



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Mejoramiento de la performance de Bomba de Desplazamiento
Positivo mediante aplicación de AMEF en la Empresa AFA GROUP.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTOR:

Rodríguez Pascual, Tonny Richard (orcid.org/0000-0003-4464-0096)

ASESOR:

Mg. Julca Verástegui, Luis (orcid.org/0000-0001-5158-2686)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Modelamiento y Simulación de Sistemas Electromecánicos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios, quién me fortaleció espiritualmente en todo momento para el avance y culminación del presente trabajo de investigación.

A mis padres, por brindarme el apoyo moral para lograr mis metas de superación profesional.

A mis hijos por brindarme la alegría y la paz que necesitamos como persona en los caminos de la vida.

AGRADECIMIENTO

A la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, a todos los ingenieros de la facultad, en especial al ingeniero Julca Verastegui Luis Alberto, quienes contribuyeron en mi desarrollo profesional, con cada lección y experiencias compartidas en clase; y a mis compañeros, quienes fueron los aliados durante todo este proceso de formación académica para cumplir nuestras metas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2 Variables y operacionalización.....	16
3.3 Población, muestra y muestreo.....	16
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.5 Procedimiento de recolección de datos.....	17
3.6 Método de análisis de datos.....	20
3.7 Aspectos éticos.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
V. DISCUSIÓN.....	55
VI. CONCLUSIONES.....	57
VII. RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Hojas de información.....	13
Tabla 2: Hojas de decisión.....	14
Tabla 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos	17
Tabla 4: Lista de piezas y elementos de la BDP	23
Tabla 5: Características de operación de las BDP	29
Tabla 6: Datos de velocidad y caudal de la BDP.....	30
Tabla 7: Datos de presión, altura, potencia y rendimiento de la BDP	32
Tabla 8: Análisis de modos y efectos de fallas de la BDP	39
Tabla 9: Costos de inversión y servicios de la BDP	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parámetros de la BDP.....	8
Figura 2: Diagrama P vs V de la BDP	9
Figura 3: Bomba de émbolo	9
Figura 4: Comportamiento y puntos de funcionamiento de una BDP	10
Figura 5: Árbol lógico de decisiones.....	15
Figura 6: Bomba JP-300 A.....	21
Figura 7: Despiece de la BDP	22
Figura 8: Modelo CAD 3D de Bomba de émbolo.....	24
Figura 9: Modelo CAD 3D de transmisión por cardán	24
Figura 10: Modelo CAD 3D de carcasa.....	25
Figura 11: Modelo CAD 3D de eje cigüeñal	25
Figura 12: Modelo CAD 3D de tapas de válvulas y bielas	26
Figura 13: Modelo CAD 3D de pieza seguro de biela.....	27
Figura 14: Caudal de descarga y rpm de BDP y tractor	31
Figura 15: Presión de descarga vs caudal	32
Figura 16: Altura de bomba vs caudal.....	33
Figura 17: Potencia hidráulica vs caudal.....	33
Figura 18: Rendimiento vs caudal.....	34
Figura 19: Resultados del análisis dinámico de una BDP	41
Figura 20: Consumo de energía en sistema BDP cardán.....	41
Figura 21: Torques transmitidos en sistema BDP cardán.....	42
Figura 22: Desplazamiento lineal de pistón en sistema BDP cardán.....	43

Figura 23: Velocidad lineal de pistón en sistema BDP cardán.....	43
Figura 24: Tensiones internas de Von Mises en seguro de biela de BDP ...	47
Figura 25: Desplazamientos interna en seguro de biela de BDP.....	48
Figura 26: Factor de seguridad en seguro de biela de BDP	49
Figura 27: Detalle ampliado del análisis estructural	50
Figura 28: Líneas de corriente del flujo generado por la BDP	52
Figura 29: Parámetros del flujo generado por la BDP	53

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló con la finalidad de mejorar las prestaciones de tienen las bombas de desplazamiento positivo (BDP) estableciendo los procedimientos adecuados para diagnosticar e identificar los parámetros de operación y sus componentes para así determinar las fallas que producen problemas en la performance de la misma, bajo la metodología del análisis de modos y efectos de fallas, logrando proponer intervenciones en su diseño, funcionamiento y acciones de mantenimiento.

En el desarrollo del trabajo de investigación se analizó la base teórica del funcionamiento de las BDP, detallando las partes, llegando a modelar en software CAD la bomba en estudio, permitiendo reconocer componentes y geometrías críticas, incluyendo planos de las piezas. Se realizaron mediciones correspondientes de los parámetros de la BDP modelo JP-300 DS para obtener los actuales valores característicos de la performance como son presiones de descarga, potencia consumida y entregada y caudales de operación, además de recopilar los registros de las fallas presentadas, condiciones de operación y los defectos que ocasionan variación de sus datos técnicos de fábrica al trabajar acoplada a una máquina pulverizadora utilizada en sistemas de riego o fumigación en la empresa AFA GROUP.

Luego haciendo uso del análisis y simulación computacional, se logró identificar las tensiones internas y la carga máxima admisible de las piezas de la BDP, la potencia consumida usando la transmisión por cardán actual y con acoplamiento directo del motor hidráulico de accionamiento, el rendimiento, altura y caudal óptimo de operación, proponiendo las mejoras centradas en el sistema de transmisión, variación de velocidad de accionamiento y reemplazando el sistema de transmisión por eje cardán, utilizando la metodología del análisis de modos de fallas y sus efectos, para recuperar o mejorar los valores de los parámetros que definen la performance adecuada de la BDP.

Palabras clave: Bomba de desplazamiento positivo, performance, amef.

ABSTRACT

The present research work was developed with the purpose of improving the benefits of positive displacement pumps (BDP) by establishing the appropriate procedures to diagnose and identify the operating parameters and their components in order to determine the failures that cause performance problems. of the same, under the methodology of analysis of failure modes and effects, managing to propose interventions in its design, operation and maintenance actions.

In the development of the research work, the theoretical basis of the operation of the BDP was analyzed, detailing the parts, reaching the point of modeling the pump under study in CAD software, allowing the recognition of critical components and geometries, including plans of the parts. Corresponding measurements of the parameters of the BDP model JP-300 DS were carried out to obtain the current characteristic values of the performance such as discharge pressures, power consumed and delivered and operation flows, in addition to collecting the records of the failures presented, conditions of operation and the defects that cause variation of its factory technical data when working coupled to a spraying machine used in irrigation or fumigation systems in the company AFA GROUP.

Then, using computational analysis and simulation, it was possible to identify the internal stresses and the maximum admissible load of the BDP parts, the power consumed using the current cardan transmission and with direct coupling of the hydraulic drive motor, performance, height and optimal operation flow, proposing improvements focused on the transmission system, drive speed variation and regulation of mounting clearances, using the methodology of failure mode analysis and its effects, managing to recover or improve the values of the parameters that define the adequate performance of the BDP.

Keywords: Positive displacement pump, performance, AMEF.

I. INTRODUCCIÓN

Las empresas agroindustriales en Perú presentan crecimientos en la demanda de maquinaria agrícola gracias a la ampliación del mercado, por lo cual es necesario que estas empresas adquieran equipos adecuados para sus distintos procesos como siembra, cosecha y fumigación.

El diseño de planes para mejorar la eficiencia energética disminuye los gastos de las industrias y aumentan la productividad de los equipos, esto gracias a la eficiencia de las máquinas, es por ello que deben ser usadas adecuadamente para el proceso que están destinadas, dándole las condiciones necesarias para su eficaz funcionamiento y de esta forma erradicar el mantenimiento correctivo.

En la industria la necesidad de reducir los costos de energía es indispensable, como durante el proceso de bombeo de una planta industrial.

El motivo por el cual se realizó este estudio, se basó en el mejoramiento de la eficiencia energética o rendimiento, en la reducción del consumo de potencia para la altura de bombeo requerida, así como identificar las causas y efectos que perjudican el normal funcionamiento de la bomba (Modelo: JP-300 DS – N° Serie: 166005014) presente en la máquina pulverizadora de la empresa AFA GROUP, así como establecer los orígenes de la rotura y deformación de piezas como seguros y bielas, para luego aplicar un análisis de los modos y efectos de las fallas que se presentan; y optar por un posterior rediseño o modificaciones en los parámetros de funcionamiento de la bomba de desplazamiento positivo (BDP).

En la industria para aumentar la eficiencia de una BDP, requiere de una medición continua y exacta de los parámetros de operación, su análisis, evaluación y plan de acción, con el propósito de realizar mantenimientos predictivos o preventivos y disminuir los correctivos, ya que las BDP trabajan cumpliendo parámetros específicos para su óptimo funcionamiento como son (caudal, potencia, velocidad de rotación, presión requerida entre otros). por lo tanto, deben ser monitoreadas constantemente es así que diseñar un plan de mantenimiento programado nos ayuda a tener mayor confiabilidad, eficiencia y buena productividad de estos equipos. (Sporer, 2018)

La parte económica invertida en los sistemas de bombeo principalmente se ve reflejado en el precio inicial de compra de una bomba, la cual representa tan solo una pequeña parte del costo total, ya que el ciclo de vida incluye además el mantenimiento, el montaje, el tiempo de inactividad y los costos energéticos. Es por este motivo que debemos adquirir equipos que nos garanticen un nivel de rendimiento apropiado para nuestro proceso productivo, el cual no debe presentar fallas o limitaciones de funcionamiento que dañen su estructura funcional. (Machado, 2020).

Las bombas de desplazamiento positivo son adquiridas por muchas industrias por ser máquinas de flujo constante y generalmente el caudal es proporcional a la velocidad de la bomba, por lo que resultan ideales para controlar caudal mediante velocidad variable esto permite usarlas para presiones altas y fluidos viscosos. (Almandoz, 2007)

Los paquetes informáticos contienen software de análisis y simulación computacional que permiten modelar piezas y conjuntos, para luego en base a una adecuada configuración del entorno del software e ingreso de los parámetros precisos, proceder a la solución numérica de ecuaciones gobernantes en el dominio cinemático, cinético, estructural y termo fluidodinámico, permitiendo proceder a la toma de decisiones con sustento cognitivo e innovador, ahorrando costos y tiempos de fabricación o implementación de mejoras. (Solidworks corporation, 2020)

Desde este enfoque se planteó el enunciado del problema de investigación de la siguiente manera. ¿Cómo mejorar la performance en las bombas de desplazamiento positivo usando el análisis de modos y efectos de fallas o defectos?

El trabajo de investigación argumenta su importancia en el desarrollo y aplicación de la innovación tecnológica, debido a que se busca implementar, evaluar y reparar implementos de la maquinaria usada en el inicio de campaña de esparrago blanco, como es el caso de la bomba de desplazamiento positivo JP-300, que presenta valores bajos en sus parámetros de operación respecto a los estipulados en las especificaciones del fabricante, que bajo una metodología ingenieril organizada y sustentada en conocimientos de la especialidad, busca mejorar la performance de la BDP presentes en los pulverizadores. Desde el aspecto económico, con esta

investigación se logrará incrementar la producción de la empresa, además de disminuir los costos de mantenimiento por paradas no programadas y deterioro de los componentes. A nivel práctico, permite desarrollar metodologías de análisis y simulación que permitan respaldar decisiones de recambio de piezas, nuevas configuraciones y modificaciones en los parámetros de funcionamiento, haciendo uso de programas o software de análisis y simulación especializados.

El objetivo general de la investigación fue mejorar la performance de bomba de desplazamiento positivo aplicando un análisis de los modos y efectos de las fallas (AMEF) en el inicio de campaña de esparrago blanco, recuperando la eficiencia y caudal máximo de 300 l/min, así como la altura de bomba adecuada, siendo necesario para esto alcanzar los siguientes objetivos específicos cómo 1. Reconocer los elementos que tiene la BDP según el fabricante desarrollando un modelo CAD 3D de los componentes de la BDP; 2. Recopilar y registrar las fallas de los elementos y los parámetros de operación de la baja performance de la BDP; 3. Aplicar la metodología del AMEF a la BDP, 4. Evaluar mediante análisis y simulación computacional las propuestas que permitan mejorar la performance de la bomba de desplazamiento positivo. 5. Evaluar económicamente la viabilidad de las soluciones.

II. MARCO TEÓRICO

(Ospina, 2005) “Mencionó que el objetivo de su tesis es estudiar de manera experimental el comportamiento de la bomba de desplazamiento positivo y estos resultados serán cotejados con la teoría que se encuentra detrás de este fenómeno. De esta manera se tendrá la tipificación de la bomba en una base común que permita compararla con diferentes tipos de sistemas de bombeo y también así poder predecir su comportamiento a diferentes condiciones de bombeo que las impuestas en los experimentos. Concluyendo que según las gráficas experimentales obtenidas se tiene un equipo de altísimo rendimiento mecánico, volumétrico e hidráulico el cual merece un posterior estudio y su respectivo rediseño” (Ver anexo 1, 1.1)

(Ugarte y Bargaran, 2018) “En su tesis de investigación tienen como objetivo general diseñar una bomba de desplazamiento positivo operada con vapor para la recuperación de las purgas de condensado de los secadores rotatubo y rotadisco en la producción de harina de pescado, y como objetivo específico determinar la capacidad y componentes de la bomba desplazamiento positivo operada con vapor mediante la evaluación del caudal de condensado de los secadores rotatubo y rotadisco. Indicando que la importancia de su tesis está dirigida para las plantas productoras de harina de pescado que buscan reducir el consumo de combustible para producir la tonelada de harina. Logrando concluir que mediante el diseño e implementación de la bomba de desplazamiento positivo para la recuperación de las purgas de los secadores rotatubo y rotadisco se mejorara la producción de harina de pescado de 186 m³/tn a 173 m³/tn con respecto al consumo de combustible. Este aporte nos ayuda a ver que podemos disminuir el consumo de combustible, en nuestro caso de la máquina que transmite la energía mecánica hacia la BDP, ya que al mejorar el performance de la bomba necesitara menos energía para su funcionamiento o menos tiempo de operación para cumplir su trabajo normal”.

(Jess Sporer, 2018) “En su publicación en la revista Processings solutions for process manufacturers nos indica que las bombas de desplazamiento positivo, se

han utilizado durante mucho tiempo en el procesamiento de alimentos. Con el tiempo, los diseños se han mejorado para mejorar la eficiencia y el rendimiento de la bomba en fluidos de viscosidad variable. Con los nuevos estándares de seguridad alimentaria en proceso de introducción, las bombas también están avanzando en su capacidad de limpieza. Dándonos a conocer que las BDP están disponibles con características que permiten la limpieza sin necesidad de desmontar y volver a montar. Llegando a la conclusión que esto ahorra horas de trabajo de mantenimiento y reduce el riesgo de que se introduzcan errores en la línea de procesamiento si el montaje de la bomba no se lleva a cabo correctamente. Los desarrollos para mejorar la capacidad de limpieza deben seguir el ritmo de las crecientes demandas de rendimiento higiénico de la industria alimentaria y sus organismos reguladores. Como nos menciona el autor actualmente podemos disminuir el mantenimiento de las BDP si consideramos una limpieza por el mismo fluido, quiere decir que podemos aprovechar el fluido que bombeamos para limpiar las partes internas de la BDP, disminuyendo el tiempo de mantenimiento”.

La BDP que está bajo estudio tiene que trabajar en condiciones de uso favorables, es decir con agua limpia, sin arena, productos químicos convenientemente diluidos y una limpieza diaria, estas bombas trabajan más de 500 horas sin la necesidad de reparaciones.

“Las bombas de desplazamiento positivo se basan en el principio de Pascal, es decir en conseguir de alguna manera incrementar la presión en un punto del líquido para que esta elevación se transmita íntegra e inmediatamente a todos los puntos del fluido. Constan de un elemento denominado "desplazador" que precisamente desplaza positivamente el líquido, de ahí su nombre, desde una zona donde hay líquido a una presión reducida a otra donde se encuentra líquido a una presión superior, donde lo deposita” (Almandoz et. al, 2007, p. 180).

“Las BDP o bombas volumétricas tienen una construcción difícil que las hacen en bastantes casos de coste elevado. Esta dificultad es consecuencia de la necesidad de dar estanquidad a la separación entre las zonas de presión elevada y reducida, y la de la propia bomba con el exterior” (Almandoz et. al, 2007, p. 180).

“Las bombas hidráulicas de desplazamiento positivo consiguen mediante succión, atrapar el líquido en un pequeño recinto y cerrado éste, lo desplazan hacia otro punto de la máquina sometido a presión donde lo depositan. La presión obtenida por la bomba será la que exista en su salida es decir depende de la instalación en la que trabaja. Estas máquinas son reversibles, es decir que si se aplica una presión en una parte de la máquina se pueden desplazar los órganos de éste, constituyendo un motor hidráulico” (Almandoz et. al, 2007, p. 3).

Bombas de desplazamiento positivo

“La BDP es una bomba que proporciona un caudal uniforme, independiente del aumento de presión en el sistema. En nuestro caso el flujo positivo es transferido al sistema por unidad de revolución (rotación) o curso (desplazamiento del émbolo)” (Jacto, 2005, p. 4).

“La BDP que está bajo estudio tiene que trabajar en condiciones de uso favorables, es decir con agua limpia, sin arena, productos químicos convenientemente diluidos y una limpieza diaria, estas bombas trabajan más de 500 horas sin la necesidad de reparaciones” (Jacto, 2005, p. 5).

(García, 2014) “Las bombas de desplazamiento positivo, tal como están diseñadas actualmente, producen pulsaciones de flujo significativas que resultan en pulsaciones de presión. Estas pulsaciones contribuyen al ruido global que genera la instalación. Además, interactúan con el sistema donde está conectada la bomba acortando la vida útil tanto de la bomba como de los componentes del circuito. La tesis presenta un conjunto de herramientas de diseño aplicadas a bombas de engranajes trocoidales, desde el punto de vista del comportamiento fluidodinámico de la bomba. Estas herramientas de diseño tienen como objetivo ayudar a mejorar dos de los principales índices de rendimiento de la bomba: la capacidad volumétrica y la irregularidad del flujo, lo que lleva al diseñador a nuevos diseños más eficientes de bombas gerotor. Por un lado, la capacidad volumétrica está relacionada con la eficiencia de la bomba, y los aumentos en este índice particular resultan en una mayor eficiencia de la bomba. Por otro lado, la irregularidad de caudal mide el rizado de caudal que genera la bomba, y al reducir este índice se puede alargar la

vida tanto de la bomba como de la instalación, ya que se atenúan fenómenos como la fatiga”.

Principio fundamental de las bombas de desplazamiento positivo:

“En las bombas de desplazamiento positivo, la transferencia de energía al fluido es hidrostática. En la transferencia de energía hidrostática, un cuerpo de desplazamiento reduce el espacio de trabajo lleno de fluido y bombea el fluido a la tubería. El cuerpo de desplazamiento ejerce una presión sobre el fluido. Al aumentar el espacio de trabajo, este se vuelve a llenar con fluido de la tubería” (Gunt, s.f, p. 306).

“El trabajo realizado W_s es el resultado del producto de la fuerza de desplazamiento F y la distancia de desplazamiento s . Esta ecuación también puede expresarse como el producto de la cilindrada V_s y la presión de elevación p ” (Gunt, s.f, p. 306).

$$W_s = F \cdot s = A \cdot p \cdot s = V_s \cdot p$$

Ecuación 1: *Trabajo realizado.*

La potencia transmitida al fluido se calcula a partir del caudal volumétrico Q y la presión de elevación p .

$$P = Q \cdot p$$

Ecuación 2: *Potencia transmitida.*

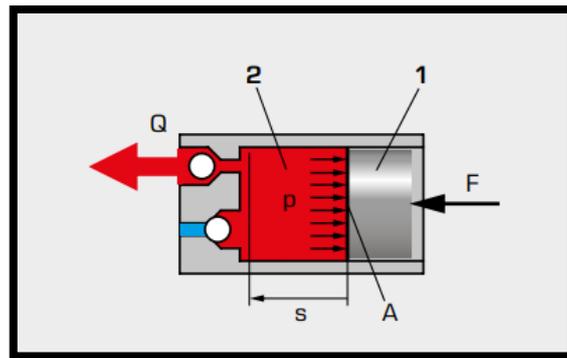
Ventajas de las bombas de desplazamiento positivo son las siguientes: (Gunt, s.f, p. 306)

- El caudal depende escasamente de la altura de elevación; ideales, por tanto, para bombas de inyección y dosificadoras.
- Apropriadas para presiones altas y máximas; solo se requiere una etapa.
- Excelente capacidad de aspiración, también con contenido de gas.
- Adecuadas para viscosidad alta (pastas).

- Caudal ajustable con gran exactitud y reproducibilidad mediante carrera y número de carreras.
- Posibilidad de transporte cíclico.
- Ideales para bajos números de revoluciones de funcionamiento.
- En las bombas oscilantes es posible el funcionamiento neumático, hidráulico o electromagnético.

Figura 1

Parámetros de la BDP



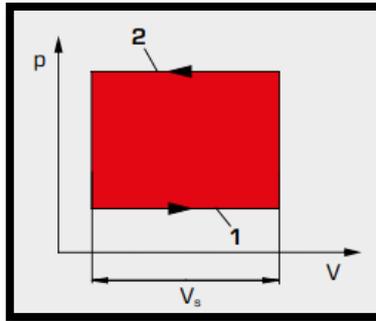
Nota. Tomado de (Gunt, s.f, p. 306).

- 1 - cuerpo de desplazamiento.
- 2 - espacio de trabajo; Q caudal volumétrico.
- F - fuerza de desplazamiento.
- A – superficie.
- p - presión de elevación.
- s - fuerza de desplazamiento.

Representación del proceso de bombeo de una bomba de desplazamiento positivo en el diagrama p, V:

Figura 2.

Diagrama p, V



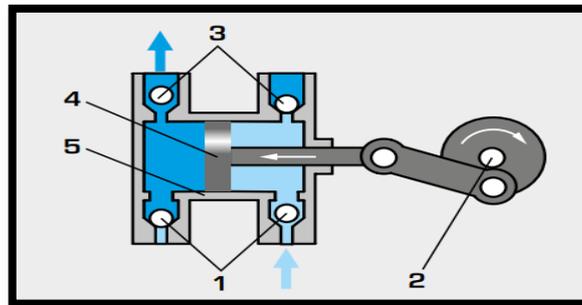
Nota. Tomado de (Gunt, s.f, p. 306).

- Al aspirar 1 aumenta el volumen a baja presión.
- El desplazamiento 2 se realiza reduciendo el volumen a alta presión.
- La superficie circunscrita corresponde al trabajo realizado en el fluido.

Partes de Bomba de desplazamiento positivo:

Figura 3.

Bomba de émbolo



Nota. Tomado de (Gunt, s.f, p. 307).

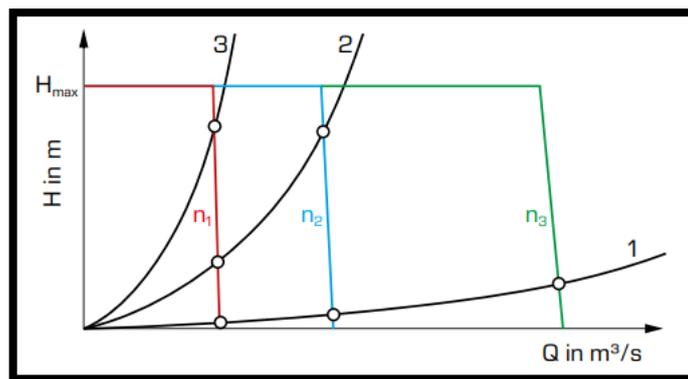
- 1 - válvula de aspiración.
- 2 - mecanismo de biela-manivela.
- 3 - válvula de presión.
- 4 - émbolo.
- 5 - cilindro.

Comportamiento de funcionamiento y puntos de funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo:

“Las bombas de desplazamiento positivo tienen características muy pronunciadas. El caudal Q es prácticamente independiente de la altura de elevación H . La altura

de elevación máxima H_{max} es limitada casi siempre a través de una válvula limitadora de presión o de seguridad. Por ello, el caudal es prácticamente independiente de la característica de la instalación. Al contrario que con la bomba centrífuga, el caudal no se puede regular aumentando las resistencias de la instalación. Esto se realiza modificando el número de revoluciones (n_1 - n_3) o la cilindrada. Las curvas negras representan las características de la instalación con números de revoluciones diferentes 1...3". (Gunt, s.f, p. 307)

Figura 4. *Comportamiento y puntos de funcionamiento de una bomba de desplazamiento positivo.*



Nota. Tomado de (Gunt, s.f, p. 307).

Aplicaciones de las bombas en la industria:

(Machado, 2020, p. 1316). Nos menciona que:

- Se emplean para bombear toda clase de fluidos como agua, aceites de lubricación, combustibles, ácidos; algunos otros líquidos alimenticios, como son cerveza y leche; también se encuentran los sólidos en suspensión como pastas de papel, mezclas, fangos y desperdicios.
- Tipo de fluido que se va a bombear. Especificaciones de los materiales compatibles con los fluidos que se van a bombear. Unidades motrices, acoplamientos, engranes y sellos también afectan la selección final.

Usos de las bombas de desplazamiento positivo

“Las bombas de desplazamiento positivo, son utilizadas comúnmente en pozos de bombeo llanos, en pozos profundos, para niveles de agua variables, para sistemas contra incendio, para transferencia y circulación, por operación de molinos de

viento, ante altas cargas de presión, alimentación de calderas, bombeo de aceite y gasolina y, fumigadores y cosechas” (Machado, 2020, p. 1316)

Selección de una bomba hidráulica

Las bombas deben seleccionarse según el concepto del trabajo a realizar:

- Presión máxima de trabajo
- Caudal máximo de trabajo
- Rendimiento de la bomba
- Fácil mantenimiento
- Energía requerida en la fase de arranque

Desventajas

(Machado, 2020, p. 1314) “Una desventaja de las bombas de engranes, pistón y aspas es que distribuyen un flujo por impulsos hacia la salida, debido a que cada elemento funcional mueve un elemento, volumen capturado, de fluido de la succión a la descarga. En cambio, las bombas de tornillo no presentan este problema y, además este tipo de bombas de tornillo operan a 3000 psi (20.7 Mpa) y funcionan a velocidades altas y son más silenciosas que la mayoría de otros tipos de bombas hidráulicas”.

(Josifovic et. al, 2016) “Las bombas de desplazamiento positivo tienen uno o más cámaras cilíndricas en las que el fluido se comprime con un pistón que tiene una carrera de desplazamiento fijo. ellos entregan la misma cantidad de volumen de líquido con cada golpe y tienen un caudal que depende solo de la frecuencia (es decir, la velocidad) del pistón y la geometría interna. Las BDP desarrollan presión como producto de la resistencia aguas abajo vista en su puerto de salida. Además, el rendimiento de una BDP no se deteriora después de un valor de velocidad crítico, como es el caso de las bombas centrífugas. Sin embargo, se sabe que la naturaleza cíclica de la carga en las BDP afecta su confiabilidad general y su vida útil”.

