



Evaluación de las ventajas de los sistemas de lubricación que utilicen respiradores desecantes para el control de humedad y contaminantes, y la posibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico

David Alejandro Alzate Aristizabal

Informe final de semestre de industria para optar al título de Ingeniero Mecánico

Tutor

Ricardo Moreno Sánchez, PhD. Mecatrónica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Medellín

2021

Cita	(Alzate Aristizabal,2021)
Referencia	Alzate Aristizabal, D.A, (2021). <i>Evaluación de las ventajas de los sistemas de lubricación que utilicen respiradores desecantes para el control de humedad y contaminantes, y la posibilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Pedro León Simanca

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

1. Resumen	6
2. Introducción.....	7
3. Objetivos.....	8
3.1. Objetivo general:	8
3.2. Objetivos específicos:	8
4. Marco teórico.....	9
5. Metodología.....	14
5.1. Sistemas de lubricación que utilizan respiradores desecantes	14
5.1.1. Primera etapa	14
5.1.2. Segunda etapa	14
5.1.3. Tercera etapa.....	14
5.2. Estudio de viabilidad del sistema solar fotovoltaico.....	18
6. Resultados.....	22
6.1. Sistemas de lubricación que utilizan respiradores desecantes	22
6.1.1. Revisión bibliográfica.....	22
6.1.2. Reciclaje de resinas de sílice	27
6.2. Estudio de viabilidad del sistema solar fotovoltaico.....	28
7. Conclusiones.....	31
8. Bibliografía.....	33

Lista de tablas

Tabla 1 Datos de irradiancia solar.....	19
Tabla 2 HSP para cada mes del año.	22
Tabla 3 Datos técnicos ofertados por las empresas para el sistema solar fotovoltaico.....	29

Lista de figuras

Figura 1 Esquema de funcionamiento de un respirador desecante	10
Figura 2 Sistema solar fotovoltaico on grid. Tomado de (¿Cómo Funciona Un Sistema O GRID? – WEGA ENERGY, 2021)	13
Figura 3 Sistema solar fotovoltaico Off grid tomado de (¿Cómo Funciona Un Sistema OFF GRID? – WEGA ENERGY, 2021)	13
Figura 4 Diseño computacional laboratorio respiradores desecantes	15
Figura 5 Sensor de humedad relativa y temperatura DHT22	15
Figura 6 Ventilador 12V	16
Figura 7 Humidificador ultrasónico.....	16
Figura 8 Bomba sumergible.....	17
Figura 9 Ubicación geográfica Sealco	19
Figura 10 Promedio de consumo y costo por [KWh]	29

1. Resumen

La lubricación, hace parte y es un eje estratégico dentro de Sealco, es por ello que se venden, comercializan y se ofrecen soluciones para el cuidado de los lubricantes, dentro de este segmento la empresa representa y distribuye a nivel nacional los productos y servicios de Trico, en el desarrollo de este trabajo investigativo se realizó una revisión del estado del arte y diseño de un laboratorio experimental para uno de sus productos insignia: los respiradores desecantes, estos equipos cuentan con poca información proveniente del fabricante, respecto a los impactos reales sobre el sistema de lubricación al utilizar los respiradores desecantes. Por tal motivo, en el presente trabajo se diseñará un banco de pruebas para poder evaluar el impacto de los respiradores; y dentro de las ventajas que se ofrecen al instalar estos productos es extender la vida útil y disponible de los lubricantes y los equipos lubricados; esto se logra debido a que el producto es capaz de retener gran cantidad de humedad y partículas contaminantes, estos representan la mayor problemática al degradar y acelerar el deterioro de los lubricantes. Para el diseño del banco experimental, se tomaron como principales características la humedad y las partículas en el aire, es de esta manera que se concibió el laboratorio; mediante un sistema autónomo controlado por Arduino se escogieron sensores de humedad, humidificadores y ventiladores que lograran hacer fluir las partículas y la humedad presentes en el aire y que pudieran ser procesadas por el sensor mencionado. Para tal fin se puso la condición de que los ventiladores y el humidificador siempre debían estar funcionando si la humedad relativa leída por el sensor era inferior al 80%. Por otro lado, para hacer la prueba y comprobar la eficacia de los respiradores en la vida útil del lubricante, se pensó un sistema con y sin dicho equipo que pudiera arrojar resultados determinantes en un posterior análisis de aceite. De otra manera, se desarrolló un estudio de viabilidad de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en las instalaciones de la empresa donde se analizaron diversas propuestas presentadas a la empresa para la ejecución del proyecto. En dichas propuestas, se encontró que dadas las condiciones que se presentaban en las instalaciones de Sealco se recomendaba tener un sistema interconectado a la red eléctrica debido a que de esta manera se disminuían costos asociados a baterías que conllevaba a un espacio adicional dentro de la empresa para la ubicación de estas y costos de mano de obra y mantenimiento. En ese mismo sentido, se evidencio que el proyecto era altamente viable observándolo desde la parte económica, ya que el retorno sobre la inversión se recuperaría en los 3 años posteriores a su instalación, es decir, que a

partir del año cuatro se empezarían a tener ahorros anuales del orden de los \$40.000.000 COP, y dichos paneles, tienen un promedio de vida útil que ronda los 25 a 30 años según datos que entrega el fabricante.

2. Introducción

SEALCO S.A es una empresa que se dedica a la fabricación, comercialización y distribución de diferentes productos y servicios, principalmente del área de ingeniería, dentro de sus segmentos se encuentra el área de lubricación donde se ofrecen soluciones integrales para todo tipo de máquinas e industrias. SEALCO S.A es el distribuidor oficial de la marca Trico a nivel nacional; el cual es el proveedor para este segmento, uno de sus productos son los respiradores desecantes, dispositivos utilizados para controlar el ingreso de humedad y contaminantes provenientes de la atmósfera externa a los sistemas en los cuales es instalado. Esto es posible, ya que estos dispositivos utilizan filtros con tamaños de $2\mu\text{m}$ (micrómetros) para controlar el ingreso de contaminantes, y en su cuerpo contienen materiales desecantes a partir de gel de sílice, que es una sustancia higroscópica (material que retiene y atrapa las moléculas del agua) que mantiene seco los alrededores.

Hoy en día ni SEALCO S.A ni Trico tienen información relevante sobre la evaluación experimental que permitan sustentar la eficiencia de los respiradores desecantes; por ello se hará una revisión de fuentes bibliográficas que permita validar a partir de un conocimiento teórico la importancia de este tipo de productos. En el banco diseñado, se podrá verificar posteriormente el efecto de utilizar los desecadores por medio de un diseño experimental que incluye análisis de aceite a diversas muestras, donde se podrán identificar características claras como (contenido de humedad, viscosidad del aceite, conteo de partículas y pérdida de aditivos) que den un soporte claro para tener una base sólida a la hora de vender los productos. Se realizó un estudio del estado del arte de estos sistemas, donde se evidenció claramente los beneficios de instalar respiradores desecantes en equipos industriales; así mismo, se logró diseñar el laboratorio experimental que servirá para evaluar el ciclo de vida de diferentes lubricantes, este será controlado por un sistema autónomo mediante Arduino.

Por otro lado, con el ánimo de utilizar energías alternativas para Sealco, se hará un estudio de viabilidad de implementar un sistema solar fotovoltaico en las instalaciones de Sealco, este debe ser económicamente viable y debe disminuir el costo total del consumo eléctrico durante el ciclo de vida del sistema; además de disminuir el impacto medio ambiental. Se revisaron varias propuestas para la ejecución del proyecto donde se analizaron los costos de energía ofrecidos por el operador de red y se contrastaron con las tarifas ofrecidas poniendo en marcha el sistema solar fotovoltaico.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general:

Evaluar las ventajas de los sistemas de lubricación que utilizan respiradores desecantes para el control de humedad y contaminantes, y la posibilidad de la implementación de un sistema de paneles solares en Sealco.

