



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE
RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

Juan Manuel Pérez Castillo

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE
RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN MANUEL PÉREZ CASTILLO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2018

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha abril de 2016.



Juan Manuel Pérez Castillo



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 16 de octubre de 2017
REF.EPS.DOC.721.10.17.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

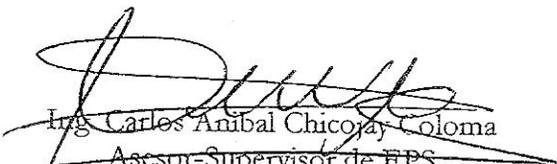
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Juan Manuel Pérez Castillo** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201114321, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

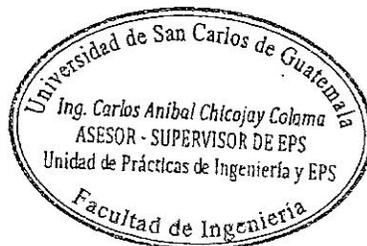
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicoy Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra



Edificio de EPS, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.

Teléfono directo: 2442-3509



CULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 16 de octubre de 2017
REF.EPS.D.412.10.17

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

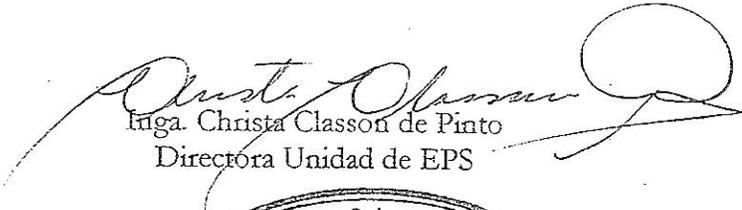
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario Juan Manuel Pérez Castillo quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra



Edificio de EPS, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.

Teléfono directo: 2442-3509



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.088.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE RIEGO PARA EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR** del estudiante **Juan Manuel Pérez Castillo**, CUI No. 1660442961301, Reg. Académico No. 201114321 y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, marzo de 2018

/aej



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.101.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE PLAN DE MEJORA EN LA EFICIENCIA DE EQUIPOS DE RIEGO PARA CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Manuel Pérez Castillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

901/12
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, marzo de 2018

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Jehová Dios

Por concederme la capacidad de lograr esta meta a pesar de las dificultades encontradas en el camino, por demostrarme que con Él todo puede lograrse.

Mi madre

Melva Castillo, por su apoyo incondicional durante toda mi vida y más aún durante toda mi etapa de estudiante universitario, por los sacrificios realizados para darme la oportunidad de un mejor futuro y nunca abandonarme en los momentos más difíciles de mi vida.

Mi padre

Jorge Manuel Pérez, quien durante el tiempo que estuvo vivo fue un excelente padre y entregó amor incondicional a sus hijos, quien me enseñó a ser una persona de bien y siempre se esforzó porque la familia estuviera unida.

Mis hermanos

José Miguel y María Pamela, quienes siempre me han apoyado y han tenido fe de que sería capaz de lograr las metas propuestas y de quienes espero ser inspiración para que puedan alcanzar sus metas en el futuro.

Mis abuelos

Gloria Mérida y Antulio Castillo, por su amor y apoyo incondicional, en los momentos buenos y malos que vivimos como familia, quienes siempre buscaron la unión familiar y me enseñaron a luchar por mis sueños.

AGRADECIMIENTO A

**Universidad de
San Carlos de Guatemala**

Por ser mi *alma mater* y permitirme desarrollar todos mis conocimientos; apreciando el valor del esfuerzo del pueblo de Guatemala que con sus impuestos hicieron posible mi educación superior.

Facultad de Ingeniería

Por las pruebas puestas ante mí, las cuales me ayudaron a demostrarme que con dedicación, perseverancia y una visión clara, todo puede lograrse.

**Escuela de
Ingeniería Mecánica**

Por haberme brindado todo el conocimiento adquirido para mi formación profesional específicamente en la rama de la mecánica, además me dio la oportunidad de crear fuertes amistades, no solo con compañeros sino con catedráticos que me ayudaron y orientaron durante la realización de este proyecto.

Grupo Topke

Por darme la confianza y oportunidad de la realización del presente trabajo en la empresa y brindarme las herramientas necesarias para la conclusión exitosa de dicho proyecto.

Ing. Allan Rasch Topke

Por haberme dado las guías y orientación necesaria para llevar a cabo la fase de servicio técnico profesional de este proyecto y demostrarme la importancia de la tecnología para el desarrollo de la ingeniería.

Ing. Antonio Martínez Leal

Por apoyarme con todas las herramientas e información requerida a lo largo de la realización del proyecto, el cual considero mi primera experiencia laboral como profesional y que me servirá de mucho para futuras relaciones laborales como profesional.

Ing. Manuel Castro

Por la asesoría e información brindada específicamente con todo lo que tiene relación con el sector agrícola del proyecto.

	1.6.3.2.1.	Método Hazen y Williams para el cálculo de pérdidas de energía por fricción	19
1.6.4.		Combustible	20
	1.6.4.1.	Clasificación de los combustibles	21
1.6.5.		Motor de combustión interna MCI	23
	1.6.5.1.	Funcionamiento de un MCI	23
	1.6.5.2.	Ciclos termodinámicos de un MCI	24
1.6.6.		Cabezal de engranajes	28
1.6.7.		Pozo	28
1.6.8.		Irrigación.....	28
1.6.9.		Caudalímetro.....	29
1.6.10.		Manómetro	29
1.6.11.		Aspersor	29
	1.6.11.1.	Regulador de presión	29
	1.6.11.2.	Boquilla.....	30
	1.6.11.3.	Contrapeso.....	30
1.6.12.		Carta de aspersión	30
1.7.		Proyecto.....	31
	1.7.1.	Recabación de datos.....	31
	1.7.2.	Diagnóstico.....	32
	1.7.3.	Sistema <i>pre-pack wellscreen</i>	34
	1.7.3.1.	Análisis granulométrico	35
	1.7.3.2.	Propuesta de sistema <i>pre-pack wellscreen</i>	36
1.8.		Optimización de agua y combustible como fuente de energía.....	37

2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	63
2.1.	Metodología.....	63
2.1.1.	Charla con operarios y supervisores	63
2.1.2.	Evaluación general del equipo.....	63
2.1.3.	Revisión de carta de aspersión.....	64
2.1.4.	Revoluciones del motor	64
2.1.5.	Caudal instantáneo.....	64
2.1.6.	Presiones.....	64
2.1.7.	Nivel dinámico	65
2.2.	Cálculo de pérdidas de fricción.....	65
2.3.	Cálculo de potencia requerida en el sistema	66
2.3.1.	Según manuales de fabricantes	66
2.3.2.	Evaluación de bombas de equipo de riego.....	68
2.3.2.1.	Selección manual	68
2.3.2.2.	Punto de diseño.....	69
2.3.3.	Cálculo de potencia según los datos del presupuesto contra datos actualizados de operación.....	69
2.4.	Mejora de eficiencia.....	119
2.5.	Comparación de datos del presupuesto contra datos actualizados propuesto para la próxima temporada de riego	120
2.5.1.1.	Eficiencia según fabricante.....	137
2.5.1.2.	Eficiencia con datos reales de operación.....	138
2.5.1.3.	Eficiencia con mejoras propuestas	138
3.	FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE.....	139
3.1.	Capacitación a personal operativo	139
3.1.1.	Programa de capacitación	139

3.1.2.	Importancia de la correcta operación de equipo de riego	140
3.1.3.	Importancia de reportar fallas y anomalías de operación de equipo de riego	141
3.1.4.	Importancia de monitoreo constante de equipos de riego	141
3.2.	Presentación de resultados del ejercicio profesional supervisado.....	144
CONCLUSIONES.....		147
RECOMENDACIONES		149
BIBLIOGRAFÍA.....		151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de dirección de operaciones Riegos Topke.....	4
2.	Diagrama de un sistema de riego por mini-aspersión	6
3.	Motor y acople a bomba turbina para pozo de miniaspersión	7
4.	Motor y acople a bomba de turbina para pozo de miniaspersión	7
5.	Diagrama de un sistema de riego por pivote central	8
6.	Torre central, pivote central.....	9
7.	Tubería de conducción pivote central.....	9
8.	Motor hidráulico, pivote central	10
9.	Diagrama de un sistema de riego avance frontal ala derecha	11
10.	Diagrama de un sistema de riego avance frontal, ala izquierda.....	11
11.	Vehículo autopropulsor de avance frontal	12
12.	Ala izquierda, avance frontal	12
13.	Diagrama de componentes de una bomba de flujo axial.....	16
14.	Componentes de bomba radial	18
15.	Diagrama de operación ciclo Otto	25
16.	Diagrama presión - volumen, ciclo Otto	25
17.	Diagrama presión - volumen ciclo	27
18.	Diagrama temperatura - entropía ciclo diésel.....	27
19.	Análisis granulométrico pozo EP25.....	35
20.	Análisis granulométrico pozo EP36.....	36
21.	Cálculo de pérdidas de fricción en tubería de conducción	66
22.	Gráfica de operación bomba EP09 a 2300 rpm	69
23.	Gráfica de operación adecuada bomba EP09 a 1800 rpm.....	71

24.	Gráfica de operación bomba EP10 a 1950 rpm	73
25.	Gráfica de correcta operación bomba EP10 a 1810 rpm	73
26.	Gráfica de operación bomba EP11 a 2000 rpm	75
27.	Gráfica de correcto operación bomba EP11 a 1770 rpm	75
28.	Gráfica de operación bomba EP12 a 1000 rpm	77
29.	Gráfica de correcta operación bomba EP12 a 1770 rpm	77
30.	Gráfica de operación bomba EP14 a 2000 rpm	79
31.	Gráfica de correcta operación bomba EP14 a 1800 rpm	79
32.	Gráfica de operación bomba EP15 a 2100 rpm	81
33.	Gráfica de correcta operación bomba EP15 a 1800 rpm	82
34.	Gráfica de operación bomba EP16 a 2000 rpm	84
35.	Gráfica de correcta operación bomba EP16 a 1600 rpm	84
36.	Gráfica de operación bomba EP17 a 1681 rpm	86
37.	Gráfica de correcta operación bomba EP17 a 1770 rpm	86
38.	Gráfica de operación bomba EP20 a 2000 rpm	88
39.	Gráfica de correcta operación bomba EP20 a 1800 rpm	89
40.	Gráfica de operación bomba EP22 a 2450 rpm	90
41.	Gráfica de correcta operación bomba EP22 a 1770 rpm	91
42.	Gráfica de operación bomba EP25 a 1820 rpm	93
43.	Gráfica de correcta operación bomba EP25 a 1770 rpm	93
44.	Gráfica de operación bomba EP26 a 1800 rpm	95
45.	Gráfica de correcta operación bomba EP26 a 1770 rpm	95
46.	Gráfica de operación bomba EP28 a 1750 rpm	97
47.	Gráfica de operación bomba EP28 a 1770 rpm	98
48.	Gráfica de operación bomba EP36 a 1700 rpm	99
49.	Gráfica de operación bomba EP36 1770rpm	100
50.	Gráfica caudal - tiempo pozo EP46	103
51.	Gráfica nivel dinámico - tiempo aforo pozo EP46	103
52.	Gráfica de operación bomba pozo EP46 1760 rpm	104

53.	Gráfica correcta operación bomba pozo EP46 1770 rpm.....	104
54.	Gráfica caudal - tiempo pozo EP47.....	107
55.	Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP47.....	107
56.	Gráfica de operación bomba pozo EP47.....	108
57.	Gráfica correcta operación bomba pozo EP47.....	108
58.	Gráfica caudal - tiempo pozo EP48.....	111
59.	Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP48.....	111
60.	Gráfica de operación bomba pozo EP48.....	112
61.	Gráfica de correcta operación bomba pozo EP48.....	112
62.	Gráfica caudal - tiempo pozo EP50.....	114
63.	Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP50.....	114
64.	Gráfica de operación bomba pozo EP50.....	115
65.	Gráfica de correcta operación de bomba pozo EP50.....	115
66.	Gráfica caudal - tiempo pozo EP52.....	118
67.	Gráfica de operación bomba pozo EP52.....	118
68.	Gráfica de correcta operación bomba pozo EP52.....	119
69.	Capacitación a personal operativo	143
70.	Capacitación a personal operativo 2	144

TABLAS

I.	Listado de equipos que operaban de manera inadecuada.....	33
II.	Código del equipo EP-09	39
III.	Código del equipo EP-10	40
IV.	Código del equipo EP-11	41
V.	Código del equipo EP-12	42
VI.	Código del equipo EP-14	43
VII.	Código del equipo EP-15	44
VIII.	Código del equipo EP-16	45

