profesores y ayudantes de laboratorio por ser verdaderos facilitadores del conocimiento y personas con alta calidad humana, en especial al Ingeniero José Guasumba y al Ingeniero Fernando Montenegro quienes colaboraron con la realización del presente proyecto.

A nuestros amigos y compañeros, con quienes vivimos buenos y no tan buenos momentos, por haber estado siempre a nuestro lado en los ratos más difíciles.

Ricardo y Santiago.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	iii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	v
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xv
ÍNDICE DE TABLAS	xix
ÍNDICE DE ANEXOS	xxi
RESUMEN	xxiii
INTRODUCCIÓN	xxv
NOMENCLATURA	xxix
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Definición del problema.....	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 General	4
1.3.2 Específicos.....	4
1.4 Alcance	5
1.5 Justificación e importancia.....	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Unidades.....	7
2.2 Conceptos.....	8
2.3 Energía solar fotovoltaica.....	10
2.3.1 Fuentes de energía	12
2.3.2 Conversión de energía.....	14
2.3.3 Materiales y dispositivos	15
2.3.4 Instalaciones	20

2.3.5 Alternativas de aprovechamiento.....	23
2.4 Hidráulica.....	25
2.4.1 Propiedades de los fluidos.....	25
2.4.2 Hidrostática.....	26
2.4.3 Conceptos básicos del movimiento de los fluidos.....	28
2.4.4 Análisis de flujo en tuberías.....	33
2.4.5 Pérdidas	35
2.4.6 Bombas	36
2.5 Transferencia de calor	39
2.5.1 Conducción en tuberías.....	39
2.5.2 Convección en tuberías.....	41
2.5.3 Pérdidas térmicas por conducción y convección en tuberías	44
2.5.4 Aislamiento de tuberías	45
CAPÍTULO III	
DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.....	49
3.1 Parámetros de diseño.....	49
3.2 Análisis hidráulico	50
3.2.1 Análisis de pérdidas hidráulicas.....	51
3.2.2 Aplicación de la ecuación general de la energía	54
3.3 Dimensionamiento.....	54
3.3.1 Selección de materiales y equipos de la instalación hidráulica	55
3.3.2 Cálculo de pérdidas hidráulicas.....	56
3.3.3 Cálculo de pérdidas térmicas	59
3.3.4 Evaluación de eficiencias	63
3.4 Uso de software: CENSOLAR (Académico)	64
CAPÍTULO IV	
AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO.....	69
4.1 Sensores	69
4.2 Tipos de sensores	71
4.2.1 Medición de flujo.....	72
4.2.2 Principios básicos en la medición de flujos.....	72
4.3 Sistema de adquisición de datos	79
4.4 Selección de instrumentación.....	81
4.5 Uso de software: WINDAQ/Lite	84

CAPÍTULO V	
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA INSTALACIÓN	87
5.1 Diagrama de procesos	87
5.2 Recursos de fabricación.....	89
5.3 Ejecución de obra	90
5.4 Ensamblaje	92
5.4.1 Ensamblaje del sistema.	92
5.4.2 Instalación del equipo de medición Y adquisición de datos	98
CAPÍTULO VI	
PRUEBAS	101
6.1 Parámetros.....	101
6.2 Hoja de Pruebas	102
6.3 Toma de datos	103
6.4 Análisis de resultados	106
6.5 elaboración de manual de usuario	110
CAPÍTULO VII	
ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	111
7.1 Análisis Económico	111
7.2 Análisis Financiero	113
CAPÍTULO VIII	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
8.1 Conclusiones.....	117
8.2 Recomendaciones	118
BIBLIOGRAFÍA	121
ANEXOS	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Ord.	Contenido	Pág.
2.1	Radiación solar.....	10
2.2	Tipos de radiación en la superficie.....	13
2.3	Conversión de energía en la célula.....	15
2.4	Célula fotovoltaica.....	16
2.5	Partes de un panel fotovoltaico.....	17
2.6	Paneles solares fotovoltaicos.....	17
2.7	Generador fotovoltaico.....	18
2.8	Evolución de célula a panel y de panel a generador fotovoltaico.....	19
2.9	Sistema fotovoltaico conectado a la red.....	20
2.10	Partes de instalación fotovoltaica.....	21
2.11	Esquema de instalación fotovoltaica pequeña.....	22
2.12	Sistema de bombeo ESFV.....	24
2.13	Presión hidrostática.....	26
2.14	Principio de Pascal.....	27
2.15	Flujo en tuberías.....	29
2.16	Flujo laminar - perfil de velocidad.....	34
2.17	Flujo turbulento - perfil de velocidad.....	34
2.18	Bomba centrífuga.....	37

2.19	Bomba rotativa.....	38
2.20	Bomba de diafragma.....	38
2.21	Conducción térmica.....	39
2.22	Conducción en pared cilíndrica.....	40
2.23	Conducción y convección en tuberías.....	44
2.24	Analogía eléctrica.....	45
2.25	Aislamiento en tuberías.....	46
2.26	Curva Calor vs. Radio de aislamiento.....	47
3.1	Configuración del sistema de bombeo.....	50
3.2	Bomba Rule 25D.....	56
3.3	Censol 4.0 - Base de datos irradiación Ecuador.....	64
3.4	Censol 4.0 - Base de datos - datos de Quito añadidos.....	65
3.5	Censol 4.0 - Dimensionamiento del sistema.....	66
4.1	Tubo Vénturi.....	73
4.2	Tipos de placa orificio.....	74
4.3	Medidor de caudal de placa orificio.....	75
4.4	Sensor de caudal - tobera de flujo.....	76
4.5	Esquema de un rotámetro.....	77
4.6	Sensor de turbina.....	78
4.7	Tubo Pitot.....	78
4.8	Esquema de Sistema de Adquisición de datos basada en PC.....	80
4.9	Sensor de flujo seleccionado.....	82

4.10	Hardware de Adquisición de datos seleccionado.....	84
4.11	WINDAQ - Ejemplo de visualización de señales.....	85
5.1	Simbología del diagrama de la figura 5.2.....	88
5.2	Diagrama de procesos de construcción del sistema.....	88
5.3	Estructura soporte del sistema.....	90
5.4	Diagrama de procesos - estructura soporte.....	91
5.5	Tanque de almacenamiento (original y pintado).....	91
5.6	Diagrama de procesos - tanques.....	92
5.7	Extracción del filtro de la bomba.....	93
5.8	Manera de atornillar el filtro.....	93
5.9	Montaje de la bomba en su filtro.....	94
5.10	Instalación de adaptadores en tanque superior.....	94
5.11	Isometría del sistema ensamblado.....	95
5.12	Esquema eléctrico de conexión da la bomba según fabricante.....	96
5.13	Diagrama de conexión eléctrica de la bomba.....	98
5.14	Medición de CMV entre sensor y DAQ.....	99
5.15	Esquema de conexión del sensor al DAQ.....	100
6.1	Gráfica del registro de datos 11-10-09, 12h00.....	107
6.2	Datos estadísticos en WINDAQ del registro 11-10-09, 12h00.....	107
6.3	Gráfica de pérdidas vs. Caudal.....	108
6.4	Gráfica de Irradiancia e Intensidad de corriente vs. Caudal....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Ord.	Contenido	Pág.
2.1	Unidades relacionadas al aprovechamiento de energía solar.....	7
2.2	Criterios empíricos - Flujo externo.....	42
2.3	Criterios empíricos convección natural de aire - Flujo externo.....	43
3.1	Bombas solares para agua.....	55
4.1	Tipo de sensores según la magnitud medida.....	71
4.2	Sensores de flujo.....	82
4.3	Sistema de adquisición de datos.....	83
5.1	Recursos de fabricación.....	89
5.2	Datos técnicos del panel solar.....	97
5.3	Medición de parámetros del panel en un día normal soleado.....	97
6.1	Parámetros del equipo.....	101
6.2	Datos y resultados de pérdidas hidráulicas.....	104
6.3	Registro del voltaje, intensidad de corriente y de la irradiancia.....	105
7.1	Costo de equipos y materiales.....	111
7.2	Costo de insumos.....	112
7.3	Costo de mano de obra.....	112
7.4	Costo total.....	112
7.5	Consumo de un sistema convencional.....	113

7.6	Cálculo del TIR.....	114
7.7	Cálculo del VAN.....	114
7.8	Cálculo de ingresos por crédito universitario.....	114
7.9	Cálculo del TIR.....	115
7.10	Cálculo del VAN.....	115

ÍNDICE DE ANEXOS

Ord.	Contenido
A	TABLAS DE PROPIEDADES Y DIAGRAMA DE MOODY
B	CÁLCULO DE PANELES Y BATERÍAS PARA INSTALACIONES FOTVOLTAICAS
C	MANUALES DE LOS EQUIPOS ADQUIRIDOS
D	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES
E	PLANOS
F	MANUAL DE USUARIO
G	REGISTRO DE DATOS DE LAS PRUEBAS
H	GUÍA DE LABORATORIO

RESUMEN

Una de las actividades más importantes en zonas rurales es el abastecimiento y el uso de agua. Es posible tener sistemas de bombeo de agua para tales fines en zonas inhóspitas donde no se dispone de servicio público de energía eléctrica ni suministro de agua. Se construyó un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica para el Laboratorio de Energías Renovables con un panel 43 Wp de potencia, capaz de trabajar a un caudal de 7 l/min en promedio a una altura de bombeo de 2m. De la experiencia adquirida es posible mencionar la factibilidad técnica de esta aplicación debido a las características geográficas y climáticas de la zona. También se debe mencionar que la implementación de un sistema fotovoltaico es una inversión alta con réditos a largo plazo, por lo que su factibilidad económica no es tan evidente.

INTRODUCCIÓN

El objetivo primordial en el presente proyecto de grado es diseñar y construir un sistema de bombeo con energía solar fotovoltaica para aplicaciones académicas de los alumnos de Pre y Post Grado del Departamento de Ciencias y Energía Mecánica.

En el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM, existen equipos demostrativos del uso de energía solar, siendo la mayoría de aplicación térmica. Este es un motivo por el cual se diseñó y construyó un sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica.

Con este equipo se pretende fomentar el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en aplicaciones académicas, así como concientizar a los alumnos sobre la necesidad de utilizar energías alternativas, limpias y no contaminantes. El equipo construido es demostrativo, busca crear conciencia de los beneficios del uso de energías alternativas en zonas rurales, donde no hay servicio público de electricidad y agua potable.

La aplicación de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos es una buena alternativa para el abastecimiento de agua para consumo y para riego en las zonas rurales del país debido a sus características climáticas y geográficas ubicación. Esto representa una alta factibilidad técnica en la ejecución de este tipo de sistemas. A pesar de esto, se debe mencionar el precio alto que representa implementar una instalación fotovoltaica, ya que es una alta inversión a largo plazo.

Este proyecto de grado está conformado por ocho capítulos. En el Capítulo I se presentan los antecedentes, objetivos y definición del problema. El Capítulo II proporciona la información básica de energía solar fotovoltaica e hidráulica requeridas en el diseño. El Capítulo III presenta el diseño del sistema. El Capítulo IV muestra la teoría de la instrumentación y adquisición de datos, y la selección de equipos. En el Capítulo V se muestra la metodología en la construcción y el ensamblaje del sistema. El Capítulo VI proporciona la

información acerca de las pruebas realizadas y los resultados obtenidos del funcionamiento del equipo. En el Capítulo VII se evidencia la factibilidad económica del sistema. Finalmente, el Capítulo VIII presenta las conclusiones y recomendaciones respecto al proyecto.

En el primer capítulo se establecen los objetivos y el alcance del proyecto, define los antecedentes, el problema a solucionar y la importancia del desarrollo del mismo, haciendo hincapié en el uso de energías limpias alternativas.

El segundo capítulo contiene la información necesaria acerca de la energía solar fotovoltaica: fuentes y conversión de energía, materiales, instalaciones y alternativas de aprovechamiento. También proporciona información de Hidráulica y Transferencia de Calor utilizados en el diseño.

El tercer capítulo consta del diseño de la instalación hidráulica del equipo, tomando en consideración el análisis de pérdidas hidráulicas y la conservación de energía. También se muestra el uso del programa CENSOL 4.0, para el diseño de la instalación fotovoltaica.

En el capítulo cuarto se detalla los sensores de caudal existentes y las diferentes formas de adquisición de datos. Se presenta la selección de un caudalímetro y de una tarjeta de adquisición de datos utilizados en el sistema. Además de esto, se muestra el uso del programa WINDAQ, utilizado en el registro de datos instantáneos.

El quinto capítulo muestra el proceso de construcción realizado: la adquisición de materiales, la construcción de la estructura soporte, el montaje de los elementos hidráulicos y las conexiones eléctricas.

El capítulo sexto proporciona los datos de las pruebas realizadas en el equipo. Se detalla el procedimiento a seguir para el funcionamiento, los equipos requeridos para las mediciones y el análisis de los resultados obtenidos.

En el capítulo séptimo se realiza el análisis económico y financiero. Se establecen los costos de los materiales, equipos, mano de obra e insumos. Se realizan dos análisis financieros para determinar la tasa de retorno y el plazo de la inversión realizada.

Finalmente, el octavo capítulo muestra las conclusiones y recomendaciones respecto al presente proyecto. Además se presenta material anexo, entre lo que se destaca la información técnica de los equipos que conforman al sistema y del sistema en sí.

NOMENCLATURA

Símbolo	Parámetros	Unidades
g	Aceleración de la gravedad	m/s ²
h	Altura	m
A	Área de sección transversal	m ²
Ac	Área total de convección	m ²
ha	Cabeza de energía añadida	m
hf	Cabeza de energía perdida	m
Q _x	Calor por conducción	J
Q _c	Calor por convección	J
Q	Caudal (Rapidez de flujo de volumen)	LPM, GPM
K	Coefficiente de conducción térmica	W/m·°C
β	Coefficiente de expansión volumétrico	1/K
k	Coefficiente de pérdidas	[]
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección	W/m ² ·°C
U	Coefficiente global de transferencia de calor	W/m ² ·°C
ρ	Densidad	Kg/m ³
φ	Diámetro	mm
e	eficiencia	%
f	Factor de fricción	[]
dT/dx	Gradiente de temperatura	°C/m
HPS	Horas pico solar	horas
H	Irradiación	W·h/m ²
I	Irradiancia	W/m ²
L	Longitud	m

Símbolo	Parámetros	Unidades
Leq	Longitud equivalente	m
Gr	Número de Grashof	[]
Nu	Número de Nusselt	[]
Pr	Número de Prandtl	[]
Re	Número de Reynolds	[]
γ	Peso específico del fluido	N/m ³
cp	Poder calórico	KJ/kg·°C
P	Potencia	W
Wp	Potencia pico	W
rc	Radio crítico de aislamiento	mm
ro	Radio externo	mm
ri	Radio interno	mm
R _T	Resistencia térmica	m ² ·°C/W
ϵ	Rugosidad relativa	M
Ti	Temperatura de la superficie interna	°C
To	Temperatura de la superficie externa	°C
v	Velocidad promedio de flujo	m/s
μ	Viscosidad cinemática	m ² /s
η	Viscosidad dinámica	Pa·s

Siglas	Significado
ADRS	Agricultura y desarrollo rural sostenibles
DAQ	Dispositivo de adquisición de datos
ESFV	Energía solar fotovoltaica
CMV	Modo común de voltaje

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por la humanidad desde tiempos remotos, en especial la energía solar, eólica e hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía del sol, son claros ejemplos de ello.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se fueron abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo; y se utilizaron cada vez más los motores térmicos y eléctricos. Esto ocurrió en una época en la cual el escaso consumo no hacía prever un agotamiento de las fuentes energéticas ni los problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de 1970, las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y por su proyección garantizada hacia el futuro; a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación, como por su menor

impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas.¹

En 1991 la FAO estableció un marco de la agricultura y desarrollo rural sostenibles (ADRS) como parte de su mandato de mejorar las condiciones de las poblaciones rurales y la productividad agrícola. Este documento se basa en la ordenación y la conservación de recursos naturales y la orientación del cambio tecnológico e institucional de modo tal que se asegure la continua satisfacción de las necesidades humanas para las generaciones presentes y futuras. El desarrollo viable de sectores agrícola, forestal y pesquero; la conservación de la tierra, el agua y los recursos vegetales y animales; el cuidado del medio ambiente; y la factibilidad técnica, económica y social son los pilares para el ADRS.

Dentro de este marco, el aprovechamiento de la energía solar es una de las alternativas más efectivas. Las instalaciones fotovoltaicas domésticas se han convertido en una de las fuentes de energía más atractivas en zonas rurales y han permitido el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Entre las actividades que se realizan en estas regiones se destacan el riego de agua para agricultura y ganadería, así como el aprovechamiento de agua para uso doméstico. De éste modo, una de las aplicaciones con mayor futuro en la actualidad es la implementación de sistemas de bombeo fotovoltaico². Dentro de las principales características de uno de éstos es su tamaño relativamente pequeño, su fiabilidad y el hecho de no requerir de combustibles para su funcionamiento.

Los sistemas solares de bombeo están diseñados para el suministro de agua y riego en áreas retiradas donde no se dispone de una fuente de energía convencional, o ésta no es fiable. El agua puede ser bombeada durante el día y almacenada en tanques, con lo que estará disponible tanto durante la noche

¹ es.wikipedia.org

² GUASUMBA, José; Energía Solar Fotovoltaica y Cooperación al Desarrollo, página 128.

como con cielo nublado. La capacidad de almacenar el agua elimina la necesidad de baterías en el sistema. Esta configuración del sistema le da una característica más fiable y económica.

En el Ecuador existen pocas instituciones que ofertan dispositivos que funcionan a partir de la energía solar. La gente que se podría beneficiar de su aplicación no cae en cuenta de que el gasto inicial en un sistema, como el de bombeo fotovoltaico, es el más oneroso ya que no se requiere de mayor mantenimiento ni de insumos extras luego de su instalación. Otro factor que impide un mayor interés en la implementación de tales sistemas es el bajo costo de combustibles y de energía eléctrica, los cuales son subsidiados por el Gobierno.

Dentro de las empresas que trabajan en el país y que ofertan equipos para aprovechar energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, se destacan:

- Isoequinoccial (Isofotón)
- Corporación para el Desarrollo Sostenible CODESO
- Enersus
- Ingeniería solar

El presente Proyecto de Grado se sustenta en proyectos ejecutados en el DECEM:

- Mejoramiento de la eficiencia de un panel fotovoltaico de 43 Wp.
- Sistema de rotación de panel fotovoltaico.
- Estudio de radiación para proyectos de calentamiento solar de agua.
- Factibilidad técnica para la implementación de una central fotovoltaica para el Laboratorio de Mecatrónica.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el país, no existe mayor interés en aprovechar las energías renovables, como la energía solar fotovoltaica. Los niveles de contaminación atmosférica de las ciudades van en aumento debido a las emisiones de gases de

combustión. Una de estas fuentes contaminantes son las generadoras termoeléctricas.

Por otro lado, en las zonas rurales es común la carencia de servicio público de energía eléctrica, debido a su lejanía. Estas comunidades requieren de una fuente alternativa de energía, como la solar, especialmente para uso personal y sus actividades agrícolas y ganaderas.

Por lo tanto, el presente proyecto tiene como fin la utilización de energía solar fotovoltaica como alternativa de fuente de electricidad para uso rural y el aprovechamiento de energía limpia, enfocándose principalmente en el bombeo de agua a través de dicha fuente.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Diseñar y construir una instalación de bombeo con energía solar fotovoltaica para aplicaciones académicas de los alumnos de Pre y Post Grado del Departamento Ciencias y Energía Mecánica.

1.3.2 Específicos

- Realizar el diseño de una instalación de bombeo fotovoltaica y del sistema de adquisición de datos.
- Verificar la factibilidad técnica y económica de la aplicación del bombeo fotovoltaico.
- Fomentar el desarrollo de la energía solar fotovoltaica en aplicaciones académicas.

- Contribuir con la mejora ambiental al utilizar una energía limpia, inagotable y no contaminante.

1.4 ALCANCE

Dotar al Departamento de Ciencias y Energía Mecánica de un equipo demostrativo de bombeo con energía solar fotovoltaica, con registro de datos automático, para aplicaciones académicas.

Con el desarrollo del presente proyecto, se pretende motivar a futuras generaciones a realizar investigaciones y proyectos que se fundamenten en la utilización de energía solar.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La situación que se vive en nuestro planeta debido a la contaminación producida por la utilización de energía generada de combustibles fósiles, ha obligado a tomar alternativas como las energías renovables para reducir en cierta medida el daño ecológico causado.

El aprovechamiento de la energía solar es una de las opciones para detener y mitigar los daños que la sociedad ha causado y causa en la naturaleza, es por eso que se requiere de equipos y sistemas en los cuales se implementen las diferentes aplicaciones de la energía solar, entre las cuales se encuentra el bombeo fotovoltaico.

En base a los criterios mencionados en los párrafos anteriores, es que se fundamenta la decisión de construir un equipo que funcione a través de energía solar fotovoltaica, con el propósito de fomentar la investigación dentro del campo de las energías limpias.

La importancia en desarrollar un sistema de bombeo fotovoltaico es demostrar que sus aplicaciones están a nuestro alcance y comprobar que este tipo de sistema posee la factibilidad económica para poder implementarse dentro de cualquier ámbito industrial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 UNIDADES

Algunas de las unidades utilizadas en el presente texto, referidas al aprovechamiento de la energía solar, son las siguientes:

Tabla 2.1 Unidades relacionadas al aprovechamiento de energía solar

Magnitud (Símbolo)	Significado	Unidades
Horas pico solar (HPS)	Es el tiempo en horas de una hipotética irradiación solar constante de 1000 W/m^2	h
Irradiación (H)	Es la cantidad de radiación recibida por una superficie por unidad de área durante un determinado período	$\text{W}\cdot\text{h/m}^2$
Irradiancia (I)	Es el flujo radiante que incide sobre una superficie por unidad de área	W/m^2
Potencia Pico Fotovoltaica (Wp)	Se define como la máxima potencia eléctrica que un elemento fotovoltaico puede generar bajo las siguientes condiciones estándares de medida: – Irradiación: 1000W/m^2 – Temperatura: 25°C	W

2.2 CONCEPTOS

- **Energías renovables:** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables.
- **Energía solar:** Es la energía producida por el sol y que es convertida a energía útil por el ser humano, ya sea para calentar algo o producir electricidad.
- **Bombeo fotovoltaico:** Es un sistema que a través de paneles fotovoltaicos tiene como objetivo bombear agua en aquellas zonas donde no se dispone de suministro de electricidad de la red convencional.
- **Radiación directa:** Radiación que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.
- **Radiación dispersa o difusa:** Radiación emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres.
- **Sistema fotovoltaico:** Es una fuente de potencia eléctrica en la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad DC.
- **Albedo:** Radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales.
- **Superficie reflectante:** Superficie que no absorbe la radiación, sino que la refleja y cambia su dirección en el espacio.
- **Célula fotovoltaica:** Es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio.

- **Módulo fotovoltaico:** Es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas.
- **Generador fotovoltaico:** Conjunto de módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación.
- **Fluido:** Es una sustancia que fluye porque las partículas que lo componen no se encuentran unidas de forma rígida.
- **Flujo laminar:** Régimen de flujo en el cual el fluido se mueve de forma uniforme y regular.
- **Flujo turbulento:** Régimen de flujo que se caracteriza por el movimiento irregular de las partículas del fluido.
- **Pérdidas:** Es una medida de la disminución de la cabeza total de energía de un fluido en un sistema.
- **Bomba:** Dispositivo que cumple la función de generar el movimiento de los fluidos desde un punto a otro del proceso.
- **Conducción:** Es la transferencia de calor debido al movimiento de las moléculas de un cuerpo como consecuencia de la diferencia de temperatura.
- **Convección:** Es el proceso de transferencia de calor entre un sólido y un fluido en movimiento o en reposo alrededor del mismo.
- **Aislante:** Material cuya principal característica física es su baja conductividad térmica.

2.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

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. La tierra intercepta aproximadamente 1.7×10^{14} kW, de tal manera que la tierra es efectivamente un gran colector solar.

La energía solar es directa o indirectamente el origen de todas las fuentes de energía que hoy disponemos, exceptuando la energía nuclear, geotérmica y maremotríz. Los combustibles fósiles son energía solar acumulada en forma de energía química. Otras formas de energía como la hidro-energía, la energía del viento y la biomasa son formas de la energía solar.

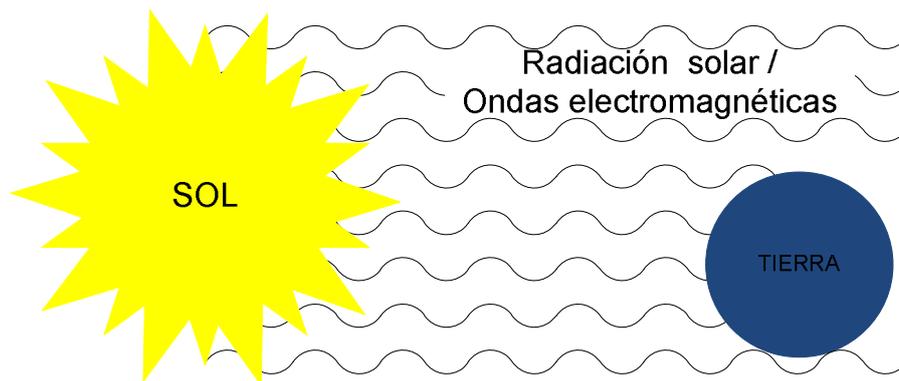


Figura 2.1 Radiación solar

La energía solar tiene una serie de ventajas:

- Es inagotable.
- No es contaminante.
- Es un sistema de aprovechamiento de energía 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 ($< 1 \text{ kW/m}^2$), 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 variaciones meteorológicas, fuera del control del hombre.
- Los equipos necesarios para utilizar la energía solar requieren de inversiones iniciales elevadas, comparadas con las que se 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 la 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 la cual las celdas solares transforman la energía solar directamente en electricidad DC. 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 tóxicas, contaminación ambiental ni polución electromagnética. Su confiabilidad es entonces elevada y se emplean 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 operación autónoma o funcionamiento en sistemas híbridos o alternativamente con sistemas de generación convencionales. También pueden operar aislados de redes o

interconectados a ellas. La capacidad de los dispositivos fotovoltaicos varía desde algunos mWp hasta decenas de MWp.

2.3.1 Fuentes de energía³

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

La energía solar que en un año llega a la tierra a través de la atmósfera es de tan sólo aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la tierra fuera de la atmósfera y, de ella, el 70% cae en los mares. Sin embargo, la energía que queda, de $1,5 \times 10^{17}$ kWh, que en un año cae sobre la tierra firme, es igual a varios miles de veces el consumo total energético mundial actual.

La radiación solar recogida fuera de la atmósfera sobre una superficie perpendicular a los rayos solares es conocida como constante solar y es igual a 1353 W/m^2 , variable durante el año un $\pm 3\%$ a causa de la elipticidad de la órbita terrestre.

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

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

³ Tomado de la fuente de internet: <http://www.cec.eu.es/>

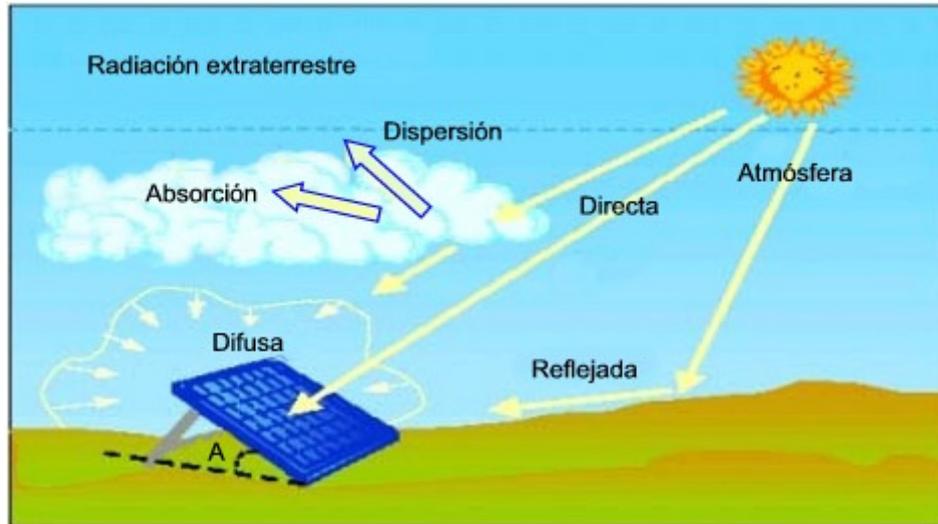


Figura 2.2 Tipos de radiación en la superficie

Una superficie inclinada puede recibir, además, la radiación reflejada por el terreno o por espejos de agua o por otras superficies horizontales, fenómeno conocido como albedo.

Las proporciones de radiación directa, dispersa y albedo recibida por una superficie dependen:

- De las condiciones meteorológicas (de hecho, en un día nublado la radiación es prácticamente dispersa en su totalidad; en un día despejado con clima seco predomina, en cambio, la componente directa, que puede llegar hasta el 90% de la radiación total).
- De la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal (una superficie horizontal recibe la máxima radiación dispersa si no hay alrededor objetos a una altura superior a la de la superficie y la mínima reflejada).
- De la presencia de superficies reflectantes (debido a que las superficies claras son las más reflectantes, la radiación reflejada aumenta en invierno por efecto de la nieve y disminuye en verano por efecto de la absorción de la hierba o del terreno).

En función del lugar, además, varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar: la orientación al sur, de hecho, maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año, las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23.5° de la dirección de los rayos solares respecto a la perpendicular a la superficie de recogida.

2.3.2 Conversión de energía

Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada banda de valencia. Cuando se aplica un cuanto de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada banda de conducción. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso.

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

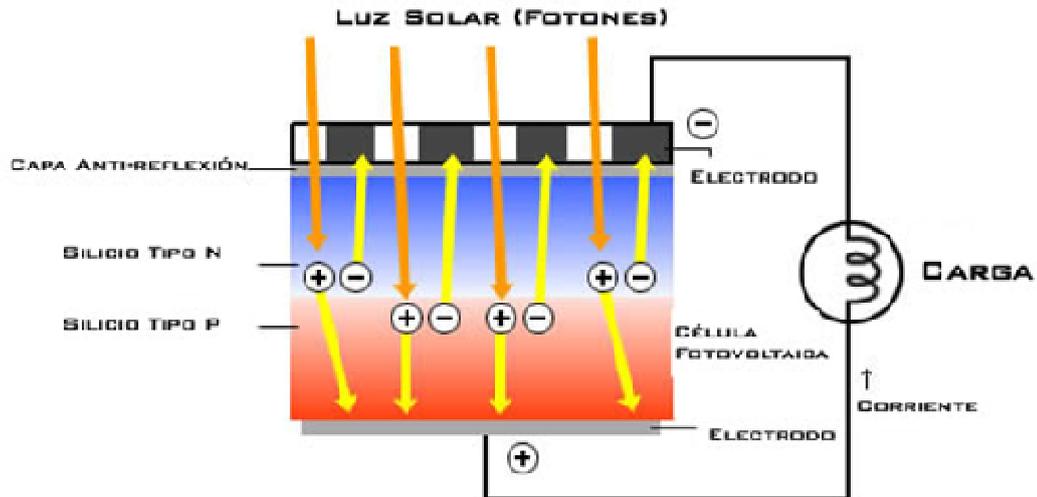


Figura 2.3 Conversión de energía en la célula

La estructura típica de una célula solar es una unión p-n similar a los diodos semiconductores, pero no necesariamente la única posible. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor.

2.3.3 Materiales y dispositivos⁴

Célula fotovoltaica

La conversión de la radiación solar en corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, la cual es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio.

Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre 0,25 y 0,35 mm, tiene una forma generalmente cuadrada con una superficie aproximadamente igual a 100 cm².

⁴ Tomado de la fuente de internet: <http://www.cecu.es/>

Para la realización de las células, el material más utilizado es el silicio utilizado por la industria electrónica, cuyo proceso de fabricación presenta costes muy altos, no justificados por el grado de pureza requerido para la célula fotovoltaica, que son inferiores a los necesarios en electrónica.

Otros materiales para la realización de las células solares son:

- Silicio Mono-cristalino: de rendimiento energético hasta 15 - 17 %;
- Silicio Poli-cristalino: de rendimiento energético hasta 12 - 14 %;
- Silicio Amorfo: con rendimiento energético menor del 10 %;
- Otros materiales: Arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, telurio de cadmio;

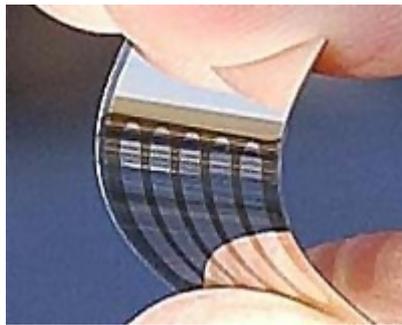


Figura 2.4 Célula fotovoltaica

Actualmente, el material más utilizado es el silicio mono-cristalino que presenta prestaciones y duración en el tiempo superiores a cualquier otro material utilizado para el mismo fin.

Módulos fotovoltaicos

El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²) y constan normalmente de 36 células conectadas eléctricamente en serie.

Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- Potencia de Pico (Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar (Radiación solar = 1000 W/m²; Temperatura = 25 °C).
- Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

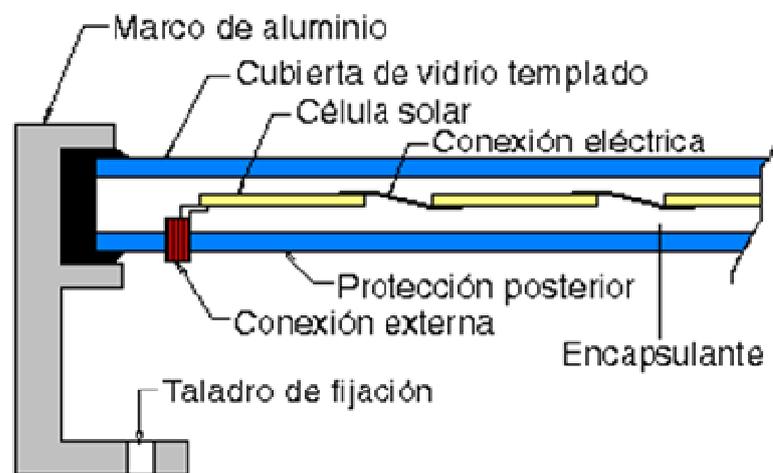


Figura 2.5 Partes de un panel fotovoltaico

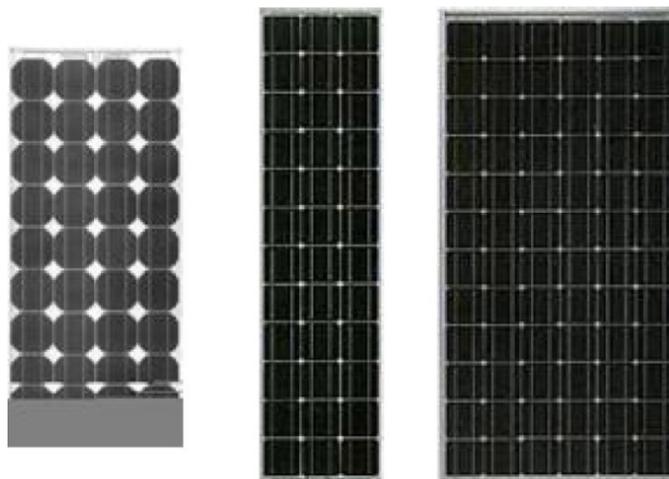


Figura 2.6 Paneles solares fotovoltaicos

Generador fotovoltaico

Está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación.

Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, para obtener la tensión nominal de generación, forman la rama. Finalmente, la conexión eléctrica en paralelo de muchas ramas constituye el campo.



Figura 2.7 Generador fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos que forman el generador, están montados sobre una estructura mecánica capaz de sujetarlos y que está orientada para optimizar la radiación solar.

La cantidad de energía producida por un generador fotovoltaico varía durante el año en función de la insolación de la localidad y de la latitud de la misma. Para cada aplicación, el generador tendrá que ser dimensionado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- carga eléctrica,
- potencia de pico,
- posibilidad de conexión a la red eléctrica,
- latitud del lugar y radiación solar media anual del mismo,
- características arquitectónicas específicas del edificio,
- características eléctricas específicas de la carga.

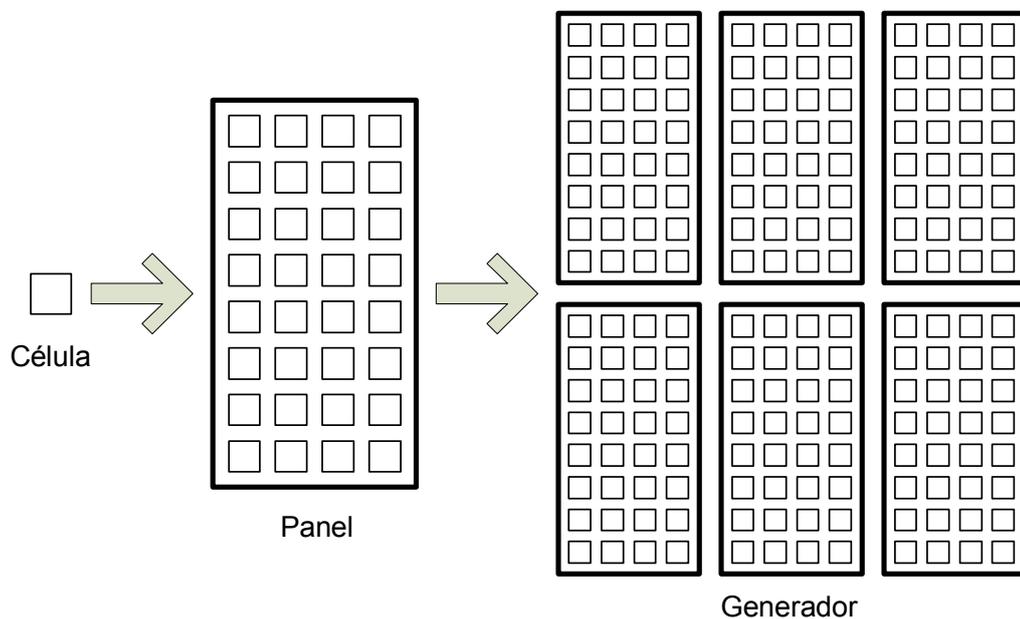


Figura 2.8 Evolución de célula a panel y de panel a generador fotovoltaicos

Sistema fotovoltaico

Se define como sistema fotovoltaico el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar y transformar la energía solar disponible, transformándola en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, se pueden dividir en dos categorías:

- Aislados
- Conectados a la red

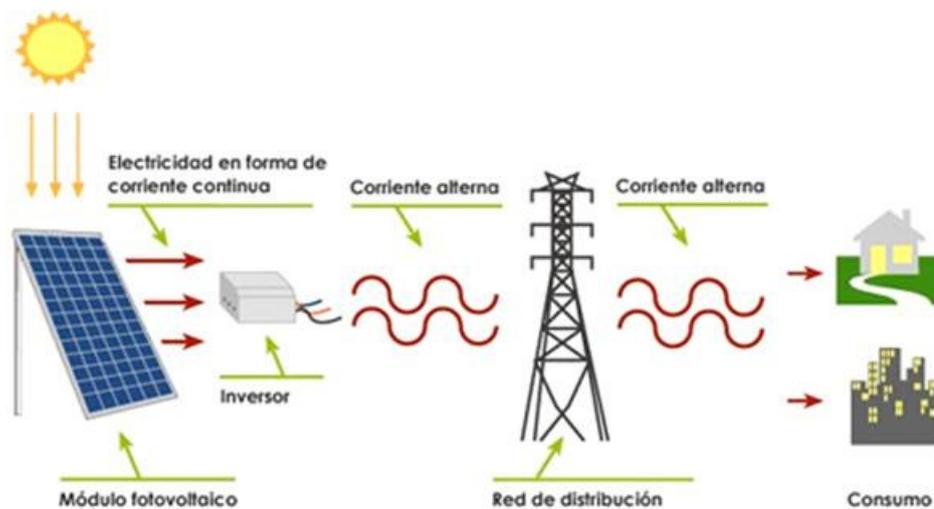


Figura 2.9 Sistema fotovoltaico conectado a la red

La estructura física de un sistema fotovoltaico puede ser muy diferente, pero normalmente se pueden distinguir tres elementos fundamentales:

- El campo fotovoltaico
- Sistema de acondicionamiento de la potencia
- Sistema de adquisición de datos.