3.2. Objetivos específicos:

- Realizar un estudio del estado del arte de los sistemas de lubricación que utilizan materiales desecantes para eliminación de humedad y contaminantes y su efecto en la vida útil del lubricante por medio de la consulta de 20 fuentes bibliográficas. Complementar con los posibles manejos de reciclaje de resinas desecantes.
- Diseñar y realizar el banco de pruebas para comparar los principales parámetros de un lubricante (análisis elemental, número de ácido total, número de base total y viscosidad) en un sistema, con y sin, la utilización de respirador desecante para evaluar los posibles efectos del uso del respirador con material desecante. El diseño del banco de pruebas debe permitir controlar la humedad del aire y medir la temperatura ambiente.

- Realizar una evaluación técnico-económica de la viabilidad de la utilización de paneles solares en Sealco.

4. Marco teórico

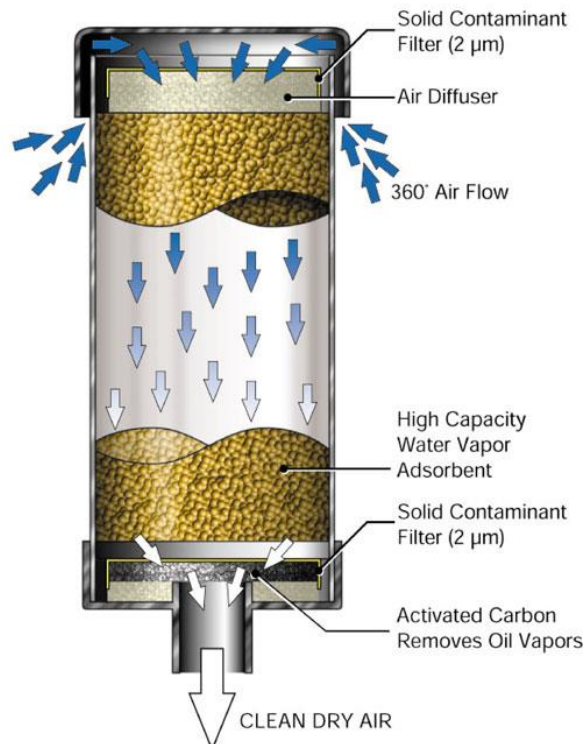
Los respiradores desecantes, controlan y previenen el ingreso de humedad y partículas sólidas a los lubricantes, lo logra por medio de un gel de sílice que actúa como agente higroscópico atrapando la humedad tanto externa como interna; por otro lado, tiene un filtro, por lo general de un material sintético como la fibra de vidrio, que es capaz de atrapar las partículas que se encuentran en el ambiente, algunos de estos equipos también poseen un filtro de carbón activado que sirve para atrapar los gases internos que son generados dentro de la máquina por cambios de presión y temperatura.

A la hora de elegir un respirador desecante es importante tener varios factores claros que ayudaran a escoger el que más se adapte a las necesidades propias de cada empresa. Para empezar, hay que considerar el entorno en el que funciona la máquina, un equipo que funcione en un entorno severo tanto de humedad como de contaminación debería ser capaz de manejar estos altos niveles; también es posible ubicarlo en una ubicación remota para reducir el desgaste acelerado de este; otro factor importante es el nivel de limpieza que se requiere en la máquina, ya que de esta manera se podrá elegir un respirador que tenga un filtro adecuado para los niveles de suciedad permitidos dentro de la aplicación. Por último es conveniente saber el tipo de maquina en la cual se va a instalar el equipo para saber los cambios volumétricos en el reservorio y elegir el respirador adecuado (Trujillo, 2021).

Los respiradores desecantes varían en diseño y construcción, pero todos aplican el mismo principio básico de un sistema de 3 etapas; en la primera etapa se encuentra con un filtro de partículas, generalmente de alrededor de $2\mu\text{m}$ que atrapa los contaminantes que provienen del aire exterior, luego de esto, en la segunda etapa el aire pasa por el material higroscópico donde se absorbe toda la humedad que contiene este; y finalmente pasa por un segundo filtro para atrapar las partículas sólidas. Su esquema de funcionamiento por Trico (2021) se muestra en la *figura 1*.

Figura 1

Esquema de funcionamiento de un respirador desecante



En cuanto a la instalación se refiere, es un proceso rápido y sencillo que consiste en intercambiar el respirador convencional por el desecante, la mayoría de estos son atornillables y además de esto se pueden adquirir kits para la instalación de acuerdo con el tipo de equipo: caja de cambios o sistema hidráulico.

Así pues, Noria (2021) menciona que eliminar la humedad y la suciedad prolonga la vida útil del lubricante, por lo que considera que los respiradores desecantes son útiles en ambientes que tienen altos niveles de polvo y humedad, incluso recomienda que estos equipos se instalen donde se almacenan los lubricantes ya que cuesta alrededor de solo el 10% de lo que costaría eliminar estos contaminantes una vez están en el equipo. En contraste, Hanna Instruments (2021) dice que, la oxidación, el incremento de la conductividad eléctrica de los lubricantes y daños en los aditivos son efectos perjudiciales que suelen asociarse con presencia de humedad en los lubricantes. Adicionalmente el agua disminuye el rendimiento del aceite, bien sea que su uso sea

para lubricación, enfriamiento, aislamiento u otros propósitos. Un elevado contenido de humedad genera corrosión, sobrecalentamiento o defectos de los equipos que pueden asociarse a costos de mantenimiento. Por otra parte, Monaci (2013) enfatiza en que cerca del 60% de las fallas de maquinaria se relacionan con una lubricación deficiente o con la contaminación de los fluidos lubricantes por agua o partículas.

En el análisis experimental se busca crear un ambiente de pruebas controlado, en el cual un equipo mecánico que utilice aceite como lubricante este sometido a condiciones de humedad y contaminación altas, para el experimento se optará por tener un sistema con el uso de respirador desecante y otro que no tenga este sistema.

La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM), propone un método de prueba en el cual se determinan 22 elementos en aceites lubricantes nuevos y sin usar para obtener información acerca de su desgaste (ASTM D5185, 2021). Por otra parte, la Organización Internacional de Normalización *ISO 4406* (1999) propone un nivel de limpieza determinado por el conteo de cantidad de partículas. Así mismo la ASTM plantea un método para contener el contenido de agua en los aceites lubricantes y así predecir sus características de desempeño y calidad (ASTM D6304, 2021). En contraste, los productos derivados del petróleo pueden contener constituyentes tanto ácidos como alcalinos que pueden ser provenientes de aditivos o productos de degradación que se pueden determinar mediante titulación de acuerdo con las normas (ASTM D664, 2019)) y (ASTM D4739, 2021) respectivamente. Finalmente, mediante el uso de la norma (ASTM D445, 1975) se propone un método para determinar la viscosidad adecuada del líquido que permita establecer los requerimientos necesarios para el almacenamiento, manipulación y uso de diferentes productos derivados del petróleo.

En cuanto a la energía solar fotovoltaica, transforma la radiación proveniente del sol en electricidad utilizando una tecnología llamada efecto fotovoltaico; esta se produce cuando la radiación choca con las caras de las celdas fotovoltaicas y se produce una diferencia de potencial que genera una corriente eléctrica, como lo afirma (*Energía Solar Fotovoltaica y Su Contribución / ACCIONA / Business as Unusual*, n.d.). Para llevar a cabo la implementación de un sistema solar, es necesario hacer un estudio técnico económico de la viabilidad de este tipo de sistemas y revisar la rentabilidad de este. En Doha, se realizó un estudio de este tipo, donde se verificaron 3 tipos de sistema: conectado a la red, sistema con baterías e híbrido para implementarlo en las

estaciones del tren, se encontró que el sistema solo con baterías e híbrido eran poco viables debido a los altos costos de las baterías y mantenimiento de estas; por otra parte, el sistema conectado a la red mostró ser atractivo debido a que producía un excedente de energía que podía ser vendido al operador de red, como lo evidencian Al-Janahi et al. (2020).