IX.	Código del equipo EP-17	46
X.	Código del equipo EP-20	47
XI.	Código del equipo EP-22	48
XII.	Código del equipo EP-25	49
XIII.	Código del equipo EP-26	50
XIV.	Código del equipo EP-28	51
XV.	Código del equipo EP-36	52
XVI.	Código del equipo EP-45	53
XVII.	Código del equipo EP-46	54
XVIII.	Código del equipo EP-47	55
XIX.	Código del equipo EP-48	56
XX.	Código del equipo EP-49	57
XXI.	Código del equipo EP-51	58
XXII.	Código del equipo EP-52	59
XXIII.	Código del equipo EP-53	60
XXIV.	Código del equipo EP-54	61
XXV.	Impacto económico causado por la mala operación de equipo de riego durante la temporada 2016 – 2017	62
XXVI.	Potencia de motores Grupo Topke	67
XXVII.	EP-09 pivote central.....	70
XXVIII.	EP10 pivote central.....	72
XXIX.	EP11 pivote central.....	74
XXX.	EP12 pivote central.....	76
XXXI.	EP14 avance frontal.....	78
XXXII.	EP15 avance frontal.....	80
XXXIII.	EP16 avance frontal.....	83
XXXIV.	EP17 pivote central.....	85
XXXV.	EP20 avance frontal.....	87
XXXVI.	EP22 pivote central.....	89

XXXVII.	EP25 pivote central	92
XXXVIII.	EP26 pivote central	94
XXXIX.	EP28 pivote central	96
XL.	EP36 pivote central	98
XLI.	EP46 pozo 2.....	101
XLII.	Aforo realizado durante 24 horas	102
XLIII.	EP47 pozo 3.....	105
XLIV.	Aforo realizado durante 24 horas	106
XLV.	EP48 pozo 4.....	109
XLVI.	Aforo realizado durante 24 horas	110
XLVII.	EP50 pozo 6.....	113
XLVIII.	Aforo realizado durante 24 horas	113
XLIX.	EP52 pozo 8.....	116
L.	Aforo realizado durante 24 horas	117
LI.	Presupuesto equipo EP-09	120
LII.	Presupuesto equipo EP-10	121
LIII.	Presupuesto equipo EP-11	122
LIV.	Presupuesto equipo EP-12	123
LV.	Presupuesto equipo EP-14	124
LVI.	Presupuesto equipo EP-15	124
LVII.	Presupuesto equipo EP-16	125
LVIII.	Presupuesto equipo EP-17	126
LIX.	Presupuesto equipo EP-20	127
LX.	Presupuesto equipo EP-22	128
LXI.	Presupuesto equipo EP-25	129
LXII.	Presupuesto equipo EP-26	130
LXIII.	Presupuesto equipo EP-28	131
LXIV.	Presupuesto equipo EP-36	132
LXV.	Presupuesto equipo EP-46 pozo 2.....	133

LXVI.	Presupuesto equipo EP-47 pozo 3	133
LXVII.	Presupuesto equipo EP-48 pozo 4	134
LXVIII.	Presupuesto equipo EP-50 pozo 6	135
LXIX.	Presupuesto equipo EP-52 pozo 8	136

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
CDT	Carga dinámica total
Q	Caudal
ρ	densidad de un material
\varnothing	Diámetro
\$	Dólar americano
η	eficiencia
ft	<i>Feet</i> (pie)
gal	Galón
GPM	Galón por minuto
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius
hp	<i>Horsepower</i> (caballo de fuerza)
in	<i>inch</i> (pulgadas)
kg	Kilogramo
L	Litro
l/s	Litros sobre segundo
L	Longitud
MJ	Mega Joules
m³/s	Metro cúbico sobre segundo
μ	Micro
mm	Milímetro
NPSH	<i>Net positive suction head</i> (altura neta positiva de

	succión)
<i>hf</i>	Pérdida de presión por fricción
%	Porcentaje
RPM	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Aceleración	Incremento de la velocidad en la unidad de tiempo.
Agua	Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro formando ríos, lagos y mares, ocupa las tres cuartas partes del planeta Tierra y forma parte de los seres vivos; está constituida por hidrógeno y oxígeno (H ₂ O).
Axial	Del eje o relacionado con este.
Bomba	Máquina que se usa para extraer, elevar o impulsar líquidos y gases de un lugar a otro.
Caña	Planta de tallo leñoso, hueco, flexible, de hojas anchas, algo ásperas y flores agrupadas en panojas muy ramosas; puede alcanzar hasta 4 m de altura; es la materia prima en la producción de azúcar granulado.
Caudal	Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

Ciclo	Serie de fases o estados por las que pasa un acontecimiento o fenómeno y que se suceden en el mismo orden hasta llegar a una fase o estado a partir de los cuales vuelven a repetirse en el mismo orden.
Combustión	Reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, que va acompañada de desprendimiento de energía y habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.
Diámetro	Línea recta que une dos puntos de una circunferencia, de una curva cerrada o de la superficie de una esfera pasando por su centro.
Energía	Capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etc.
Flujo	Movimiento de un fluido.
Granulometría	Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.

Lámina	Espesor de la capa de agua con que una superficie de tierra, supuestamente a nivel, quedaría cubierta por un volumen de agua.
Máquina	Objeto fabricado y compuesto por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.
Maquinaria	Conjunto de máquinas que se usan para un fin determinado.
Mecánica	Conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y mediante un movimiento hacen un trabajo o cumplen una función.
Motor	Máquina que transforma una energía en movimiento.
Presión	Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.
Radial	Que parte del centro hacia fuera como los radios de una circunferencia.
Regulador	Es un dispositivo que permite reducir la presión de un fluido en una red; el más sencillo consiste en un estrangulamiento en el conducto que produce

una pérdida de carga o presión para reducir la presión pero la presión final variará mucho según la presión de entrada y el caudal.

Revolución

Vuelta completa que da un cuerpo alrededor de su eje.

Sistema

Conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento de un grupo o colectividad.

RESUMEN

El principal problema de la empresa es que algunos equipos de riego presentan una gran diferencia entre el porcentaje de combustible abastecido y el porcentaje de lámina de agua aplicada al cultivo de caña de azúcar a lo largo de la temporada; esto puede darse por distintos factores: mala operación de motores, motores en mal estado, falta mantenimiento a los pozos y bombas, problemas con la tubería de conducción, datos desactualizados al momento de realizar el presupuesto.

Se determinó qué equipos de riego eran los que presentaban bajo rendimiento y se procedió a realizar distintas evaluaciones que demostraron el estado actual de operación en cada uno y ayudaron a determinar la causa del mal rendimiento en dichos equipos.

Lo que se busca con este proyecto es determinar las causas del alto consumo y baja aplicación de lámina de agua; actualizar la base de datos de todos los equipos con que se cuenta; proponer acciones correctivas puntuales a los equipos con mal rendimiento en la temporada; capacitar al personal del campo para llevar una mejor operación en la próxima temporada de riego; exponer la importancia del monitoreo de operación y reporte de anomalías y fallas en el equipo de riego.

OBJETIVOS

General

Determinar que equipos de riego cuentan con bajo rendimiento y proponer acciones para mejorar su eficiencia.

Específicos

1. Obtener datos actualizados de operación de los equipos con bajo rendimiento.
2. Realizar un análisis de operación de cada equipo tomando en cuenta todos los datos actualizados y comparar los resultados con los datos de la empresa.
3. Determinar las causas del bajo rendimiento en cada equipo en particular.
4. Proponer las acciones correctivas para mejorar el rendimiento de los equipos con déficit.
5. Presentar datos actualizados a gerencia para que puedan apoyarse en estos al momento de realizar el presupuesto de operación para la próxima temporada de riego, de manera que esté lo más apegado a la realidad.

INTRODUCCIÓN

La caña es la materia principal en la producción de azúcar, por lo cual se requiere que este cultivo sea de la mejor calidad para producir grandes cantidades de azúcar de buena calidad; el riego juega un papel importante en la producción de caña ya que es a través del riego de agua que el cultivo absorbe los nutrientes necesarios para su óptimo desarrollo; por lo cual los sistemas de riego deben trabajar de manera eficiente y sincronizada para cumplir con la absorción de nutrientes.

El déficit de operación en la maquinaria encargada de riego para caña genera retraso en la producción de azúcar; puede disminuir el volumen del cultivo o incidir en una mala calidad de caña; la industria azucarera representa un pilar fuerte en la economía del país que generan cientos de empleos anualmente y crean desarrollo para el país. Por tal razón, el riego en la caña debe ser el óptimo, ya que al presentar un déficit de riego no solo se afecta a la empresa encargada de brindar el servicio de riego; también, a cientos de personas que laboran en la industria azucarera.

Para determinar las causas de una mala operación de la maquinaria de riego es necesario analizar cada equipo en particular, medir las variables y evaluar el desempeño de los distintos elementos mecánicos de un sistema de riego; con esto no solo se obtendrá una mejor base de datos de operación sino que se podrá proponer acciones correctivas que incidan en una mejor operación de riego, siendo más eficiente, sin generar gastos excesivos de combustible y aplicando la adecuada lámina de riego al cultivo de caña azucarera.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

Grupo Topke es un grupo de empresas que se dedican a distintas áreas de la industria y comercio que generan empleo y desarrollo para el país.

Maquinaria Topke es una empresa de Grupo Topke dedicada a la venta y arrendamiento de maquinaria industrial con más de 115 años de experiencia en el mercado, ha evolucionado conforme las necesidades del mercado industrial del país y ha logrado expandir sus servicios a México, Belice, Nicaragua y Honduras.

Maquinaria Topke cuenta con diversas áreas: generación eléctrica, iluminación, bombas y fluidos, perforaciones y riegos, el presente informe estará basado en la operación realizada en el área de riegos.

1.1. Ubicación

Maquinaria Topke se encuentra ubicado en la vía 4, 5-52 zona 4.

1.2. Historia

Maquinaria Topke inició operaciones en el año de 1898 en el departamento de Quetzaltenango como ferretería La Estrella, Topke y Compañía bajo la dirección de Hermann Töpke.

Después de la erupción de 1905 del volcán Santa María, la tienda mueve su ubicación a la zona 1 de la ciudad de Guatemala, muy cerca del Portal del Comercio.

El Sr. Töpke era recordado y reconocido por sus cualidades de patrón justo y negociante honesto, su forma de ser era y todavía se califica como una persona muy íntegra, correcta y cabal. Hermann Töpke deja de existir en el año de 1950. Enrique, Hermann y Alice, hijos del Sr. Töpke, heredan los negocios de su padre, desarrollándolos y siempre brindando a la industria de agricultura el servicio que les caracteriza, repuestos y otros productos, desde un clavo hasta un camión International.

Desgraciadamente, con el paso del tiempo, en 1965 la enfermedad acecha al entonces gerente de la compañía Almacén de Maquinaria Enrique Töpke C., Enrique Töpke y deja de existir algunos meses más tarde. El almacén queda entonces al mando de su esposa Gerda, y en 1971 es trasladado a su actual ubicación en la zona 4 de la ciudad capital de Guatemala desde donde se dirige todavía una exitosa operación de venta y distribución de equipo industrial.

El legado de Hermann Töpke ha sobrevivido por muchos años, ha sobrellevado varias crisis mundiales y sobrepasado innumerables obstáculos gracias a la calidad, capacidad y talento del personal con el que se cuenta, principalmente, gracias a la aceptación de los clientes quienes saben en quienes depositar su confianza.

1.3. Misión

“En Grupo Topke nos apasionamos por lograr la satisfacción plena de las necesidades y requerimientos de nuestros clientes, proporcionando productos, servicios y soluciones integrales de alta calidad; innovándonos cada día bajo un enfoque de mejora continua, excelencia y responsabilidad social.”¹

1.4. Visión

“Posicionarnos en Latinoamérica como el grupo empresarial líder en comercialización y distribución de nuestras líneas de productos, servicios y soluciones integrales, con reconocimiento sostenible en generación de valor para nuestros clientes a través de un servicio de calidad y excelencia.”²