Estas bombas encuentran aplicación donde se requieren caudales de fluido precisos o altas presiones. El flujo se determina puramente por el producto del volumen de barrido y la tasa de carrera. La ecuación para calcular el flujo se muestra en la ecuación (3). Lst es la carrera del pistón, Apl es el área de un pistón con diámetro Dpl , ecuación (4), y $Ncyl$ representa el número de carreras por minuto.

$$Q = \frac{A_{pl} \cdot L_{st} \cdot N_{cyl}}{60}$$

Ecuación 3: *Calculo del flujo.*

$$A_{pl} = \left(\frac{D_{pl}}{2}\right)^2 \cdot \pi$$

Ecuación 4: *Área del pistón.*

Las ecuaciones (3) y (4) indican que cada carrera genera un volumen fijo. Esta propiedad es la razón por la que las BDP se utilizan con frecuencia para aplicaciones químicas o farmacéuticas, como bombas dosificadoras y dosificadoras o sistemas de inyección de motores diésel. Debido a su dureza, rendimiento a alta presión y gran resistencia, las BDP también se utilizan para cortadores de chorro de agua y en aplicaciones de estimulación de pozos (industria del petróleo y el gas).

El Análisis de modo y efecto de falla (AMEF)

El Análisis de modo y efecto de falla (AMEF), es un procedimiento metodológico que permite identificar las principales averías en productos (MCD. Vicente Moreno, 2017); y, el árbol lógico de decisiones. Estos conceptos constituyen las herramientas fundamentales que utiliza el RCM y responderán las siete preguntas básicas (Moubray, 2004) indicadas anteriormente que permiten identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallos de cada activo en su contexto operacional. A partir de esta técnica se logra:

1. Asegurar que todos los modos de falla concebibles y sus efectos sean comprendidos.
2. Identificar debilidades de diseño.
3. Proveer alternativas en la etapa de diseño.
4. Proveer criterios para prioridades de acciones correctivas.
5. Proveer criterios para prioridades de acciones preventivas.

Para efectuar el AMEF se deben seguir los pasos que se describen a continuación:

- Detallar procedimiento a ser evaluados
- Enumerar los modelos de falla
- Descubrir los causantes que originan los modos y efecto de fallas.
- Evaluación de severidad.
- Determinar las mejoras que se van a realizar.

El AMEF, es recomendado para realizar un proceso en dos pasos; los cuales son la valoración y la identificación. Para llevar a cabo este proceso se necesita realizar un trabajo en campo el cual ayudará a obtener la información correcta de todos los elementos y posteriormente poner en marcha el plan con la documentación indicada:

Hojas de información

Previamente al desarrollo de la hoja de decisiones estratificamos la referencia de información para que se pueda establecer las tareas propuestas mediante las hojas de información. Aquí se responden las tres primeras preguntas de la metodología RCM.

Tabla 1: *Hojas de información*

Nombre del equipo:			
Sistema:			
Pieza	Función que desempeña (F)	Modo de fallo funcional (FF)	Causas Potenciales de fallo (FM)

Fuente: Moubray, 2014

Hojas de decisión

Es en esta etapa del análisis en la cual finalmente se integran las consecuencias y las tareas, y es en esta etapa en la que se podrá responder a las últimas 4 preguntas de la metodología del RCM:

Tabla 2: Hojas de decisión.

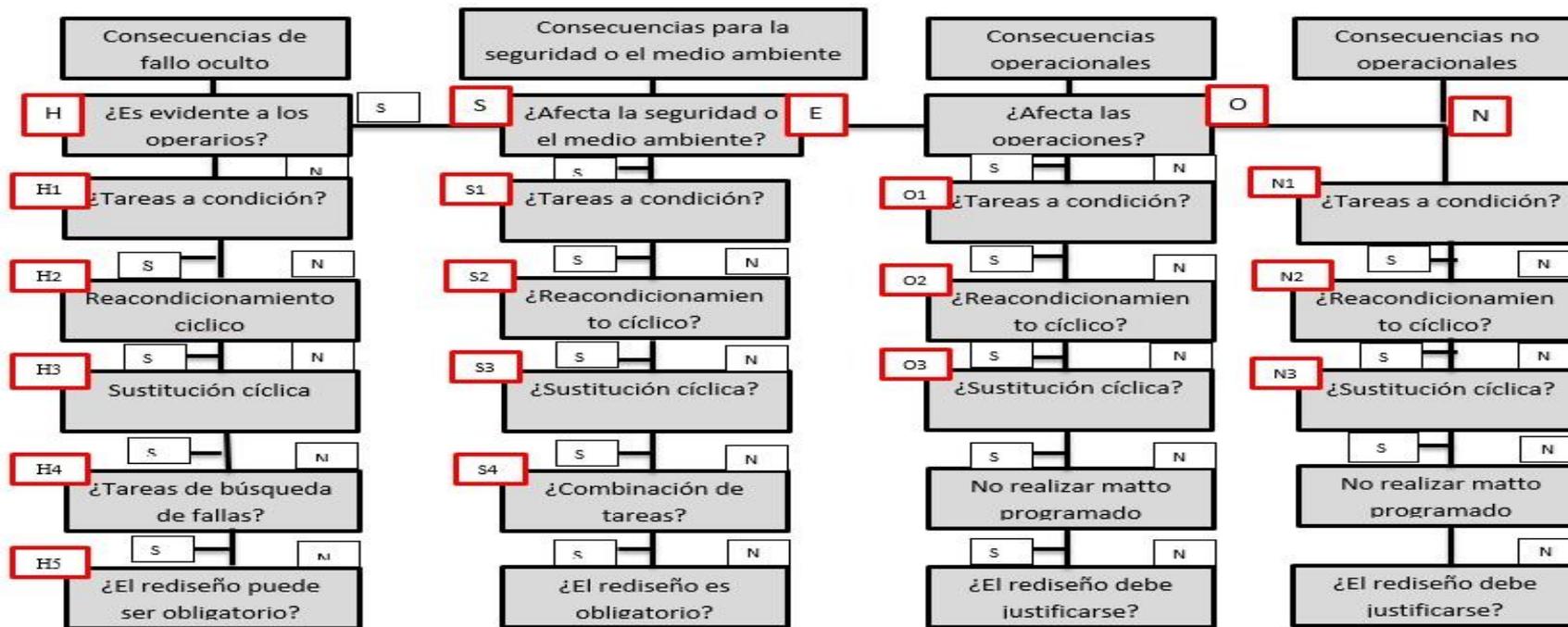
HOJA DE DECISIONES			Sistema:						Facilitador:	Fecha:	Hoja N° 1				
			Subsistema:						Auditor:	Fecha:	de:				
Referencia de información			Evaluación de consecuencias				H1	H2	H3	Acción de falla de			Tarea Propuesta	Intervalo inicial (año, m-mes, s=semana, d=día)	A realizarse por
							S1	S2	S3						
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						

Fuente: Moubray, 2014.

Se detallan el significado de las siglas en la figura 5.

Luego se procederá a desarrollar el árbol lógico de decisiones, una herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM.

Figura 5: Árbol lógico de decisiones



Fuente: Moubray, 2014

También cabe resaltar como un concepto relevante en el mantenimiento, el denominado *Número de Prioridad de Riesgos* (NPR), que permite ordenar los riesgos dependiendo a la puntuación como: graves, más frecuentes o más difíciles de detectar; además sirve para reflexionar sobre nuestros actos (Améndola, 2012).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

Según el objeto de estudio el tipo de investigación fue de tipo aplicada debido a que se utilizó diferentes teorías, conceptos que nos permitieron evaluar y reparar las fallas (AMEF) en los implementos la BDP para mejorar su performance en los equipos de pulverización de la empresa AFA GROUP.

Diseño de investigación:

El diseño de la investigación fue no experimental, debido a que no hubo manipulación de las variables; además se decidió que la investigación fuera transversal ya que la recaudación de información se realizó en un momento específico.

3.2. Variables y operacionalización

Variables independientes

- Prestaciones del sistema: Velocidad de rotación, fallas presentadas en el sistema de bombeo.

Variable dependiente: Performance de la BDP

- Rendimiento.
- Potencia consumida.
- Presión de descarga o altura de bomba.
- Caudal de operación.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

- **Población:** En el presente trabajo de investigación se seleccionó como población a las BDP presentes en las máquinas pulverizadoras existentes en la empresa AFA GROUP en el distrito de Trujillo.

- **Muestra:** Para la realización de este trabajo de investigación se tomó como muestra a una BDP (Modelo: JP-300 DS – N° Serie: 166005014) de la empresa AFA GROUP.
- **Muestreo:** Para el trabajo de investigación se utilizó un muestreo no probabilístico intencional debido a que se eligió una de las bombas de la población.
- **Unidad de Análisis:** Se utilizó como unidad de análisis la BDP (Modelo: JP-300 DS – N° Serie: 166005014).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

“La recolección de datos involucra la elaboración de un plan de procedimientos que nos permita reunir datos suficientes para un objetivo específico” (Hernández et. al, 2014).

En cuanto a las técnicas e instrumentos planteados, a usar en el presente estudio serán:

Tabla 3. *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica	Instrumento	Validación
Entrevista	Guía de entrevista	Asesor especialista
Análisis documentario	Ficha de registro	Asesor especialista
Observación	Hojas de registro	Asesor especialista

3.5. Procedimientos de recolección de datos.

En el presente trabajo de investigación se realizó un diagnóstico de la situación de las BDP presentes en las máquinas pulverizadoras de la empresa AFA GROUP, para ello se determinó los indicadores iniciales que dieron un alcance de la situación de la maquinaria, esto se logró aplicando la técnica de entrevista.

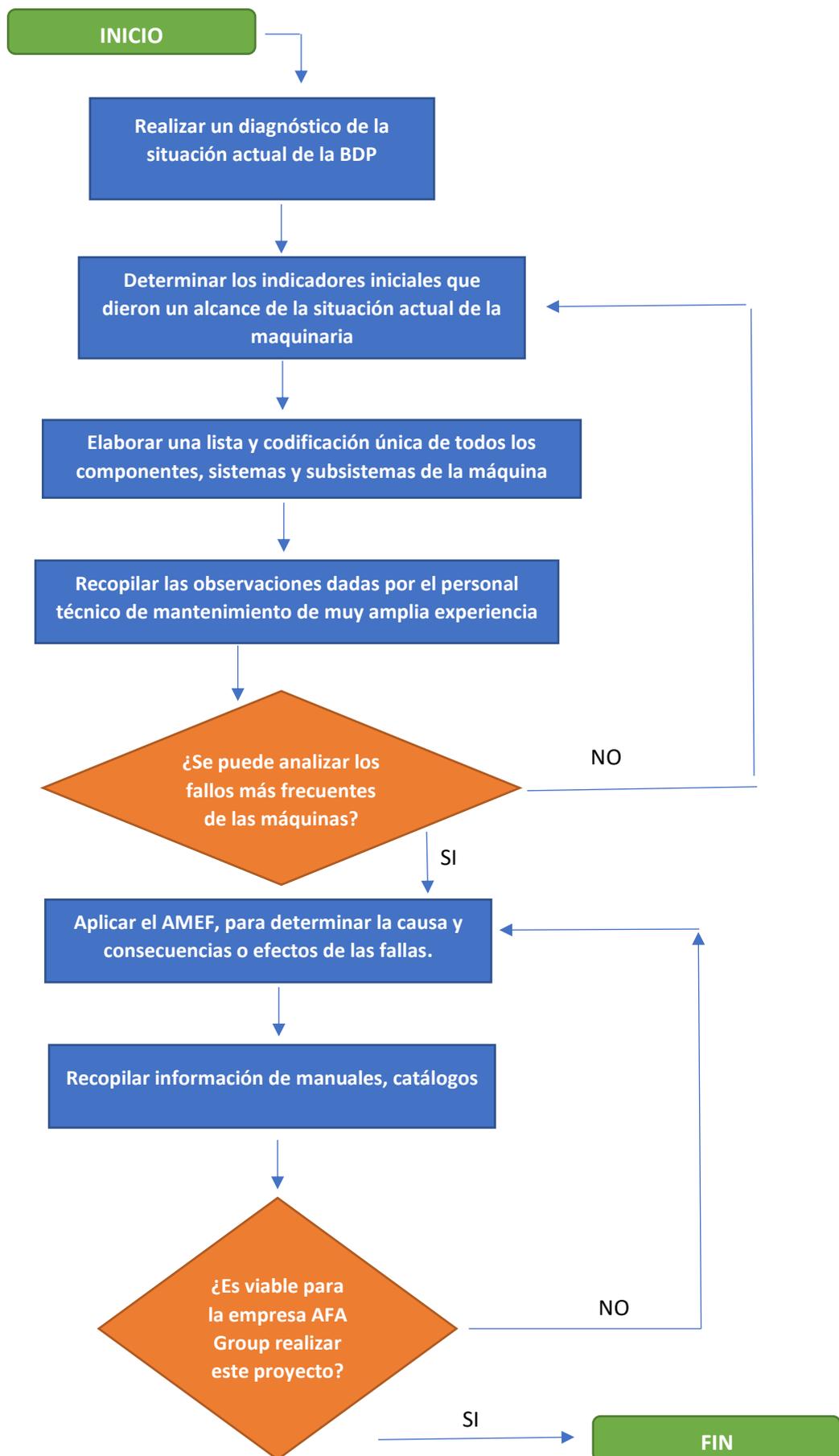
Luego se elaboró una lista y codificación única de todos los componentes, sistemas y subsistemas de las máquinas pulverizadoras de AFA GROUP para un correcto seguimiento. Se analizaron los fallos más frecuentes de las

máquinas, aplicando el AMEF, para determinar la causa o modo es decir su origen y consecuencias o efectos de las fallas, lo cual se tomó en cuenta al momento de realizar la evaluación y reparación de la BDP ya que este componente es de suma importancia para el funcionamiento de las máquinas pulverizadoras por ello se buscó mejorar su performance, esto se logró mediante la técnica de observación.

Para poder generar la evaluación y reparación de los implementos de la BDP se necesitó recopilar información de manuales, catálogos, también se tomó en cuenta las observaciones dadas por el personal técnico de mantenimiento de muy amplia experiencia ya que es muy enriquecedor para nuestra evaluación y reparación contar con toda la información disponible, por lo cual se utilizó la técnica de análisis documentario y observación.

En el plan de evaluación y reparación de la BDP está especificado en la maquinaria que determina su uso, sistemas y subsistemas con sus códigos únicos, las tareas a realizar con una breve descripción, los tiempos, frecuencias, personal encargado de realizar las tareas, herramientas y materiales a utilizar, esto se realizó mediante la técnica de análisis documentario.

Finalmente se realizó un análisis costo-beneficio para poder tener en cuenta si es viable realizar este proyecto y se ajusta a las necesidades de la jefatura de la empresa AFA GROUP.



3.6. Método de análisis de datos

En el presente trabajo de investigación se utilizaron los programas SolidWorks motion, simulation y Flow simulation (copyright @), que ayudaron a analizar los datos para el evaluar la resistencia estructural de las piezas críticas y los parámetros operacionales de la bomba de desplazamiento positivo como la altura de bomba, potencia consumida, rendimiento hidráulico. Al utilizar estos programas específicos se obtuvieron diagramas de deformación y esfuerzo del análisis estático de las piezas críticas. Los datos se analizaron mediante las mediciones que se realizó a la bomba como rpm y caudal de descarga a presión atmosférica. Los datos obtenidos de los escenarios de simulación para diferentes caudales y presiones de salida se graficarán y compararán con los datos del fabricante, asumiendo modificaciones en los parámetros de operación logrando recuperar o mejorar la actual performance. Se usó la comparación de medias simple para verificar la diferencia significativa en el mejoramiento de los parámetros que determinan la performance de la BDP analizada.

3.7. Aspectos éticos

En el presente trabajo de investigación se tuvo en cuenta los criterios de ética del colegio de ingenieros del Perú, que en su código de ética menciona que los informes realizados por ingenieros deben estar fundamentados y deben ser objetivos y veraces. Por ello la información de este trabajo de investigación se recaudó con honestidad y respeto, tomando información de fuentes confiables, así como también respetando los derechos de autor referenciando y/o citando la información, para lo cual se obtendrá el informe de originalidad correspondiente usando el software turnitin.

IV. RESULTADOS

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal mejorar la performance de bomba de desplazamiento positivo aplicando un análisis de los modos y efectos de las fallas (AMEF) en el inicio de campaña de espárrago blanco, recuperando la eficiencia y caudal máximo de 300 l/min, así como la altura de bomba adecuada, lo cual detallamos a continuación.

4.1. Elementos de la BDP modelo JP 300 DS:

De la recopilación de información del manual Jacto JP-300 A, se tomó como referencia la configuración geométrica y distribución de piezas y conjuntos, tomando medidas directamente de las piezas de la bomba en estudio, (ver fotografías de componentes en anexos) identificando un total de 62 piezas, las relaciones de posición establecidas y la funcionalidad de cada una de ellas, obteniendo modelos de piezas y conjuntos de los componentes de la BDP, usando software CAD 3D SolidWorks, las cuales se detallan en los anexos del presente informe.



Figura 6: Bomba de desplazamiento positivo JP 300 A

Fuente: elaboración propia

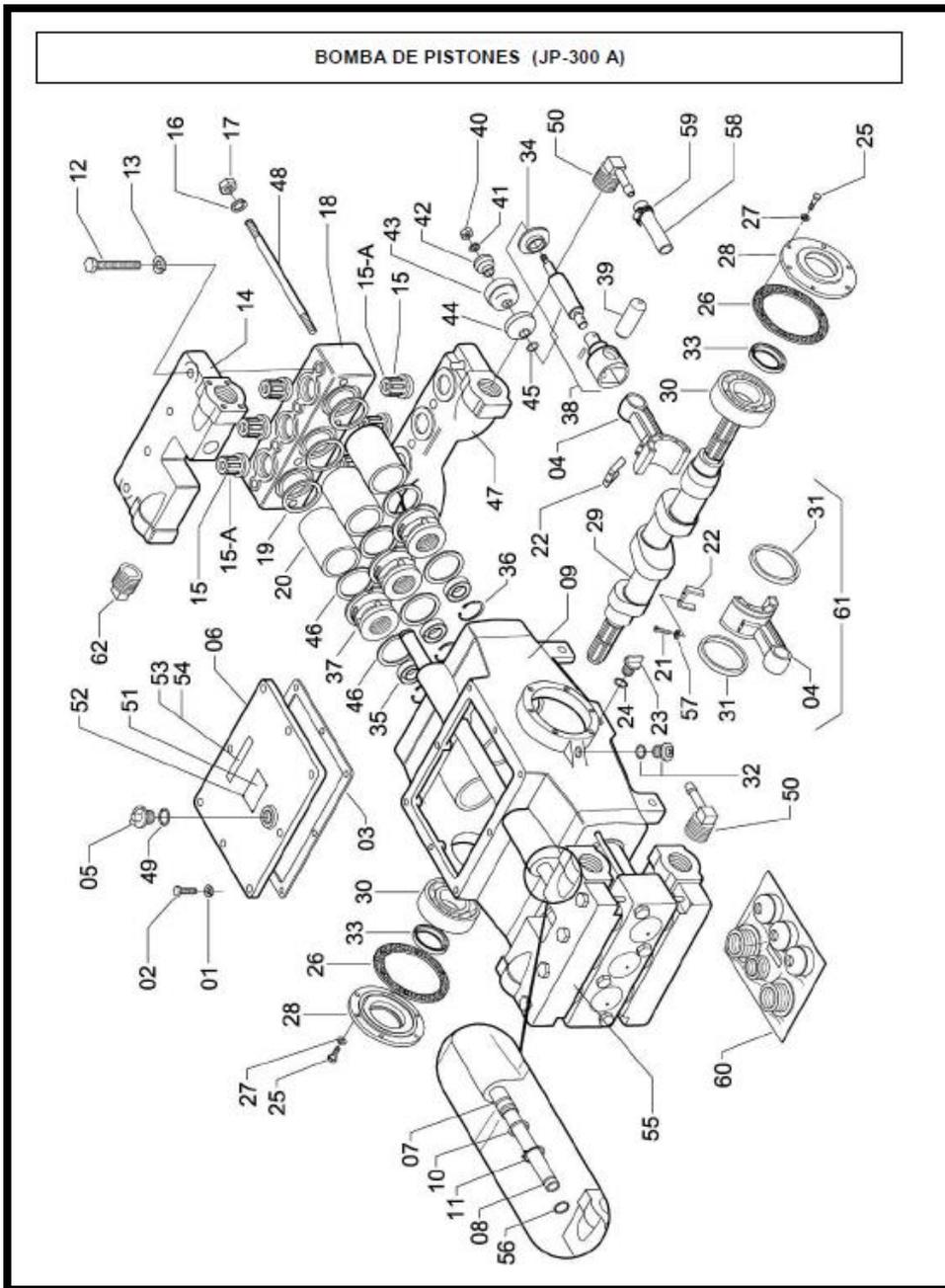


Figura 7: Despiece de Bomba de desplazamiento positivo JP 300 A

Fuente: Manual Jacto JP-300 A - Despiece de BDP

BOMBA DE PISTONES (JP-300 A)							
							Continuación
Ref.	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	Cant.	Ref.	CÓDIGO	DENOMINACIÓN	Cant.
00	745572	Bomba de pistones (JP-300 A)	1	54	332247	Adhesivo "mantener aceite en el nivel"	1
01	519736	Arandela de presión M8	8			Inglés/español	
02	610705	Tomillo sextavado M8 x 30 x 1,25	8	55	749580	Tapa de las válvulas	1
03	448811	Junta cierre herm. -240 x 292 x 1,59	1	56	106955	Anillo de cierre hermético ORI-120	2
04	555011	Bieleta	6	57	520700	Arandela de presión M4	12
				58	634218	Manguera 5/16" x 530 (p./metro)	m
05	328542	Tapón BSP 3/4"	1				
06	448381	Tapa de la bomba	1	59	812404	Abrazadera 12-16	2
07	448332	Tubo de protección	1	60	752253	Repuesto Bomba JP-300	1
08	448365	Tubo de unión	1	61	752600	Bieleta completa	3
09	448472	Cuerpo de la bomba JP-300	1	62	427948	Tapón ø 1.1/2" BSP	3
10	731521	Anillo de cierre hermético - ORI-124	2				
11	203067	Anillo de retención para eje ø 35	2				
12	429258	Tomillo sextavado ø 1/2" 13 UNC x 3" Inoxidable	16				
13	908582	Arandela de presión Ø 1/2"	16				
14	448803	Tapa de las válvulas	1				
15	322990	Válvula	12				
15A	323014	Anillo de vedación ø 47 x 35,5 x 9	12				
16	764142	Arandela de presión M16	8				
17	916734	Tuerca hexagonal 5/8" - 11 UNC	8				
18	322735	Culata de la bomba	2				
19	322875	Arandela de cierre hermético	6				
20	322925	Camisa (alumina)	6				
21	100198	Tomillo M4 x 10 x 0,70	12				
22	448340	Gancho de retención	6				
23	520775	Tapón de drenaje 1/4 BSP	1				
24	325290	Anillo de cierre hermético OR1-112	1				
25	629374	Tomillo sextavado M8 x 20 x 1,25 - CL 8,8	12				
26	322883	Empaque nº 110 x 145 x 0,4	2				
27	519736	Arandela de presión M8	12				
28	322610	Brida del rodamiento	2				
29	245282	Cigüeñal	1				
30	325506	Rodamiento nº 6310	2				
31	448357	Anillo ø 100	6				
32	521351	Visualizador ø 1/2" BSP con anillo de cierre hermético	1				
33	323170	Retenedor nº 01920	2				
34	322842	Anillo raspador	6				
35	323188	Retenedor nº 72	6				
36	916775	Anillo de retención para orificio 40	6				
37	322826	Gula de la camisa	6				
38	322933	Gula con varilla	6				
39	322909	Clavija de la bieleta	6				
40	324178	Tuerca Ø 1/2" - 20 UNF - Inoxidable	6				
41	325076	Arandela lisa 132 x 258 x 30,4	6				
42	323154	Pistón	6				
43	323139	Émbolo	6				
44	323147	Base del émbolo	6				
45	120071	Anillo de cierre hermético ORI - 015	6				
46	322867	Junta de cierre hermético	12				
47	328799	Tapa de las válvulas - succión	2				
48	322891	Tomillo ø 5/8" 11 UNC x 240 Inoxidable	8				
49	012724	Anillo de cierre hermético OR1- 119	1				
50	749689	Tapón con conexión	2				
51	448795	Placa de identificación	1				
52	109587	Remache cabeza redonda	4				
53	019356	Adhesivo "manten óleo no nivel" portugués	1				

Tabla 4: Lista de piezas y elementos de la BDP JP-300

Fuente: *Manual Jacto JP-300 A - Detalle de elementos BDP*

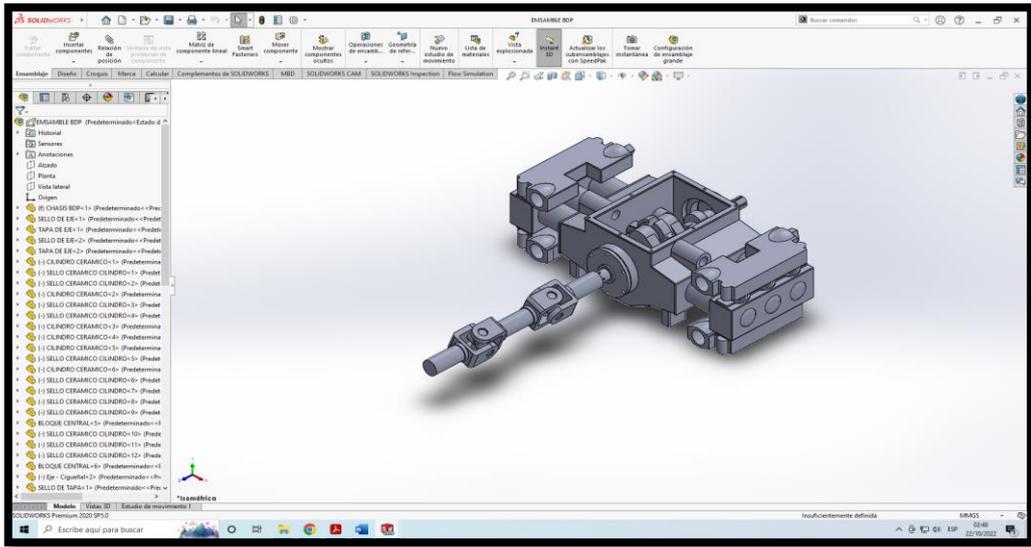


Figura 8: Modelo CAD 3D de Bomba de desplazamiento positivo JP 300 A
Fuente: elaboración propia

