



Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”

Facultad de Ingeniería

Trabajo de diploma

**PROPUESTA DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO
PARA LA SEDE UNIVERSITARIA “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”**

Autor: Ariel de Jesús Suárez Aguilar

Tutores: Ms.C. Isidro Fraga Hurtado

Ing. Jose Felix Gonzalez Pizat

Cienfuegos, diciembre del 2023

RESUMEN

En el contexto de la creciente demanda mundial de energía, hemos explorado exhaustivamente los sistemas de bombeo solar como una solución destacada en la transición hacia fuentes más sostenibles. Inicialmente, examinamos los problemas inherentes a los métodos tradicionales de generación eléctrica, subrayando la necesidad imperante de alternativas ambientalmente amigables. Al analizar la matriz energética global, se destacó la urgencia de diversificar las fuentes de energía, con un enfoque particular en la energía solar como una opción renovable y descentralizada.

La energía solar emergió como un componente clave en la transformación de la matriz energética, aportando versatilidad y accesibilidad en diversas aplicaciones. Sin embargo, se señaló la variabilidad en la disponibilidad de radiación solar como un desafío crítico, subrayando la importancia de la investigación continua y la innovación en almacenamiento y respaldo.

En un ámbito más amplio, examinamos la dependencia histórica de fuentes no renovables, con énfasis en los impactos ambientales negativos, especialmente en el contexto del cambio climático. La energía solar fue identificada como una fuerza clave en la transición energética, con el potencial de mitigar problemas ambientales y reducir la dependencia de recursos no sostenibles.

En el marco específico de los sistemas de bombeo solar, proporcionamos una visión detallada de su estructura y funcionamiento, destacando sus ventajas distintivas, especialmente en aplicaciones agrícolas y de suministro de agua. Reconocimos la necesidad de abordar desafíos técnicos, enfocándonos en la variabilidad de la radiación solar y la importancia de la investigación para optimizar la eficiencia y la confiabilidad.

En el ámbito académico, se presentó un estudio específico sobre la implementación de un sistema de bombeo solar en la Universidad de Cienfuegos, ilustrando cómo las instituciones educativas pueden liderar iniciativas sostenibles. Concluimos enfatizando que los sistemas de bombeo solar no solo representan una solución ambientalmente valiosa, sino que también contribuyen a la seguridad hídrica y alimentaria, encapsulando un compromiso hacia un paradigma más sostenible y equitativo en la generación de energía.

Palabras Clave: sistemas de bombeo solar, energía solar, suministro de agua, matriz energética.

INDICE

RESUMEN	2
DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTOS	2
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	4
1.1 Introducción a la energía solar.	4
1.2 Sistemas de bombeo solar.....	5
1.2.1Funcionamiento de los Sistemas de Bombeo Solar:.....	6
1.2.2 Ventajas de los Sistemas de Bombeo Solar:	6
1.2.3 Aplicaciones Prácticas en Diferentes Contextos:.....	6
1.2.4 Partes de un sistema de bombeo solar y sus funciones.	7
1.3 Conclusiones parciales del capítulo.	8
CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO Y PROGRAMA DE CALCULO.	10
2.1 Características de la instalación.....	10
2.2 Cálculos de longitud equivalente.....	10
2.3 El programa de dimensionamiento Lorentz Compass.....	13
2.3.1 Esquemas de diseño usados por el programa Compass.....	13
2.3.2 Selección del sistema de bombeo Solar.	15
2.3.3 Datos introducidos sistema de bombeo de superficie.....	17
2.3.4 Cálculos y resultados obtenidos:	23
2.4 Conclusiones parciales del capítulo.	25
CAPÍTULO 3. TÍTULO DEL CAPÍTULO 3.....	26
3.1 Requerimientos de entradas del programa Lorentz Compass:	26
3.1.1 Datos generales.....	26
3.1.2 Datos lado de la descarga.	26
3.1.3 Datos lado de la succión.....	27
3.1.4 Requerimientos de suministro.	27
3.1.5 Otros datos adicionales.	28

3.2 Cálculos de la longitud equivalente para las tuberías de succión y descarga de la instalación.	28
3.2.1 Cálculos de Pérdidas de agua y Distancia equivalente. Succión.....	28
3.2.2 Cálculos de Pérdidas de agua y Distancia equivalente. Descarga	28
3.3 Propuestas de variantes de soluciones obtenidas del programa:	29
3.4 Variante seleccionada.....	30
3.4.1 Características del sistema de bombeo seleccionado.	30
3.4.2 Detalles del sistema fotovoltaico.....	31
3.5 Resultados obtenidos.....	32
3.6 Sistema de bombeo solar como Laboratorio de Investigación.	33
3.6.1 Objetivos de Investigación:	34
3.6.2 Áreas de Investigación:.....	34
3.6.3 Beneficios y Resultados Esperados:.....	34
3.6.4 Conclusiones y Futuras Direcciones:.....	34
3.7 Conclusiones parciales	35
CONCLUSIONES.....	36
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXOS	42
Anexo #1 Resultados del informe del programa Compass.	42

DEDICATORIA

Dedicado a todos mis seres queridos, a los que ya no están, y en especial a mis padres que han sido la principal motivación durante toda mi formación como profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por todo el amor y apoyo que me han dado durante toda mi vida.

A mi novia por estar ahí en todos los momentos.

A mi tutor Isidro por su gran ayuda y su amistad.

A mis compañeros de carrera y amigos por permanecer ahí en las buenas y en las malas.

A todos los que de una forma u otra han hecho posible la realización de este trabajo.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la adopción de tecnologías de energía renovable ha asumido un papel fundamental en la evolución hacia sistemas energéticos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Esta transformación es una respuesta a la creciente conciencia de los impactos negativos derivados del consumo de energía convencional, incluyendo la emisión de gases de efecto invernadero y su contribución al cambio climático global. La amenaza que representa el cambio climático ha impulsado un cambio significativo en la percepción de la energía y la búsqueda de alternativas más limpias y sostenibles. Esta transición hacia un futuro energético más ecológico no se limita a una región o industria en particular, sino que ha emergido como una prioridad global.

La creciente conciencia de los impactos ambientales resultantes del consumo de energía convencional ha marcado un punto de inflexión en la forma en que el mundo aborda sus necesidades energéticas. Durante décadas, la quema de combustibles fósiles y la dependencia de tecnologías no renovables han tenido un impacto devastador en el medio ambiente. La liberación constante de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, ha contribuido de manera significativa al calentamiento global y a fenómenos climáticos extremos. Esta toma de conciencia de la amenaza ambiental ha impulsado a la sociedad y a los gobiernos a repensar la manera en que producen y consumen energía, dando lugar a un cambio fundamental en nuestras prácticas energéticas.

La necesidad imperante de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se ha convertido en un imperativo global. Los acuerdos internacionales, como el Acuerdo de París, han establecido objetivos concretos para limitar el aumento de la temperatura global y minimizar los impactos climáticos negativos. Esta urgencia ha llevado a una transición significativa hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Tecnologías como la energía solar, eólica, hidroeléctrica y otras formas de energía renovable se han convertido en opciones atractivas para reducir la huella de carbono y mitigar los efectos del cambio climático. La inversión en investigación y desarrollo de estas tecnologías ha sido fundamental para acelerar esta transición hacia un futuro energético más sostenible.

Esta evolución no solo representa un cambio en la producción de energía, sino también un cambio en la mentalidad global sobre la responsabilidad ambiental. Las naciones, las empresas y los individuos están adoptando la energía renovable como una solución viable para combatir el cambio climático y avanzar hacia sistemas energéticos más limpios y respetuosos con el planeta. La adopción de tecnologías de energía renovable no solo es una elección estratégica, sino también un compromiso ético con las

generaciones futuras, destinado a preservar el medio ambiente y mitigar los riesgos climáticos que enfrentamos.

La transición hacia un futuro energético más verde se ha erigido como una prioridad global de inmenso valor estratégico y ético. A medida que la humanidad encara los desafíos ambientales y climáticos que enfrenta, la necesidad de repensar la forma en que producimos, consumimos y gestionamos la energía es innegable. Esta transición no solo busca abordar los retos climáticos, sino también generar nuevas oportunidades económicas y tecnológicas, creando empleos en el sector de la energía renovable y fomentando la innovación en la búsqueda de soluciones energéticas más eficientes y sostenibles.

En este contexto, las instituciones educativas y universidades han emergido como actores fundamentales al liderar con el ejemplo en la implementación de soluciones de energía sostenible. Las instituciones académicas están cumpliendo un papel esencial al fungir como faros de conocimiento y modelando prácticas sostenibles. A través de su compromiso con la investigación, la educación y la acción, estas instituciones están sentando las bases para un futuro energético más sostenible.

Este estudio se enfoca en un aspecto específico de esta transición energética: la implementación de tecnología de energía solar para abordar los desafíos relacionados con el suministro de agua en la Universidad de Cienfuegos. La creación de un sistema de bombeo solar, como se plantea en la hipótesis, representa un paso hacia la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono. Se hipotetiza que la implementación de este sistema permitirá satisfacer una parte significativa de las necesidades de agua de la Universidad de Cienfuegos de manera eficiente y sostenible,

Por lo tanto, el problema científico identificado en esta investigación es el siguiente:

Problema científico:

¿Es posible diseñar un sistema de bombeo solar en la Cede Carlos Rafael Rodríguez de la Universidad de Cienfuegos, de la provincia de Cienfuegos, que permita cubrir sus necesidades de agua de manera eficiente y sostenible?

Hipótesis:

El diseño de un sistema de bombeo solar en la Cede Carlos Rafael Rodríguez de la Universidad de Cienfuegos, de la provincia de Cienfuegos, permitirá cubrir sus necesidades de agua de manera eficiente y sostenible.

Para dar solución al problema científico se plantea el siguiente **Objetivo general:**

Diseñar un sistema de bombeo solar para cubrir las necesidades de agua de la Cede Carlos Rafael Rodríguez de la Universidad de Cienfuegos que cubra las necesidades de agua de manera eficiente y sostenible.

Objetivos específicos:

Definir el estado actual de los sistemas de bombeo.

Diseñar una propuesta de instalación de bombeo solar.

Definir las posibilidades de uso de la instalación como laboratorio de investigación.

La tesis está estructurada conteniendo una Introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones, bibliografía y anexos. Los capítulos abarcan el contenido siguiente:

Capítulo 1 “Fundamentos teóricos”, abarca los fundamentos sobre el uso de la energía solar, también se exponen los componentes de un sistema de bombeo solar, las funciones de sus partes, sus ventajas y sus aplicaciones.