2.3.4 Instalaciones

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

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

La potencia de las instalaciones fotovoltaicas se da en Wp, que corresponde a la potencia que dan los módulos a 25°C de temperatura y bajo condiciones de insolación de 1000 W/m². La potencia en Wp del módulo corresponde, aproximadamente, a la potencia máxima que puede generar.

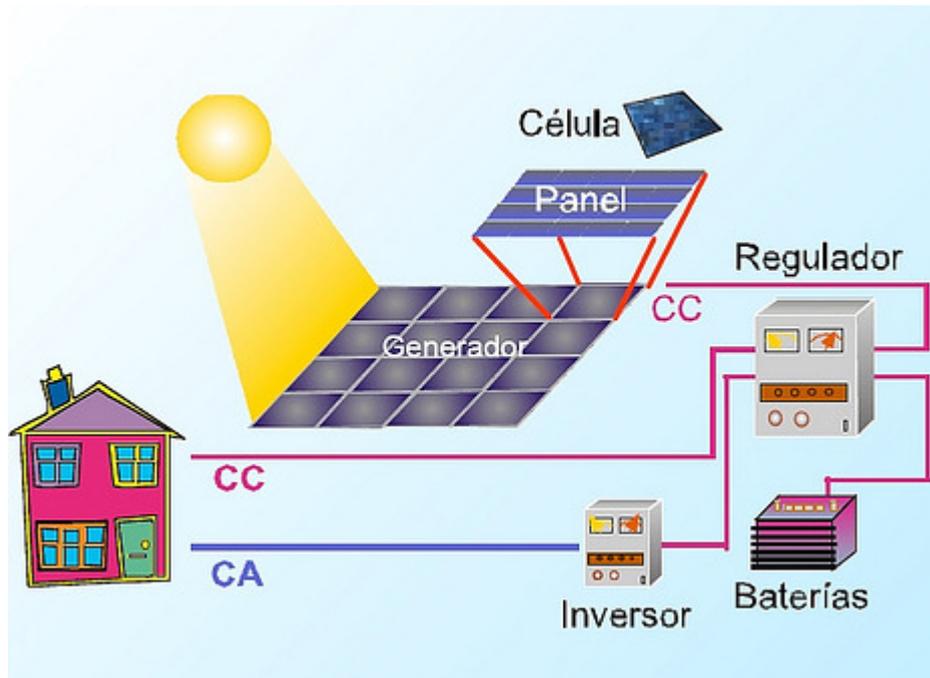


Figura 2.10 Partes de una instalación fotovoltaica

Existen tres rangos de potencia representativos de los distintos tipos de instalaciones de generación FV, además de una cuarta tipología, correspondiente a las centrales:

- Instalaciones pequeñas de 3 kWp como planta tipo (con rango de hasta 5 kW). Son aplicaciones rurales instaladas sobre tejados o azoteas de casas; cubren el consumo propio de una casa tipo medio en al que vivan 2-3 personas.
- Instalaciones medianas de 30kWp como planta tipo (con rango entre 5 y 100kWp). Son generadores en electrificaciones rurales centralizadas, o conectadas a red en edificios, normalmente integrados en la arquitectura de

los mismos, puede cubrir las necesidades eléctricas de diez viviendas medias.

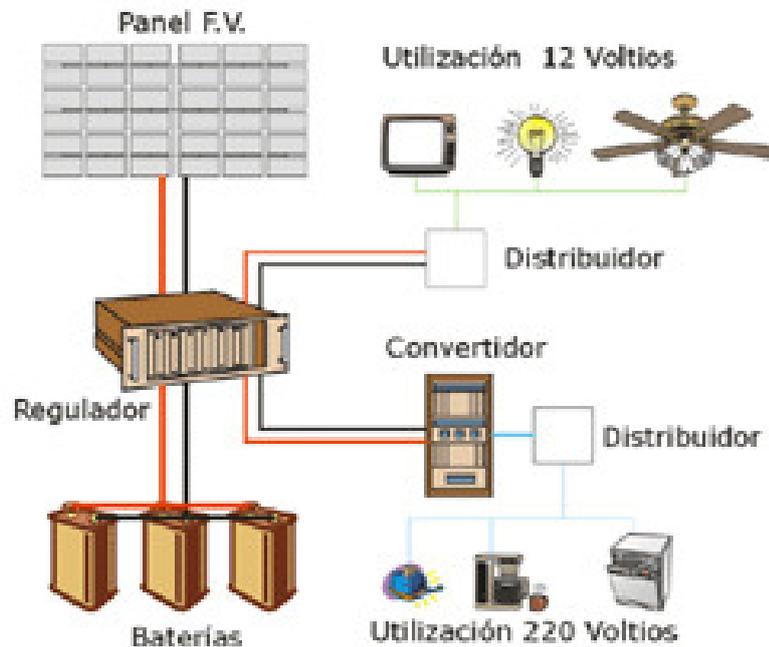


Figura 2.11 Esquema de instalación fotovoltaica pequeña

- Instalaciones grandes de 300kWp como planta tipo (con rango entre 100kW y 1 MWp). Son generalmente instalaciones conectadas a red, de superficies extensas, podrían cubrir el consumo de un edificio de tipo medio.
- Centrales fotovoltaicas de 3 MWp como planta tipo (con rango entre 1 y 50 MWp). Son centrales de generación, promovidas generalmente por empresas, cubre el consumo de una población o urbanización de aproximadamente 500 vecinos.

2.3.5 Alternativas de aprovechamiento⁵

Desde un punto de vista histórico, el motivo de la construcción de las celdas fotovoltaicas fueron los satélites artificiales. La idea era construir un generador eléctrico para alimentar los equipos de toma de datos que llevaban a bordo, que presentara ventajas con respecto a otros generadores como los termoeléctricos y las pilas de combustible. De hecho, las ventajas encontradas en este tipo de generadores fueron: peso reducido, larga vida, ocupación de espacio mínima y nivel de insolación elevado y continuo por estar fuera de la atmósfera terrestre, aunque sus costos eran muy elevados.

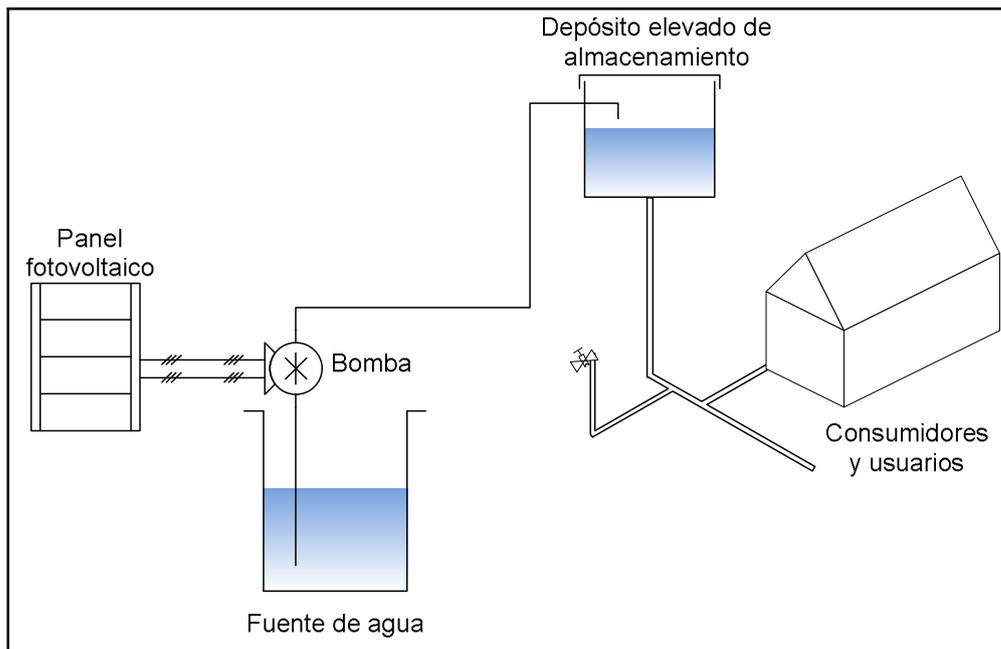
Para aplicaciones terrestres, el factor económico era muy importante si se deseaba tener una aplicación más generalizada y por lo tanto, desde esos años, se inició una tremenda carrera cuya meta era la simplificación y el descubrimiento de nuevas tecnologías, procesos, e investigación de nuevos materiales, que condujeran a un abaratamiento de las células solares y demás componentes del generador fotovoltaico.

Dichos esfuerzos han rendido ya sus frutos y encontramos que en la actualidad existen muchas más aplicaciones de las células solares, las cuales se mencionan brevemente a continuación:

- Electrificación rural y de viviendas aisladas.
- Comunicaciones: transmisión de cualquier tipo de señal o información desde un lugar aislado.
- Ayudas a la navegación: Alimentar eléctricamente faros, boyas, balizas, plataformas y embarcaciones.
- Transporte terrestre: Iluminación, señalización y alimentación de radioteléfonos de emergencia o puestos de socorro.

⁵ Carless Jennifer, Energía Renovable, Editorial Edamex, México, 1995.

- Agricultura y ganadería: Bombeo de agua para riego y alimentación de ganado.
- Aplicaciones en la industria: obtención de metales como cobre, aluminio y plata, por electrólisis.
- Difusión de la cultura: Difusión de información mediante medios audiovisuales alimentados eléctricamente mediante generadores fotovoltaicos.
- Mixtos o híbridos, esto es, adaptar el generador fotovoltaico con otros generadores ya existentes como los eólicos o los generadores diesel.



– **Figura 2.12** Sistema de bombeo ESFV

2.4 HIDRÁULICA⁶

2.4.1 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.

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.

⁶ Mott Robert, MECÁNICA DE FLUIDOS, Editorial Pearson, 6ª edición, México, 2006

2.4.2 Hidrostática

La hidrostática es la rama de la hidráulica, que estudia los fluidos en estado de equilibrio, es decir, sin que existan fuerzas que alteren su movimiento o posición.

Un fluido pesa y ejerce presión sobre las paredes, sobre el fondo del recipiente que lo contiene y sobre la superficie de cualquier objeto sumergido en él. Esta presión, llamada presión hidrostática, provoca, en fluidos en reposo, una fuerza perpendicular a las paredes del recipiente o a la superficie del objeto sumergido sin importar la orientación que adopten las caras. Si el líquido fluyera, las fuerzas resultantes de las presiones ya no serían necesariamente perpendiculares a las superficies. Esta presión depende de la densidad del líquido en cuestión y de la altura a la que esté sumergido el cuerpo y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$p = \rho gh \quad (2.1)$$

Donde: p presión hidrostática; ρ densidad del líquido; g aceleración de la gravedad; h altura del fluido

Un líquido en equilibrio ejerce fuerzas perpendiculares sobre cualquier superficie sumergida en su interior.

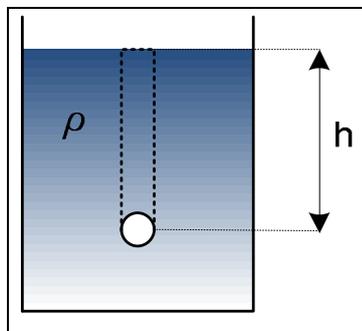


Figura 2.13 Presión hidrostática

En física, el principio de Pascal es una ley que postula que el incremento de presión aplicado a una superficie de un fluido incompresible, contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo.

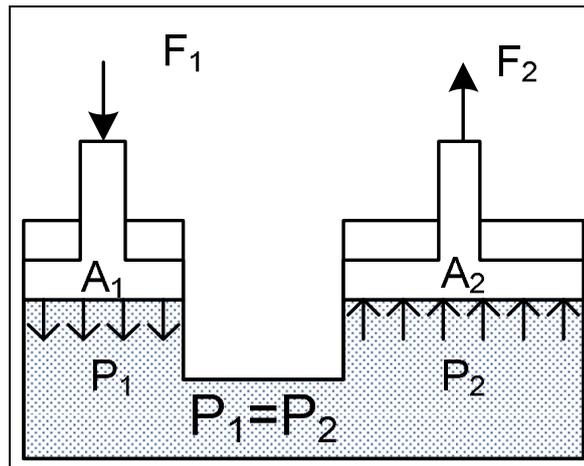


Figura 2.14 Principio de Pascal

Es decir que si en el interior de un líquido se origina una presión, ésta se transmite con igual intensidad en todas direcciones y sentidos.

Puede ser interpretado como una consecuencia de la ecuación fundamental de la hidrostática y del carácter altamente incompresible de los líquidos. En esta clase de fluidos la densidad es prácticamente constante, de modo que de acuerdo con la ecuación:

$$p = p_o + \rho gh \quad (2.2)$$

Donde: p presión hidrostática; p_o presión sobre la superficie libre del fluido; ρ densidad del líquido; g aceleración de la gravedad; h altura del fluido.

2.4.3 Conceptos básicos del movimiento de los fluidos

2.4.3.1 Ecuación de la continuidad

La cantidad de flujo que fluye en un sistema por unidad de tiempo, es posible expresarlo mediante los siguientes términos:

- Q Rapidez de flujo de volumen
- W Rapidez de flujo de peso
- M Rapidez de flujo de masa

En la Hidráulica, el término más importante por ser el de mayor uso es el de *rapidez de flujo de volumen*, que se refiere al volumen del flujo de fluido que pasa por una sección por unidad de tiempo y se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = Av \quad (2.3)$$

Donde: Q rapidez de flujo de volumen; A área de la sección transversal; v velocidad promedio del flujo.

La *rapidez de flujo de peso* W y la *rapidez de flujo de masa* M están relacionadas con la *rapidez de flujo de volumen* mediante las siguientes ecuaciones:

$$W = \gamma Q$$

$$M = \rho Q = \rho Av$$

Donde: γ peso específico del fluido; ρ densidad de fluido.

El método para calcular la velocidad de flujo de un fluido en un sistema de conductos cerrados depende del principio de continuidad. Si se considera la figura 2.15, el fluido fluye de la sección 1 a la sección 2 con una rapidez constante; es decir que la cantidad de fluido que pasa por cualquier sección en un tiempo dado es la misma, lo cual se puede expresar en términos de rapidez de flujo de masa como:

$$M_1 = M_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

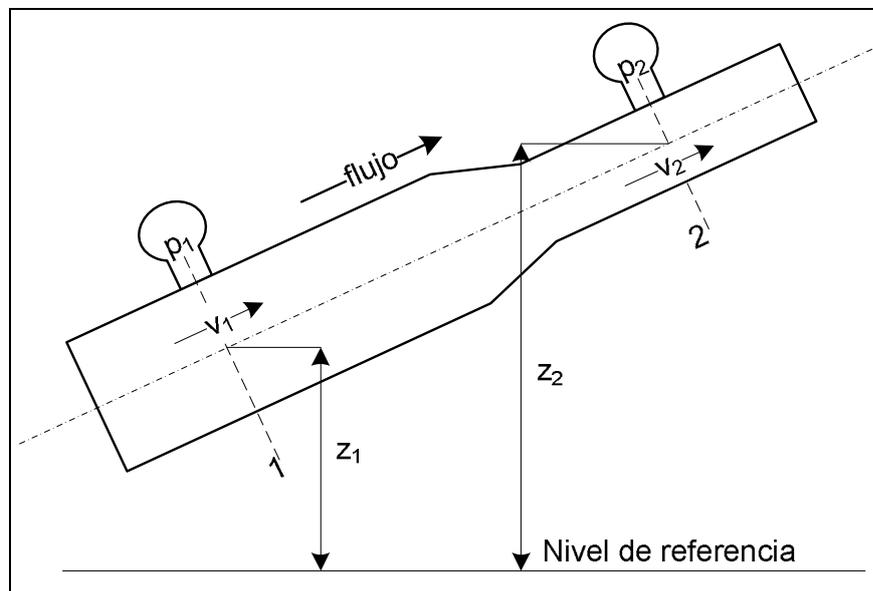


Figura 2.15 Flujo en tuberías

Si el fluido que se encuentra en el sistema es incompresible, entonces su densidad no varía, obteniéndose así la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ Q_1 &= Q_2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Siendo esta última expresión la ecuación de continuidad aplicada para líquidos.

2.4.3.2 Ecuación de Bernoulli

La energía no puede ser creada ni destruida, sino que puede transformarse de un tipo a otro. El caso de los fluidos no es la excepción y cuando se trata de flujo en conductos hay tres tipos de energía que hay que tomar siempre en consideración:

- *Energía potencial.*- debido a su elevación, la energía potencial del elemento con respecto de algún nivel de referencia es (siendo w el peso del elemento):

$$PE = wz$$

- *Energía cinética.*- debido a su velocidad, la energía cinética de un elemento es:

$$KE = \frac{wv^2}{2g}$$

- *Energía de flujo.*- se la conoce como energía de presión o trabajo del fluido, representa la cantidad de trabajo necesario para mover el elemento del fluido a través de una sección en contra de la presión p , se la calcula de la siguiente manera:

$$FE = \frac{wp}{\gamma}$$

La energía total del fluido sería la suma de su energía potencial, energía cinética y energía de flujo, referidas a un mismo punto e instante. La ecuación de Bernoulli se basa en la conservación de la energía, es decir que la energía total del fluido en un punto debe ser igual a la energía total del fluido en otro punto, así se plantea lo siguiente:

$$E_1 = E_2$$

$$PE_1 + KE_1 + FE_1 = PE_2 + KE_2 + FE_2$$

$$wz_1 + \frac{wv_1^2}{2g} + \frac{wp_1}{\gamma} = wz_2 + \frac{wv_2^2}{2g} + \frac{wp_2}{\gamma}$$

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (2.4)$$

Esta es la expresión de la ecuación de Bernoulli, siendo las expresiones parciales conocidas como *cabezas*: de elevación, de velocidad y de presión respectivamente.

2.4.3.3 Ecuación general de la energía

La ecuación de Bernoulli tiene cuatro restricciones para su uso:

1. Los fluidos deben ser incompresibles.
2. No puede haber dispositivos mecánicos entre los puntos analizados.
3. No se considera pérdidas de energía debidos a la fricción.
4. No puede haber transferencia de calor desde o hacia el fluido.

En Hidráulica, la ecuación general de la energía considera los efectos de tener dispositivos mecánicos en el sistema y las pérdidas de energía debido al rozamiento.

El efecto que tienen los dispositivos mecánicos en un sistema de flujo se dividen en dos tipos, unos entregan energía al fluido y otros por el contrario reciben energía del mismo.

Por ejemplo, una bomba es un elemento que entrega energía a un fluido y, por otro lado, un motor hidráulico y una turbina, son equipos que reciben energía del fluido.

Un fluido en movimiento ofrece una resistencia de fricción al flujo. Parte de la energía del sistema se convierte en energía térmica, la cual se disipa por las

paredes del conducto que contiene al fluido. La magnitud de la pérdida de energía depende de las propiedades del fluido, la velocidad de flujo, el tamaño del conducto, y la longitud del mismo.

Los dispositivos que controlan la rapidez de flujo y la dirección del mismo, como válvulas y conectores, también generan pérdidas de energía por calor, pero son en magnitud menor que las pérdidas por fricción en conductos.

La energía añadida se simboliza como h_a , la energía retirada como h_r y la energía perdida como h_l . Manteniendo el principio de conservación de energía, estas expresiones se añaden a la ecuación de Bernoulli de la siguiente manera:

$$E'_1 + h_a = E'_2 + h_l + h_r$$

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_a = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_l + h_r$$

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_a - h_l - h_r = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (2.5)$$

Es muy importante que la ecuación general de energía se encuentre escrita en la dirección del flujo, es decir, del punto de referencia uno a la parte izquierda de la ecuación y el segundo punto referencial correspondiente a lado derecho de la misma.

Potencia requerida por la bomba

La potencia se define como la rapidez a la que se realiza un trabajo. En la mecánica de fluidos se modifica dicho enunciado y se considera que la potencia es la rapidez con la que se transfiere la energía. La potencia se calcula con la multiplicación de la cabeza de energía añadida por el flujo en peso del fluido.

$$P_A = h_A W$$

$$P_A = h_A \gamma Q \quad (2.6)$$

Donde: P_A Potencia que se entrega al fluido; h_A cabeza de energía añadida; γ peso específico del fluido; Q caudal.

2.4.4 Análisis de flujo en tuberías

El flujo de un fluido puede clasificarse en dos grupos: laminar y turbulento. Es necesario conocer el tipo de régimen de flujo para el diseño y operación de cualquier sistema. La cantidad de fricción del fluido, que permite conocer la cantidad de energía necesaria para mantener una rapidez de flujo deseada en un sistema, depende del tipo de flujo. Dentro del análisis de los procesos de transferencia de calor también se requiere conocer el régimen de flujo.

El régimen de flujo puede determinarse mediante la evaluación del número de Reynolds. Este parámetro es un número adimensional producto de la relación de distintas características físicas del flujo y su ecuación es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho v \varphi}{\mu g} \quad (2.7)$$

Donde: Re Número de Reynolds; ρ densidad del fluido; v velocidad media de flujo; φ diámetro de la tubería; μ viscosidad dinámica del fluido; g gravedad.

Si el valor obtenido del número de Reynolds es menor a 2000, corresponde a flujo laminar; si toma un valor mayor a 3500, entonces se refiere a un régimen turbulento; y si Re está en el intervalo entre 2000 y 3500, se conoce como flujo en transición.

El número de Reynolds sirve para determinar el factor de fricción. En forma práctica, se utiliza el Diagrama de Moody; en el cual se ingresa con el valor Re y según el tipo de flujo y la rugosidad de tubería se puede determinar fácilmente el factor de fricción.

2.4.4.1 Flujo laminar

Se refiere al régimen de flujo en el cual el fluido se mueve de forma uniforme y regular. Se considera que el fluido fluye en capas, es decir que cada partícula sigue su camino sin interferir con otras.

La velocidad de flujo del fluido no es la misma en toda la sección del tubo, por lo cual se considera un perfil de velocidad. En el caso del régimen laminar, se considera una distribución parabólica, teniendo la velocidad máxima en el centro del tubo y cuyo valor es aproximadamente el doble al de la velocidad promedio de flujo.

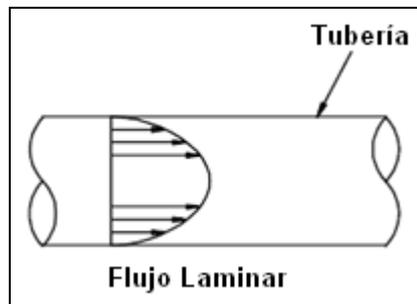


Figura 2.16 Flujo laminar - Perfil de velocidad

2.4.4.2 Flujo turbulento

Este régimen de flujo se caracteriza por el movimiento irregular de las partículas del fluido. Es imposible observar que el movimiento sea uniforme, regular y por capas.

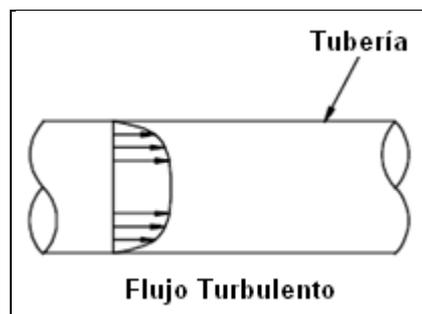


Figura 2.17 Flujo turbulento - Perfil de velocidad

El perfil de velocidad del fluido en flujo turbulento muestra que casi en toda la sección las partículas tienen la misma velocidad, esto se debe al continuo choque entre las moléculas del fluido, es decir que el movimiento caótico produce una homogeneización de la velocidad. En las zonas cercanas al tubo, el comportamiento es más parecido al flujo laminar, por lo cual se le conoce como capa frontera.

2.4.5 Pérdidas

Las pérdidas o cabeza de pérdidas es una medida de la disminución de la cabeza total de energía de un fluido en un sistema. No es posible omitir su presencia en la mayoría de análisis. Su existencia se debe a la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería, a la fricción entre las partículas del mismo fluido y a la turbulencia causada por accesorios como válvulas y codos.

La pérdida por fricción es la parte de la cabeza de pérdidas debido al flujo del fluido a través de líneas continuas y rectas de tubería. Es directamente proporcional al factor de fricción f , al cuadrado de la velocidad de flujo v^2 , a la longitud total del tubo L , y es inversamente proporcional al diámetro de la tubería φ :

$$h_l \propto \frac{fv^2L}{\varphi}$$

El factor de fricción depende del número de Reynolds Re y de la rugosidad relativa de la pared interna del tubo ε/Φ . Con estos dos parámetros se ingresa en el Diagrama de Moody para conocer el valor de tal factor.

Otra forma de calcular la cabeza de pérdidas es aplicando la ecuación de Darcy en función de la longitud del tubo:

$$h_l = \frac{fLv^2}{2g\varphi} \quad (2.8)$$

Las pérdidas que ocurren en accesorios y válvulas se conocen como pérdidas menores. Se las puede calcular mediante la ecuación de Darcy para pérdidas menores, en la cual se incluye el coeficiente de pérdidas k , el cual es tabulado en diferentes tablas:

$$h_l = \frac{kv^2}{2g} \quad (2.9)$$

2.4.6 Bombas

Las bombas cumplen la función de generar el movimiento de los fluidos desde un punto a otro del proceso. Las técnicas básicas de cálculo de bombas son a través del balance de energía mecánica o ecuación de Bernoulli, ya que la diferencia de temperatura en bombas es moderada.

Los tipos principales de bombas son:

Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas consisten en un rodete montado sobre una carcasa o voluta. El líquido entra en el centro del rodete y es acelerado por el giro de este, la energía cinética del fluido se transforma en energía potencial en la salida.

Los criterios más importantes en la selección de bombas incluyen:

- Condiciones de operación (temperatura y presión)
- Características del fluido (viscosidad, densidad, presión de vapor, o ebullición, propiedades corrosivas, toxicidad, inflamabilidad, limpieza)
- Rango de Capacidad (caudal normal y máximo)
- Condiciones de aspiración (Presión de aspiración, NPSH⁷)
- Presión de descarga (simple o múltiple etapa)
- Prácticas operatorias (continuo, intermitente)

⁷ Siglas en inglés para Altura Neta Positiva en la Succión.

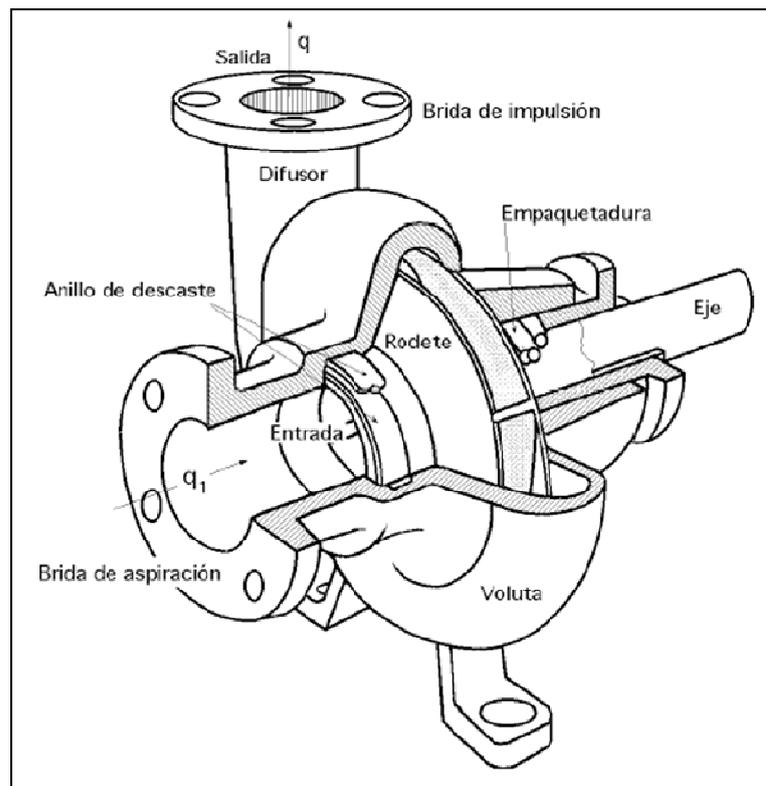


Figura 2.18 Bomba centrífuga

Bombas alternativas

Las bombas alternativas se utilizan para caudales de bajos a moderados, con elevadas alturas manométricas. Consisten fundamentalmente en un pistón y un cilindro, con las apropiadas válvulas de aspiración y descarga.

Se pueden utilizar pistones simples, dobles o triples, así como pistones de doble acción. Poseen motores de velocidad variable o sistemas de recirculación para regular el caudal. Tienen una válvula de seguridad para protección ante una válvula cerrada en descarga.

Bombas rotativas

Son bombas que están provistas de elementos rotativos que dan presión al fluido en el interior de una carcasa proporcionando un caudal sin pulsaciones.

Los tipos de bombas rotativas son:

- Bombas de engranajes externos
- Bombas de engranajes internos
- Bombas de rotor lobular
- Bombas de paletas (deslizantes , oscilantes, flexibles)
- Bombas de husillo simple (estator flexible)
- Bombas de husillo doble
- Bombas de anillo liquido

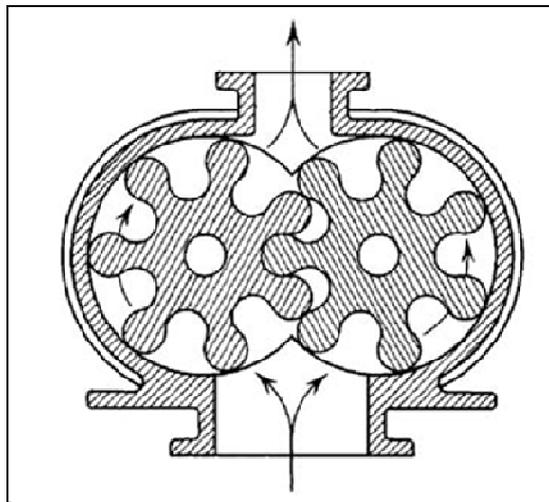


Figura 2.19 Bomba rotativa

Bombas de diafragma

Son bombas alternativas o de pistón en las que el pistón está separado del fluido por un diafragma. Se utilizan para trabajar con fluidos muy corrosivos.

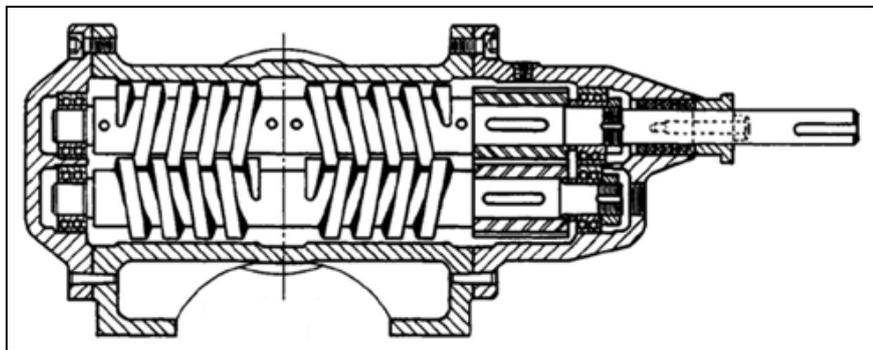


Figura 2.20 Bomba de diafragma

2.5 TRANSFERENCIA DE CALOR

2.5.1 Conducción en tuberías

La conducción térmica es la transferencia de calor debido al movimiento de las moléculas de un cuerpo como consecuencia de la diferencia de temperatura.

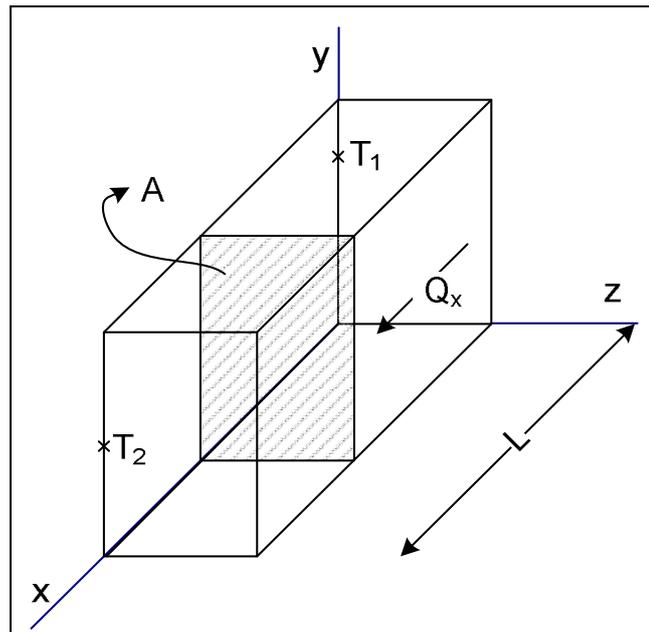


Figura 2.21 Conducción térmica

$$Q_x = -KA \frac{dT}{dx}$$

Donde: Q_x calor por conducción; K coeficiente de conducción térmica; A área transversal; $\frac{dT}{dx}$ gradiente de temperatura.

El coeficiente de conducción térmica K es una propiedad del material, así se tiene que para materiales sólidos este coeficiente es elevado en comparación al referido a líquidos y gases. Es común decir que mientras mayor es el coeficiente de conducción térmica, el material es un mejor conductor de calor por conducción. Esta propiedad del material se puede calcular de forma

experimental, pero para efectos prácticos se asumen valores referidos en tablas.

Conducción en Pared Cilíndrica

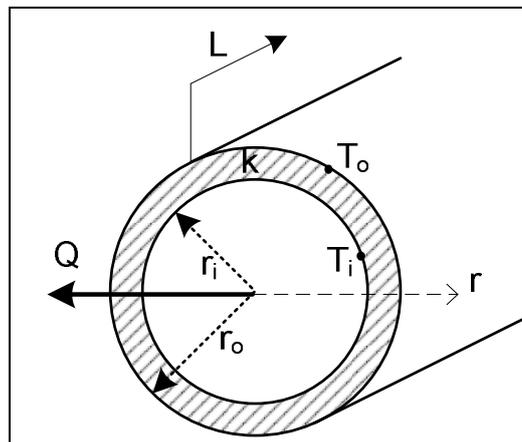


Figura 2.22 Conducción en pared cilíndrica

Para calcular la conducción de calor en una pared cilíndrica es práctico utilizar las coordenadas cilíndricas. Al desarrollar la fórmula de calor se obtiene la siguiente expresión:

$$Q = 2\pi KL \left[\frac{T_i - T_o}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} \right] \quad (2.10)$$

Donde: Q calor por conducción; K coeficiente de conducción térmica; L longitud del cilindro; T_i temperatura de la superficie interna de la pared cilíndrica; T_o temperatura de la superficie externa de la pared cilíndrica; r_i radio interno; r_o radio externo.

Para la solución de problemas de transferencia de calor se utiliza el método de analogía eléctrica, en la cual el calor simboliza la intensidad y la diferencia de temperatura es la diferencia de potencial. El resultado de esto es obtener una

expresión, que en analogía a la resistencia, se la conoce como resistencia térmica y, para el caso de una pared cilíndrica, es igual a:

$$R_T = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi KL} \quad (2.11)$$

2.5.2 Convección en tuberías

Es el proceso de transferencia de calor entre un sólido y un fluido en movimiento o en reposo alrededor del mismo. Por su naturaleza, existen dos tipos: *convección forzada* cuando el fluido tiene velocidad y *convección natural* cuando el fluido se encuentra en reposo. Se debe considerar que no interviene el tiempo en el análisis, es decir que se analiza en un instante determinado. En el proceso de convección se analiza al caloportador (fluido), no a la superficie límite (sólido).

El calor por convección se lo puede calcular mediante la Ley de Newton de enfriamiento:

$$Q_c = hA_c(T_p - T_f) \quad (2.12)$$

Donde: Q_c calor por convección; h coeficiente de transferencia de calor por convección; A_c área total de convección; $T_p - T_f$ potencial de temperatura.

En la convección también se utiliza la analogía eléctrica para la solución de problemas de transferencia de calor, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{1}{hA_c} \quad (2.13)$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección h debe ser calculado, para lo cual se aplican *parámetros adimensionales de la convección y criterios empíricos de la convección*.

Dentro de los principales *parámetros adimensionales de la convección* se tienen:

- Número de Nusselt $Nu = \frac{hD}{k}$ (2.14)
- Número de Reynolds $Re = \frac{wD}{\mu}$
- Número de Prandtl $Pr = \frac{\mu}{\alpha}$ (Tabulado)
- Grashof $Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu}$

Existen diversos *criterios empíricos de la convección* desarrollados en diferentes lugares, así se tienen criterios rusos, ingleses, asiáticos, etc. El hecho de ser empíricos implica que no tienen demostración, pero son aceptados en la práctica.