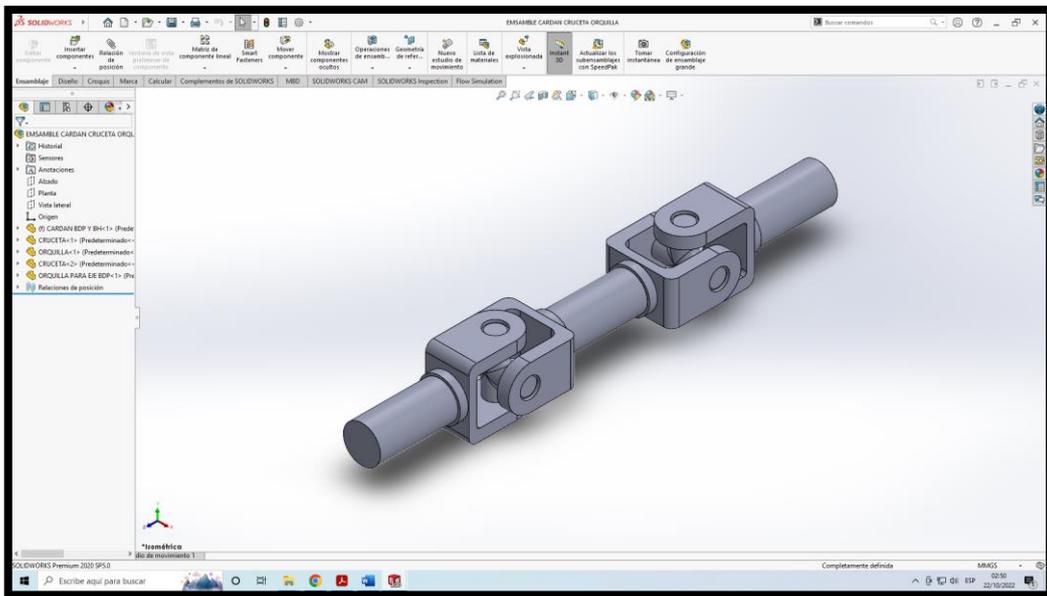


Figura 9: Modelo CAD 3D de transmisión por cardán convencional
Fuente: elaboración propia

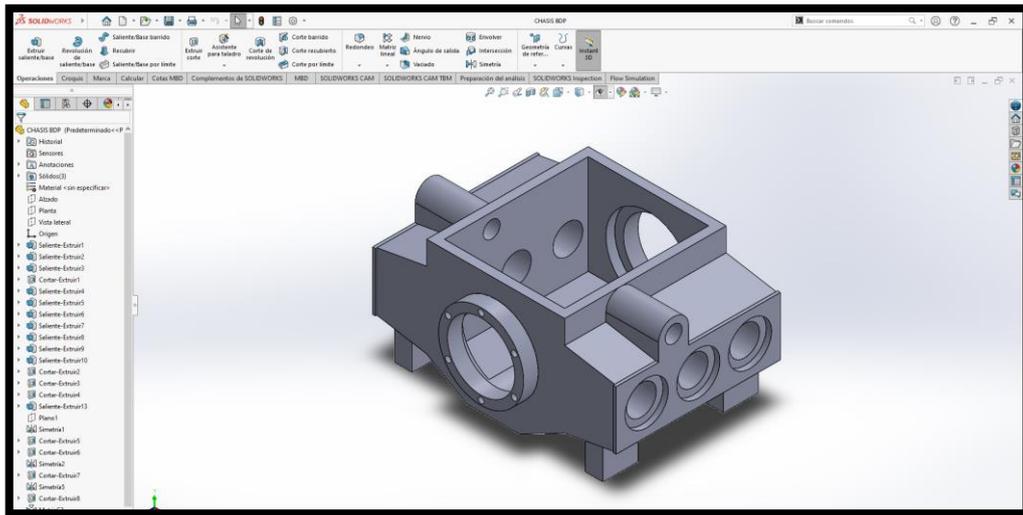


Figura 10: Modelo CAD 3D de carcasa de BDP JP 300 A
Fuente: elaboración propia

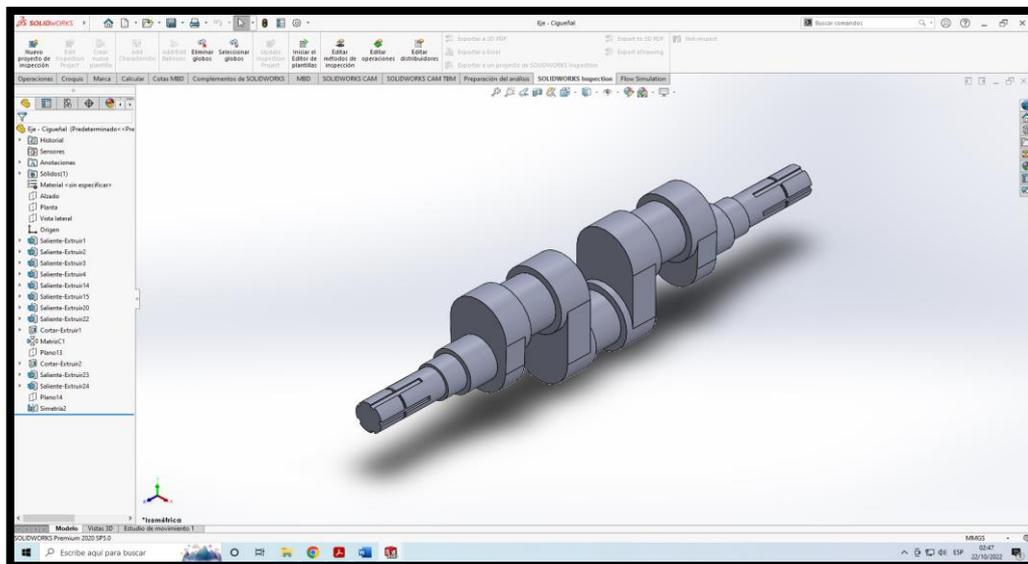


Figura 11: Modelo CAD 3D de eje cigüeñal de BDP JP 300 A
Fuente: elaboración propia

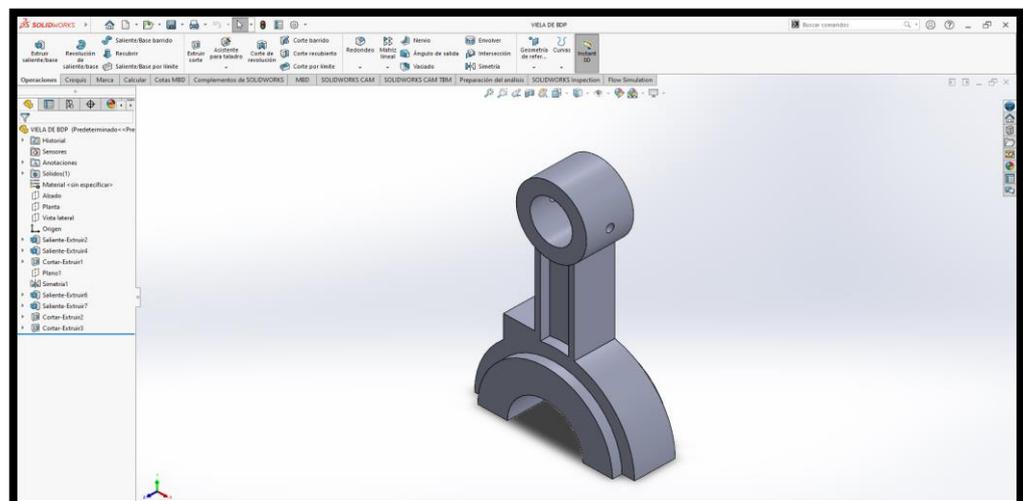
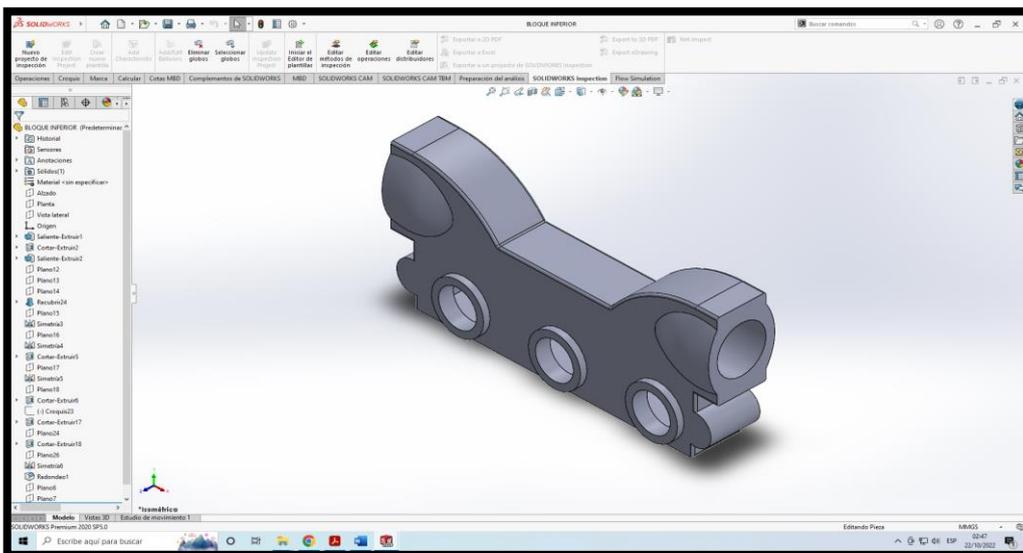
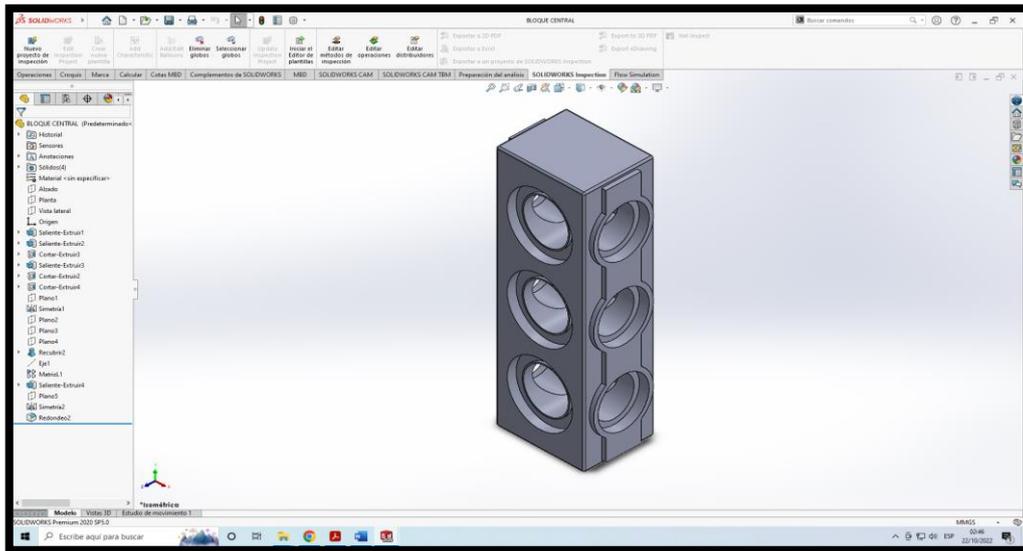


Figura 12: Modelos CAD 3D de tapas de válvulas y bielas de BDP

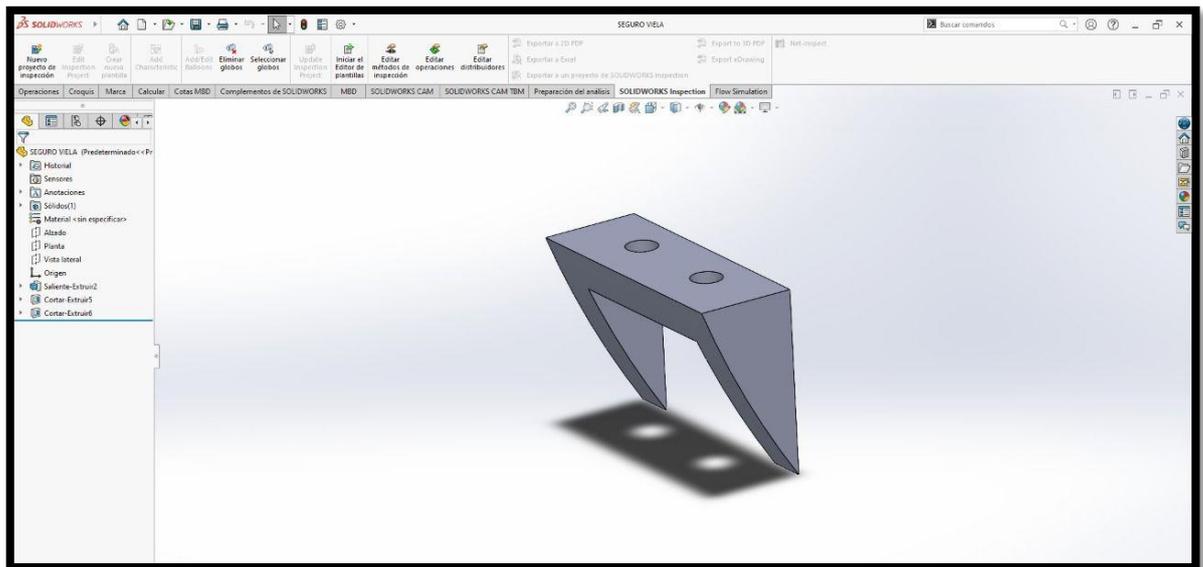


Figura 13: Modelo CAD 3D de pieza seguro de biela de BDP JP 300 A

Fuente: elaboración propia

4.2. Identificación de las fallas de los elementos y de los parámetros de operación de la baja performance de la BDP.

Con las fichas de registro de análisis documental y las guías de entrevista se procedió a recopilar la información sobre las fallas o deficiencias ocurridas durante el funcionamiento de la BDP JP 300 A, en plena campaña de espárrago blanco, (ver fichas de registro en anexos), logrando obtener la descripción detallada de las fallas presentadas en los componentes de la bomba, así como de los parámetros de operación accesibles de ser medidos, procesando dicha información que mostramos a continuación:

4.2.1. Fallas en elementos de la bomba JP-300 accionada con cardan

Usando el análisis documental se logró obtener la información registrada de algunos daños ocasionados por el ineficiente funcionamiento de la BDP, cuyas evidencias de muestran en fotografías incluidas en los anexos del presente informe, de las cuales detallamos las más frecuentes y críticas a continuación:

- Desgaste en las estrías del eje cigüeñal de accionamiento (producto del enganche y desenganche del acoplamiento estriado con el motor hidráulico de accionamiento por la transmisión del cardán).
- Fugas excesivas de aceite por el retén de eje cigüeñal.
- Roturas de carcasa especialmente en bases de fijación de bomba.
- Roturas de cilindro guía del pistón de bomba producto de la rotura del aro sujetador de bielas.
- Ralladuras de los puños de cigüeñal (fricción entre puño de cigüeñal y asiento de biela).
- Recalentamiento en toda la carcasa de la bomba.
- Fugas de aceite por el tapón de desfogue producto del recalentamiento.

4.2.2. Parámetros de operación de la bomba accionada por motor hidráulico

Todas las bombas de pistón de la fábrica proveedora JACTO son de desplazamiento positivo. Bajo condiciones de uso favorables, es decir con agua limpia, sin arena, productos químicos convenientemente diluidos y una limpieza diaria, estas bombas trabajan más de 500 horas sin la necesidad de reparaciones. Por otra parte, al usar agua con arena y productos de formulación polvo mojables mal diluidos los émbolos se desgastan prematuramente provocando fuga de líquido por el orificio de drenaje. Otro factor perjudicial es el funcionamiento prolongado de la bomba con fugas lo que contamina el aceite lubricante y, sin lubricación adecuada, las bielas y los rodamientos se averían encareciendo el mantenimiento. (Jacto S.A., 2015)

La bomba en estudio es una bomba que proporciona un caudal uniforme, independiente del aumento de presión en el sistema. Su flujo positivo es transferido al sistema por unidad de revolución (rotación) o curso (desplazamiento del émbolo).

A continuación, describimos algunas características de este tipo de bombas:

- Las bombas JP-75, JP-100, JP-150/190 y JP-300 tienen cuerpo de hierro fundido y se accionan por medio de cardán.
- Tienen camisas de cerámica y émbolos de vitón, materiales resistentes a la corrosión y abrasión.
- La presión de trabajo recomendada para esas bombas es de máximo 500 lbf/pul² (35 kgf/cm²).
- La diferencia entre las bombas está sólo en la capacidad de caudal teniendo la bomba JP-300 una capacidad de 300 L/min a 540 r.p.m.

Tabla 5: Características de bombas de desplazamiento positivo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS					
DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS	BOMBAS				
	JP-75	JP-100	JP-150	JP-190	JP-300
Rotación máxima en el cigüeñal	540 r.p.m.				
Presión máxima de trabajo	500 lbf/pul ²				
Caudal (litros/min a 540 r.p.m.)	75	100	150	190	300
Potencia requerida a 400 lbf/pul ²	5,3 CV	7,0 CV	10,7 CV	13,5 CV	24,0 CV
Peso	37 kg	47 kg	60 kg	60 kg	125 kg

Fuente: (Jacto S.A., 2015)

En la empresa AFA GROUP, se utilizan e implementan estas bombas en la maquinaria de pulverización de insumos para riego o fumigación controlada, siendo esta utilizada de acuerdo a los requerimientos del servicio o cliente, de aquí que en la presente investigación se tomó como caso real, la medición de los parámetros de operación convencionales, realizando la toma de datos de velocidad de rotación y caudal de descarga al accionar la BDP JP-300 A con un tractor de 2200 rpm de velocidad de rotación en su motor accionado a través de una junta eje cardán el eje de la BDP, considerando la descarga a regulada por válvula de descarga.

Las mediciones de velocidad de rotación se realizaron mediante un tacómetro digital portátil marca SKF y el caudal de descarga se realizó usando

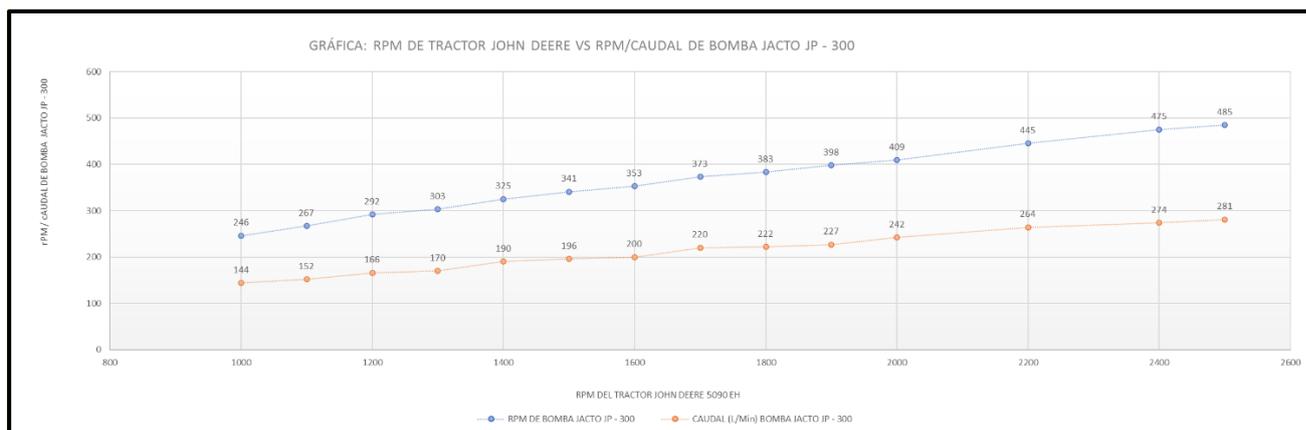
mediciones promedio de volumen en litros para periodos de tiempo establecidos en un minuto. Estos resultados se muestran en la tabla N°5 mostrada a continuación, así como en la gráfica 14.

Las mediciones del rpm del tractor se tomaron directamente del tablero de control de la unidad tractor John Deere modelo 5090EH, mientras que los rpm del motor hidráulico Modelo: 349 k5 1C20 y las rpm de la BDP JP 300 A se midieron directamente en sus ejes de transmisión.

	TRACTOR JOHN DEERE	MOTOR HIDRÁULICO	BOMBA JACTO	
	Modelo: 5090 EH	Modelo: 349 k5 1C20	Modelo: JP - 300	
ITEM	RPM TRACTOR	RPM MH	RPM BDP	CAUDAL DE BDP (L/min)
1	1000	246	246	144
2	1100	267	267	152
3	1200	292	292	166
4	1300	303	303	170
5	1400	325	325	190
6	1500	341	341	196
7	1600	353	353	200
8	1700	373	373	220
9	1800	383	383	222
10	1900	398	398	227
11	2000	409	409	242
12	2200	445	445	264
13	2400	475	475	274
14	2500	485	485	281

Tabla N°6: Datos recopilados durante el funcionamiento de la BDP JP 300 A.

Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 14: Caudal de descarga y rpm de BDP en función del rpm del tractor de accionamiento.

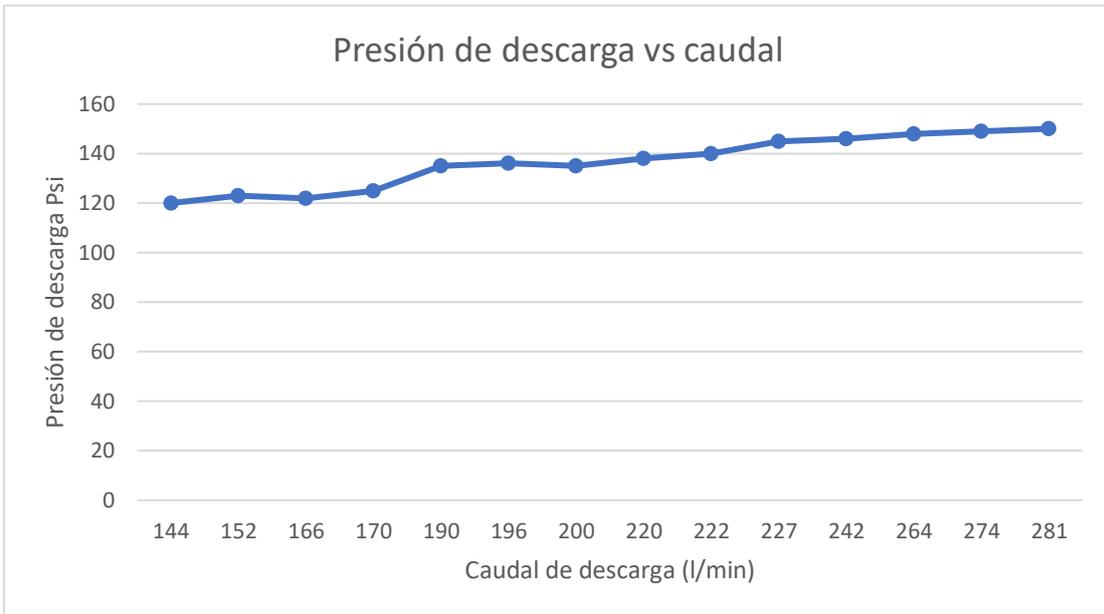
Fuente: Elaboración propia.

Luego considerando los rangos de presiones de trabajo de la máquina pulverizadora y tomando en cuenta que la capacidad máxima de bombeo y su presión de descarga de acuerdo al fabricante se obtuvieron de manera indirecta los demás parámetros de operación de la BDP JP 300 A. los cuales se muestran en la tabla 6 y las imágenes de las gráficas 15, 16, 17 y 18.

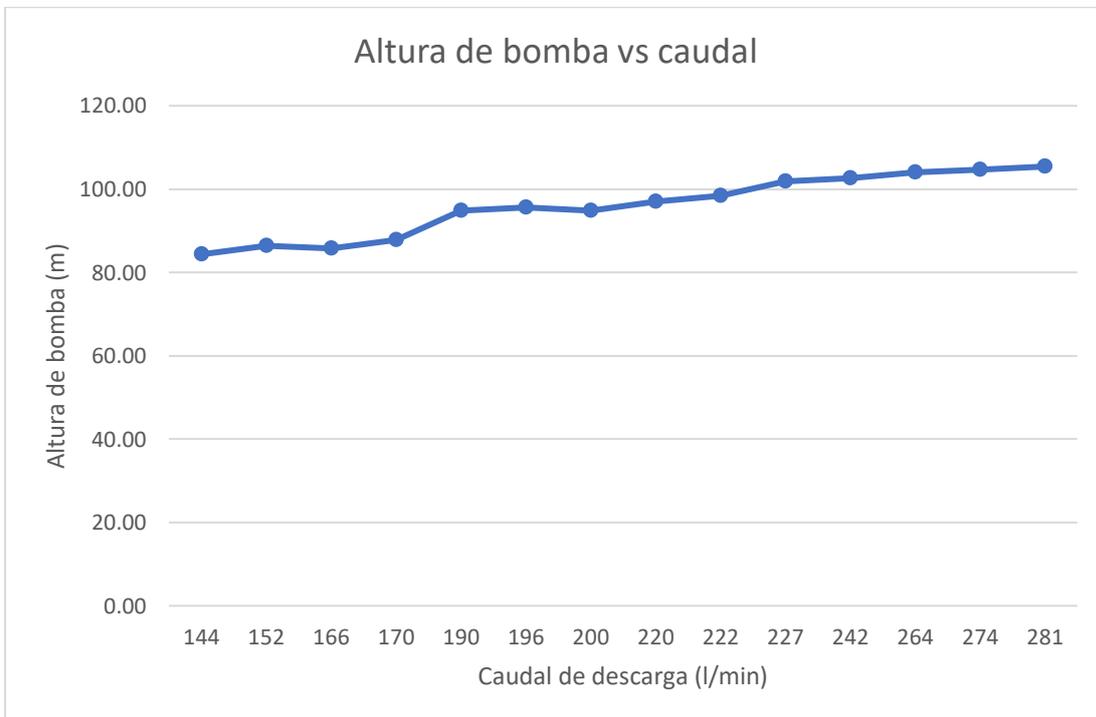
ITEM N°	BOMBA JACTO					
	Modelo: JP - 300		Presión de descarga	Altura de Bomba	Potencia Hidráulica	Rendimiento
PRUEBA	RPM BDP	CAUDAL (L/min)	Psi	metros	CV	o eficiencia (%)
1	246	144	120	84.34	2.70	11.52
2	267	152	123	86.45	2.92	12.46
3	292	166	122	85.75	3.17	13.50
4	303	170	125	87.85	3.32	14.17
5	325	190	135	94.88	4.01	17.10
6	341	196	136	95.59	4.17	17.77
7	353	200	135	94.88	4.22	18.00
8	373	220	138	96.99	4.75	20.24
9	383	222	140	98.40	4.86	20.72
10	398	227	145	101.91	5.15	21.94
11	409	242	146	102.61	5.52	23.55
12	445	264	148	104.02	6.11	26.05
13	475	274	149	104.72	6.38	27.22
14	485	281	150	105.43	6.59	28.10

Tabla N°7: Datos recopilados durante el funcionamiento de la BDP JP 300 A.