En ese mismo sentido, Elshurafa et al. (2019) mencionan en un estudio piloto que se hizo en mezquitas en Arabia Saudita la implementación de un sistema solar fotovoltaico conectado a la red de 124 kW, con un costo de capital de USD \$1.18/W, en el, se encontró que el costo anual en la factura de energía se podía reducir hasta en un 50%, y adicionalmente, si al momento de construirse la mezquita se planificaban condiciones técnicas se podría reducir la factura a cero. Por otra parte; en Valencia-España se hizo un estudio técnico- económico del potencial de los prosumidores al instalar un sistema fotovoltaico, los costos de dichos sistemas pueden variar según el tamaño, la calidad del equipo, el número de usuarios, entre otros factores, por consiguiente se validaron diferentes tipos de edificaciones como viviendas, edificios y comercios donde se encontró que en el mejor de los casos y bajo condiciones ideales la inversión de la instalación se puede recuperar en 5.4 años sin subsidios y en 3.5 años con subsidios (Gómez-Navarro et al.,2021).

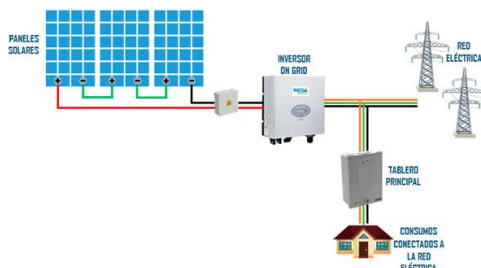
Para la evaluación del sistema solar fotovoltaico se evaluarán dos tipos de sistemas: on grid (conectado a la red) y off grid (almacenamiento de energía en baterías), es por esto, que a continuación se hará una breve descripción de los componentes y funcionamiento de cada uno de estos.

4.1. Sistema solar fotovoltaico on grid.

En este tipo de sistema, la energía producida es inyectada directamente a la red, por lo que, dos de sus componentes principales son los paneles solares y los inversores; estos últimos son los encargados de transformar la corriente directa (DC) generada por los paneles en corriente alterna (AC). Este tipo de sistema no cuenta con un banco de baterías, y por ende toda la energía generada es utilizada para auto consumo o inyectada a la red si se generan excedentes. El esquema de este tipo de sistema se muestra en la *figura 2*.

Figura 2

Sistema solar fotovoltaico on grid. Tomado de (*¿Cómo Funciona Un Sistema O GRID? – WEGA ENERGY, 2021*)

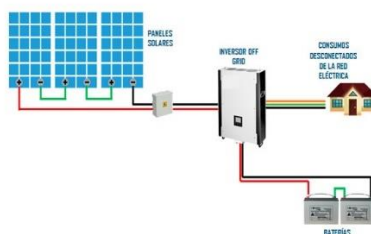


4.2. Sistema solar fotovoltaico off grid

Este tipo de sistema se usa comúnmente en zonas de difícil acceso a la red eléctrica, a diferencia de los sistemas on grid estos son relativamente más costosos debido a que adicional a los paneles, el inversor y demás elementos que conforman un sistema conectado a la red también posee un regulador de carga (en algunos casos este puede estar acoplado en el inversor) y un banco de baterías. El primero se utiliza para obtener un proceso de carga óptimo y el segundo para almacenar la energía producida por los paneles solares que puede ser consumida en la noche, o, por el contrario, utilizada en una eventual emergencia como un día nublado. El esquema se muestra en la *figura 3*.

Figura 3

Sistema solar fotovoltaico Off grid tomado de (*¿Cómo Funciona Un Sistema OFF GRID? – WEGA ENERGY, 2021*)



5. Metodología

5.1. Sistemas de lubricación que utilizan respiradores desecantes

5.1.1. Primera etapa

Para el desarrollo del laboratorio de respiradores desecantes en las instalaciones de Sealco, se hizo un estudio del estado del arte de estos equipos; donde se pudiera evidenciar la importancia de estos en el cuidado y vida disponible de los lubricantes.

5.1.2. Segunda etapa

En esta etapa se hicieron reuniones con el ingeniero líder de lubricación dentro de la empresa, de la misma manera con el ingeniero líder de mantenimiento y con personal operativo para asignar una zona de la empresa donde estaría ubicado el laboratorio y poder obtener de manera más clara y concisa los aspectos técnicos como espacio destinado para este y lugar dentro de la empresa.

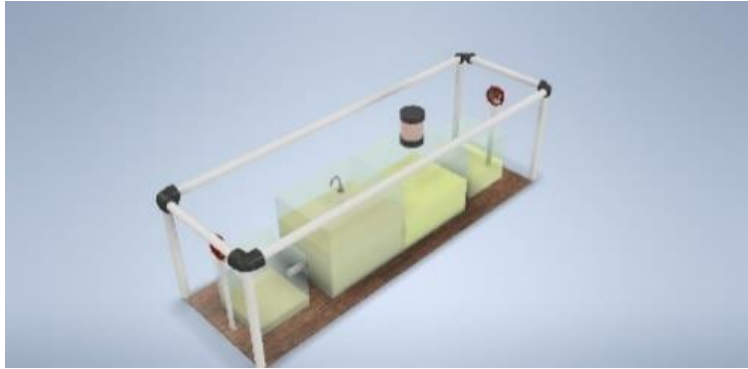
5.1.3. Tercera etapa

En esta etapa se hizo todo el diseño de ingeniería y detalle del laboratorio. Se tomo como punto de partida que las variables más importantes, y que más degradaban la vida útil de los lubricantes, y, por ende, de los equipos lubricados era la contaminación por partículas sólidas, la humedad y la temperatura. Con base en esto se diseñó el banco experimental con los respiradores desecantes, teniendo como variables fundamentales la humedad y las partículas sólidas. Para el correcto funcionamiento del banco experimental, se requiere poder controlar la humedad relativa y las partículas sólidas del aire alrededor del aceite. En el diseño que se realizó, se incluyen el esquema de construcción y la explicación de la automatización con sensores de humedad y temperatura, así como bombas para variar el nivel en los reservorios y asemejar el laboratorio a un sistema hidráulico. Finalmente, se hizo uso de un Arduino Uno como controlador. Los detalles de diseño se muestran a continuación:

- En la *figura 4* se evidencia el diseño realizado en el software Inventor del laboratorio planteado, se pueden observar los reservorios para evaluar la vida disponible de los lubricantes con venteo convencional y con respirador desecante.

Figura 4

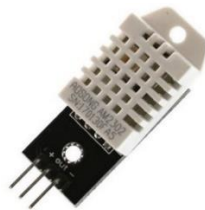
Diseño computacional laboratorio respiradores desecantes



- Para el desarrollo del sistema de control de la humedad relativa y temperatura del ambiente, se adquirió un sensor DHT22 (*figura 5*). Este dispositivo está integrado con un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. De esta manera, y conectando el sensor al Arduino, es posible mediante automatización permitir el funcionamiento de los ventiladores y el humidificador cuando hay una lectura por encima del 80% en la humedad relativa con el fin de que el sistema siempre trabaje bajo niveles de contaminación y humedad que son críticas para el aceite. Respecto a la temperatura, se desea llevar un control histórico de esta para contrastar los resultados entregados por el laboratorio y verificar como afecta está las propiedades físicas y químicas del lubricante.