Capítulo 2 “Caso de Estudio y programa de cálculo”, abarca una descripción de la instalación existente, la metodología del cálculo de la longitud equivalente en sistemas de bombeo y se describen todas las partes del programa de cálculo Compass, usado para el diseño de la instalación de bombeo solar,

Capítulo 3 “Memoria de cálculo”, abarca paso a paso todo el procedimiento seguido para el dimensionamiento de una instalación de bombeo con bomba superficial, se analizan sus resultados y se realiza una primera aproximación al tema del uso de esta instalación como laboratorio de investigación.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

1.1 Introducción a la energía solar.

La creciente demanda de energía a nivel mundial ha exacerbado los desafíos asociados con los métodos de generación eléctrica tradicionales. La dependencia histórica de recursos finitos, como el carbón, el petróleo y el gas natural, ha llevado a una sobreexplotación de estos recursos, con consecuencias ambientales perjudiciales. La extracción y quema de combustibles fósiles no solo agotan reservas limitadas, sino que también generan emisiones significativas de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos. Este modelo de generación de energía ha contribuido de manera directa al cambio climático, exacerbando fenómenos climáticos extremos y afectando la salud del planeta y sus habitantes.(IEA, 2020, 2022, 2023a, 2023b)

En este contexto de desafíos, la matriz energética mundial ha estado históricamente dominada por fuentes no renovables, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos recursos, aunque fundamentales para el desarrollo industrial y económico, han desencadenado consecuencias ambientales devastadoras, como el cambio climático y la contaminación del aire y agua. La limitada disponibilidad de estas fuentes y su carácter no renovable plantean desafíos significativos para la sostenibilidad a largo plazo. A medida que aumenta la conciencia sobre la urgencia de abordar los problemas ambientales y mitigar el cambio climático, el enfoque hacia fuentes de energía renovable ha ganado impulso, destacando la necesidad de alternativas sostenibles.(Collado, 2022; IEA, 2019; Luukkanen et al., 2022)

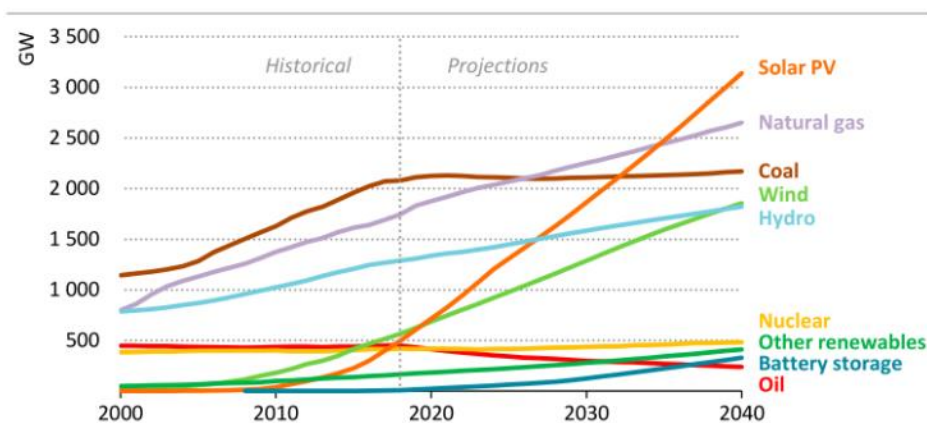


Figura 1.1 Generación de electricidad por fuente.(IEA, 2019)

Ante la urgencia de abordar los impactos negativos de la generación de energía tradicional, la búsqueda de fuentes de energía sostenibles ha escalado a niveles de

prioridad global. Gobiernos, empresas y comunidades están reconociendo la necesidad imperativa de cambiar hacia métodos de generación más limpios y respetuosos con el entorno. En este contexto, la energía solar se ha destacado como una alternativa prometedora debido a su carácter renovable, abundante y limpia. La captura de la radiación solar a través de células fotovoltaicas ha demostrado ser una tecnología eficiente y en constante desarrollo, abriendo las puertas a la posibilidad de una transformación significativa en el modo en que obtenemos y utilizamos la electricidad.(Chandel et al., 2015; Li et al., 2017; Meah et al., 2008; Sontake & Kalamkar, 2016)

La energía solar no solo representa una alternativa a los métodos tradicionales, sino que también puede desempeñar un papel fundamental en la diversificación de la matriz energética global. Su capacidad para generar electricidad de manera descentralizada, aprovechando la radiación solar en una variedad de entornos, la posiciona como una fuente versátil y accesible. Además, la tecnología solar puede integrarse en distintas escalas, desde instalaciones a gran escala hasta sistemas domésticos, brindando flexibilidad y adaptabilidad a diversas necesidades y condiciones geográficas.(Collado, 2022; José & Echeverría; Luukkanen et al., 2022 y Luukkanen, et al. 2022)

A pesar de sus ventajas, la energía solar enfrenta desafíos, siendo la variabilidad en la disponibilidad de radiación solar uno de los más destacados. Los períodos nublados o la falta de luz solar nocturna plantean obstáculos para una generación constante de electricidad. Esto subraya la importancia de la investigación continua y la innovación en modelos de predicción de generación de parques solares fotovoltaicos, almacenamiento de energía y tecnologías de respaldo para garantizar la estabilidad y confiabilidad de los sistemas solares. La mejora en los modelos de predicción, la mejora en la eficiencia de las células fotovoltaicas y el desarrollo de sistemas de almacenamiento avanzados son áreas clave de enfoque para maximizar el potencial de la energía solar en la transición hacia un futuro más sostenible.(Al-Rawashdeh et al., 2023; Hurtado, et al., 2023; Phan et al., 2023; Singh, et al., 2022; USAID, 2020; Wu & Huang, 2022)

1.2 Sistemas de bombeo solar.

Los sistemas de bombeo solar representan un hito significativo en la integración de la energía solar en aplicaciones prácticas y esenciales para la vida cotidiana. Esta sección se adentrará en los detalles fundamentales de cómo estos sistemas funcionan, destacando sus ventajas distintivas en comparación con otras tecnologías de generación y almacenamiento, así como explorando sus aplicaciones prácticas en diversos contextos.(Jahanfar & Iqbal, 2022; Mergoul, et al., 2018; Sanju, et al., 2022)

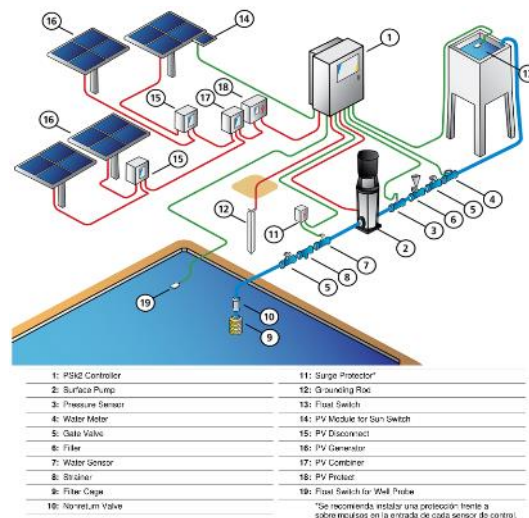


Figura 1.2 Componentes de un sistema de bombeo solar(Suárez Aguilar, 2023).

1.2.1Funcionamiento de los Sistemas de Bombeo Solar:

Los sistemas de bombeo solar aprovechan la energía generada por la radiación solar para impulsar bombas de agua. La clave reside en la utilización de paneles fotovoltaicos, los cuales convierten la luz solar en electricidad de manera directa. Esta electricidad se emplea para alimentar la bomba de agua, permitiendo la elevación y el transporte eficiente del líquido desde fuentes naturales o pozos hacia áreas de destino. Esencialmente, estos sistemas operan sin la necesidad de una red eléctrica convencional, lo que los hace especialmente valiosos en ubicaciones remotas o en situaciones donde el acceso a la red es limitado.(Chandel et al., 2015; Meah et al., 2008; Sontake & Kalamkar, 2016)

1.2.2 Ventajas de los Sistemas de Bombeo Solar:

Comparados con otras tecnologías de generación y almacenamiento, los sistemas de bombeo solar ofrecen varias ventajas distintivas. En primer lugar, son respetuosos con el medio ambiente al no generar emisiones de gases de efecto invernadero ni depender de combustibles fósiles. Además, la operación descentralizada de estos sistemas proporciona autonomía, reduciendo la dependencia de infraestructuras eléctricas centralizadas. Su simplicidad de diseño y mantenimiento también contribuye a su atractivo, minimizando los costos operativos a lo largo del tiempo.(Fajardo, 2021; González et al., 2022; Peralta Vera, 2018)

1.2.3 Aplicaciones Prácticas en Diferentes Contextos:

La versatilidad de los sistemas de bombeo solar los convierte en herramientas invaluablemente adaptables en diversos entornos. En la agricultura, estos sistemas

pueden ser implementados para el riego de cultivos, optimizando el uso del agua y mejorando la eficiencia agrícola. Además, en comunidades rurales o áreas remotas, los sistemas de bombeo solar son esenciales para el suministro de agua potable, abordando desafíos críticos de acceso a recursos hídricos. En los entornos urbanos ayudan a mitigar los efectos al cambio climático al disminuir las emisiones provenientes del uso de la electricidad, en entornos universitarios ayudan además al servir de polígonos de investigaciones y como ejemplos del uso de estos sistemas.(Carricondo Antón, et al., 2021; Fajardo, 2021; Jambo Llatas, 2021; Zambrano Cueva, 2020)

1.2.4 Partes de un sistema de bombeo solar y sus funciones.

Un sistema de bombeo solar consta de varias partes esenciales que trabajan de manera conjunta para aprovechar la energía solar y llevar a cabo el proceso de bombeo de agua. Aquí se describen las partes principales y sus funciones en un sistema de bombeo solar (Ver figura 1.2):

Paneles Fotovoltaicos:

Función: Capturan la radiación solar y la convierten en electricidad mediante células fotovoltaicas. Los paneles son la fuente primaria de energía en el sistema y alimentan la bomba de agua.(Granda-Gutiérrez et al., 2013; Martín, 2021; Silva, 2020)

Controlador Solar:

Función: Regula la potencia eléctrica generada por los paneles fotovoltaicos para garantizar un rendimiento óptimo de la bomba. Protege el sistema contra sobrecargas y asegura que la energía se utilice de manera eficiente.(Arreola Gómez, et al., 2015; De la Cruz Casaño et al., 2012; Figueroa-Cuello et al., 2017)

Bomba de Agua:

Función: Impulsa el agua desde la fuente (como un pozo o un cuerpo de agua) hacia el lugar de destino, como un tanque de almacenamiento o directamente a un sistema de riego. La bomba puede ser sumergible o de superficie, dependiendo de la ubicación y la profundidad de la fuente de agua.(Aguilera, 2014; Rodríguez Ortube, 2022)

Interruptor de Nivel o Sensores de Agua:

Función: Monitorean los niveles de agua en el pozo o la fuente. Cuando los niveles son bajos, el interruptor o sensor activa la bomba para garantizar un suministro constante de agua.(Martínez, et al., 2013)

Tanque de Almacenamiento:

Función: Almacena el agua bombeada para su uso posterior. Proporciona un suministro continuo durante períodos de baja radiación solar o durante la noche, asegurando una disponibilidad constante de agua.(Rodríguez Ortube, 2022)

Válvulas y Filtros:

Función: Controlan el flujo de agua y evitan la entrada de partículas no deseadas que podrían dañar la bomba. Las válvulas permiten dirigir el agua hacia diferentes áreas según sea necesario.(Vidales García, 2022)

Estructura de Montaje:

Función: Sostiene y posiciona los paneles fotovoltaicos de manera segura y eficiente para captar la máxima cantidad de luz solar. Puede ser un soporte fijo o ajustable según la ubicación y la estación del año.

Sistema de Protección y Monitoreo:

Función: Incluye dispositivos de protección, como fusibles y sistemas de monitoreo, para asegurar el funcionamiento seguro y eficiente del sistema. También puede integrar sistemas de monitoreo remoto para facilitar la supervisión a distancia.(Becerra Moreno, et al., 2023)

Estas partes trabajan en conjunto para garantizar un sistema de bombeo solar eficiente y confiable. La combinación de tecnologías solares y componentes de bombeo permite una gestión sostenible y autónoma del agua, beneficiando especialmente a comunidades en áreas remotas o con acceso limitado a la red eléctrica convencional.

1.3 Conclusiones parciales del capítulo.

Los sistemas de bombeo solar representan una solución sostenible desde el punto de vista ambiental al utilizar la energía renovable del sol, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles.

Los sistemas de bombeo solar son versátiles y aplicables en diversas situaciones, desde la agricultura y el suministro de agua potable hasta sistemas de riego. Su capacidad para adaptarse a diferentes contextos demuestra su utilidad en la mejora de la eficiencia y la sostenibilidad en diversas áreas.

A pesar de sus ventajas, los desafíos, como la variabilidad de la radiación solar, subrayan la importancia de la investigación continua y la innovación en modelos de predicción, sistemas de almacenamiento de energía y tecnologías de respaldo para mejorar la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas de bombeo solar.

Los sistemas de bombeo solar representan una contribución significativa a la transición hacia un futuro energético más sostenible y centrado en las energías renovables. Su

adopción puede jugar un papel crucial en la diversificación de la matriz energética global.