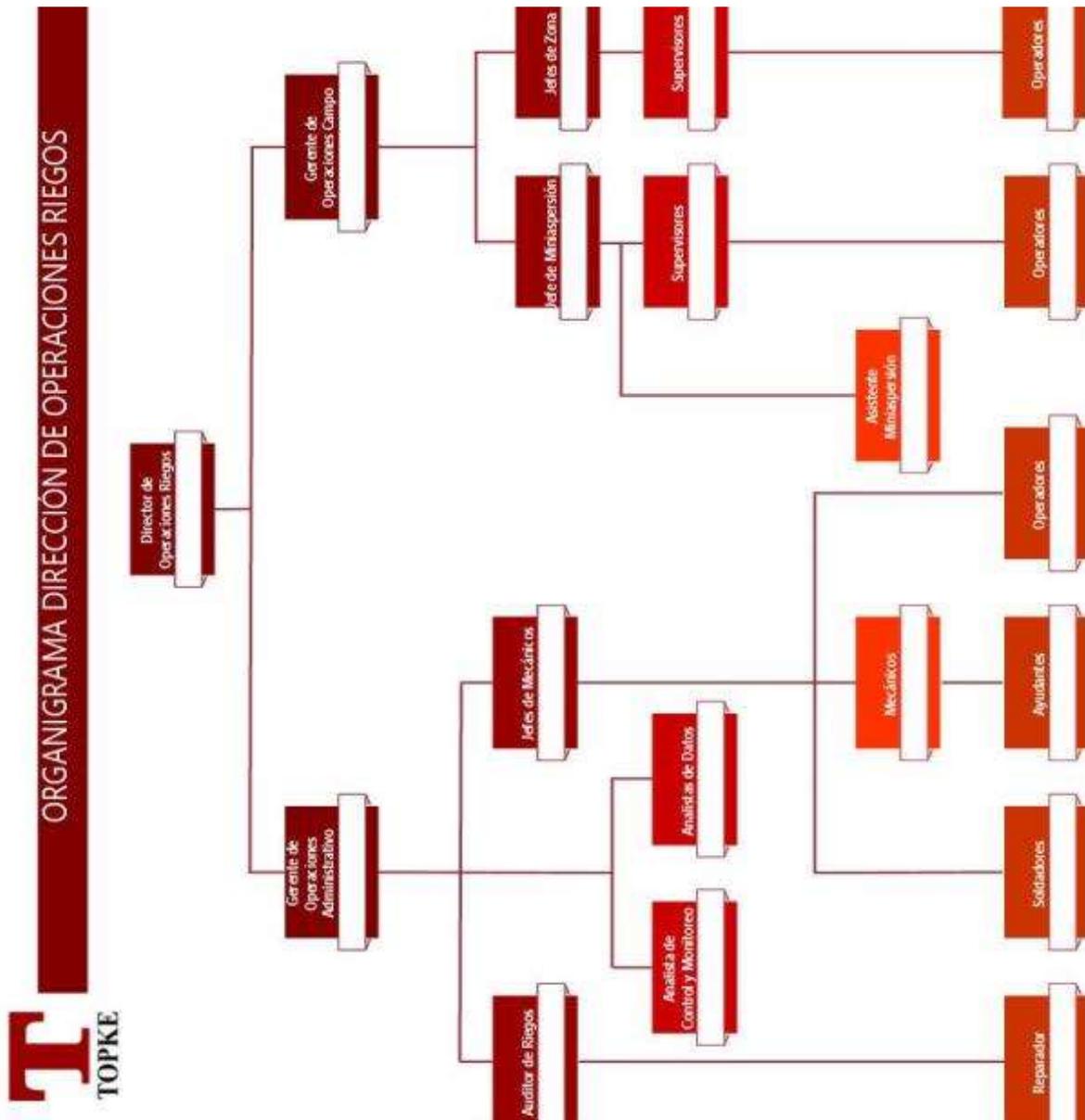
1.5. Valores

- Servicio
- Responsabilidad
- Innovación
- Calidad
- Excelencia

¹ Grupo Topke. Misión. www.topke.com Consulta: abril 2016.

² Grupo Topke. Visión. www.topke.com Consulta: abril 2016.

Figura 1. Organigrama de dirección de operaciones Riegos Topke



Fuente: GRUPO TOPKE. *Manual de la empresa*. p. 5.

1.6. Fundamentos

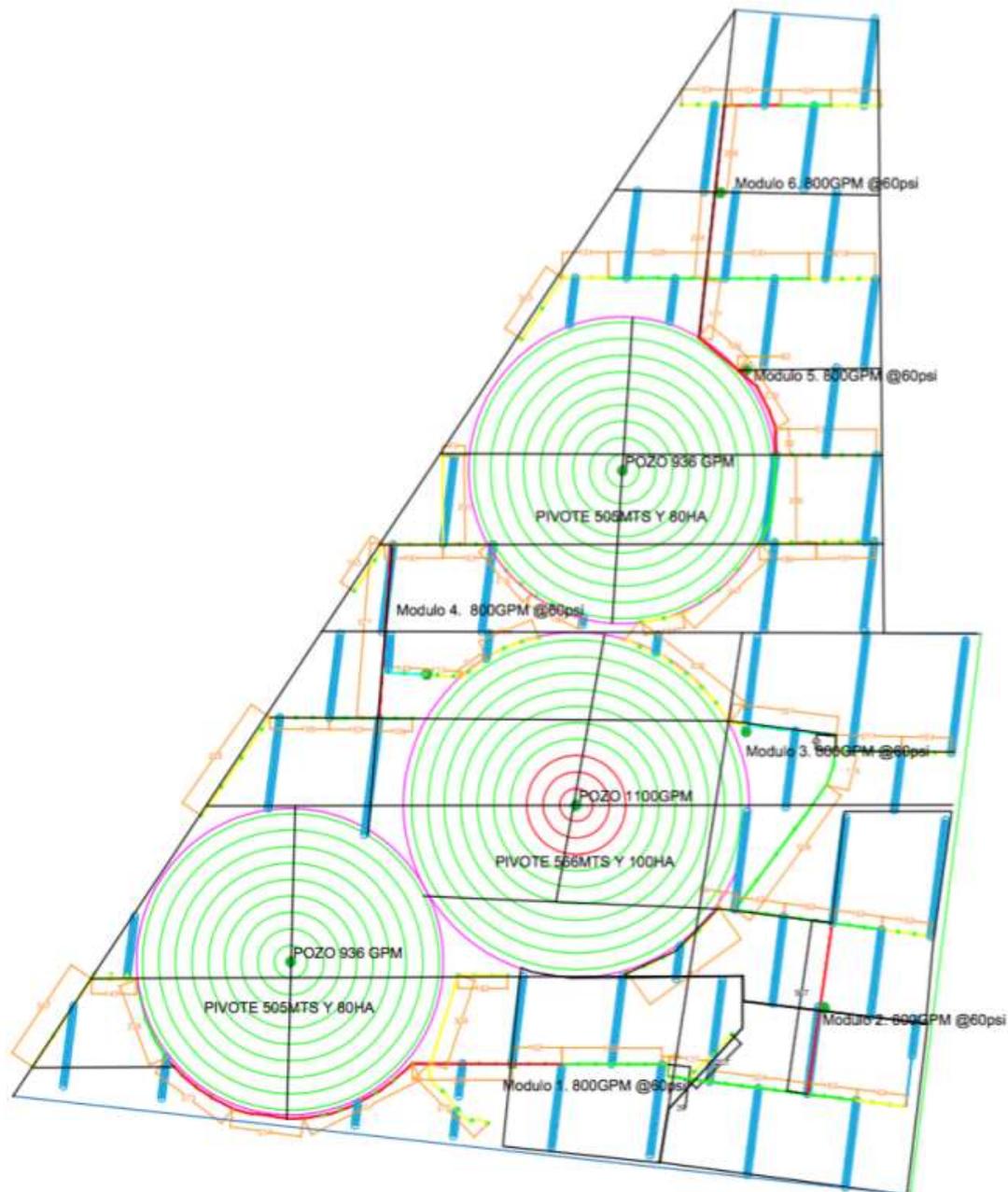
1.6.1. Sistema de riego

Se denomina sistema de riego al conjunto de estructuras que ayudan a que un área pueda ser irrigada por medio de la aplicación de una determinada lámina de agua que ayuda a la mejor absorción de nutrientes que la planta necesita para un mejor desarrollo. Grupo Topke cuenta con varios tipos de sistemas de riego que se adaptan a las necesidades del cliente: sistema de riego por miniaspersión, sistema de riego por pivote fijo, sistema de riego por avance frontal.

1.6.1.1. Sistema de riego por miniaspersión

Este tipo de riego tiene como fin aplicar una cantidad determinada de agua con gotas muy finas cuya característica es que no causa impacto en el suelo, no produce costra y ayuda a que el cultivo germine de manera adecuada. Mecánicamente está conformado por tubos fijos o móviles interconectados con hidrantes distanciados entre sí, en los cuales se coloca el acople mecánico de cada porta aspersores que forman una red de aspersores; el sistema es abastecido a distancia por bombas hidráulicas que bombean agua a través de la tubería de la red de aspersores.

Figura 2. **diagrama de un sistema de riego por miniaspersión**



Fuente: GRUPO TOPKE. *Sistema de riego por mini aspersion*. p. 7.

Figura 3. **Motor y acople a bomba turbina para pozo de miniaspersión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. **Motor y acople a bomba de turbina para pozo de miniaspersión, equipo completo**



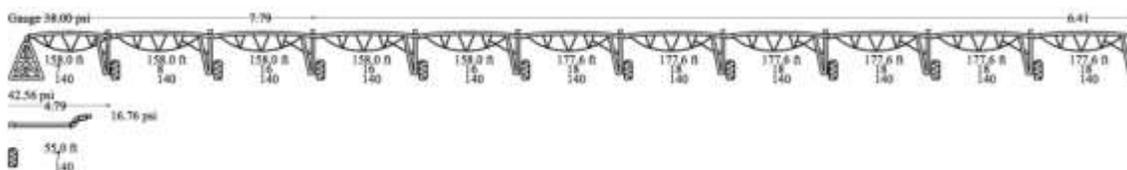
Fuente: elaboración propia.

1.6.1.2. Sistema de riego por pivote fijo

Un pivote es un sistema de riego mecanizado que está ubicado en el centro del área de cultivo que se desea regar, rota sobre su propio eje proyectando una trayectoria circular; el pivote es movido por un motor de combustión interna que se encarga de proporcionar la potencia para que el sistema hidráulico ponga en marcha las ruedas y se desplacen a través de su trayectoria circular; en el caso de los equipos que son abastecidos a distancia, este motor también suministra potencia para que el equipo de rebombeo distribuya el agua de manera uniforme a través de la red de mangueras conectadas en los aspersores en las torres del equipo; para los equipos que son abastecidos por un pozo aledaño al pivote; el pozo cuenta con un motor acoplado a una bomba de flujo axial que bombea el agua del interior de la tierra al pivote y no necesitan sistema de rebombeo.

Un pivote central consta de estructuras compuestas por tubería y tirantes de hierro galvanizado; dichas estructuras están divididos en varias estaciones las cuales son soportadas por otra estructura hecha de perfiles y angulares llamadas torres; son las torres las que proporcionan altura necesaria para pasar por encima del cultivo. Las torres están equipadas con dos ruedas con transmisión y un motor hidráulico el cual se encarga de su movimiento.

Figura 5. **diagrama de un sistema de riego por pivote central**



Fuente: GRUPO TOPKE. *Sistema de riego por pivote central*. p. 3.

Figura 6. **Torre central, pivote central**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Tubería de conducción pivote central**



Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Motor hidráulico, pivote central**



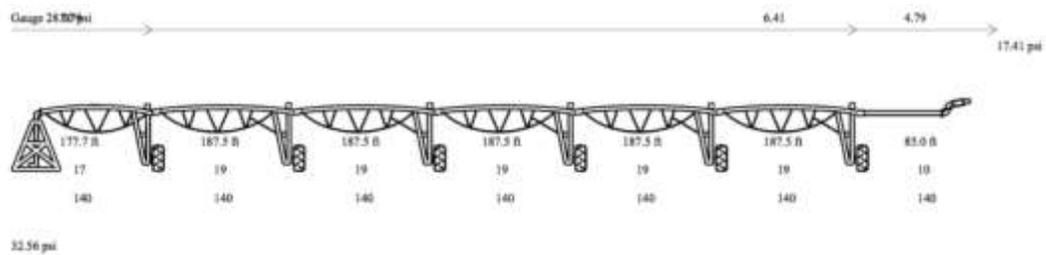
Fuente: elaboración propia.

1.6.1.3. Sistema de riego por avance frontal

Un sistema de avance frontal es una máquina autopropulsada que abarca gran porcentaje de la superficie de cultivo; se desplaza en forma perpendicular al terreno por medio de un vehículo principal en el cual se encuentra el motor que proporciona el movimiento del equipo y la potencia necesaria para el funcionamiento del equipo de bombeo; el avance frontal obtiene el suministro de agua de un canal abierto que se encuentra localizado a un lado de la trayectoria de avance del vehículo; el canal es abastecido por un motor caudalero a distancia que puede tener toma directa de una fuente de agua superficial o por medio de un pozo; el equipo de bombeo montado en el vehículo del avance frontal se encarga de suministrar agua a la tubería de riego ubicada en las alas del avance.

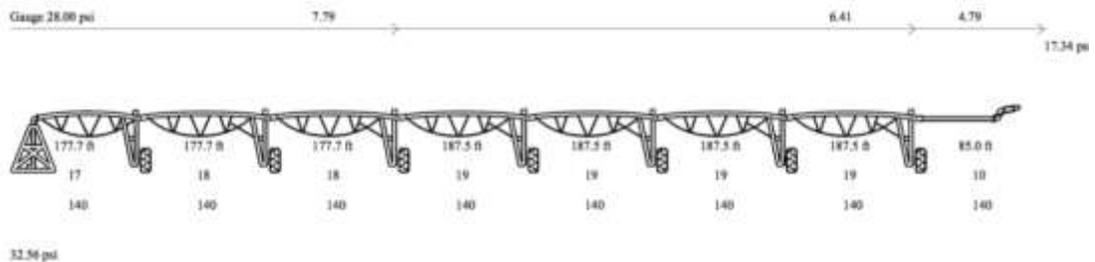
Un avance frontal puede tener uno o dos brazos o alas de torres, uno a cada lado del vehículo de avance; estas alas laterales pueden llegar a medir hasta 800 metros de longitud y están constituidas al igual que un pivote central de estructuras compuestas por tubería y tirantes de hierro galvanizado; también, seccionado en torres que determinan la altura necesaria para pasar por encima del cultivo y equipadas con dos ruedas en cada torre que cuentan con transmisión y un motor hidráulico que se encarga de su movimiento.

Figura 9. **Diagrama de un sistema de riego avance frontal ala derecha**



Fuente: GRUPO TOPKE. *Sistema de riego por avance frontal*. p. 3.