Figura 5

Sensor de humedad relativa y temperatura DHT22



- Se adquirieron dos ventiladores como los que se muestran en la *figura 6*. Estos dispositivos serían los encargados de hacer circundar el aire húmedo y las partículas sólidas que puedan estar presentes en el entorno, dichos ventiladores operarán siempre que el humidificador este trabajando, generando un flujo constante de aire a través de todo el sistema

Figura 6

Ventilador 12V



- Se adquirió un humidificador ultrasónico, como el que se observa en la *figura 7*, este dispositivo es empleado para emitir vapor de agua mediante la pulverización de las gotas de agua, dicho dispositivo opera siempre y cuando haya condiciones de humedad relativa inferiores al 80% medidas por el sensor DHT22 y leídas por el Arduino. La premisa de este equipo es siempre tener condiciones críticas de humedad que pongan a prueba los sistemas de venteo del banco de pruebas.

Figura 7

Humidificador ultrasónico



- También se desea tener un control y variación en los niveles de los reservorios de aceite, para tal fin se adquirieron dos bombas como las que se muestran en la *figura 8* con un caudal cada una de 12L/min que serán las encargadas de hacer fluir el aceite entre los reservorios con intervalos de tiempo aleatorios no mayores a 20 segundos, para tal fin, se hizo uso del Arduino. El objetivo de estas bombas es generar turbulencia y cambio en los niveles de lubricante que lo asemejen a un sistema hidráulico; esto, con el fin de que se produzcan cambios de presión internos y en los niveles del reservorio que permitan al sistema “respirar” y de esta manera poner en operación los sistemas de ventilación del banco de pruebas. Las bombas se seleccionaron para que pudieran operar en un amplio rango de viscosidades de aceite, desde un ISO 20 @40°C hasta un ISO 150 @40°C aproximadamente.

Figura 8

Bomba sumergible



- Todo el sistema inteligente para controlar los equipos se realizó a través de una placa Arduino Uno; esta sería la encargada de conectar e integrar el sensor con los demás dispositivos y tener un sistema que pudiera operar de una manera autónoma.

En conclusión, para la prueba de los respiradores desecantes, en el banco de pruebas se podrán variar las condiciones de humedad relativa y contaminación para someter el equipo a diferentes condiciones, del mismo modo, cada análisis y prueba realizada para los dos sistemas de

venteo será bajo las mismas condiciones de operación y en simultaneo, lo que permitirá tener resultados que se puedan contrastar de una manera verídica con los análisis de aceite realizados. Los tiempos de operación de los equipos para evaluar el aceite podrán variar, pero se recomienda tenerlos bajo operación mínimo por un mes para comprobar la verdadera eficacia de los sistemas que usan respiradores desecantes como método para proteger los lubricantes.

En cuanto a los niveles de lubricante que pueden contener los reservorios, se diseñó para que cada uno pueda contener 2.84 litros, es decir, que todo el sistema operará con un galón de lubricante; de otra manera, debido a que las conexiones que provee Trico para sus respiradores desecantes, se podrán probar diferentes tipos que varíen en tamaño y en cantidad de gel de sílice que contengan, de la misma manera, también se podrán evaluar respiradores que incluyan una válvula de chequeo en el sistema de respiración, lo que ayudará a comprobar la viabilidad y utilidad de estos equipos en ambientes que tengan niveles extremos de contaminación y humedad.

5.2. Estudio de viabilidad del sistema solar fotovoltaico

El potencial teórico del recurso solar en cualquier ubicación es medible mediante la radiación global; está es el resultado de la radiación solar directa, la difusa y la reflejada, para el caso de la Tierra, la suma de estas 3 en el mejor de los casos llega a $1000\text{W}/\text{m}^2$. La radiación global esta influenciada por factores propios de cada sitio específico como la velocidad del viento, la temperatura, las partículas de suciedad en el aire, entre otras. Por ejemplo, En Colombia, la radiación global en promedio se ubica en los $4.5\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$, por encima del promedio mundial que se ubica en $3.9\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$. (*Introducción a La Energía Fotovoltaica - La Radiación Solar - Inversores Fotovoltaicos Para Instalaciones de Todos Los Tamaños| AROS Solar Technology, n.d.*).

Para el estudio de la viabilidad técnico-económica en las instalaciones de Sealco, ubicado en el municipio de Itagüí con coordenadas latitud 6.1632639365822115, longitud -75.61488532794381 como se muestra en la *figura 9*.

Figura 9

Ubicación geográfica Sealco



Para la evaluación del recurso solar se utilizó la herramienta ofrecida por la NASA (Prediction of WorldWide Energy Resource) donde se pueden encontrar diversos datos meteorológicos como la irradiación solar. En la *tabla 1* se muestran los datos de la irradiancia solar [$\text{KWh}/\text{m}^2/\text{día}$] de los últimos 11 años (2009-2019) en la ubicación de Sealco; a partir de estos datos y un conjunto de ecuaciones es posible determinar las horas solar pico (HSP) con las que se cuenta en el lugar, es decir, la cantidad de horas en el día que se tiene una irradiación de $1000\text{W}/\text{m}^2$. Debido a que el sistema se debe diseñar para que trabaje todo el año, se debe tomar la irradiación solar en el peor mes del año, lo que garantizará un funcionamiento del sistema en el peor escenario posible.

Tabla 1

Datos de irradiancia solar

Año/mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	Irradiación global $\text{KWh}/\text{m}^2/\text{día}$											
2009	4.382	4.792	4.674	4.669	4.687	4.683	5.573	5.262	5.333	4.923	4.781	4.781
2010	4.824	4.529	4.699	4.516	4.991	4.850	4.770	5.212	5.016	4.866	4.626	4.298
2011	4.919	5.005	4.967	4.651	4.742	4.768	5.056	5.490	5.137	4.766	4.405	4.263
2012	4.514	5.064	5.123	4.850	4.582	5.103	5.584	5.447	5.409	5.006	4.855	4.715
2013	4.796	4.242	4.166	4.331	4.590	4.935	5.352	5.010	4.922	5.006	4.835	4.516
2014	4.437	4.610	4.709	4.525	4.473	5.160	5.647	5.518	5.246	4.658	4.441	4.708
2015	4.650	4.786	5.001	4.261	4.933	5.147	5.169	5.303	5.178	4.608	4.264	4.503
2016	4.396	4.392	4.680	4.263	4.321	4.961	5.260	5.348	5.052	4.761	4.435	4.453
2017	4.676	5.295	4.124	4.298	4.486	4.609	5.346	5.363	5.196	4.733	4.476	4.752
2018	4.617	5.090	4.644	4.397	4.680	4.819	5.312	5.459	5.011	5.082	4.388	4.817
2019	4.587	4.410	4.490	4.375	4.583	4.905	5.586	5.428	5.025	4.827	4.505	4.322
Promedio irradiación global	4.618	4.747	4.662	4.467	4.643	4.904	5.332	5.349	5.139	4.840	4.546	4.557

Finalmente, se cuenta con un conjunto de ecuaciones mediante las cuales es posible determinar el ángulo de inclinación de los paneles solares para el lugar en cuestión. Obteniendo el valor del ángulo óptimo y considerando las pérdidas de potencia por inclinación y orientación diferente a los valores ideales, se logra determinar las HSP para cada mes del año.