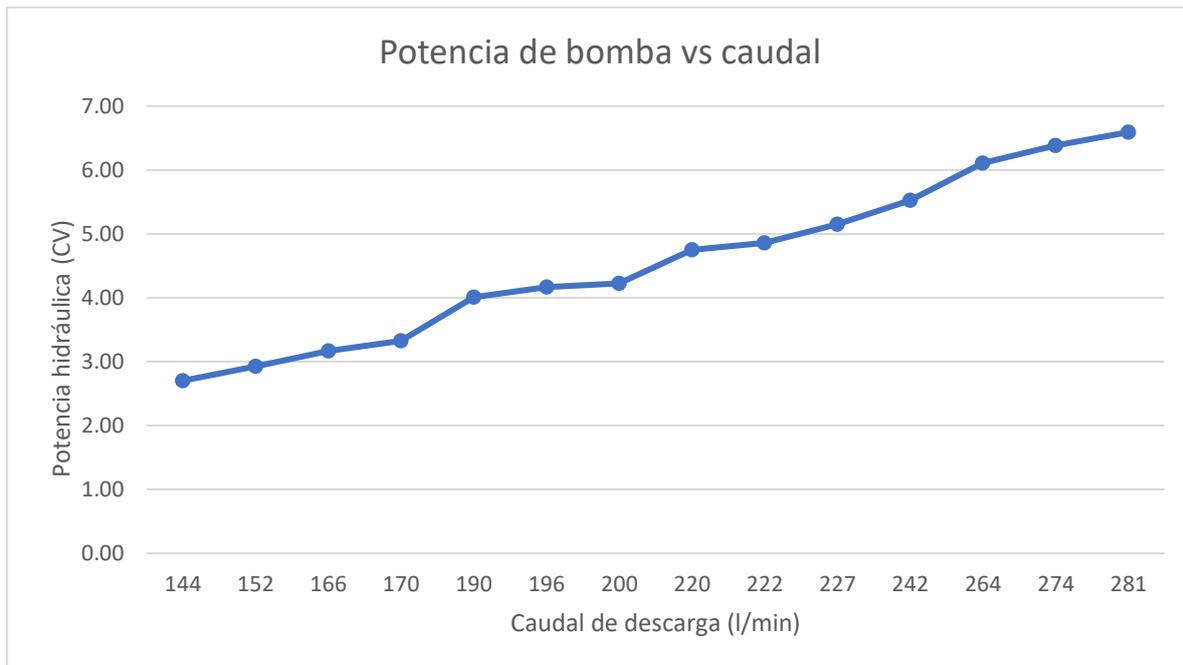
Fuente: Elaboración propia.



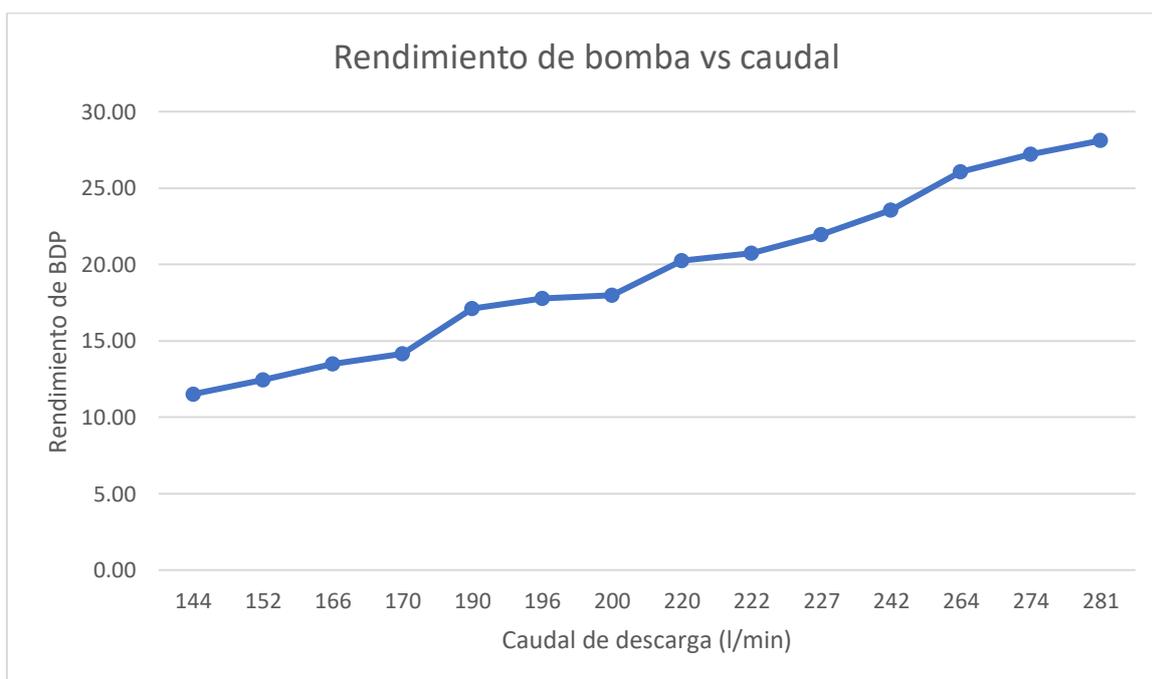
Gráfica 15: Presión de descarga en función del caudal.



Gráfica 16: Altura de bomba en función del caudal.



Gráfica 17: Potencia Hidráulica en función del caudal.



Gráfica 18: Rendimiento en función del caudal.

4.3. Análisis de los modos y efectos de las fallas en la BDP.

En las siguientes matrices se desarrolló el análisis de los Modos y Efectos de las Fallas (AMEF) denominadas críticas, de acuerdo a las valoraciones de criticidad que anteceden, a través de las correspondientes hojas de información, análisis modal y decisiones de acuerdo al efecto de cada una.

ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y EFECTOS

SISTEMA DE BOMBEO		TIPO DE EQUIPO: BOMBA	MODELO:JP 300	MARCA: JACTO		
			ESTADO: NUEVO	CAPACIDAD: 300 l/min		
		AÑO DE FABRICACIÓN:2013	N° DE OVERHAULT: 0	N/S: 69664M20	MES: Octubre 2022	
SISTEMA	PARADA	COMPONENTE O PIEZA	MODO DE FALLO	EFECTOS DE FALLO	POSIBLES CAUSAS	CONTROLES
Desgaste en las estrías del cigüeñal	Falla en la transmisión de torque efectivo del motor hidráulico a la BDP	Acoplamiento del eje cardán	Ruido y vibraciones durante el enganche y desenganche de la toma de fuerza del tractor al accionar la bomba por la transmisión del cardan, se generan frecuentes impactos y fuerzas de roce excesivas sobre el material por el giro a altas revoluciones, con la aparición de fuerzas centrífugas desbalanceada o no uniformes.	Bajo rendimiento de la bomba ya que no se transmite eficientemente los torques necesarios y las RPM del tractor hacia la BDP generando baja presión, bajo caudal en el sistema de fumigación. Al aflojarse los acoples de unión entre ejes de transmisión, éstos presentan desalineamiento pronunciado y consecuente vibración en la unidad	Cargas de impacto y rozamiento excesivo por desalineamiento y ajuste tipo apriete excesivo durante el montaje y desmontaje.	Evaluar Componente al momento de acoplar el motor hidráulico al eje cardán así como medir la los ajustes necesarios con las holguras correspondientes al ajuste solicitado, además de usar las herramientas adecuadas como dilatadores térmicos o prensas axiales.

Fugas excesivas de aceite por el retén de cigüeñal.	Falla por fugas de aceite drenando de los retenes.	Retenes del eje cigüeñal de la BDP	Desalineamiento del cardan y cargas axiales no admisibles, se presenta drenaje de aceite del eje.	Disminución del nivel de aceite de lubricación del eje cigüeñal ocasionando recalentamiento interno de piezas como bielas y seguros.	Desgaste excesivo de los retenes.	Inspección del estado de los retenes y de posibles fugas de aceite. Evaluar el reemplazo de retenes con mayor resistencia al desgaste y agrietamientos.
Roturas de carcasa especialmente en bases de fijación de bomba.	Falla por fractura de parte externa de la carcasa de BDP.	Carcasa de bomba.	Fractura frágil por carga de impacto de biela u otra pieza en movimiento desacoplada.	Parada de bomba por partes o elementos expuestos.	La rotura de piezas internas como biela y seguros impactaron sobre carcasa, debido a cargas excesivas por desalineamiento de acoplamiento eje cardan.	Inspección del estado de la superficie externa de la carcasa para verificar presencia de fisuras o picaduras que inician el proceso de fractura de la carcasa. Evaluar el reemplazo del sistema de transmisión y alineamiento programado.
Roturas de cilindro guía del pistón de bomba	Falla por fractura de cilindro guía del pistón de BDP	Cilindro guía de pistón de BDP	Fractura dúctil por cargas no axiales en el pistón y holguras no concéntricas entre pistón y cilindro.	Parada de bomba por partes o elementos expuestos.	Rotura del aro sujetador o pieza seguro de bielas y desalineamiento lateral de biela.	Inspección del estado de los cilindros para verificar presencia de fisuras o picaduras que inician el proceso de fractura de la carcasa. Evaluar el reemplazo del sistema de transmisión y alineamiento programado.
Ralladuras de los puños de cigüeñal.	Falla por desgaste y rozamiento excesivo	Eje cigüeñal	Desprendimiento de material por ralladura de bielas y cargas excesivas.	El asiento de las bielas no es adecuado con lo cual la presión generada no es la adecuada.	Rozamiento excesivo entre puño de cigüeñal y asiento de biela.	Inspección de ruidos y vibraciones en eje cigüeñal lo cual aparece por falta de ajuste respectivo de asiento de biela. Alineamiento eficiente de eje cardan y eje estriado

Recalentamiento en toda la carcasa de la bomba.	Falla por rozamiento excesivo	Carcasa de BDP	Incremento de temperatura de operación de elementos móviles	Desgaste prematuro de retenes y consecuente desalineamiento de ejes.	Rozamiento excesivo entre ejes y retenes. Falta de aceite impide una adecuada lubricación generando fricción excesiva.	Inspección de superficies en contacto como ejes y chumaceras o rodamientos o retenes. Evaluar alineamiento eficiente de ejes estriados y cardan.
Fugas de aceite por el tapón de desfogue	Falla por fugas de aceite drenando de los tapones.	Retenes y tapones de la BDP	Drenaje de aceite por retenes y tapones.	Disminución del nivel de aceite de lubricación del eje cigüeñal ocasionando recalentamiento interno de piezas como bielas y seguros.	Producto del recalentamiento se produce el deterioro y desgaste de cañerías, sellos de lubricación ocasionando fuga de aceite. La bomba está trabajando a su capacidad máxima durante horas prolongadas.	Inspección del estado de los retenes y tapones y de posibles fugas de aceite. Evaluar el reemplazo de retenes con mayor resistencia al desgaste y agrietamientos así como de los tapones.
Rotura de Cilindros internos de la BDP.	Falla por fractura de cilindro interno de la BDP	Cilindros internos de la BDP	Fractura dúctil por cargas no axiales en el pistón y holguras no concéntricas entre pistón y cilindro.	Paralización total de operación al dañarse elementos internos de la bomba.	Ocasionada por falla de biela. La falta de control y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la alta vibración en el acople bomba - motor.	Se solicitará reparación de emergencia correctivo/cambio de cilindros. Evaluar un eficiente alineamiento de la transmisión entre ejes estriados y eje cardan.

Disminución de caudal de agua hacia el sistema.	Rendimiento de BDP bajo.	Tuberías de descarga y admisión de la BDP	Baja performance de la BDP en cuanto a caudal bombeado y presiones de descarga bajas.	Bajo caudal de aportación al sistema de pulverización de la máquina y presiones bajas de suministro.	Se produce por desalineamiento y desgaste de piezas internas, así como los rpm de accionamiento muy bajas.	Se paraliza la unidad para el reemplazo de piezas y repuestos. Evaluar el aumento de potencia de accionamiento y velocidad de rotación de accionamiento previos a un eficiente alineamiento de ejes.
Débil ajuste de ejes y acoples con presencia de alta vibración en el conjunto bomba - motor.	Excesiva vibración de los componentes.	Ejes estriados y junta cardán	Desbalanceo dinámico por presencia de vibraciones laterales excesivas y ruido en acoplamientos.	Paralización de la unidad por orden de la Jefatura de Mantenimiento, continuar trabajando en esas condiciones perjudica la vida útil del equipo.	La falta de control y mantenimiento predictivo oportuno, incrementaron la alta vibración en el acople bomba - motor.	Se paraliza la unidad para el ajuste adecuado. Evaluar el desgaste de componentes y holguras admisibles previos a un eficiente alineamiento de ejes.
Erosión superficial de estructura debido al contacto permanente con agua.	Superficies metálicas de la estructura deterioradas y con corrosión excesiva.	Estructura soporte de conjunto BDP y eje cardán	Desprendimiento de material por erosión y corrosión superficial.	Contaminación de aceite hacia la parte interna de las fundas que llega a través de la superficie de ejes hasta el cuerpo interno de la bomba, produciéndose desgaste inmediato de éstos y consecuente baja de producción de bombeo de agua hacia el sistema de aspersión.	En tiempos prolongados sin mantenimiento de los equipos de bombeo, se presenta Corrosión alta en fundas debido al contacto con agua dura de pozo profundo.	Se paraliza la unidad para el mantenimiento adecuado. Evaluar protección superficial con pinturas o esmaltes adecuado y su protección con guardas.
Disminución de espesor de la estructura soporte de BDP.	Superficies metálicas de la estructura desgastadas.	Estructura soporte de conjunto BDP y eje cardán	Desprendimiento de material por corrosión atmosférica y	Desajustes de piezas en contacto del equipo de bombeo, pues la estructura de	Operación o trabajo permanente del equipo de bombeo	Inspección del estado superficial y espesores de las estructuras. Evaluar el pintado y conservación de las superficies de las

			<p>humedad permanente.</p>	<p>la bomba cumple funciones de soporte y transmisión de todo el sistema de bombeo.</p>	<p>e inevitable condición de atmosferas húmedas.</p>	<p>estructuras del sistema BDP y trasmisiones.</p>
--	--	--	----------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	----------------------------------------------------

Tabla 8: Análisis de fallas y propuestas de mejora.

Fuente: Elaboración propia

4.4. Análisis y simulación computacional de las propuestas que permitan mejorar la performance de la bomba de desplazamiento positivo.

Del AMEF desarrollado en la sección anterior 4.3, y considerando como fallas continuas y relacionadas a la baja performance de la BDP, las bajas rpm de funcionamiento en valores por debajo del recomendado por el fabricante, y un eficiente proceso de alineamiento entre ejes y cardán, se propone mejorar su desempeño en este tipo de bombas reemplazando el sistema de accionamiento de la bomba JP 300 A, considerando la transmisión de movimiento del motor hidráulico a la BDP acoplada y alineada adecuadamente y proponer un tractor con velocidad de rotación tal que genere una velocidad de rotación de 540 rpm en el motor hidráulico.

Para argumentar las mejoras, usando los modelos de piezas y conjuntos del eje cardan y la DBP con sus 6 cilindros, se procedió a simular el funcionamiento de la BDP usando solidworks motion, obteniendo los parámetros necesarios de consumo de potencia, momentos o torques de accionamiento, desplazamientos y velocidades del pistón dentro de los cilindros. Para esta simulación se usaron los parámetros de velocidad de accionamiento del eje cardán de 385 rpm con fuerzas de presión de 9425.09N correspondientes a una presión de descarga de 500 psi, valores máximos admisibles, con lo cual se obtuvo que la potencia consumida por el motor hidráulico alcanza los 9476 W o su equivalente de 12.89 CV, resultando en un bajo rendimiento mecánico de la BDP de 53.7%, lo cual demuestra el bajo performance de la BDP. Luego se simuló el sistema cardan BDP usando una velocidad de 540 rpm con lo cual se comprobó la potencia de accionamiento de 23.45 CV correspondiente al caudal óptimo de 300 l/min, siendo el rendimiento máximo a alcanzar de 86.22% de acuerdo a las potencias aprovechadas por el sistema de transmisión instalado.

De los resultados obtenidos, se verifica el comportamiento cíclico de la potencia consumida en la BDP durante su operación, al ser una bomba de doble acción con 6 cilindros de trabajo. Así mismo, se observa que los torques transmitidos en las condiciones actuales son de 492.95 Nm mucho mayores

que el torque admisible de 311.94 Nm, con lo cual se demuestra el exceso de carga en los ejes estriados de transmisión de potencia en el cardán, de allí que se presenta desgaste o fractura en las estrías, seguros de biela y bielas, cilindros guías e internos de la BDP, además de la presencia de picos y valles con efectos vibracionales en los desplazamiento y variabilidad de los torques transmitidos.

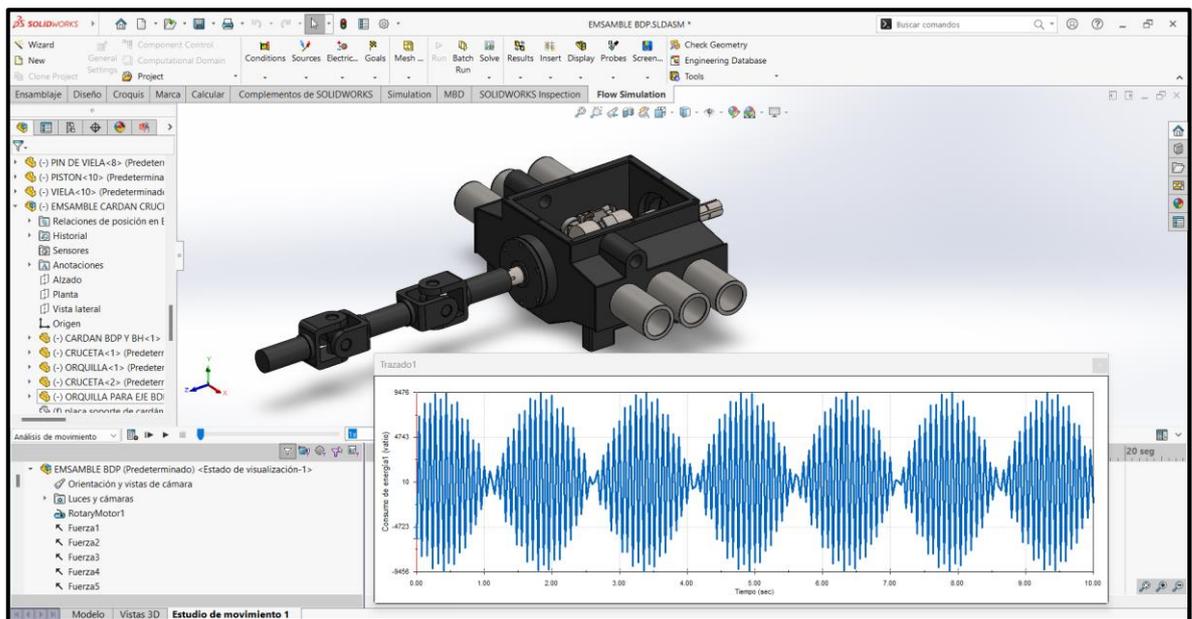


Figura N°19: Resultados del análisis dinámico de la BDP y eje cardán usando SW motion

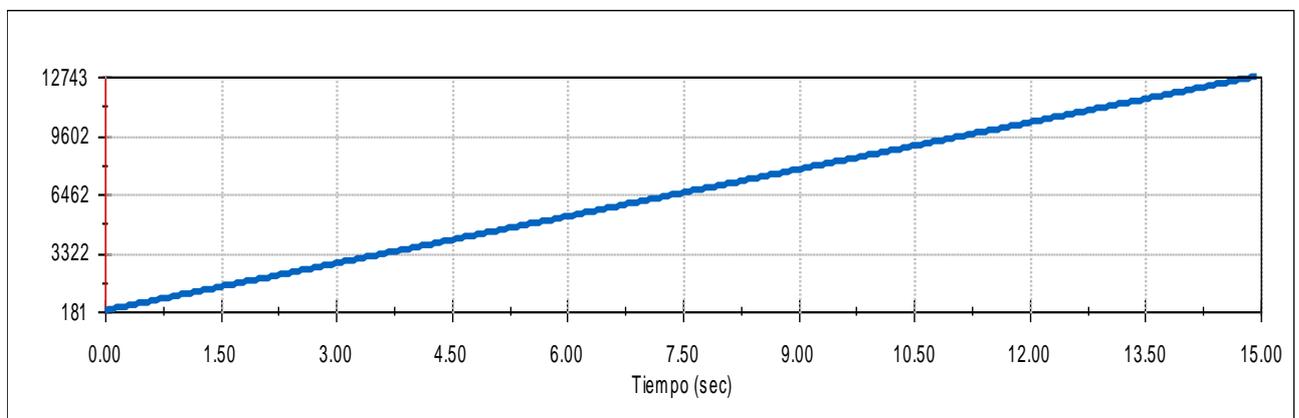


Figura N°20: Resultados del consumo de energía de la BDP y eje cardán usando SW motion

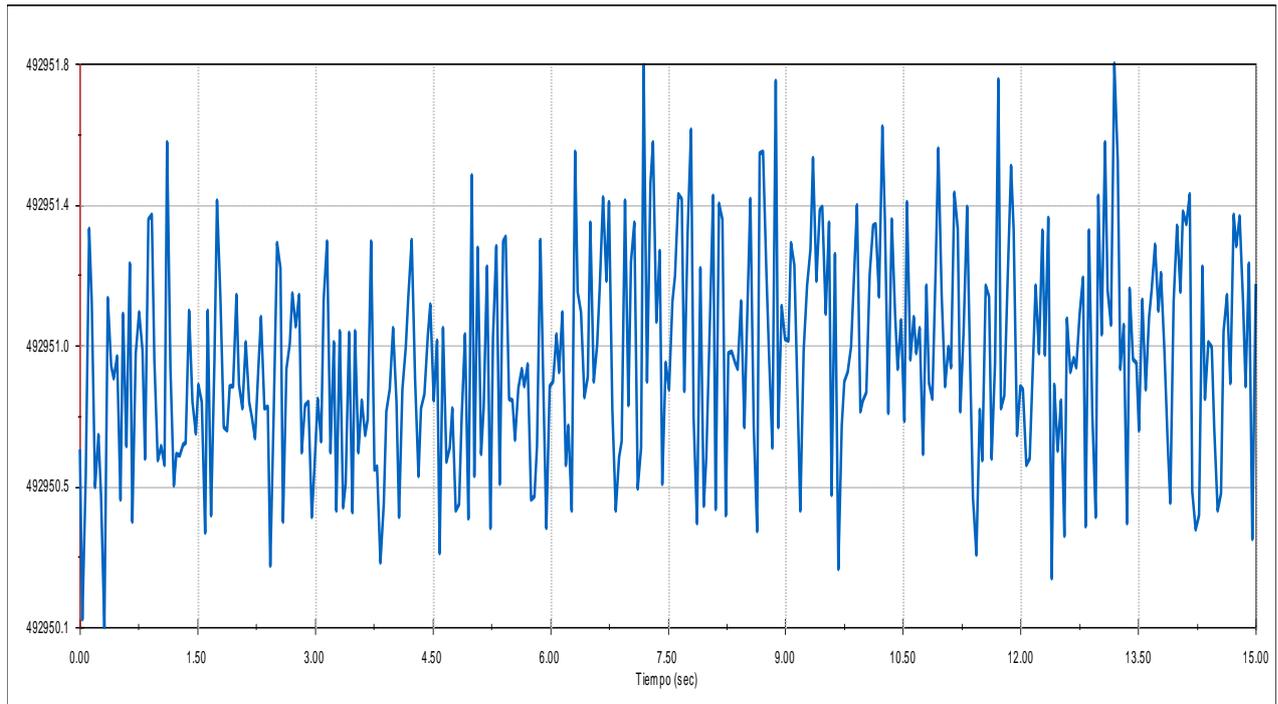


Figura N°21: Resultados del momento rotacional o torques transmitidos de la BDP y eje cardán usando SW motion.

Así mismo se logró obtener los parámetros cinemáticos de operación de la bomba con lo cual se demuestra que la operación eficiente de la bomba se lograría con un mayor rpm de acuerdo a la especificación técnica del fabricante.

Se calcularon los caudales de descarga de la bomba en función de la velocidad de rotación de accionamiento, de la carrera de cada pistón según la configuración de las relaciones de posición del ensamble de la BDP, diámetro del pistón y número de cilindros de doble efecto, llegando a determinar una carrera bajo un desplazamiento promedio de 63 mm en cada pistón, tal como se muestra en la figura 21, moviéndose a una velocidad promedio de 1.31 m/s, mostrada en la figura 22, para una velocidad de rotación de 385 rpm, con lo cual se lograría un caudal de descarga de 198.94 l/min, muy por debajo del caudal óptimo de operación de 300 l/min de la BDP, lo cual nos permite verificar que la velocidad de rotación debe ser mayor para aumentar el caudal de descarga de la BDP, logrando demostrar que para una velocidad de 540 rpm se lograría un caudal de 279.03 l/min. La diferencia de estos caudales con los recopilados en campo se sustenta en la incertidumbre y error

experimental de medición de los caudales, así como la no consideración de los efectos de rozamiento cinemáticos entre las piezas en contacto que por su elevado número, el software licenciado disponible no puede aplicarlos.

A continuación, se muestran los resultados de los desplazamientos alternativos y velocidades lineales del pistón en uno de los cilindros de la BDP, observando el comportamiento no uniforme de la carrera de los pistones, lo cual verifica la presencia condiciones inestables que delimitan una entrega uniforme de caudal y presiones adecuadas por la BDP.

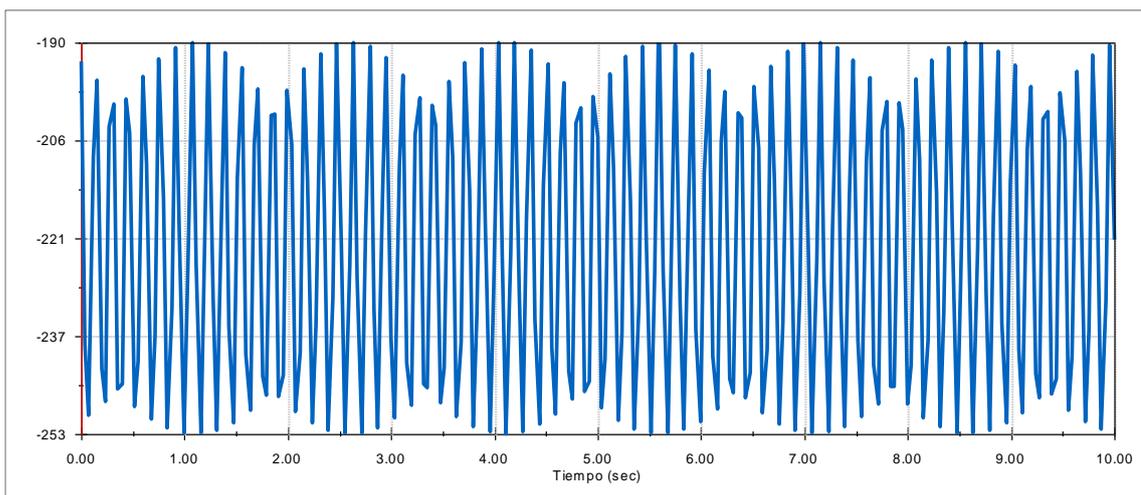


Figura N°22: Resultados del desplazamiento lineal de pistones de la BDP usando SW motion.