CAPÍTULO 2. CASO DE ESTUDIO Y PROGRAMA DE CALCULO.

2.1 Características de la instalación.

La instalación hidráulica existente esta integrada por dos bombas centrifugas horizontales conectadas en paralelo marca DAB modelos K50/800 T, las que según sus datos de chapa deberían entregar entre 24 y 78 m³/h a una carga entre 58 y 20 m. El tiempo de bombeo es de aproximadamente 6.5 horas diarias para ambas bombas, no se bombea en horario nocturno.

La succión se realiza desde una cisterna con carga negativa con capacidad de aproximadamente 1600 m³, y la descarga se realiza a un tanque elevado con capacidad de aproximadamente 300 m³, del cual se sirve por gravedad toda la red hidráulica de la universidad (Ver figura 2.1).



Figura 2.1 Vista de la instalación existe. (Elaboración propia)

Es importante señalar que sobre la cisterna no se encuentra construcción ninguna.

2.2 Cálculos de longitud equivalente.

El método de longitud equivalente permite describir la pérdida de presión a través de un codo o un accesorio como una longitud de tubería recta. Este método se basa en la observación de que las pérdidas mayores también son proporcionales a la altura de la velocidad ($v^2/2g$) Ec 2.1.

$$h_l = \left(\frac{F \cdot L}{D}\right) \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad 2.1$$

Donde F: Coeficiente de fricción de la tubería, D: Diámetro, L: longitud de tubería.

Este método simplemente aumenta el factor multiplicador en la ecuación de Darcy-Weisbach por una longitud de tubería recta que daría lugar a una pérdida de presión equivalente a las pérdidas en los accesorios (Ver figura 2.2).

En términos básicos, el concepto de Longitud Equivalente consiste en definir, para cada accesorio en el sistema a estudiar, una longitud virtual de tubería recta que, al utilizarse con la ecuación de pérdida por fricción, genere la misma pérdida asociada a la pérdida localizada del referido accesorio. Si se emplea la ecuación de Hazen-Williams (Ec 2.2) se obtiene lo siguiente:

$$h_l = 10,67 \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \frac{LE}{D^{4,87}} \quad 2.2$$

Donde h_l es la pérdida localizada que genera determinado accesorio especial de diámetro "D" y con una Longitud Equivalente igual a "LE".

De esta forma, tanto las Pérdidas por Fricción como las Pérdidas Localizadas, para cada diámetro en el sistema, serán evaluadas con la misma ecuación de Pérdidas por Fricción para obtener la Pérdida Total (h_t) del sistema, sólo que a la longitud de tubería real (L_r) se le adicionará la suma de la Longitud Equivalente de cada accesorio, para tener así una longitud de cálculo Ec 2.3:

$$h_t = 10,67 \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \frac{LE}{D^{4,87}}, \text{ con } L_c = L_r + \sum LE_i \quad 2.3$$

A partir de lo anterior se puede eliminar la dificultad del método del Coeficiente de Pérdida Localizada: desaparece un término en el planteamiento de la ecuación de energía en un Sistema Hidráulico (y con ella la necesidad de recurrir a métodos numéricos para la resolución).

Igualmente, para el método de la Longitud Equivalente, se requiere recurrir a tablas o Nomogramas en los que se determine, de acuerdo a las características de la tubería (tipo y diámetro), la Longitud Equivalente a introducir en la ecuación de pérdida por fricción que se está utilizando.

Si bien el método simplifica los términos para el cálculo de las pérdidas totales en los Sistemas Hidráulicos, sigue contando con uno de los inconvenientes que referíamos del método del Coeficiente de Pérdidas Localizadas: requiere agrupar y contabilizar todos los accesorios en el sistema lo cual, no es práctico en la mayoría de las aplicaciones.

Generalmente este porcentaje de incremento, de acuerdo al tipo de aplicación, oscila entre el 5 y el 50%, dependiendo su selección, de la relación existente entre el número de accesorios, y la longitud de tubería recta en el sistema bajo estudio. Por ejemplo:

En Sistemas donde predominen tramos extensos de tubería con media a baja densidad de accesorios, como en el caso de Conducciones (Aducciones) en presas hidráulicas o redes de distribución, se puede utilizar entre el 5 y el 25 %

En Sistemas caracterizados por tramos cortos de tubería, en los que son necesarias una cantidad significativa de accesorios, como en el caso de Instalaciones Sanitarias en Edificaciones, deberíamos pensar en valores mayores: entre 25 y 50 %.

Este método simplificado aplica sólo cuando estamos estableciendo la Longitud Equivalente de accesorios que, efectivamente, generen pérdidas «menores», como en el caso de codos, yees, tees y válvulas de compuerta 100 % abiertas. En casos donde se encuentren accesorios que generen Pérdidas Localizadas de cierta magnitud, por ejemplo, el caso de válvulas de regulación de caudal o presión y válvulas parcialmente abiertas, entre otros, se debe utilizar, de preferencia el método del Coeficiente de Pérdidas Localizadas o el de la Longitud Equivalente.

Para el desarrollo por el método de longitud equivalente en el estudio, fue tomado de la literatura el método de Bomba Zeda. Dicho método parte de cuantificar en m de tramo recto cada accesorio que se incluye en el sistema.(Borges & Yanes)

METROS DE TUBERIA RECTA EQUIVALENTE

Diámet. del tubo	Conos difusores	Codo de 45°	Codo de 90°	Curva de 90°	Válvula de pie	Válvula de retenc.	Válvula de compuerta			
							abierta	cerrada 1/4	cerrada 1/2	cerrada 3/4
25	5 m. aproximadamente	0,5	1	0,5	5	4		1	5	20
32		0,5	1	1	6	5		1,5	6	25
40		1	1,5	1	8	7		1,5	8	30
50		1	1,5	1	9	8	0,5	2	10	40
60		1	2	1,5	12	10	0,5	2,5	12	50
80		1,5	2,5	1,5	15	13	0,5	3	16	60
100		1,5	3	2	18	16	1	4	20	80
125		2	4	2,5	23	20	1	5	25	100
150		2,5	5	3	28	25	1	6	30	120
200		3	6,5	4	35	30	1,5	8	40	160
250		3,5	8	5	45	40	2	10	50	200
300		4,5	9,5	6	55	50	2	12	60	240
350		5,5	11	7	70	60	2,5	14	70	280
400		6	13	8	80	70	3	16	80	325
500		7	16	10	90	80	3,5	20	100	400

Figura 2.2 Determinación de pérdidas de carga.(Borges & Yanes)

La figura 2.3 presenta el esquema de la instalación acotados cada uno de los accesorios que tiene la misma dentro de la instalación.

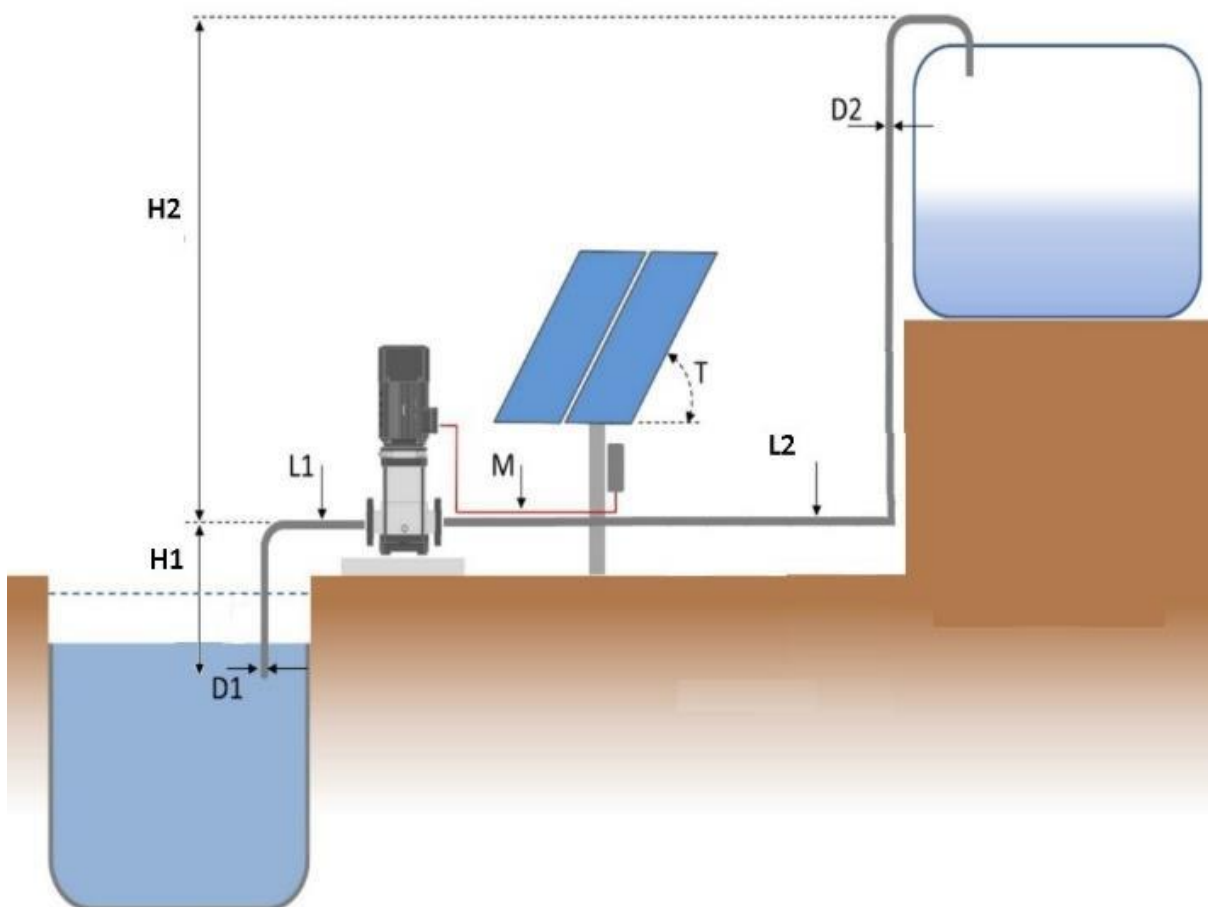


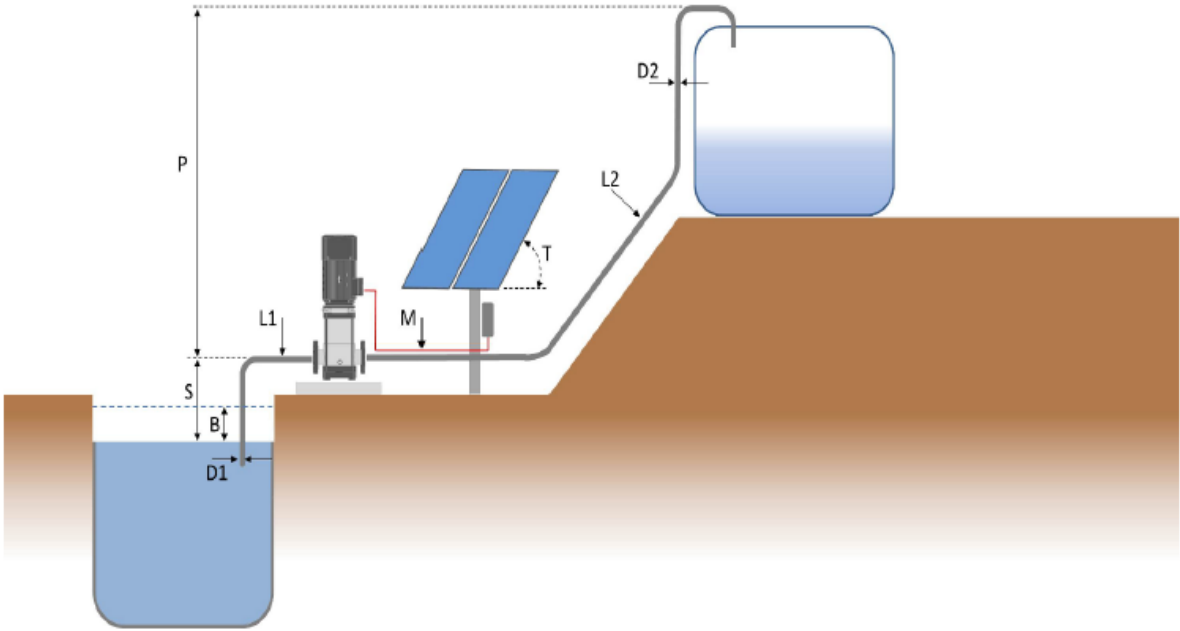
Figura 2.3 Dimensiones de la instalación usadas en el dimensionamiento (Suárez Aguilar, 2023).