Figura 10. **Diagrama de un sistema de riego avance frontal, ala izquierda**



Fuente: GRUPO TOPKE. *Sistema de riego por avance frontal*. p. 3.

Figura 11. **Vehículo autopropulsor de avance frontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Ala izquierda, avance frontal**



Fuente: elaboración propia.

1.6.2. Maquinaria hidráulica

Una máquina hidráulica absorbe energía de una clase, mecánica o eléctrica, y restituye energía hidráulica; las máquinas hidráulicas pertenecen a un grupo de máquinas llamadas máquinas de fluido.

Una máquina de fluido es aquella máquina en que el fluido proporciona energía que es absorbida por la máquina o bien es el receptor de energía al que la máquina restituye la energía mecánica absorbida.

1.6.2.1. Clasificación de maquinaria hidráulica

En general, las máquinas hidráulicas pueden clasificarse en dos tipos: motores hidráulicos, también llamados bombas hidráulicas, y generadores hidráulicos, llamados turbinas de generación; estos dos tipos de máquinas tienen principios de funcionamiento totalmente opuestos; en el caso de las bombas hidráulicas, es el motor hidráulico el que se encarga de proporcionar la energía al fluido; en el caso de las turbinas, es el fluido el que restituye energía mecánica a la turbina; para la realización del presente proyecto únicamente se enfatizará el estudio de bombas hidráulicas.

1.6.2.1.1. Bomba hidráulica

Una bomba es una máquina que absorbe energía mecánica y restituye al líquido que la atraviesa en energía hidráulica; las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos se clasifican en: bombas de desplazamiento positivo y bombas rotodinámicas o turbomáquinas.

- Bomba hidráulica de desplazamiento positivo

En las máquinas de desplazamiento positivo, también llamadas volumétricas, el intercambiador de energía cede energía al fluido o el fluido a este en forma de energía de presión creada por la variación de volumen; en

este tipo de máquinas la dirección y el valor absoluto de la velocidad del flujo no juegan papel alguno.

El principio de operación de las máquinas de desplazamiento positivo se basa en el movimiento de un fluido causado por la disminución de volumen de una cámara. Por ejemplo, al disminuir el volumen dentro de un cilindro con un orificio de descarga, por medio de un embolo, el fluido se verá obligado a salir, sea cual sea su presión, siempre que la fuerza ejercida por el embolo sea lo suficientemente grande y las paredes del cilindro lo suficientemente robustas.

- Bomba rotodinámica o turbomáquina

Las turbomáquinas, denominadas también máquinas de corriente, basan su principio de operación en la ecuación de Euler si para el cual son esenciales la dirección y el valor absoluto de la velocidad del fluido. En las turbomáquinas, el órgano transmisor de energía siempre está en movimiento rotativo y pueden clasificarse según los siguientes criterios:

- Según la dirección del flujo: flujo axial y flujo radial.
- Según la posición del eje: eje horizontal, eje vertical, eje inclinado.
- Según la presión engendrada: presión baja, presión media, presión alta.
- Según el número de flujos: simple aspiración o de un flujo, doble aspiración o de dos flujos.
- Según el número de rodets: de un escalonamiento o etapa o de varios escalonamientos.
- Bomba de flujo axial.

Este tipo de máquina es el más adecuado para riego, aunque puede emplearse para realizar otros trabajos hidráulicos, ya que se encarga de elevar

un gran caudal de líquido a una altura relativamente pequeña; su rendimiento se puede comparar con una unidad centrífuga. La unidad motriz es pequeña, esto se debe a su velocidad relativa.

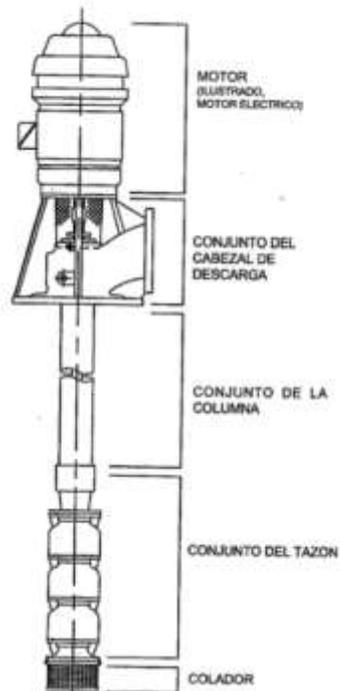
Estas bombas, según su diseño, cuentan con una altura máxima de trabajo que oscila entre 30 y 40 pies (9 y 12 metros), pero esta altura puede aumentar al modificar el número de etapas o escalonamientos de la bomba, que por diseño cuenta únicamente con un escalonamiento. En su diseño, el rodete es abierto y su forma es similar al de una hélice naval; los alabes son los encargados de guiar el camino de las partículas de agua que ingresa axialmente a estos que, generan una trayectoria en forma de una hélice rotacional, no interviene ningún efecto centrífugo en el proceso. Las principales partes de una bomba de flujo axial son las siguientes:

- Motor: los motores que se utilizan para las bombas de flujo axial (bombas de turbina) en Grupo Topke, cuentan con eje sólido, en donde el eje rotor se proyecta debajo de la base de montaje del motor; requiere un acople ajustable para ser conectado con la bomba.
- Cabezal de descarga: en el cabezal de descarga se apoyan el motor y el conjunto del tazón, también, provee una conexión de descarga. En el cabezal de descarga se localiza un arreglo de sellos para sellar el eje rotativo en donde este pasa desde el alojamiento estacionario (cámara de líquido). El sello del eje puede ser, por lo general, tanto un conjunto de sello mecánico como una caja de empaque.
- Conjunto de la columna: los conjuntos de columna consisten del tubo de la columna que conecta el conjunto del tazón al cabezal de descarga y acarrea el líquido bombeado al cabezal de descarga; el eje que conecta al eje del tazón con el motor y puede también tener cojinetes si estos son requeridos por la unidad en particular. El tubo de la columna puede ser

con rosca como con reborde o ceja. En el caso de Grupo Topke, se utiliza construcción de eje lineal abierto, el cual utiliza el mismo líquido que está siendo bombeado (agua) para lubricar los cojinetes del eje lineal.

- Conjunto del tazón: el conjunto de tazón consiste de impulsores montados con rigidez en el eje del tazón que giran e imparten energía al fluido, tazones para contener la presión elevada y dirigir el fluido, una campana de succión o caja que dirige el fluido al primer impulsor, y a los cojinetes que se localizan en la campana de succión y en cada tazón.

Figura 13. **Diagrama de componentes de una bomba de flujo axial**



Fuente GRUPO TOPKE. *Manual de instrucciones para la instalación, operación y mantenimiento y lista de partes de bombas de turbina.* p 5.

- Bomba de flujo radial o centrífuga

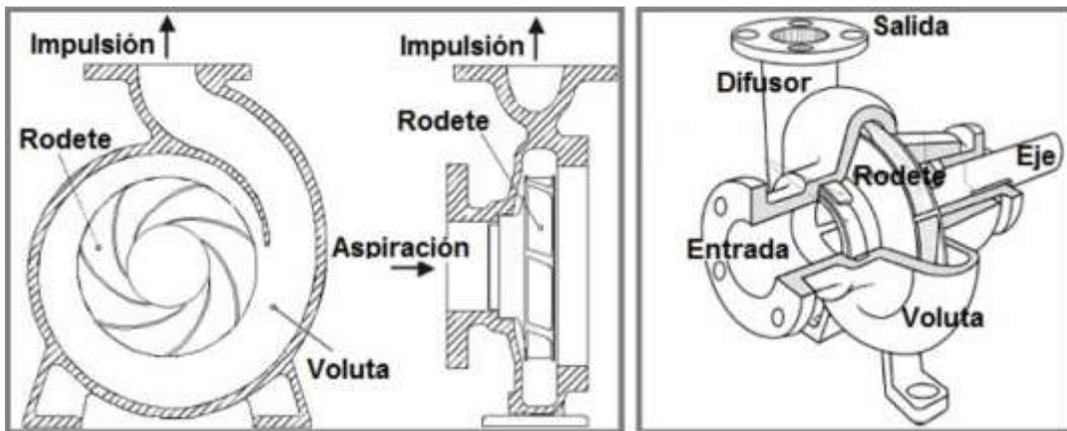
Esta máquina se encarga de incrementar la velocidad del fluido mediante un elemento rodante constituido por alabes; aprovecha la fuerza centrífuga y la transforma en energía potencial consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática la cual tiene forma de difusor. Este tipo de bombas pueden contar con una o varias etapas.

El fluido entra a la bomba a través del centro del rodete donde gana energía a medida que los alabes lo transportan hacia afuera en dirección radial; esta aceleración produce un apreciable aumento de energía cinética y energía de presión, lo cual es debido a la forma de caracol de la voluta para generar incremento gradual de área de flujo, de tal manera que la energía cinética a la salida del rodete se convierte en la cabeza de presión a la salida. Las principales partes de una bomba centrífuga se presentan a continuación:

- Carcasa: es la parte exterior de la bomba, encargada de resguardar todos los elementos mecánicos que constituyen la bomba, su función es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por medio del impulsor en energía de presión, el cual se da gracias a la reducción de velocidad debido al aumento gradual de área.
- Impulsores: es la parte principal en este tipo de bombas, es el encargado de recibir el líquido e impartirle velocidad por medio del movimiento rotativo que depende de la carga de la bomba.
- Anillos de desgaste: su función principal es evitar el desgaste de las partes mecánicas de la bomba, son baratos y fáciles de remover en las partes que debido a la holgura que existe entre los elementos es difícil de acceder.

- Estoperas, empaques y sellos: la función de estos elementos es evitar las fugas de líquido bombeado a través del agujero donde se acopla la flecha, lo que se vería reflejado en una disminución de presión de trabajo de la bomba; al mismo tiempo evita que entre aire a la bomba.
- Flecha: es el eje encargado de transmitir el movimiento del motor accionador de la bomba hacia todos los elementos rodantes de la bomba.
- Cojinetes: soporta todas las cargas axiales y radiales que actúan en la bomba, también sirve de soporte y alineamiento del rotor con las partes estacionarias.
- Base: se encarga de la correcta distribución del peso de la bomba y brinda el soporte necesario a la bomba.

Figura 14. **componentes de bomba radial**



Fuente: *Cálculo de instalaciones de bombeo de agua,*

<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>. Consulta: 26 de julio de 2017.

1.6.3. Pérdidas de energía en conducción

Las pérdidas de energía en una conducción pueden clasificarse en dos: pérdidas menores o locales y pérdidas mayores o de fricción.

1.6.3.1. Pérdidas menores o locales

Estas pérdidas se dan en una zona localizada del sistema de distribución, principalmente, se originan por ampliación o reducción de diámetro de tubería, válvulas, cambios de dirección y accesorios.

1.6.3.2. Pérdidas mayores o de fricción

Es la pérdida de presión de un fluido causado por el rozamiento de las partículas entre el fluido y las paredes de la tubería o canal que lo transporta, son las pérdidas más significativas en el transporte de fluidos.

1.6.3.2.1. Método Hazen y Williams para el cálculo de pérdidas de energía por fricción

El método de Hazen y Williams es un método empírico que funciona únicamente para agua como fluido de estudio entre 5 °C y 25 °C. Su cálculo es simple debido a que el factor C no depende de la velocidad del fluido o el diámetro de la tubería. Este método es bastante útil para cálculos en sistemas de distribución de diversos materiales.

Las pérdidas de energía por fricción utilizando el método de Hazen y Williams se pueden determinar mediante la siguiente ecuación.

$$hf = \frac{10.643 * Q^{1.85}}{\emptyset^{4.87} * C^{1.85}} * L$$

Donde:

- hf: pérdidas de energía por fricción
- 10.643 constante de perdida para el sistema internacional
- Q: Caudal en metros cúbicos por segundo
- \emptyset : Diámetro interno de la tubería en metros
- C: coeficiente de fricción específico para cada material
- L: longitud de la sección de tubería que transporta el agua en metros

1.6.4. Combustible

Se denomina combustible al elemento o sustancia que puede liberar energía por medio del proceso de oxidación, de manera violenta, que genera un desprendimiento de calor. Generalmente, el combustible libera energía de su estado potencial a un estado utilizable, ya sea directa o mecánicamente, produciendo calor como residuo; es decir, un combustible es una sustancia susceptible de ser quemada o tiende a quemarse. Se denomina poder calorífico al calor desprendido de combustión de una unidad de masa de combustible; en el sistema internacional se mide en kilo Joules por kilogramo (kJ/kg), en el sistema inglés se mide en BTU por libra masa (BTU/Lbm). Existen diversas clasificaciones y subclasificaciones de combustible, pero para la realización del presente proyecto se hará énfasis en los dos tipos de combustible que Grupo Topke utiliza para la operación de equipos: gas licuado de petróleo y diésel.

1.6.4.1. Clasificación de los combustibles

- Combustibles sólidos
 - Carbón: combustible fósil sólido, en su formación interviene un proceso de descomposición vegetal y ácidos húmicos.
 - Madera: está compuesta principalmente por fibras leñosas, nitrógeno, que forma la parte estructural de la célula vegetal, savia, que es una disolución acuosa; cuenta con sales inorgánicas, azúcares y celulosa; por último agua, que conforma la parte no flamable de la madera.
 - Turba natural: es un material orgánico rico en carbono, con consistencias esponjosa y ligera en la cual pueden apreciarse restos de los componentes vegetales que la formaron.