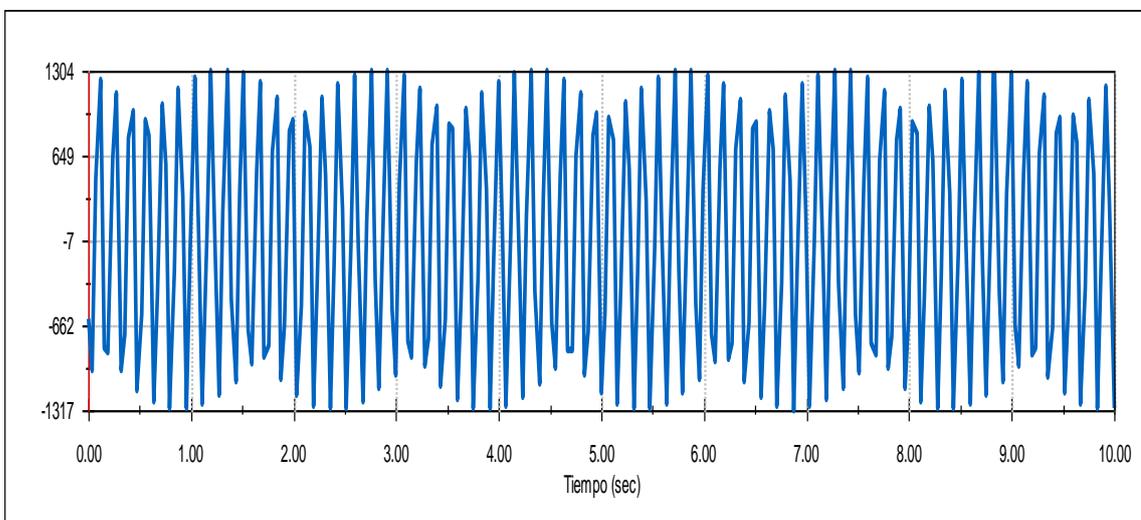


Figura N°23: Resultados de velocidad lineal de pistones de la BDP usando SW motion.

Soluciones para reparación de la bomba JP 300A accionada con cardan

De las acciones de control o mejoras establecidas en el AMEF realizado, se planteó la estrategia de implementar acciones de mantenimiento correctivo y preventivo hasta las 5000 horas de operación, lo cual permitió obtener las siguientes correcciones o mejoras en los activos involucrados, entre los cuales podemos describir de manera sucinta:

- Eliminación de fugas de aceite.
- Bases de la estructura soporte de bomba en buen estado.
- Reten de cigüeñal en buen estado.
- Eliminación de desgaste de puños de cigüeñal.
- Eliminación de desgastes en asiento de biela.
- Cilindros sin roturas o fisuras y seguros sujetadores de bielas sin desgaste ni deformaciones o fracturas.
- Eliminación de desgaste de estrías en el eje de cigüeñal.

Soluciones para Reparación de la bomba accionada por motor hidráulico

Mantenimiento preventivo de 500 horas:

- Se procedió a fijar la bomba en una base solida
- Se procedió a pintar y proteger las superficies en contacto con agua.
- Se procedió a realizar un eficiente proceso de alineamiento usando servicios de terceros.
- Se instaló un cardan de 0.40 cm con crucetas (para eliminar vibraciones)
- Luego se instaló un motor hidráulico de 620 rpm (entre 22 y 24 CV)
- Se instauró acciones preventivas de inspección visual y térmica de los componentes para identificar recalentamiento y aparición de fisuras y deformaciones en las piezas, así como los limites admisibles de ruido esperados.

REPORTE DE CARACTERIZACION DE PIEZA FRACTURADA:

Seguro de biela.

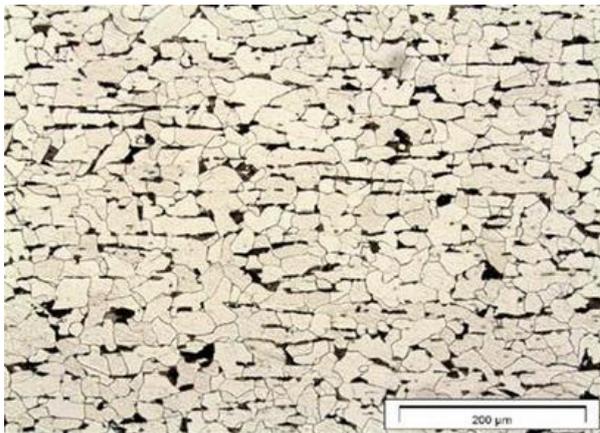
Característica: Acero puesto en laboratorio

1.- ENSAYO DE DUREZA

Nº Ensayo	Numero de dureza (HB)	Promedio (HB)
1	110	115
2	117	
3	118	



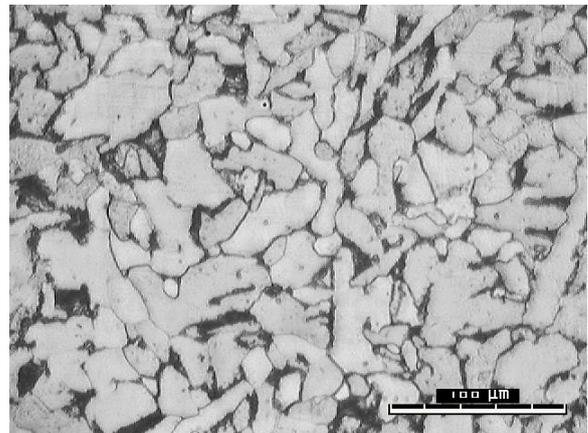
2.- METALOGRAFIA



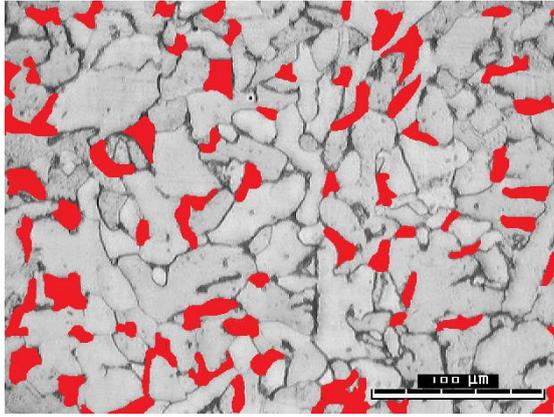
Caracterización metalográfica y resistencia a la fractura inducida por hidrogeno en un acero microaleado X65 bajo Mn y alto Nb para el servicio SOUR - Scientific Figure on ResearchGate.

Available from:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Comparacion-del-acero-ASTM-A36-con-un-acero-microaleado-ASTM-A572-GR-50_fig2_309419021
[accessed 30 Nov, 2022]



Microfotografía obtenida en el proceso de cauterización de muestra puesta en laboratorio, de la comparación con la figura de la derecha se deduce la similitud de las mismas



La cuantificación del porcentaje de carbono haciendo uso de software de análisis de imagen, genera en promedio un valor de 0.31%

Por lo tanto, ya que el valor de dureza, la metalografía y el porcentaje de carbono son valores dentro del rango promedio de ficha técnica de acero ASTM A36, podemos señalar la coincidencia del mismo.

Análisis estructural de piezas o componentes:

Del AMEF se identifica que las piezas de funcionamiento crítico son el seguro de biela, cilindros y seguros, los cuales sufrieron la fractura de sus partes. Respecto a la resistencia estructural de los elementos de la BDP se propone fabricar la pieza seguro de biela y la biela de un acero aleado, con mayor resistencia mecánica que el acero ASTM A36, del cual están fabricados actualmente, tal como se determinó en el análisis metalográfico (ver reporte de caracterización en anexos) realizado en laboratorio especializado de la pieza en mención, logrando identificar sus propiedades mecánicas, pues debido a las cargas internas sometidas no resistiría cargas adicionales a diferencia del nuevo material propuesto.

Esta mejora se argumenta a partir del análisis y simulación bajo carga estática realizada en el software solidworks simulation de la pieza en mención fabricada con acero ASTM A36, sometida a cargas máximas de trabajo como la presión admisible de 500 psi que soporta, el cual nos arroja un factor de seguridad de 0.99 con una tensión máxima de Von Mises de 24.6 MPa. (ver informe de reporte de análisis tensional en anexos).

Resultados del estudio de análisis estructural de pieza crítica

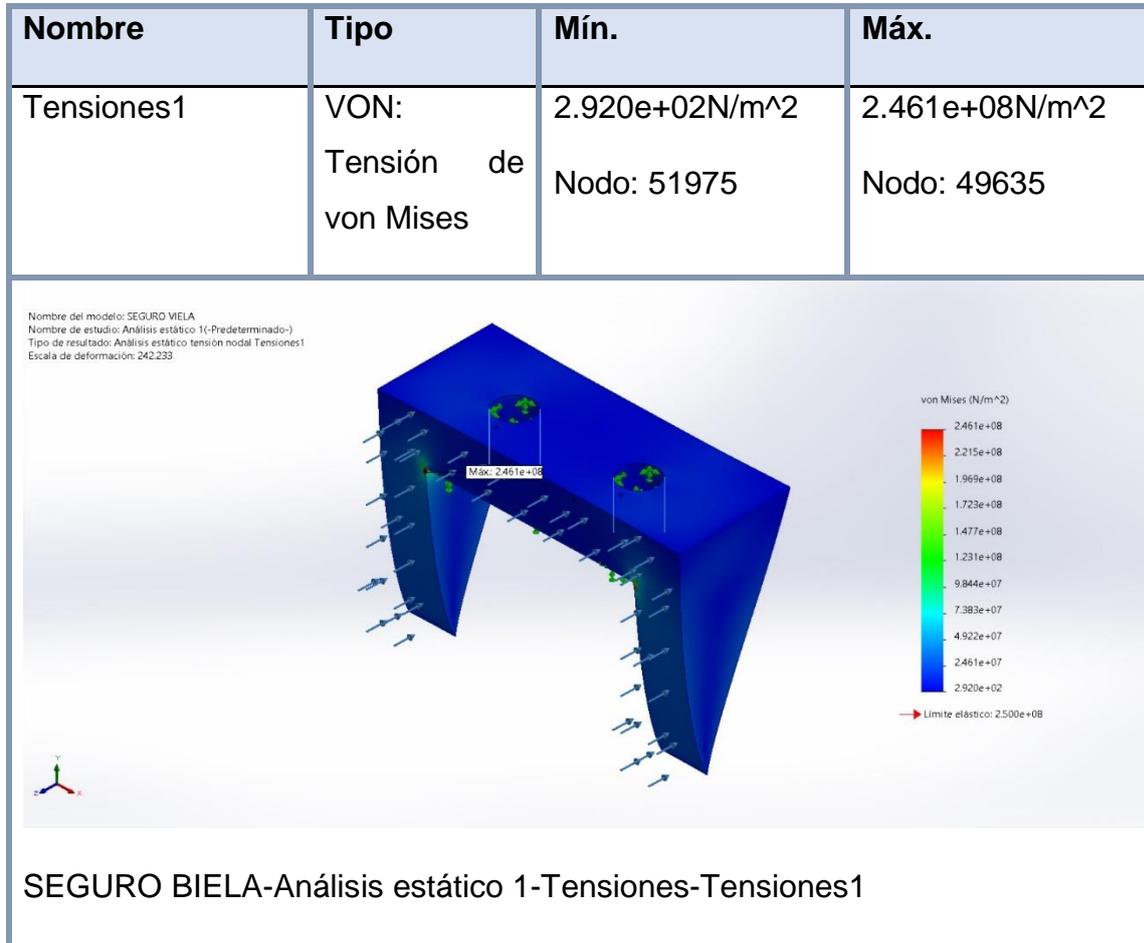


Figura N°24: Resultados de tensiones internas de Von Mises en seguro de biela de la BDP usando SW simulation.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 1	1.598e- 02mm Nodo: 2686

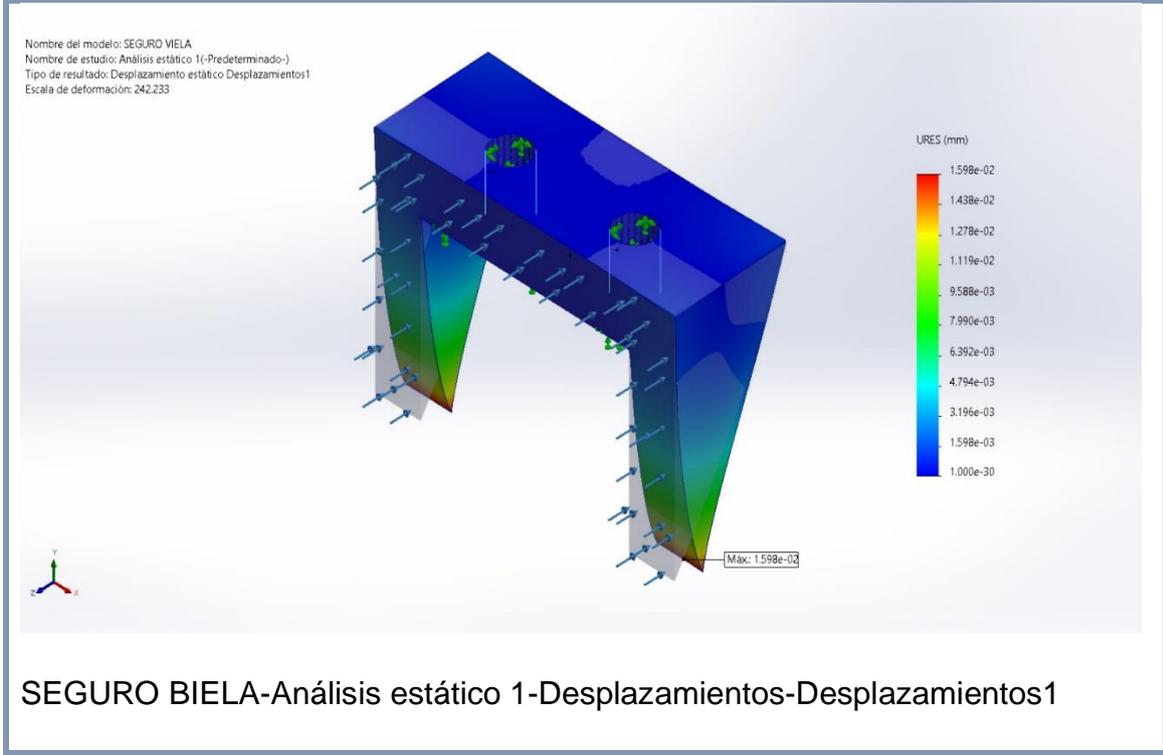


Figura N°25: Resultados de desplazamientos en seguro de biela de la BDP usando SW simulation

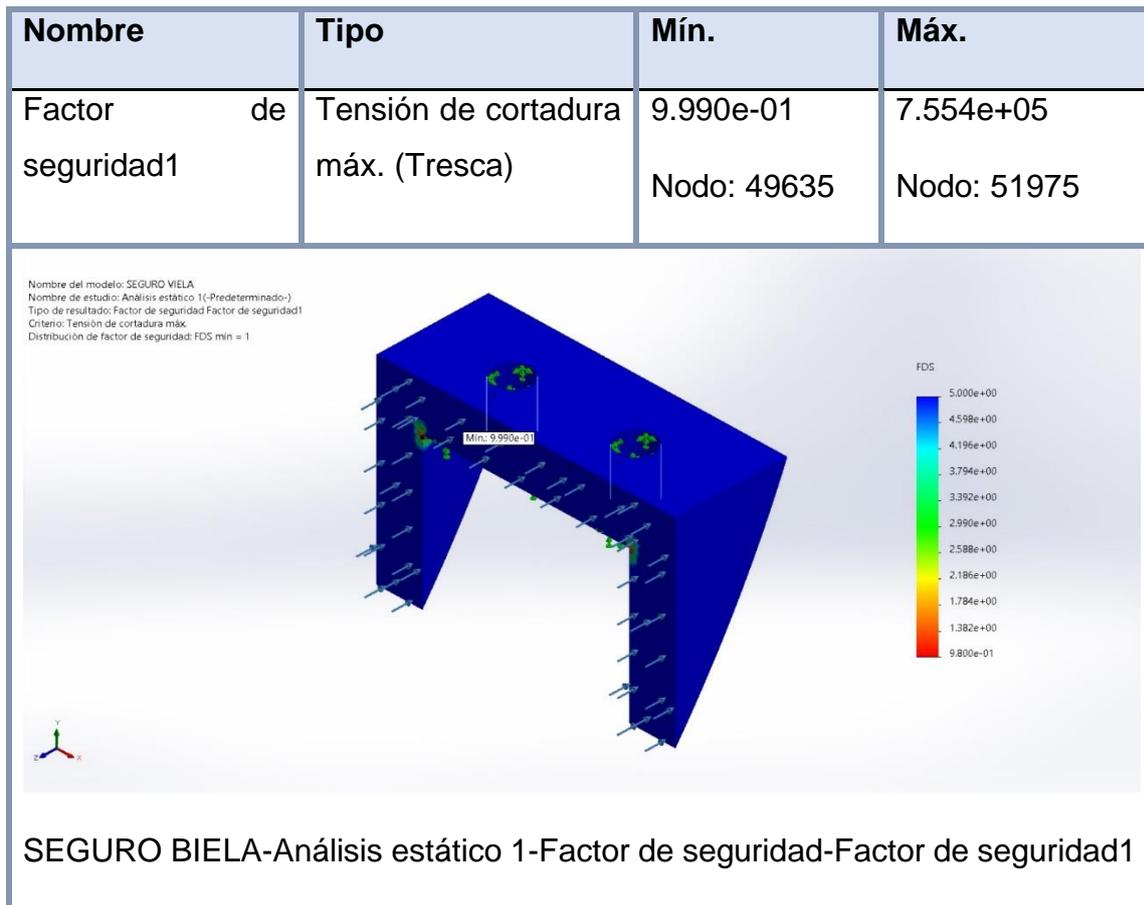


Figura N°26: Resultados de factor de seguridad en seguro de biela de la BDP usando SW simulation

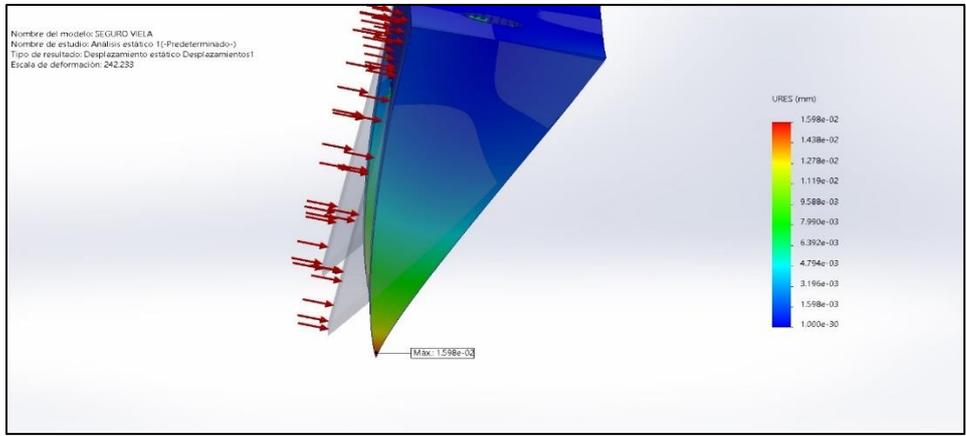
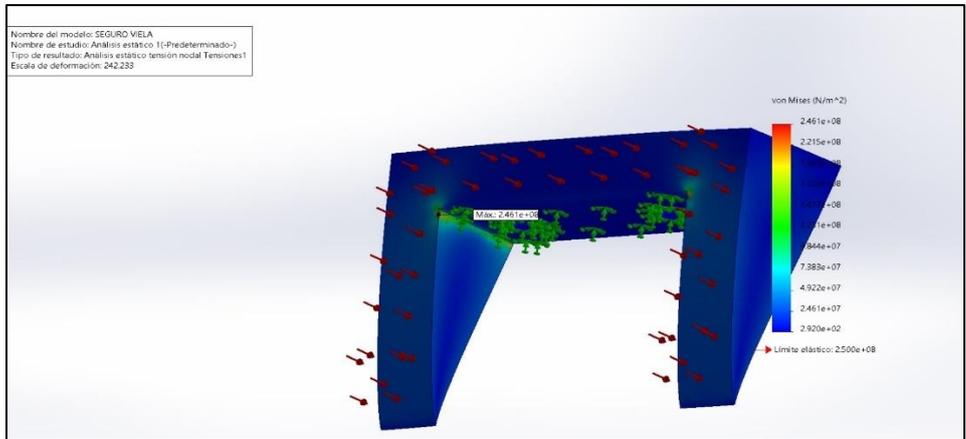
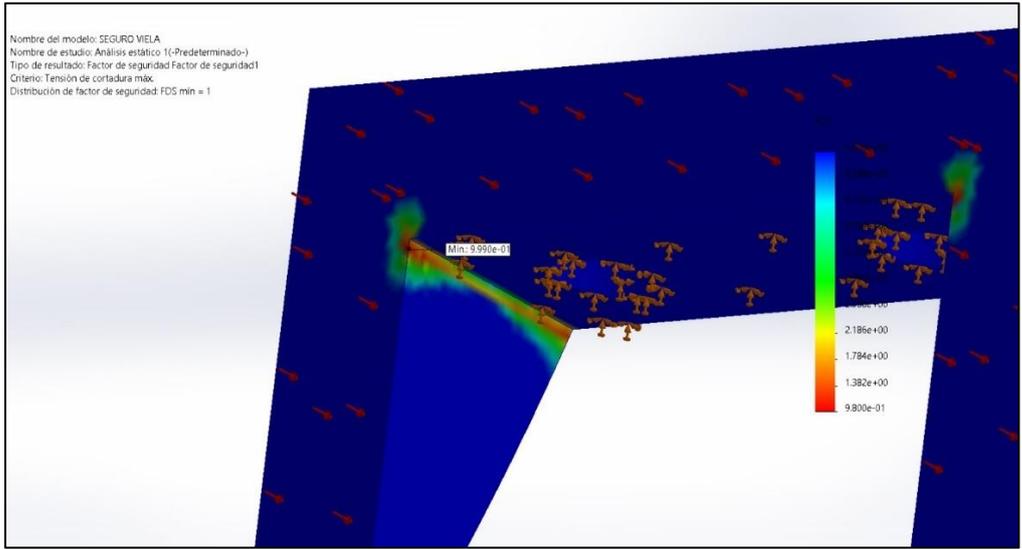


Figura N°27: Resultados detallados del análisis estructural en seguro de biela de la BDP usando SW simulation

Análisis fluidodinámico del sistema de bombeo:

Se modeló el Sistema de tuberías de las líneas de admisión y descarga de la BDP con la finalidad de evaluar las presiones necesarias que la bomba debe generar para un caudal adecuado a las presiones respectivas.

También se realizó el análisis y simulación fluidodinámico del proceso de succión e impulsión de la BDP, usando solidworks flowsimulation, verificando la normal trayectoria del fluido y obteniendo la potencia hidráulica, presiones de descarga y el rendimiento de la BDP para las condiciones actuales, demostrando así que con un aumento del caudal de bombeo a 300 l/min, al aumentar las rpm a 540 se lograría aumentar el rendimiento y potencia hidráulica de operación de la BDP.

En la figura 28 se observa que para los datos de caudal a 385 rpm la BDP entrega un caudal de 198.94 l/min o 3.316 l/s, con lo cual las presiones de succión alcanza un valor de 54243.74 Pa (7.87 psi) y una presión de descarga de 3491225.31 Pa (506.36 psi), verificando que las presiones de trabajo no dependen del caudal entregado, sin embargo, al no operar con las rpm de diseño, la potencia hidráulica entregada no es la óptima generando un consumo de energía de 11397.03 W (15.5 CV) alcanzando un rendimiento del 65.98%.

Comparando estos resultados con la ficha técnica del fabricante, se puede inferir que la BDP estaría operando por debajo de sus prestaciones óptimas de funcionamiento o performance, ya que no estaría entregando los 300 l/min a la presión máxima de 500 psi, debido a las bajas rpm de accionamiento por limitaciones del tractor y motor hidráulico, además de los problemas de desalineamiento y cargas excesivas de torque presentadas.