2.3 El programa de dimensionamiento Lorentz Compass.

2.3.1 Esquemas de diseño usados por el programa Compass.

La figura 2.4 muestra los componentes principales de un sistema de bombeo tal y como lo concibe el programa Compass.

Diseño



P (Altura de impulsión):	Altura vertical desde la salida de la bomba hasta el punto más alto de suministro.
S (Altura de succión):	Altura vertical desde el nivel de agua hasta la admisión de la bomba, con el nivel del agua por debajo de la admisión de la bomba.
B (Descenso de nivel):	Diferencia de nivel dependiente del caudal y tasa de recuperación del depósito.
D1 (Diámetro interior de la tubería (Lado de succión))	
D2 (Diámetro interior de la tubería (Lado de descarga))	
L1 (Longitud de tubería (Lado de succión)):	Longitud de la tubería desde el nivel del agua hasta la admisión de la bomba. Los codos y otros accesorios deberán añadirse como longitud equivalente de la tubería (ya se encuentran incluidas en el cálculo las pérdidas de presión de un codo de 90° con un radio largo y una válvula de retención).
L2 (Longitud de tubería (Lado de descarga)):	Longitud de la tubería desde la salida de la bomba hasta el punto de suministro. Los codos y otros accesorios deberán añadirse como longitud equivalente de la tubería.
M (Cable motor):	Cable entre regulador y unidad de bomba.
T (Ángulo de inclinación):	Ángulo entre el generador PV y superficie horizontal.

Figura 2.4 Diseño de sistema de bombeo solar Lorentz(Suárez Aguilar, 2023).

La figura 2.5 muestra un esquema detallado de todos los accesorios de un sistema de bombeo solar Lorentz.

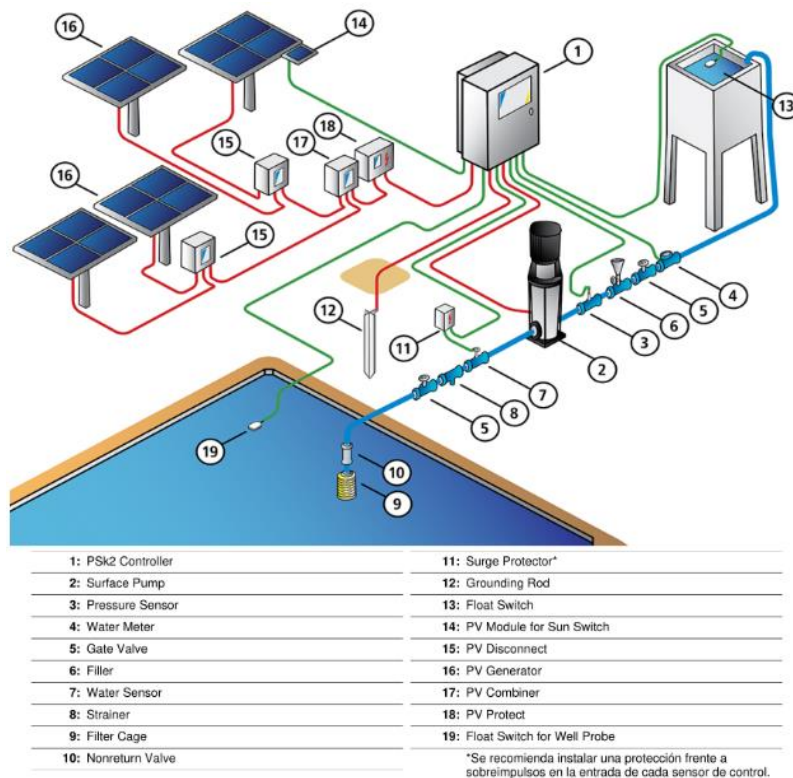


Figura 2.5 Detalles de los componentes de la instalación de bombeo solar Lorentz. (Suárez Aguilar, 2023)

2.3.2 Selección del sistema de bombeo Solar.

La figura 2.6 muestra la ventana inicial del programa Compass, en esta debe seleccionarse el tipo de instalación de se dimensionar, se escoge entre sistema de bomba sumergible, sistema de bomba de superficie o sistema para piscina.

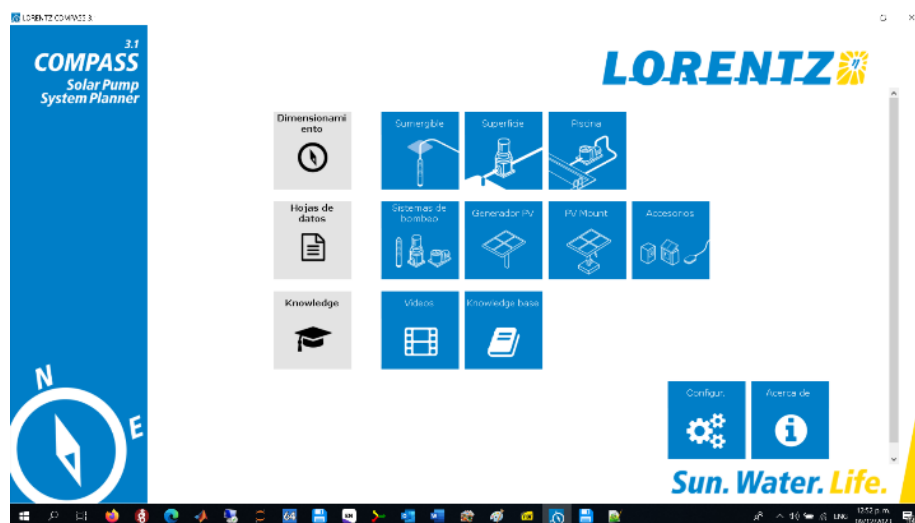


Figura 2.6 Ventana inicial del programa Compass. (KG, 2023)

La figura 2.7 muestra un esquema de un sistema de bombeo con bomba sumergible.

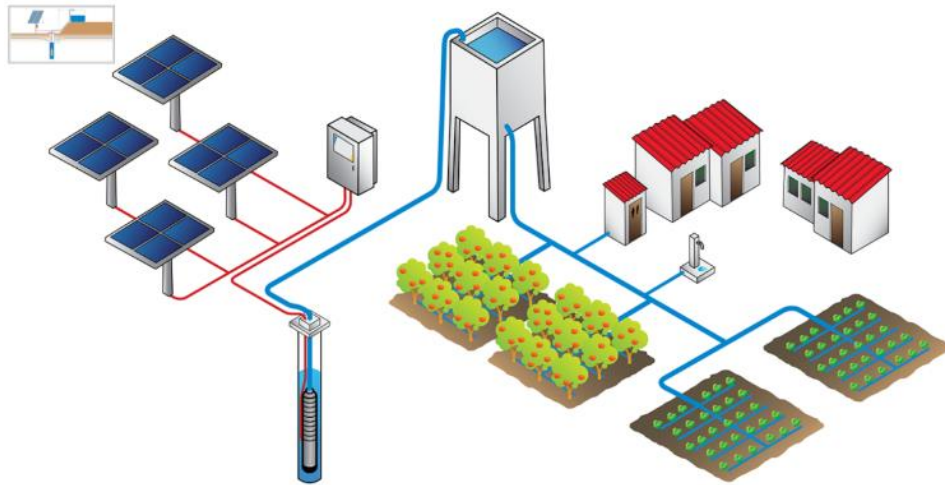


Figura 2.8 Sistema de bombeo con bomba sumergible.(KG, 2023)

La figura 2.9 muestra un esquema de un sistema de bombeo con bomba de superficie.

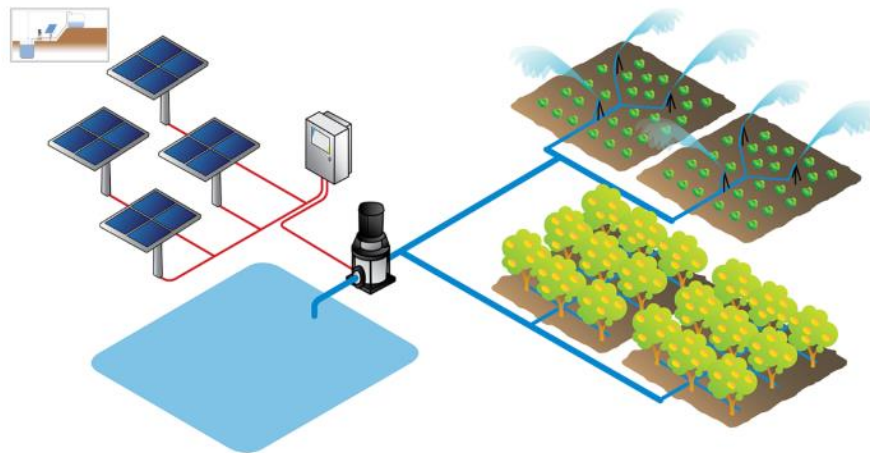


Figura 2.9 Sistema de bombeo con bomba de superficie.(KG, 2023)

La figura 2.10 muestra un esquema de un sistema de bombeo tipo piscina.

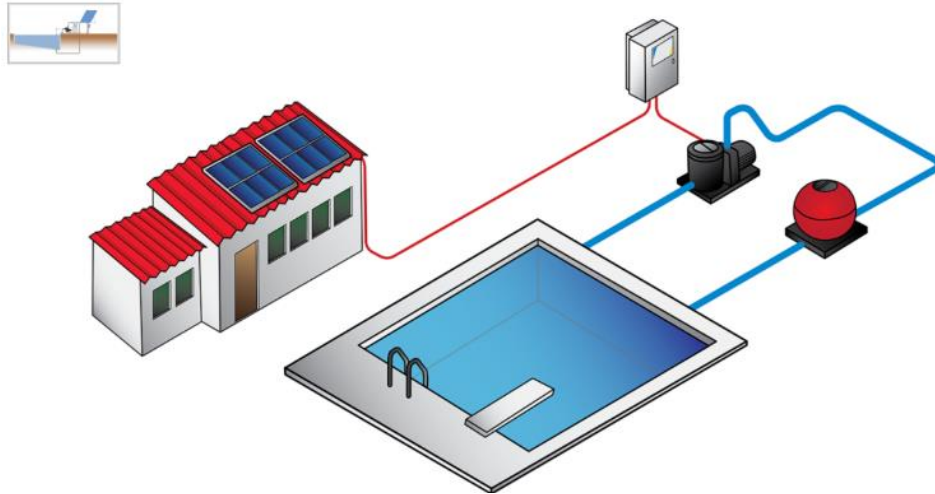


Figura 2.10 Sistema de bombeo con bomba tipo piscina.(KG, 2023)

2.3.3 Datos introducidos sistema de bombeo de superficie.

2.3.3.1 Datos Generales.

En la pestaña Entrada se encuentran los datos primarios usados en el dimensionamiento, se muestran primero los datos llamados “General” que se muestran en la figura 2.11.