Uno de los criterios es el de la correlación empírica de Hilpert:

$$Nu = C Re^n Pr^{0,33} \quad (2.15)$$

Re	C	n
0,4 – 4	0,989	0,330
4 – 40	0,911	0,385
40 – 4000	0,683	0,466
4000 – 40000	0,193	0,768
40000 - 400000	0,0266	0,805

Tabla 2.2 Criterios empíricos - Flujo externo

En la tabla 2.3 se indican algunos criterios empíricos como expresiones simplificadas para la convección natural del aire, en la cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$h = A \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^b$$

Superficie	Rango aplicable	A	b	L
Superficies verticales (planos y cilindros)	$10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9$	1,42	1/4	Altura
	$10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$	1,31	1/3	1
Cilindro horizontal	$10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9$	1,32	1/4	Diámetro
	$10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$	1,24	1/3	1
Placa horizontal – lado caliente arriba	$10^5 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$	1,32	1/4	Longitud de lado
	$2 \cdot 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \cdot 10^{10}$	1,51	1/3	1
Placa horizontal – lado caliente abajo	$3 \cdot 10^5 < Gr \cdot Pr < 3 \cdot 10^{10}$	0,6	1/4	Longitud de lado

Tabla 2.3 Criterios empíricos convección natural de aire - Flujo externo⁸

Para flujo turbulento dentro de tubos es posible aplicar la correlación de Dittus - Boelter:

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^n \quad (2.16)$$

Este criterio es válido bajo las siguientes condiciones:

- $n = 0,3$; si el fluido se enfría.
- $n = 0,4$; si el fluido se calienta.
- Se evalúan las propiedades del fluido a su temperatura promedio.
- $Re > 10^4$
- $0,7 < Pr < 100$
- $L/\varphi > 60$

⁸ Welty James, Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, Editorial Limusa, México, 1994, pág. 265.

2.5.3 Pérdidas térmicas por conducción y convección en tuberías

Muchos procesos de transferencia de calor envuelven una combinación de conducción y convección. Por ejemplo, un tubo por donde circula un líquido a cierta temperatura y que se encuentra rodeado por aire a diferente temperatura. En este caso existen dos coeficientes de transferencia de calor por convección, uno interno y otro externo, y además hay la presencia de la conducción de calor mediante la pared cilíndrica del tubo.

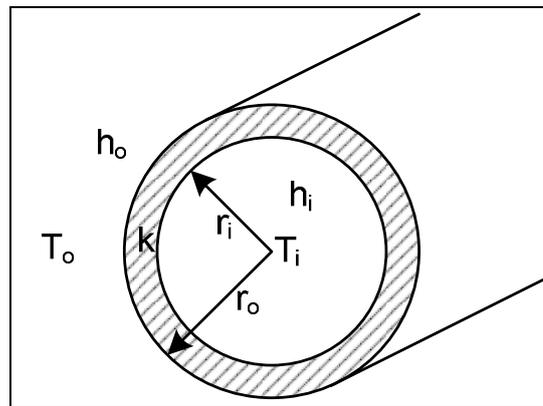


Figura 2.23 Conducción y convección en tuberías

Para estos casos se utiliza el *Coficiente Global de Transferencia de Calor U*, que es otra forma de evaluar el calor total transferido. Este coeficiente es igual al inverso de la suma de resistencias térmicas del sistema analizado:

$$U = \frac{1}{\sum R_T} \quad (2.16)$$

$$\sum R_T = R_i + R_{ac} + R_o \quad (2.17)$$

Donde: R_i resistencia de convección interna al tubo; R_{ac} resistencia térmica de conducción del tubo; R_o resistencia de convección externa al tubo.

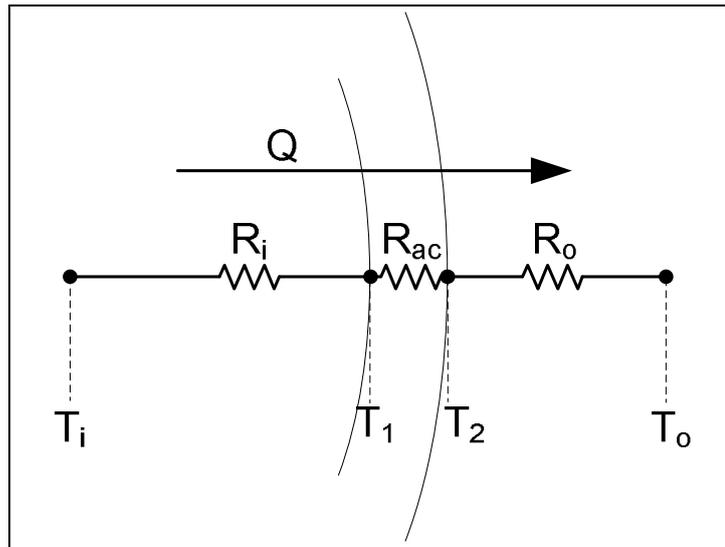


Figura 2.24 Analogía eléctrica

Para el caso del flujo de un fluido en una tubería sencilla se tiene la siguiente expresión para el coeficiente global de transferencia de calor y el calor transmitido:

$$U = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}} \quad (2.18)$$

$$Q = UA(\Delta T) \quad (2.19)$$

2.5.4 Aislamiento de tuberías

Los materiales aislantes son aquellos cuya principal característica física es su baja conductividad térmica, es decir que presentan una mayor dificultad para permitir la transferencia de calor.

La conductividad térmica es bastante parecida entre los materiales aislantes, por lo que no es esta característica la principal diferencia entre ellos. La diferencia radica en sus características físico - químicas. Por lo que se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Las contracciones y dilataciones del aislante.
- Su resistencia al fuego.
- La acción de disolventes y agentes atmosféricos.
- Las sollicitaciones mecánicas.
- Máxima temperatura de empleo.

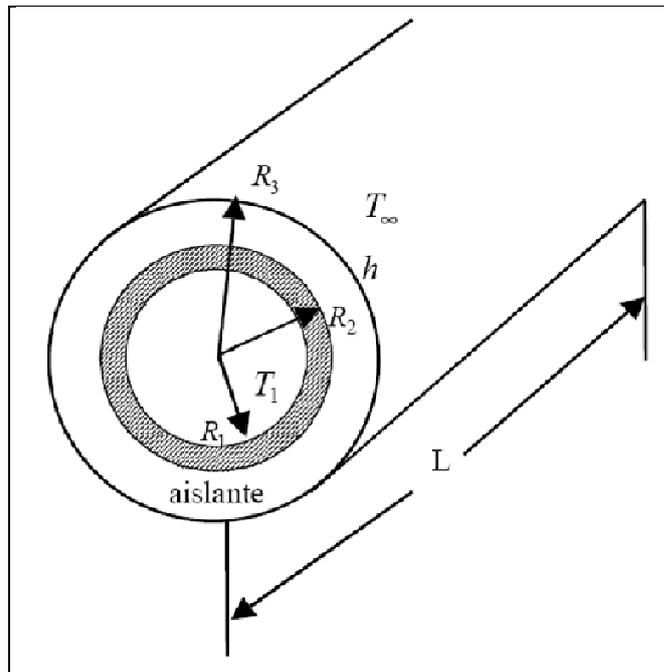


Figura 2.25 Aislamiento de tuberías

El problema en el diseño térmico radica en calcular el espesor adecuado del aislamiento. El radio crítico de aislamiento viene dado por la siguiente ecuación:

$$r_c = \frac{k_a}{h} \quad (2.20)$$

Donde: r_c radio crítico de aislamiento; k_a coeficiente de conducción térmica del aislante; h coeficiente de convección térmica externo.

En la figura 2.26, se observa que si la tubería no tiene aislamiento, se tiene un determinado flujo de calor; si a la tubería desnuda se le agrega un aislante se evidencia que el flujo de calor aumenta, contrario al objetivo buscado, este incremento del flujo de calor sucede hasta que llega a un máximo, cuando el radio del aislante R_3 coincide con el radio crítico de aislamiento r_c . A partir de valores superiores a r_c , el flujo de calor disminuye, tal como se desea.

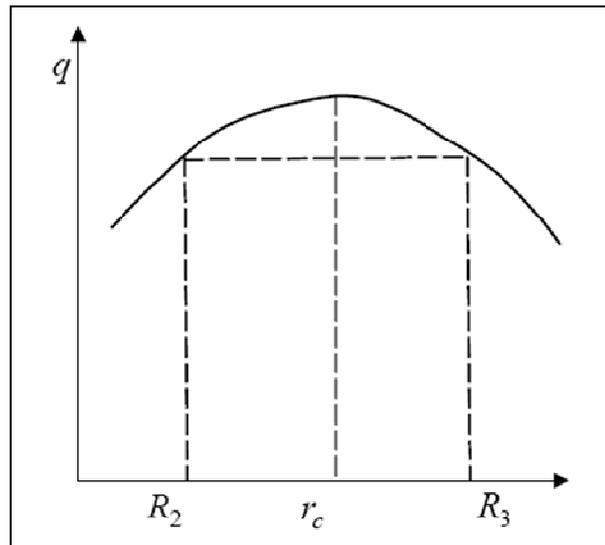


Figura 2.26 Curva Calor vs. Radio de aislamiento

Según lo antes señalado la determinación del radio crítico de aislamiento es de vital importancia para realizar un adecuado aislamiento.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

Como datos y condiciones preliminares para el diseño del equipo de bombeo fotovoltaico para el laboratorio de energía renovables del DECEM se tienen:

- Altura de bombeo de 2 m.
- Caudal requerido entre 5 y 20 lt/min.
- Capacidad de los tanques de 50 litros aproximadamente.
- Fluido de trabajo es agua a temperatura ambiente.
- Un panel fotovoltaico de potencia pico de 43 W.

Datos de irradiación solar en Sangolquí (Latitud 0,33 S).

Para revisar el dato es posible encontrar el valor de radiación promedio que se recibe por unidad de área en un día, referente a Ecuador o más específicamente a Quito.

Según la Base de Datos⁹ Internacional de Irradiación solar se especifica lo siguiente:

- Ecuador Latitud 0,22 S $H = 4,68[kW \cdot h/m^2 \cdot día]$
- Quito Latitud 0,13 S $H = 4,99[kW \cdot h/m^2 \cdot día]$

3.2 ANÁLISIS HIDRÁULICO

Como consideraciones previas al diseño¹⁰ se tiene:

- La tubería es de 1/2" de acero.
- El caudal es igual a 8 lt/min.
- El agua circula a temperatura ambiente 20°C.
- El sistema de bombeo posee la configuración de la figura 3.1:

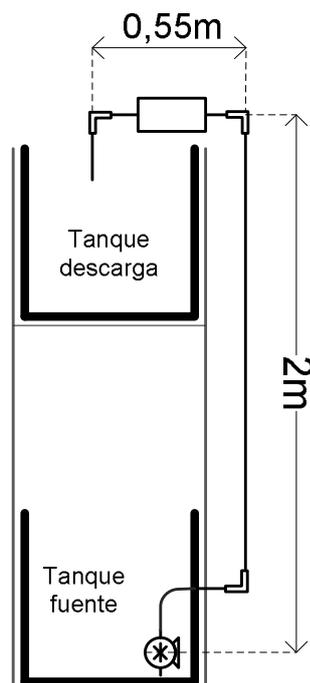


Figura 3.1 Configuración del sistema de bombeo

⁹ www.energy.caeds.eng.uml.edu (UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS LOWELL PHOTOVOLTAIC PROGRAM)

¹⁰ Los parámetros de diseño son estimaciones, es decir que sirven para dimensionar el sistema. El único requerimiento es la altura de 2 metros.

3.2.1 Análisis de pérdidas hidráulicas

Para el sistema a diseñar se deben considerar dos tipos de pérdidas: pérdidas por fricción y pérdidas menores. Las pérdidas hidráulicas del sistema son igual a la suma de las dos anteriores.

Para el cálculo de las pérdidas por fricción se tienen los siguientes datos:

– Datos del fluido

Caudal	$Q = 8[lt/min]$
Temperatura	$T = 20[°C]$
Densidad	$\rho = 998[kg/m^3]$
Viscosidad	$\eta = 1,02 \times 10^{-3}[Pa \cdot s]$

– Datos de la tubería de acero de 1/2"

Diámetro interno	$\phi_i = 15,8[mm]$
Longitud	$Lt = 2,5[m]$
Rugosidad	$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5}[m]$

Como primer paso se calcula la velocidad de flujo:

$$v = \frac{Q}{A}$$
$$v = \frac{1,33 \times 10^{-4}[m^3/s]}{1,96 \times 10^{-4}[m^2]}$$
$$v = 0,68[m/s]$$

Luego se procede a evaluar el Número de Reynolds

$$Re = \frac{v\phi_i\rho}{\eta}$$
$$Re = \frac{0,68[m/s] \cdot 0,0158[m] \cdot 998[kg/m^3]}{1,02 \times 10^{-3}[Pa \cdot s]}$$
$$Re = 10512$$

Con lo cual se tiene un flujo turbulento. Para calcular el factor de fricción f , se requiere conocer el Número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto:

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{\phi_i}{\epsilon}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0158[m]}{4,6 \times 10^{-5}[m]}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 343 \approx 300$$

Al ingresar al Diagrama de Moody (Ver Anexo) con los valores de Re y rugosidad relativa ya calculados se observa un factor de fricción igual a:

$$f = 0,036$$

Para el cálculo de las pérdidas hidráulicas se debe realizar el cálculo de la longitud equivalente de los accesorios donde se generan pérdidas menores. Por ende se requieren analizar 3 codos de 90° y un caudalímetro.

Para un codo roscado se tiene un coeficiente de resistencia igual a:

$$K_1 = 50ft \quad ft = f = 0,036$$

$$K_1 = 1,8$$

Para calcular la longitud equivalente de un codo de 90° se utiliza la siguiente ecuación:

$$Leq_1 = K_1 \frac{\phi_i}{ft}$$

$$Leq_1 = 1,8 \cdot \frac{0,0158[m]}{0,036}$$

$$Leq_1 = 0,79[m]$$

El medidor de caudal se lo puede considerar como una Te en la cual el coeficiente de resistencia es el siguiente:

$$K_2 = 20ft \quad ft = f = 0,036$$

$$K_1 = 0,72$$

Con lo cual se puede calcular su longitud equivalente:

$$Leq_2 = K_2 \frac{\phi_i}{ft}$$

$$Leq_2 = 0,72 \cdot \frac{0,0158[m]}{0,036}$$

$$Leq_2 = 0,316[m]$$

Siendo la longitud total equivalente igual a la suma de las longitudes equivalentes de los accesorios más la longitud de la tubería en sí.

$$L = 3 \cdot Leq_1 + Leq_2 + Lt$$

$$L = 3 \cdot 0,79 + 0,316 + 2,5$$

$$L = 5,186[m]$$

Con estos datos es posible calcular las pérdidas por fricción mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = \frac{fLv^2}{2g\phi_i}$$

$$h_f = \frac{0,036 \cdot 5,186[m] \cdot 0,68^2[m^2/s^2]}{2 \cdot 9,81[m/s^2] \cdot 0,0158[m]}$$

$$h_f = 0,279[m]$$

3.2.2 Aplicación de la ecuación general de la energía

Para calcular la cabeza de energía por la bomba se requiere aplicar la ecuación general de la energía para la configuración mostrada en la figura:

$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_a - h_l - h_r = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma}$$
$$h_a = (z_2 - z_1) + \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \right) + \left(\frac{p_2 - p_1}{\gamma} \right) + h_f + h_r$$
$$h_a = 2[m] + \frac{0,68^2}{2 \cdot 9,81} [m] + 0[m] + 0,279[m] + 0[m]$$
$$h_a = 2,302[m]$$

3.3 DIMENSIONAMIENTO

Sabiendo el valor de cabeza de energía añadida es posible calcular la potencia requerida por la bomba, lo cual es la base del dimensionamiento de la bomba:

$$P = \gamma h_a Q$$
$$P = \rho g h_a Q$$
$$P = 998[kg/m^3] \cdot 9,81[m/s^2] \cdot 2,302[m] \cdot 1,33 \times 10^{-4}[m^3/s]$$
$$P = 3[Watt]$$

Este dato, conjuntamente con el rango requerido de caudal, son los datos para analizar y comparar las potenciales bombas del sistema para la elección del equipo adecuado.

La bomba es importante seleccionarla primero debido a que al seleccionarla, se tienen sus datos técnicos: potencia, caudal, dimensión de tuberías (líneas) de succión y descarga, dimensiones del cuerpo de la bomba, entre otros.

3.3.1 Selección de materiales y equipos de la instalación hidráulica

Se requiere de una bomba de bajo caudal (5 – 20 lt/min), de bajo consumo (3 – 30 W) y de precio razonable.

En las empresas comercializadoras de bombas de la ciudad de Quito fue imposible encontrar una bomba de estas características. Las de menor consumo trabajan a 100W y tienen costos elevados.

Por esta razón fue necesario buscar alternativas en el mercado internacional, especialmente en Estados Unidos y en España. Dentro de las posibilidades más apegadas a los requerimientos se encontraron las siguientes bombas, cuyas características se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 3.1 Bombas solares para agua

	Bomba N°1	Bomba N°2	Bomba N°3	Bomba N°4
Potencia [W]	30	20	10 -18	30
Caudal [lt/min]	12,7	12,5 @ 2m	8	16 @ 2m
Precio ¹¹ [USD]	155,00	25,71	26,33 ¹²	28,03

- Bomba N°1: LVM Nile 12Volt Centrifugal Submersible/Inline Pump.
- Bomba N°2: SHURFLO 12V Marine Bilge Water Evacuation.
- Bomba N°3: BOMBA SOLAR DE 12V FADISOL
- Bomba N°4: RULE 25D

De estas posibilidades se escogió la alternativa de bomba N°4, puesto que tiene los datos técnicos conforme a lo requerido en los cálculos. Además este equipo se encuentra disponible para traerlo directamente desde su país de origen, los Estados Unidos.

¹¹ Sin considerar impuestos de venta, importación y transporte.

¹² El precio oficial es de 19,50 euros, se tomó en cuenta la tasa de cambio de 1euro = 1,35USD



Figura 3.2 Bomba Rule 25D

Los datos técnicos del equipo a utilizar, que permiten calcular las pérdidas hidráulicas y térmicas, son los siguientes:

- Caudal @ 2m $Q = 16 \text{ [lt/min]}$
- Conexiones Tubería $\frac{3}{4}$ ”; $\phi_i = 17,5 \text{ [mm]}$
- Voltaje 12 VDC
- Fusible 2,5 A

3.3.2 Cálculo de pérdidas hidráulicas

Se realiza nuevamente el cálculo hecho en el análisis de pérdidas hidráulicas, pero esta vez se utilizan los datos técnicos de los equipos y partes escogidos y dimensionados.

Datos del fluido:

- Temperatura $T = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$
- Densidad $\rho = 998 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Viscosidad $\eta = 1,02 \times 10^{-3} \text{ [Pa} \cdot \text{s]}$

Como primer paso se calcula la velocidad de flujo:

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{2,667 \times 10^{-4} [m^3/s]}{2,405 \times 10^{-4} [m^2]}$$

$$v = 1,11 [m/s]$$

Luego se procede a evaluar el Número de Reynolds

$$Re = \frac{v \phi_i \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{1,11 [m/s] \cdot 0,0175 [m] \cdot 998 [kg/m^3]}{1,02 \times 10^{-3} [Pa \cdot s]}$$

$$Re = 21710$$

Con lo cual se tiene un flujo turbulento. Para calcular el factor de fricción f , se requiere conocer el Número de Reynolds y la rugosidad relativa del conducto:

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{\phi_i}{\epsilon}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = \frac{0,0175 [m]}{1 \times 10^{-6} [m]}$$

$$\frac{D}{\epsilon} = 17500 \approx 20000$$

Al ingresar al Diagrama de Moody con los valores de Re y rugosidad relativa ya calculados se observa un factor de fricción igual a:

$$f = 0,026$$

Se prosigue con el cálculo de las longitudes equivalentes.

Para un codo roscado se tiene un coeficiente de resistencia igual a:

$$K_1 = 50ft \quad ft = f = 0,026$$

$$K_1 = 1,3$$

Para calcular la longitud equivalente de un codo de 90° se utiliza la siguiente ecuación:

$$Leq_1 = K_1 \frac{\phi_i}{ft}$$

$$Leq_1 = 1,3 \cdot \frac{0,0175[m]}{0,026}$$

$$Leq_1 = 0,875[m]$$

El medidor de caudal se lo puede considerar como una Te en la cual el coeficiente de resistencia es el siguiente:

$$K_2 = 20ft \quad ft = f = 0,026$$

$$K_1 = 0,52$$

Con lo cual se puede calcular su longitud equivalente:

$$Leq_2 = K_2 \frac{\phi_i}{ft}$$

$$Leq_2 = 0,52 \cdot \frac{0,0175[m]}{0,026}$$

$$Leq_2 = 0,35[m]$$

Siendo la longitud total equivalente igual a la suma de las longitudes equivalentes de los accesorios más la longitud de la tubería en sí.

$$L = 3 \cdot Leq_1 + Leq_2 + Lt$$

$$L = 3 \cdot 0,875 + 0,35 + 2,5$$

$$L = 5,475[m]$$

Con estos datos es posible calcular las pérdidas por fricción mediante la siguiente ecuación:

$$h_f = \frac{fLv^2}{2g\phi_i}$$

$$h_f = \frac{0,026 \cdot 5,475[m] \cdot 1,11^2[m^2/s^2]}{2 \cdot 9,81[m/s^2] \cdot 0,0175[m]}$$

$$h_f = 0,511[m]$$

El aumento es considerable en comparación al análisis preliminar de pérdidas, pero la bomba elegida no tendría problemas en cubrirlas.

3.3.3 Cálculo de pérdidas térmicas

El sistema de bombeo fotovoltaico puede ser utilizado para almacenar agua de uso sanitario. En esta aplicación es común requerir el líquido a una temperatura mayor a la ambiental. Con el cálculo de pérdidas térmicas se quiere determinar el coeficiente global de transferencia de calor del sistema, específicamente en los tubos.

Para el cálculo se toman las siguientes consideraciones:

- El agua que es bombeada, proviene ya con la temperatura deseada, o la que la provee algún sistema de calentamiento dado.
- El sistema se encuentra expuesto al ambiente.
- No se considera aislamiento térmico de la tubería.

Para el caso analizado, el coeficiente global de transferencia de calor se lo calcula con la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \ln(\phi_o/\phi_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}}$$

Para lo cual se tienen los siguientes datos:

- Tubería PVC $\frac{3}{4}$ "
 - Diámetro externo: $\varphi_o = 26,8[mm]$
 - Diámetro interno: $\varphi_i = 17,5[mm]$
 - Longitud: $L = 2[m]$
 - Coeficiente de conducción térmica: $k = (0,12 - 0,25)[W/m^{\circ}C]$

- Fluido interno: agua @ 50 °C.
 - Densidad: $\rho = 997,4 [kg/m^3]$
 - Viscosidad dinámica: $\eta = 9,8 \times 10^{-4} [Pa \cdot s]$
 - Número de Prandtl: $Pr = 6,78[]$
 - Coeficiente de conducción térmica: $k_i = 0,604[W/m^{\circ}C]$
 - Poder calórico: $cp = 4,179[kJ/kg^{\circ}C]$

- Fluido externo: aire @ 15 °C.

Se empieza calculando las áreas de convección tanto interna como externa:

$$A_i = \pi \varphi_i L$$

$$A_i = \pi \cdot 17,5 \times 10^{-3}[m] \cdot 2[m]$$

$$A_i = 0,110[m^2]$$

$$A_o = \pi \varphi_o L$$

$$A_o = \pi \cdot 26,8 \times 10^{-3}[m] \cdot 2[m]$$

$$A_o = 0,168[m^2]$$

El caudal y la velocidad del fluido interno están establecidos en el cálculo de pérdidas hidráulicas y son los siguientes:

$$Q = 16[lt/min] \quad v = 1,11[m/s]$$

$$Re = \frac{v \varphi_i \rho}{\eta}$$

$$Re = \frac{1,11[m/s] \cdot 0,0175[m] \cdot 997,4[kg/m^3]}{9,8 \times 10^{-4}[Pa \cdot s]}$$

$$Re = 19750$$

De acuerdo con la ecuación de Dittus – Boelter, el Número de Nusselt se lo puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

Para lo cual debe cumplir con las siguientes condiciones:

CONDICIÓN	EVALUACIÓN
– $n = 0,3$; si el fluido se enfría.	El análisis es de pérdidas térmicas
– $Re > 10^4$	$Re = 3,5 \times 10^4$; <i>cumple</i>
– $0,7 < Pr < 100$	$Pr = 3,57$; <i>cumple</i>
– $^{13} L/\varphi_i > 60$	$L/\varphi_i = 2/0,0175 = 114$; <i>cumple</i>

$$Nu = 0,023 \cdot 19750^{0,8} \cdot 6,78^{0,3}$$

$$Nu = 111,55$$

Con lo cual es posible calcular el coeficiente de convección interno:

$$h_i = \frac{Nu \cdot k_i}{\varphi_i}$$

$$h_i = \frac{111,55[] \cdot 0,604[W/m^{\circ}C]}{0,0175[m]}$$

$$h_i = 3850[W/m^2{}^{\circ}C]$$

Como se requiere aplicar la analogía eléctrica entonces se tiene que calcular la resistencia térmica interna:

$$R_{T1} = \frac{A_o}{A_i h_i}$$

¹³ Relación entre la longitud y el diámetro interno de la tubería.

$$R_{T1} = \frac{0,168[m^2]}{0,110[m^2] \cdot 3850[W/m^2\text{°C}]}$$

$$R_{T1} = 3,978 \times 10^{-4}[m^2\text{°C}/W]$$

A continuación se evalúa la resistencia térmica de conducción en la pared del tubo:

$$R_{T2} = \frac{\ln(\varphi_o/\varphi_i) \cdot A_o}{2\pi kL}$$

$$R_{T2} = \frac{\ln(26,8/17,5) \cdot 0,168[m^2]}{2\pi \cdot 0,25[W/m\text{°C}] \cdot 2[m]}$$

$$R_{T2} = 0,023[m^2\text{°C}/W]$$

Para conocer el valor del coeficiente de convección externo, según el criterio, es necesario saber la temperatura de la pared exterior del tubo, por lo cual se debe aplicar la analogía eléctrica obteniéndose lo siguiente:

$$\frac{T_w - T_i}{R_{T1}} = \frac{T_i - T_o}{R_{T2}} = \frac{T_o - T_\alpha}{R_{T3}}$$

Siendo: $R_{T3} = \frac{1}{h_o}$ y $h_o = 1,31 \left(\frac{T_o - T_\alpha}{1} \right)^{1/3}$; para cilindros verticales que cumpla con la siguiente condición: $10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{12}$

Obteniéndose los siguientes resultados:

$$T_i = 19,996[\text{°C}]$$

$$T_o = 19,956[\text{°C}]$$

$$h_o = 2,203[W/m^2\text{°C}]$$

$$R_{T3} = 0,454[m^2\text{°C}/W]$$

Comprobación de la condición:

$$Pr_{aire} = 0,701$$

$$v_{aire} = 14,82 \times 10^{-6}[m^2/s]$$

$$\Delta T = T_o - T_\alpha = 19,956 - 15 = 4,756[K]$$

$$g = 9,81[m/s^2]$$

$$\beta = \frac{1}{T_{abs}} = \frac{1}{15 + 273} = 3,472 \times 10^{-3}[1/K]$$

$$Gr = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu_{aire}^2} = \frac{9,81[m/s^2] \cdot 3,472 \times 10^{-3}[1/K] \cdot 4,756[K] \cdot (2[m])^3}{(14,82 \times 10^{-6}[m^2/s])^2} = 5,9 \times 10^9$$

$$Gr \cdot Pr_{aire} = 4,136 \times 10^9; \text{ cumpliendo con la condición.}$$

Al conocer el valor de h_o es posible evaluar el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \frac{1}{R_{T1} + R_{T2} + R_{T3}}$$

$$U = \frac{1}{3,978 \times 10^{-4} + 0,023 + 0,454}$$

$$U = 2,096[W/m^2\text{°C}]$$

Con lo cual se puede cuantificar el calor que el fluido expulsa hacia el ambiente:

$$Q = A_o \cdot U \cdot (T_w - T_\alpha)$$

$$Q = 0,168[m^2] \cdot 2,096[W/m^2\text{°C}] \cdot (20 - 15)[\text{°C}]$$

$$Q = 1,764[W]$$

3.3.4 Evaluación de eficiencias

Considerando las mejores condiciones para el funcionamiento del panel fotovoltaico se supone que éste proveerá de 43 W. Mientras el consumo de la bomba seleccionada es de 30 W. con estos datos se puede calcular la eficiencia del sistema:

$$e = \frac{P_{bomba}}{P_{panel}} = \frac{30[W]}{43[W]}$$

$$e = 70\%$$

Cabe señalar que los equipos de bombeo fotovoltaicos no son los más eficientes, pero tienen otras cualidades como su baja mantenibilidad, su larga vida útil, el uso de energías limpias, entre otras.

3.4 USO DE SOFTWARE: CENSOLAR (ACADÉMICO)

El programa Censol 4.0 es un software que permite realizar algunos cálculos, en especial de dimensionamiento, referentes a equipos solares tanto térmicos como fotovoltaicos. El caso del presente proyecto se encamina en la segunda alternativa.

Lo primero que se realizó fue revisar la base de datos de irradiación. Existen datos de varios países y de sus ciudades específicas. Esto se puede observar en la figura 3.3:

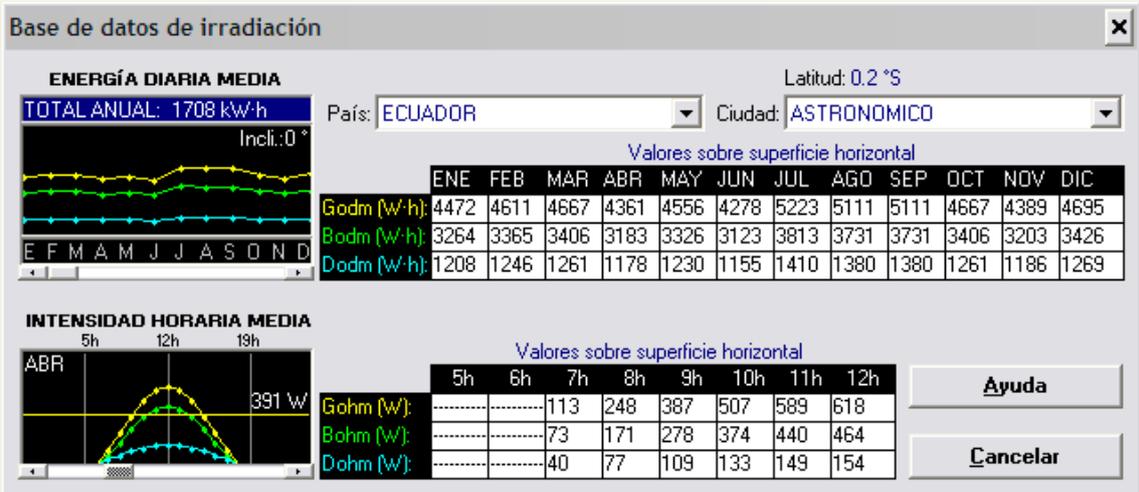


Figura 3.3 Impresión de pantalla Censol 4.0 – Base de datos irradiación Ecuador.

La ventana permite observar datos típicos de irradiación y además los cambios que sufren éstos con la inclinación del panel y con el mes. El programa presenta gráficas en las cuales se observa la radiación global, la reflejada, la directa y la dispersa.

Una vez tomado en cuenta esto, se deben añadir algunos de estos datos (especialmente los datos de irradiación) en la Base de Datos de cálculo del programa. Esto con el fin de poder tomar en cuenta la locación requerida ya que en el programa de cálculo están establecidos solamente los datos de las ciudades de España.

Se añadió los datos, mes a mes de la irradiación solar sobre Quito. Con esto se puede observar la gráfica de la figura 3.4.

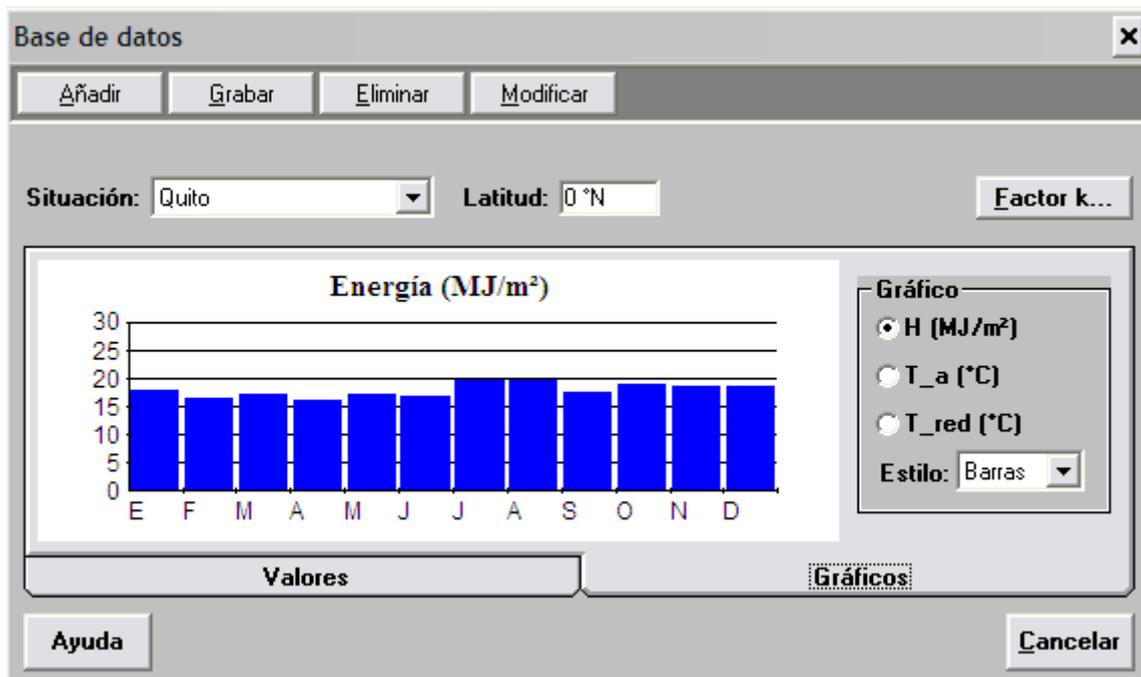


Figura 3.4 Censol 4.0 Base de datos – Se añaden los datos de Quito a la Base de Datos

Entonces ya es posible utilizar el menú de cálculos fotovoltaicos para una instalación ubicada en Quito (Ecuador).

En el menú se escoge la opción de fotovoltaico y se empieza por determinar el consumo. Para el presente proyecto solamente se va a consumir energía para el funcionamiento de la bomba.

Se define la potencia del dispositivo, en este caso es de 30 W; y el tiempo de consumo, el cual fue fijado a 7 horas.

Posteriormente se pasa al dimensionamiento. Para lo cual se escoge la locación, es decir Quito. Los días de autonomía se fijan a cero porque el uso del equipo no se lo realizará en la noche. Se introducen los datos de la inclinación (10°) y potencia del panel (43Wp), así como el de las baterías (se fijo el valor en 1 debido a que el programa no permite el valor de 0).

Con estos datos el programa procede a calcular y genera cuatro resultados, como se lo puede observar en la figura 3.5:

The screenshot shows a software window titled "Fotovoltaica (sin nombre)". It is divided into several sections:

- Datos:**
 - Localidad: (0 °N) dropdown menu set to "Quito".
 - Mes más desfavorable: dropdown menu set to "ABR".
 - Días de autonomía: input field set to "0".
 - Adjustable parameters: Kb (0.05), Ka (0.005), pd (0.5), Kc (0.0), Kv (0.15).
 - Incl.: dropdown menu set to "10°".
 - Azimet (B): dropdown menu set to "0°".
 - Corrección de H: input field set to "1.00".
 - Pn de cada panel (W): input field set to "43".
 - Vn de batería (V): input field set to "1".
- Resultados:**
 - Rend. (R): 80
 - Batería (A·h): 0
 - H.S.P.: 4.35
 - Nº de paneles: 1
- Buttons:** "Imprimir", "Calcular", "Borrar", "Cancelar".
- Summary:** "Consumo (126 W·h)" and "Dimensionado".

14

Figura 3.5 Censol 4.0 Dimensionamiento del sistema

Siendo el rendimiento del panel de 80%, El valor de irradiación solar promedio diario de $4,35 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$, No se requiere energía de baterías y se necesita 1 panel fotovoltaico.

¹⁴ Los parámetros Kb, Ka, pd, Kc y Kv se los detalla en la tabla 3.

Tabla 3.2 Coeficientes para el cálculo de instalación fotovoltaica

Factor	Significado	Valor	Condición
k_b	Coeficiente de pérdidas por rendimiento acumulador	0,05	Sistemas que no demanden descargas intensas
		0,1	Sistemas con descargas profundas
k_c	Coeficiente de pérdidas en el convertidor	0,05	Convertidores senoidales (régimen óptimo)
		0,1	Otras condiciones de trabajo (lejos del óptimo)
		0	Sin convertidor
k_v	Coeficiente de pérdidas varias	0,05 - 0,15	Agrupar otras pérdidas como: rendimiento de red, Efecto Joule, etc.
k_a	Coeficiente de autodescarga diario	0,002	Baterías de baja autodescarga, Ni-Cd
		0,005	Baterías estacionarias de Pb-ácido (más comunes)
		0,012	Baterías de alta autodescarga (arranque automóviles)
N	Número de días de autonomía	4 – 10	Días de autonomía referenciales
		0	Utilizada solo cuando hay suficiente radiación
P_d	Profundidad de descarga diaria de batería	Menor al 80%	Con relación a la capacidad nominal del acumulador

Cabe mencionar que en el caso planteado era muy fácil determinar estos resultados, pero es importante conocer el manejo del software en aplicaciones más grandes, con varios ítems de consumo, para facilitar una estimación de cuántos paneles y la energía de baterías que se requieran.

Para mayor información acerca del uso del software y del cálculo manual revisar el ANEXO B.

CAPÍTULO IV

AUTOMATIZACIÓN DEL EQUIPO

4.1 SENSORES

Un sensor es un dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica, una capacidad eléctrica, una tensión eléctrica, una corriente eléctrica, etc.

Hay sensores que no solo sirven para medir la variable, sino también para convertirla mediante circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5 VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable sensada dentro de un rango, para fines de control de dicha variable en un proceso.

Puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura.

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos y la toma de valores desde el sensor.

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- Rango de medida: Dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: Es el error de medida máximo esperado.
- *Offset* o desviación de cero: Valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el *offset*.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: Relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: Mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: Puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivadas: Se refiere a otros fenómenos, diferentes a la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales (humedad, temperatura) u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste) del sensor.
- Repetitividad: Error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa o pueden estar conectados a un indicador de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

4.2 TIPOS DE SENSORES

Los sensores pueden clasificarse de acuerdo con algunos criterios, por ejemplo según la magnitud a medir se encuentran:

Tabla 4.1 Tipo de sensores según la magnitud medida

Posición lineal o angular	Sensores de presencia
Desplazamiento y deformación	Sensores táctiles
Velocidad lineal y angular	Visión artificial
Aceleración	Sensor de proximidad
Fuerza y par de deformación	Sensor acústico
Presión	Sensor de acidez
Caudal	Sensor de luz
Temperatura	Sensor de captura de movimiento

Según la señal que emiten pueden clasificarse como: Sensores Analógicos y Sensores Digitales.