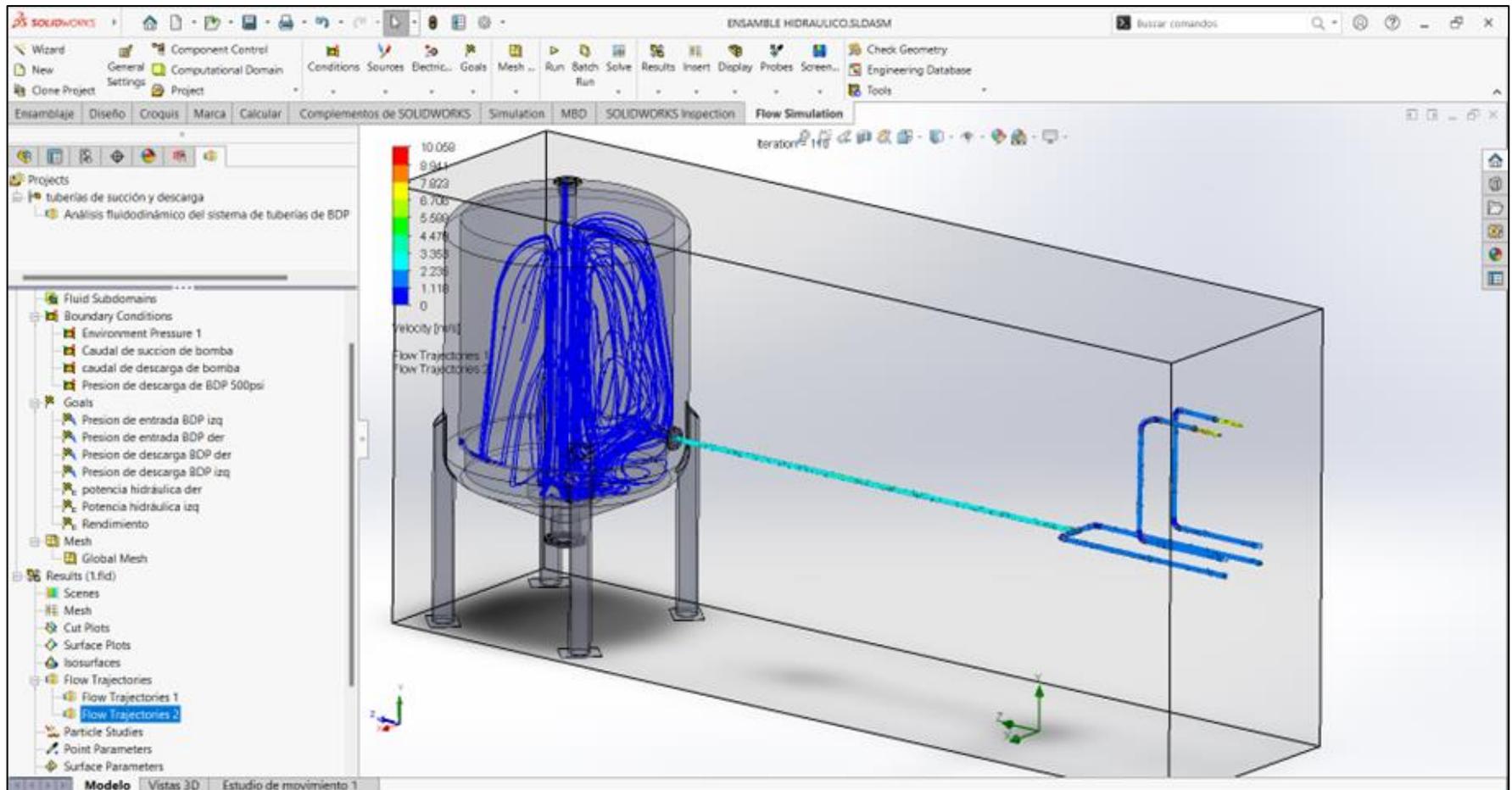


Figura 28: Líneas de corriente del flujo generado por la BDP en las líneas de succión y descarga usando solidworks flowsimulation.

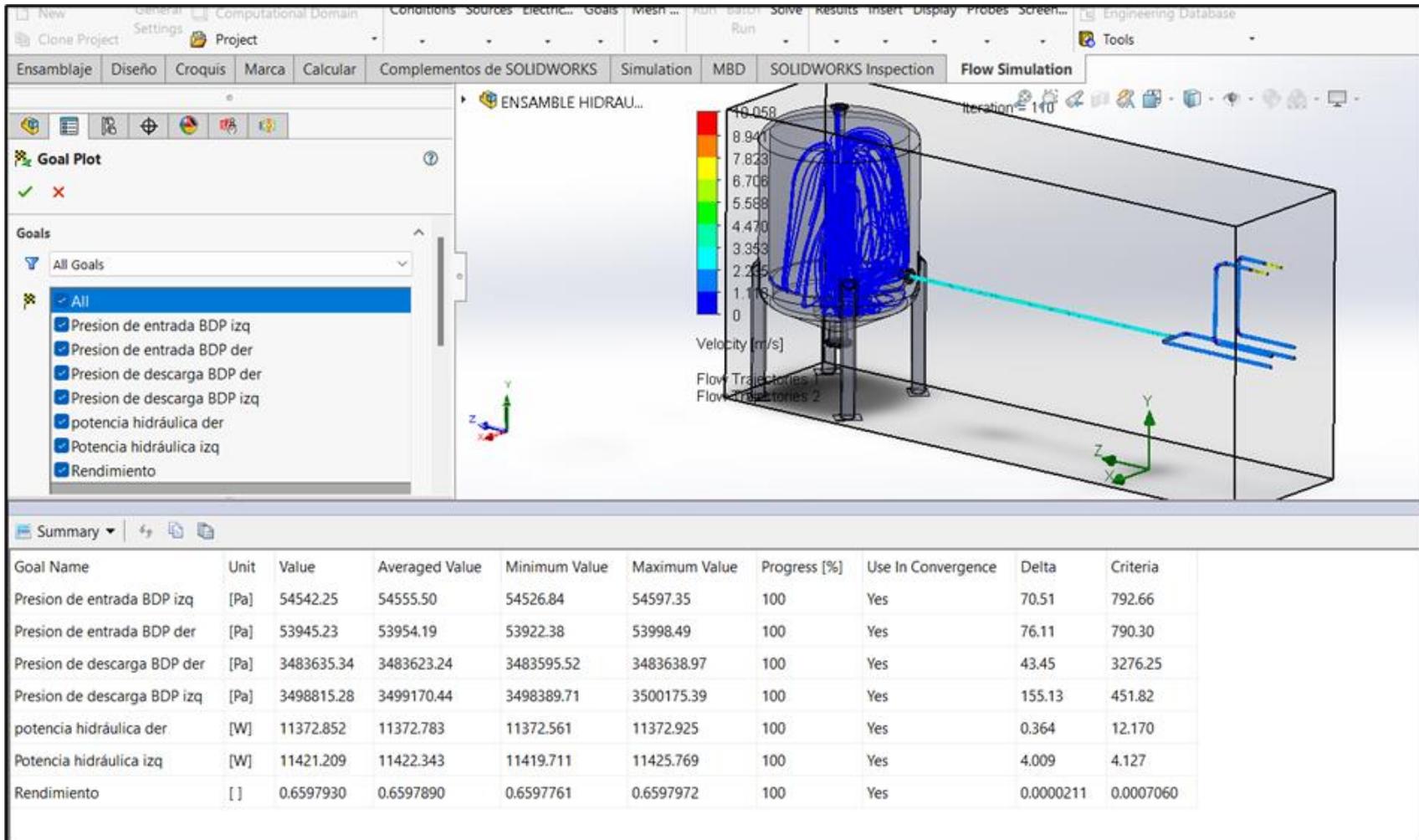


Figura 29: Parámetros del flujo generado por la BDP en las líneas de succión y descarga usando solidworks flowsimulation.

4.5. Evaluación económica de la viabilidad de las soluciones.

Las soluciones que permitirán mejorar la performance de la BDP involucran la adquisición de nuevos componentes que logren aumentar los rpm de la bomba a lo recomendado por el fabricante, disminuyendo los desalineamientos y posibles fugas de fluidos.

A continuación, se muestran las adquisiciones a considerar:

Tabla 9: Costos de inversión y servicios

ÍTEM	MATERIAL y/o SERVICIO	CANTIDAD	COSTO (soles)
1	Base para fijación de motor hidráulico	1	580.00
2	Reparación de piezas dañadas y reemplazo de retenes	1	970.00
3	Motor hidráulico charlynn de 600 rpm	1	2700.00
4	Mangueras hidráulicas de 2500 Psi	2	386.00
5	Sistema de transmisión mejorado (cardán convencional)	1	1150.00
6	Actividades de mantenimiento preventivo (cada 500 hrs)	1	1930.00
7	Insumos, materiales y herramientas	1	1500.00
	Costo total		S/.9216.00

De datos del proveedor se obtiene que el Costo de una bomba de desplazamiento positivo Jacto JP 300 nueva es de 8200 dólares INCLUIDO IGV (31652.00 soles) con lo cual queda demostrada la viabilidad de las soluciones al disponer de un gasto mucho menor que el de reemplazar a la BDP actual.

Además, si se regula que la BDP opere a 540 rpm con lo cual entregaría un caudal de 300 l/min, la productividad de la maquinaria pulverizadora se incrementaría, reduciendo los tiempos de servicio o abarcar mayores áreas en un mismo periodo o ciclo de operación de la BDP. Por motivos de alcance de esta investigación no se recopiló información de los costos operativos del servicio involucrado con la BDP JP-300 A.

V. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se infiere que el mejoramiento de la performance de la BDP JP 300 A es factible, dado que se demostró que los valores actuales de los parámetros de operación de la BDP están por debajo de los valores recomendados por el fabricante, mostrados en las tablas 5 y 6, no obstante, con la implementación de acciones preventivas y correctivas se lograría aumentar el caudal de descarga y funcionamiento uniforme de los componentes.

Con el modelamiento CAD 3D de las piezas se pudo identificar la criticidad de las piezas en las que su posible falla, lleva a la parada intempestiva de la BDP además de permitir aplicar el análisis y simulación computacional en los dominios cinemáticos, cinéticos y de pérdidas mecánicas por rozamiento entre piezas, como se mostraron en las figuras 19, 20 y 21, obtenidas de la simulación dinámica de la BDP, logrando determinar la potencia necesaria de accionamiento en el eje cardán, verificando la baja eficiencia de la BDP, respecto a la especificada por el fabricante.

Con el análisis metalográfico realizado permitió caracterizar a la pieza crítica de falla frecuente, fabricada de un acero ASTM A36, cuyos resultados son sustentados en las referencias citadas en el informe de caracterización del material estudiado de la pieza crítica seguro de biela, con lo cual, se verifica que la presión máxima o admisible por el sistema de bombeo, haría fallar la pieza por deformación en fluencia, demostrado en el análisis estructural de la pieza seguro de biela, tal como se muestra en las figuras 24, 25 y 26.

Con el análisis y simulación fluidodinámica se logró demostrar que el rango de presiones de succión y descarga se lograrán al elevar los rpm de accionamiento con lo cual el caudal se elevaría a los 300 l/min y la eficiencia o rendimiento mejoraría, tal como lo establece Almandoz et.al. (2007) en sus apuntes de análisis de máquinas hidráulicas.

Los resultados del AMEF permitieron establecer las acciones correctivas y preventivas pertinentes establecidas por Moreno (2017), que, en este caso, se aplica para la no aparición de desalineamientos, roturas y desgaste de los elementos, con lo cual se sustenta que las mejoras o posibles soluciones

repercuten directamente en la recuperación de la performance la BDP, motivo principal de esta investigación.

Las soluciones elegidas permiten establecer los costos estimados para su implementación, en aspectos generales o básicos, que, debido a limitaciones de acceso a información, y alcance de la investigación no se profundizó en su análisis económico, sin embargo, a las condiciones de operación analizadas, la empresa AFA GROUP, muestra factibilidad y rentabilidad económica en los servicios que presta con la maquinaria que usa la BDP JP-300 A.

VI CONCLUSIONES

- Se logró reconocer las piezas y conjuntos, identificando las piezas críticas, tolerancias y contactos admisibles, usando modelos CAD 3D, tales como la pieza seguro de biela que fue analizada estructuralmente sometida a cargas máximas admisibles y se recomienda su fabricación con nuevo material acero aleado para mejorar su resistencia mecánica.
- De los registros del análisis documental se logró obtener las fallas ocurridas en la BDP y los parámetros de operación que confirmaron la baja performance de operación de la BDP.
- Se aplicó la metodología del AMEF a las fallas recopiladas, con el cual se plantearon las mejoras o soluciones posibles a las fallas presentadas para luego demostrar mediante análisis y simulación computacional a nivel dinámico, estructural y fluidodinámico que son factibles de implementar y lograr mejorar la performance de la BDP JP 300 A.
- El mejoramiento de la performance de la BDP JP-300 A, se logra aumentando las rpm de accionamiento a valores cercanos a 540 rpm logrando un caudal de descarga de 279.03 l/min con una potencia de accionamiento de 21.8 CV logrando un rendimiento óptimo del 90.8% para un caso límite de presión de descarga de 500 psi en la línea de impulsión de la BDP analizada.
- De la evaluación económica de las soluciones propuestas se logró determinar que los costos de la mejora son mucho menores que el costo de instalar una nueva bomba JP 300 A.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar la implementación de las soluciones y medir el impacto de mejora de acuerdo a indicadores de la estrategia de mantenimiento a utilizar.
- Evaluar nuevas configuraciones geométricas de las piezas de la BDP y analizarlas de manera dinámica y estructuralmente.
- Realizar el análisis de pérdidas hidráulicas modelando la máquina pulverizadora en su totalidad.
- Realizar una evaluación económica considerando el costo beneficio de operar la bomba con un mayor caudal de hasta 300 l/min con presiones de descarga de 500 psi.
- Elaborar un plan de mantenimiento predictivo articulado a las recomendaciones o mejoras que genera el AMEF.
- Realizar el análisis y simulación dinámica considerando todos los efectos de perdidas por rozamiento entre piezas o conjuntos de la BDP.

REFERENCIAS

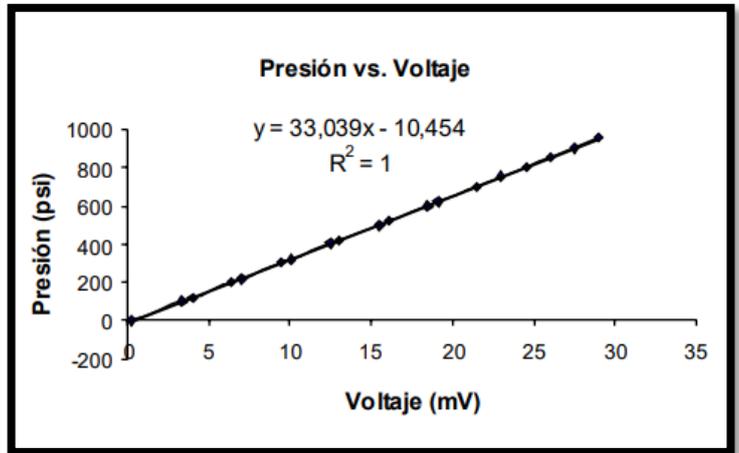
- Ugarte Ana & Bargaran Luis. (2018). *Diseño de una bomba de desplazamiento positivo operada con vapor para la recuperación de las purgas de condensado de los secadores en la producción de harina de pescado*. [Tesis para optar por el título profesional, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Unac. http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/3459/Ugarte%20la%20torre%20y%20Bargaran%20Vasquez_TITULO%20MECANICO_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ospina Carlos. (2005). *Instrumentación de una bomba de desplazamiento positivo para desalinización de agua por osmosis inversa*. [Tesis para optar por el título profesional, Universidad de los Andes]. Repositorio Uniandes. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/22112/u260757.pdf?sequence=1>
- Sporer, Jeff. (April 11, 2018). *Designing positive displacement pumps for modern food safety guidelines*. Processings solutions for process manufacturers. <https://www.processingmagazine.com/pumps-motors-drives/article/15587336/designing-positive-displacement-pumps-for-modern-food-safety-guidelines>
- Gunt Amburg. (s.f.). *Bombas de desplazamiento positivo*. Recuperado el 21 de mayo de 2022, https://www.gunt.de/images/download/positive-displacement-pumps_spanish.pdf
- García Mercedes. (2014). *Herramientas de diseño aplicadas a una bomba de engranajes trocoidal*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=97581>
- Machado Luis. (2020). *Selección y Aplicaciones Industriales de Bombas*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554363>
- Josifovic, A. Corney, J. Davies, B. (2014). *Modeling a Variable Speed Drive for Positive Displacement Pump*. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6878248>

- Moreno, Vicente. (2017). *Manual Guía para el Desarrollo del Análisis de Modo y Efecto de Falla*. Centro de Excelencia Médica en Altura By FIFA. <http://cufcd.edu.mx/calidad/v20/documentacion/CM/CEMA-MN-CA-2.pdf>
- Moubray, John. (2004). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM*. Soporte & Compañía. <https://soporteycia.com/system/files/articulos-pdf/rcm-articulo-mantenimiento-centrado-confiabilidad-03-dic-2021.pdf>
- Jacto, S.A. (2005). *Bomba de Agríquimicos JP-75/100/150/190/300 (Desmontaje y Montaje)*. Manual [Archivo PDF]. http://190.90.166.3:8085/edu-dms/public/uploads/prod_cat/440-BOMBA%20DE%20AGRIQU%20C3%8DMICOS%20JP.pdf
- Almandoz, J. Mongelos, M. Pellejero, I. (2007). *Apuntes de Máquinas Hidráulicas*. [Universidad Politécnica]. DOCPLAYER. <http://docplayer.es/6091352-Apuntes-de-maquinas-hidraulicas.html>
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación Sexta Edición*. Mc Graw Hill / Interamericana Editores. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Web de Solidworks Corporation. Productos y soporte del software de modelamiento de piezas y sistemas mecánicos. www.solidworks.com:

ANEXOS

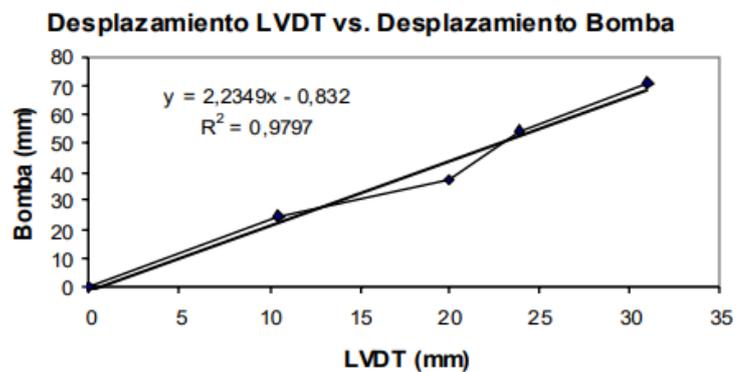
Anexo 1. Curva de Calibración Transductor de Presión

Presión masas (psi)	Voltaje transductor (mV)
0	0,17
120	3,98
200	6,37
300	9,41
400	12,46
500	15,47
600	18,51
700	21,51
800	24,54
900	27,53



Anexo 1.1 Curva de calibración mecanismo para medición del desplazamiento

Desplazamiento Bomba (mm)	Desplazamiento LVDT (mm)
0	0
24,5	10,5
37	20
54,2	23,9
71	31



GUÍA DE ENTREVISTA

ACOPLAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO EN LAS BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

La información que usted proporcionará será utilizada sólo con fines académicos y de investigación, por lo que se le agradece por su valiosa información y colaboración.

1. ¿A qué área de trabajo perteneces?
2. ¿Cómo era la forma de trabajo antigua de las bombas de desplazamiento positivo?
3. ¿Las aplicaciones en campo se cumplían?
4. ¿Antiguamente el mantenimiento a que tiempo se realizaba?
5. ¿Actualmente cómo se desempeña en campo la bomba de desplazamiento positivo?
6. ¿Antiguamente las bombas sufrían roturas internas?
7. ¿La bomba al sufrir roturas internas tenían solución o se podían reparar? Si ¿Por qué? No ¿Por qué?
8. ¿La instalación del motor hidráulico acoplado a la bomba dio resultados positivos para BDP?
9. ¿La instalación del motor hidráulico logro reducir los costos de mantenimiento de la BDP?

FICHA DE REGISTRO

**REGISTRO DE CALIBRACIÓN Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE
APLICACIONES DE PESTICIDAS – VOLÚMENES – APLICACIÓN DE
INSECTICIDAS – FUNGICIDAS – HERBICIDAS – LAVADOS**

Tractor

Fecha

Equipo

Zona o Filtrado

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos de Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (km/h)	Minutos/ Surco	# Surco/ Tanque	#Boquillas/ Surco	Presión (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# Total de Boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/Surco	Objetivo	Fenología	

Operador de Tractor

Operador de Equipo

Tercio Inferior

Tercio Medio

Tercio Superior

Jefe de Sanidad

Nombre

HOJA DE REGISTRO DE FALLAS EN LA BDP

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

	ÍTEM	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿Se produce desgaste en las estrías del cigüeñal?			
2	¿Existe fugas de aceite?			
3	¿Se genera sobrecalentamiento en la carcasa de la BDP?			
4	¿Ha ocurrido roturas internas en la BDP?			
5	¿Se ha producido el paro total de las actividades en campo por fallas críticas?			
6	¿Considera que se realiza un mantenimiento adecuado?			
7	¿Cuenta con stop de BDP en la empresa?			
8	¿El personal está capacitado para realizar una reparación eficiente?			
9	¿Ha ocurrido algún accidente durante el mantenimiento o instalación de la BDP?			

Firma del Experto

HOJA DE REGISTRO DE POSIBLES CAUSAS DE LAS FALLAS EN LA BDP

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" si considera que es una posible causa de fallas en la bomba BDP

ÍTEM	POSIBLES CAUSAS QUE INFLUYEN EN LAS FALLAS DE LA BDP	
1	La bomba está funcionando en seco	
2	Reten en mal estado	
3	La bomba funciona demasiado rápido para la aplicación	
4	Hay abrasivos en el líquido	
5	Mal estado de horquilla de cardan	
6	La colocación del cardan es incorrecta	
7	El ajuste de holgura es incorrecto para la aplicación	
8	Las partes internas de la bomba están desgastadas	
9	Se ha instalado el sello incorrecto	
10	La lubricación es inadecuada	
11	Incompatibilidad de materiales	
12	El impulsor está desalineado	
13	La placa de asiento está floja	
14	El tractor no tiene la capacidad adecuada para la potencia requerida de la bomba	

Firma del Experto

HOJAS DE REGISTRO DE PROBLEMAS EN LA BDP

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto:

DNI:

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora:

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" si considera que es un problema en la bomba BDP

PROBLEMAS EN LA BDP				
ÍTEM		SI	NO	Motivo
1	La bomba gira, pero no hay flujo			
2	El caudal de la bomba está por debajo de la capacidad esperada			
3	La bomba no produce la presión nominal			
4	La bomba desarrolla demasiada presión			
5	La bomba hace mucho ruido y presenta vibración excesiva			
6	La bomba se calienta			
7	Los sellos de la bomba presentan corta vida			
8	Las membranas presentan corta vida			
9	Desgaste excesivo en el interior de la bomba			

Firma del Experto

HOJAS DE REGISTRO

Trujillo, 05 de diciembre del 2022

Apellido y nombres del experto: Julca Verástegui Luis

DNI: 19336932

Teléfono:

Título/grados:

Cargo e institución en que labora: Universidad César Vallejo

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

	ÍTEM	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de recolección de datos está formulado con lenguaje apropiado y comprensible?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos guarda relación con el título de la investigación?	X		
3	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con la(s) variable(s) de estudio?	X		
5	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se desprenden con cada uno de los indicadores?	X		
6	¿Las preguntas del instrumento de recolección de datos se sostienen en antecedentes relacionados con el tema y en un marco teórico?	X		
7	¿el diseño del instrumento de recolección de datos facilitará el análisis y el procesamiento de los datos?	X		
8	¿El instrumento de recolección de datos tiene una presentación ordenada?	X		
9	¿El instrumento guarda relación con el avance de la ciencia, la tecnología y la sociedad?	X		

Firma del Experto

HOJAS DE REGISTRO -- APLICADAS

HOJA DE REGISTRO DE OBSERVACIÓN DE FALLAS EN LA BDP

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto: *Urguiaga Costillo Randy*

DNI: *41804299*

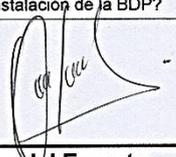
Teléfono: *915128723*

Título/grados: *Eng. Industrial*

Cargo e institución en que labora: *Jefe de producción.*

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" en las columnas de SÍ o NO.

	ITEM	APRECIACIÓN		OBSERVACIONES
		SÍ	NO	
1	¿Se produce desgaste en las estrías del cigüeñal?	X		Producto del mal estado de las orquillas del cardan - mala instalación de las crucetas
2	¿Existe fugas de aceite?	X		cabeceo de cardan deforma el rodaje interno afectando al reten.
3	¿Se genera sobrecalentamiento en la carcasa de la BDP?		X	
4	¿Ha ocurrido roturas internas en la BDP?	X		Falta de aceite impide una adecuada lubricación, fricción excesiva
5	¿Se ha producido el paro total de las actividades en campo por fallas críticas?	X		Fallas críticas como rotura de partes internas de la BDP.
6	¿Considera que se realiza un mantenimiento adecuado?	X		
7	¿Cuenta con stop de BDP en la empresa?	X		
8	¿El personal está capacitado para realizar una reparación eficiente?	X		
9	¿Ha ocurrido algún accidente durante el mantenimiento o instalación de la BDP?		X	


Firma del Experto

**HOJA DE REGISTRO DE OBSERVACIÓN DE POSIBLES CAUSAS DE LAS
FALLAS EN LA BDP**

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto: *Urquiaga Castillo Randy*

DNI: *41804299*

Teléfono: *915 128 723*

Título/grados: *Ing. Industrial*

Cargo e institución en que labora: *Jefe de Producción*

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" si considera que es una posible causa de fallas en la bomba BDP

ÍTEM	POSIBLES CAUSAS QUE INFLUYEN EN LAS FALLAS DE LA BDP	
1	La bomba está funcionando en seco	X
2	Reten en mal estado	X
3	La bomba funciona demasiado rápido para la aplicación	
4	Hay abrasivos en el líquido	
5	Mal estado de horquilla de cardan	X
6	La colocación del cardan es incorrecta	
7	El ajuste de holgura es incorrecto para la aplicación	
8	Las partes internas de la bomba están desgastadas	X
9	Se ha instalado el sello incorrecto	X
10	La lubricación es inadecuada	X
11	Incompatibilidad de materiales	
12	El impulsor está desalineado	X
13	La placa de asiento está floja	
14	El tractor no tiene la capacidad adecuada para la potencia requerida de la bomba	X


Firma del Experto

HOJAS DE REGISTRO DE OBSERVACIÓN DE PROBLEMAS EN LA BDP

Trujillo, 16 de setiembre del 2022

Apellido y nombres del experto: *Urquiaga Castillo Randy*

DNI: *41807299*

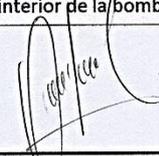
Teléfono: *915 128 723*

Título/grados: *Ingeniero Industrial*

Cargo e institución en que labora: *jefe de Producción*

Mediante la tabla de evaluación de expertos, usted tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con "x" si considera que es un problema en la bomba BDP

PROBLEMAS EN LA BDP				
ÍTEM		SI	NO	Motivo
1	La bomba gira, pero no hay flujo	X		Bomba en basio puede dañar partes internas por fricción excesiva.
2	El caudal de la bomba está por debajo de la capacidad esperada		X	Se regula los parametros en la empresa antes de salir a campo.
3	La bomba no produce la presión nominal		X	Se regula e inspacciona en la empresa antes de llevar a campo
4	La bomba desarrolla demasiada presión		X	Se regula según requerimiento de cliente, considerando tipo de boquillas a utilizar
5	La bomba hace mucho ruido y presenta vibración excesiva	X		Cuando esta trabajando al limite de su capacidad.
6	La bomba se calienta	X		Dependiendo las horas de trabajo
7	Los sellos de la bomba presentan corta vida	X		Influye las vibraciones por desnivel de terreno
8	Las membranas presentan corta vida	X		Influye mal acople de orquilla de cardan
9	Desgaste excesivo en el interior de la bomba	X		Cuando esta bajo el nivel de aceite


Firma del Experto

Anexo 1.2 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 01/04/22

VIRU
 REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
 APLICACION DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR: JD # 16 FECHA: 01/04/22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANGUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	168	4	130	Verdes	32	35	444	14.64	Prodiplu	Brote	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Sanchez Terrones


Tercio inferior


Tercio medio


Tercio superior

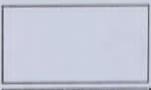
TRACTOR: JD # 16 FECHA: 01/04/22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANGUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	168	4	130	Verdes	32	35	412	11.77	Prodiplu	Brote	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Sanchez Terrones


Tercio inferior


Tercio medio

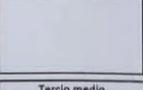

Tercio superior

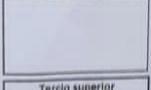
TRACTOR: JD # 17 FECHA: 05/04/22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANGUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
4A	1000	4		72	2	190	Decer	16	35	972	27.77	Prodiplu	Brote	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Sanchez Terrones


Tercio inferior


Tercio medio


Tercio superior

Vs B# Jefe de Sanidad
 Nombre _____

SGC-9-3087-10-01 Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.3 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 06/04/22



REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
APLICACIÓN DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR JD # 17 FECHA 06, 04, 22

EQUIPO Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	112	6	190	Verdes Rojas	32	35	622	17.8	Spodoptera frugiperda	Roma	2000

Operador de Tractor Cruz Rodriguez y.
 Operador de equipo Coras Aredo M.