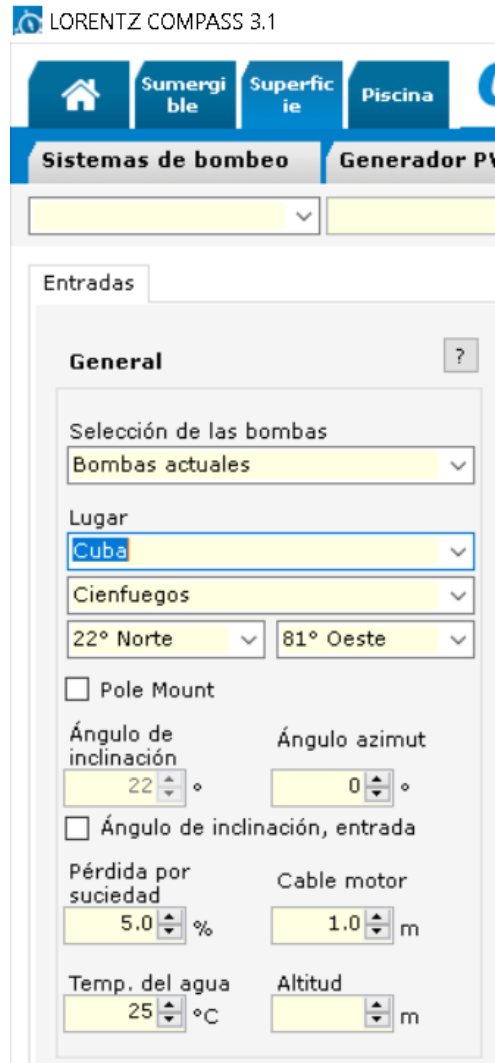


Figura 2.11 General.(KG, 2023)

Selección de las bombas:

Escoger qué sistema de bombeo se tomará en consideración para el dimensionamiento. "Bombas actuales" incluye todas las bombas de la cartera de bombas estándar de LORENTZ. "Todas las bombas" incluye además los sistemas de bombeo discontinuo si se activan bajo el apartado de ajustes y, si es aplicable, los sistemas de bombeo especiales. Cuando se seleccione "personalizado*" solo se considerarán para el dimensionamiento las bombas preseleccionadas dentro de la pestaña "sistemas de bombeo".

Lugar:

COMPASS posee una base de datos de valores de irradiación solar para la totalidad del globo terrestre, con 1° de resolución de latitud y longitud. Si falta la ubicación de

un proyecto, introducir la longitud y la latitud más cercanas. COMPASS mostrará la ubicación más cercana disponible de la base de datos.

Ángulo de inclinación:

El ángulo de inclinación queda fijado automáticamente a la latitud de la ubicación seleccionada. Queda limitado a un mínimo de 15% para evitar una acumulación de polvo excesiva en los módulos fotovoltaicos. Activar "Ángulo de inclinación, introducción manual" para cambiarlo manualmente.

Seguidor monoaxial:

Si se activa "Seguidor de eje individual" la inclinación pasa automáticamente al valor de ajuste siguiente para la alineación con el diseño de nuestros seguidores solares ETATRACK. Los sistemas de seguimiento LORENTZ siguen la órbita del Sol a lo largo del día para maximizar la energía entregada por el generador fotovoltaico. El empleo de los sistemas de seguimiento activo ETATRACK puede proporcionar hasta un 40% más de disponibilidad de agua de los módulos fotovoltaicos en comparación a una instalación fotovoltaica de paneles fijos.

Pole Mount:

Los Pole Mounts permiten un ángulo de inclinación de 0 a 55%. COMPASS calcula la cantidad de Pole Mounts y las dimensiones del poste y la viga transversal correspondientes para los sistemas de bombas hasta la PS1800.

Ángulo azimut (deben activarse en el apartado de ajustes):

En el caso de que el generador solar no pueda orientarse exactamente hacia el sur (hemisferio norte) o hacia el norte (hemisferio sur), el ángulo azimutal define la desviación del ángulo real del panel con respecto a la alineación norte/sur.

Pérdida por suciedad:

Pérdidas de potencia debidas a suciedad en el generador fotovoltaico. Las pérdidas de temperatura y las pérdidas en el cable del motor se calculan por separado utilizando datos de la base de datos. Pueden añadirse de forma sencilla las pérdidas adicionales del generador fotovoltaico al factor de "pérdida por suciedad", que puede ajustarse de manera individual.

Cable motor:

Introducir la longitud del cable entre el controlador y el motor. COMPASS sugiere un tamaño de diámetro de cable que mantiene bajas las pérdidas en el cable. Las pérdidas en el cable se muestran en la tabla que se encuentra en la página de las características de la bomba. Para sistemas de bombeo PSk y PSk2, la longitud de cable máxima permitida es de 250 m. Aparece un aviso si se supera la longitud del

cable. Si la situación de instalación requiere un cable de mayor longitud, no puede utilizarse un sistema de bombeo PSk o PSK2

Max. Temperatura del agua:

La temperatura de las fuentes de agua superficial puede variar de forma significativa durante las estaciones. Introducir la temperatura máxima esperada del agua. Las temperaturas elevadas del agua reducen la capacidad de aspiración de la bomba, dado que la presión de vapor se incrementa con la temperatura del agua.

Altitud:

La presión atmosférica decrece con la altitud a la que el sistema de bombeo se encuentra instalado. La presión atmosférica afecta al punto de ebullición del agua y por tanto a la capacidad de aspiración de la bomba.

2.3.3.2 Lado de Descarga.

En la pestaña Entrada se encuentran los datos primarios usados en el dimensionamiento, se muestran los datos llamados “Lado de Descarga” que se muestran en la figura 2.12.

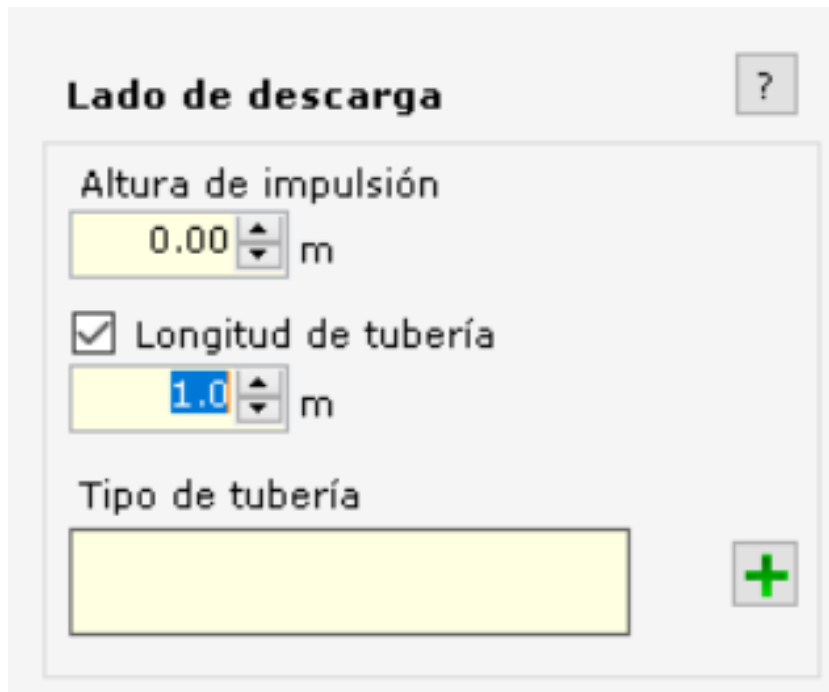


Figura 2.12 Lado de Descarga.(KG, 2023)

Altura de impulsión:

Para las bombas de superficie, la altura de impulsión es la altura vertical desde la salida de la bomba hasta el punto más alto de suministro.

Longitud de tubería (Lado de descarga):

Introducir la longitud de tubería desde la salida de la bomba hasta el punto de suministro. Los codos y otros accesorios deberán añadirse como longitud equivalente de la tubería para tener en cuenta sus pérdidas de presión.

Tipo de tubería:

Seleccionar el material de la tubería. La rugosidad de la superficie de la tubería afecta a las pérdidas por rozamiento. En el modo experto (puede activarse en el apartado de ajustes), pueden modificarse las variables de la rugosidad de la tubería y definirse preajustes personalizados. Los valores dados de rugosidad de tubería son valores medios y pueden diferir de los de sus tuberías locales.

Altura de impulsión dinámica:

Para bombas de superficie, la altura de impulsión es la altura vertical desde la salida de la bomba hasta el punto más alto de suministro más las pérdidas de presión en la tubería de descarga, dadas como la altura de una columna de agua con la presión equivalente.

2.3.3.3 Lado de Succión.

En la pestaña Entrada se encuentran los datos primarios usados en el dimensionamiento, se muestran los datos llamados “Lado de Succion” que se muestran en la figura 2.13.

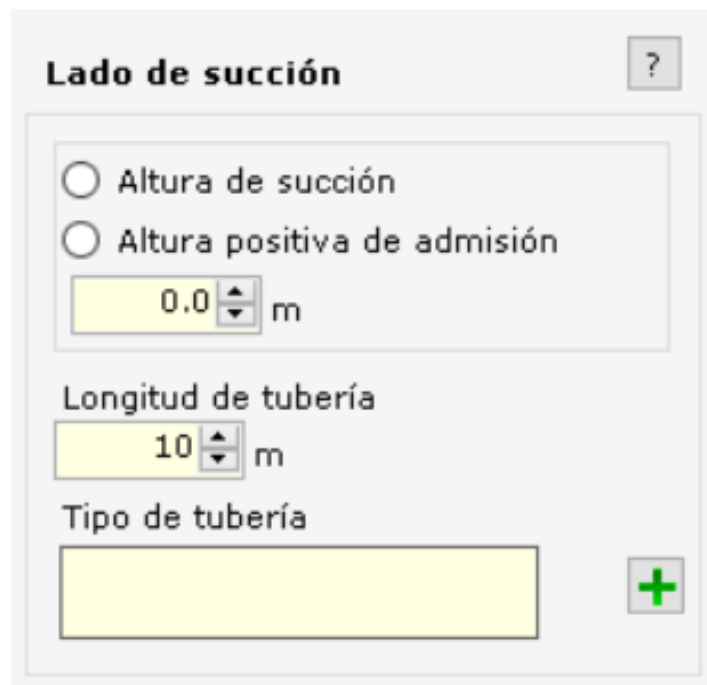


Figura 2.13 Lado de Succión.(KG, 2023)

Las bombas de superficie poseen una limitación física con respecto a qué altura de aspiración vertical de agua se puede alcanzar. En un determinado instante el agua empezará a vaporizarse, lo que resulta en un fenómeno conocido como cavitación. La cavitación origina un fuerte desgaste y agrietamiento, daños a los componentes, un fuerte ruido y una pérdida de rendimiento. Los daños originados por la cavitación no están cubiertos por la garantía. Introducir los datos del lado de aspiración con la máxima precisión posible.

Altura de succión

Escoger el botón de selección de altura de aspiración si el nivel de agua se encuentra por debajo de la admisión de la bomba. La altura de aspiración es la altura vertical desde el nivel de agua hasta el centro de la admisión de la bomba. Tener en cuenta que el nivel de agua puede ser más bajo debido a la captación de agua o a los impactos estacionales. Utilizar siempre la altura de aspiración máxima (nivel de agua inferior) para el dimensionamiento.

Considerar cómo realizar la instalación de la bomba para mantener la altura de aspiración lo más baja posible. LORENTZ recomienda una altura de aspiración inferior a 3 m (10 pies). El campo de entrada quedará coloreado en naranja si se introduce una altura de aspiración por encima de los 3 m (10 pies). Será posible dimensionar el sistema, pero la cantidad de bombas adecuadas quedará reducida de forma significativa.

Altura positiva de admisión

Escoger el botón de selección de altura de admisión positiva si el nivel de agua se encuentra por encima de la admisión de la bomba. La altura de admisión positiva es la altura vertical desde el centro de la admisión de la bomba hasta el nivel de agua. Considerar una reducción del nivel de agua debida a la captación de agua o a los impactos estacionales; utilizar siempre la altura de admisión positiva mínima para el dimensionamiento.