- Combustibles fluidos
 - Gasolina: es un combustible que se utiliza en motores de combustión interna de encendido por chispa, en algunas lámparas y estufas; este combustible está constituido por una mezcla de hidrocarburos obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo.
 - Queroseno: es un líquido inflamable, mezcla de hidrocarburos, obtenido de la destilación del petróleo natural; en la antigüedad se utilizaba como combustible para lámparas y estufas.

- Bunker: es un combustible producto de los residuos de la destilación de hidrocarburos, generalmente cuenta con un costo relativamente bajo gracias a su condición de 'residuo', por lo que se utiliza bastante para aplicaciones que requieren altos consumos de combustible: embarcaciones, generación de energía, hornos industriales, etc.
- Gasóleo o diésel: el diésel, también conocido como gasóleo, es un hidrocarburo líquido compuesto principalmente por parafinas; su poder calorífico es de 43,1 MJ/kg; es bastante utilizado en motores, máquinas de calefacción, calderas, entre otros; la característica principal de este combustible es que necesita ser sometido a altas presiones para combustionar.
- Combustible gaseoso
 - Gas licuado de petróleo (GLP): se conoce como gas licuado de petróleo a la mezcla de gases licuados que se encuentran presentes en el gas natural o disueltos en petróleo; puede decirse que el GLP es una mezcla de propano y butano, los cuales pueden obtenerse por la reducción de temperatura del gas hasta que los componentes se condensen; para esto se utilizan refrigeración o turbo expansores para alcanzar temperaturas de hasta -40°C que son necesarias para la recuperación de propano. Posteriormente, estos líquidos se someten a un proceso de purificación por medio de trenes de destilación para producir propano y butano líquido. El poder calorífico del GLP es de 45,76 MJ/kg.

1.6.5. Motor de combustión interna MCI

Un motor de combustión interna es una máquina encargada de transformar la energía química en energía mecánica; la energía térmica es obtenida por la ignición, dentro de una cámara cerrada o cilindro, provocada por la mezcla de aire a presión, combustible atomizado, y una fuente de calor para realizar la combustión dentro de un cilindro.

1.6.5.1. Funcionamiento de un MCI

A causa de la combustión realizada dentro del cilindro del motor, se genera un movimiento alternativo; este movimiento es transmitido al eje principal del motor o eje cigüeñal, el cual se encarga de convertir este movimiento en rotativo, que a la vez se transmite a los mecanismos de transmisión de potencia y finalmente al elemento que se desee impulsar.

Por medio del proceso de combustión realizado dentro del cilindro, la energía química del combustible es convertida en energía calorífica, de la cual parte de esta se transforma en energía cinética aplicada al pistón, que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable al elemento mecánico que se desee impulsar, la otra parte de la energía calorífica se disipa en el sistema de refrigeración y en el sistema de escape.

En un motor de combustión interna, el pistón se encuentra dentro del cilindro, el cual evita que el pistón realice movimientos que no sean únicamente de desplazamiento lineal alternativo, entre el punto muerto superior y punto muerto inferior, a la distancia que existe entre ambos puntos se le denomina carrera del motor. Tanto el movimiento del pistón como la energía liberada por

la combustión son transmitidos por la biela acoplada al eje cigüeñal, el cual está a los apoyos de la bancada del bloque del motor, y con unos descentramientos en los cuales se apoyan las bielas permiten que el movimiento lineal del pistón se transforme en un movimiento circular en el eje cigüeñal. Este movimiento circular debe estar en perfecta sincronía con el sistema de encendido y el sistema valvular compuesto por las válvulas de admisión y escape.

1.6.5.2. Ciclos termodinámicos de un MCI

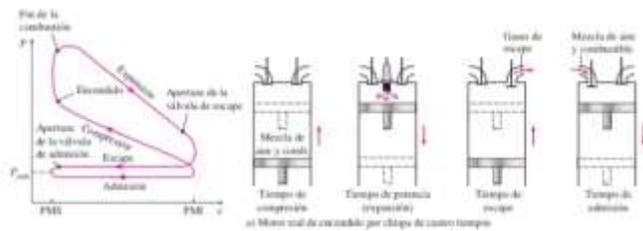
- Ciclo Otto: este ciclo termodinámico recibe su nombre en honor a Nikolaus Otto, quien construyó una máquina de 4 tiempos; se les denomina motores de cuatro tiempos ya que el cigüeñal completa 2 revoluciones por cada ciclo térmico. La característica principal de los motores que utilizan el ciclo Otto es que la combustión se realiza por medio de una chispa que enciende la mezcla de aire y combustible, proporcionada por una bujía.

Funcionamiento del ciclo Otto: inicialmente, las válvulas de admisión y escape se encuentran cerradas y el pistón se encuentra en su punto muerto inferior; luego, se desplaza a lo largo de toda su carrera, comprimiendo la mezcla de aire y combustible que se encuentra dentro del cilindro (carrera de compresión), poco antes de que el pistón alcance el punto muerto superior la bujía produce una chispa que es la encargada de encender la mezcla de aire y combustible, lo que produce un aumento de presión y temperatura del sistema. Los gases de alta presión impulsan el pistón hacia abajo, el cual a la su vez hace que el eje cigüeñal rote y produzca trabajo útil durante la carrera de expansión; nuevamente, el pistón se

encuentra en su punto muerto inferior y termina el primer ciclo mecánico. El cilindro se encuentra lleno de gases producidos por la combustión, el pistón se desplaza hacia arriba a lo largo de su carrera eliminando los gases por medio de la apertura que realiza la válvula de escape y posteriormente extrae mezcla fresca y limpia.

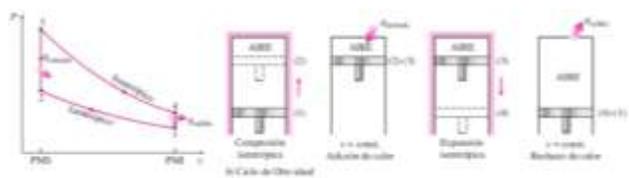
Dos factores influyen para mejorar la eficiencia térmica de un MCI con ciclo diésel, las cuales son relaciones de compresión más altas sin que se produzca autoencendido, que produce que el pistón regrese golpeteando descontroladamente el cilindro, y el otro factor que influye en la eficiencia es el calor específico del combustible.

Figura 15. **Diagrama de operación ciclo Otto**



Fuente: CENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. *Termodinámica*. p. 507.

Figura 16. **Diagrama presión - volumen, ciclo Otto**



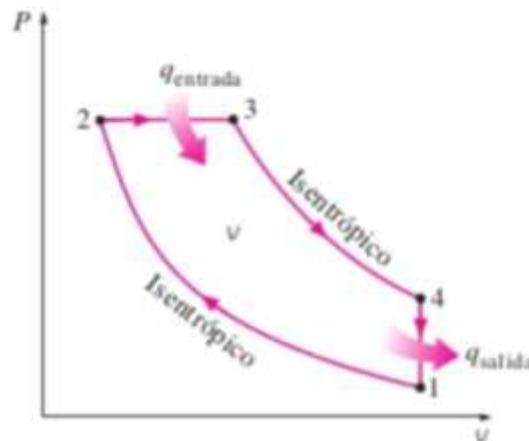
Fuente: CENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. *Termodinámica*. p. 508.

- Ciclo diésel: el ciclo diésel fue propuesto por el alemán Rudolph Diesel, es un ciclo bastante similar al ciclo Otto; la principal diferencia entre estos dos ciclos se encuentra en el método que da inicio la combustión, ya que en los motores diésel el aire se comprime hasta una temperatura superior a la temperatura de autoencendido del combustible y la combustión inicia al entrar en contacto el aire caliente con el combustible inyectado a alta presión; este sistema se sustituyen las bujías por inyectores de alta presión.
 - Funcionamiento del ciclo diésel: en los motores diésel únicamente se comprime aire durante la carrera de compresión, eliminando así la posibilidad de autoencendido; por lo tanto, estos motores cuentan con relaciones de compresión bastante superiores a las del motor a gasolina, esto es una ventaja para el combustible ya que no debe ser tan refinado y reduce su costo.
 - El proceso de inyección empieza cuando el pistón se acerca al punto muerto superior y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia; por lo tanto, en estos motores el proceso de adición de calor sucede durante un periodo más prolongado de tiempo. Debido a esta prolongación de tiempo, el proceso de combustión en el ciclo diésel ideal, se toma como un proceso de adición de calor a presión constante, de hecho, es el único proceso en el en que los ciclos Otto y Diésel difieren.

Los motores diésel operan con relaciones de compresión mayores a las del motor a gasolina; también, queman el combustible de manera más completa y trabajan menos revolucionados; por lo tanto, los motores diésel se consideran

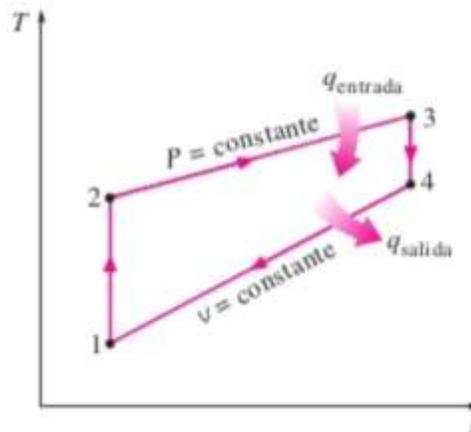
motores más eficientes que los motores a gasolina. Gracias a la mayor eficiencia y menor costo de combustible son la mejor opción para aplicaciones que requieren cantidades relativamente grandes de potencia.

Figura 17. **diagrama presión - volumen ciclo diésel**



Fuente CENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. *Termodinámica*. p. 509.

Figura 18. **diagrama temperatura - entropía ciclo diésel**



Fuente CENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. *Termodinámica*. p. 509.

1.6.6. Cabezal de engranajes

Elemento mecánico que por medio de engranes situados en su interior sirve para transmitir potencia de un motor, y de acuerdo a la relación de engranajes que posee puede variar las revoluciones del motor hacia la bomba; ayuda a tener una operación más eficiente sin forzar de más la bomba.

1.6.7. Pozo

Perforación o túnel vertical que se hace en la tierra hasta la profundidad suficiente para alcanzar lo que se busca, generalmente agua o petróleo, que se encuentra dentro del suelo; construidos de forma cilíndrica, suelen revestirse con cemento, ladrillo, piedra o madera para evitar que se derrumbe y produzca taponamientos en el pozo.

En el caso de los pozos para riego pueden llegar a tener profundidades de hasta 200 pies, por lo cual es necesario utilizar maquinaria hidráulica como bombas de flujo axial accionadas por medio de un motor de combustión interna para bombear el agua a la superficie y transmitir la suficiente energía al fluido para recorrer toda la tubería a lo largo de los sistemas de riego.

1.6.8. Irrigación

Proceso por medio del cual se aporta agua al suelo con el fin de que el cultivo obtenga la cantidad necesaria de agua para su adecuado crecimiento y tenga mejor absorción de los nutrientes encontrados en el suelo.

En Grupo Topke el área de riegos tiene contemplado que los sistemas de riego para cultivo de caña de azúcar apliquen diariamente una lámina de 5

milímetros de agua en una operación que debe durar idealmente, 24 horas, 7 días a la semana durante la temporada de zafra hasta que cada equipo alcance la meta de riego solicitada por el cliente.

1.6.9. Caudalímetro

Es un instrumento de medición de flujo, que determina el volumen de líquido que circula por medio de una sección de tubería respecto del tiempo; en el caso de Grupo Topke, se utilizan caudalímetros digitales bastante precisos y realizan la medición en litros sobre segundo.

1.6.10. Manómetro

Es un instrumento de medición; se utiliza para medir la presión a la que entra el agua al sistema; es de uso fundamental en la operación de riego ya que la presión del agua al inicio y al final del sistema dice mucho del estado de la bomba.

1.6.11. Aspersor

Es un dispositivo mecánico que en la mayoría de los casos transforma un flujo líquido presurizado y lo transforma en rocío, asperjándolo para fines de riego; los aspersores que Grupo Topke utiliza están compuestos por:

1.6.11.1. Regulador de presión

Elemento mecánico encargado de regular la presión a la que entra el agua al aspersor; sirve como freno en el cual se transforma la energía cinética del

fluido para evitar que entre con mucha velocidad y no pueda ser aplicada en forma de rocío.

1.6.11.2. Boquilla

Elemento mecánico que se encarga de tomar el flujo y distribuirlo a lo ancho del aspersor de manera equitativa para formar gotas minúsculas que se esparcirán en forma de rocío; cada boquilla identificada con un número tiene distinto diámetro.

1.6.11.3. Contrapeso

Elemento mecánico que se coloca en la base del aspersor, cuya función es evitar que el aspersor se mueva sin control debido a la fuerza con la que entra el agua.