Se requiere calcular la irradiancia global para un ángulo de inclinación óptimo ($G_m(\beta_{opt})$) para esto es necesario inicialmente determinar la declinación en el lugar, la cual corresponde al ángulo que forma la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial terrestre, este ángulo se obtiene mediante la *ecuación 1*.

$$\delta = 23.45 \text{Sen} \left(360 \frac{284 + \delta_n}{365} \right) \quad (1)$$

Donde:

- δ : declinación en grados
- δ_n : día del año, donde se elige un día en la mitad de cada mes (15 para enero, 45 para febrero y así sucesivamente)

Hafez et al. (2017) recopilaron diferentes expresiones para obtener el ángulo de inclinación óptimo. En este sentido, las *ecuaciones 2 y 3* presentan el ángulo óptimo para el solsticio de invierno y verano respectivamente (Rubio-Clemente et al., 2018).

$$\beta = \varphi - \delta \quad (2)$$

$$\beta = \varphi + \delta \quad (3)$$

Donde:

- β : inclinación óptima
- φ : latitud del lugar
- δ : declinación en grados

Para la evaluación de la irradiación global óptima se hace uso de la *ecuación 4*.

$$G_m(\beta_{opt}) = \frac{G_m(0)}{1 - 4.46 \times 10^{-4} \beta_{opt} - 1.19 \times 10^{-4} \beta_{opt}^2} \quad (4)$$

Donde:

- $Gm(\beta_{opt})$: valor medio mensual de irradiancia global con una inclinación óptima
- $Gm(0)$: promedio mensual de irradiación global sobre una superficie horizontal
- β_{opt} : inclinación óptima de la superficie

Lo ideal es que los paneles solares siempre estén inclinados y orientados de manera óptima, sin embargo, esto no siempre es posible debido a que se pueden presentar diferencias debido a condiciones de montaje o factores de sombra, para esto se calcula el factor de irradiación que tiene en cuenta las pérdidas de potencia ocasionadas por las condiciones ya descritas. En este sentido, se describen las *ecuaciones 5 y 6*.

Para $15^\circ < \beta < 90^\circ$

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5}\alpha^2] \quad (5)$$

Para $\beta \leq 15^\circ$

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2] \quad (6)$$

Donde:

- FI : Factor de irradiación
- β : ángulo de inclinación real
- α : acimut de la superficie

Finalmente, las HSP se obtienen mediante la multiplicación de FI y $Gm(\beta_{opt})$ dividido $1000W/m^2$. En la *tabla 2* se reportan los resultados obtenidos en cuanto a HSP para cada mes del año para el sitio en cuestión (Sealco)

Tabla 2*HSP para cada mes del año.*

Latitud	6,1632639												Inclinación panel	20,00
Longitud	-75,6148850												Acimut de la superficie	0
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Días mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	
No día/año	16	46	75	105	140	170	200	230	260	290	320	350		
Declinación	-21.10	-13.29	-2.42	9.41	19.93	23.43	20.82	12.79	1.41	-10.33	-19.38	-23.37		
Elevación solar	62.74	70.55	81.42	93.25	103.76	107.27	104.66	96.62	85.25	73.51	64.46	60.47		
Inclinación óptima	27.26	19.45	8.58	3.25	13.76	17.27	14.66	6.62	4.75	16.49	25.54	29.53		
Radiación global horizontal	4.618	4.747	4.661	4.467	4.642	4.904	5.332	5.349	5.139	4.84	4.546	4.557		
Radiación global óptima kWh/m ² /día	5.13	5.02	4.72	4.48	4.78	5.13	5.51	5.39	5.16	5.04	4.99	5.16		
FI	0.99	1.00	0.98	0.97	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	1.00	1.00	0.99		
HSP/día	5.10	5.02	4.65	4.33	4.76	5.12	5.49	5.28	5.02	5.03	4.97	5.10		

Para concluir, es evidente que el crítico del año históricamente es abril, debido a que es el mes en el que se presenta menor cantidad de HSP en el día; por esta razón, este valor será el cual determinará el potencial solar fotovoltaico del lugar. Dicho potencial es de $4.467 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ que equivalen a 16.81 MJ/m^2 .

6. Resultados

6.1. Sistemas de lubricación que utilizan respiradores desecantes

6.1.1. Revisión bibliográfica

La principal función de los lubricantes es crear una capa límite entre las piezas metálicas que prevenga el desgaste de estas; ya que al estar en contacto y de acuerdo con determinadas condiciones hace que aparezca calor, fricción y pérdida de eficiencia. (Lubribras, 2018)

De otro lado, Trout (2019) menciona que los respiradores desecantes son dispositivos que se utilizan para controlar dos problemas cruciales en los lubricantes y maquinas: la humedad y las partículas. Algunos equipos como cajas de engranajes, bombas y depósitos deben “respirar” debido a los cambios de presión, temperatura y nivel de aceite que se producen internamente en los equipos, dando como resultado un intercambio de aire con el exterior lo que genera daños en los sistemas. Es enfático en decir, que diversos estudios han demostrado que alrededor del 70%

del daño en la maquinaria se debe a degradación de la superficie. De ese 70%, 20% es resultado directo de la corrosión y el 50% restante se debe a desgastes mecánicos.

En una guía más optima Cash (2012) explica como los respiradores desecantes aprovechan los dos materiales más absorbentes de la Tierra: la sílice y el carbono; la primera es capaz de retener hasta el 40% de su peso en agua, la segunda aprovecha la química y reacciona con el oxígeno presente en las moléculas de agua formando dióxido de carbono y evitando que la humedad llegue al equipo

Así mismo, Noria (2021) armoniza en las características de diseño mencionadas anteriormente; los respiradores desecantes están compuesto por un agente higroscópico y una microfibras de vidrio que actúa como elemento filtrante; este, menciona que la fibra sintética actúa como retenedor de polvo, y generalmente tiene tamaños de filtro entre 1 y 3µm. Por otra parte Trujillo (2021) indica que los respiradores desecantes constan de dos fases. Una de absorción de humedad y otra de filtración de partículas, en consecuencia y teniendo clara la función de los respiradores desecantes propone una guía básica para la selección de estos sistemas acorde a las necesidades que se presenten, está consta de tener claro el entorno en el que funciona la máquina, el nivel de limpieza requerido en el equipo, la temperatura de operación y la frecuencia de venteo o respiración del sistema.

Así pues, Noria (2021) señala que el agua puede coexistir con el aceite en 3 estados: disuelta, emulsionada y libre. Incluso en los aceites nuevos es común ver agua disuelta entre 200ppm y 600ppm (partes por millón), luego de que ocurre esta mezcla se producen reacciones químicas llamadas de hidrólisis en las cuales el aceite base, el espesante y los aditivos pueden degradarse hasta 10 veces más rápido de lo esperado. Se estima que un 1% de contaminación por agua puede reducir hasta en un 90% la vida útil de un rodamiento.

En un artículo publicado en la revista Machinery Lubrication por Richardson (2021) hace la comparación de un respirador de partículas, frente a un respirador desecante. En el primer tipo de respirador, hace referencia a que es como un filtro de café, ejemplificando esto dice que este, solo es capaz de contener partículas de suciedad evitando que ingresen a la maquina; en el caso del respirador desecante, hace referencia a la propiedad de la sílice; la cual es higroscópica por lo que además de retener partículas también actúa como agente protector del lubricante contra la

humedad. En definitiva, menciona que los respiradores desecantes son mucho mejores que los de partículas para prolongar la vida útil del lubricante y extender la vida disponible de la maquinaria.

Por lo que se refiere a el efecto que tiene el agua en el lubricante y la afectación de la vida útil de los rodamientos, Cantley (2008) evaluó el efecto del agua sobre un aceite SAE 20 sobre la vida a la fatiga de rodamientos de rodillos cónicos con concentraciones de agua de 25, 100 y 400ppm donde encontró una relación directa en la vida a la fatiga de los rodamientos y el contenido de humedad presente en el lubricante.

En otros estudios realizados por Duchowski et al. (2004) en una empresa de pulpa de papel, donde se buscaba mejorar la confiabilidad de los equipos mediante el control de contaminación y partículas que ingresaban al equipo encontraron que estos contaminantes tenían un efecto adverso en la vida de fatiga del rodamiento. Así mismo, concluyeron que con el uso de respiradores desecantes en los equipos se podía alargar la vida útil del lubricante y la frecuencia de cambio de este, así como la vida disponible de los demás elementos de la maquina manteniendo los niveles de humedad bajos y los niveles de limpieza requeridos. En la planta, los resultados obtenidos conllevaron a un mejor programa de mantenimiento basado en confiabilidad y dio pie a que se instalaran más sistemas de control de contaminación en los equipos, también se observó una notable mejora en la vida disponible de los cojinetes, fluidos y filtros.