Tipo de tubería

Seleccionar el material de la tubería. La rugosidad de la superficie de la tubería afecta las pérdidas por rozamiento. En el modo experto (puede activarse en el apartado de ajustes), pueden modificarse las variables de la rugosidad de la tubería y definirse preajustes personalizados. Los valores dados de rugosidad de tubería son valores medios y pueden diferir de los de sus tuberías locales.

2.3.3.4 Requerimientos de suministro.

En la pestaña Entrada se encuentran los datos primarios usados en el dimensionamiento, se muestran los datos llamados “Requerimientos de Suministro” que se muestran en la figura 2.14.

Figura 2.14 Requerimientos de suministro.(KG, 2023)

Rendimiento diario requerido:

Los sistemas de bombeo CA que se encuentran conectados a una red eléctrica doméstica han sido diseñados para su funcionamiento bajo demanda con un índice fijo de descarga de agua por hora. En cambio, la bombas de agua de conexión solar directa trabajan a una velocidad de bombeo variable dependiendo de las condiciones atmosféricas de cada momento.

La bomba solar utilizará la totalidad del día solar para bombear la cantidad requerida de agua, por lo tanto COMPASS dimensionará el sistema de bombeo para la demanda requerida de agua por día.

Dimensionamiento par:

Las necesidades de agua varían estacionalmente, por lo tanto debe definirse bajo qué condiciones se requiere el suministro diario. Por ejemplo: Si el suministro requerido equivale a la cantidad de agua diaria mínima necesaria durante el año, dimensionar entonces el sistema para el mes menos soleado.

2.3.4 Cálculos y resultados obtenidos:

Al final de la pestaña “Entrada” se encuentra el botón “Calcular”, al hacer clic en él se ejecutará el programa de dimensionamiento, mostrado los resultados preliminares para el primer sistema de bombeo propuesto, que se muestran en la figura 2.15, puede

observarse como se añaden al lado de la pestaña “Entrada” dos pestañas más, la pestaña “Cableado” y la pestaña “Informes”.

Se debe seleccionar cual sistema de bombeo de los propuestos usted escoge antes de generar el informe en formato pdf, en el anexo #1 se muestra el informe del sistema de bombeo escogido en el Capítulo 3.

La pestaña “Cableado” muestra el diagrama de cableado de los módulos fotovoltaicos.

La pestaña “Informes” muestra un informe preliminar que incluye los datos de la instalación y los rendimientos mensuales y diarios, además permite escoger que información tendrá el Informe que se crea en el botón “Crear informe PDF”.

Este informe puede contener las siguientes informaciones, energía, irradiación, precipitación, temperatura ambiente, plantilla de datos de la bomba, cableado, diseño del sistema, diseño, bomba hoja de datos y modulo hoja de datos.

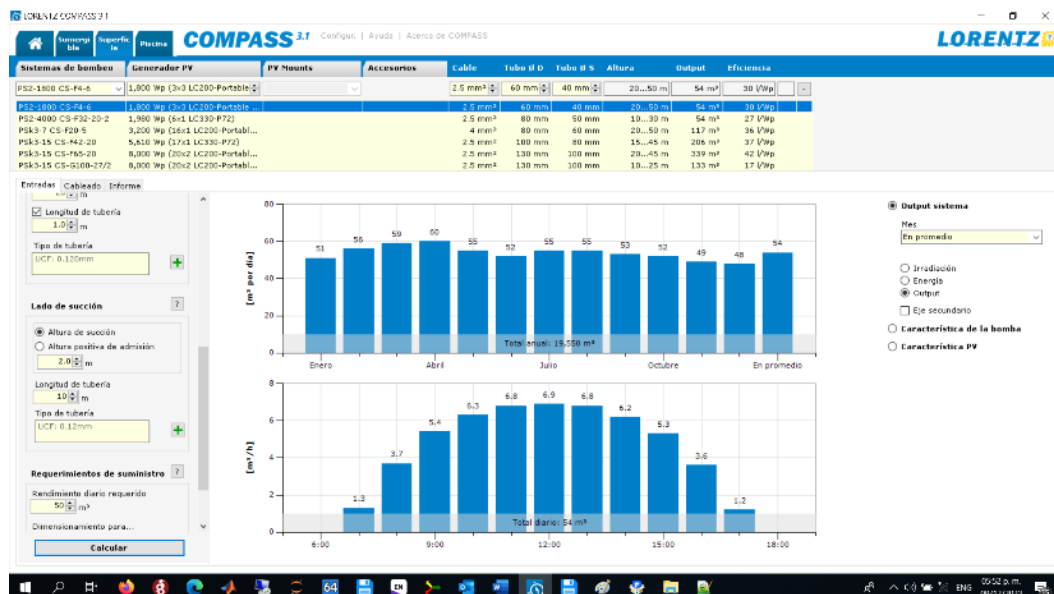


Figura 2.15 Resultados preliminares.(KG, 2023)

2.4 Conclusiones parciales del capítulo.

El tiempo de bombeo 6,5 horas en horario diurno permite la instalación de un sistema de bombeo solar.

La instalación cuenta con capacidad de colocar los módulos fotovoltaicos de un sistema de bombeo solar sobre la cisterna.

Para el dimensionamiento se deben tener en consideración detalladamente todos los componentes del sistema.

El uso de herramientas computacionales como el programa Compass de Lorentz, facilitan la realización de los cálculos y los ajustes de los parámetros.

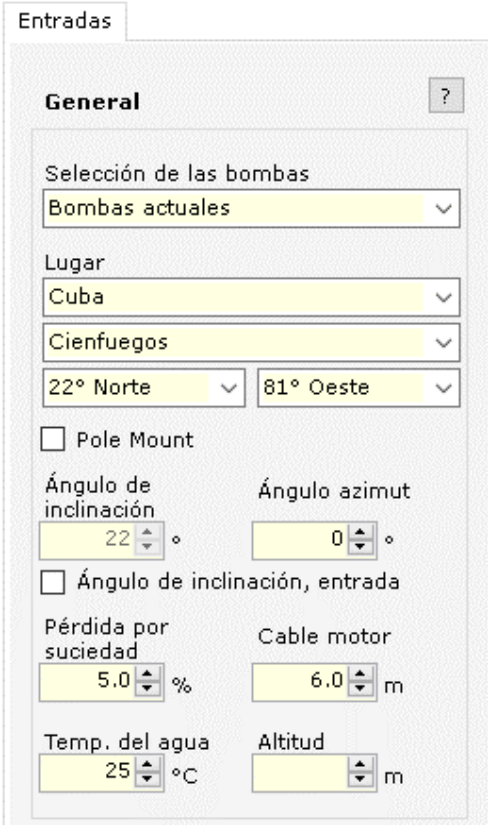
CAPÍTULO 3. TÍTULO DEL CAPÍTULO 3

3.1 Requerimientos de entradas del programa Lorentz Compass:

El programa Lorentz Compass requiere un grupo de datos para el dimensionamiento del sistema de bombeo solar, en la figura 3.1 se muestra un diseño de un sistema de bombeo solar del fabricante Lorentz.

3.1.1 Datos generales.

En la figura 3.1 puede observarse la ventana usada para la entrada de los datos generales y los valores seleccionados para nuestro caso de estudio. Es importante señalar que la longitud del cable motor se refiere a la longitud entre el controlador y el motor.



The screenshot shows the 'Entradas' (Inputs) window with the 'General' tab selected. The window contains the following fields and values:

- Selección de las bombas:** Bombas actuales (dropdown)
- Lugar:** Cuba (dropdown)
- Cienfuegos:** Cienfuegos (dropdown)
- Latitude:** 22° Norte (dropdown)
- Longitude:** 81° Oeste (dropdown)
- Pole Mount:** ☐ (unchecked)
- Ángulo de inclinación:** 22° (spin box)
- Ángulo azimut:** 0° (spin box)
- Ángulo de inclinación, entrada:** ☐ (unchecked)
- Pérdida por suciedad:** 5.0 % (spin box)
- Cable motor:** 6.0 m (spin box)
- Temp. del agua:** 25 °C (spin box)
- Altitud:** (spin box, value not visible)

Figura 3.1 Datos generales(KG, 2023).

3.1.2 Datos lado de la descarga.

En la figura 3.2 puede observarse la ventana usada para la entrada de los datos asociados a la tubería de descarga y los valores seleccionados para nuestro caso de

estudio. Es importante señalar que los accesorios de la tubería, entiéndase, codos, válvulas, etx, deberán añadirse como longitud equivalente de la tubería.

Figura 3.2 Datos de la tubería de descarga(KG, 2023).

3.1.3 Datos lado de la succión.

En la figura 3.3 puede observarse la ventana usada para la entrada de los datos asociados a la tubería de succión y los valores seleccionados para nuestro caso de estudio. Es importante señalar que los accesorios de la tubería deberán añadirse como longitud equivalente de la tubería, siempre que excedan de un codo y una válvula de retención, pues estos dos accesorios el programa los incluye automáticamente.

Figura 3.3 Datos de la tubería de succión.(KG, 2023)

3.1.4 Requerimientos de suministro.

En la figura 3.4 puede observarse la ventana usada para la entrada de los datos asociados a la tubería de succión y los valores seleccionados para nuestro caso de estudio. Es importante señalar que a diferencia de los sistemas de bombeo que se encuentran conectados al sistema electroenergetico nacional, que trabajan con un índice de descarga de metros cúbicos por hora (m^3/h), los sistemas de bombeo solar trabajan con una velocidad de bombeo variable en dependencia de las condiciones atmosféricas de cada momento, por lo que la bomba solar usara la totalidad del día solar para bombear la cantidad de agua requerida, es decir el programa dimensionara el sistema de bombeo para la demanda de agua por día.

Figura 3.4 Datos de los requerimientos de suministro.(KG, 2023)

3.1.5 Otros datos adicionales.

En la figura 3.5 puede observarse la ventana usada para la entrada de los datos adicionales, estos datos están asociados al calibre del conductor de alimentación eléctrica entre el controlador y la bomba y a los diámetros de la tubería de succión y descarga. Los valores seleccionados para nuestro caso de estudio.

Figura 3.5 Datos adicionales.(KG, 2023)

3.2 Cálculos de la longitud equivalente para las tuberías de succión y descarga de la instalación.

3.2.1 Cálculos de Pérdidas de agua y Distancia equivalente. Succión

Este cálculo en la succión se realiza sin los accesorios porque el software no necesita los accesorios en la succión, se toman como datos los 5 metros de tubería recta y una altura de 2 metros.

3.2.2 Cálculos de Pérdidas de agua y Distancia equivalente. Descarga

Los cálculos se realizaron siguiendo la metodología descrita en el capítulo 2 y la longitud equivalente se tomó de la figura 3.6, la altura de la tubería es de 32 metros.

Tabla 3.1 Cálculos de longitud equivalente.

		Longitud tramo recto (m)	Cantidad	Longitud Equivalente (m)	Total Longitud Equivalente (m)

Tubería 100 mm		50	1	50	50
Codo de 90°		-	4	3	12
Codo de 45°		-	1	1.5	1.5
Válvula de cheque		-	1	16	16
Total					79.5

METROS DE TUBERIA RECTA EQUIVALENTE

Diámet. del tubo	Conos difusores	Codo de 45°	Codo de 90°	Curva de 90°	Válvula de pie	Válvula de retenc.	Válvula de compuerta			
							abierta	cerrada 1/4	cerrada 1/2	cerrada 3/4
25	5 m. aproximadamente	0,5	1	0,5	5	4		1	5	20
32		0,5	1	1	6	5		1,5	6	25
40		1	1,5	1	8	7		1,5	8	30
50		1	1,5	1	9	8	0,5	2	10	40
60		1	2	1,5	12	10	0,5	2,5	12	50
80		1,5	2,5	1,5	15	13	0,5	3	16	60
100		1,5	3	2	18	16	1	4	20	80
125		2	4	2,5	23	20	1	5	25	100
150		2,5	5	3	28	25	1	6	30	120
200		3	6,5	4	35	30	1,5	8	40	160
250		3,5	8	5	45	40	2	10	50	200
300		4,5	9,5	6	55	50	2	12	60	240
350		5,5	11	7	70	60	2,5	14	70	280
400		6	13	8	80	70	3	16	80	325
500		7	16	10	90	80	3,5	20	100	400

Figura 3.6 Determinación de pérdidas de carga.(Borges & Yanes)

3.3 Propuestas de variantes de soluciones obtenidas del programa:

En la figura 3.7 se muestran las propuestas de los sistemas de bombeo solar dimensionados por el programa Compass.