4.2.1 Medición de flujo

La medición del flujo es una función importante dentro de cualquier organización que emplee fluidos para realizar sus operaciones regulares. Se refiere a la capacidad de medir la velocidad, el flujo volumétrico o el flujo másico de cualquier líquido o gas.

Hoy en día la medición de flujo es una de las actividades más importantes en el campo de la instrumentación. Existen varios tipos de medición para satisfacer las diferentes aplicaciones de medida.

Durante los últimos años las aplicaciones de medición han evolucionado significativamente. Estos se caracterizan por su ínfimo desgaste, su alta fiabilidad y una reducción de las caídas de pérdida de carga en el punto de medición.

4.2.2 Principios básicos en la medición de flujos

4.2.2.1 Medidores de cabeza variable

El principio básico de estos medidores es que cuando una corriente de fluido se restringe, su presión disminuye por una cantidad que depende de la velocidad de flujo a través de la restricción, por lo tanto la diferencia de presión entre los puntos antes y después de la restricción puede utilizarse para indicar la velocidad del flujo.

Los tipos más comunes de medidores de cabeza variable son el tubo venturi, la placa orificio y el tubo de flujo.

Tubo de venturi

El Tubo de venturi es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha; así, al colocar un manómetro o instrumento registrador en la garganta se puede medir la caída de presión y calcular el caudal instantáneo.

Como se observa en la figura 4.1, el cono de entrada, que forma el ángulo α_1 , conduce por una curva suave a la garganta de diámetro d_1 . Un largo cono divergente, que tiene un ángulo α_2 , restaura la presión y hace expansionar el fluido al pleno diámetro de la tubería. El diámetro de la garganta varía desde un tercio a tres cuartos del diámetro de la tubería.

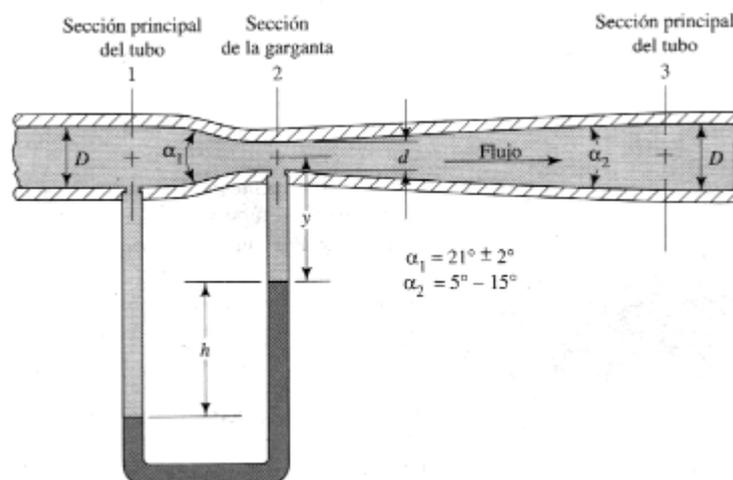


Figura 4.1 Tubo venturi

La principal ventaja de este tipo de sensor radica en que sólo pierde entre un 10 a un 20% de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta. Esto se consigue por el cono divergente que desacelera la corriente.

Es importante conocer la relación que existe entre los distintos diámetros que tiene el tubo, ya que dependiendo de los mismos es que se va a obtener la

presión deseada a la entrada y a la salida del mismo para que pueda cumplir la función para la cual está construido.

La finalidad del cono divergente es reducir la pérdida global de presión en el medidor; su eliminación no tendrá efecto sobre el coeficiente de descarga. La presión se detecta a través de una serie de agujeros en la admisión y la garganta; estos agujeros conducen a una cámara angular, y las dos cámaras están conectadas a un sensor de diferencial de presión.

Placa orificio

Cuando dicha placa se coloca en forma concéntrica dentro de una tubería, esta provoca que el flujo se contraiga de repente conforme se aproxima al orificio y después se expande de repente al diámetro total de la tubería.

La corriente que fluye a través del orificio forma una vena contracta y la rápida velocidad del flujo resulta en una disminución de presión hacia abajo desde el orificio.

Algunos tipos de placas orificios son los siguientes:

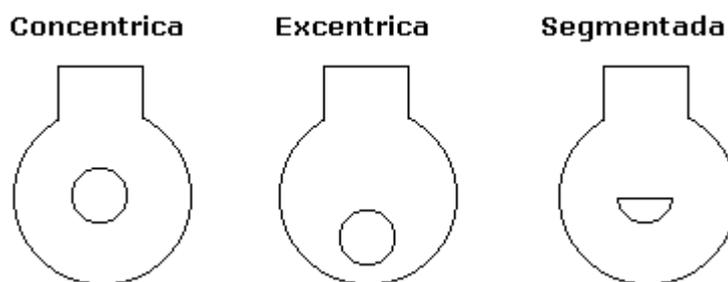


Figura 4.2 Tipos de placas orificios

La concéntrica sirve para líquidos, la excéntrica para los gases donde los cambios de presión implican condensación, cuando los fluidos contienen un alto porcentaje de gases disueltos.

La gran ventaja de la placa de orificio en comparación con los otros elementos primarios de medición, es que debido a la pequeña cantidad de material y al tiempo relativamente corto de maquinado que se requiere en su manufactura, su costo llega a ser comparativamente bajo.

El uso de este tipo de sensor no es adecuado en la medición de fluidos con sólidos en suspensión debido a que estas partículas se pueden acumular en la entrada de la placa.

Su comportamiento al utilizarlo con fluidos viscosos es errático pues la placa se calcula para una temperatura y una viscosidad dada y produce las mayores pérdidas de presión en comparación con los otros elementos primarios.

Las mayores desventajas de este medidor son su capacidad limitada y la pérdida de carga ocasionada tanto por los residuos del fluido como por las pérdidas de energía que se producen cuando se forman vórtices a la salida del orificio.

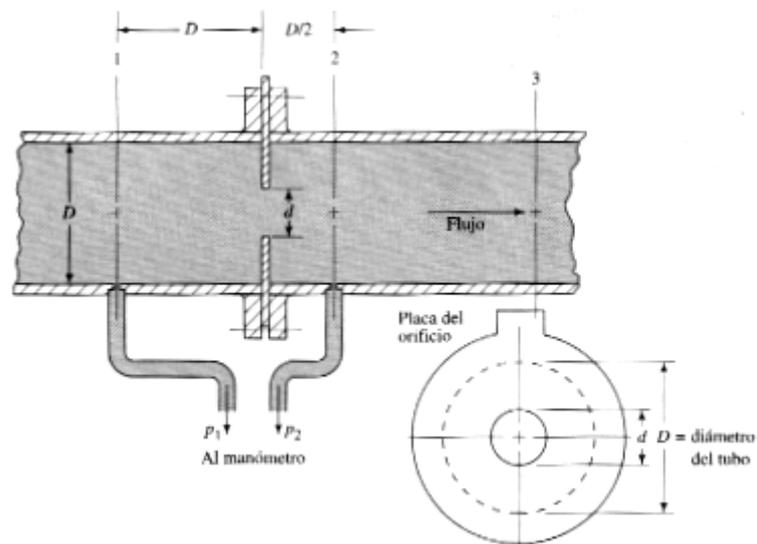


Figura 4.3 Medidor de caudal de Placa Orificio

Boquilla o tobera de flujo

La boquilla consiste en una contracción gradual de la corriente de flujo seguida de una sección cilíndrica recta y corta. Debido a la contracción pareja y

gradual, existe una pérdida muy pequeña. Este instrumento de medición permite medir la diferencia de presiones.

Al instalar un medidor de este tipo se logran mediciones mucho más exactas. Además la tobera de flujo es útil para fluidos con muchas partículas en suspensión o sedimentos, su forma hidrodinámica evita que sedimentos transportados por el fluido queden adheridos a la tobera.

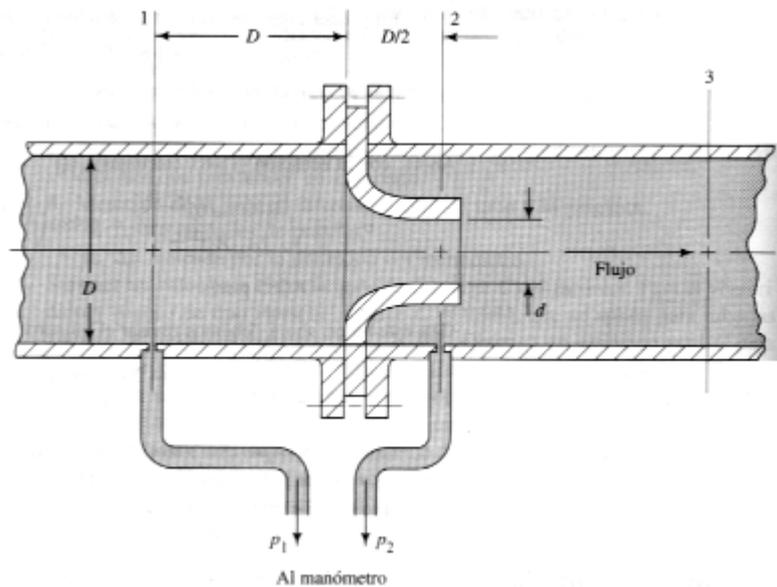


Figura 4.4 Sensor de caudal – Tobera de flujo

Su instalación requiere que la tubería donde se vaya a medir caudal, este en línea recta sin importar la orientación que esta tenga.

4.2.2.2 Medidores de área variable

Rotámetro

El rotámetro es un medidor de área variable que consta de un tubo transparente que se amplía y un medidor flotador, más pesado que el líquido, el cual se desplaza hacia arriba por el flujo ascendente de un fluido en la tubería.

El tubo se encuentra graduado para leer directamente el caudal. Las ranuras en el flotador hacen que rote y, por consiguiente, que mantenga su posición central en el tubo. Entre mayor sea el caudal, mayor es la altura que asume el flotador.

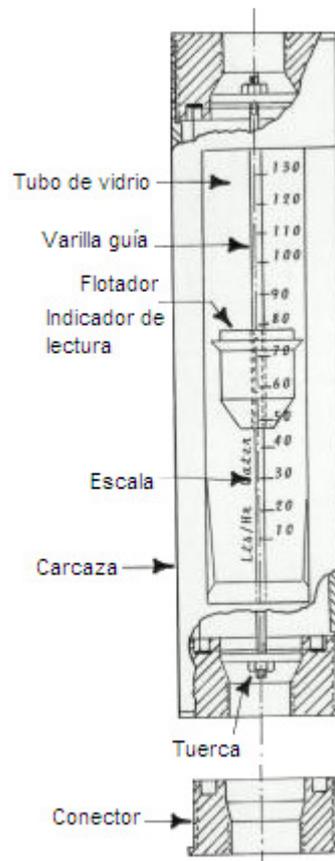


Figura 4.5 Esquema de un rotámetro

Flujómetro de turbina

El fluido provoca que el rotor de la turbina gire a una velocidad que depende de la velocidad de flujo. Conforme cada una de las aspas de rotor pasa a través de una bobina magnética, se genera un pulso de voltaje que puede alimentarse de un medidor de frecuencia, un contador electrónico u otro dispositivo similar cuyas lecturas puedan convertirse en velocidad de flujo. Velocidades de flujo desde 0.02 hasta algunos miles de litros por minuto se pueden medir con sensores de caudal de turbina de varios tamaños.

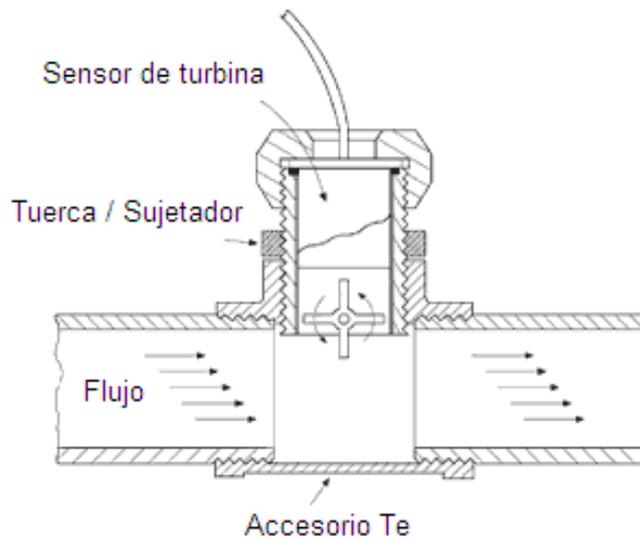


Figura 4.6 Sensor de turbina

Tubo pitot

Cuando un fluido en movimiento es obligado a pararse debido a que se encuentra un objeto estacionario, se genera una presión mayor que la presión de la corriente del fluido. La magnitud de esta presión incrementada se relaciona con la velocidad del fluido en movimiento.

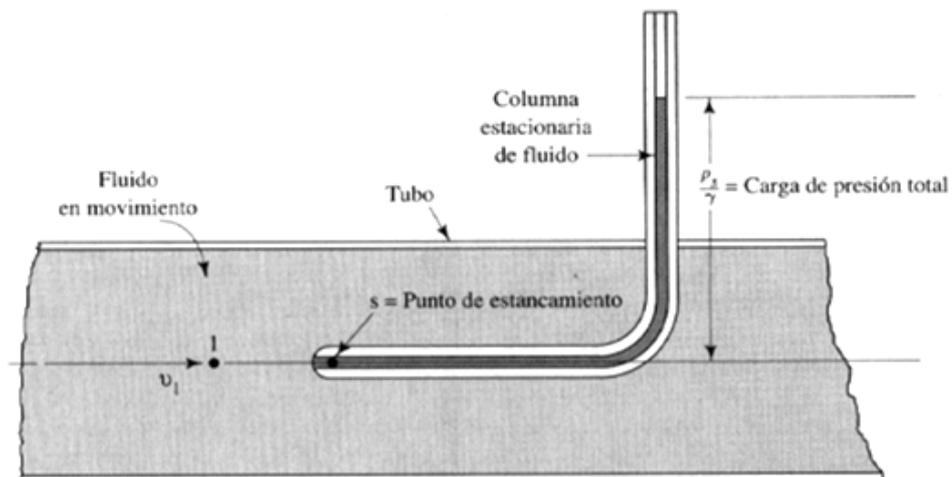


Figura 4.7 Tubo Pitot

Este sensor es un tubo hueco puesto de tal forma que los extremos abiertos apuntan directamente a la corriente del fluido. La presión en la punta provoca

que se soporte una columna del fluido. El fluido en o dentro de la punta es estacionario o estancado llamado punto de estancamiento.

4.2.2.3 Medidores ultrasónicos

Este tipo de sensor consta de unas sondas, que trabajan por pares, como emisor y receptor. La placa piezo-cerámica de una de las sondas es excitada por un impulso de tensión, generándose un impulso ultrasónico que se propaga a través del medio líquido a medir, esta señal es recibida en el lado opuesto de la conducción por la segunda sonda que lo transforma en una señal eléctrica.

El convertidor de medida determina los tiempos de propagación del sonido en sentido y contrasentido del flujo en un medio líquido y calcula su velocidad de circulación a partir de ambos tiempos. Y a partir de la velocidad se determina el caudal.

4.3 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Un Sistema de Adquisición de Datos (DAQ) es un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera.

De forma general puede estar compuesto por los siguientes elementos:

- Sensores.
- Amplificadores.
- Aisladores.
- Multiplexores.
- Conversores.
- Microprocesadores.
- Contadores.
- Filtros.
- Comparadores.
- Fuentes de potencia.

Los parámetros que caracterizan a un DAQ son básicamente tres: número de canales, exactitud de la conversión y velocidad de muestreo.

Número de canales: depende del número de señales a adquirir.

Exactitud de la conversión: viene impuesta por los circuitos utilizados, es decir, multiplexores, amplificadores, entre otros.

Velocidad de muestreo: este parámetro especifica la velocidad a la que el SAD puede adquirir y almacenar muestras de las entradas. Las muestras pertenecerán a un único canal o a varios, según la configuración, por lo que es fundamental revisar cuidadosamente los datos suministrados por el fabricante.

Existen dos tipos: registradores de datos y computadoras con tarjeta de conexión rápida.

Los registradores de datos tienen su aplicación para una gran cantidad de señales, lo cual es común en procesos industriales en donde hay un cuarto o armario específico para alojar a los dispositivos de sistema de adquisición.

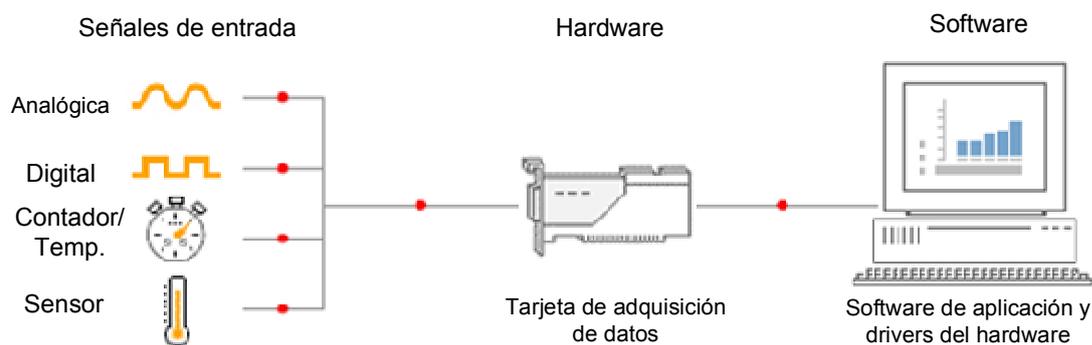


Figura 4.8 Esquema de Sistema de Adquisición de Datos basada en PC

La adquisición de datos, basada en PC, utiliza una combinación de hardware modular, software de aplicación y una PC para realizar medidas. Mientras cada

sistema de adquisición de datos se define por sus requerimientos de aplicación, cada sistema comparte una meta en común de adquirir, analizar y presentar información. Los sistemas de adquisición de datos incorporan señales, sensores, actuadores, acondicionamiento de señales, dispositivos de adquisición de datos y software de aplicación.

Cuando se elija una tarjeta DAQ se deben tomar en cuenta algunos criterios entre los cuales sobresalen:

- Sistema Operativo de la computadora.
- Tipo de conector en donde se enchufa la tarjeta
- Cuántas entradas analógicas y digitales se requieren
- Resolución necesaria
- Tasa de muestreo mínima requerida
- Señales de sincronización o de conteo

4.4 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Para el equipo a construir se requiere principalmente, dentro del ámbito de la adquisición de datos, de un sensor de caudal y del hardware de adquisición de datos.

En el primer caso, para la selección del sensor, se deben tomar en cuenta las características propias de un sensor como son precisión, repetitibilidad, sensibilidad; las características de su funcionamiento dentro de lo cual se destaca las temperaturas de funcionamiento, la fuente; y por último pero no menos importante su precio.

En la tabla 4.2 se presentan algunas opciones y sus principales características.

Tabla 4.2 Sensores de flujo

	Rango [GPM]	Salida	Fuente	Precio¹⁵
Sensor 1 OMEGA	0.15-20	151,4 pulsos/gal	6-16 Vdc @ 10mA max	\$ 173,00
Sensor 2 OMEGA	0.25-20	230 pulsos/gal	125Vac @ 3A	\$ 181,00
Sensor 3 OMEGA	0,10-10	NPN open collector	6 to 24 Vdc @ 2 mA	\$ 267,00
Sensor 4 OMEGA	0,15-13,2	1 gal/pulso	6 to 16 Vdc	\$ 180,00
Sensor 5 WE ANDERSON	2-20	1 – 10 V	18-24 Vdc	\$ 185,64
Sensor 6 GF	0.8-10	1725 pulsos/gal	5-24 Vdc	\$ 352,91

- Sensor 1: “Long-life Pulse Output Water Meters For Remote Rate Indication and Totalization”.
- Sensor 2: “Long-Life Water Meters for Totalization and Rate Indication with Pulse Output”.
- Sensor 3: “Low Flow Polypropylene and TFE Liquid Flowmeters”.
- Sensor 4: “Turbine Meters For Water Totalization”.
- Sensor 5: “Sight Flow Indicator/Transmitter”.
- Sensor 6: “Signet 2100 Turbine Flow Sensor”.



Figura 4.9 Sensor de flujo seleccionado

¹⁵ Precio referencial sin considerar impuestos ni transporte.

De las alternativas se escoge al Sensor N°5, porque presenta parámetros acordes al medidor de flujo requerido y es uno de los dispositivos más económicos. Como dato adicional a este sensor se lo consiguió a través de la empresa IANDCECONTROL S.A.

El segundo equipo a seleccionar es el hardware de adquisición de datos. En el caso planteado existe una sola señal, por lo cual se busca tener un dispositivo con la menor de entradas de señal posible, con una alta velocidad de muestreo y al menor costo.

Con las características planteadas se encontraron las siguientes alternativas:

- DAQ N°1: DATAQ INSTRUMENTS DI-194RS
- DAQ N°2: LABJACK U3
- DAQ N°3: ONTRACK Control Systems ADU200
- DAQ N°4: MEASUREMENT COMPUTING USB – 1208LS
- DAQ N°5: EMANT 300 USB DAQ

Tabla 4.3 Sistemas de adquisición de datos

	Tasa de muestreo	Entradas Analog / Digital	Software	Precio
DAQ N°1	240 [Hz]	4 2	WINDAQ/Lite	24,95
DAQ N°2	2,5 – 50 [Hz]	16	DAQFactory Express	108,00
DAQ N°3	1000 [Hz]	8	ADU – SDK	139,00
DAQ N°4	1200 [Hz]	8 16	DASYLab™ Basic ¹⁶	129,00
DAQ N°5	10 – 2500 [Hz]	6 8	LabView / programador .NET	99,00

En este caso se selecciona al dispositivo DAQ N°1 debido a ser el Sistema de Adquisición de Datos encontrado con menos canales y el menos oneroso,

¹⁶ Este software no está disponible con la compra del equipo

además cabe destacar que el programa requerido está incluido con la compra del sistema.



Figura 4.10 Hardware de adquisición de datos seleccionado

4.5 USO DE SOFTWARE: WINDAQ/LITE

El programa WINDAQ/Lite es de libre uso, la restricción es que si no está el equipo conectado, no es posible ejecutarlo, tan solo se puede abrir un ejemplo de cómo se visualizan las señales recibidas, esto se muestra en la figura 4.11.

El programa permite realizar las siguientes operaciones:

- Setup: se establecen parámetros de la adquisición de datos, como la tasa de muestreo, el rango de entrada a la tarjeta, el tamaño de archivo, entre otros.
- Calibrar: se determinan los límites y las unidades que se muestran en la adquisición de datos.
- Guardar: se pueden almacenar los datos guardados a la vez que se observan los datos instantáneos.
- Anotar: el programa permite etiquetar, es posible nombrar al equipo al que se refiere o hacer una anotación de un suceso imprevisto.

- Analizar: el software puede realizar análisis de frecuencia de las señales ingresadas.
- Exportar: las gráficas son compatibles con Microsoft Office y con Microsoft Excell, es decir que pueden ser exportadas para realizar informes y presentaciones.

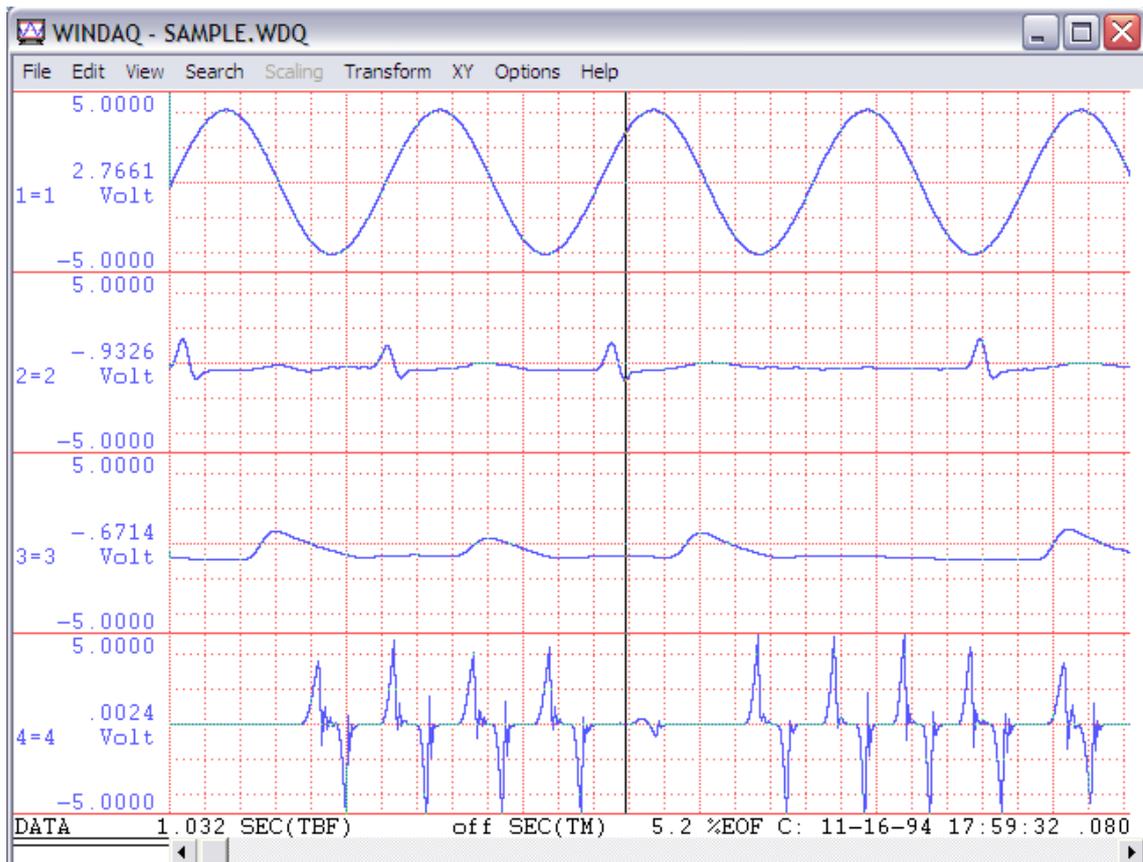


Figura 4.11 WINDAQ Ejemplo de visualización de señales

CAPÍTULO V

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA INSTALACIÓN

5.1 DIAGRAMA DE PROCESOS

Para la construcción y el montaje de la instalación se deben tomar las siguientes consideraciones:

- Es necesario construir una estructura que soporte a todos los elementos del sistema.
- Al tener la estructura se puede continuar con el ensamblaje de la instalación.
- Es importante seguir las indicaciones de los fabricantes de los equipos y materiales adquiridos para su correcto desempeño.

Observando estos puntos se prosiguió con el proceso de construcción del sistema de acuerdo con al diagrama de la Figura 5.1. El siguiente cuadro muestra la simbología utilizada:

SIMBOLO	SIGNIFICADO
	Operación
	Transporte / Movimiento
	Espera
	Medición

Figura 5.1 Simbología del diagrama de la figura 5.2

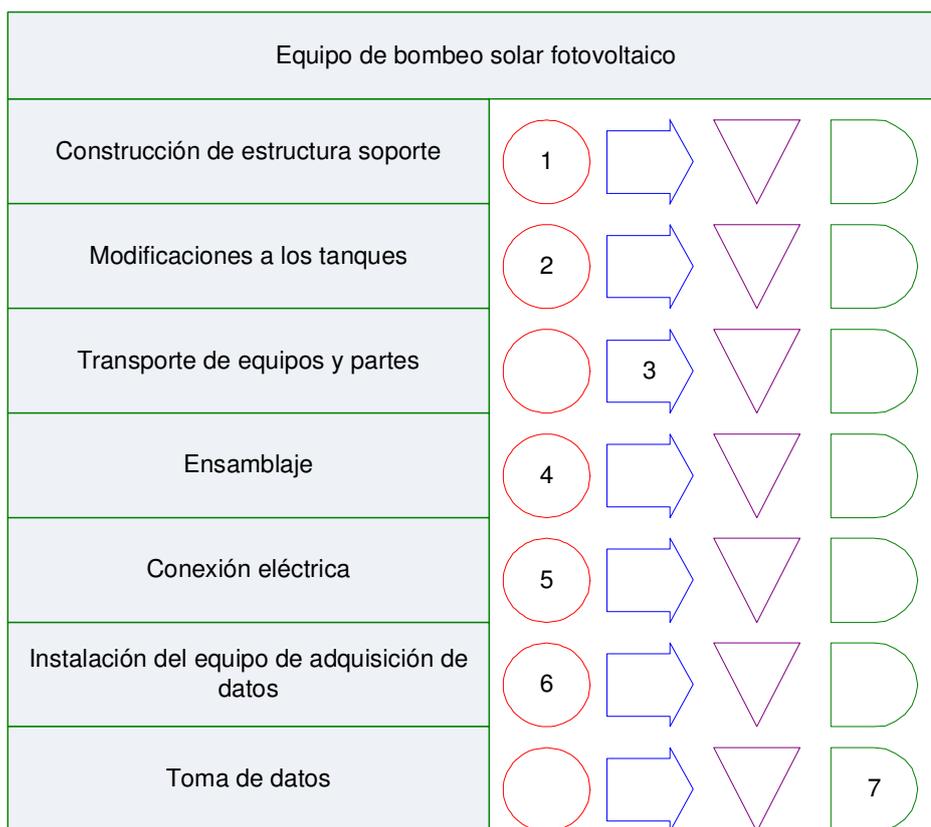


Figura 5.2 Diagrama de construcción del sistema

5.2 RECURSOS DE FABRICACIÓN

Los recursos de fabricación se están detallados en la siguiente tabla:

Tabla 5.1 Recursos de fabricación

ORD	RUBRO	UNIDAD	CANT.	ACTIVIDAD ¹⁷
MATERIALES				
5	Tanques HDPE.	50 Lt	2	A – B
6	Retazo de plancha de espuma plástica	7x8cm	1	A – B
7	Tubo estructural cuadrado	1"; t=1,1 mm	3	A
8	Tol de acero	2mm; 35x35 cm	2	A
9	Tubería de PVC	3/4" (1m)	1	B
10	Manguera plástica	3/4" (1m)	2	B
11	Adaptador tanque	3/4"	4	B
12	Adaptador tanque	1/2"	1	B
13	Codo 90°	3/4"	1	B
14	Codo 90°	1/2"	1	B
15	Codo 90° con reducción	3/4 a 1/2	1	B
16	Neplo	3/4" (6 cm)	4	B
17	Neplo	1/2" (6cm)	1	B
18	Neplo	1/2"	4	B
19	Universal	3/4"	1	B
20	Universal	1/2"	2	B
21	Válvula	3/4"	2	B
22	Adaptador manguera	3/4"	2	B
23	Regulador de voltaje	12 V, 3 A	1	C
24	Resistencia eléctrica	15 omh (25W)	1	C
25	Fusible	2,5 A	1	C
26	Interruptor		1	C
27	Cable eléctrico	# 18 AWG	8	C – D
28	Batería	6 V	3	D
29	Borneras		2	C – D
30	Baquelita		1	C
31	Caja material eléctrico	30x30 cm	1	B – C – D

¹⁷ "A" se refiere a construcción (modificación), "B" a Ensamblaje, "C" a conexión eléctrica y "D" a conexión de sistema de adquisición de datos.

Tabla 5.1 Recursos de fabricación (continuación)

ORD	RUBRO	UNIDAD	CANT.	ACTIVIDAD ¹⁸
EQUIPOS				
1	Panel solar fotovoltaico.	47 Watt	1	C
2	Bomba de agua DC.	30 Watt	1	B – C
3	Sensor de flujo.		1	B – D
4	Tarjeta de adquisición de datos.		1	D

5.3 EJECUCIÓN DE OBRA

El proceso de construcción y ensamblaje se llevó a cabo bajo el cronograma mostrado en el anexo. Para la construcción de la estructura soporte se utilizó tubo estructural cuadrado de 1 pulgada y 1,1 mm de espesor y placas de tol de acero de 2 mm de espesor. Se siguió el proceso de acuerdo con el gráfico de la figura 5.3.



Figura 5.3 Estructura soporte del sistema

¹⁸ “A” se refiere a construcción (modificación), “B” a Ensamblaje, “C” a conexión eléctrica y “D” a conexión de sistema de adquisición de datos.

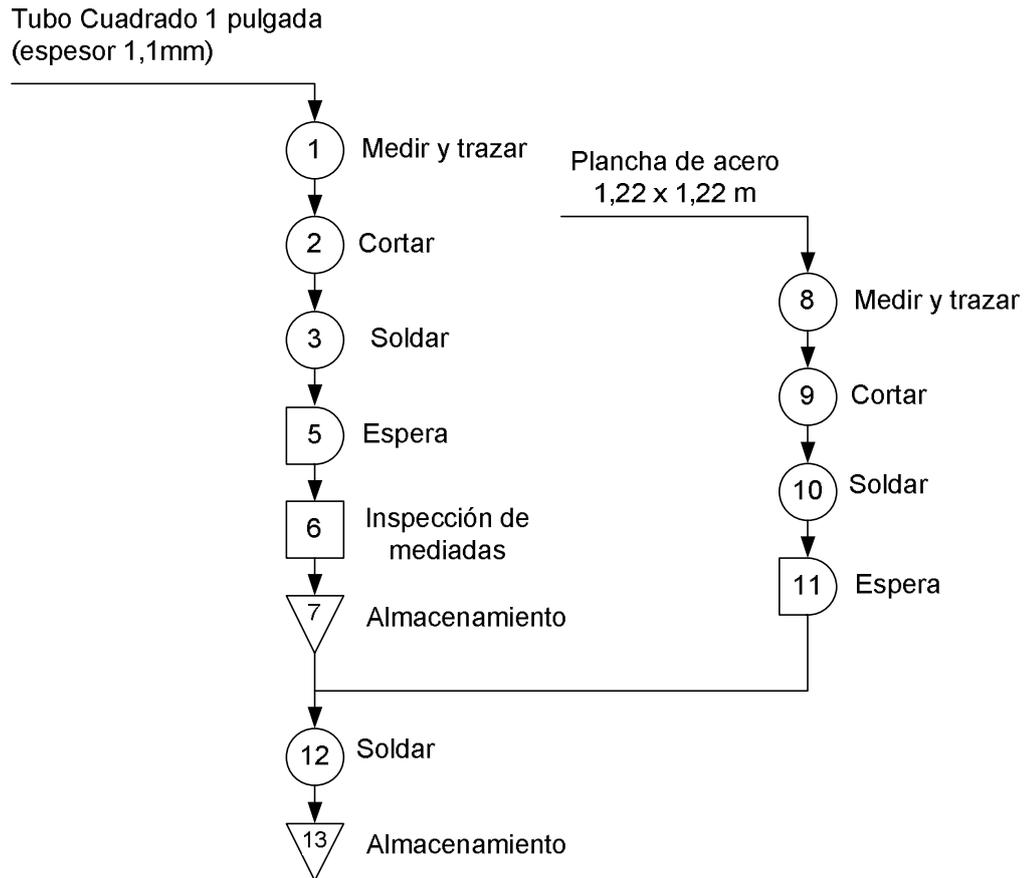


Figura 5.4 Diagrama de procesos - estructura soporte.

Los tanques utilizados deben ser modificados. Originalmente son recipientes de HDPE¹⁹ de 50 Lt de capacidad, con tapa y cuadrados con esquinas redondeadas; a los cuales se tienen que realizar trabajos para su uso en el proyecto. Los tanques son sometidos al proceso de la figura 5.6.



Figura 5.5 Tanque de almacenamiento (izquierda – original, derecha – pintado)

¹⁹ Polietileno de alta densidad

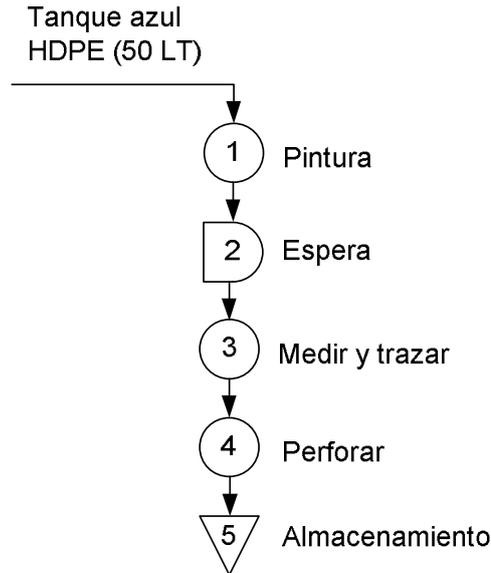


Figura 5.6 Diagrama de procesos – tanques.

Una vez realizadas los diferentes procesos de fabricación se prosigue con el montaje del sistema.

5.4 ENSAMBLAJE

5.4.1 Ensamblaje del sistema.

Una vez construida la estructura soporte y realizados los cambios requeridos en los tanques se puede proceder con el ensamblaje. Se debe tomar en cuenta que el tanque inferior debe alojar a la bomba por lo cual hay que seguir las instrucciones del fabricante con relación a la instalación física de la misma.

La bomba debe ser instalada dentro del tanque inferior. Para esto se debe quitar el filtro, el cual dispone de orificios que permiten atornillarlo a una superficie cualquiera.

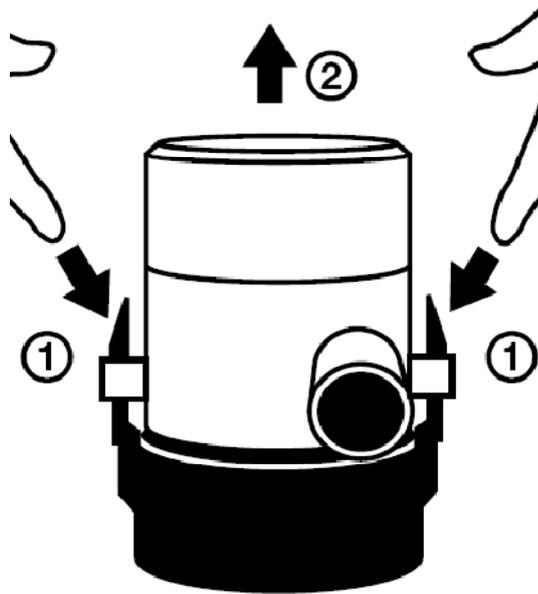


Figura 5.6 Extracción del filtro de la bomba.

No se debe atornillar directamente en la pared inferior del tanque, sino que se debe utilizar una plancha previamente adherida en el fondo del tanque.