1.6.12. Carta de aspersión

Documento de uso exclusivo de la empresa en el cual se presentan los datos generales de operación de diseño del equipo, presión en la base del equipo y, en el último aspersor, caudal, coeficiente de fricción de la tubería de conducción; en el se detallan las pérdidas de presión en cada sección de la tubería, diagramas de ordenamiento de aspersores acorde al número de boquilla; se encuentran detalladas todas las pérdidas de fricción en cada sección de la tubería y accesorios de diseño; es la herramienta principal para realizar la evaluación de un sistema de riego.

1.7. Proyecto

1.7.1. Recabación de datos

Los datos de operación fueron la base de este proyecto; la interpretación de estos determinó qué equipos estaban operando fuera de las condiciones adecuadas y dieron la pauta para encontrar la causa del bajo rendimiento de cada uno.

La empresa posee un programa propio donde se encuentran detalladas las características de cada equipo, el código del equipo, finca en la que se encuentra, hectáreas de cultivo, entre otros.

Una persona es la encargada de recibir los datos de operación diaria de cada equipo los cuales deben ser facilitados vía telefónica por el supervisor de área o en otro caso el mismo operario del equipo; los datos que brindan al oficinista deben ser los siguientes: horómetro inicial del turno, caudal inicial acumulado al inicio del turno, caudal final acumulado del turno, en caso de que se abastezca combustible, galones abastecidos, horómetro de abastecimiento de combustible, caudal acumulado al momento del abastecimiento, porcentaje de combustible antes y después del abastecimiento; el operario debe indicar si se dio algún tiempo muerto o paro durante la operación, debe indicar el código con el que se encuentra la falla, la hora del paro, la hora de reinicio de operación y a cargo de quien es el tiempo muerto, si de Topke o del ingenio al que se le brinda servicio; esto es muy importante ya que al final de la temporada se determina el porcentaje de tiempos muertos a cargo de cada empresa para hacer un reajuste de costos de operación.

Con los datos ingresados el sistema automáticamente analiza cuántas horas en total trabajó el equipo y que lámina aplicó durante las 24 horas que dura un turno, idealmente los equipos deben trabajar turnos de 24 horas seguidas.

Posteriormente, esos datos fueron tomados por otro analista de riego, en este caso el epesista, quien los ingresaba a una hoja de Microsoft Excel programada para ir sumando automáticamente las horas totales trabajadas, los galones de combustible abastecidos, la lámina total aplicada a la fecha, el rendimiento aproximado de galones consumidos por hora por equipo.

En una de las hojas de Excel se lleva un récord del porcentaje de la mina aplicada hasta ese momento; en otra hoja se indica qué porcentaje de combustible se ha abastecido al equipo en galones y en porcentaje, el cual será uno de los principales indicadores de operación, pues se espera que el dato de porcentaje de lámina aplicada sea lo más similar posible al porcentaje de combustible. La desviación de estos datos indica qué equipos están operando adecuadamente y que equipos son ineficientes.

Luego de analizar y seleccionar los equipos ineficientes, se dio por culminada la fase de investigación y se procedió con la fase 2 del proyecto, la fase técnico profesional.

1.7.2. Diagnóstico

Las causas de este déficit para cada equipo es distinta a la otra; al llegar a la empresa se pudo observar que no existe un control riguroso de mantenimiento para los equipos; muchas veces es el cliente quien indica que los motores requieren mantenimiento preventivo; el personal no esta bien

capacitado para reportar fallas y anomalías en la operación; muchas veces los equipos se operan de manera inadecuada, forzados a trabajar a su capacidad máxima durante periodos de tiempo prolongados; idealmente los equipos de riego deben operar las veinticuatro horas siete días de la semana durante la temporada de riego con treinta y cuarenta días de receso durante el periodo de cosecha de caña.

Tabla I. **Listado de equipos que operaban de manera inadecuada**

Código de equipo	Tipo sistema de riego
EP09	Pivote central
EP10	Pivote central
EP11	Pivote central
EP12	Pivote central
EP14	Avance frontal
EP15	Avance frontal
EP16	Avance frontal
EP17	Pivote central
EP20	Avance frontal
EP22	Pivote central
EP25	Pivote central
EP26	Pivote central
EP28	Pivote central
EP36	Pivote central
EP45	Miniaspersión
EP46	Miniaspersión
EP47	Miniaspersión
EP48	Miniaspersión
EP49	Miniaspersión
EP51	Miniaspersión
EP52	Miniaspersión
EP53	Miniaspersión
EP54	Miniaspersión

Fuente: elaboración propia.

Fue necesario determinar qué equipos presentan mayor déficit para programar las evaluaciones y determinar las causas principales del problema en cada equipo.

Por medio de la recabación de datos, se determinó el listado de equipos que operaban de manera inadecuada

1.7.3. Sistema *pre-pack wellscreen*

El sistema *pre-pack wellscreen* o sistema de preempaque, es un sistema que por medio de una película agujerada de acero inoxidable permite filtrar el exceso de graba y arenas que entran al sistema de la bomba de flujo axial con el objetivo principal de evitar desgaste en los impulsores, columna de la bomba y prevenir el ingreso de arenas al sistema de riego.

Las ventajas de este sistema son varias: prolonga la vida útil del equipo de bombeo, no permite ingreso de arena al sistema, previene taponamientos en tubería, reduce el desgaste de mangueras, reguladores, aspersores de riego y sus respectivas boquillas.

El exceso de arena no solo daña los elementos de riego, también, obstruye el paso de agua que causa déficit en la operación; se han dado dos casos críticos de exceso de arena en los equipos de la empresa, en los cuales se ha tenido que cambiar impulsores porque estos se deformaron por el exceso de arena, la cual es muy abrasiva para los impulsores, que generan costos extras en el mantenimiento del sistema de riego.

1.7.3.1. Análisis granulométrico

Para determinar el diámetro de filtro requerido en cada pozo fue necesaria la realización de un ensayo de granulometría con tamices, el cual se realizó en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala.

Para la realización del ensayo fueron necesarios 5 kg de arena extraída de cada uno de los pozos con problema. El ensayo consistió en filtrar los 5 kg de arena a través de los distintos tamices con diferente diámetro de filtro para determinar el diámetro predominante en la muestra y determinar el tamaño del agujero del filtro de preempaque. A continuación, se presentan los resultados de los ensayos realizados a dos muestras de arena correspondientes al pozo del EP25 y EP36 que fueron los únicos equipos que se sabe han dado problemas por exceso de arena en el pasado.

Figura 19. análisis granulométrico pozo EP25



Fuente: GRUPO TOPKE. *Análisis de sistemas de riego*, p. 6.

En la muestra obtenida del pozo del EP25 el 64,60% de la arena no pasó el tamiz con abertura de 0,85mm, menor a un milímetro.

En la muestra obtenida del EP36 es un poco más variable ya que esta muestra si dio señales de graba en análisis y los porcentajes de arena que pasaron fueron un poco distintos, en este caso la mayor parte de la muestra no pasó el tamiz con una abertura de 0,425 milímetros.

Este análisis se trasladará al proveedor de *pre-pack wellscreen* para que el haga una propuesta adecuada de que abertura de filtro se puede utilizar en cada pozo para evitar el ingreso de arena al sistema y presente una cotización con el costo de cada filtro.

1.8. Optimización de agua y combustible como fuente de energía

El aprovechamiento adecuado de agua es vital para el proceso de riego; debido a los cambios climáticos cada vez es más difícil obtener agua; los niveles de agua disminuyen cada vez más; por lo que es necesaria la implementación de sistemas de riegos más eficientes; aunque ningún sistema de riego mecanizado es 100% eficiente, estos sistemas son mucho más eficientes que los sistemas de riego antiguos, por ejemplo, un sistema de riego por gravedad.

Con los sistemas de riego mecanizado se puede obtener una cantidad específica de agua en el sector deseado con base en las necesidades y especificaciones contempladas en el diseño de dicho sistema de riego, debido a que el agua es transportada a través de tubería la cual se encuentra cerrada e idealmente no se encuentran fugas; no existe pérdida de agua debido a la

evaporación; el sistema de tuberías ayuda a mantener una presión controlada del sistema, se puede tener información más específica del caudal que circula a través del sistema de tuberías y garantiza que no existan pérdidas de líquido en partes no deseadas.

Para lograr un mayor aprovechamiento del agua es necesario que la tubería se encuentre en un estado óptimo para la operación, es decir, no se encuentre apachada en algunas secciones o con taponamientos, ya que esto restringe la circulación de caudal; es necesario que la tubería esté limpia por dentro para evitar el incremento de pérdidas por fricción, pues si hay taponamientos, corrosión o incrustación dentro de la tubería, se requerirá mayor potencia para operar el sistema bajo las condiciones de operación establecidas en el diseño de cada sistema en particular.

Si no se toman en cuenta todos los factores fundamentales para el diseño de un sistema de riego, principalmente para la carga dinámica total neta, la operación del sistema representará un costo más elevado planteado en el presupuesto, principalmente, en la potencia requerida en el sistema.

Si el sistema requiere mayor potencia de la establecida en el presupuesto se elevará considerablemente el consumo de combustible, por lo tanto, el costo de operación aumenta y disminuye la ganancia del servicio brindado al cliente.

Para los sistemas de riego analizados en este proyecto se utilizan motores de combustión interna accionados por combustible gas licuado de petróleo (GLP) y gasóleo o diésel, el cual representa el costo más significativo para la operación de riego por lo cual se requiere que los consumos sean lo más apegados a los planteados en el presupuesto y que la desviación entre la

aplicación de lámina y el consumo de combustible se mantenga estable y no tan distante una de otra a lo largo de la temporada.

Tras determinar los equipos que mayor déficit de operación presentaron, se procedió a determinar el costo total de la mala operación de cada uno.

Tabla II. **Código del equipo EP-09**

Motor	General Motors V6 4,3 L		
Área (Ha)	107,50		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
% tiempos muertos a cargo del cliente	94,23%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	9 858,46	100%	\$12 816
Consumió	8 852,50	89,80%	\$11 508,25
Riego-consumo		21,47%	
Galones extra	2 116,71		\$2 751,72
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	53 750
Lámina aplicada	341 625	68,33%	36 724,688
No aplicado	158 375	31,68%	17 025,313
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		31,68%	\$18 898,10
A cargo del cliente		94,23%	\$17 807,68
A cargo de Topke		5,77%	\$1 090,42
Exceso de consumo de combustible			\$2 751,72
Total costo de mala operación			\$2 751,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Código del equipo EP-10

Motor	General Motors 8L		
Área (HA)	152		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempo muerto a cargo del cliente	83,91%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	15 695,31	100%	\$20 403,90
Consumo	38 171,50	243,20%	\$49 622,95
Riego-consumo		123,38%	
Galones extra	19 364,53		\$25 173,89
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	76 000
Lámina aplicada	599 127	119,83%	91 067,304
Aplicación Extra	99 127	19,83%	15 067,304
		%	\$
Cobro mm*ha extra aplicado		19,83%	\$12 807,21
A cargo del cliente		0,00%	\$0,00
A cargo de Topke		0,00%	\$0,00
Exceso de consumo de combustible			\$12 366,68
Total costo de mala operación			\$12 366,68

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Código del equipo EP-11**

Motor	John Deere 6068TF150		
Área (HA)	163,30		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	84,65%		
Costo por galón de diésel	\$2,21		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	12 359	100%	\$27 313,39
Consumo	10 010,40	81%	\$22 122,98
Riego-consumo		-16,34%	
Galones extra	2 019,12		\$4 462,26
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	81 650
Lámina aplicada	323 298	64,66%	52 794,563
No aplicado	176 702	35,34%	28 855,437
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		35,34%	\$32 029,53
A cargo del cliente		85,64%	\$27 113,00
A cargo de Topke		14,36%	\$4 916,53
Exceso de consumo de combustible			\$4 462,26
Total costo de mala operación			\$9 378,79

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Código del equipo EP-12

Motor	General Motors V6 4.3 L		
Área (HA)	88,20		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	92,94%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	9 114	100%	\$11 848,20
Consumo	13 513,90	148,28%	\$17 568,07
Riego-consumo		26,53%	
Galones extra	2 418,19		\$3 143,64
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	44100
Lámina aplicada	608 718	121,74%	53 688,928
Aplicación extra	108 718	21,74%	9 588,928
		%	\$
Cobro mm*ha extra aplicado		21,74%	\$8150,59
A cargo del cliente		0,00%	\$0,00
A cargo de Topke		0,00%	\$0,00
Exceso de consumo de combustible			\$3 143,64
Total costo de mala operación			\$3 143,64

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Código del equipo EP-14**

Motor	John Deere 6068TF150		
Área (HA)	213		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	83,69%		
Costo por galón de diésel	\$1,60		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	9 604	100%	\$15 403,82
Consumo	6 844,50	71,27%	\$10 977,87
Diferencia riego-consumo		-3,15%	
Galones extra	302,74		\$485,56
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	50 000	100%	106500
Lámina aplicada	34 0575	68,12%	72 542,475
No aplicado	15 9425	31,89%	33 957,525
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		31,89%	\$37 692,85
A cargo del cliente		92,71%	\$31 545,15
A cargo de Topke		7,29%	\$6 147,70
Exceso de consumo de combustible			\$485,56
Total costo de mala operación			\$6 633,26