El criterio usado para seleccionar el sistema de bombeo fue el de eficiencia, se seleccionó el sistema que tuviera más eficiencia, como puede observarse en la figura 3.7 el sistema de bombeo identificado como Psk2-21 CS-F42-40 tiene una eficiencia de 25l/Wp (litros bombeados por watt pico instalado).

LORENTZ COMPASS 3.1

COMPASS 3.1 Configur. | Ayuda | Acerca de COMPASS

Sistemas de bombeo	Generador PV	PV Mounts	Accesorios	Cable	Tubo Ø D	Tubo Ø S	Altura	Output	Eficiencia
PSk2-21 CS-F42-40	12,350 Wp (19x2 LC325-P72)			6 mm ²	100 mm	80 mm	30...80 m	301 m ³	24 l/Wp
PSk3-7 CS-F20-5	20,000 Wp (20x5 LC200-Portab...			2.5 mm ²	100 mm	60 mm	20...50 m	266 m ³	13 l/Wp
PSk3-15 CS-F42-20	12,800 Wp (16x4 LC200-Portab...			2.5 mm ²	130 mm	80 mm	15...45 m	304 m ³	24 l/Wp
PSk3-15 CS-F65-20	13,600 Wp (17x4 LC200-Portab...			4 mm ²	130 mm	100 mm	20...45 m	301 m ³	22 l/Wp
PSk2-21 CS-F42-40	12,350 Wp (19x2 LC325-P72)			6 mm ²	100 mm	80 mm	30...80 m	301 m ³	24 l/Wp
PSk2-21 CS-G80-38/2	15,600 Wp (16x3 LC325-P72)			8 mm ²	130 mm	100 mm	20...38 m	305 m ³	20 l/Wp
PSk2-21 CS-F85-20	15,600 Wp (16x3 LC325-P72)			6 mm ²	130 mm	100 mm	20...50 m	304 m ³	20 l/Wp

Figura 3.7 Propuestas de soluciones obtenidas.(KG, 2023)

3.4 Variante seleccionada.

Sistema de bombeo solar de superficie “PSk2-21 CS-F42-40”.

3.4.1 Características del sistema de bombeo seleccionado.

Características del sistema:

Altura máxima de 80 m y un flujo máximo de 63m³/h.

Datos técnicos:

Controlador:

Modelo: PSk2-21. (Figura 3.8)

Potencia máxima: 21 kW

Voltaje de entrada máximo: 850 V



Figura 3.8 Gabinete del controlador PSk2-21(GmbH, 2023).

Motor: Modelo AC DRIVE CS-F-15 kW.(Figura 3.9)

Unidad de bomba: PUK2-21 CS-F42-40. (Figura 3.9)



Figura 3.9 Conjunto bomba-motor(GmbH, 2023).

3.4.2 Detalles del sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico está compuesto por 34 Módulos solares LC325-P72 , son módulos de 325 W, certificados de fabrica con la ISO 9001:2000, estos módulos tienen un voltaje máximo de 37.5 volt y una corriente máxima de 8.67 Ampere, presentan una eficiencia del 16.7%.

En la figura 3.10 se muestra el diagrama de cableado de los módulos fotovoltaico. Es importante señalar que este arreglo obedece a la especificación de voltaje del

controlador usado, es decir el voltaje de circuito abierto de un arreglo no debe superar con un margen de seguridad el voltaje máximo de entrada del controlador.

Diagrama de cableado

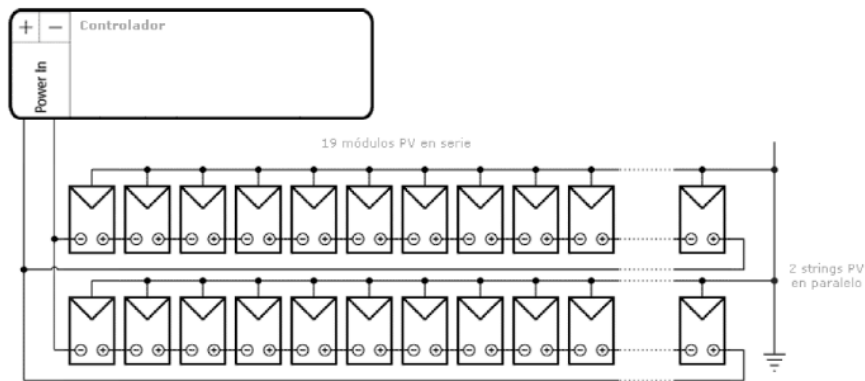


Figura 3.10 Diagrama de Cableado(Suárez Aguilar, 2023).

3.5 Resultados obtenidos.

En la figura 3.11 se muestra la cantidad de m³/mes bombeados mes a mes durante un año, el programa dimensiono el diámetro de la tubería de descarga a 130mm.

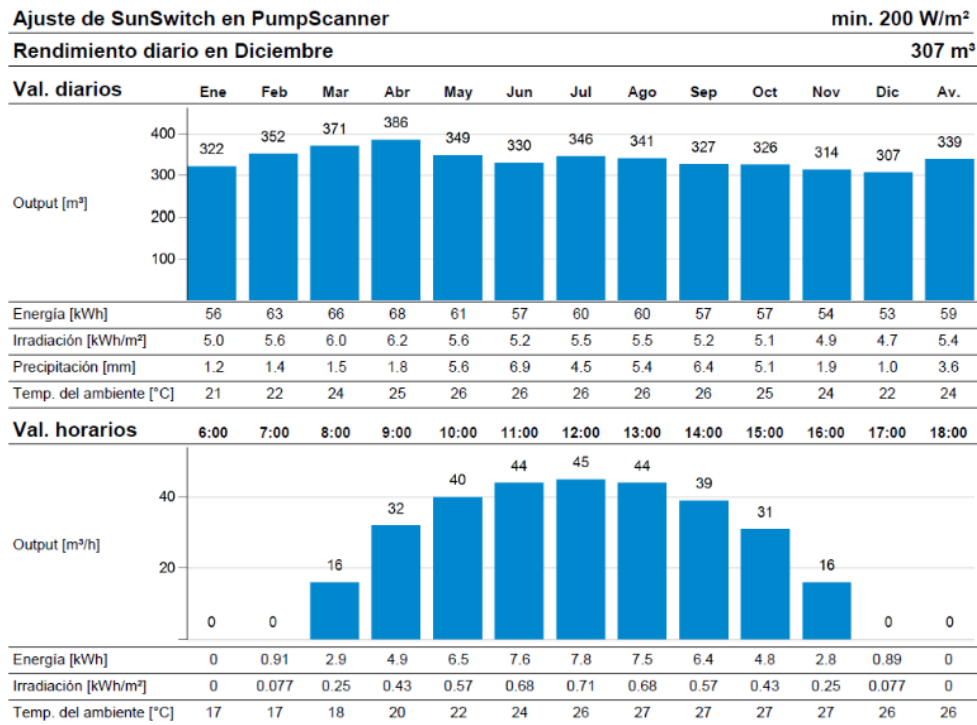


Figura 3.11 Cantidad de m³/mes bombeados usando una tubería de descarga de diámetro 130mm(Suárez Aguilar, 2023).

En la figura 3.12 puede observarse la cantidad de m^3/mes bombeados cuando el diámetro de la tubería de descarga se fija a 100mm que es el valor de la tubería de descarga de nuestra instalación.

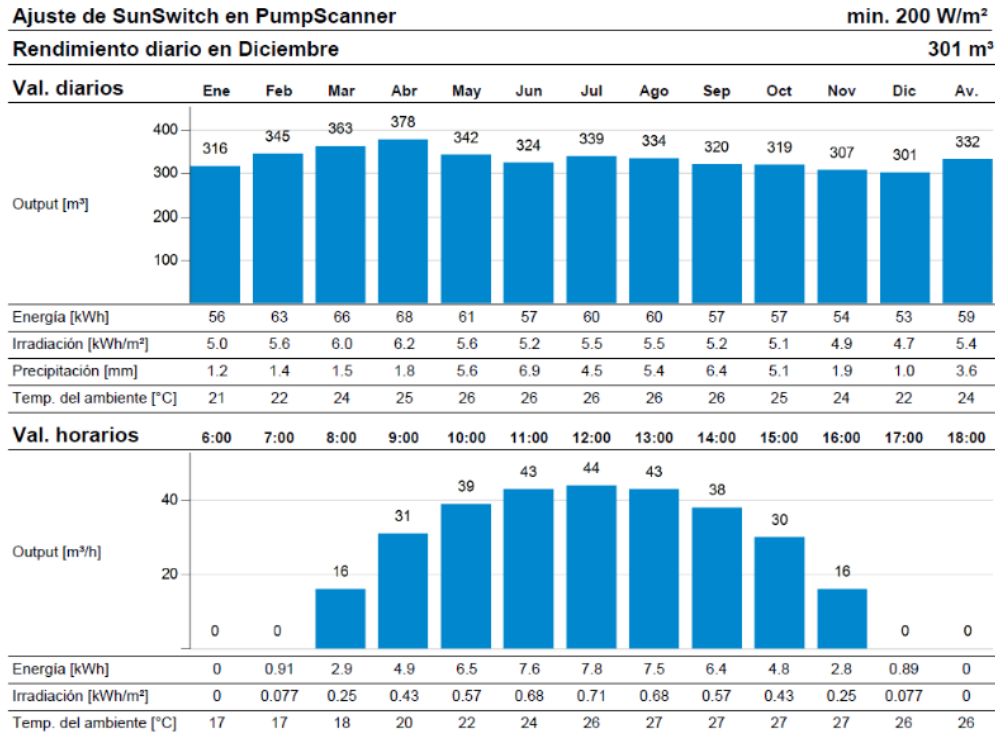


Figura 3.12 Cantidad de m^3/mes bombeados usando una tubería de descarga de diámetro 100mm(Suárez Aguilar, 2023).

Puede observarse que la cantidad de agua bombeada disminuye un promedio de 7 m^3 diarios o 2920 m^3 anuales, esta cantidad de agua a un dimensionamiento de 300 $\text{m}^3/\text{día}$ es equivalente a 8.5 días.

3.6 Sistema de bombeo solar como Laboratorio de Investigación.

En este contexto, se establece un laboratorio especializado en la investigación exclusiva de sistemas de bombeo solar, fusionando de manera armónica la teoría académica con la aplicación práctica de tecnologías sostenibles. Este laboratorio se erige como un pilar esencial para la investigación y como una herramienta didáctica valiosa, utilizando el sistema de bombeo alimentado por energía solar como la plataforma central que impulsa tanto el avance del conocimiento como la experiencia educativa.

3.6.1 Objetivos de Investigación:

El laboratorio tiene como objetivo primordial realizar investigaciones y estudios exhaustivos sobre el rendimiento, eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de bombeo solar en diversas condiciones. La atención se centra en la optimización del rendimiento, la adaptabilidad a diferentes entornos y la evaluación del impacto ambiental, buscando contribuir al desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles.

3.6.2 Áreas de Investigación:

Optimización del Rendimiento: El laboratorio se embarcará en una investigación detallada para mejorar la eficiencia del sistema de bombeo solar. Se abordarán aspectos clave como la orientación de los paneles solares, el seguimiento solar, la eficiencia de las bombas y la gestión eficaz de la energía almacenada.

Adaptabilidad a Diferentes Entornos: Se llevará a cabo un estudio exhaustivo sobre la capacidad del sistema para adaptarse a una variedad de entornos. El laboratorio explorará técnicas de diseño y ajuste para optimizar el rendimiento del sistema en condiciones específicas, con el objetivo de maximizar su utilidad en contextos diversos.