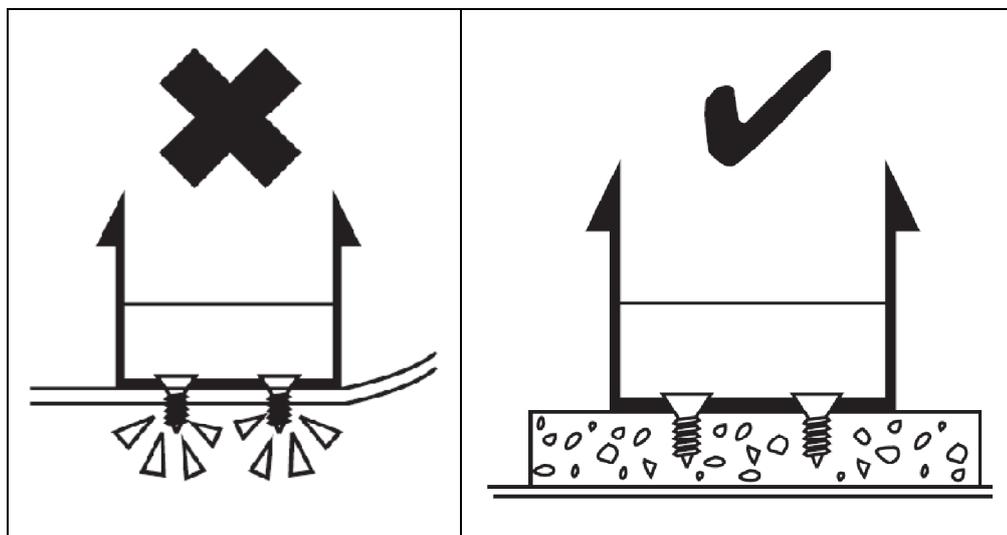


Figura 5.8 Manera de atornillar el filtro.

Finalmente, se vuelve a colocar el cuerpo de la bomba sobre el filtro atornillado.

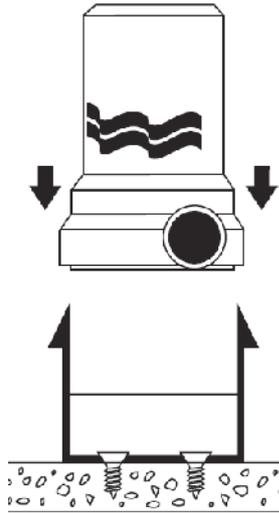


Figura 5.9 Montaje de la bomba en su filtro.

En el caso de este proyecto se utilizó un corte de una lámina plástica de poliestireno como base para atornillar el filtro de la bomba con 2 tornillos de 1/8, todo esto siguiendo con las indicaciones del fabricante.



Figura 5.10 Instalación de adaptadores en tanque superior

Una vez colocada la base de la bomba se debe ubicar los tanques en sus respectivos lugares en la estructura soporte. Una vez colocados se prosigue con la instalación de los adaptadores, como se observa en la Figura 5.10.

La salida de la bomba es una toma de 19 mm para manguera, por lo cual se utilizó una de $\frac{3}{4}$ de diámetro interno con una longitud de 20 cm, con su respectiva abrazadera.



Figura 5.11 Isometría del sistema ensamblado

Al otro extremo de la manguera se colocó un accesorio roscado que se une al adaptador instalado en el tanque, siendo la bomba perfectamente desmontable. De la parte externa del adaptador se coloca en secuencia los siguientes elementos: una unión de $\frac{3}{4}$ (6 cm), un codo de 90° de $\frac{3}{4}$, un tubo de $\frac{3}{4}$ de 100 cm de largo y una unión universal de $\frac{3}{4}$.

Al adaptador de la tapa del tanque superior se le unen los siguiente elementos de manera secuencial: unión de $\frac{1}{2}$ (6 cm), codo de 90° de $\frac{1}{2}$, sensor de caudal, codo de 90° con reducción de $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$, tubo de $\frac{3}{4}$ de 68 cm de largo, éste último se lo adapta a la unión universal de $\frac{3}{4}$ anterior formando la tubería y los dos tanque un solo conjunto.

Para los desagües de los tanques se coloca una unión de $\frac{3}{4}$ (6cm) en los adaptadores instalados en los tanques y, posteriormente, una válvula de $\frac{3}{4}$. En el caso del tanque inferior se instala una manguera que puede unirse al adaptador de la tapa del tanque inferior, teniendo así un sistema de recirculación, como se puede notar en la siguiente figura 5.11.

Para la conexión eléctrica de la bomba se debe utilizar un fusible de 2.5 amperios, una fuente de corriente continua de 12 voltios y un interruptor. El cable de color marrón es el de la alimentación y el negro es el de tierra. Los cables no deben ser conectados bajo el nivel de la superficie de agua.

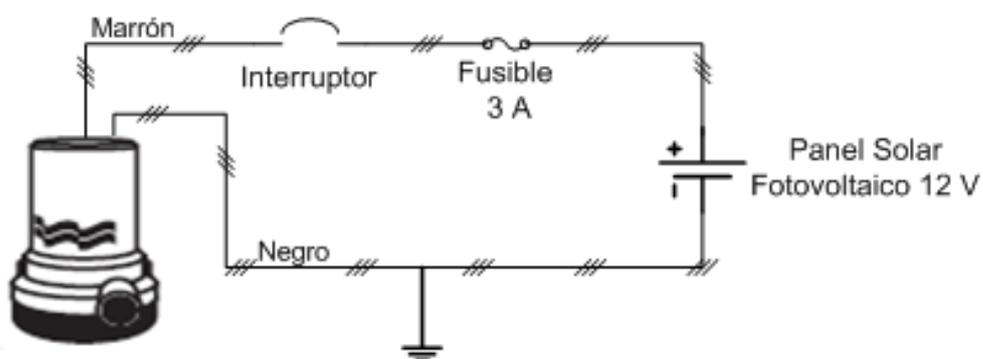


Figura 5.12 Esquema eléctrico de conexión de la bomba al panel según fabricante

El Panel solar tiene como datos de operativos los siguientes:

Tabla 5.2 Datos técnicos del panel solar

Potencia	43	Wp
Voltaje de operación	12	V
Intensidad de corriente de operación	3	A
Voltaje (Máxima potencia)	17.4	V
Intensidad (Máxima potencia)	3.64	A
Calibrado a 1000 W/m ²		
Velocidad del viento 1 m/s		

Para evitar que la bomba sufra algún desperfecto por sobre-voltaje o por exceso de corriente, se realizaron diferentes mediciones del voltaje e intensidad que entrega el panel a diferentes horas del día.

Tabla 5.3 Medición de parámetros del panel en un día normal soleado

HORA	VOLTAJE (V)	INTENSIDAD (A)
9h00	15.00	2.10
10h00	16.00	2.30
11h00	15.50	2.48
12h00	15.09	2.47
13h00	15.65	2.60
14h00	17.00	3.00
15h00	16.00	2.90

Como se puede observar, el voltaje y la intensidad son muy variables. Para evitar que esto afecte a la bomba se dispuso de un regulador de voltaje NTE 1912 (12V y 3A) y de una resistencia de 24 ohm (10 W) conectada en paralelo con la bomba. La conexión de la bomba se la realizó de acuerdo con el diagrama de la figura 5.13.

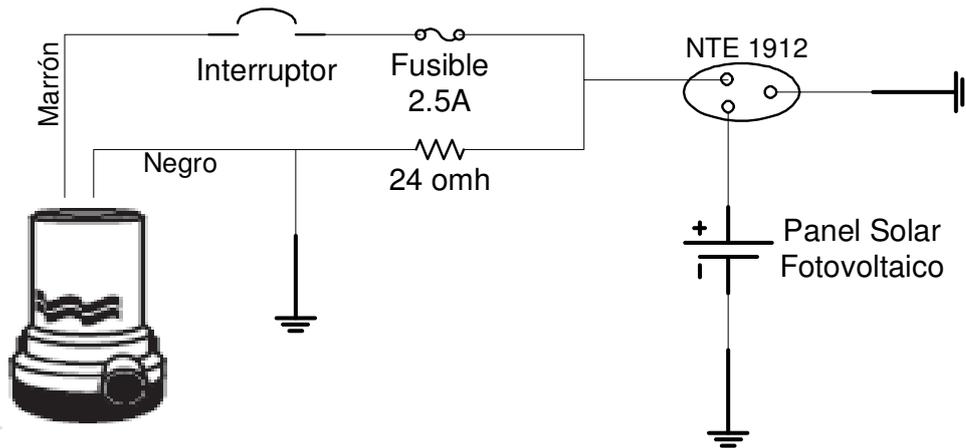


Figura 5.13 Diagrama de conexión eléctrica de la bomba

5.4.2 Instalación del equipo de medición Y adquisición de datos

De acuerdo con las especificaciones del sensor como de la tarjeta DAQ, se deben tomar en consideración algunos aspectos antes de su conexión y posterior puesta en marcha. Además se deben tomar en cuenta todas estas indicaciones para definir una correcta conexión.

En primer lugar, el sensor es un caudalímetro de turbina con un transmisor de voltaje, requiere de una alimentación entre 15 y 28 Vdc y emite una señal de 1 a 10 Voltios. Para la conexión, los cables del transmisor tienen las siguientes especificaciones:

- Negro: Tierra
- Rojo: Alimentación de 15 a 28 Vdc
- Blanco: Señal de salida de 1 a 10 Vdc

Por otro lado se tiene que la tarjeta DAQ puede soportar un máximo voltaje aplicado de ± 20 V. Esto quiere decir que el voltaje a medir debe ser menor al límite estipulado, pero hay que tomar en cuenta que puede aparecer un modo común de voltaje (CMV)²⁰ que sumado al de medición puede exceder este límite, por esto se deben realizar el siguiente proceso antes de conectar el sensor al DAQ:

²⁰ CMV, por sus siglas en inglés: common mode voltage

1. No conectar el sensor a la tarjeta DAQ. En caso de estar conectados, desconectarlos.
2. Conectar la tarjeta de adquisición de datos a una interface apropiada de la Computadora (RS-232).
3. Alimentar la tarjeta DAQ, la computadora y el sensor (con sus respectivas fuentes).
4. Tomar las siguientes medidas utilizando un multímetro digital:
 - a. Voltaje entre el terminal tierra del DAQ y la señal positiva del sensor. Esta medida no debe exceder el límite máximo que puede soportar la tarjeta.
 - b. Voltaje entre el terminal tierra del DAQ y la señal negativa del sensor. Esta medida debe ser cercana a 0 Voltios.
 - c. Voltaje entre el terminal tierra del DAQ y el Común del sensor. Esta medida debe ser cercana a 0 Voltios.
5. Si una o más de las mediciones no está bajo las recomendaciones, no se debe conectar los equipos. Existe un CMV que puede dañar al DAQ. Se debe analizar cuál es la fuente de tal modo de voltaje para eliminarla y así poder conectar los instrumentos y tomar las medidas requeridas.

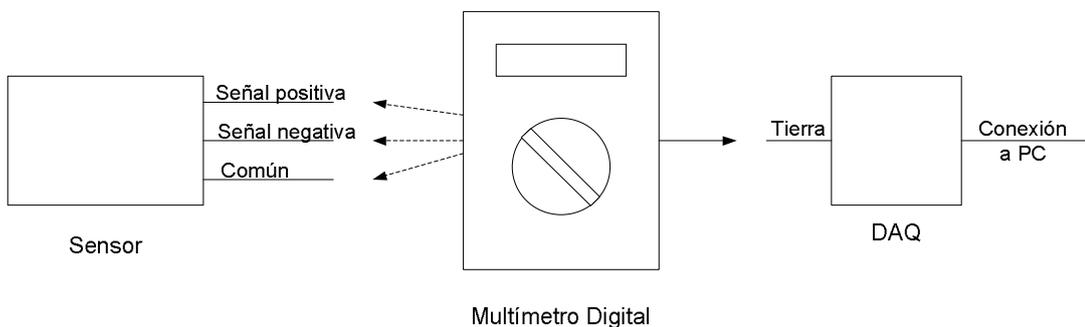


Figura 5.14 Medición de CMV entre sensor y DAQ según catálogo

Tomando en cuenta estos datos se ha dispuesto la conexión mostrada en la figura entre el sensor de flujo y la tarjeta de adquisición de datos seleccionados

para el presente proyecto. Cabe mencionar que el transmisor es desmontable del cuerpo del sensor, por lo que debe ser colocado antes de su funcionamiento.

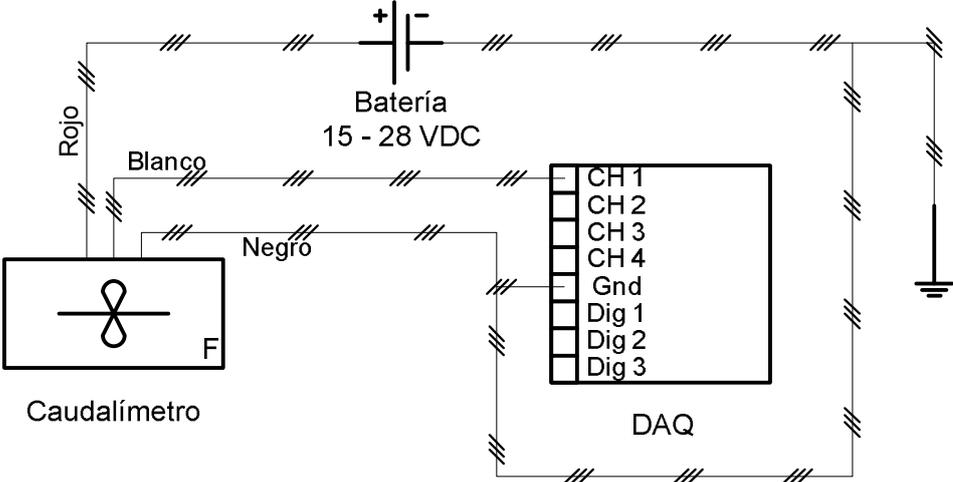


Figura 5.15 Esquema de conexión del sensor al DAQ

CAPÍTULO VI

PRUEBAS

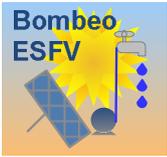
6.1 PARÁMETROS

En la tabla 6.1 se muestran los parámetros del sistema construido.

Tabla 6.1 Parámetros del equipo

ORDEN	PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Datos generales			
1	H, Irradiación solar en Quito	4.99	kW·h/m ² ·día
Datos del equipo			
2	h, Altura de bombeo	2	m
3	V, Volumen de tanques	50	Lt
4	Q, Caudal	7,5	Lt/min
Datos del fluido: AGUA			
5	T, Temperatura	20	°C
6	ρ , Densidad	998	Kg/m ³
7	η , Viscosidad	1.02 x10 ⁻³	Pa·s
Datos del conducto: TUBERÍA DE PVC DE 3/4"			
8	φ_o , Diámetro externo	27.0	mm
9	φ_i , Diámetro interno	17.5	mm
10	L, Longitud	2.5	m
11	ϵ , Rugosidad	1.0x10 ⁻⁶	m
12	K, Coeficiente de conducción térmica	0,12-0,25	W/m°C
Datos de la bomba			
13	Q _{máx} , Caudal máximo	500	GPH
14	Intensidad de operación	1,9 (12 V)	A

6.2 HOJA DE PRUEBAS

 <p>DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA</p>	<p><u>SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO</u></p>	
<p><i>Hoja de Pruebas</i></p>		
<p>Tema: Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica</p>		
<p>Objetivo</p>		
<p>Determinar el caudal promedio de agua que el sistema de bombeo fotovoltaico es capaz de suministrar en el día.</p>		
<p>Equipos</p>		
<ul style="list-style-type: none"> - Panel fotovoltaico de 43 Wp - Sistema de adquisición de datos DATAQ Instruments. - Computadora para acceder al software del sistema de adquisición - Equipo para medir la radiación solar - Multímetro 		
<p>Procedimiento</p>		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar y hacer todas las conexiones requeridas. 2. Conectar el enchufe del equipo a la toma del panel. 3. Encender la bomba mediante el interruptor. 4. Verificar que exista el caudal suficiente para que funcione el sensor. 5. Colocar el panel según la orientación e inclinación con las cuales se tenga mayor caudal. 6. Abrir el programa WINDAQ LITE. 7. Grabar la medición hecha estableciendo el tiempo de medición continuo (entre 30 segundos y 2 minutos, según lo permita las condiciones ambientales). 8. Tomar datos de Voltaje e Intensidad de Corriente del panel fotovoltaico. 9. Revisar el valor de irradiación solar en el plano del panel. 		
<p>Estado Físico: En excelentes condiciones (Equipo nuevo) Estado Técnico: En excelentes condiciones (Equipo nuevo) Estado Operacional: En excelentes condiciones (Equipo nuevo)</p>		
<p>Elaborado por: <i>Ricardo Berrú López</i> <i>Santiago Utreras Venegas</i></p>	<p>Asesorado por: <i>Ing. José Guasumba</i> <i>Ing. Fernando Montenegro</i></p>	

6.3 TOMA DE DATOS

Una vez que el equipo está en capacidad de operación se pueden registrar los datos de caudal. Para esto se requiere de los siguientes instrumentos:

1. Computador con puerto serial y programa WINDAQ instalado.
2. Multímetro.
3. Medidor de irradiación solar.

Cuando se disponga de estos elementos se sigue con el siguiente procedimiento:

1. Verificar que las conexiones dentro de la caja de elementos eléctricos estén de acuerdo a lo requerido.
2. Conectar el cable serial del DAQ a la computadora.
3. Conectar la alimentación del sensor.
4. Conectar el enchufe del equipo a la toma del panel.
5. Encender la bomba mediante el interruptor.
6. Verificar que exista el caudal suficiente para que funcione el sensor.
7. Colocar el panel según la orientación e inclinación con las cuales se tenga mayor caudal.
8. Abrir el programa WINDAQ LITE.
9. Grabar la medición hecha estableciendo el tiempo de medición continuo (entre 30 segundos a 5 minutos, según lo permita las condiciones ambientales).
10. Tomar datos de Voltaje e Intensidad de Corriente del panel fotovoltaico.
11. Revisar el valor de irradiación solar en el plano del panel.

Al tener la cantidad de datos registrados necesarios se procede al análisis de los mismos, para lo cual se utilizó el programa WINDAQ WAVEFORM BROWSER y EXCELL. Los datos obtenidos se los puede procesar a través de Excel para visualizar el caudal instantáneo en relación al tiempo. El programa de la tarjeta de adquisición de datos proporciona datos estadísticos de la medición de datos grabada. Estos dos permiten realizar un análisis del funcionamiento del equipo construido.

Tabla 6.2 Registro de datos de voltaje, intensidad de corriente e irradiancia

ORDEN	Hora	Fecha	Caudal	Voltaje	Intensidad de corriente	Irradiancia
			(GPM)	(V)	(A)	(W/m2)
1	13:00:00	10-Nov	2,35	12	2,30	1100
2	13:05:00	10-Nov	2,27	12	2,15	1000
3	13:10:00	10-Nov	2,01	12	2,20	974
4	13:15:00	10-Nov	2,00	12	2,25	980
5	13:20:00	10-Nov	1,79	12	2,20	975
6	12:25:00	11-Nov	1,82	12	2,15	964
7	10:45:00	12-Nov	2,21	12	2,23	1011
8	11:00:00	12-Nov	1,64	12	2,18	950
9	12:00:00	12-Nov	2,19	12	2,30	1050
10	12:10:00	12-Nov	1,97	12	2,23	990
11	12:20:00	12-Nov	1,49	12	2,15	915
12	12:30:00	12-Nov	1,55	12	2,10	925
13	12:40:00	12-Nov	1,22	12	2,00	880
14	12:50:00	12-Nov	1,75	12	2,20	955
15	13:00:00	12-Nov	1,27	12	2,05	879
16	13:10:00	12-Nov	1,81	12	2,15	970
17	13:20:00	12-Nov	1,59	12	2,10	900
18	13:30:00	12-Nov	1,59	12	2,10	934
19	13:40:00	12-Nov	1,32	12	2,05	839
20	13:50:00	12-Nov	1,39	12	2,05	888
21	14:00:00	12-Nov	1,26	12	2,00	850
22	10:10:00	16-Nov	2,31	12	2,35	1060
23	10:20:00	16-Nov	2,24	12	2,30	1040
24	10:30:00	16-Nov	2,15	12	2,30	1035
25	10:40:00	16-Nov	2,05	12	2,20	1018
26	10:50:00	16-Nov	1,87	12	2,20	986
27	11:00:00	16-Nov	1,76	12	2,15	955
28	11:10:00	16-Nov	1,50	12	2,12	920
29	10:00:00	17-Nov	2,76	12	2,46	1170
30	10:10:00	17-Nov	2,54	12	2,40	1127
31	10:20:00	17-Nov	2,40	12	2,35	1090
32	10:30:00	17-Nov	2,29	12	2,30	1068
33	10:40:00	17-Nov	2,05	12	2,27	1010
34	10:50:00	17-Nov	1,82	12	2,23	968
35	11:00:00	17-Nov	1,70	12	2,15	947

Tabla 6.3 Datos y resultados de pérdidas hidráulicas

ORDEN	Q (GPM)	v (m/s)	Re	f	hf (m)
1	1,22	0,32	5501	0,030	0,048
2	1,26	0,33	5681	0,034	0,058
3	1,27	0,33	5704	0,035	0,060
4	1,32	0,35	5952	0,031	0,058
5	1,39	0,37	6268	0,032	0,066
6	1,49	0,39	6718	0,032	0,076
7	1,50	0,40	6764	0,030	0,072
8	1,55	0,41	6989	0,034	0,087
9	1,59	0,42	7169	0,030	0,081
10	1,59	0,42	7169	0,031	0,084
11	1,64	0,43	7395	0,034	0,098
12	1,70	0,45	7665	0,034	0,105
13	1,75	0,46	7891	0,036	0,118
14	1,76	0,46	7936	0,032	0,106
15	1,79	0,47	8071	0,036	0,123
16	1,81	0,48	8161	0,032	0,112
17	1,82	0,48	8206	0,035	0,124
18	1,82	0,48	8206	0,034	0,121
19	1,87	0,49	8432	0,037	0,139
20	1,97	0,52	8883	0,035	0,145
21	2,00	0,53	9018	0,036	0,154
22	2,01	0,53	9063	0,030	0,130
23	2,05	0,54	9244	0,030	0,135
24	2,05	0,54	9244	0,031	0,139
25	2,15	0,57	9694	0,031	0,153
26	2,19	0,58	9875	0,032	0,164
27	2,21	0,58	9965	0,032	0,167
28	2,24	0,59	10100	0,034	0,183
29	2,27	0,60	10236	0,028	0,154
30	2,29	0,60	10326	0,029	0,163
31	2,31	0,61	10416	0,029	0,166
32	2,35	0,62	10596	0,030	0,177
33	2,40	0,63	10822	0,031	0,191
34	2,54	0,67	11453	0,032	0,221
35	2,76	0,73	12445	0,033	0,269
media	1,88	0,50	8493	0,03	0,122

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la parte práctica es muy importante obtener resultados de la observación de un fenómeno. El caso del funcionamiento de este equipo no es una excepción. El sistema de bombeo estuvo listo, sin considerar la adquisición de datos, desde el mes de Agosto del 2009.

Algunas observaciones con relación al trabajo del sistema de bombeo fotovoltaico se listan a continuación:

- El panel disponible en el laboratorio es capaz de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento de la bomba, excepto cuando existe una considerable cantidad de nubosidad.
- La bomba empieza a funcionar a partir de la irradiación de aproximadamente 850 W/m^2 , y el sensor de caudal es capaz de medir el flujo de agua cuando el panel recibe 1000 W/m^2 aproximadamente.
- El flujo de agua en el sistema es mayor al aumentar la irradiancia solar.
- En un día despejado, la bomba es capaz de funcionar desde las 10h30.
- En los meses de Agosto y Septiembre el sistema trabajaba con mayor caudal en comparación al que tuvo en los meses de Octubre y Noviembre.
- El sensor utilizado en un inicio causaba menor cantidad de pérdidas en relación a las causadas por el que se encuentra en el equipo, debido a que éste último dispone en su interior de una abertura considerable para alojar las paletas y regular el movimiento de las mismas.
- La bomba trabaja de forma normal durante cinco minutos aproximadamente; pero luego de este tiempo, es notable la disminución en el caudal que entrega al sistema.

Luego de realizar observaciones al funcionamiento se pueden tomar datos y verificar el funcionamiento del sistema con los registros de caudal instantáneos guardados en el computador.

A manera de ejemplo, el día 10 de noviembre del 2009 se tomó cinco diferentes mediciones, cada una con una duración de un minuto. Teniendo el siguiente resultado en el registro de las 12h00.

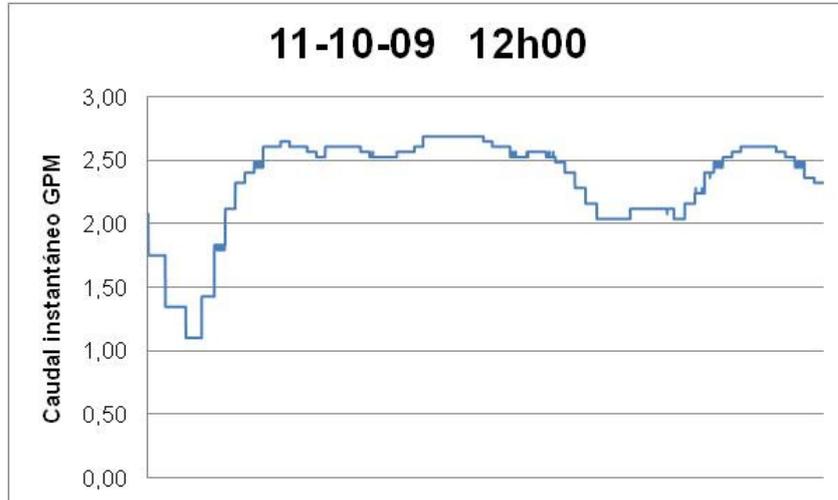


Figura 6.1 Gráfica del registro de datos 11-10-09, 12h00

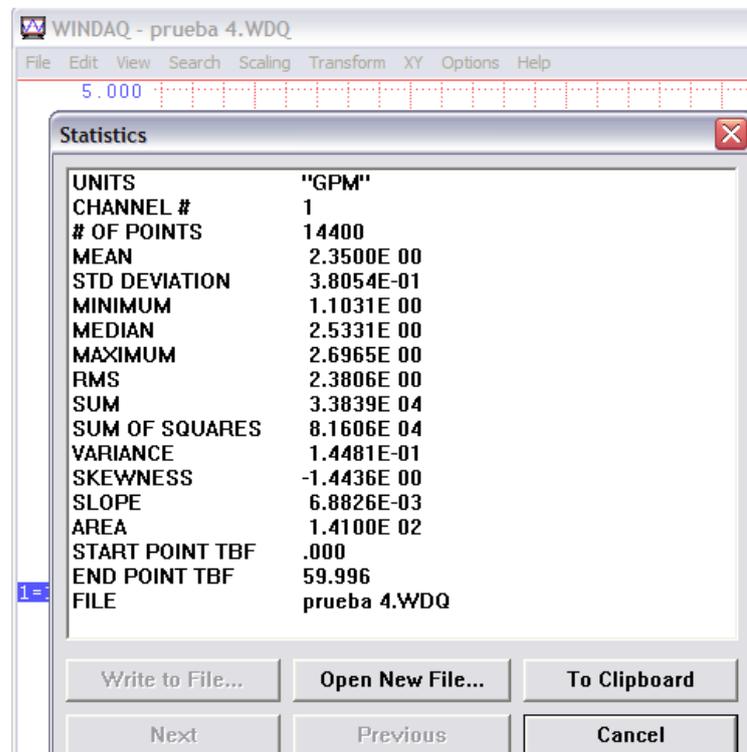


Figura 6.2 Datos estadísticos en WINDAQ de la medición del 11-10-09, 12h00

De estos datos los más interesantes son la media de 2.35 GPM y la desviación estándar de 0,38 GPM. Para el análisis de pérdidas hidráulicas se utilizará el valor de la media correspondiente a cada medición.

Como el sistema diseñado y construido es un equipo de bombeo, entonces se puede calcular las pérdidas que éste presenta de acuerdo a los diferentes caudales registrados durante las pruebas.

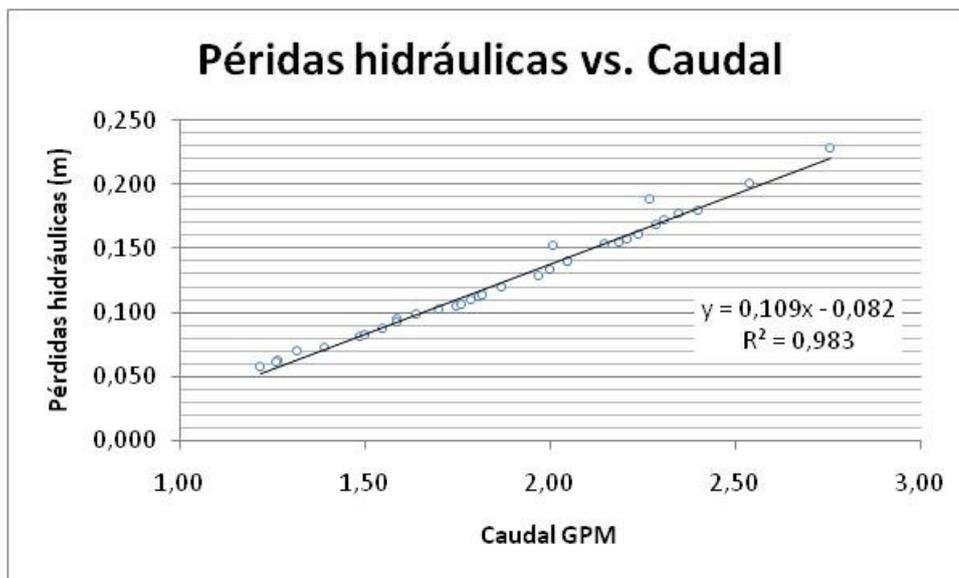


Figura 6.3 Gráfica de Pérdidas vs. Caudal

Se evidencia que las pérdidas hidráulicas en el sistema varían de forma directamente proporcional con el caudal del mismo.

Con los datos de voltaje, intensidad de corriente e irradiancia medidos en cada toma realizada es posible observar el cambio existente de la intensidad de corriente y de la irradiancia en relación al caudal existente en el sistema.

Como se puede observar en la figura 6.3, hay una relación directa entre la intensidad de corriente y el caudal, así como entre la irradiancia recibida por el panel y el flujo de agua dentro del sistema.

Esto confirma la teoría. La intensidad de corriente suministrada por el panel fotovoltaico aumenta cuando hay incremento de irradiancia. La bomba mejora su funcionamiento, es decir que aumenta caudal mientras mayor sea la corriente que recibe, siempre y cuando no exceda los límites señalados por el fabricante.

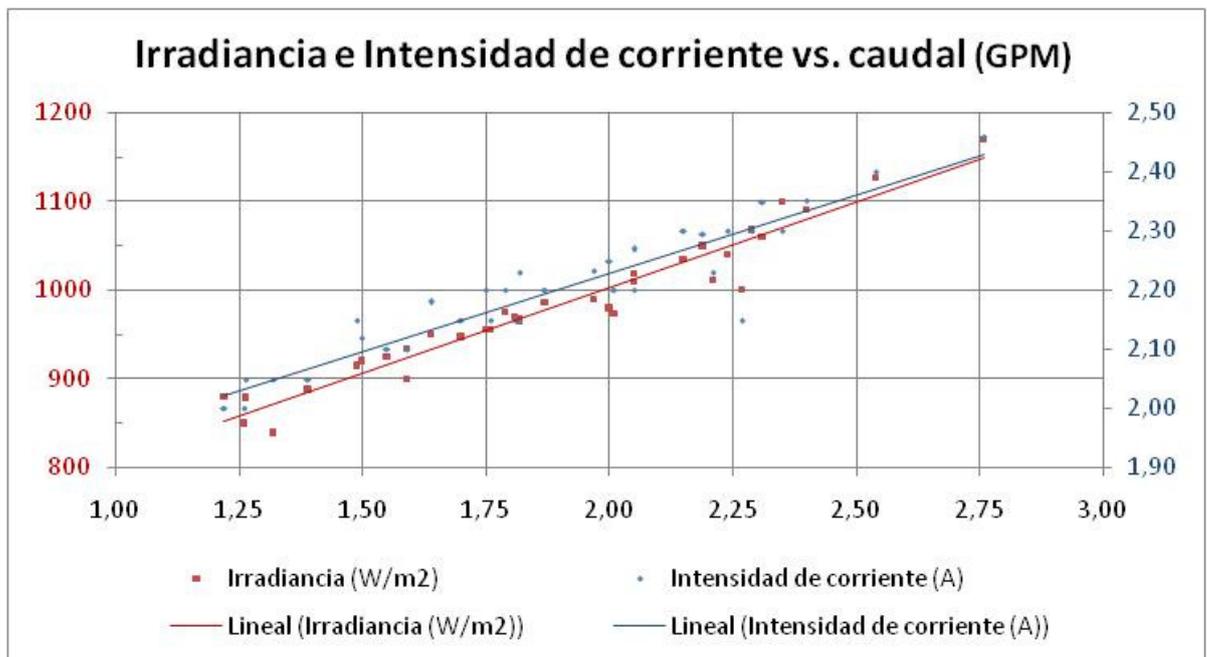


Figura 6.4 Gráfica de la Irradiancia e Intensidad de corriente respecto al caudal

6.5 ELABORACIÓN DE MANUAL DE USUARIO

Para la elaboración del manual de usuario se tomó en consideración las recomendaciones de los manuales de los proveedores de la bomba, el sensor y la tarjeta de adquisición de datos utilizadas en el sistema.

Los resultados y observaciones realizadas durante las pruebas ayudaron en la conformación de los datos de funcionalidad y operatividad del sistema de bombeo fotovoltaico.

El sistema construido esta conformado por equipos que no requieren de mayores actividades de mantenimiento. El panel fotovoltaico y la bomba son los componentes sobre los cuales hay que tener mayor cuidado. El mantenimiento de éstos se basa en actividades de limpieza.

Con respecto al panel es necesario limpiar periódicamente la cubierta de vidrio del panel. Mientras, en relación a la bomba, se debe verificar que los tanques no contengan suciedad que pueda afectar a su funcionamiento y, de haberla, se debe evacuar el agua de los tanques y recoger las impurezas que se tengan en ellos.

El manual de usuario se lo puede observar en el ANEXO F.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

7.1 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el presente proyecto se utilizó los siguientes equipos y materiales, detallados en cantidad y costo en la siguiente tabla:

Tabla 7.1 Costo de equipos y materiales

Ord	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
1	Bomba		1	30,00	30,00
2	Panel Solar	47 Watt	1	500,00	500,00
3	Sensor		1	185,00	185,00
4	Tarjeta DAQ		1	30,00	30,00
5	Tol de acero	2 mm	1	34,00	34,00
6	Tubo cuadrado de acero 1 pulgada	6 m	3	5,00	15,00
7	Tubería PVC 3/4 pulgada	2 m	1	3,62	3,62
8	Acople de 3/4 pulgada		5	0,75	3,75
9	Acople mixto 3/4 pulgada		3	0,50	1,50
10	Manguera 3/4 pulgada (1 m)	1 m	2	1,00	2,00
11	Abrazadera		4	0,50	2,00
12	Codos 90° PVC 3/4 pulgada		3	0,78	2,34
13	Fusible (2,5 A)		1	1,00	1,00
14	Interruptor		1	10,00	10,00
15	Conectores		2	5,00	10,00
16	Cable AWG 16	1 m	1	1,00	1,00
17	Caja elementos eléctricos		1	10,00	10,00
18	Bornera		1	1,00	1,00
19	Regulador del voltaje		1	40,00	40,00
20	Batería		3	6,00	18,00
					900,21

El panel solar es aporte del Laboratorio de Energías Renovables. Los equipos como la bomba, el sensor y la tarjeta de adquisición de datos se adquirieron mediante el internet en casas comerciales de Estados Unidos. El material de acero, las tuberías y accesorios, los tanques y el material eléctrico fue adquirido en diferentes ferreterías y tiendas especializadas de Quito y Sangolquí.

Así también se tienen el costo de otros rubros como Insumos y Mano de obra.

Tabla 7.2 Costos de Insumos

Ord	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
1	Anticorrosivo	1	5,00	5,00
2	Pintura plástica	4	8,00	32,00
3	Agua	1	40,00	40,00
4	Teflón	1	1,00	1,00
				78,00

Tabla 7.3 Costos de Mano de obra

Ord	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo Total
1	Estructura soporte	1	20,00	20,00
2	Transporte	2	10,00	20,00
				40,00

La estructura soporte fue fabricada en la misma ferretería donde se adquirió los materiales de acero. El proceso de pintura y ensamblaje fue hecho en el recinto Universitario. El transporte se refiere al traslado de la estructura en primer lugar, y un segundo transporte del resto de materiales adquiridos

Sumando los costos es posible obtener el costo total.

Tabla 7.4 Costo Total

Ord	Rubro	Costo
1	Materiales y equipos	900,21
2	Insumos	78,00
3	Mano de obra	40,00
		1.018,21

El Costo total de la instalación es de \$ 1018,21.

7.2 ANÁLISIS FINANCIERO

Para realizar el análisis financiero, se debe comparar el costo total del equipo con el ahorro que éste genera. Para esto es posible tomar en cuenta dos enfoques:

1. Ahorro de energía eléctrica.
2. Ingreso por créditos universitarios en la asignatura de energías renovables.

Para el ahorro de energía eléctrica, se debe considerar el consumo de kilovatios-hora del equipo, y determinar cuánto dinero significa esto para la facturación del servicio de energía eléctrica. La diferencia es que en estas aplicaciones se utilizan bombas de ¼, ½, ¾ o 1 HP de potencia. El cálculo se realiza tomando en cuenta una bomba de ¾ HP y 4 horas de uso diario.

Tabla 7.5 Consumo de un sistema convencional

Potencia (HP)	Horas de uso diarias (h)	Kilowatios hora (KW·h)	Precio por KW·h	Ahorro anual
0,75	4	816,87	0,11	89,86

Se estima que este valor no se altera en el tiempo, es decir que cada período (año) se ahorra una cantidad igual. Con esto es posible analizar la Tasa Interna de Retorno y el Valor Actual Neto ($r=5\%$), mediante las siguientes ecuaciones:

$$Inversión = \sum_i^n \frac{Ahorro\ anual_i}{(1+TIR)^i} \quad (7.1)$$

$$VAN = -Inversión\ inicial + \frac{Ahorro\ anual \times [1 - (1 + r)^{-n}]}{r} \quad (7.2)$$

El resultado de éste análisis financiero es que los sistemas fotovoltaicos son onerosos, por lo que requieren de una fuerte inversión inicial con resultados a largo plazo. Este es el motivo por el cual muchas empresas y personas no utilizan estos sistemas.

Cabe resaltar que en este caso solo comparamos la energía utilizada para el bombeo, mas no se considera que se puede utilizar otros artefactos mientras la bomba no se encienda, como luminarias, ventiladores, entre otros. Si se considerara esto, el plazo de recuperación de la inversión sería disminuiría un par de períodos.