Trout (2019) menciona 3 empresas que han optado por usar respiradores desecantes:

- **Deeter Foundry:** Compañía de hierro fundido gris que noto que la contaminación por agua y partículas en sus sistemas hidráulicos era seria, por lo que opto por usar respiradores desecantes en lugar de hacer filtraciones de aceite periódicas que implicaban mayores costos. Al ver los buenos resultados indicados por los análisis de aceite que se hacían de manera regular optaron por extender el uso de los respiradores desecantes en la mayoría de los equipos de la planta y obtuvieron niveles de limpieza que nunca habían alcanzado.
- **Fabricante de semillas oleaginosas:** Planta que separa las semillas de la soya en productos de valor agregado como el aceite vegetal. En general utilizaban respiradores desecantes los cuales cambiaban periódicamente, como es un ambiente altamente húmedo y contaminado, cambiaron a un tipo de respirador desecante con una válvula de alivio, lo que disminuía las veces que respiraba el equipo, solo lo hacía cuando era necesario; con esta medida

disminuyeron los cambios de respiradores en un 25% y aumentaron la productividad de la planta al disminuir las labores de mantenimiento.

- **Planta de cultivo de heno de Oregón:** Presentaron problemas en su sistema de prensado hidráulico con costos de USD \$100.000 al año. Es una empresa donde hay alto contenido de polvo y humedad, realizaban análisis de aceite periódicamente que salía con resultados severos, por lo que debían cambiarlo en su totalidad cada 6 meses con un costo de USD \$7.500. Optaron por utilizar respiradores desecantes con gel de sílice para el control de humedad, carbón activado para el control de vapores de aceite y filtros de 2 μ m para las partículas, análisis posteriores de aceite mostraron unos niveles óptimos en la cantidad de humedad y partículas, lo que generó una disminución en el cambio de 6 a 18 meses aumentando la vida útil de este en un 300% y reduciendo costos de mantenimiento en USD \$15.000 al año.

Por ejemplo, en un artículo publicado en la revista Lubricology, Freeland (2020) analizó todas las muestras de lubricante que ingresaron a su laboratorio en el año 2020 y encontró que el 35% de las muestras se encontraba en estado crítico, el 27% con precaución y solo el 38% tenía un estado normal. Esto supone un gran reto para los ingenieros de confiabilidad y mantenimiento.

Con el resultado de estas muestras diseñó un programa de lubricación para 3 equipos/componentes principales de una planta que buscaba extender la vida útil del lubricante, disminuir la frecuencia de cambio y prolongar la vida disponible del equipo; en todas ellas coincidió en utilizar respiradores desecantes para alcanzar los objetivos mencionados. En particular, en las bombas los cojinetes son los equipos que más constantemente fallan, como lo demuestra un informe publicado por SKF Bloxham (2013) donde se menciona que el 36% falla por una lubricación inadecuada y el 14% por contaminación líquida o sólida, para esta aplicación se hizo uso de respiradores desecantes para evitar la humedad que podría estar presente tanto interna, como externamente, así como el ingreso de partículas que provengan de ventilación o filtros. Por otra parte, en sistemas de engranajes como cajas de cambios, se encontró que la contaminación que ingresa al sistema representa un 19.6% de las fallas presentes, para solucionar dicho inconveniente también se propuso el uso de respirador desecante para eliminar la niebla que se genera por las condiciones de operación del equipo. Finalmente, en sistemas hidráulicos donde se informa que alrededor del 70-80% de las fallas del sistema hidráulico se deben a la humedad y a las partículas

que ingresan al equipo se hizo uso del respirador desecante, de una capacidad superior de ventilación debido a los grandes cambios volumétricos en el nivel de lubricante que se pueden presentar por la operación normal del mismo.

Otro uso de equipos que posean material desecante y filtros de partículas es la filtración portátil; en este tipo de sistema se lleva un equipo que realiza la limpieza de manera externa, este lleva el aceite húmedo y contaminado a niveles óptimos de limpieza. Para empezar se debe hacer un análisis de aceite que nos permita conocer el estado real del mismo, luego de esto se hace la filtración adecuada y se finaliza con un nuevo análisis de aceite para observar los resultados obtenidos; esto ayuda a disminuir costos de un cambio total de lubricante en los equipos; y al ser una filtración fuera de línea (externa) le permite al equipo seguir operando de manera normal reduciendo costos de productividad, así lo menciona (Freeland, 2020)

En consecuencia, Nyman. & Jensen (2019) en un artículo publicado para la revista *Noria*, menciona que un buen método para comprobar la eficiencia de filtración de aceite sin un análisis posterior es partir el filtro por la mitad y observar su desgaste y saturación; también se puede revisar con un microscopio que permita ver las partículas o contaminantes presentes en el filtro. Por otra parte *Noria* (2014) menciona los factores importantes a tener en cuenta a la hora de hacer una filtración portátil y lograr los objetivos de control de contaminación adecuados, entre ellos menciona tener una presión constante en el equipo, lo que permite evidenciar que los filtros están funcionando de manera adecuada, de otra manera, cuando los filtros se saturan la válvula de bypass se activa dejando pasar el aceite libremente. Dicho lo anterior también es importante tener el aceite a una temperatura adecuada y acorde a la que soporta el filtro ya que si por ejemplo se tiene un aceite con una viscosidad superior a la que el filtro fue diseñado para soportar podría dañar los pliegues internos de este obteniendo una filtración inadecuada. A continuación J. & Paez (2016) mencionan la posibilidad de extender la vida útil de los aceites por medio de una filtración portátil donde ejemplifican varios casos de las ventajas de ella, en una de ellas afirman que como los aditivos generalmente son de naturaleza polar tienen la capacidad de adherirse a las partículas de desgaste y a las gotas de humedad; lo que posteriormente ayuda a que cuando ya se han agotado también sean removidos en la filtración; para terminar concluyen en que aunque la filtración no eliminará de manera definitiva los contaminantes del lubricante, si ayudará a preservar y prolongar la vida de este y del equipo.

Para terminar Gauthier (2021) menciona en un artículo publicado en la revista *Lubricology* que es importante tener ciertos aspectos claros a la hora de incluir un respirador desecante en un programa de mantenimiento activo. Hace referencia a tener presente el cambio de color de este, ya que muchos fabricantes proporcionan una ayuda para saber cuándo se debe cambiar el dispositivo; otro factor importante es incluir la fecha en la que fue cambiado para tener y medir tiempos claros de funcionamiento y así evaluar de una manera adecuada el verdadero impacto económico de la instalación del dispositivo.

6.1.2. Reciclaje de resinas de sílice

Pircheraghi et al (2020) proponen un método para reciclar el gel de sílice para la fabricación de un recipiente de polietileno que permita almacenar baterías de plomo-acido donde también evalúan su desempeño, conductividad térmica y resistencia a la tracción. En otro estudio, propuesto por Liu et al (2021) se plantea una tecnología limpia para el enfriamiento por adsorción solar que emplea gel de sílice y agua como par de trabajo.