Evaluación del Impacto Ambiental: El análisis del impacto ambiental será una prioridad, comparando el sistema de bombeo solar con soluciones convencionales. Se pretende proporcionar datos valiosos para respaldar la implementación de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente.

3.6.3 Beneficios y Resultados Esperados:

El laboratorio aspira a generar conocimientos valiosos sobre el rendimiento y la eficiencia de los sistemas de bombeo solar. Además, busca aumentar la conciencia sobre la energía solar mediante programas educativos y demostraciones prácticas, contribuyendo así al desarrollo de soluciones sostenibles. La intención es establecer un modelo replicable para otras instituciones educativas o centros de investigación interesados en la investigación en energía solar y bombeo.

3.6.4 Conclusiones y Futuras Direcciones:

La conclusión del proyecto consolidará los hallazgos de la investigación y evaluará la eficacia del laboratorio tanto como herramienta educativa como centro de investigación. Se considerarán direcciones futuras para la expansión del laboratorio y la mejora continua de sus componentes, buscando constantemente innovar y avanzar en la frontera del conocimiento en el ámbito de la energía solar y el bombeo. Este enfoque integrado aborda no solo los aspectos científicos e investigativos, sino también la vital importancia de la educación y concienciación sobre la energía solar,

todo enmarcado dentro de la función central del laboratorio como un centro de investigación especializado en bombeo solar y una herramienta didáctica para el aprendizaje

3.7 Conclusiones parciales

Interfaz Intuitiva y Configuración Amigable: El programa Compass de Lorentz se distingue por ofrecer una interfaz amigable y de fácil configuración. Esto no solo simplifica el proceso de dimensionamiento del sistema de bombeo solar, sino que también facilita su accesibilidad, permitiendo a los usuarios navegar de manera eficiente y realizar ajustes según las necesidades específicas del proyecto.

Ahorro Significativo en Costos Operativos: Los sistemas de bombeo solar, dimensionados con precisión a través del programa Compass, demuestran un ahorro sustancial en costos operativos al eliminar la necesidad de pagar el servicio a la empresa eléctrica. Esta independencia financiera contribuye de manera significativa a la viabilidad económica a largo plazo del proyecto.

Independencia Energética: La adopción de sistemas de bombeo solar no solo representa un ahorro económico, sino que también establece una verdadera independencia energética. Al utilizar la energía solar como fuente primaria, se reduce la dependencia de fuentes convencionales y se asegura un suministro constante y sostenible para las operaciones de bombeo.

Contribución Ambiental Positiva: La implementación de soluciones de bombeo solar conlleva beneficios ambientales significativos. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la huella ambiental son resultados directos de la transición a esta fuente de energía limpia y renovable. Este enfoque sostenible se alinea con los objetivos medioambientales y promueve prácticas responsables.

Funcionalidad como Laboratorio de Investigación: La adaptabilidad y funcionalidad de los sistemas de bombeo solar demuestran ser completamente efectivas como un Laboratorio de Investigación y Demostración de Sistemas de Bombeo Solar. La implementación práctica de estos sistemas ofrece oportunidades valiosas para la investigación, permitiendo estudios detallados sobre el rendimiento, eficiencia y sostenibilidad en diversas condiciones.

CONCLUSIONES

Diseñar una propuesta de instalación de bombeo solar.

Definir las posibilidades de uso de la instalación como laboratorio de investigación.

Los sistemas de bombeo solar representan una contribución significativa a la transición hacia un futuro energético más sostenible y centrado en las energías renovables. Su adopción puede jugar un papel crucial en la diversificación de la matriz energética global.

El tiempo de bombeo 6,5 horas en horario diurno permite la instalación de un sistema de bombeo solar.

La instalación cuenta con capacidad de colocar los módulos fotovoltaicos de un sistema de bombeo solar sobre la cisterna.

Para el dimensionamiento se deben tener en consideración detalladamente todos los componentes del sistema.

Con el uso de herramientas computacionales como el programa Compass de Lorentz, se pudo dimensionar una instalación de bombeo que suple los requisitos de agua de la Cede Carlos Rafael Rodríguez.

La adaptabilidad y funcionalidad de los sistemas de bombeo solar demuestran ser completamente efectivas como un Laboratorio de Investigación y Demostración de Sistemas de Bombeo Solar.

RECOMENDACIONES

Continuar el estudio buscando cuantificar la reducción de los costos operativos y las emisiones de CO₂ en comparación con el sistema de bombeo existente.

Evaluar económicamente si es factible el cambio del diámetro de la tubería de descarga del valor actual de 100mm a 130 mm, teniendo en consideración el aumento de la cantidad de agua bombeada.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E. A. R. (2014). Prototipo didáctico de sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica. *Revista Científica de FAREM-Estelí*(12), 69-78.
- Al-Rawashdeh, R., Alsarayreh, M., & Al-Odienat, A. (2023, 22-24 May 2023). Solar Photovoltaic Forecasting Using ANN Network for Central and Southern Regions of Jordan. 2023 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT),
- Arreola Gómez, R., Quevedo Nolasco, A., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, Á., & Reyes Muñoz, D. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(8), 1715-1727.
- Becerra Moreno, E. A., Fernández Rojas, L. J., & Tobar Pinto, J. A. (2023). *Diseño e implementación de un sistema de bombeo de agua y monitoreo de extracción eficaz (MEE) autosuficiente con energía solar fotovoltaica, para los distintos requerimientos de la normativa DGA N° 1238 (Exenta) Universidad Tecnológica Metropolitana*].
- Borges, R. J., & Yanes, J. P. M. Mecánica de los Fluidos. Teoría y Compendio de Problemas.
- Carricondo Antón, J., Jiménez Bello, M. Á., Manzano Juárez, J., Royuela Tomas, A., & González Altozano, P. (2021). Optimización de sistemas de bombeo fotovoltaico a depósitos con criterio técnico-económico.
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M., & Chandel, R. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Collado, C. M. (2022). Recomendaciones energéticas para Cuba. *Eco Solar*(79), 14-26.

- De la Cruz Casaño, C., Adauto, C. L., Espinal, J. M., Ravichagua, R. C., & Malpartida, I. R. (2012). Seguidor solar adaptativo basado en un controlador lógico programable para paneles fotovoltaicos. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 2(2).
- Fajardo, H. A. (2021). La energía fotovoltaica en el riego agrícola: Revisión de literatura.
- Figueroa-Cuello, A. N., Pardo-García, A., & Díaz-Rodríguez, J. L. (2017). Sistema control supervisor de clientes con acceso remoto para sistemas solares fotovoltaicos autónomos. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7(2), 367-378.
- GmbH, B. L. (2023). *Ficha Técnica sistema de bombeo solar en superficie PSk2-21 CS-F42-40*. <https://www.tmsmx.com/wp-content/uploads/2019/08/Ficha-t%C3%A9cnica-Lorentz-PSk2-21-CS-F42-40.pdf>
- González, E. Á., Puebla, J. H., & Cuní, B. C. (2022). Evaluación técnica en condiciones de explotación de la bomba solar LORENTZ para abasto de agua. *Revista Ingeniería Agrícola*, 12(3).
- Granda-Gutiérrez, E., Orta, O., Díaz-Guillén, J., Jimenez, M., Osorio, M., & González, M. (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica,
- Hurtado, I. F., Rodríguez, M. A. G., Sarduy, J. R. G., & Sánchez, Z. G. (2023). Predicción de la generación fotovoltaica usando Deep Learning. *Universidad y Sociedad*, 15(S1), 266-275.
- IEA, I. (2019). World energy outlook 2019. *International Energy Agency, France*.
- IEA, I. (2020). *Introduction to System Integration of Renewables*. <https://www.iea.org/reports/introduction-to-system-integration-of-renewables>
- IEA, I. (2022). Renewables 2022. *International Energy Agency, France*.
- IEA, I. (2023a). Clean Energy Transitions Programme. *International Energy Agency, France*.
- IEA, I. (2023b). Power systems in transition. *International Energy Agency, France*.
- Jahanfar, A., & Iqbal, M. T. (2022, 26-29 Jan. 2022). A Comparative Study of Solar Water Pump Storage Systems. 2022 IEEE 12th Annual

- Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC),
- Jambo Llatas, P. I. (2021). Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para suministrar agua subterránea a cultivos en el CPM Boro, Pomalca-Chiclayo.
- José, I. T. d. L. H., & Echeverría, A. Una mirada a la transición de la matriz energética cubana.
- KG, B. L. G. C. (2023). *Lorentz Compass*. In (Version 3.1.0.223)
- Li, G., Jin, Y., Akram, M. W., & Chen, X. (2017). Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 440-458. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.055>
- Luukkanen, J., de Rozas, M. L. F. S., Vázquez, A. S., & Hernández, A. M. (2022). I. 3. Desarrollo histórico del sector energético cubano. *Futuro Energético en Cuba*, 34.
- Luukkanen, J., Vázquez, A. S., Majanne, Y., & Korkeakoski, M. III. 6. Modelado del sistema energético cubano con el modelo CubaLinda. Perspectivas para un escenario 100% renovable.
- Martín, P. F. G. (2021). *Energía solar fotovoltaica para todos*. Marcombo.
- Martínez, G. A. L., Moreno, F. G., & Fierro, J. B. (2013). Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano. *Tecnura*, 17, 33-47.
- Meah, K., Ula, S., & Barrett, S. (2008). Solar photovoltaic water pumping—opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(4), 1162-1175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.020>
- Mergoul, K., Laarabi, B., & Barhdadi, A. (2018, 5-8 Dec. 2018). *Solar Water Pumping Applications in Morocco: State of the Art*. 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC),
- Peralta Vera, A. A. (2018). *Evaluación técnico-económica de una instalación de bombeo solar fotovoltaico aplicada a la ampliación de la frontera agrícola en zonas aisladas de Arequipa*.

- Phan, Q. T., Wu, Y. K., Phan, Q. D., & Lo, H. Y. (2023). A Novel Forecasting Model for Solar Power Generation by a Deep Learning Framework With Data Preprocessing and Postprocessing. *IEEE Transactions on industry applications*, 59(1), 220-231. <https://doi.org/10.1109/TIA.2022.3212999>
- RODRIGUEZ ORTUBE, F. (2022). *Dimensionamiento de un Sistema Solar Fotovoltaico Aislado Para El Funcionamiento De Una Bomba De Agua En La Comunidad De Santiago De Huayllamarca-Oruro*
- Sanju, Agarwal, K. L., & Srikant, S. S. (2022, 25-27 Nov. 2022). An Analysis of State of Art Techniques for Solar PV Powered Water Pumping System. 2022 IEEE 10th Power India International Conference (PIICON),
- Silva, M. (2020). *Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos* Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería; Argentina].
- Singh, P., Singh, N. K., & Singh, A. K. (2022, 2-4 Dec. 2022). Solar Photovoltaic Energy Forecasting Using Machine Learning and Deep Learning Technique. 2022 IEEE 9th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON),
- Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R. (2016). Solar photovoltaic water pumping system-A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038-1067.
- Suárez Aguilar, A. d. J. (2023). *Sistema-bombeo-Sede-Carlos-Rafael-Rodriguez*
Universidad de Cienfuegos.
- USAID. (2020). *Grid integration series: variable renewable energy forecasting*. https://www.usaid.gov/sites/default/files/2022-05/USAID_SURE_Variable-Renewable-Energy-Forecasting.pdf
- Vidales García, J. C. (2022). Diseño de un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar fotovoltaica.
- Wu, Y. K., & Huang, C. L. (2022). *Key Issues and Future Trends on Solar Power Forecasting*. 2022 IEEE 4th Eurasia Conference on IOT, Communication and Engineering (ECICE),
- Zambrano Cueva, J. (2020). *Sistema de bombeo de agua utilizando paneles solares en el sector Boyero–CP Porcón Alto*.

ANEXOS

Anexo #1 Resultados del informe del programa Compass.