Tabla 7.6 Cálculo del TIR

Período	Valor	TIR (anual)
0	- 1.018,21	
2	89,86	
4	89,86	
6	89,86	-16%
8	89,86	-7%
10	89,86	-2%
11	89,86	0%
12	89,86	1%
13	89,86	2%

Tabla 7.7 Cálculo del VAN

Período	Valor	VAN (r=5%)
0	- 1.018,21	(-1.018,21)
15	89,86	(-96,54)
16	89,86	(-55,37)
17	89,86	(-16,17)
18	89,86	20,17
19	89,86	55,72

El segundo caso es un análisis financiero tomando en cuenta como ingresos los recibidos por concepto de matrículas en la asignatura de Energías Renovables, siendo el valor estimado del crédito universitario de \$20,00.

Tabla 7.8 Cálculo de ingresos por crédito universitario

Rubro (semestre)	Cantidad	Valor Unit	Total
Crédito universitario: "Energías no renovables"	40	20,00	800,00

Se estima que este valor no se altera en el tiempo, es decir que cada período (año) se ahorra una cantidad igual. Con esto es posible analizar la Tasa Interna de Retorno y el Valor Actual Neto, calculándolos con las ecuaciones 7.1 y 7.2..

Tabla 7.9 Cálculo del TIR

Período	Valor	TIR (semestral)
0	- 1.018,21	
1	800,00	
2	800,00	36%
3	800,00	59%

Tabla 7.10 Cálculo del VAN

Período	Valor	VAN (r=5%)
0	- 1.018,21	(-1.018,21)
1	800,00	(-277,47)
2	800,00	408,40
3	800,00	1.043,47

Cabe destacar que en este caso no se toma en cuenta el ahorro de energía eléctrica por uso del equipo, ya que se trata de un equipo demostrativo de laboratorio.

Así también, hay que señalar que se tomó en cuenta todo el ingreso por concepto de créditos universitarios correspondientes a una materia.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y se construyó un equipo demostrativo de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica y con registro de datos de caudal instantáneos, para el Laboratorio de Energías Renovables del DECEM.
- El funcionamiento del equipo construido demuestra que el bombeo fotovoltaico es una aplicación, válida técnicamente, de la energía solar fotovoltaica para el uso doméstico tanto en zonas rurales como urbanas para aprovisionamiento de agua y sistemas de riego, en la zona del Valle de los Chillos.
- En el sistema diseñado se pudo obtener una eficiencia eléctrica promedio de de la bomba del 61% en condiciones óptimas de funcionamiento y un caudal aproximado de 7 l/min a 2 m de altura de bombeo, lo que demuestra que se puede conseguir un desempeño comparable con el de un sistema convencional.
- Se determinó que la eficiencia de la bomba depende del nivel de radiación que el panel recibe lo que nos guía a concluir que para un sistema en el que se desee un funcionamiento constante se necesita de un acumulador de

energía que almacene la misma, con la que el sistema funcionaría a pesar de no tener días despejados e incluso durante las noches.

- Podemos observar que el equipo diseñado utiliza una bomba de alto desempeño y bajo costo, 30 USD, lo que nos permite deducir que si se desea construir un sistema a escala real será factible en cuanto se disponga del presupuesto necesario para los materiales e implementos de la instalación.
- El equipo construido tuvo un costo de 1018,21 dólares, esto representa una alta inversión. Al considerar el ahorro de energía de 89,86 dólares anuales (considerando solamente el ahorro por el uso de una bomba), se tiene que esta inversión se recupera en un largo plazo de 12 años aproximadamente, por lo cual no es financieramente atractivo.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un proyecto de bombeo fotovoltaico aplicado en una localidad rural o en una localidad urbana, para determinar de manera clara cuál es el ahorro que se logra alcanzar al no utilizar energía eléctrica convencional.
- Es recomendable buscar un sensor de caudal que tenga un mayor rango de medida para poder utilizarlo en el equipo y que sea capaz de medir caudales bajos.
- Se podría implementar sistemas que complementen las características del equipo, aplicando el principio de energías limpias, como por ejemplo implementado un sistema combinado en el que no solo se bombee agua sino también se obtenga agua para uso doméstico purificada y caliente a la vez.

- Se recomienda utilizar un dispositivo de adquisición de datos el cual se conecte a través de un puerto USB y no de un puerto serial ya que el mismo no se encuentra disponible en las computadoras portátiles, esto facilitaría el registro de los datos ya que al ser un sistema que se encontrará instalado en la intemperie, el computador es una parte que no estará ensamblada todo el tiempo.

- En el momento de la instalación de la bomba, el sensor de caudal y el sistema de adquisición, es importante hacer hincapié en los procedimientos solicitados por los fabricantes y tomar las precauciones necesarias que se detallan en los manuales para asegurar un correcto funcionamiento de todos los instrumentos.

- Al realizar las conexiones e instalaciones del sistema, asegurarse de que las mismas estén correctamente ensambladas para evitar fugas las cuales afectarían al rendimiento ya que las mismas estarían causando pérdidas no tomadas en cuenta en el cálculo del diseño.

- Finalmente estimular el estudio de este tipo de sistemas los cuales están basados en el uso de energía renovable, tomando en cuenta que el agotamiento de recursos y la contaminación que causa la energía convencional está llegando a niveles críticos.

BIBLIOGRAFÍA

- Guasumba José, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y COOPERACIÓN AL DESARROLLO, Editorial Iepala, 1999.
- Jutglar Lluís, ENERGÍA SOLAR, Ediciones CEAC, España, 2004.
- Mott Robert, MECÁNICA DE FLUIDOS, Editorial Pearson, 6ª edición, 2006.
- Welty James, TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA A LA INGENIERÍA, Editorial Limusa, México, 1994.
- Incropera, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, 4ª edición.
- US Department of Energy, DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK, 1992.
- Marks Lionel, STANDARD HANDBOOK FOR MECHANICAL ENGINEERS, 10ª edición.
- Ortega R. Mario, ENERGÍAS RENOVABLES, Editorial Paraninfo, España, 2000.
- Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, Madrid, 2002.
- Carless Jennifer, ENERGÍA RENOVABLE, Editorial Edamex, México, 1995.

DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://www.censolar.es/>
- <http://codeso.info/Solar-Energia/Bombas-Solares.html>
- <http://www.isofoton.com/>
- <http://www.cecua.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/2%20fotovoltaica.htm>
- http://www.torres-refrigeracion.com/pdf/art_fot_014.pdf
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable
- <http://www.adsur.com.ar/ads/solar/bomba.htm>
- <http://www.sitiosolar.com/bombeo%20solar%20fotovoltaico.htm>
- www.energy.caeds.eng.uml.edu

ANEXOS

**ANEXO A: TABLAS DE PROPIEDADES Y DIAGRAMA DE
MOODY**

600 Transferencia de Calor

Tabla A-9 Propiedades del agua (líquido saturado)*

°F	°C	c_{p1} kJ/kg·°C	ρ_1 kg/m ³	μ_1 kg/m·s	k_1 W/m·°C	Pr	$\frac{g\beta\rho^2c_p}{\mu k}$ 1/m ³ ·°C
32	0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	1.91×10^9
40	4.44	4.208	999.8	1.55	0.575	11.35	6.34×10^9
50	10	4.195	999.2	1.31	0.585	9.40	1.08×10^{10}
60	15.56	4.186	998.6	1.12	0.595	7.88	1.46×10^{10}
70	21.11	4.179	997.4	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.91×10^{10}
80	26.67	4.179	995.8	8.6	0.614	5.85	2.48×10^{10}
90	32.22	4.174	994.9	7.65	0.623	5.12	3.3×10^{10}
100	37.78	4.174	993.0	6.82	0.630	4.53	4.19×10^{10}
110	43.33	4.174	990.6	6.16	0.637	4.04	4.89×10^{10}
120	48.89	4.174	988.8	5.62	0.644	3.64	5.66×10^{10}
130	54.44	4.179	985.7	5.13	0.649	3.30	6.48×10^{10}
140	60	4.179	983.3	4.71	0.654	3.01	7.62×10^{10}
150	65.55	4.183	980.3	4.3	0.659	2.73	8.84×10^{10}
160	71.11	4.186	977.3	4.01	0.665	2.53	9.85×10^{10}
170	76.67	4.191	973.7	3.72	0.668	2.33	1.09×10^{11}
180	82.22	4.195	970.2	3.47	0.673	2.16	
190	87.78	4.199	966.7	3.27	0.675	2.03	
200	93.33	4.204	963.2	3.06	0.678	1.90	
220	104.4	4.216	955.1	2.67	0.684	1.66	
240	115.6	4.229	946.7	2.44	0.685	1.51	
260	126.7	4.250	937.2	2.19	0.685	1.36	
280	137.8	4.271	928.1	1.98	0.685	1.24	
300	148.9	4.296	918.0	1.86	0.684	1.17	
350	176.7	4.371	890.4	1.57	0.677	1.02	
400	204.4	4.467	859.4	1.36	0.665	1.00	
450	232.2	4.585	825.7	1.20	0.646	0.85	
500	260	4.731	785.2	1.07	0.616	0.83	
550	287.7	5.024	735.5	9.51×10^{-5}			
600	315.6	5.703	678.7	8.68			

* Adaptado de A. I. Brown y S. M. Marco, "Introduction to Heat Transfer," 3a. Ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1953.

F Dimensiones de tuberías de acero

TABLA F.1 Cédula 40.

Tamaño nom. de tubería (pulg)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(pies)	(mm)	(pies ²)	(m ²)
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PVC

Para conocer las **características técnicas** del **PVC**, elasticidad, alargamiento a la rotura, densidades, fricción, resistencia a la rotura al impacto, a la tracción, y temperatura máxima y mínima de trabajo, así como para consultar las tablas de las medidas de barras y placas de **PVC** que suministra plasticbaques, y los pesos de los distintos formatos a su disposición, tanto en **barras** como en **placas**, consulte las tablas referentes al **PVC** que aparecen a continuación:

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Propiedades Térmicas

Calor Específico ($J K^{-1} kg^{-1}$)	1000-1500
Coefficiente de Expansión Térmica ($\times 10^{-5} K^{-1}$)	75-100
Conductividad Térmica a 23C ($W m^{-1} K^{-1}$)	0,12 0,25
Temperatura Máxima de Utilización (C)	50-75
Temperatura Mínima de Utilización (C)	-30
Temperatura de Deilación en Caliente - 0.45MPa (C)	70
Temperatura de Deilación en Caliente - 1.8MPa (C)	67

Coefficiente de dilatación

Densidad	1,37 a 1,42 Kg/dm. ³
Coefficiente de dilatación lineal	0,000.060 a 0.000.080 m/°C/m.
Temperatura de ablandamiento	> 80 °C.
Módulo de elasticidad a 20° C	> 28.000 Kg./cm. ²
Tensión de rotura a tracción	> 500 Kg./cm. ²

Coefficiente térmico de 20°C a 50°C.

Coefficiente de fricción

(Tenga en cuenta que existe coeficiente de fricción estático y coeficiente dinámico).

Coefficiente de fricción	n = 0.009 c = 150	Manning Hazen	Williams (unidad)
		Valor	Unidades
Características físicas		-	-
Peso específico		1.35 - 1.40	g/cm ³ a 25°C
Variación longitudinal máx.		> 5 segundos NCh 1619	%
Coefficiente de dilatación térmica		0.08	mm/(m°C)
Inflamabilidad		Autoextingible	
Coefficiente de fricción		n = 0.009 c = 150	Manning Hazen - Williams
Punto Vicat		76 (T° de ablandamiento)	°C

Constante dieléctrica	4	50/60 ciclos
	3,4	800 ciclos
	3	>1 Millón de ciclos
Factor de disipación	0,02-0,04	800 mil a 1 millón de ciclos
Resistencia dieléctrica	20	Kw / mm
Conductividad térmica	35×10 ⁻⁵	Cal × cm / (cm ² ×s×°C)
Características mecánicas		
Tensión de diseño	100	kg/cm ²
Resistencia a la tracción	450 a 550	kg/cm ²
Resistencia a la compresión	610	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	30.000	kg/cm ²
Resistencia al aplastamiento	Hasta 0,4 veces el Ø sin fisuras ni roturas (según normativa chilena)	-
Elongación hasta la rotura	15	%
Resistencia Química	-	-

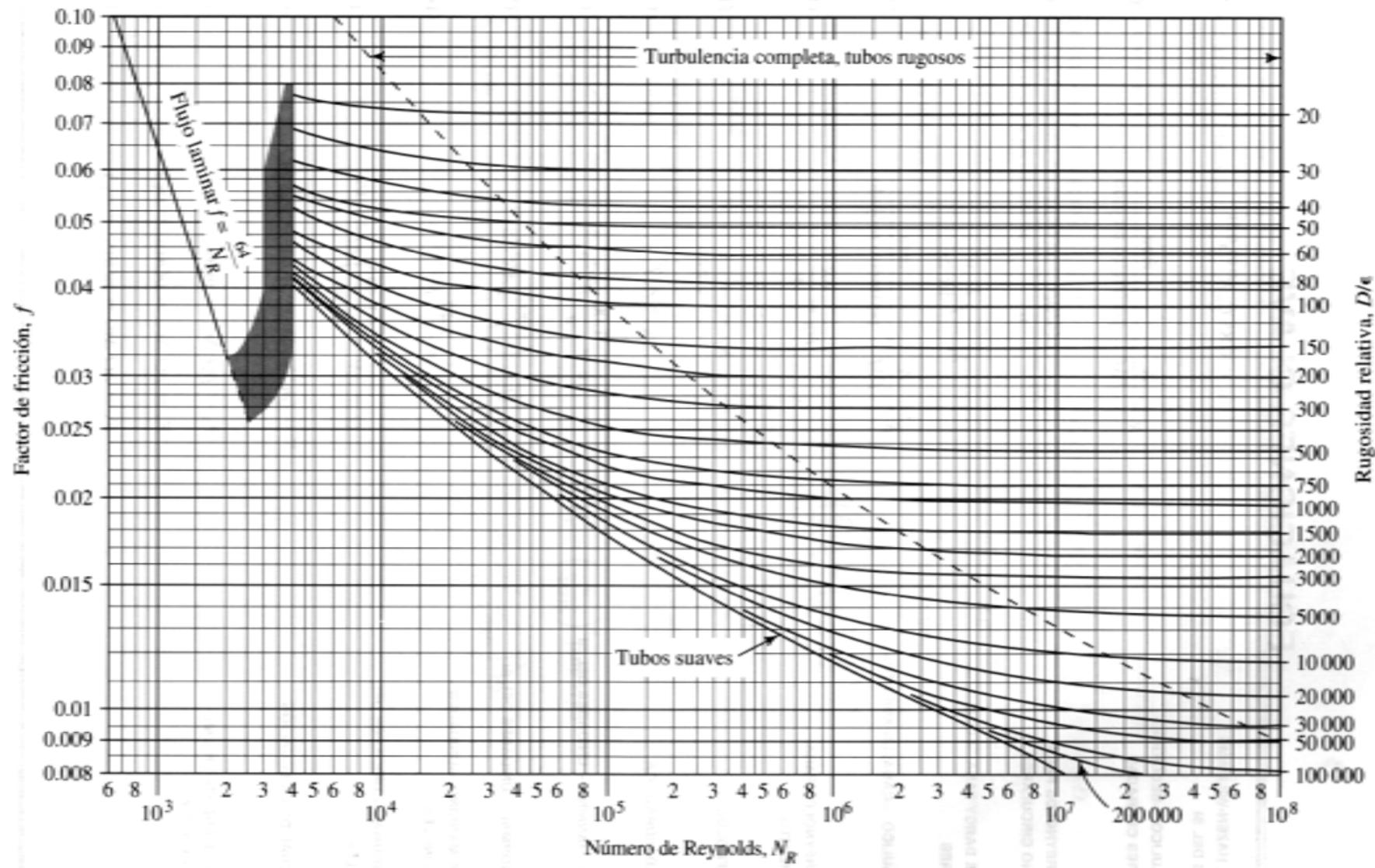
Dureza de Shore.

Módulo de elasticidad a 20° C

> 28.000 Kg./cm.²

Tensión de rotura a tracción

> 500 Kg./cm.²



**ANEXO B: CÁLCULO DE PANELES Y BATERÍAS PARA
INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS**

CÁLCULO DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y BATERÍAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.²¹

Para el cálculo normal (sin utilizar software), se considera lo siguiente:

En primer lugar se debe estimar los consumos eléctricos diarios de los equipos eléctricos que vayan a operar de continuo en la instalación. En el caso de la instalación que se planea construir el único consumo energético es el presentado en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Consumo energético estimado

Elemento	Unidades	Potencia [W]	Horas [h]	Energía [W·h]
Bomba	1	18	7	126
Consumo energético teórico: E_T [W·h]				126

A partir del consumo energético teórico E_T [W·h], se debe calcular el consumo energético real E [W·h], necesario para hacer frente a los múltiples factores de pérdidas que van a existir en la instalación fotovoltaica, del siguiente modo:

$$E = \frac{E_T}{R} \quad (1)$$

Donde R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \cdot \left(1 - \frac{k_a \cdot N}{p_d}\right) \quad (2)$$

²¹ http://www.torres-refrigeracion.com/pdf/art_fot_014.pdf

Tabla 2 Factores de la Ecuación 1

Factor	Significado	Valor	Condición
k_b	Coeficiente de pérdidas por rendimiento acumulador	0,05	Sistemas que no demanden descargas intensas
		0,1	Sistemas con descargas profundas
k_c	Coeficiente de pérdidas en el convertidor	0,05	Convertidores senoidales (régimen óptimo)
		0,1	Otras condiciones de trabajo (lejos del óptimo)
		0	Sin convertidor
k_v	Coeficiente de pérdidas varias	0,05 - 0,15	Agrupar otras pérdidas como: rendimiento de red, Efecto Joule, etc.
k_a	Coeficiente de autodescarga diario	0,002	Baterías de baja autodescarga, Ni-Cd
		0,005	Baterías estacionarias de Pb-ácido (más comunes)
		0,012	Baterías de alta autodescarga (arranque automóviles)
N	Número de días de autonomía	4 – 10	Días de autonomía referenciales
		0	Utilizada solo cuando hay suficiente radiación
P_d	Profundidad de descarga diaria de batería	Menor al 80%	Con relación a la capacidad nominal del acumulador

En la realización de este proyecto, tomando en cuenta los criterios mencionados anteriormente, se han considerado los siguientes valores de los coeficientes de pérdidas:

$$k_b = 0,05$$

$$k_c = 0,0$$

$$k_v = 0,15$$

$$k_a = 0,005$$

$$N = 0$$

$$p_d = 0,5$$

Entonces, el rendimiento de la instalación fotovoltaica, es el siguiente:

$$R = (1 - 0.05 - 0 - 0.15) \cdot \left(1 - \frac{0.05 \cdot 0}{0.5}\right) = 0.8$$

Por lo tanto el consumo energético real **E** es:

$$E = \frac{126}{0.8} = 157.5 [W \cdot h]$$

Una vez definida la utilidad energética real **E**, se puede obtener fácilmente la capacidad del banco de baterías **C** [A·h] necesario, del siguiente modo:

$$C = \frac{E \cdot N}{V \cdot p_d} = \frac{157.5 \cdot 0}{12 \cdot 0.5} = 0 [A \cdot h] \quad (3)$$

Donde **V** es la tensión nominal del acumulador.

El valor de **C** es cero debido a que no es necesario el uso de la batería.

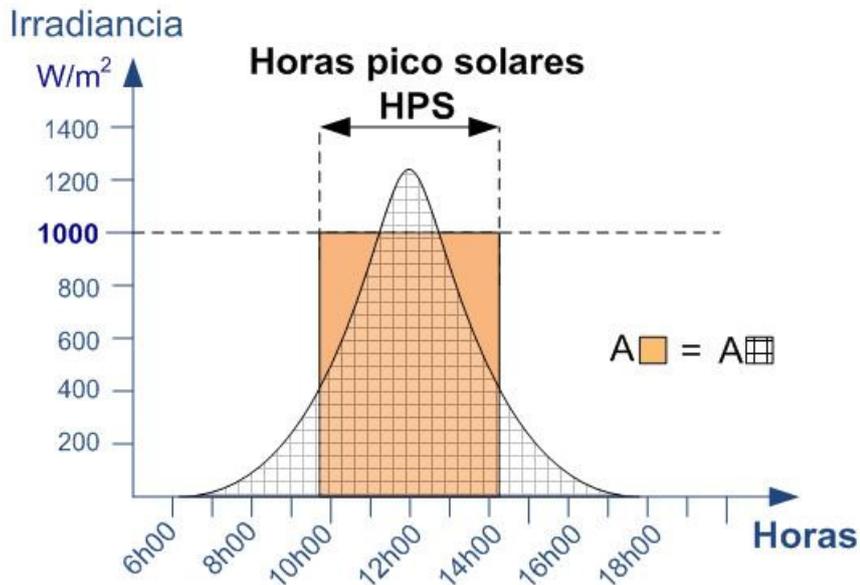
Ahora se debe calcular el número de paneles, para esto se debe investigar el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada **H** (kWh/m²·día) del lugar. Para ello se hará uso de bases de datos en Internet de irradiación solar mundial y de las coordenadas geográficas del lugar, y además se considerará que el panel estará colocado a un ángulo de 10° de inclinación.

- Ecuador Latitud 0,22 S $H = 4,68 [kW \cdot h/m^2 \cdot día]$
- Quito Latitud 0,13 S $H = 4,99 [kW \cdot h/m^2 \cdot día]$

Se tomará como referencia la irradiancia de 4,68 [kW·h/m²·día] ya que es un valor promedio con el que se puede trabajar para realizar el diseño.

Ahora es necesario introducir un concepto muy importante, las horas de pico solar **HPS** [h], definido como las horas de luz solar por día equivalentes, pero definidas en base a una irradiancia **I** [kW/m²] constante de 1 [kW/m²] a la cual está siempre medida la potencia de los paneles solares. Es un modo de estandarizar la curva diaria de irradiancia solar:

Figura 2 – Definición de las horas de pico solar



Como puede verse en la figura 2 , el área definida por el rectángulo (irradiación en base a las horas de pico solar) es igual al área definida por la curva horaria de irradiancia real.

La irradiación H [kWh/m^2] es igual al producto de la irradiancia de referencia I ($1 \text{ kW}/\text{m}^2$) por las horas de pico solar **HPS** (h). Entonces los valores numéricos de la irradiación y horas de pico solar son iguales.

$$H[\text{kWh}/\text{m}^2] = I[1\text{kW}/\text{m}^2] \cdot \text{HPS}[\text{h}]$$

Entonces, según la ecuación anterior, el valor numérico tomado como referencia es igualmente válido para las horas de pico solar, por tanto:

$$\text{HSP} = 4.68 [\text{h}].$$

Tomando en cuenta que el valor de potencia pico del panel a utilizar es de 43 [Wp] el número de paneles solares **NP** necesarios se calcula del siguiente modo:

$$NP = \frac{E}{0.9 \cdot W_p \cdot \text{HPS}} \quad (4)$$

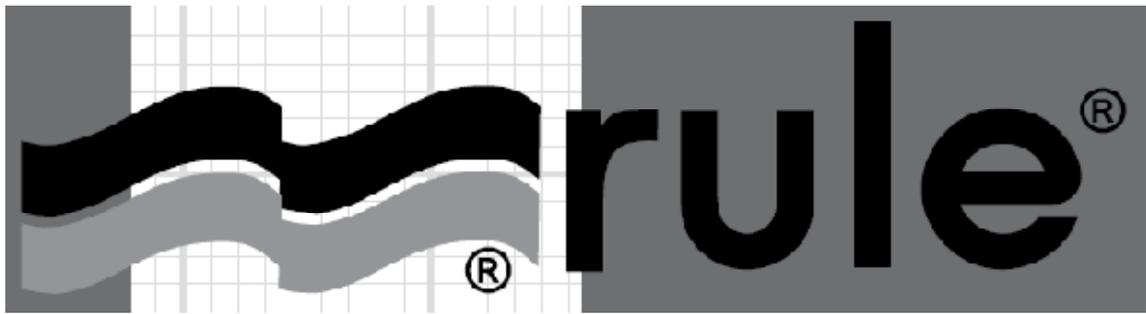
Donde W_p [W] es la potencia pico de cada panel solar (43 W).

Como se tomó un valor promedio de horas de pico solar, se obtendrá un número de paneles necesarios para todos los meses del año:

$$NP = \frac{157.5}{0.9 \cdot 43 \cdot 4.68} = 0.86 \approx 1$$

Fórmula con la que finalmente se obtiene el número de paneles necesarios para la instalación, que para el caso del presente proyecto es tan solo de un solo panel.

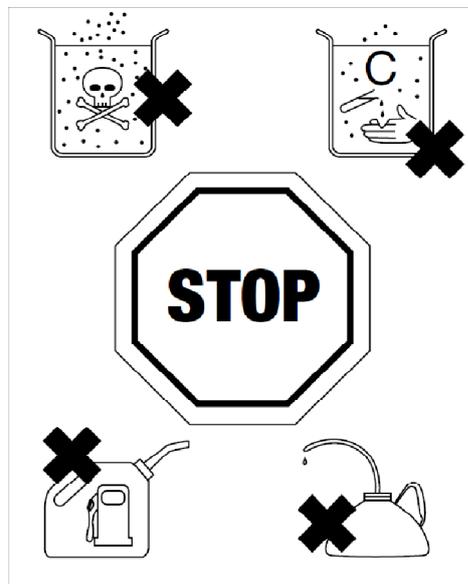
ANEXO C: MANUALES DE LOS EQUIPOS ADQUIRIDOS



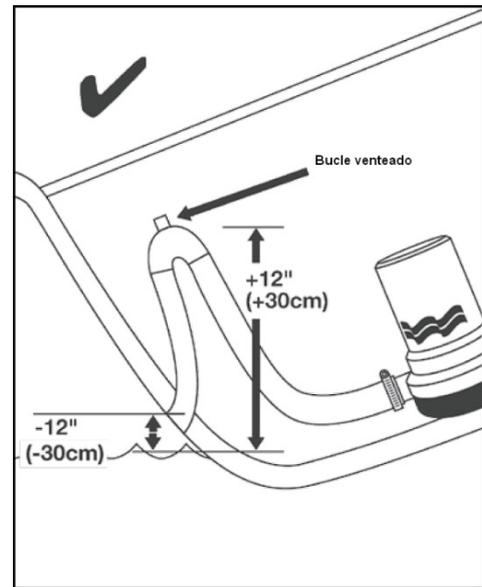
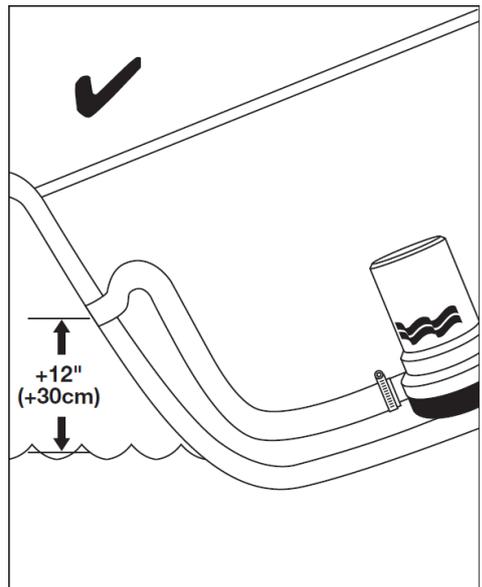
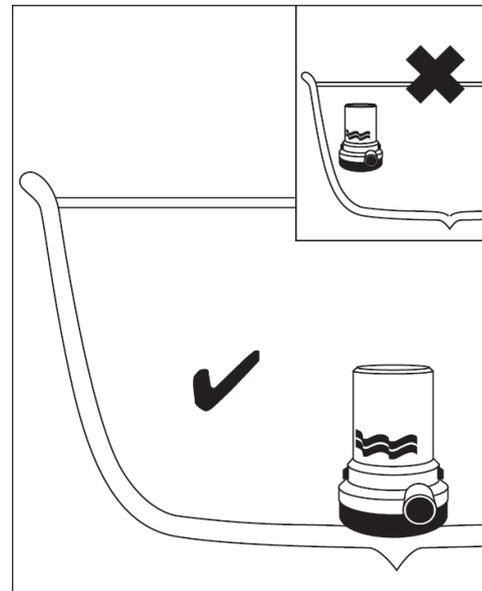
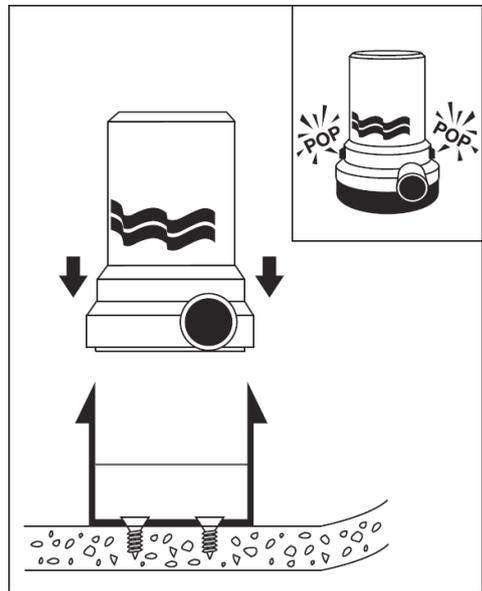
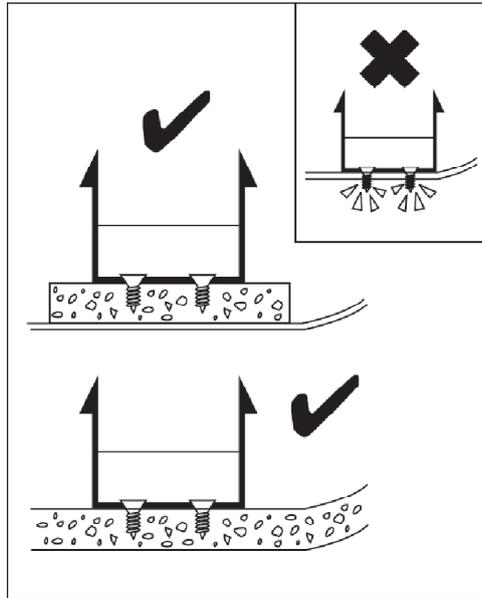
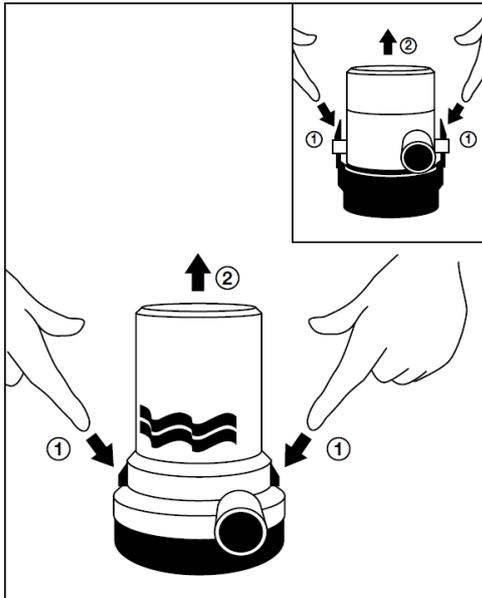
MANUAL DE INSTRUCCIONES DE LA BOMBA DE ACHIQUE ESTÁNDAR

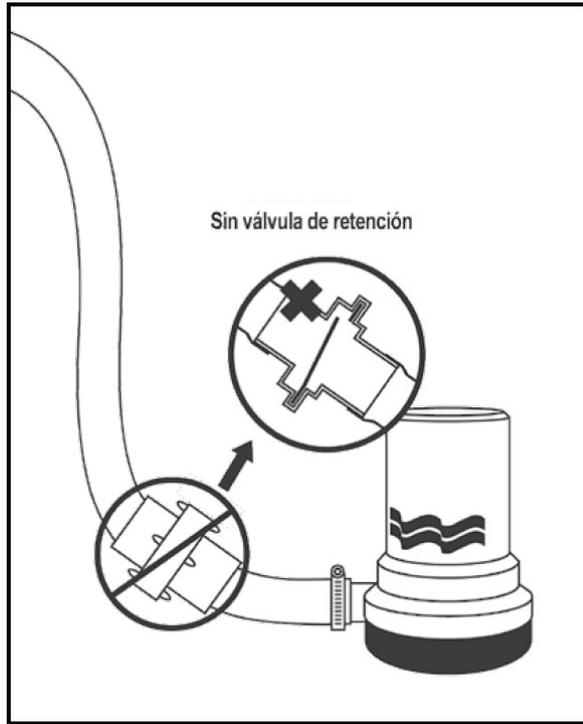
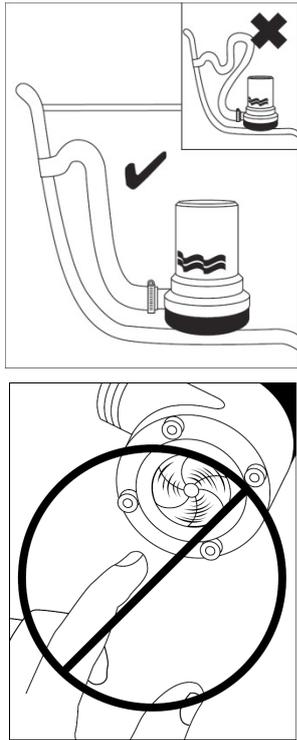


Esta bomba está diseñada para usar con agua dulce y salada ÚNICAMENTE. Si se usa con cualquier otro material peligroso, cáustico o corrosivo, pueden ocasionarse daños a la bomba y al medio ambiente circundante, posible exposición a sustancias peligrosas y lesiones.



Desconecte la alimentación eléctrica del sistema antes de trabajar en la unidad, a fin de evitar lesiones personales, daños al medio ambiente circundante y/o a la unidad.

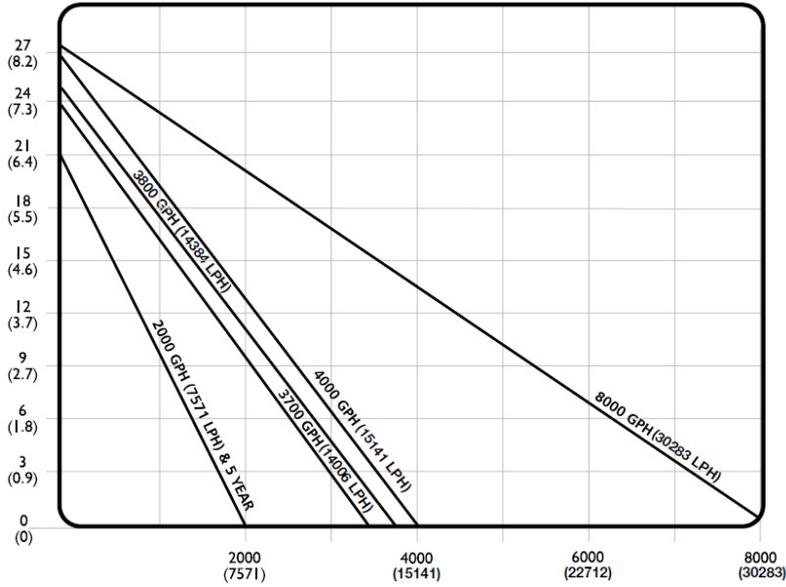




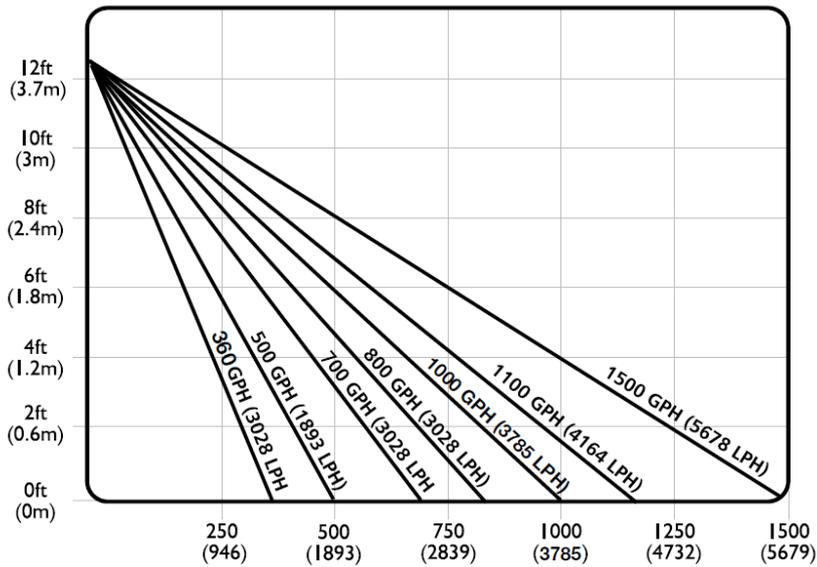
Caudal Nominal	Flujo Abierto de Salida @ 0pies/0m (0 kPa) GPH (LPH)	Flujo Abierto de Salida @ 3.35pies/1m (10 kPa) GPH (LPH)	Flujo Abierto de Salida @ 6.7pies/2m (20 kPa) GPH (LPH)
360	360 (1362)	265 (1003)	190 (719)
500	500 (1892)	360 (1362)	260 (984)
700	700 (2649)	562 (2127)	330 (1249)
800	800 (3028)	615 (2328)	425 (1608)
1000	1000 (3785)	725 (2744)	450 (1703)
1100	1100 (4164)	860 (3255)	550 (2081)
1500	1500 (5678)	1200 (4542)	680 (2574)
2000	2000 (7570)	1620 (6132)	1300 (4921)
3700	3700 (14006)	2900 (10977)	2450 (9274)
4000	4000 (15142)	3527 (13351)	2952 (11174)
8000	8000 (30283)	7050 (26687)	5984 (22651)

Nota: La salida se basa con un período de descanso de 10 horas en 13.6V (Modelos de 12V) o 27.2V (Modelos de 24V)

DESEMPEÑO DE LA BOMBA - BOMBAS RULE GRANDES

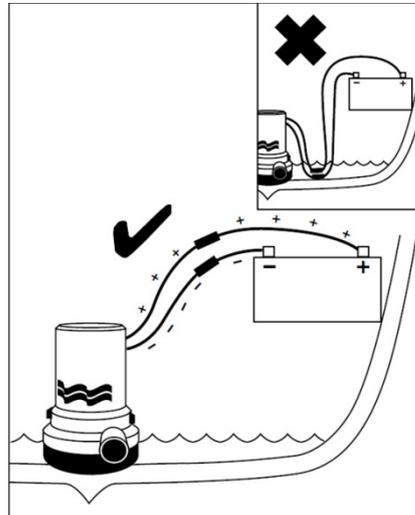


DESEMPEÑO DE LA BOMBA - BOMBAS RULE PEQUEÑAS

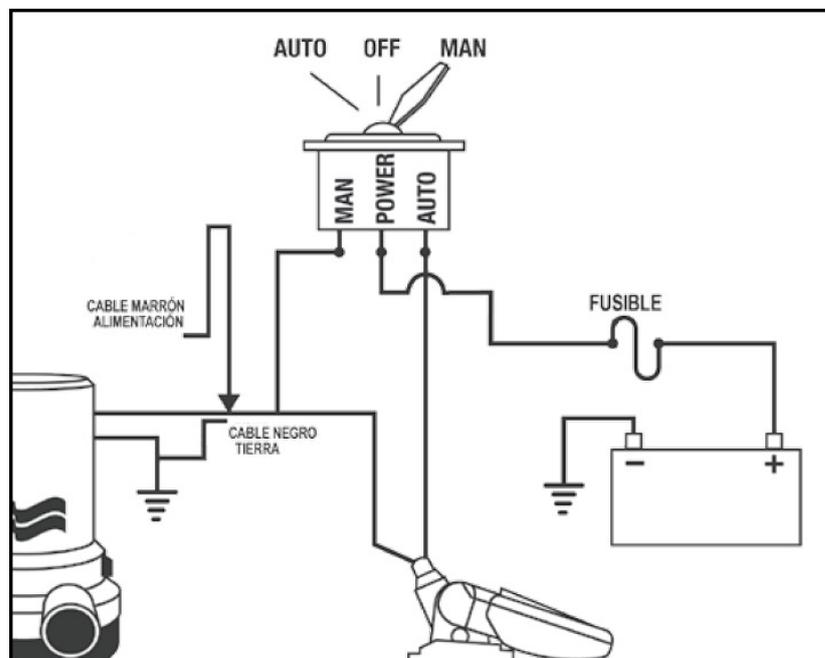




Mantenga todas las conexiones de cables por arriba del máximo nivel del agua. Los cables deben empalmarse con conectores de tope y un sellador de grado marino, a fin de evitar la corrosión de los mismos.