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Código del equipo EP-15

Motor	John Deere 6068TF150
Área (HA)	250
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	93,92%
Costo por galón de diésel	\$1,60

Gal % \$

Presupuesto (gal)	9035	100%	\$14 491,20
Consumo	7 212,30	79,83%	\$11 567,78
Diferencia riego-consumo		-17,59%	
Galones extra	1 589,64		\$2 549,62

	Mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	12 5000
Lámina aplicada	311 160	62,23%	77 790
No aplicado	188 840	37,77%	47 210

% \$

Costo mm*ha no aplicado	37,77%	\$52 403,10
A cargo del cliente	93,92%	\$49 216,99
A cargo de Topke	6,08%	\$3 186,11
Exceso de consumo de combustible		\$2 549,62
Total costo de mala operación		\$5 735,72

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Código del equipo EP-16

Motor	John Deere 4045TF250		
Área (HA)	130		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	82%		
Costo por galón de diésel	\$1,60		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	5 867	100%	\$9 410,06
Consumo	6 309	107,53%	\$10 118,98
Diferencia riego-consumo		-26,02%	
Galones extra	1 526,86		\$2 448,92
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	65 000
Lámina aplicada	407 546	81,51%	52 980,980
No aplicado	92 454	18,49%	12 019,020
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		18,49%	\$13 341,11
A cargo del cliente		82%	\$10 939,71
A cargo de Topke		18%	\$2 401,40
Exceso de consumo de combustible			\$2 448,92
Total costo de mala operación			\$4 850,32

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Código del equipo EP-17

Motor	John Deere 6068TF150		
Área (HA)	107,60		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	87,17%		
Costo por galón de diésel	\$2,20		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	12 908	100%	\$28 397,60
Consumo	17 040,50	132,02%	\$37 489,10
Diferencia riego-consumo		-14,33%	
Galones extra	1 849,33		\$4 068,53
	mm	mm	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	53 800
Lámina aplicada	588 440	117,69%	63 316,144
Aplicación extra	88 440	17,69	9 516,144
		%	\$
Costo mm*ha extra aplicado		17,69%	\$8 088,72
A cargo del cliente		0,00%	\$0,00
A cargo de Topke		0,00%	\$0,00
Exceso de consumo de combustible			\$4 068,53
Total costo de mala operación			\$4 068,53

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Código del equipo EP-20**

Motor	John Deere 6068TF250
Área (HA)	247
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	96,36%
Costo por galón de diésel	\$1,60

	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	9 477	100%	\$15 200,12
Consumo	5 967	62,96%	\$9 570,45
Diferencia riego-consumo		-13,99%	
Galones extra	1 326,21		\$2 127,10

	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	12 3500
Lámina aplicada	244,845	48,97%	60 476,715
No aplicado	255,155	51,03%	63 023,285

	%	\$
Costo mm*ha no aplicado	51,03%	\$69 955,85
A cargo del cliente	96,36%	\$67 409,45
A cargo de Topke	3,64%	\$2 546,39
Exceso de consumo de combustible		\$2 127,10
Total costo de mala operación		\$4 673,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Código del equipo EP-22

Motor	General Motors V6 4.3L		
Área (HA)	80,40		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	85,15%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	12 781,32	100%	\$16 615,72
Consumo	18 552,90	145,16%	\$24 118,77
Diferencia riego-consumo		-22,64%	
Galones extra	2 894,07		\$3 762,29
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	50 000	100%	40 200,000
Lámina aplicada	61 2567	122,51%	49 250,387
Aplicación extra	11 2562	22,51%	9 050,387
		%	\$
Costo mm*ha extra aplicado		22,51%	\$7 692,829
A cargo del cliente		0,00%	\$0,00
A cargo de Topke		0,00%	\$0,00
Exceso de consumo de combustible			\$3 762,29
Total costo de mala operación			\$3 762,29

Fuente: elaboración propia

Tabla XII. Código del equipo EP-25

Motor	John Deere 6081AF001		
Área (HA)	145		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	62,04%		
Costo por galón de GLP	\$0,00		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	0,00	100%	\$0,00
Consumo	0,00	0,00%	\$0,00
Diferencia riego-consumo		0,00%	
Galones extra	0,00		\$0,00
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	72 500
Lámina aplicada	343 142	68,63%	49 755,590
No aplicado	500 000	31,37%	22 744,410
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		31,37%	\$25 246,30
A cargo del cliente		62,04%	\$15 662,80
A cargo de Topke		37,96%	\$9 583,49
Exceso de consumo de combustible			\$0,00
Total costo de mala operación			\$9 583,49

Fuente: elaboración propia

Tabla XIII. Código del equipo EP-26

Motor	John Deere 4045TF250
Área (HA)	121
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	79,27%
Costo por galón de Diésel	\$2,20

Gal % \$

Presupuesto (gal)	12 480,14	100%	\$27 456,31
Consumo	10 630	85,18%	\$23 386
Diferencia riego-consumo		1,52%	
Galones extra	189,54		\$416,99

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	60 500
Lámina aplicada	418 283	83,66%	50 612,243
No aplicado	81 717	16,34%	9 887,757

% \$

Costo mm*ha no aplicado	16,34%	\$10 975,41
A cargo del cliente	79,27%	\$8 700,21
A cargo de Topke	20,73%	\$2 275,20
Exceso de consumo de combustible		\$416,99
Total costo de mala operación		\$2 692,19

Fuente: elaboración propia

Tabla XIV. **Código del equipo EP-28**

Motor	General Motors V8 5.7L
Área (HA)	121
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	82,79%
Costo por galón GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	21 635	100%	\$28 125,50
Consumo	33 322,60	154,02%	\$43 319,38
Diferencia riego-consumo		-57,00%	
Galones extra	12 332,76	54,02%	\$16 032,58

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	60 500
Lámina aplicada	485 090	97,02%	58 695,890
No aplicado	14 910	2,98%	1 804,110

% \$

Costo mm*ha no aplicado	2,98%	\$2 002,56
A cargo del cliente	82,79%	\$1 657,92
A cargo de Topke	17,21%	\$344, 64
Exceso de consumo de combustible		\$16 032,58
Total costo de mala operación		\$16 377,22

Fuente: elaboración propia

Tabla XV. Código del equipo EP-36

Motor	John Deere 6068TF250		
Área (HA)	143		
Costo mm*ha no aplicado	\$1,11		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$0,85		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	85,23%		
Costo por galón de diésel	\$2,20		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	11 003	100%	\$24 206,60
Consumo	9 769,70	88,79%	\$21 493,34
Diferencia riego-consumo		-1,05%	
Galones extra		2 684,73	\$5 906,41
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	71 500
Lámina aplicada	438 709	87,74%	62 735,387
No aplicado	61 291	12,26%	8 764,613
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		12,26%	\$9 728,72
A cargo del cliente		85,23%	\$8 291,79
A cargo de Topke		14,77%	\$1 436,93
Exceso de consumo de combustible			\$5 906,41
Total costo de mala operación			\$7 343,34

Fuente: elaboración propia

Tabla XVI. **Código del equipo EP-45**

Motor	General Motors V6 5.7 L		
Área (HA)	117		
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	95,92%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	12 320	100%	\$16 016
Consumo	6 303	51,16%	\$8 193,90
Diferencia riego-consumo		-2,32%	
Galones extra		285,91	\$371,69
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	58 500
Lámina aplicada	244 200	48,84%	28 571,400
No aplicado	255 800	51,16%	29 928,600
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		51,16%	\$59 857,20
A cargo del cliente		95,92%	\$57 415,03
A cargo de Topke		4,08%	\$2 442,17
Exceso de consumo de combustible			\$371,69
Total costo de mala operación			\$2 813,86

Fuente: elaboración propia

Tabla XVII. Código del equipo EP-46

Motor	General Motors V8 5.7L
Área (HA)	153
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	96,62%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	15 400	100%	\$20 020
Consumo	13 863	90,02%	\$18 021,90
Diferencia riego-consumo		-20,29%	
Galones extra		3 124,52	\$4 061,87

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	76 500
Lámina aplicada	348 652	69,73%	53 343,756
No aplicado	151 348	30,27%	23 156,244

% \$

Costo mm*ha no aplicado	30,27%	\$46 312,49
A cargo del cliente	96,62%	\$44 747,13
A cargo de Topke	3,38%	\$1 565,36
Exceso de consumo de combustible		\$4 061,87
Total costo de mala operación		\$5 627,24

Fuente: elaboración propia

Tabla XVIII. Código del equipo EP-47

Motor	Origin 8.0 L
Área (HA)	147
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	95,83%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	15 400	100%	\$20 020
Consumo	6 137	39,85%	\$7 978,10
Diferencia riego-consumo		-10,34%	
Galones extra		1 592,55	\$2 070,32

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	73 500
Lámina aplicada	147 547	29,51%	21 689,409
No aplicado	352 453	70,49%	51 810,591

% \$

Costo mm*ha no aplicado	70.49%	\$103 621,18
A cargo del cliente	95,83%	\$99 300,18
A cargo de Topke	4,17%	\$4 321,00
Exceso de consumo de combustible		\$2 070,32
Total costo de mala operación		\$6 391,32

Fuente: elaboración propia

Tabla XIX. Código del equipo EP-48

Motor	General Motors V8 5.7 L
Área (HA)	124
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	95,62%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	13 090	100%	\$17 017
Consumo	8 715,30	66,58%	\$11 329,89
Diferencia riego-consumo		-19,69%	
Galones extra		2 577,79	\$3 351,13

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	62 000
Lámina aplicada	234 435	46,89%	29 069,940
No aplicado	265 565	53,11%	32 930,060

% \$

Costo mm*ha no aplicado	53,11%	\$65 860,12
A cargo del cliente	95,62%	\$62 975,45
A cargo de Topke	4,38%	\$2 884,67
Exceso de consumo de combustible		\$3 351,13
Total costo de mala operación		\$6 235,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Código del equipo EP-49**

Motor	General Motors V6 4.3 L
Área (HA)	95
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	85,26%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	9 950	100%	\$12 935
Consumo	9 889	99,39%	\$12 855,70
Diferencia riego-consumo		-12,46%	
Galones extra		1 239,37	\$1 611,18

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	47 500
Lámina aplicada	434 655	86,93%	41 292,225
No aplicado	65 345	13,07%	6 207,775

% \$

Costo mm*ha no aplicado	13,07%	\$12 415,55
A cargo del cliente	85,26%	\$10 585,50
A cargo de Topke	14,74%	\$1 830,05
Exceso de consumo de combustible		\$1 611,18
Total costo de mala operación		\$3 441,23

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Código del equipo EP-51

Motor	General Motors V6 4.3 L		
Área (HA)	95		
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	92,44%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	9 950	100%	\$12 935
Consumo	7 304	73,41%	\$9 495,20
Diferencia riego-consumo		-7,72%	
Galones extra		768,38	\$998,90
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	47 500
Lámina aplicada	328 423	65,68%	31 200,185
No aplicado	171 577	34,32%	16 299,815
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		34,32%	\$32 599,63
A cargo del cliente		92,44%	\$30 135,10
A cargo de Topke		7,56%	\$2 464,53
Exceso de consumo de combustible			\$998,90
Total costo de mala operación			\$3 463,43

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Código del equipo EP-52

Motor	General Motors V8 5.7 L		
Área (HA)	115		
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00		
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75		
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	95,96%		
Costo por galón de GLP	\$1,30		
	Gal	%	\$
Presupuesto (gal)	12 320	100%	\$16 016
Consumo	6 463	52,46%	\$8 401,90
Diferencia riego-consumo		-1,24%	
Galones extra		152,47	\$198,22
	mm	%	mm*ha
Meta de riego	500 000	100%	57 500
Lámina aplicada	256 109	51,22%	29 452,535
No aplicado	243 891	48,78%	28 047,465
		%	\$
Costo mm*ha no aplicado		48,78%	\$56 094,93
A cargo del cliente		95,96%	\$53 828,69
A cargo de Topke		4,04%	\$2 266,24
Exceso de consumo de combustible			\$198,22
Total costo de mala operación			\$2 464,45

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Código del equipo EP-53

Motor	General Motors V8 5.7 L
Área (HA)	108
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	95,72%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	11 440	100%	\$14 872
Consumo	9 248	80,84%	\$12 022,40
Diferencia riego-consumo		-25,61%	
Galones extra		2 930,31	\$3 809,40

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	54 000
Lámina aplicada	276 123	55,22%	29 821,284
No aplicado	223 877	44,78%	24 178,716

% \$

Costo mm*ha no aplicado	44,78%	\$48 357,43
A cargo del cliente	95,72%	\$46 287,73
A cargo de Topke	4,28%	\$2 069,70
Exceso de consumo de combustible		\$3 809,40
Total costo de mala operación		\$5 879,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Código del equipo EP-54

Motor	General Motors V8 5.7 L
Área (HA)	108
Costo mm*ha no aplicado	\$2,00
Cobro por mm*ha extra aplicado	\$1,75
Porcentaje tiempos muertos a cargo del cliente	84,32%
Costo por galón de GLP	\$1,30

Gal % \$

Presupuesto (gal)	11 550	100%	\$15 015
Consumo	11 223,80	97,18%	\$14 590,94
Diferencia riego-consumo		-22,22%	
Galones extra		2 566,04	\$3 335,85

mm % mm*ha

Meta de riego	500 000	100%	54 000
Lámina aplicada	374 795	74,96%	40 477,860
No aplicado	125 205	25,04%	13 522,140

% \$

Costo mm*ha no aplicado	25,04%	\$27 044,28
A cargo del cliente	84,32%	\$22 803,74
A cargo de Topke	15,68%	\$4 240,54
Exceso de consumo de combustible		\$3 335,85
Total costo de mala operación		\$7 576,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Impacto económico causado por la mala operación de equipo de riego durante la temporada 2016 – 2017

Código equipo	de Sistema de riego	Costo mala operación
EP09	Pivote central	\$2 751,78
EP10	Pivote central	\$12 366,68
EP11	Pivote central	\$9 378,79
EP12	Pivote central	\$3 143,64
EP14	Avance frontal	\$6 633,26
EP15	Avance frontal	\$5 735,72
EP16	Avance frontal	\$4 850,32
EP17	Pivote central	\$4 068,33
EP20	Avance frontal	\$4 673,49
EP22	Pivote central	\$3 762,29
EP25	Pivote central	\$9 853,49
EP26	Pivote central	\$2 962,19
EP28	Pivote central	\$16 377,22
EP36	Pivote central	\$7 313,34
EP45	Miniaspersión	\$2 813,86
EP46	Miniaspersión	\$5 637,24
EP47	Miniaspersión	\$6 391,32
EP48	Miniaspersión	\$6 235,80
EP49	Miniaspersión	\$3 441,23
EP51	Miniaspersión	\$3 463,43
EP52	Miniaspersión	\$2 464,45
EP53	Miniaspersión	\$5 879,45
EP54	Miniaspersión	\$7 576,39
Total		\$137 773,71

Fuente: elaboración propia.