Tercio inferior



Tercio medio



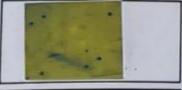
Tercio superior

TRACTOR JD # 17 FECHA 19, 04, 22

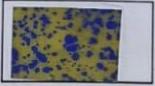
EQUIPO Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	88	8	190	Verdes Azul	32	35	798	22.8	Puumo	Apertura	2000

Operador de Tractor Cruz Rodriguez y.
 Operador de equipo Coras Aredo M.



Tercio inferior



Tercio medio



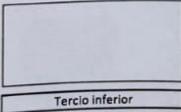
Tercio superior

TRACTOR FECHA / /

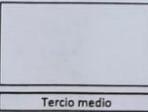
EQUIPO ZONA O FILTRADO

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	

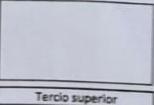
Operador de Tractor
 Operador de equipo



Tercio inferior



Tercio medio



Tercio superior

Vº Bº Jefe de Sanidad
 Nombre

Anexo 1.4 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 16/04/22



REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
 APLICACIÓN DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

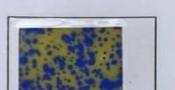
TRACTOR: JD # 17 FECHA: 16 104 22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	104	6	130	Verdes Hojas	32	35	624	17.8	Protopais	Rama	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Coras Aredo H.



Tercio inferior



Tercio medio

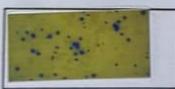


Tercio superior

TRACTOR: JD # 16 FECHA: 02 105 22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	1900	6	0.41	72	9	140	Azul Verdes	48	35	972	27.8	Stemphyllium	Floración	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Coras Aredo H.



Tercio inferior



Tercio medio



Tercio superior

TRACTOR: JD # FECHA: 19 105 22
 EQUIPO: Lavadora # 3 ZONA O FILTRADO: 50

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	2000	6	0.41	64	9	150	Azul Verdes	48	35	1092	31.2	Stemphyllium	Floración	2000

Operador de Tractor: Cruz Rodriguez y
 Operador de equipo: Coras Aredo H.



Tercio inferior



Tercio medio



Tercio superior

Vº Bº Jefe de Sanidad
 Nombre _____

SGO-R-3087-10-01 Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.5 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 29/04/22



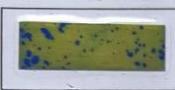
REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
APLICACIÓN DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR S.D # 14 FECHA 29/04/22
 EQUIPO Lavadora # 4 ZONA O FILTRADO José Luis

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
<u>2B</u>	<u>2000</u>	<u>5.0</u>	<u>0.37</u>	<u>64</u>	<u>9</u>	<u>150</u>	<u>Verdes Azules</u>	<u>24</u>	<u>34</u>	<u>1064</u>	<u>3124</u>	<u>Porcino</u>	<u>Florada</u>	<u>9000</u>

Operator de Tractor Rodriguez Sotelo Vicente
 Operator de equipo Alejo Vega Turri


 Tercio inferior

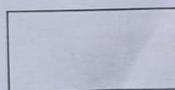

 Tercio medio

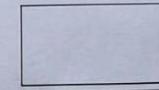

 Tercio superior

TRACTOR _____ FECHA _____
 EQUIPO _____ ZONA O FILTRADO _____

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	

Operator de Tractor _____
 Operator de equipo _____


 Tercio inferior

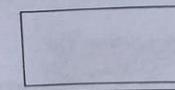

 Tercio medio

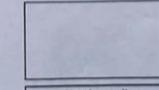

 Tercio superior

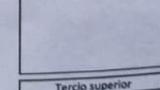
TRACTOR _____ FECHA _____
 EQUIPO _____ ZONA O FILTRADO _____

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	

Operator de Tractor _____
 Operator de equipo _____


 Tercio inferior


 Tercio medio


 Tercio superior

Vº Bº Jefe de Sanidad
 Nombre [Signature]

SGCI-R-3087-10-01 Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.6 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 02/05/22

VIRU
REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
APLICACIÓN DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR: JD #17 FECHA: 02 / 05 / 22
EQUIPO: Lavadora #6 ZONA O FILTRADO: TRILLIUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.48	0.49	128	4	150	Verdes	32	28.35	443	15.63	Elasmopalus Prodiptera	Brote	2000

Operador de Tractor: Hilario Cabellos Milton
Operador de equipo: Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

TRACTOR: JD #16 FECHA: 07 / 05 / 22
EQUIPO: Lavadora #6 ZONA O FILTRADO: TRILLIUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.48	0.49	104	6	140	Rojos Verdes	16 32	28.35	545	19.23	Prodiptera Epidiptera	Brote Rama	2000

Operador de Tractor: Hilario Cabellos Milton
Operador de equipo: Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

TRACTOR: JD #16 FECHA: 11 / 05 / 22
EQUIPO: Lavadora #6 ZONA O FILTRADO: TRILLIUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.48	0.49	176	2	160	Verdes	16	28.35	322	11.36	Maleza	Brote Rama	2000

Operador de Tractor: Hilario Cabellos Milton
Operador de equipo: Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

Vº Bº Jefe de Sanidad
Nombre _____

SGCI-R-3087-10-01 Fecha de aprobación: 27-12-20

Anexo 1.7 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 10/05/22

VIRU
REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
APLICACION DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

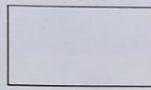
DEPARTAMENTO DE SANIDAD

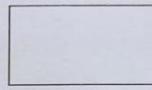
TRACTOR JD # 16 FECHA 10 / 05 / 22
EQUIPO Lavadora # 6 ZONA O FILTRADO Trillium I

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2-B	2000	5.48	0.51	128	4	150	Verdes	32	28.37	445	15.69	Clasificación sporiposis	Brote	2000

Operador de Tractor Hilario Cabellos Millon
Operador de equipo Polo segura pedro


Tercio inferior


Tercio medio


Tercio superior

TRACTOR JD # 17 FECHA 14 / 05 / 22
EQUIPO Lavadora # 9 ZONA O FILTRADO Trillium I

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2-B	2000	5.48	0.51	104	6	140	Rosa Verdes	16	28.37	548	19.32	sporiposis sporiposis	Brote kama	2000

Operador de Tractor Solano vega Adviento
Operador de equipo Florez Baltazar Remigio


Tercio inferior


Tercio medio

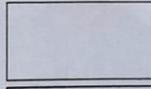

Tercio superior

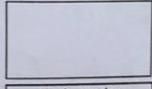
TRACTOR JD # 17 FECHA 18 / 05 / 22
EQUIPO Lavadora # 9 ZONA O FILTRADO Trillium I

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
4-A	2000	4.0	0.85	72	2	200	decer	16	28.37	788	27.78	decepción	Brote kama	2000

Operador de Tractor Solano vega Adviento
Operador de equipo Flores Baltazar Remigio


Tercio inferior


Tercio medio


Tercio superior

Nombre DAVID LOPEZ G
Vr Bº Jefe de Sanidad

Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.8 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 21/05/22



REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
 APLICACIÓN DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR: S.D # 18 FECHA: 21/05/22
 EQUIPO: lavadora # 4 ZONA O FILTRADO: Josa Luis

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.0	0.37	64	10	150	Verdes Azules	48 32	34	1062	31.24	Puccinia asperugi	Flocución	2000

Operador de Tractor: Rodriguez Sotelo Vicente
 Operador de equipo: Araujo Vega Juan


 Tercio inferior


 Tercio medio


 Tercio superior

TRACTOR: S.D # 18 FECHA: 26/04/22
 EQUIPO: lavadora # 9 ZONA O FILTRADO: Josa Luis

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	2000	6.0	0.32	88	9	140	Verdes	24 48	34	775	22.79	Hemphylia	Rizoma	2000

Operador de Tractor: Solano Vega Advinto
 Operador de equipo: Sanchez Ferreres Segura


 Tercio inferior

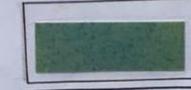

 Tercio medio

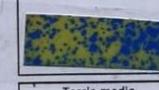

 Tercio superior

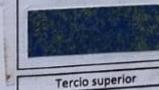
TRACTOR: S.D # 18 FECHA: 21/05/22
 EQUIPO: lavadora # 4 ZONA O FILTRADO: Josa Luis

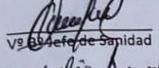
Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	2000	6.0	0.32	64	10	160	Verdes Azules	48 32	34	1062	31.24	Puccinia Hemphylia	Hidratación	2000

Operador de Tractor: Rodriguez Sotelo Vicente
 Operador de equipo: Araujo Vega Juan


 Tercio inferior


 Tercio medio


 Tercio superior


 Nombre: Julio Lezama

vs. jefe de Sanidad
 Nombre: Julio Lezama

SGCI-R-3087-10-01 Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.9 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 02/06/22



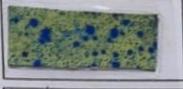
REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
 APLICACION DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR: JD # 16 FECHA: 02/06/22
 EQUIPO: Lavadora # 6 ZONA O FILTRADO: Trillium

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2-13	2000	5.48	0.51	80	9	150	Verdes	72	28.27	709	24.99	Spodoptera	Alfalfa	2000

Operador de Tractor: Calderon Chavez Narciso
 Operador de equipo: Pablo Segura Pedro


 Tercio inferior


 Tercio medio

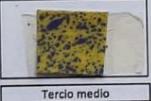

 Tercio superior

TRACTOR: JD # 13 FECHA: 10/06/22
 EQUIPO: LAVADORA # 9 ZONA O FILTRADO: 43

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	2000	5.48	0.51	46	6	140	ROJAS VERDES	16 32	28.37	589	30.62	Spodoptera	Ramo	2000

Operador de Tractor: Hilario Caballos Hilbon
 Operador de equipo: Flores Baltazar Restrepo


 Tercio inferior

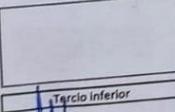

 Tercio medio

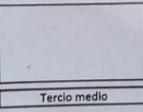

 Tercio superior

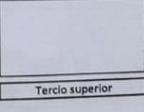
TRACTOR: FECHA: / /
 EQUIPO: ZONA O FILTRADO:

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	

Operador de Tractor:
 Operador de equipo:


 Tercio inferior


 Tercio medio


 Tercio superior

Nombre: DANIS LOPEZ G.
 Ve Bº Jefe de Sanidad

Fecha de aprobación: 27-12-2016

Anexo 1.10 Ficha de Calibración y Eficiencia de Maquinaria de Aplicaciones de Pesticidas - Volúmenes - Aplicación de insecticidas - Fungicidas - Herbicidas - Lavados. Fecha: 09/06/22

VIRU

REGISTRO DE CALIBRACION Y EFICIENCIA DE MAQUINARIA DE APLICACIONES DE PESTICIDAS - VOLUMENES
 APLICACION DE INSECTICIDAS - FUNGICIDAS - HERBICIDAS - LAVADOS

DEPARTAMENTO DE SANIDAD

TRACTOR JD #16 FECHA 09/06/22

EQUIPO Lavadora #6 ZONA O FILTRADO TRILLUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
3B	2000	6	0.42	88	9	140	Verdes	72	28.35	644	22.73	Stemphylium	Maduración	2000

Operador de Tractor Calderon Chavez Narciso

Operador de equipo Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

TRACTOR JD #16 FECHA 14/06/22

EQUIPO Lavadora #6 ZONA O FILTRADO TRILLUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.48	0.49	56	9	150	Verdes Azules	16 56	28.35	4012	35.71	Stemphylium	Maduración	2000

Operador de Tractor Calderon Chavez Narciso

Operador de equipo Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

TRACTOR JD #16 FECHA 08/06/22

EQUIPO Lavadora #6 ZONA O FILTRADO TRILLUM

Tractor				Equipo de Aplicación					Volumen de Aplicación			Datos del Cultivo		CAPACIDAD TANQUE
Marcha	RPM	Velocidad (Km/h)	minutos/surco	# Surcos/tanque	# boquillas/surco	Presion (lb/pul2)	Tipo de Boquillas	# total de boquillas	Surcos/ha.	Volumen/ha	Litros/surco	Objetivo	Fenología	
2B	2000	5.48	0.49	88	6	140	Verdes Azules	16 32	28.35	644	22.73	Stemphylium	Apertura	2000

Operador de Tractor Calderon Chavez Narciso

Operador de equipo Polo Segura Pedro

Tercio inferior Tercio medio Tercio superior

Vs Bº Jefe de Sanidad

Nombre _____



Imagem 01. Bomba Jp-300 con Cardan.



Imagem 1.1 Placa de BDP. Modelo: JP-300 DS – N° Serie: 166005014.



Imagen 02. *Desgaste en las estrías del cigüeñal - Fugas excesivas de aceite por el retén de cigüeñal - Roturas de carcasa especialmente en bases de fijación de bomba.*



Imagen 03. *Roturas de cilindro guía del pistón de bomba producto de la rotura del aro sujetador de bielas - Ralladuras de los puños de cigüeñal (fricción entre puño de cigüeñal y asiento de biela) - Recalentamiento en toda la carcasa de la bomba - Fugas de aceite por el tapón de desfogue producto del recalentamiento.*



Imagen 04. *Bomba Accionada por Motor Hidráulico.*



Imagen 05. *Cero Desgastes de Estrías en el Eje de Cigüeñal.*



Imagen 06. *Cero desgastes de puños de cigüeñal - Cero desgastes en asiento de biela - Cilindros sin roturas y seguros sujetadores de bielas sin desgates.*



Imagen 06. *Bomba de desplazamiento Positivo*



Imagen 07. *Rotura de Carcaza de Bomba de desplazamiento Positivo.*



Imagen 08. *Rotura Biela interna de BDP.*



Imagen 09. *Colocación de Guarda de Seguridad.*



Imagen 10. *Motor Hidráulico - Cardan de 40 cm – Guarda de Seguridad acoplados a BDP.*

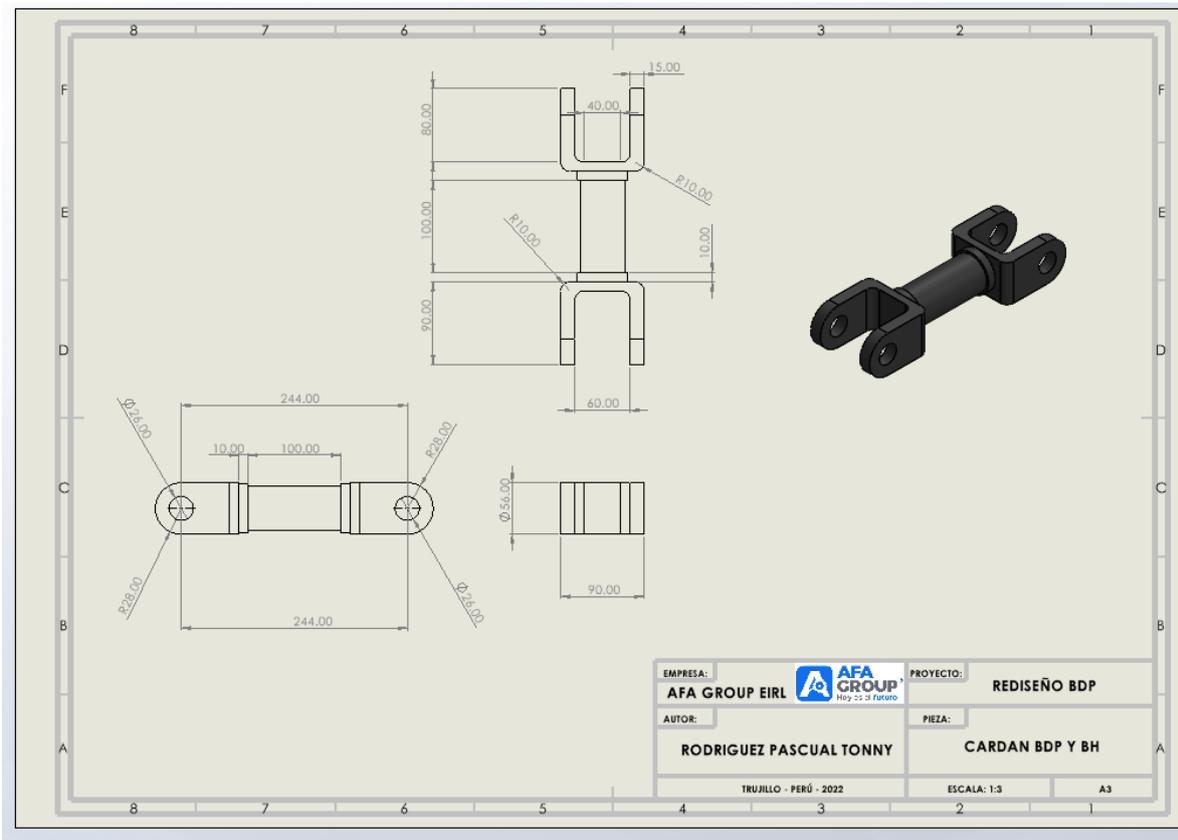
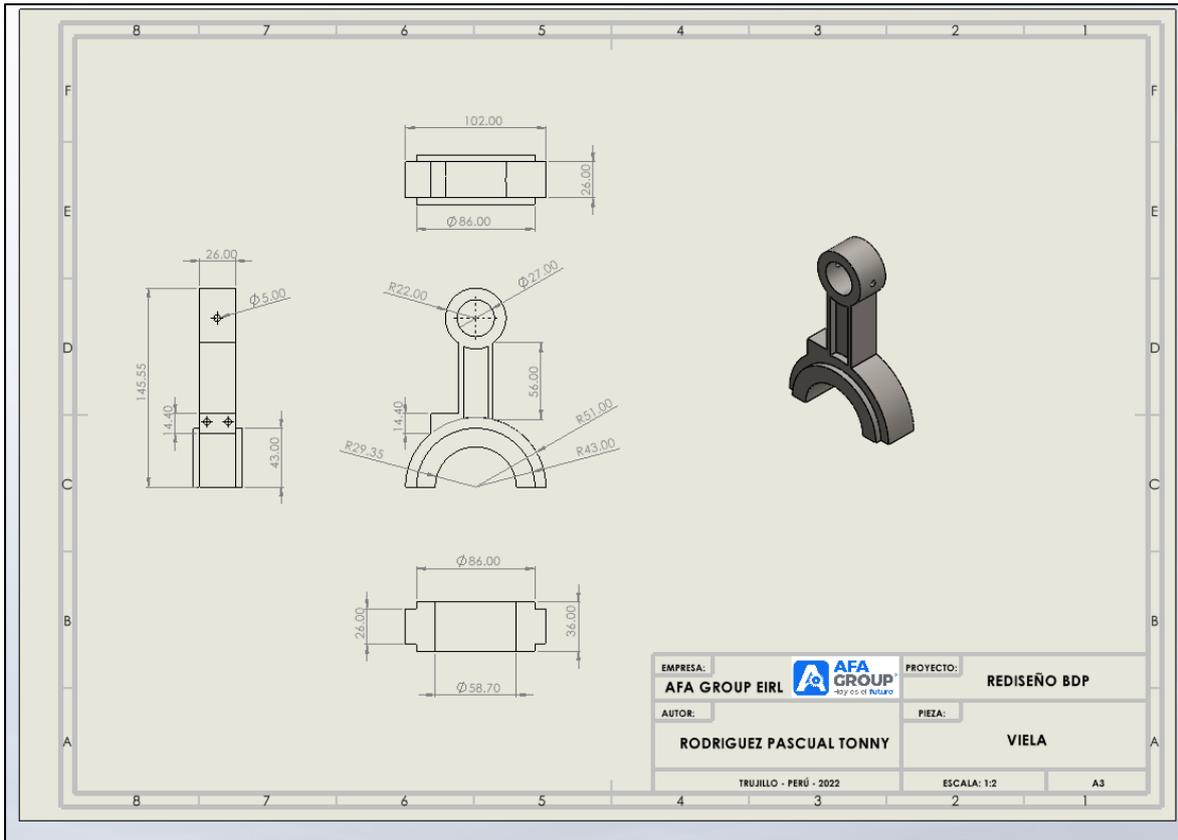


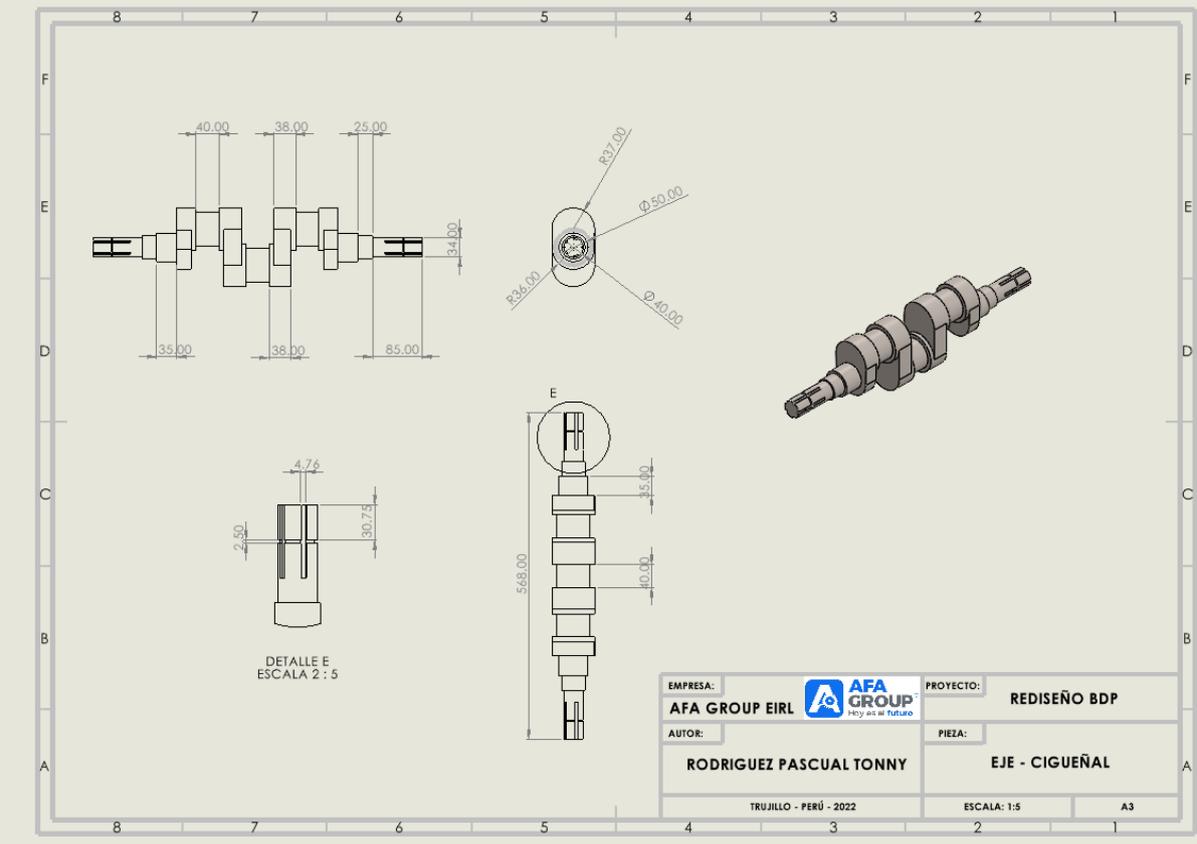
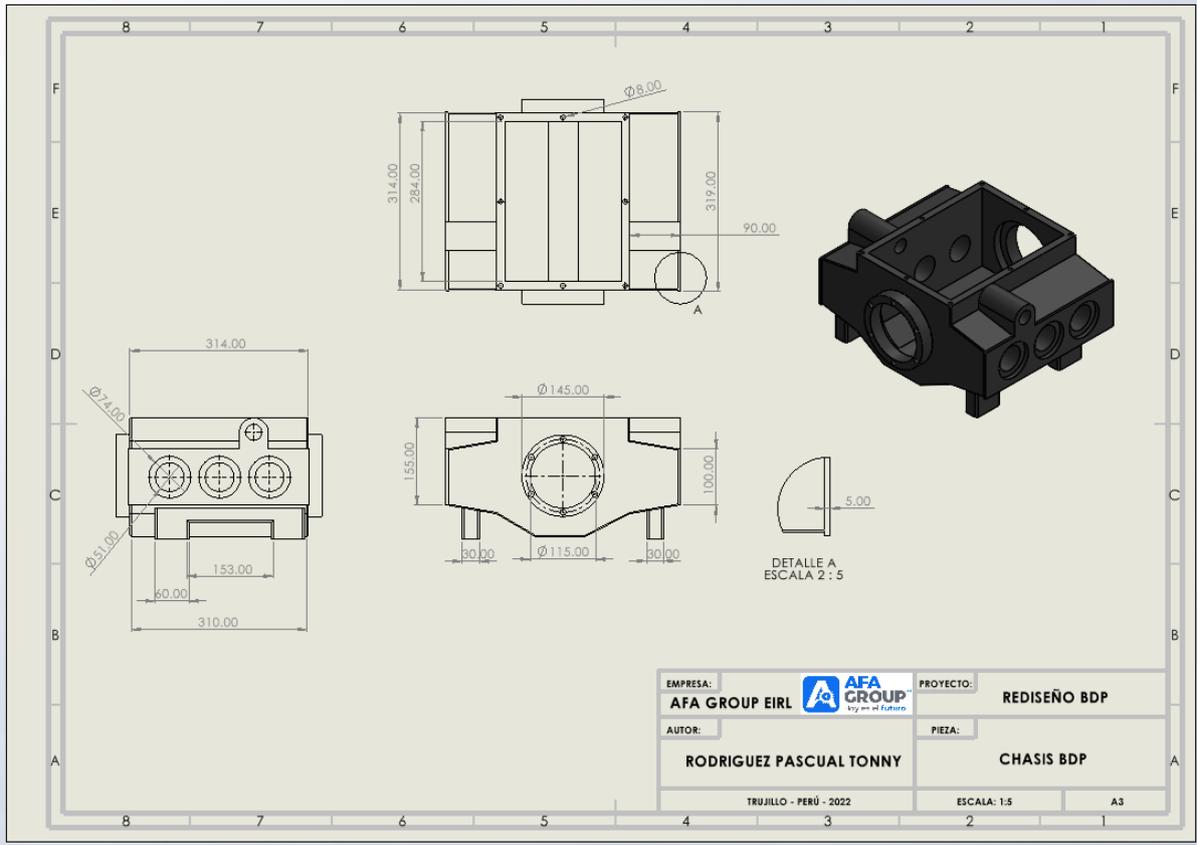
Imagen 11. *Rotura de Cilindro interno de BDP.*

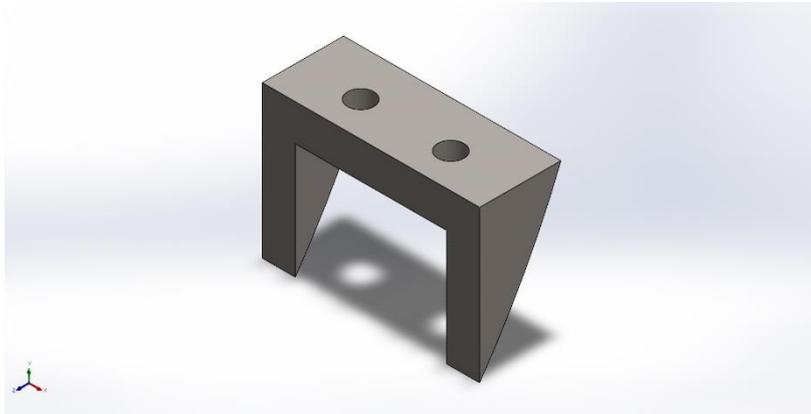


Imagen 12. *Rotura de Cilindros internos ocasionada por falla de biela en BDP.*

Anexo: Planos de despiece de la BDP JP-300 A







Descripción

Análisis tensional de seguro de biela bajo carga máxima de presión

Simulación de SEGURO BIELA

Diseñador: Tonny Richard Rodriguez Pascual

Nombre de estudio: Análisis estático 1

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción	89
Suposiciones	90
Propiedades de estudio	90
Propiedades de material	91
Cargas y sujeciones	91
Resultados del estudio	47
Conclusión	99
Apéndice	99

Suposiciones

Comentarios:

La carga máxima de presión generada por la bomba será de 500 psi.