Miricioiu & Niculescu (2020) proponen un método para recoger y reciclar las cenizas volantes provenientes de diferentes centrales eléctricas alrededor del mundo, dichas cenizas, contienen un alto contenido de sílice que podría ser transformado en materiales de alto valor, estas, pueden ser sintetizadas para obtener materiales que eliminen o capturen CO_2 o para el tratamiento de aguas residuales. De otro lado, Liang Yi & Hsunling (2013) recuperaron desechos de polvo fotónico a temperatura ambiente con la ayuda de tensioactivo catiónico, ácido fluorhídrico e hidróxido de amoníaco, estos desechos tenían un alto contenido de sílice que fue evaluado para la captura de CO_2 en una corriente de gas de combustión. Se demostró que este residuo era capaz de atrapar alrededor de 120mg de CO_2/g de adsorbente, una cantidad superior a la de otros materiales y métodos utilizados frecuentemente. En contraste, Sanz-Pérez et al. (2017) proponen el reciclaje y la reutilización de materiales amina-sílice como adsorbentes de CO_2 en la industria. En el estudio se sometieron estos materiales a condiciones de temperatura elevadas bajo ciertos criterios de tiempo para eliminar el CO_2 ya adsorbido, donde se buscó tener la mejor condición de temperatura y tiempo para ahorrar costos de energía y hacer el proceso eficiente. Se demostró, que incluso después de 6 ciclos de funcionamiento y calcinación no se veían afectadas en gran medida las

propiedades de adsorción del material ni su estructura molecular. Sanz-Pérez et al. (2017) estudiaron la transformación de silicio a granel en nanopartículas de sílice del orden de 8 a 50 nm, en dicho estudio, proporcionaron un modelo teórico y experimental que podría ser 100% escalable a la industria y ayudaría a crear una ruta de reciclaje confiable de sílice que eventualmente se utilizaría en diferentes industrias como: ciencia y la fabricación, como la óptica, la fotónica, las aplicaciones médicas y mecánicas. Para finalizar, Khattab et al. (2021) utilizaron humo de sílice para la fabricación de cerámica mediante la síntesis con alúmina calcinada y carbonato de litio a temperaturas de 800°, 1000° y 1200° C. Posteriores resultados demostraron que la cristalización de la cerámica estaba libre de grietas, tenía una baja expansión térmica, buenas propiedades eléctricas, físicas y mecánicas obtenidas después de la cocción a 1000 ° C.

Dentro de las pruebas hechas mediante el software computacional Arduino se evidenció el correcto funcionamiento del laboratorio experimental, en este se hicieron trabajar las bombas, ventiladores, sensor DHT22 y humidificador de manera conjunta bajo condiciones preestablecidas previamente en el código desarrollado. El sistema fue capaz de leer y procesar las variables de humedad y temperatura en el ambiente, posteriormente, también se propuso agregarle al código del laboratorio experimental sensores que permitan controlar el nivel del lubricante y un contador de partículas sólidas en el aire para tener una base más sólida a la hora de contrastar los resultados obtenidos mediante los análisis de aceite de laboratorio. Se propone, además, extender el laboratorio a otros equipos que hay dentro de la planta como son bombas y cajas reductoras donde se pueda obtener evidencia más sólida de los beneficios de los respiradores desecantes.

La instalación del laboratorio experimental también servirá como una muestra comercial y un impulsor a potenciales clientes que deseen adquirir estos equipos, ya que se diseñó de manera que fuera visual e interactivo.

6.2. Estudio de viabilidad del sistema solar fotovoltaico

Debido a que el uso de energías renovables es incentivado en Colombia, mediante la ley 1715 de 2014, la cual contempla una deducción especial al impuesto de renta de un 50% de la inversión y con un plazo máximo de 15 años posteriores a la inversión, además de una depreciación

acelerada de los activos (máximo 20% anual) se hace un análisis financiero de las propuestas presentadas a Sealco por los diferentes oferentes.

Se estudia la viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red, invitando a diferentes empresas, las cuales presentaron sus propuestas para la ejecución de dicho proyecto, de estas empresas ofertantes se seleccionaron dos, las cuales presentaban mejores precios y trayectoria frente a las demás. Los datos técnicos de las propuestas se evidencian en la *tabla 3*.

Teniendo en cuenta el consumo en las instalaciones de Sealco, que corresponde a un promedio de 17.898 [kWh/mes] con un costo por [kWh] de \$473 COP aproximadamente como se muestra en la *figura 10* se analizaron las dos propuestas finalistas.

Figura 10

Promedio de consumo y costo por [KWh]

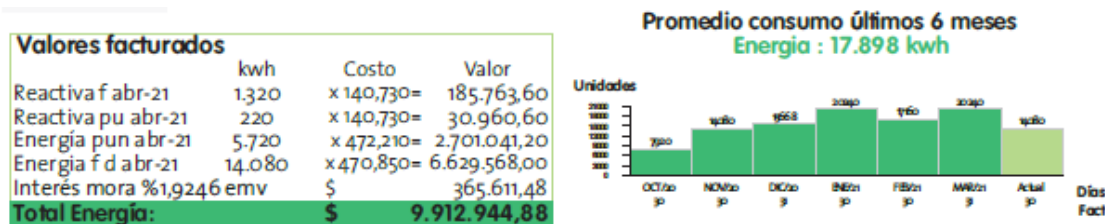


Tabla 3

Datos técnicos ofertados por las empresas para el sistema solar fotovoltaico

Empresas	Capacidad instalada [KWp]	Producción mensual de energía en promedio [KWh]	Producción anual [KWh]	Porcentaje de cobertura del sistema [%]	Área requerida [m ²]	Inversión requerida [COP \$]	Tiempo de recuperación de la inversión con beneficios tributarios [años]	Ahorro mensual [COP \$]	Ahorro anual [COP \$]
Copérnico	72.00	8.164	97.968	46	390	\$ 248.159.179	5.7	\$ 3.861.477	\$ 46.337.724
Erco	60.45	6.529	78.343	37	358	\$ 182.556.396	3	\$ 3.362.000	\$ 40.344.000

En principio, teniendo en cuenta el potencial solar fotovoltaico en Sealco, valor que se encuentra por encima del promedio mundial, y a su vez de países potencia en este tipo de energía,

se puede decir que se cuenta con un buen recurso para la implementación del sistema fotovoltaico y que es técnicamente viable por las condiciones mencionadas anteriormente. Así mismo, observando las propuestas presentadas por los oferentes, y consolidando los beneficios otorgados por la ley, se obtiene un retorno sobre la inversión (ROI) rápido. Por otra parte, luego de recuperar la inversión el sistema solar fotovoltaico tiene un promedio de vida útil de unos 25-30 años aproximadamente.

7. Conclusiones

El banco de pruebas construido con los siguientes componentes: bomba de recirculación de aceite, humidificador ultrasónico de aire, sensor de humedad, sensor de temperatura y sistema de control, permitirá realizar ensayos experimentales para observar las diferencias en las propiedades del lubricante después del uso con la utilización de desecadores. Este banco construido también permitirá realizar demostraciones y capacitaciones sobre el tema a usuarios y clientes potenciales.

Se evidencia que el uso de respiradores desecantes para el cuidado de los lubricantes y equipos lubricados ayuda en gran medida a la conservación de estos, ya que previene en gran medida el ingreso de humedad y partículas sólidas a estos, dos de los principales problemas que generan una degradación acelerada del lubricante y de las máquinas como se puede evidenciar mediante análisis de aceite.

En cuanto a la parte económica, se encuentra que el uso de respiradores desecantes es mucho más rentable que hacer cambios de lubricante. Esto, debido a que además de los costos del cambio del lubricante, se asocian costos de mantenimiento, mano de obra y pérdida de productividad dentro de la empresa.

Los respiradores desecantes son un gran aliado en las industrias en cuanto a confiabilidad se refiere, ya que, al extender la vida útil del lubricante, también se extiende la vida disponible de los equipos lubricados; de esta manera se disminuye en gran medida costos asociados a mantenimientos no programados que ponen en riesgo la competitividad de la empresa.

La energía solar fotovoltaica es una buena alternativa para generar electricidad de manera limpia, además, actualmente se cuentan con beneficios tributarios que facilitan la implementación de este tipo de sistemas, entre ellos se encuentran una reducción del 50% en el impuesto de renta sobre la inversión durante los 15 años posteriores a la instalación del sistema y una depreciación acelerada de los activos del 20% anual, estos, cobijados bajo la Ley 1715 de 2014.

En este caso, mediante el uso de un sistema conectado a la red, es posible tener menores costos de instalación del sistema debido a que no son necesarios equipos extras como las baterías y mantenimientos que estas conllevan.