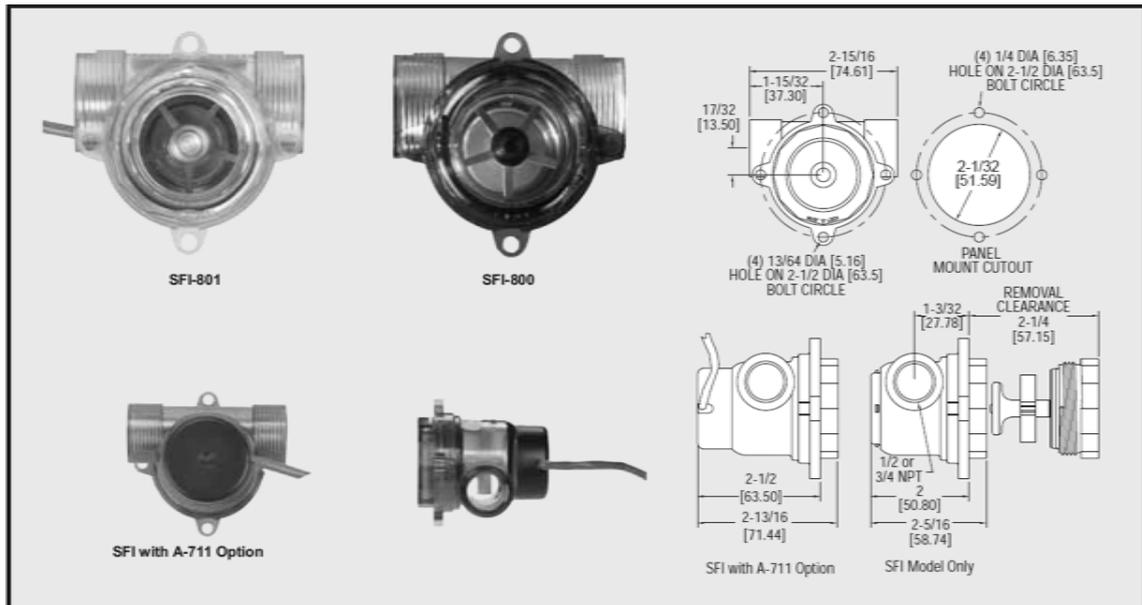
Instale siempre fusibles de tamaño apropiado para evitar daños al producto en caso de cortocircuito. Si no se instala el fusible del tamaño adecuado, puede aumentar el riesgo de fallas de la bomba que pueden ocasionar potencialmente lesiones y/o peligros de incendio.





Indicador/transmisor para visualizar flujo

Bajo Costo, Salida opcional para velocidad de flujo y totalización
Nuevo UV modelo policarbonato estabilizado



La serie SFI-800 es un indicador de flujo de estilo rotor, duradero y de bajo costo, con paquetes de salida magnético opcionales de efecto Hall para el control de flujo remoto.

Ambos, el SFI-801 y SFI-800, están contruidos de plástico transparente para visualizar, 360° del rotor para una muestra fácil de flujo. Se tienen modelos SFI-800 de Polisulfuro con excelente compatibilidad química, alta presión y temperatura, todos los materiales que podrían humedecerse son FDA NSF para aplicaciones de agua potable.

Los modelos SFI-801 de policarbonato UV estabilizado haciéndolos ideales para aplicaciones al aire libre (materiales no cumplen con FDA/NSF). Los modelos SFI-801 también cuentan con una hélice roja brillante de vista fácil. Tres paquetes de sensores de salida están disponibles para los indicadores de flujo SFI-800 y 801 para flujo remoto supervisión o índices de flujo local. Los tres paquetes pueden instalarse fácilmente en un campo existente sin herramientas. También se pueden reemplazar sensores sin quitar el cuerpo de línea de proceso.

El A-712 es un sensor que emite una señal lineal VDC de 1 a 10 proporcional a la tasa de flujo. El sensor es excelente para el control de la tasa de flujo remoto.

- CARACTERÍSTICAS

- Fácil visualización del indicador de flujo con plástico transparente
- Imanes no magnéticos en el rotor evitan la atracción de materiales ferrosos
- Materiales que pueden ser aprobados por la FDA o rayos UV estabilizados.

- APLICACIONES

- Monitor refrigerado de flujo de agua caliente
- Ideal para su uso de control de flujo de agua en refrigeradores

- ESPECIFICACIONES

- Servicio: Líquidos compatibles.
- Materiales que soportan humedad
 - o Cuerpo: SFI-800: Polisulfuro, SFI-801: UV policarbonato estabilizado, SFI-800: Polisulfuro, SFI-801: UV policarbonato estabilizado.
 - o Rotor: SFI-800: Polisulfuro blanco, SFI-801: UV rojo estabilizado TSP.
 - o PIN de Rotor : 316
 - o Arandelas de carga axial: Series 300 SS
- Límites de temperatura: SFI-800:-20 a 212 ° F (-29 a 100 ° C); SFI-801:-20 a 130 ° F (-29 a 55 ° C).
- Límites de presión: SFI-800: 150 psi (bar 10.34); SFI-801: 125 psi (8,62 bar).
- Maxima viscosidad: 200 SSU.
- Peso: SFI-800: 3,35 oz (95 g); SFI-800-A711: 5.0 oz (142 g).

- ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS (para la opción de la A-712 solamente):

- Límites de Temperatura: -20 a 212 ° F (-29 a 100 ° C).
- Requisitos de potencia: 15 a 28 VDC.
- Señal de salida: Cable blanco: 1 a 10 VDC.
- Precisión: ± 5 % F.S.
- Terminales eléctricos Cable Negro: Tierra; Cable Blanco: Normalmente abierto; Cable Verde: Normalmente cerrado; Cable Rojo: 15 a 28 VDC

Modelo	Descripción	Rango GPM (LPM)	Conexión NPT
Cuerpo de Polysulfuro			
SFI-800-1/2	Indicador Solamente	2-20 (7.6-75.5)	1/2"
SFI-800-3/4	Indicador Solamente	3-35 (11.4-132.5)	3/4"
SFI-800-1/2-LF	Indicador Solamente	0.5-6.5 (1.9-24.6)	1/2"
Cuerpo de Polycarbonato			
SFI-801-1/2	Indicador Solamente	2-20 (7.6-75.5)	1/2"
SFI-801-3/4	Indicador Solamente	3-35 (11.4-132.5)	3/4"
SFI-801-1/2-LF	Indicador Solamente	0.5-6.5 (1.9-24.6)	1/2"

Modelo	Descripción
A-711	Salida de pulsos
A-712	1 a 10 VDC
A-713	2 colectores de salida

Cuerpo y Sensores Adjuntos:

Para ordenar **A-711** adjuntar el cuerpo indicador de flujo A711

Ejemplo: **SFI-800-1/2-A711**

Para ordenar **A-712** adjuntar el cuerpo indicador de flujo A711

Ejemplo: **SFI-800-1/2-A712**

Para ordenar **A-713** adjuntar el cuerpo indicador de flujo A711

Ejemplo: **SFI-800-1/2-A713**



DI-194RS

4-Channel Data Acquisition Module

WINDAQ Adquisición

Software de Grabación de Señal de onda

WINDAQ Explorador de Señal de onda

Software de Análisis y Reproducción

PRECAUCIÓN

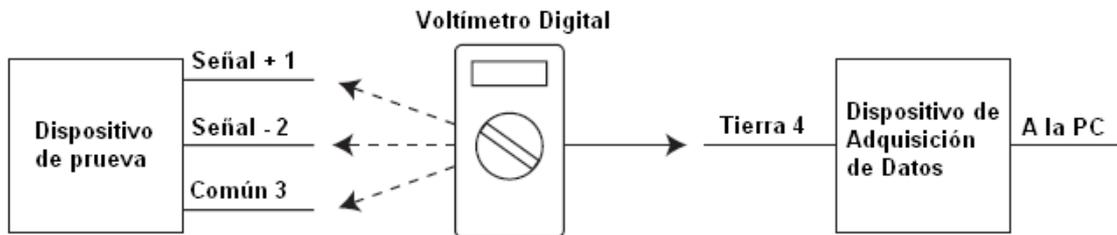
LEER ANTES DE CONECTAR LAS SEÑALES DE ENTRADA

El dispositivo de adquisición de datos que se está a punto de usar NO es un producto AISLADO. Esto significa que es susceptible a voltajes comunes que podrían causar daños en el dispositivo. DICHOS DAÑOS NO ESTÁN CUBIERTOS POR LA GARANTÍA DEL PRODUCTO. Por favor, lea cuidadosamente lo siguiente antes de instalar el producto.

Este producto puede tolerar un máximo de voltaje de $\pm 20V$ sin que sufra de ningún daño. Aunque se puede estar seguro de que la señal que se quiere medir es inferior a este nivel, un voltaje común (CMV) con un valor desconocido se puede combinar con la señal de interés superior a este límite de $\pm 20V$. En tales casos, el dispositivo puede dañarse. Verificar que no exista un CMV antes de conectar las señales y la adquisición de datos con el dispositivo. Utilice el siguiente procedimiento para verificar el CMV:

1. NO conectar el dispositivo de adquisición de datos al dispositivo de prueba. Si el dispositivo de prueba está conectado al dispositivo de adquisición de datos, desconectarlo.
2. Conectar el dispositivo de adquisición de datos a la interfaz adecuada en la PC (USB, Ethernet, Serial RS-232 o Puerto Paralelo).
3. Conectar las fuentes de poder del dispositivo de adquisición de datos, del PC y del dispositivo bajo prueba.
4. Usar un voltímetro digital para hacer las siguientes mediciones:
 - a. Medir la tensión (tanto AC como DC) entre el terminal de tierra del dispositivo de adquisición de datos y el de la señal + del dispositivo de prueba. Esta medida no debe exceder el rango de la escala correspondiente al dispositivo de adquisición de datos.
 - b. Medir la tensión (tanto AC como DC) entre el terminal de tierra del dispositivo de adquisición de datos y el de la señal – del dispositivo de prueba. Esta medida debe ser igual o muy cercana a 0 voltios.

- c. Medir la tensión (tanto AC como DC) entre el terminal de tierra del dispositivo de adquisición de datos y el común del dispositivo de prueba. Esta medida debe ser igual o muy cercana a 0 voltios.
5. Si CUALQUIERA de estas mediciones exceden su recomendación NO CONECTAR LAS SEÑALES al dispositivo de adquisición de datos. Un voltaje común podría existir el cual dañaría al instrumento. Se debe determinar la fuente del CMV y eliminarlo antes de tomar cualquier medida.



- ¹ Medida de Señal no debe superar el intervalo de la escala completa del dispositivo de adquisición de datos.
- ² Medida de Señal debe ser igual o muy cercanos a 0 voltios.
- ³ Medida de Señal debe ser igual o muy cercanos a 0 voltios.
- ⁴ Conectar GND (tierra analógica) del puerto del dispositivo DI-194RS.

Conexión de las señales de entrada al DI-194RS

NO conectar las señales de entrada al dispositivo hasta que se ha leído el documento "PRECAUCIÓN" previamente. Todas las conexiones de la señal de entrada se hacen a los 8-terminales del módulo. Cada terminal está marcado directamente en la placa de la carcasa. Observar el siguiente esquema para la identificación de cada terminal:



CH 1: Canal 1 Entrada de Señal Análoga

CH 2: Canal 2 Entrada de Señal Análoga

CH 3: Canal 3 Entrada de Señal Análoga

CH 4: Canal 4 Entrada de Señal Análoga

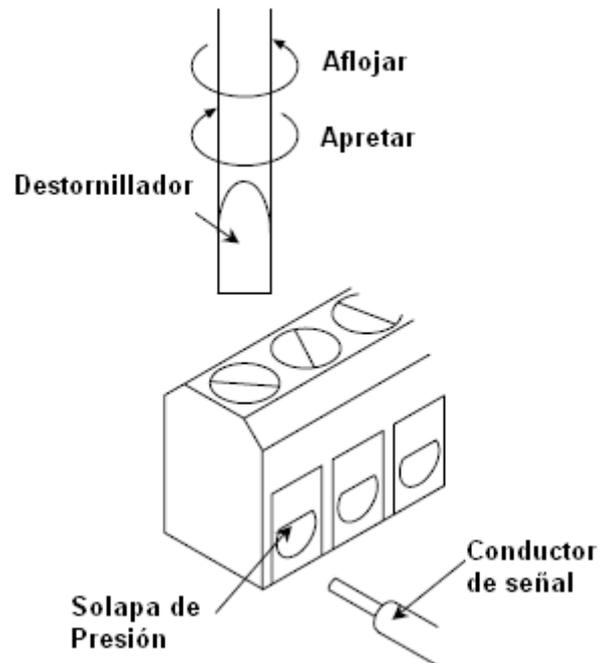
Gnd: Ground.

Dig 0: Puerto digital 0

Dig 1: Puerto digital 1

Dig 2: Puerto digital 2

Para conectar las señales al dispositivo DI-194RS, insertar el extremo de alambre sin recubrimiento en el tornillo del terminal que se desee. Apretar el tornillo hacia la derecha con el destornillador provisto en el kit. Asegurarse de apretar solo el tornillo contra el cable y no contra el aislamiento de cables. No apretar en exceso. Halar suavemente el cable para asegurarse de que está firmemente asegurado.



Cuando una señal de entrada está conectada, WINDAQ / Lite 's muestra de inmediato en tiempo real la señal de onda de entrada en el monitor de ordenador.

WINDAQ

Software

Introducción

Este manual contiene información diseñada para familiarizarse con las características y funciones del Modulo de Adquisición de Datos de Puerto Serial DI-194RS.

Modulo de Adquisición de Datos de Puerto Serial DI-194RS

El DI-194RS es un módulo de grabación de datos portátil que se conecta a a la computadora través de un puerto serial RS-232. Cuenta con cuatro entradas analógicas, tres entradas digitales, un rango de medida a una escala máxima de $\pm 10V$ y puede grabar a velocidades de hasta 240 muestras por segundo.

WINDAQ / Lite Software De Grabación y Reproducción y Explorador WINDAQ Software de Reproducción y Análisis

El software de grabación de señal de onda WINDAQ / Lite puede ser utilizado para registrar señales de forma continua y directa en el disco mientras se monitorea la señal en tiempo real a través de la pantalla. Opera y muestra señales en tiempo real con la frecuencia de muestreo que instrumento que se utilice. El software de grabación WINDAQ / Lite tiene un límite de rendimiento máximo a 240 Hz cuando se graba la señal en el disco.

El explorador de señal de onda WINDAQ (también conocido como "WWB") ofrece una manera fácil de revisar y analizar señales de onda.

Ayuda

Para obtener ayuda con ninguna función en particular, basta con resaltar el elemento del menú en el software de WINDAQ y pulsar la tecla F1. El archivo de

Ayuda se abrirá a la página más relevante para ese elemento de menú. Los archivos de ayuda también se puede acceder a través del menú Ayuda.

Los Archivos de Ayuda se actualizan periódicamente y pueden ser instalados a través de la web si se desea.

WinDag Modos de funcionamiento

El software de grabación de señal de onda WINDAQ tiene tres modos de funcionamiento: configuración, grabación y espera. Cada modo de funcionamiento comparte muchas características con los otros dos, pero los modos específicos pueden restringir o desactivar totalmente características de algunas de las funciones.

El software de grabación WINDAQ inicia en modo SET UP, modo de configuración. En el modo SET UP se puede configurar los parámetros de adquisición de datos, tales como el número de canales de adquisición, ganancia del canal y desplazamiento del canal, y personalizar el tiempo real de visualización. El modo de operación SET UP permite el acceso a la mayoría de las funciones de adquisición de datos y ajustes, en particular de control de la pantalla de visualización en tiempo real y funciones de desplazamiento. El modo SET UP muestra datos en tiempo real, pero no almacena los datos en el disco. Este modo limita la frecuencia de muestreo sólo por las capacidades del hardware. En otras palabras, se puede observar la señal de onda tan rápido como el instrumento lo permita. Cuando el software se encuentra en este modo, la barra de estado: área en la parte baja de la ventana principal, muestra SET-UP.

El modo RECORD, modo de grabación, almacena los datos en el disco. Para activar el modo RECORD se debe seleccionar Registro del menú Archivo. Usted puede utilizar todas las características de grabación de ondas de señal y funciones (con algunas restricciones), mientras el modo RECORD este corriendo, excepto las siguientes: Canal de operaciones específicas (es decir, número de canal, ganancia, desplazamiento) y ajustes de rango. En este modo la barra de estado muestra RECORD.

Utilizar el modo de funcionamiento STANDBY, modo de espera, para suspender temporalmente (pausar) el registro de la señal de onda en el disco. Se debe seleccionar Parar en el menú Archivo para entrar en modo de espera. Se puede utilizar todas las características de grabación de señal de onda y las funciones específicas de canales, excepto las operaciones (es decir, número de canal, desplazamiento, etc) y los ajustes del rango. El modo STANDBY muestra datos en tiempo real mientras que la grabación de la señal de onda ha sido detenida. Cuando el software se encuentra en este modo, la barra de estado muestra STANDBY. Se puede iniciar y detener tantas veces como se desee durante una sesión de adquisición de datos.

Cómo Empezar

Los siguientes items se encuentran en cada Starter Kit WINDAQ. Comprobar que se tiene lo siguiente:

- Un módulo DI-194RS.
- Un CD con el software WINDAQ, esta documentación, un catálogo en línea, varios artículos y notas de aplicación.
- Un cable de comunicación diseñado para conectar el instrumento a un puerto serial del ordenador.
- Un destornillador para poder instalar las entradas en el módulo.

Conexión del DI-194RS al ordenador

El DI-194RS se puede conectar directamente al puerto serial de la PC, no es necesario un cable. Si se desea una mayor accesibilidad de lo que la conexión directa proporciona, se puede usar cualquier cable serial estándar de 9 pines el mismo que viene incluido. Sólo se debe conectar el extremo macho del cable serial al DI-194RS y conectar el otro extremo del cable al puerto serial del ordenador. **NO CONECTAR SEÑALES DE ENTRADA AL DISPOSITIVO** hasta haber leído el documento de PRECAUCIÓN que previamente fue presentado.

Instalación de Software WinDaq.

1. Insertar el CD de Recursos WINDAQ en la unidad de CD-ROM y cerrar la bandeja de la unidad. Para la mayoría de los usuarios, el auto-run de Windows ejecutará automáticamente el software de instalación. Si no se visualiza una lista de opciones después de un período razonable de tiempo, hacer doble clic en el icono Mi PC en el escritorio y hacer doble clic en el icono del CD-ROM para iniciar manualmente el proceso de instalación.
2. Elegir la opción "Instalación de Starter Kits (DI-154, DI-194, DI-195B)" y hacer clic en Aceptar.
3. Escoger la opción "Instalar Software WinDaq Starter Kit para el DI-194" y hacer clic en Aceptar.
4. El cuadro de diálogo de Bienvenida permite cancelar la instalación. Hacer clic en Aceptar para continuar.
5. Leer el acuerdo de licencia y dar clic en "Aceptar y continuar" para continuar la instalación o en "No aceptar y dejar" para cancelar la instalación.
6. Seleccionar la carpeta (que por defecto es C: \ DATAQ) donde se colocarán los archivos y hacer clic en Aceptar.
7. Seleccionar el Grupo Principal de Programas para guardar accesos directos en el menú de Windows. El predeterminado es WINDAQ.
8. Especificar el puerto COM en el que se ha conectado el kit de arranque y hacer clic en Aceptar. Asegurarse de elegir el puerto COM correcto ya que de lo contrario se deberá reinstalar el software.
9. Ahora la instalación está completa. Hacer clic en Aceptar para salir del programa de instalación.

Elementos de menú creados durante la instalación

La carpeta de Archivos de Muestra consta de 8 diferentes archivos para ilustrar la versatilidad del software WINDAQ. Estos archivos del explorador de señal de onda WINDAQ son una guía para poder ser medidos, analizados en la manera que sea pertinente.

La carpeta de Complementos proporciona acceso al programa adicional Visualizador WINDAQ XY. Este programa permite al usuario generar un multi-canal gráfico XY en tiempo real.

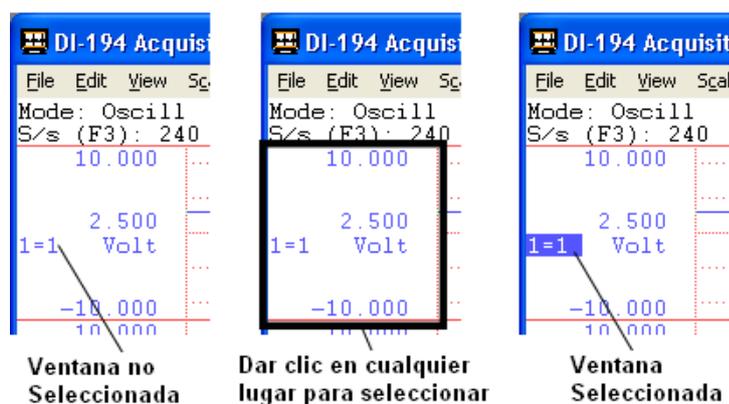
El icono del Medidor ejecuta el software del mismo, el cual puede ejecutarse mientras WINDAQ / Lite se ejecuta. Este programa informa valores de los datos de la señal de onda en un formato de visualización digital.

Calibración del Módulo de Puerto Serial DI-194RS

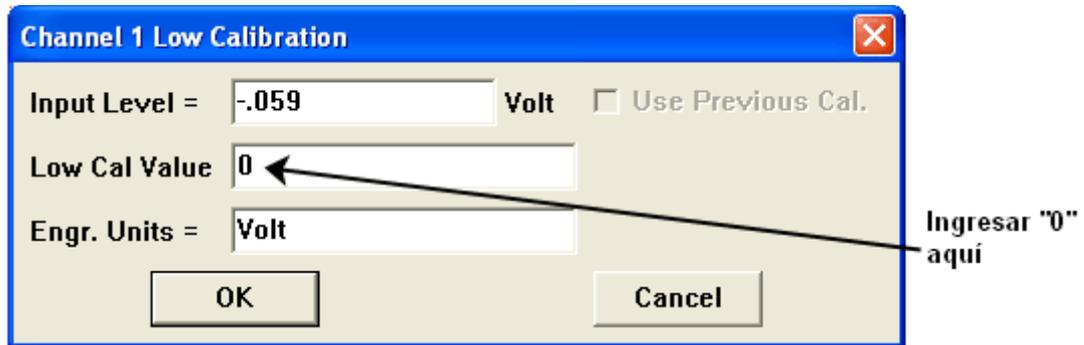
El módulo DI-194RS inicialmente llega en un estado sin calibrar. Debe realizar este primer "ajuste fino" antes de la grabación señales de onda el disco. Dado que este procedimiento requiere un voltímetro, tener a la mano uno antes de comenzar.

Con el módulo DI-194RS instalado y con el software WINDAQ / Lite en funcionamiento, realizar los siguientes pasos:

1. Conectar un cable entre CH1 y GND en el módulo DI-194RS.
2. Seleccionar el canal 1 haciendo clic en el botón izquierdo del ratón en el margen de información. El canal 1 está habilitado para modificaciones cuando un cuadro rodea el "1=1" en el margen de información.



3. Dar clic en Baja Calibración en el menú Editar. Aparecerá el cuadro de diálogo de Baja Calibración:



4. Introducir 0 (cero) en el cuadro de Low Cal Value y hacer clic en Aceptar.
5. Repetir los pasos del 1 al 4 para los canales 2, 3 y 4.
6. Ahora conectar un cable entre CH1 y Dig1 en el módulo DI-194RS.
7. Usando el voltímetro, medir y registrar la tensión entre los terminales CH1 y GND.
8. Con el canal 1 seleccionado (paso 2), hacer clic en Alta Calibración en el menú Editar. Aparecerá el cuadro de diálogo Calibración de alta. Los valores introducidos para la calibración de baja aparecerá aquí.
9. Ingresar el valor medido en el paso 7 en el cuadro de High Cal Value hacer clic en Aceptar.
10. Pulsar sobre la opción Límites en el menú Escala. Esto mostrará el cuadro de diálogo Límites de Visualización del canal 1.



11. Ingresar 10 en el cuadro Límite Superior y -10 en el cuadro Límite Inferior y hacer clic en Aceptar.
12. Repetir los pasos del 6 al 11 para los canales 2, 3 y 4.

13. Desde el menú Archivo, seleccionar Guardar Configuración por Defecto. Esto grabará las constantes de calibración que se acaban de ingresar y quedarán disponibles para todas las sesiones posteriores de grabación.

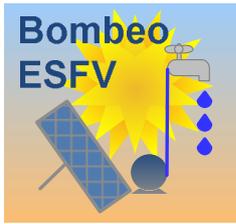
Nota: Si se conecta un sensor con una relación conocida entre voltios y unidades de ingeniería, seleccionar la opción Use Previous Cal. antes de conectar el sensor de niveles de entrada y los valores de calibración. Seleccionar Editar> Preferencias> Permitir Calibración Relativa en el menú del programa WinDaq.

ANEXO D: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Id.	Nombre de tarea	Duración	Jun 2009				Jul 2009				Ago 2009				Sep 2009				Oct 2009				Nov 2009							
			31/5	7/6	14/6	21/6	28/6	5/7	12/7	19/7	26/7	2/8	9/8	16/8	23/8	30/8	6/9	13/9	20/9	27/9	4/10	11/10	18/10	25/10	1/11	8/11	15/11			
1	Adquisición de equipos	13d																												
2	Construcción de estructura soporte	5d																												
3	Adquisición y modificación de tanques	5d																												
4	Ensamblaje tanques y soportes	1d																												
5	Adquisición de materiales (Parte hidráulica)	4d																												
6	Ensamblaje de equipos y tubería	2d																												
7	Inspección de medidas, fugas, etc.	2d																												
8	Pruebas de funcionamiento del panel fotovoltaico	10d																												
9	Adquisición de elementos eléctricos	5d																												
10	Conexión eléctrica de la bomba	1d																												
11	Pruebas de funcionamiento de la bomba	5d																												
12	Conexión del sistema de adquisición de datos	1d																												
13	Pruebas del sistema de adquisición de datos	15d																												
14	Pruebas de verificación de estado del sensor	15d																												
15	Adquisición e instalación de nuevo sensor	30d																												
16	Pruebas de funcionamiento del sistema construido	10d																												

ANEXO E: PLANOS

ANEXO F: MANUAL DE USUARIO



EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

ANTES DE USAR ESTE EQUIPO

AVISO

- Esta unidad funciona con un panel fotovoltaico sin la necesidad de un inversor.
- Los instrumentos de esta unidad deben ser manejados con cuidado ya que son de costo elevado y si llegan a averiarse, no están en inmediata disponibilidad en el mercado nacional.
- No coloque ningún tipo de residuo en los tanques de almacenamiento de agua ya esto podría ocasionar una avería en la bomba.

PRECAUCIÓN

- Asegurarse de que todos los componentes que conforman la instalación de bombeo fotovoltaico se encuentren bien conectados y no exista ninguna avería en ninguno de ellos.
- Evite poner en contacto con el agua el cable del sistema de adquisición de datos y en general todos los cables (a excepción de los cables de la bomba).

INTRODUCCIÓN

- La instalación de bombeo fotovoltaico es compacta, liviana, y movable. Se puede colocar en cualquier laboratorio que tenga el suficiente espacio y las medidas de seguridad preventivas.
- Ideal para estudiantes, ingenieros y personas que deseen comprobar y hacer prácticas sobre la utilización de energía solar fotovoltaica.
- Simplemente siga las indicaciones de este manual para su funcionamiento.

FUNCIONAMIENTO Y OPERATIVIDAD

FUNCIONAMIENTO:

El sistema de bombeo fotovoltaico está en la capacidad de demostrar una de las aplicaciones más relevantes acerca del uso de la energía solar fotovoltaica.

Su principio de funcionamiento está basado en el hecho de poder aprovechar energía solar y poder transformarla en energía fotovoltaica a través del panel.

El funcionamiento del sistema construido es el siguiente:

- La energía solar fotovoltaica que es receptada en el panel y almacenada en las celdas del mismo para luego poder utilizarse como fuente de poder de la bomba.
- Una vez con el panel expuesto a la radiación este va conectado hacia un circuito el cual regula el voltaje y amperaje que requiere la bomba para su funcionamiento.
- La bomba esta sujeta en el fondo del tanque de donde se va a bombear el agua hacia otro tanque el cual se encuentra ubicado a 2 metros de altura respecto de la bomba.
- Los tanques se conectan a través de tuberías, a través de la cuales fluirá el agua que se desea bombear, además los mismos se encuentran conectados de tal manera que existe una recirculación del fluido, diseñado de este modo por fines didácticos.
- Justo antes de la entrada de agua del tanque a donde se bombea el agua, se encuentra ubicado un sensor de flujo, el cual va conectado hacia una tarjeta de adquisición de datos para marcar el caudal con el que la bomba logra enviar el agua a la altura mencionada anteriormente.
- La tarjeta junto con el sensor y la computadora, forman el sistema de adquisición de datos mediante el cual se podrá determinar la eficiencia con la que está trabajando la bomba.

OPERATIVIDAD:

El sistema de bombeo fotovoltaico, fue diseñado y construido con el fin de utilizarlo a manera de un equipo demostrativo. Por lo tanto el mismo debe manejarse con todas las precauciones y seguridades necesarias que permitan su normal funcionamiento sin riesgo de dañar alguno de sus componentes.

El equipo está diseñado para operar de la siguiente manera:

- El panel fotovoltaico debe colocarse con dirección hacia el sol con un ángulo de 10°.
- El panel posee un tomacorriente al cual se debe conectar la toma que va desde el interruptor que acciona la bomba.
- Verificar que las válvula de desfogue en los tanques se encuentren cerradas y que la válvula de recirculación este abierta antes de encender el equipo.
- El tanque donde se encuentra la bomba debe ser llenado previamente. Cabe mencionar que la bomba puede trabajar aunque no exista agua, pero esto disminuye su vida útil, por lo que es requisito el llenado del tanque.
- Luego se debe conectar el sensor hacia la tarjeta de adquisición de datos, la cual previamente debe estar conectada en la computadora.
- Abrir el software del sistema de adquisición de datos WINDAQ para poder observar que no existe señal alguna mientras el sistema se encuentra apagado.
- Luego de verificar lo solicitado anteriormente, colocar el interruptor que acciona la bomba en la posición ENCENDIDO.
- El sistema empezara a funcionar inmediatamente haciendo que el agua sea bombeada 2 m de altura.
- Se deberán tomar los datos que el medidor de caudal proporcione a través del software cada 30 minutos dejando que el sistema descansa entre cada intervalo para no fatigar a la bomba.

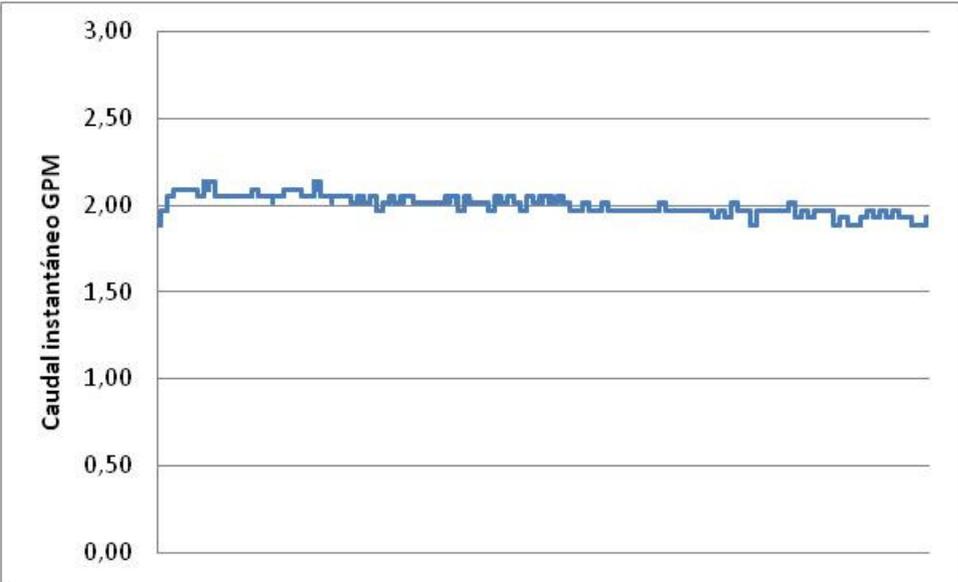
Nota: Para toda consulta específica respecto a un elemento del sistema referirse al manual de su fabricante.