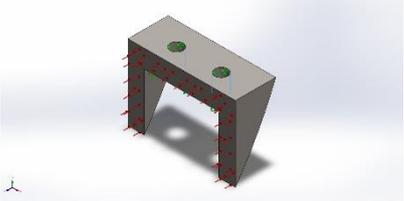
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\LENOVO\Documents\ \PROYECTO COMPLETO SOLIDWORKS

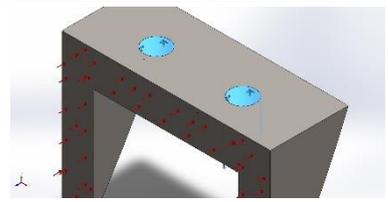


BDP(PROYECTO COMPLETO
SOLIDWORKS BDP)

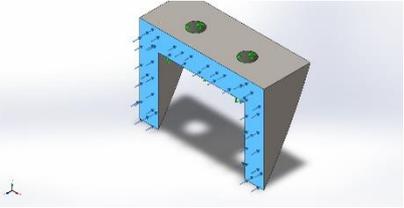
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: ASTM A36 Acero</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2.5e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.26</p> <p>Densidad: 7,850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7.93e+10 N/m²</p>	Sólido 1(Cortar-Extruir6)(SEGURO BIELA)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

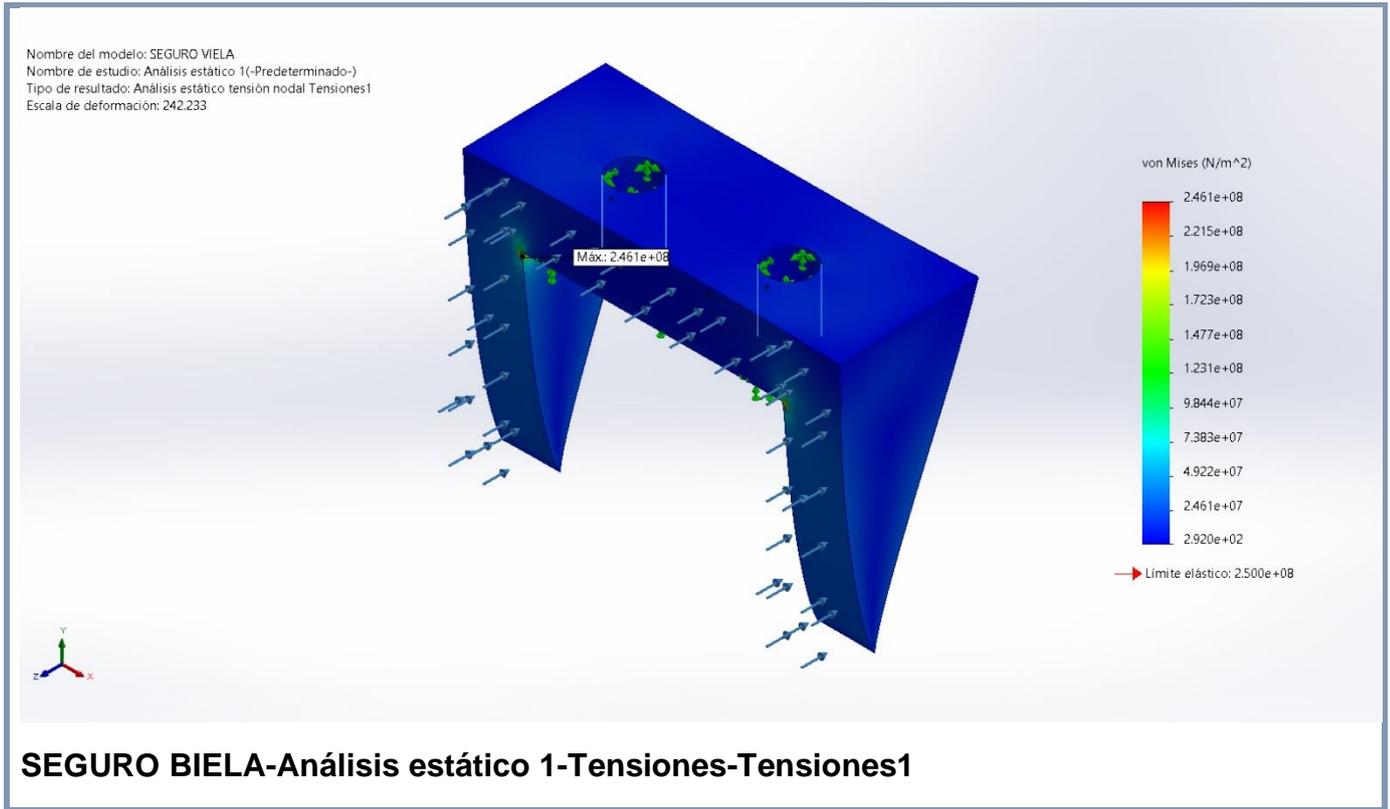
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 3 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>
Fuerzas resultantes		

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0.0850143	-0.0361048	1,598.25	1,598.25
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Presión-1		Entidades:	1 cara(s)
		Tipo:	Normal a cara seleccionada
		Valor:	500
		Unidades:	psi
		Ángulo de fase:	0
		Unidades:	deg

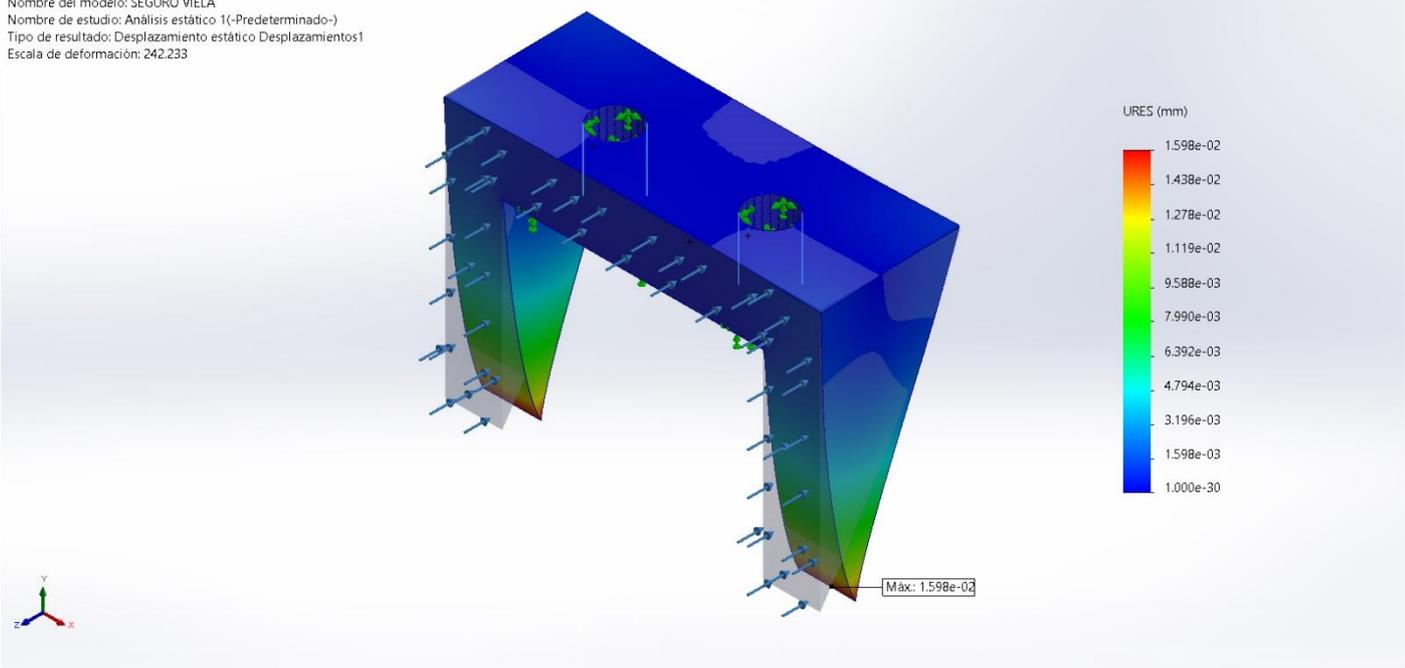
Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2.920e+02N/m ²	2.461e+08N/m ²
		Nodo: 51975	Nodo: 49635



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00mm Nodo: 1	1.598e-02mm Nodo: 2686

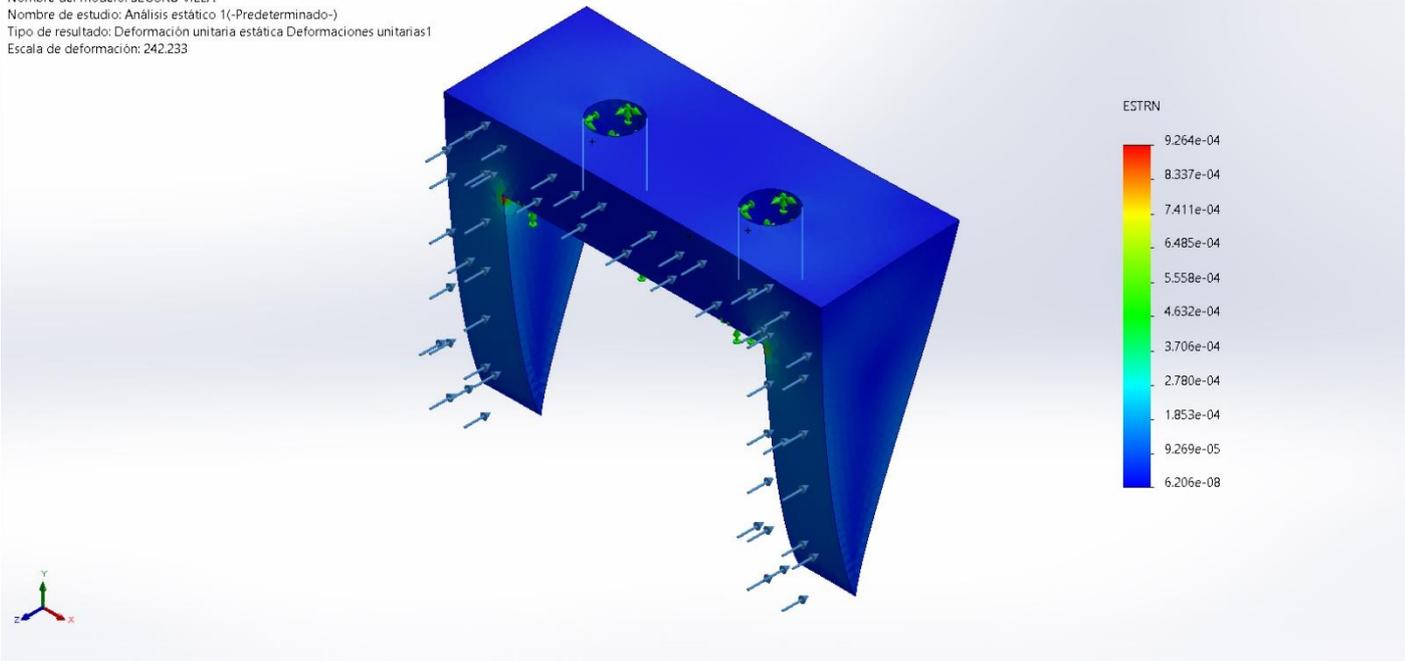
Nombre del modelo: SEGURO VIELA
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 242.233



SEGURO BIELA-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6.206e-08	9.264e-04
		Elemento: 12499	Elemento: 2099

Nombre del modelo: SEGURO VIELA
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 242.233



SEGURO BIELA-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre del modelo: SEGURO VIELA
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1

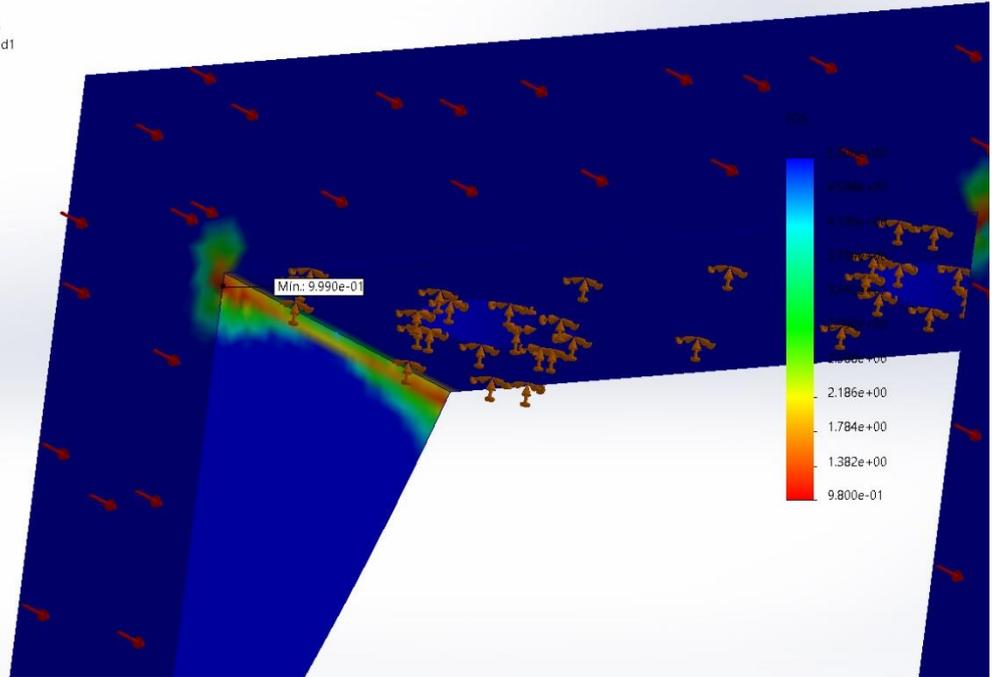


Imagen-1

Nombre del modelo: SEGURO VIELA
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 242.233

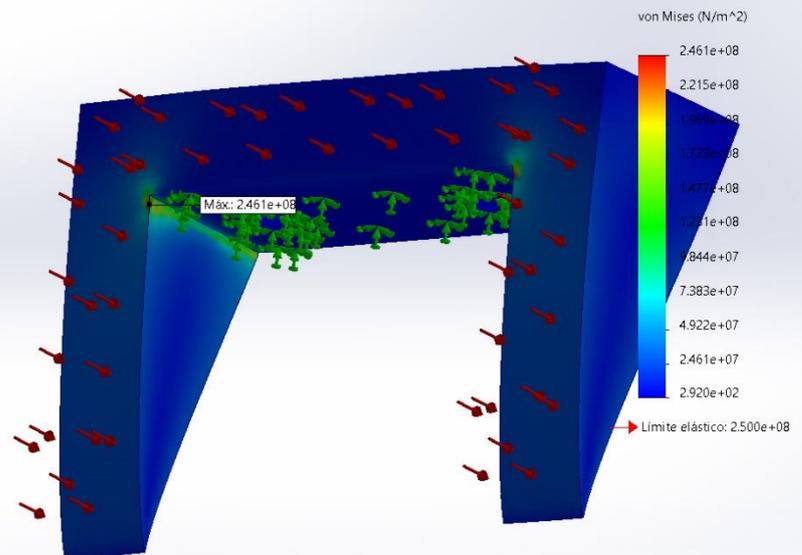


Imagen-2

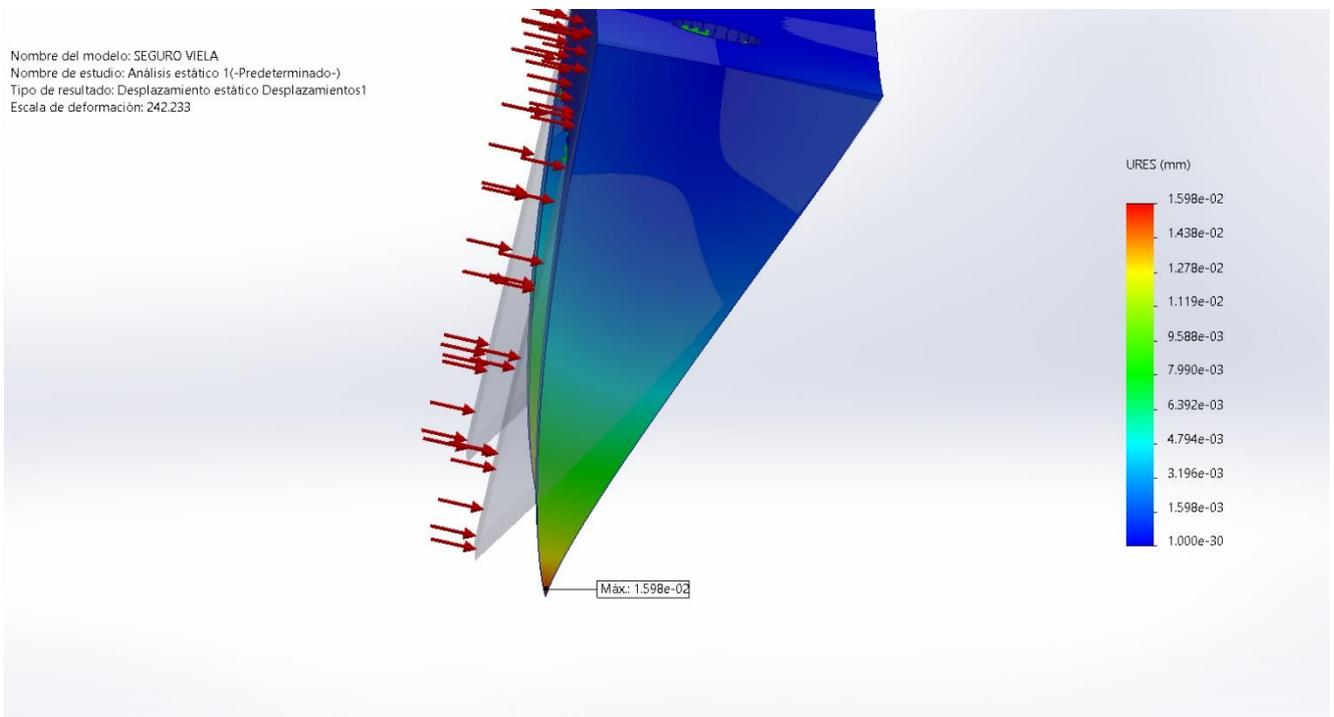


Imagen-3

Nombre del modelo: SEGURO VIELA
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Tensión de cortadura máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1

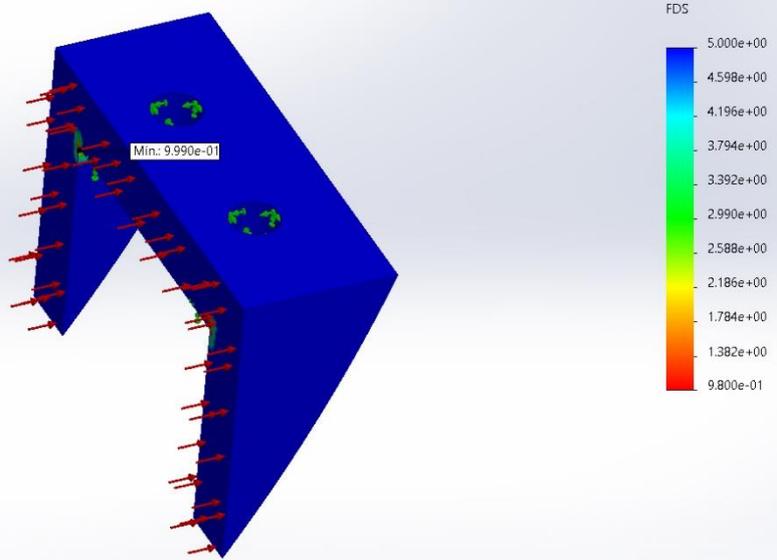
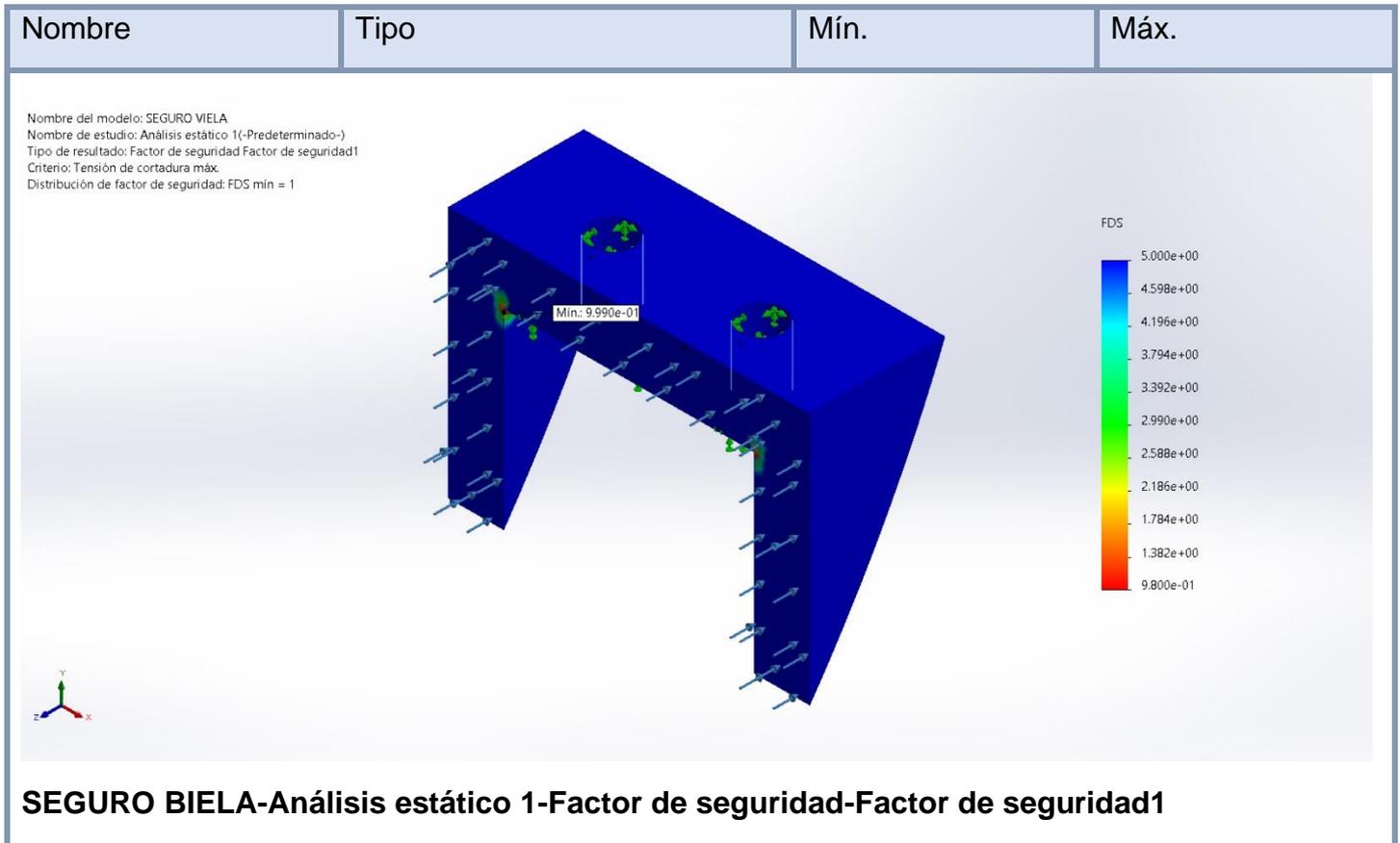


Imagen-4

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de cortadura máx. (Tresca)	9.990e-01 Nodo: 49635	7.554e+05 Nodo: 51975



Conclusión

Comentarios:

Del análisis realizado se observa que el factor de seguridad es de 0.99 ante una carga de presión de 500 psi, que es la presión máxima de trabajo o de operación de la bomba.

Apéndice

Comentarios:

Durante la operación de la bomba se alcanzaron presiones mayores a 400 psi razón por la cual se presentó la falla de la pieza seguro de biela.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "MEJORAMIENTO DE LA PERFORMANCE DE BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO MEDIANTE APLICACIÓN DE AMEF EN LA EMPRESA AFA GROUP", cuyo autor es RODRIGUEZ PASCUAL TONNY RICHARD, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 30.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 25 de Noviembre del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUIS ALBERTO JULCA VERASTEGUI DNI: 19336932 ORCID: 0000-0001-5158-2686	Firmado electrónicamente por: JULCAL el 19-12- 2022 16:12:13

Código documento Trilce: TRI - 0454512