Con una capacidad instalada de 60.45 kWp se requiere una inversión aproximada de 183 millones de pesos y se recuperaría la inversión en 3 años por lo que se concluye que es un proyecto viable desde el punto de vista técnico-económico, en los años posteriores se tendrían ahorros anuales superiores a los 40 millones de pesos.

8. Bibliografía

¿Cómo funciona un sistema O GRID? – WEGA ENERGY. (2021, October 11).

<https://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-on-grid/>

¿Cómo funciona un sistema OFF GRID? – WEGA ENERGY. (2021, October 11).

<https://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-off-grid/>

Al-Janahi, S. A., Ellabban, O., & Al-Ghamdi, S. G. (2020). Technoeconomic feasibility study of grid-connected building-integrated photovoltaics system for clean electrification: A case study of Doha metro. *Energy Reports*, 6, 407–414.

<https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.192>

ASTM D5185, 1 (2021). <https://doi.org/10.1520/D5185-18>

Bloxham, I. (2013). *Contaminación , corrosión y lubricación inadecuada Rodamientos de rodillos a rótula obturados*. 44(0).

Cantley, R. E. (2008). The Effect of Water in Lubricating Oil on Bearing Fatigue Life.

<Http://Dx.Doi.Org/10.1080/05698197708982838>, 20(3), 244–248.

<https://doi.org/10.1080/05698197708982838>

Cash, W. (2012). *How Desiccant Breathers Control Contamination*.

<https://www.machinerylubrication.com/Read/28754/how-desiccant-brears-control-contamination->

ASTM D664, 1 (2019). <https://doi.org/10.1520/D0664-18E02>.Este

ASTM D4739, 11 1 (2021). <https://doi.org/10.1520/D4739>

Duchowski, J. K., Messerschmitt, A. P., Needham, T. b., & Collins, K. G. (2004). Improvements in equipment reliability and machine performance as a result of contamination control and monitoring procedures at a major pulp and paper facility. *Tribology & Lubrication Technology*, 59, 40.

Elshurafa, A. M., Alsubaie, A. M., Alabduljabbar, A. A., & Al-Hsaien, S. A. (2019). Solar PV on mosque rooftops: Results from a pilot study in Saudi Arabia. *Journal of Building*

- Engineering*, 25(May). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100809>
- Energía solar fotovoltaica y su contribución | ACCIONA | Business as unusual*. (n.d.). Retrieved September 30, 2021, from https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
- Freeland, D. (2020a). *Equipment lubrication protection is not a “one size fits all.”* <https://lubricology.com/insider-perspectives/protecting-your-equipment/>
- Freeland, D. (2020b). *Portable Filtration...Specifying the Appropriate Features*. <https://lubricology.com/insider-perspectives/portable-filtrationspecifying-the-appropriate-features/>
- Gauthier, M. (2021). *The Forgotten Ones*. <https://lubricology.com/insider-perspectives/the-forgotten-ones/>
- Gómez-Navarro, T., Brazzini, T., Alfonso-Solar, D., & Vargas-Salgado, C. (2021). Analysis of the potential for PV rooftop prosumer production: Technical, economic and environmental assessment for the city of Valencia (Spain). *Renewable Energy*, 174, 372–381. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.049>
- Hafez, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., & Ismail, I. M. (2017). Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(January), 147–168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.131>
- Hanna Instruments. (2021). *Daños generados por la presencia de Agua en Lubricantes | HANNA Instruments Colombia*. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/42/danos-generados-por-la-presencia-agua-en-lubricantes>
- Introducción a la energía fotovoltaica - La radiación solar - Inversores fotovoltaicos para instalaciones de todos los tamaños | AROS Solar Technology*. (n.d.). Retrieved September 30, 2021, from <http://www.aros-solar.com/es/la-radiacion-solar>
- ASTM D445, UNE 21-320-75 parte XIV 1 (1975). <https://doi.org/10.1520/D0445>
- ISO 4406. (1999). <https://fms-filtration.com/comprendiendo-la-iso-4406>
- J., F., & Paez, A. (2016). *¿Puede extenderse la vida del aceite con una filtración fina?*

- <https://noria.mx/lublearn/puede-extenderse-la-vida-del-aceite-con-una-filtracion-fina/>
- Khatab, R. M., Sadek, H. E. H., Taha, M. A., & EL-Rafei, A. M. (2021). Recycling of silica fume waste in the manufacture of β -eucryptite ceramics. *Materials Characterization*, 171, 110740. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110740>
- Liang Yi, L., & Hsunling, B. (2013). Efficient method for recycling silica materials from waste powder of the photonic industry. *Environmental Science and Technology*, 47(9), 4636–4643. <https://doi.org/10.1021/es301504w>
- Liu, Y. M., Yuan, Z. X., Wen, X., & Du, C. X. (2021). Evaluation on performance of solar adsorption cooling of silica gel and SAPO-34 zeolite. *Applied Thermal Engineering*, 182(March 2020). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116019>
- Lubribras. (2018, August 27). *Importancia de la lubricación en maquinarias industriales*. <http://www.lubribras.com.py/blog/importancia-lubricar-maquinarias-industriales>
- Miricioiu, M. G., & Niculescu, V. C. (2020). Fly ash, from recycling to potential raw material for mesoporous silica synthesis. *Nanomaterials*, 10(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nano10030474>
- Monaci, L. (2013). LCMS as a reliable tool for monitoring food allergens contamination. *NewFood*, 15(2), 23–27.
- Noria. (2014). *Factores que afectan la filtración de aceite*. <https://noria.mx/lublearn/factores-que-afectan-la-filtracion-de-aceite/>
- Noria. (2021). *Cómo los respiradores desecantes maximizan la vida de la maquinaria - Noria Latín América*. <https://noria.mx/como-los-respiradores-desecantes-maximizan-la-vida-de-la-maquinaria/>
- Nyman., S. D., & Jensen, C. (2019). *Cómo verificar la eficiencia de filtración de aceite - Noria Latín América*. <https://noria.mx/lublearn/http-noria-mx-lublearn-como-verificar-la-eficiencia-de-filtracion-de-aceite/>
- ASTM D6304, 1 (2021). <https://doi.org/10.1520/D6304-16.2>
- Pircheraghi, G., Nowrouzi, M., & Nemati, S. (2020). Fabrication of polyethylene separator for

- lead-acid batteries from waste and recycled silica and investigation of its performance. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119535>
- Richardson, T. (2021). *Particle Breathers vs. Desiccant Breathers: Which Will Keep Your Oil Contaminant-Free?* <https://www.machinerylubrication.com/Read/32066/particle-breathers-vs-desiccant-breathers>
- Rubio-Clemente, A., Chica, E., & Peñuela, G. A. (2018). Photovoltaic array for powering advanced oxidation processes: Sizing, application and investment costs for the degradation of a mixture of anthracene and benzo[a]pyrene in natural water by the UV/H₂O₂ system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2751–2761. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.046>
- Sanz-Pérez, E. S., Dantas, T. C. M., Arencibia, A., Calleja, G., Guedes, A. P. M. A., Araujo, A. S., & Sanz, R. (2017). Reuse and recycling of amine-functionalized silica materials for CO₂ adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 308, 1021–1033. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.109>
- Trico. (2021, October 11). *Respiradores desecantes Watchdog - Trico Corporation*. 2021. <https://www.tricocorp.com/product/watchdog-desiccant-breathers/>
- Trout, J. (2019). *Guía para compradores de respiradores desecantes - Noria Latín América*. <https://noria.mx/lublearn/http-noria-mx-lublearn-guia-para-compradores-de-respiradores-desecantes/>
- Trujillo, R. (2021). *Cómo elegir un respirador desecante - Noria Latín América*. <https://noria.mx/como-elegir-un-respirador-desecante/>