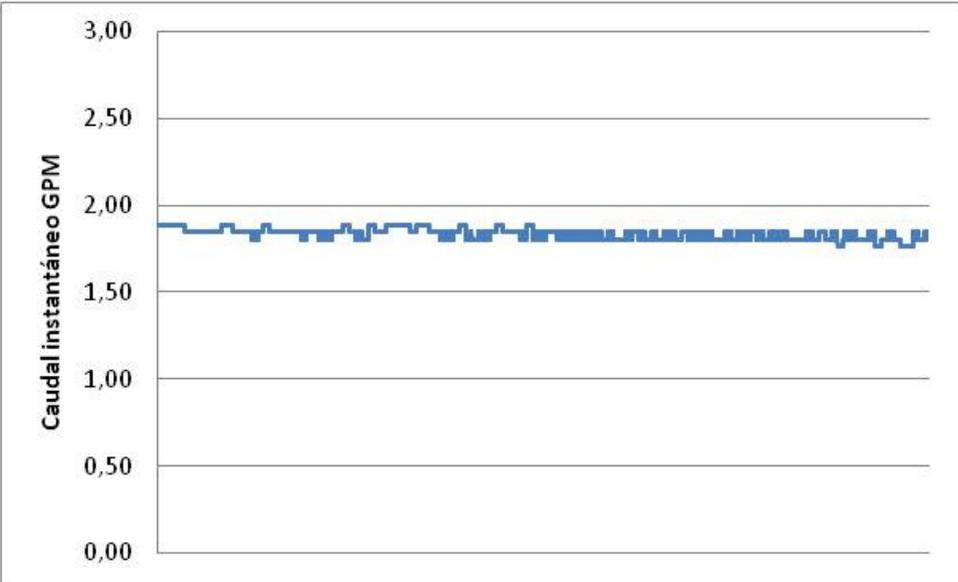
ANEXO G: REGISTRO DE DATOS DE LAS PRUEBAS

ORDEN	1	FECHA	10-NOV	HORA	13h00	DATOS ESTADISTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,35	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14400 MEAN +2.3500E+00 STD DEVIATION +3.8054E-01 MINIMUM +1.1031E+00 MEDIAN +2.5331E+00 MAXIMUM +2.6965E+00 RMS +2.3806E+00 SUM +3.3839E+04 SUM OF SQUARES +8.1606E+04 VARIANCE +1.4481E-01 SKEWNESS -1.4436E+00 SLOPE +6.8826E-03 AREA +1.4100E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 4.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,30	IRRADIANCIA (W/m²)	1100	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	2	FECHA	10-NOV	HORA	13h05	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	36	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,27	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 8861 MEAN +2.2777E+00 STD DEVIATION +2.2033E-01 MINIMUM +1.4708E+00 MEDIAN +2.3696E+00 MAXIMUM +2.4922E+00 RMS +2.2883E+00 SUM +2.0183E+04 SUM OF SQUARES +4.6401E+04 VARIANCE +4.8547E-02 SKEWNESS -1.2519E+00 SLOPE -1.5626E-02 AREA +8.4095E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 36.917 FILE prueba 5.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	1000	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	3	FECHA	10-NOV	HORA	13h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	220	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,01	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 53161 MEAN +2.0076E+00 STD DEVIATION +1.7409E-01 MINIMUM -8.2031E-02 MEDIAN +2.0508E+00 MAXIMUM +2.1738E+00 RMS +2.0151E+00 SUM +1.0673E+05 SUM OF SQUARES +2.1588E+05 VARIANCE +3.0306E-02 SKEWNESS -7.4396E-01 SLOPE -7.9221E-04 AREA +4.4469E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 221.500 FILE prueba 6.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,20	IRRADIANCIA (W/m ²)	974	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	4	FECHA	10-NOV	HORA	13h15	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	120	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,00	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 28800 MEAN +2.0010E+00 STD DEVIATION +5.5107E-02 MINIMUM +1.8867E+00 MEDIAN +2.0098E+00 MAXIMUM +2.1328E+00 RMS +2.0017E+00 SUM +5.7628E+04 SUM OF SQUARES +1.1540E+05 VARIANCE +3.0368E-03 SKEWNESS -4.7821E-01 SLOPE -1.3101E-03 AREA +2.4012E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 119.996 FILE prueba7.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,25	IRRADIANCIA (W/m ²)	980	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> 						

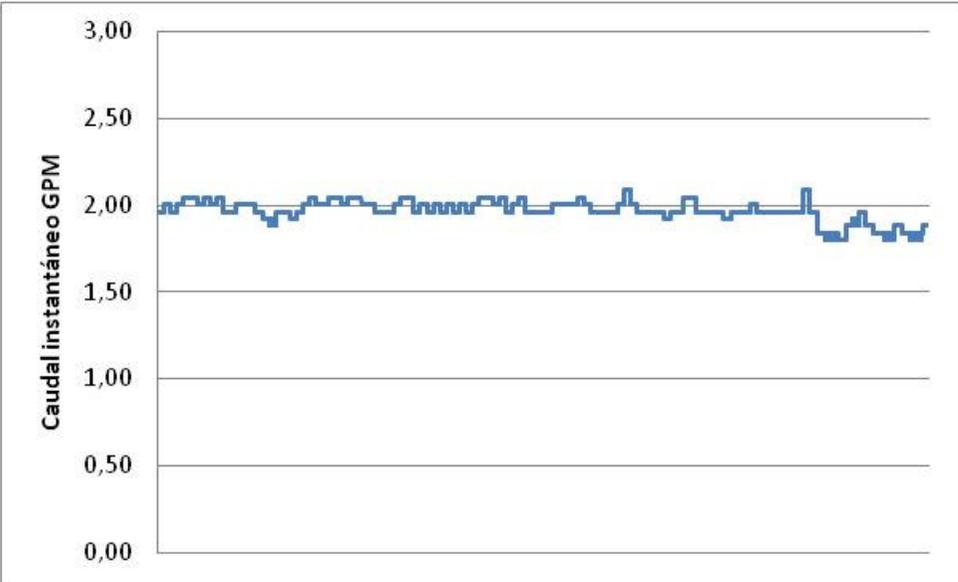
ORDEN	5	FECHA	10-NOV	HORA	13h20	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	300	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,79	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 72000 MEAN +1.7854E+00 STD DEVIATION +5.2765E-02 MINIMUM +1.6816E+00 MEDIAN +1.8047E+00 MAXIMUM +1.8867E+00 RMS +1.7862E+00 SUM +1.2855E+05 SUM OF SQUARES +2.2972E+05 VARIANCE +2.7841E-03 SKEWNESS -1.0955E+00 SLOPE -5.3700E-04 AREA +5.3563E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 299.996 FILE prueba 8.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,20	IRRADIANCIA (W/m ²)	975	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	6	FECHA	11-NOV	HORA	12h25	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	45	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,82	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 11101 MEAN +1.8233E+00 STD DEVIATION +3.7844E-02 MINIMUM +1.6751E+00 MEDIAN +1.8385E+00 MAXIMUM +1.8794E+00 RMS +1.8237E+00 SUM +2.0240E+04 SUM OF SQUARES +3.6920E+04 VARIANCE +1.4322E-03 SKEWNESS -1.2076E+00 SLOPE -3.2277E-04 AREA +8.4335E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 46.250 FILE prueba10.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	964	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> <p>The graph displays a blue line representing the instantaneous flow rate in GPM. The vertical axis is labeled 'Caudal instantáneo GPM' and has major tick marks at 0,00, 0,50, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50, and 3,00. The horizontal axis represents time, though no numerical labels are provided. The data points are clustered between approximately 1,70 and 1,90 GPM, with a slight downward trend towards the end of the measurement period.</p>						

ORDEN	7	FECHA	12-NOV	HORA	10h45	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,22	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14400 MEAN +2.2156E+00 STD DEVIATION +3.8895E-02 MINIMUM +2.1245E+00 MEDIAN +2.2471E+00 MAXIMUM +2.2879E+00 RMS +2.2159E+00 SUM +3.1904E+04 SUM OF SQUARES +7.0709E+04 VARIANCE +1.5128E-03 SKEWNESS -2.4291E+00 SLOPE -1.7287E-03 AREA +1.3294E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 10 (10 y 48 am).WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,23	IRRADIANCIA (W/m ²)	1011	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	8	FECHA	12-NOV	HORA	11h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	35	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,64	
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,18	IRRADIANCIA (W/m²)	950	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 8592 MEAN +1.6440E+00 STD DEVIATION +2.9135E-01 MINIMUM +1.1031E+00 MEDIAN +1.5525E+00 MAXIMUM +2.0428E+00 RMS +1.6696E+00 SUM +1.4125E+04 SUM OF SQUARES +2.3950E+04 VARIANCE +8.4883E-02 SKEWNESS +9.4152E-01 SLOPE -2.7420E-02 AREA +5.8854E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 35.796 FILE prueba 11 (11am).WDQ

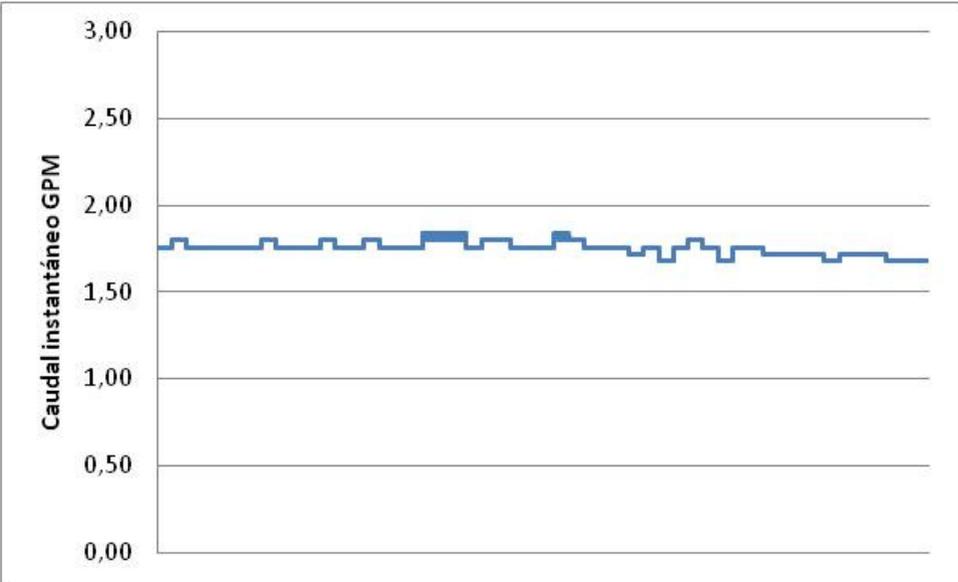
ORDEN	9	FECHA	12-NOV	HORA	12h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,19	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14400 MEAN +2.1929E+00 STD DEVIATION +5.0014E-02 MINIMUM +2.0837E+00 MEDIAN +2.2062E+00 MAXIMUM +2.2879E+00 RMS +2.1935E+00 SUM +3.1578E+04 SUM OF SQUARES +6.9282E+04 VARIANCE +2.5014E-03 SKEWNESS -7.9970E-01 SLOPE -2.2620E-03 AREA +1.3157E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 12 (12 y10).WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,30	IRRADIANCIA (W/m ²)	1050	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	10	FECHA	12-NOV	HORA	12h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	120	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,97	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 28800 MEAN +1.9682E+00 STD DEVIATION +5.9595E-02 MINIMUM +1.7977E+00 MEDIAN +1.9611E+00 MAXIMUM +2.0837E+00 RMS +1.9691E+00 SUM +5.6685E+04 SUM OF SQUARES +1.1167E+05 VARIANCE +3.5516E-03 SKEWNESS +3.5942E-01 SLOPE -9.6525E-04 AREA +2.3619E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 119.996 FILE prueba 13 (12 y 30).WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,23	IRRADIANCIA (W/m ²)	990	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> 						

ORDEN	11	FECHA	12-NOV	HORA	12h20	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	30	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,49	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 7200 MEAN +1.4870E+00 STD DEVIATION +2.5364E-01 MINIMUM +9.3969E-01 MEDIAN +1.5934E+00 MAXIMUM +1.7977E+00 RMS +1.5085E+00 SUM +1.0707E+04 SUM OF SQUARES +1.6384E+04 VARIANCE +6.4335E-02 SKEWNESS -1.2579E+00 SLOPE +2.4680E-02 AREA +4.4611E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 29.996 FILE prueba 14.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	915	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

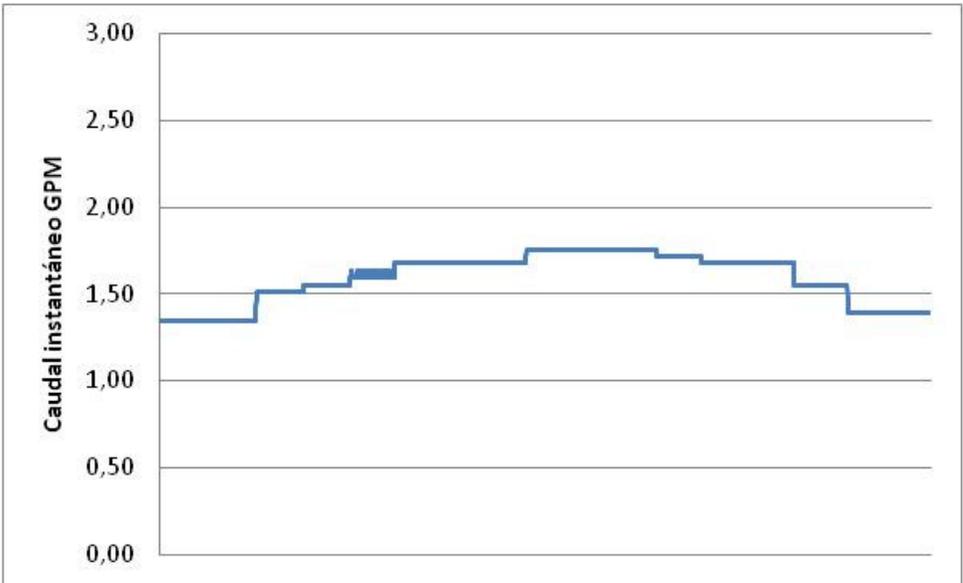
ORDEN	12	FECHA	12-NOV	HORA	12h30	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,55	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14400 MEAN +1.5543E+00 STD DEVIATION +4.2676E-02 MINIMUM +1.4708E+00 MEDIAN +1.5525E+00 MAXIMUM +1.6751E+00 RMS +1.5549E+00 SUM +2.2382E+04 SUM OF SQUARES +3.4815E+04 VARIANCE +1.8213E-03 SKEWNESS +1.2525E-01 SLOPE -1.3428E-03 AREA +9.3259E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 15.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,10	IRRADIANCIA (W/m ²)	925	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

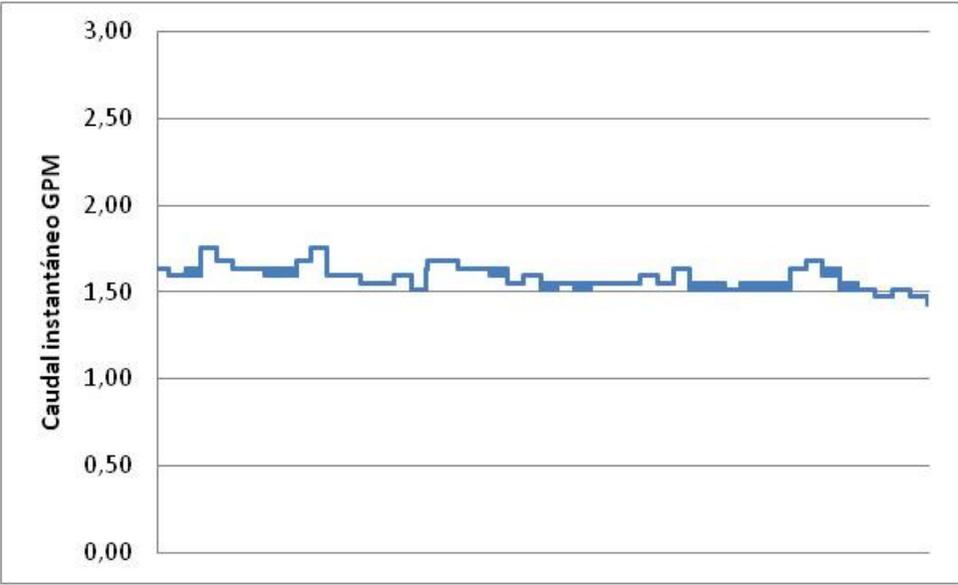
ORDEN	13	FECHA	12-NOV	HORA	12h40	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,22	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 5666 MEAN +1.2234E+00 STD DEVIATION +3.4288E-02 MINIMUM +1.1440E+00 MEDIAN +1.2257E+00 MAXIMUM +1.3074E+00 RMS +1.2239E+00 SUM +6.9316E+03 SUM OF SQUARES +8.4866E+03 VARIANCE +1.1756E-03 SKEWNESS -2.0189E-01 SLOPE +4.8601E-04 AREA +2.8882E+01 START POINT TBF 36.379 END POINT TBF 59.983 FILE prueba 16.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,00	IRRADIANCIA (W/m ²)	880	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	14	FECHA	12-NOV	HORA	12h50	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,75	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14400 MEAN +1.7532E+00 STD DEVIATION +4.1971E-02 MINIMUM +1.6751E+00 MEDIAN +1.7568E+00 MAXIMUM +1.8385E+00 RMS +1.7537E+00 SUM +2.5246E+04 SUM OF SQUARES +4.4288E+04 VARIANCE +1.7616E-03 SKEWNESS -2.5654E-01 SLOPE -1.4112E-03 AREA +1.0519E+02 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 17.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,20	IRRADIANCIA (W/m ²)	955	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	15	FECHA	12-NOV	HORA	13h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	30	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,27	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 7196 MEAN +1.2660E+00 STD DEVIATION +1.8054E-01 MINIMUM +1.0214E+00 MEDIAN +1.2257E+00 MAXIMUM +1.5934E+00 RMS +1.2788E+00 SUM +9.1104E+03 SUM OF SQUARES +1.1769E+04 VARIANCE +3.2595E-02 SKEWNESS +6.7050E-01 SLOPE -1.8510E-02 AREA +3.7960E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 29.979 FILE prueba 18.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,05	IRRADIANCIA (W/m ²)	879	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	16	FECHA	12-NOV	HORA	13h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,81	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 12240 MEAN +1.8121E+00 STD DEVIATION +1.1758E-01 MINIMUM +1.5117E+00 MEDIAN +1.8385E+00 MAXIMUM +2.0019E+00 RMS +1.8159E+00 SUM +2.2180E+04 SUM OF SQUARES +4.0360E+04 VARIANCE +1.3825E-02 SKEWNESS -6.7510E-01 SLOPE +2.9843E-03 AREA +9.2415E+01 START POINT TBF 9.000 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 19.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	970	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p>						

ORDEN	17	FECHA	12-NOV	HORA	13h20	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	20	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,59	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 4981 MEAN +1.5888E+00 STD DEVIATION +1.4131E-01 MINIMUM +1.3482E+00 MEDIAN +1.6751E+00 MAXIMUM +1.7568E+00 RMS +1.5951E+00 SUM +7.9140E+03 SUM OF SQUARES +1.2674E+04 VARIANCE +1.9969E-02 SKEWNESS -1.8312E+00 SLOPE +5.0377E-03 AREA +3.2975E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 20.750 FILE prueba 20.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,10	IRRADIANCIA (W/m ²)	900	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	18	FECHA	12-NOV	HORA	13h30	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,59	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14399 MEAN +1.5860E+00 STD DEVIATION +6.3879E-02 MINIMUM +1.4300E+00 MEDIAN +1.5934E+00 MAXIMUM +1.7568E+00 RMS +1.5873E+00 SUM +2.2836E+04 SUM OF SQUARES +3.6276E+04 VARIANCE +4.0806E-03 SKEWNESS -3.4833E-01 SLOPE -2.1342E-03 AREA +9.5151E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.992 FILE prueba 21.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,10	IRRADIANCIA (W/m ²)	934	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	19	FECHA	12-NOV	HORA	13h40	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	45	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,32	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 10861 MEAN +1.3219E+00 STD DEVIATION +9.7487E-02 MINIMUM +1.1440E+00 MEDIAN +1.3074E+00 MAXIMUM +1.4708E+00 RMS +1.3255E+00 SUM +1.4357E+04 SUM OF SQUARES +1.9081E+04 VARIANCE +9.5037E-03 SKEWNESS +4.4568E-01 SLOPE -4.5959E-03 AREA +5.9820E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 45.250 FILE prueba 22.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,05	IRRADIANCIA (W/m ²)	839	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	20	FECHA	12-NOV	HORA	13h50	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,39	
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,05	IRRADIANCIA (W/m²)	888	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 14398 MEAN +1.3931E+00 STD DEVIATION +9.0320E-02 MINIMUM +1.2257E+00 MEDIAN +1.3891E+00 MAXIMUM +1.5934E+00 RMS +1.3960E+00 SUM +2.0058E+04 SUM OF SQUARES +2.8061E+04 VARIANCE +8.1577E-03 SKEWNESS +1.3318E-01 SLOPE -3.6453E-03 AREA +8.3575E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 59.987 FILE prueba 23.WDQ

ORDEN	21	FECHA	12-NOV	HORA	14h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	20	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,26	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 4732 MEAN +1.2552E+00 STD DEVIATION +7.3488E-02 MINIMUM +1.1031E+00 MEDIAN +1.2665E+00 MAXIMUM +1.3891E+00 RMS +1.2573E+00 SUM +5.9394E+03 SUM OF SQUARES +7.4805E+03 VARIANCE +5.4005E-03 SKEWNESS -4.6420E-01 SLOPE +2.6507E-04 AREA +2.4748E+01 START POINT TBF .000 END POINT TBF 19.712 FILE prueba 24.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,00	IRRADIANCIA (W/m ²)	850	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	22	FECHA	16-NOV	HORA	10h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,32	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 60 MEAN +2.3165E+00 STD DEVIATION +2.7433E-02 MINIMUM +2.2471E+00 MEDIAN +2.3288E+00 MAXIMUM +2.3696E+00 RMS +2.3167E+00 SUM +1.3899E+02 SUM OF SQUARES +3.2203E+02 VARIANCE +7.5256E-04 SKEWNESS -1.3404E+00 SLOPE -4.0640E-04 AREA +1.3899E+02 START POINT TBF .0 END POINT TBF 59.0 FILE prueba 25.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,35	IRRADIANCIA (W/m ²)	1060	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						
<p>The graph displays the instantaneous flow rate (Caudal instantáneo) in GPM over a 60-second period. The y-axis is labeled 'Caudal instantáneo' and ranges from 0,00 to 3,00 with major grid lines every 0,50 units. The data points are plotted as a blue line that fluctuates around a mean value of approximately 2,32 GPM. The fluctuations are relatively small, staying between roughly 2,20 and 2,40 GPM.</p>						

ORDEN	23	FECHA	16-NOV	HORA	10h20	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,21	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 1 MEAN +2.2062E+00 STD DEVIATION MINIMUM +2.2062E+00 MEDIAN +2.2062E+00 MAXIMUM +2.2062E+00 RMS +2.2062E+00 SUM +2.2062E+00 SUM OF SQUARES +4.8674E+00 VARIANCE SKEWNESS SLOPE AREA +9.1926E-03 START POINT TBF 59.996 END POINT TBF 59.996 FILE prueba 26.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,30	IRRADIANCIA (W/m ²)	1040	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	24	FECHA	16-NOV	HORA	10h30	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,15	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 240 MEAN +2.1526E+00 STD DEVIATION +3.0313E-02 MINIMUM +2.1245E+00 MEDIAN +2.1654E+00 MAXIMUM +2.2062E+00 RMS +2.1528E+00 SUM +5.1662E+02 SUM OF SQUARES +1.1123E+03 VARIANCE +9.1885E-04 SKEWNESS -1.2636E+00 SLOPE -8.9537E-04 AREA +1.2916E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.75 FILE prueba 27.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,30	IRRADIANCIA (W/m ²)	1035	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

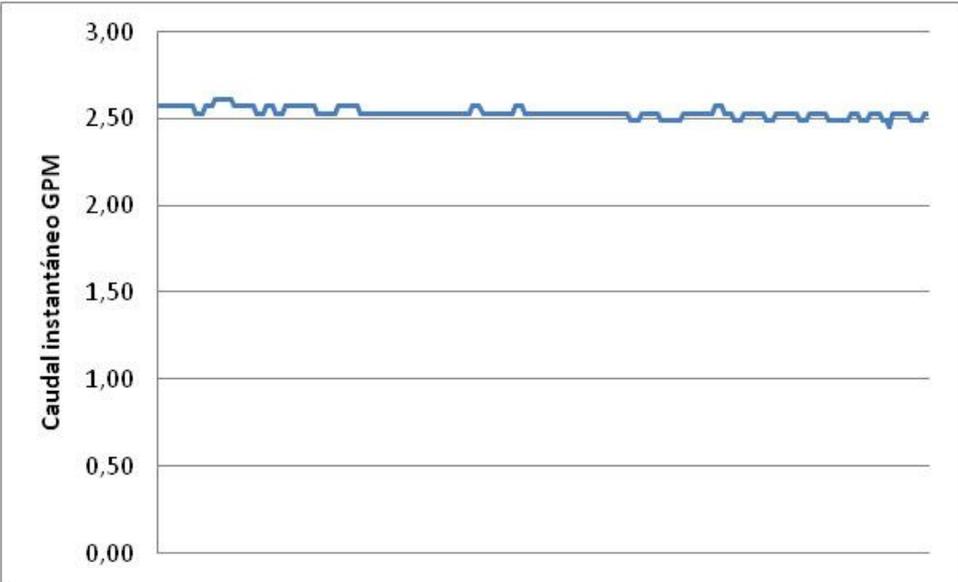
ORDEN	25	FECHA	16-NOV	HORA	10h40	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,05	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 240 MEAN +2.0488E+00 STD DEVIATION +2.9653E-02 MINIMUM +1.9611E+00 MEDIAN +2.0428E+00 MAXIMUM +2.1245E+00 RMS +2.0490E+00 SUM +4.9170E+02 SUM OF SQUARES +1.0076E+03 VARIANCE +8.7928E-04 SKEWNESS +6.0280E-01 SLOPE -1.0684E-03 AREA +1.2293E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.75 FILE prueba 28.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,20	IRRADIANCIA (W/m²)	1018	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	26	FECHA	16-NOV	HORA	10h50	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,87	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 240 MEAN +1.8746E+00 STD DEVIATION +4.0143E-02 MINIMUM +1.7977E+00 MEDIAN +1.8794E+00 MAXIMUM +1.9611E+00 RMS +1.8750E+00 SUM +4.4991E+02 SUM OF SQUARES +8.4378E+02 VARIANCE +1.6115E-03 SKEWNESS -3.5621E-01 SLOPE -1.3974E-03 AREA +1.1248E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.75 FILE prueba 29.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,20	IRRADIANCIA (W/m ²)	986	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p>						

ORDEN	27	FECHA	16-NOV	HORA	11h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,76	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 240 MEAN +1.7589E+00 STD DEVIATION +4.6033E-02 MINIMUM +1.6751E+00 MEDIAN +1.7568E+00 MAXIMUM +1.8385E+00 RMS +1.7595E+00 SUM +4.2212E+02 SUM OF SQUARES +7.4296E+02 VARIANCE +2.1190E-03 SKEWNESS +1.3313E-01 SLOPE -1.9675E-03 AREA +1.0553E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.75 FILE prueba 30.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	955	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	28	FECHA	16-NOV	HORA	11h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	35	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,50	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 150 MEAN +1.5027E+00 STD DEVIATION +2.9888E-02 MINIMUM +1.4708E+00 MEDIAN +1.5117E+00 MAXIMUM +1.5525E+00 RMS +1.5030E+00 SUM +2.2540E+02 SUM OF SQUARES +3.3884E+02 VARIANCE +8.9331E-04 SKEWNESS -9.0219E-01 SLOPE -1.4734E-03 AREA +5.6351E+01 START POINT TBF .00 END POINT TBF 37.25 FILE prueba 31.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,12	IRRADIANCIA (W/m ²)	920	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

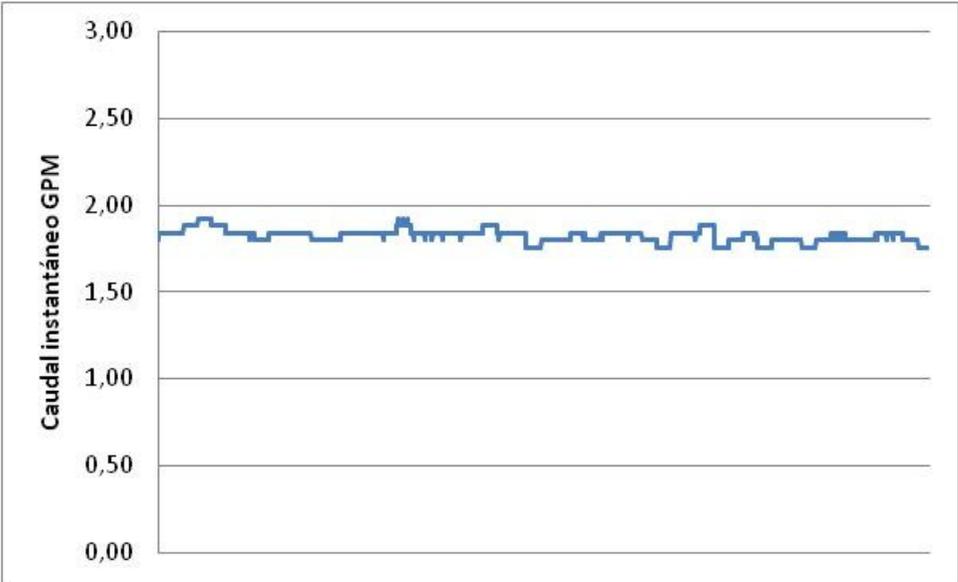
ORDEN	29	FECHA	17-NOV	HORA	10h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	16	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,76	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 959 MEAN +2.7590E+00 STD DEVIATION +3.7864E-02 MINIMUM +2.6965E+00 MEDIAN +2.7782E+00 MAXIMUM +2.8599E+00 RMS +2.7593E+00 SUM +2.6459E+03 SUM OF SQUARES +7.3016E+03 VARIANCE +1.4337E-03 SKEWNESS -1.5189E+00 SLOPE -1.4587E-03 AREA +1.6537E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.88 FILE prueba 32.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,46	IRRADIANCIA (W/m ²)	1170	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)						

ORDEN	30	FECHA	17-NOV	HORA	10h10	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	4	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,54	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 239 MEAN +2.5372E+00 STD DEVIATION +2.7724E-02 MINIMUM +2.4514E+00 MEDIAN +2.5331E+00 MAXIMUM +2.6148E+00 RMS +2.5373E+00 SUM +6.0639E+02 SUM OF SQUARES +1.5387E+03 VARIANCE +7.6861E-04 SKEWNESS +4.4395E-01 SLOPE -1.0754E-03 AREA +1.5160E+02 START POINT TBF .25 END POINT TBF 59.75 FILE prueba 33.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,40	IRRADIANCIA (W/m ²)	1127	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	31	FECHA	17-NOV	HORA	10h20	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	16	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,40	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 960 MEAN +2.4027E+00 STD DEVIATION +2.1868E-02 MINIMUM +2.3288E+00 MEDIAN +2.4105E+00 MAXIMUM +2.4514E+00 RMS +2.4028E+00 SUM +2.3066E+03 SUM OF SQUARES +5.5424E+03 VARIANCE +4.7820E-04 SKEWNESS -1.0743E+00 SLOPE -5.5799E-04 AREA +1.4416E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.94 FILE prueba 34.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,35	IRRADIANCIA (W/m ²)	1090	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;"> <p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> </div> </div>						

ORDEN	32	FECHA	17-NOV	HORA	10h30	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,29	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 960 MEAN +2.2874E+00 STD DEVIATION +3.5495E-02 MINIMUM +2.2062E+00 MEDIAN +2.2879E+00 MAXIMUM +2.3288E+00 RMS +2.2877E+00 SUM +2.1959E+03 SUM OF SQUARES +5.0242E+03 VARIANCE +1.2599E-03 SKEWNESS -4.3163E-02 SLOPE -1.4662E-03 AREA +1.3725E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.94 FILE prueba 35.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,30	IRRADIANCIA (W/m ²)	1068	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> <p>The graph displays a single data series representing the instantaneous flow rate in GPM. The vertical axis is labeled 'Caudal instantáneo GPM' and has major tick marks at 0,00, 0,50, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50, and 3,00. The horizontal axis represents time, though no numerical labels are provided. The data points are connected by a blue line, showing a relatively stable flow rate that fluctuates slightly around a mean value of approximately 2,29 GPM. The values range from a minimum of about 2,20 GPM to a maximum of about 2,33 GPM.</p>						

ORDEN	33	FECHA	17-NOV	HORA	10h40	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	2,05	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 960 MEAN +2.0470E+00 STD DEVIATION +9.0781E-02 MINIMUM +1.8794E+00 MEDIAN +2.0428E+00 MAXIMUM +2.2062E+00 RMS +2.0490E+00 SUM +1.9651E+03 SUM OF SQUARES +4.0306E+03 VARIANCE +8.2413E-03 SKEWNESS +1.3923E-01 SLOPE -1.8612E-03 AREA +1.2282E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.94 FILE prueba 36.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,27	IRRADIANCIA (W/m ²)	1010	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	34	FECHA	17-NOV	HORA	10h50	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,82	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 960 MEAN +1.8232E+00 STD DEVIATION +3.5627E-02 MINIMUM +1.7568E+00 MEDIAN +1.8385E+00 MAXIMUM +1.9202E+00 RMS +1.8235E+00 SUM +1.7502E+03 SUM OF SQUARES +3.1922E+03 VARIANCE +1.2693E-03 SKEWNESS -1.2937E+00 SLOPE -1.0060E-03 AREA +1.0939E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.94 FILE prueba 37.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,23	IRRADIANCIA (W/m ²)	968	
GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL) 						

ORDEN	35	FECHA	17-NOV	HORA	11h00	DATOS ESTADÍSTICOS (WINDAQ)
TASA DE MUESTREO (HZ)	240	DURACIÓN (SEGUNDOS)	60	CAUDAL MEDIO (GPM)	1,70	UNITS "GPM" CHANNEL # 1 # OF POINTS 960 MEAN +1.7031E+00 STD DEVIATION +3.2983E-02 MINIMUM +1.6342E+00 MEDIAN +1.7160E+00 MAXIMUM +1.7568E+00 RMS +1.7034E+00 SUM +1.6350E+03 SUM OF SQUARES +2.7856E+03 VARIANCE +1.0879E-03 SKEWNESS -1.1690E+00 SLOPE -6.6651E-04 AREA +1.0219E+02 START POINT TBF .00 END POINT TBF 59.94 FILE prueba 38.WDQ
VOLTAJE (V)	12	INTENSIDAD DE CORRIENTE (A)	2,15	IRRADIANCIA (W/m ²)	947	
<p>GRÁFICA DEL CAUDAL EN EL TIEMPO (EXCEL)</p> <p>The graph displays a series of data points connected by a blue line, representing the instantaneous flow rate in GPM. The vertical axis is labeled 'Caudal instantáneo GPM' and has major tick marks at 0,00, 0,50, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50, and 3,00. The horizontal axis represents time, though no numerical labels are provided. The data points are clustered between 1,50 and 2,00 GPM, with a clear average around 1,70 GPM. There are several small peaks and troughs throughout the 60-second duration.</p>						

Tabla G1 Resumen de datos registrados del funcionamiento del equipo

ORDEN	Hora	Fecha	Caudal	Voltaje	Intensidad de corriente	Irradiancia
			(GPM)	(V)	(A)	(W/m ²)
1	13:00:00	10-Nov	2,35	12	2,30	1100
2	13:05:00	10-Nov	2,27	12	2,15	1000
3	13:10:00	10-Nov	2,01	12	2,20	974
4	13:15:00	10-Nov	2,00	12	2,25	980
5	13:20:00	10-Nov	1,79	12	2,20	975
6	12:25:00	11-Nov	1,82	12	2,15	964
7	10:45:00	12-Nov	2,21	12	2,23	1011
8	11:00:00	12-Nov	1,64	12	2,18	950
9	12:00:00	12-Nov	2,19	12	2,30	1050
10	12:10:00	12-Nov	1,97	12	2,23	990
11	12:20:00	12-Nov	1,49	12	2,15	915
12	12:30:00	12-Nov	1,55	12	2,10	925
13	12:40:00	12-Nov	1,22	12	2,00	880
14	12:50:00	12-Nov	1,75	12	2,20	955
15	13:00:00	12-Nov	1,27	12	2,05	879
16	13:10:00	12-Nov	1,81	12	2,15	970
17	13:20:00	12-Nov	1,59	12	2,10	900
18	13:30:00	12-Nov	1,59	12	2,10	934
19	13:40:00	12-Nov	1,32	12	2,05	839
20	13:50:00	12-Nov	1,39	12	2,05	888
21	14:00:00	12-Nov	1,26	12	2,00	850
22	10:10:00	16-Nov	2,31	12	2,35	1060
23	10:20:00	16-Nov	2,24	12	2,30	1040
24	10:30:00	16-Nov	2,15	12	2,30	1035
25	10:40:00	16-Nov	2,05	12	2,20	1018
26	10:50:00	16-Nov	1,87	12	2,20	986
27	11:00:00	16-Nov	1,76	12	2,15	955
28	11:10:00	16-Nov	1,50	12	2,12	920
29	10:00:00	17-Nov	2,76	12	2,46	1170
30	10:10:00	17-Nov	2,54	12	2,40	1127
31	10:20:00	17-Nov	2,40	12	2,35	1090
32	10:30:00	17-Nov	2,29	12	2,30	1068
33	10:40:00	17-Nov	2,05	12	2,27	1010
34	10:50:00	17-Nov	1,82	12	2,23	968
35	11:00:00	17-Nov	1,70	12	2,15	947

ANEXO H: GUÍA DE LABORATORIO



LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES



Guía de Laboratorio

Tema: Bombeo de agua con energía solar fotovoltaica

Objetivos:

- Determinar el caudal promedio de agua que el sistema de bombeo fotovoltaico es capaz de suministrar en el día.
- Calcular las pérdidas hidráulicas.
- Observar la variación del caudal respecto a la irradiancia solar.

Marco Teórico

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

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. La tierra intercepta aproximadamente 1.7×10^{14} kW, de tal manera que la tierra es efectivamente un gran colector solar. La energía solar es directa o indirectamente el origen de todas las fuentes de energía que hoy disponemos, exceptuando la energía nuclear, geotérmica y maremotriz. Los combustibles fósiles son energía solar acumulada en forma de energía química. Otras formas de energía como la hidro-energía, la energía del viento y la biomasa son formas de la energía solar.

La radiación solar que reciben los paneles se clasifican en: directa, difusa y albedo. En función del lugar varía la relación entre la radiación dispersa y la total, ya que al aumentar la inclinación de la superficie de captación, disminuye la componente dispersa y aumenta la componente reflejada. Por ello, la inclinación que permite maximizar la energía recogida puede ser diferente dependiendo del lugar.

La posición óptima, en la práctica, se obtiene cuando la superficie está orientada al sur, con ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar: la orientación al sur, de hecho, maximiza la radiación solar captada recibida durante el día y si la inclinación es igual a la latitud hace que sean mínimas, durante el año, las variaciones de energía solar captadas debidas a la oscilación de 23.5° de la dirección de los rayos solares respecto a la

perpendicular a la superficie de recogida.

CONVERSIÓN DE ENERGÍA

Las células solares están hechas de materiales semiconductores, que poseen electrones débilmente ligados ocupando una banda de energía denominada banda de valencia. Cuando se aplica un cuanto de energía por encima de un cierto valor a un electrón de valencia, el enlace se rompe y el electrón pasa a una nueva banda de energía llamada banda de conducción. Mediante un contacto selectivo, estos electrones pueden ser llevados a un circuito externo y realizar un trabajo útil, perdiendo así la energía captada y regresando por otro contacto a la banda de valencia con la energía inicial, anterior al proceso de absorción de un fotón luminoso.

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

La estructura típica de una célula solar es una unión p-n similar a los diodos semiconductores, pero no necesariamente la única posible. En las aplicaciones fotovoltaicas, las células solares se interconectan y encapsulan en elementos llamados módulos fotovoltaicos, que es el producto final vendido al usuario. Estos módulos producen corriente continua que suele transformarse en corriente alterna, más útil, mediante un dispositivo electrónico llamado inversor.

La conversión de la radiación solar en corriente eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, la cual es un dispositivo formado por una delgada lámina de un material semi-conductor, frecuentemente de silicio. Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre 0,25 y 0,35 mm, tiene una forma generalmente cuadrada con una superficie aproximadamente igual a 100 cm².

El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²) y constan normalmente de 36 células conectadas eléctricamente en serie.

Las características eléctricas principales de un módulo fotovoltaico se pueden resumir en las siguientes:

- Potencia de Pico (Wp): potencia suministrada por el módulo en condiciones estándar (Radiación solar = 1000 W/m²; Temperatura = 25 °C).

- Corriente nominal (A): corriente suministrada por el módulo en el punto de trabajo.
- Tensión nominal (V): tensión de trabajo del módulo.

Un generador fotovoltaico está formado por el conjunto de los módulos fotovoltaicos, adecuadamente conectados en serie y en paralelo, con la combinación adecuada para obtener la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación. Varios módulos ensamblados mecánicamente entre ellos forman el panel, mientras que módulos o paneles conectados eléctricamente en serie, para obtener la tensión nominal de generación, forman la rama. Finalmente, la conexión eléctrica en paralelo de muchas ramas constituye el campo.

Consultar

- ¿Qué es la irradiancia solar y qué es la irradiación solar?
- Explique el concepto de Horas pico solar.
- ¿Puede un panel fotovoltaico generar una potencia mayor a la potencia pico? ¿Por qué?
- Recordar los conceptos y ecuaciones de Hidráulica: ecuación general de la energía, pérdidas hidráulicas.

Equipos e instrumentos

- Panel fotovoltaico de 43 Wp
- Sistema de adquisición de datos DATAQ Instruments.
- Computadora para acceder al software del sistema de adquisición
- Equipo para medir la radiación solar
- Multímetro

Procedimiento

1. Verificar y hacer todas las conexiones requeridas.
2. Conectar el enchufe del equipo a la toma del panel.
3. Encender la bomba mediante el interruptor.
4. Verificar que exista el caudal suficiente para que funcione el sensor.
5. Colocar el panel según la orientación e inclinación con las cuales se tenga mayor caudal.
6. Abrir el programa WINDAQ LITE.
7. Grabar la medición hecha estableciendo el tiempo de medición continuo (entre 30 segundos y 2 minutos, según lo permita las condiciones ambientales).
8. Tomar datos de Voltaje e Intensidad de Corriente del panel fotovoltaico.
9. Revisar el valor de irradiación solar en el plano del panel.

Datos del equipo

ORDEN	PARÁMETRO	CANTIDAD	UNIDAD
Datos generales			
1	Irradiación solar en Quito	4.99	kW·h/m ² ·día
Datos del equipo			
2	Altura de bombeo	2	m
Datos del fluido: AGUA			
5	Temperatura	20	°C
6	Densidad	998	Kg/m ³
7	Viscosidad	1.02 x10 ⁻³	Pa·s
Datos del conducto: TUBERÍA DE PVC DE 3/4"			
8	Diámetro externo	27.0	mm
9	Diámetro interno	17.5	mm
10	Longitud	2.5	m
11	Rugosidad	1.0x10 ⁻⁶	m

Toma de datos

ORD	Hora	Caudal	Voltaje	Intensidad de corriente	Irradiancia
1					
2					
3					
4					

Resultados

Mostrar resultados de cálculos, de las observaciones de la experiencia, realizar gráficas y analizarlas de ser posible.

Conclusiones y recomendaciones

Realizar conclusiones y recomendaciones acerca de los resultados obtenidos al elaborar la práctica.