En resumen, costo total de la falta de aplicación de agua por equipo sumado por el exceso en consumo de combustible suma un total de US \$ 137 773,71.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

Por medio de esta fase se lograron la mayor parte de los objetivos planteados para la elaboración de este proyecto; se desea demostrar a la gerencia, con cifras exactas. El costo del mal rendimiento de equipos, la principal causa, plantear las soluciones para corregir esta situación; asimismo, se crearán las pautas para una mejor planeación para la siguiente temporada de riego con la que se espera obtener un presupuesto más apegado a los requerimientos y las condiciones actuales en las que se encuentra cada equipo en particular.

2.1. Metodología

Determinado los equipos que se encontraban consumiendo más combustible de lo presupuestado, se procedió a organizar las distintas visitas para realizar la evaluación y medición de variables de cada equipo.

2.1.1. Charla con operarios y supervisores

Al llegar al equipo de riego, se realizó una pequeña entrevista con el personal operativo con el objetivo de que dieran su punto de vista del porqué los equipos no están regando de manera adecuada.

2.1.2. Evaluación general del equipo

Se procedió a hacer una evaluación general del equipo para enlistar los distintos elementos con los que cuenta: bomba, motor de combustión interna,

relación de engranajes, si cuenta con los accesorios de manómetros, caudalímetro,

2.1.3. Revisión de carta de aspersión

Se realizó una evaluación y toma de datos en cada uno de los aspersores de los sistemas de riego verificando que contaran con todos sus elementos y que el ordenamiento fuera el adecuado.

2.1.4. Revoluciones del motor

Tomar nota de las revoluciones a las que opera cada motor; en caso de no ser las adecuadas, preguntar las razones por las cuales no se opera en esas condiciones.

2.1.5. Caudal instantáneo

Tomar nota del caudal bombeado a través del equipo, verificando que sea el requerido en la carta de aspersión.

2.1.6. Presiones

Realizar la toma de datos de la presión en la base del equipo y en el último aspersor; da una idea del estado de la tubería, si la presión es mayor al final del sistema posiblemente se tenga tubería tapada.

2.1.7. Nivel dinámico

Por medio de una línea de aire que consta de una manguera de hule instalada en el pozo se aplica aire y con ayuda de un manómetro se determina la presión de aire que se encuentra en el pozo; si la presión es menor, la cantidad de agua es poca, el nivel dinámico se obtiene de la siguiente ecuación.

$$ND = hb - (p * 2.31)$$

Donde:

- ND: nivel dinámico
- *hb*: profundidad a la que se encuentra instalada la bomba (pies)
- *p*: presión de aire dentro del pozo (pies)
- 2.31: conversión de una libra sobre pulgada cuadrada a pie de agua

2.2. Cálculo de pérdidas de fricción

Las pérdidas por fricción representan las mayores pérdidas en la conducción de agua a través de tuberías; si no se contemplan de manera adecuada, las pérdidas por fricción pueden repercutir en grandes gastos de energía; por lo cual es importante darle un adecuado mantenimiento a toda la tubería de conducción.

En el caso de los equipos de riego, la empresa utiliza un software proporcionado por el proveedor de equipos de riego, en el cual se ingresan los datos de material de tuberías, diámetro de tuberías, distancia entre aspersores, caudal requerido, longitud de tubería, tipo de aspersor y accesorios; con base en estos datos, el sistema determina el total de las pérdidas de fricción en cada

sección del sistema y determina la presión que debe tener el agua en la base del pivote para vencer dicha fricción de manera adecuada; por tal razón, se debe procurar mantener la presión en la base de acuerdo a como lo indica el software; de lo contrario, se generará más gasto de combustible y menor eficiencia de riego.

Figura 21. **Cálculo de pérdidas de fricción en tubería de conducción**

----OUTLET----			-REG-	PSI	---GPM---		----SPRINKLER-----			---NOZZLE---
No	Loc	Sep	Model	RegIn	Req	Del	Model	Plate	SpNo.	
-x-							PLUG 3			
4	34.4	34.4	LB20	45.3	0.4	1.6	R3000	Orange	1	#14 Lime
5	44.3						PLUG			
6	54.1	19.7	LB20	45.1	0.6	1.6	R3000	Orange	2	#14 Lime
7	64.0						PLUG			
8	73.8	19.7	LB20	44.9	0.8	1.6	R3000	Orange	3	#14 Lime
9	83.6						PLUG			
10	93.5	19.7	LB20	44.7	1.0	1.6	R3000	Orange	4	#14 Lime
11	103.3						PLUG			
12	113.2	19.7	LB20	44.5	1.1	1.6	R3000	Orange	5	#14 Lime
13	123.0						PLUG			
14	132.8	19.7	LB20	44.3	1.3	1.6	R3000	Orange	6	#14 Lime
15	142.7						PLUG			
16	152.5	19.7	LB20	44.1	1.4	1.6	R3000	Orange	7	#14 Lime
17	162.4						PLUG			
18	172.2	19.7	LB20	43.9	1.5	1.6	R3000	Orange	8	#14 Lime

Fuente GRUPO TOPKE. *Manual de la empresa*. p. 11.

2.3. Cálculo de potencia requerida en el sistema

2.3.1. Según manuales de fabricantes

A continuación, se presentan los motores con los que cuenta la empresa y la potencia que estos generan a las distintas revoluciones de operación, con base en los datos de fábrica de cada motor.

Tabla XXVI. **Potencia de motores grupo Topke**

Motor	Combustible	Potencia generada (hp)		
		1800 rpm	2000 rpm	2200 rpm
John Deere 4045TF150	Diésel	82	91,43	100,86
John Deere 4045TF250	Diésel	98	107	116,00
John Deere 6068TF150	Diésel	130	137,20	144,40
John Deere 6068TF250	Diésel	145	158,33	171,67
John Deere 6068TF250-200	Diésel	176.	184	192
General Motors V6 4.3 L	GLP	51,10	57,20	64
General Motors V8 5.7 L	GLP	71,10	77,50	87
General Motors V8 8.0 L	GLP	160	172	185
Origin V8 8.0 L	GLP	159	171	186

Fuente GRUPO TOPKE. *Manual de la empresa*. p. 9.

Para determinar el motor de cada equipo se debe considerar la potencia del sistema de bombeo, whp, la cual determina el requerimiento de potencia del sistema de bombeo con base en los datos de operación de cada uno; la potencia de bombeo se termina con base en la siguiente ecuación

$$\text{whp} = \frac{\text{CDT} * Q}{3960 * \eta}$$

Donde:

- CDT: carga dinámica total en pies.

- Q: caudal en galones por minuto.
- 3960: es una constante que se obtiene dividiendo el número de libras-pie de un HP por minuto (33 000) por el peso de un galón de agua (8,33 libras)
- η : eficiencia de la bomba, estimada en 80%, a pesar de que las bombas hidráulicas son consideradas máquinas de alto rendimiento, siempre existe un margen de pérdida de energía en los distintos componentes de la bomba debido a la fricción y a su desgaste.

Para determinar la potencia del motor requerido en un sistema de riego mecanizado debe sumársele la potencia requerida por el motor hidráulico, el cual se encarga de mover el pivote o avance frontal; se estima una potencia requerida de 10 hp para pivotes centrales y 15 hp para avance frontal.

2.3.2. Evaluación de bombas de equipo de riego

La evaluación de las bombas se realizó por medio de un software en línea que se encuentra en www.pump-flo.com el cual cuenta con todas las gráficas de distintas marcas de bombas, el programa ofrece 2 opciones de selección:

2.3.2.1. Selección manual

En dicha selección se ingresa la carga dinámica total y el caudal de la bomba y aparecen todas las posibles opciones, al elegir la bomba se agrega el número de etapas; en el caso de las bombas de turbina, la pantalla despliega una gráfica donde aparece una esquina que indica el punto donde se encuentra dentro de la gráfica de la bomba; en dicha gráfica pueden modificarse las revoluciones de la bomba y el diámetro del impulsor.

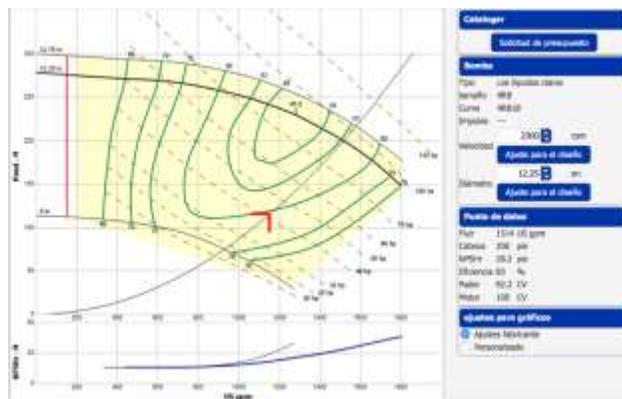
2.3.2.2. Punto de diseño

En esta sección se ingresa la carga dinámica total y el caudal requerido, las revoluciones de la bomba; con base en eso el programa despliega una gama de opciones de bombas que más se apegan a los datos ingresados; al igual que en la selección manual, la gráfica desplegada muestra una esquina roja que indica la posición de la bomba dentro de la gráfica; puede ajustarse el diámetro del impulsor y las revoluciones de la bomba.

2.3.3. Cálculo de potencia según los datos del presupuesto contra datos actualizados de operación

Para el cálculo de potencia se compararon los datos de presupuesto y los datos obtenidos por la evaluación de cada equipo; de igual manera se obtuvo la gráfica de la bomba en condiciones actuales y otra gráfica de las condiciones de cómo debe operar la bomba con los datos actualizados y las acciones correctivas realizadas, los cuales se muestran a continuación.

Figura 22. Gráfica de operación bomba EP09 a 2 300 rpm



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **EP-09 pivote central**

Equipo	EP 09
Motor	General Motros V6 4.3 L
Bomba centrífuga	Cornell 4RB
Área (hectáreas)	107,50 has

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	139
No. de tubería dañada	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	2 000	2 300
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0,0750	0,0727
Caudal instantáneo (GPM)	1 200	1 152,44
Presión en la descarga (PSI)	49,60	50
Presión último aspersor (PSI)	10	9,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	34,93	35,21
Carga dinámica total (ft)	114,58	115,50
Potencia de bombeo (hp)	43,40	42,02
Potencia de motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	53,4	42,02

BOQUILLAS Y ASPERSORES

No. carta de aspersión	112
Tipo de aspersores	Komet
Orden de boquillas	95%
No. de boquillas faltantes	#40,40,41,42,42,43,43,43,43,45.

Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que existe un déficit en la bomba ya que el punto rojo en la gráfica indica la parte donde se encuentra actualmente la bomba; y acorde a las revoluciones a las que opera la bomba, debería de estar bombeando un caudal de 1514 galones por minuto a una presión de 86,5 PSI; el motor se acelera a dichas revoluciones para obtener el caudal requerido para la aplicación de 5mm de agua.

Figura 23. **Gráfica de operación adecuada bomba EP09 a 1 800 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Para que la bomba opere adecuadamente a 1 800 rpm; bombeando el caudal y a la presión requerida, se necesita que el impulsor se recorte a 11,375” lo cual ayudará a que la bomba sea más eficiente; el motor no se acelere tanto con esto se espera disminuir el consumo de combustible y operar a las condiciones establecidas en el diseño del pivote.

Tabla XXVIII. **EP 10 pivote central**

Equipo	EP 10
Motor	General Motors 8.0 L
Bomba	Cornell 5RB
Área (ha)	107,50

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	0
No. de tubería dañada	Torre 12

OPERACIÓN

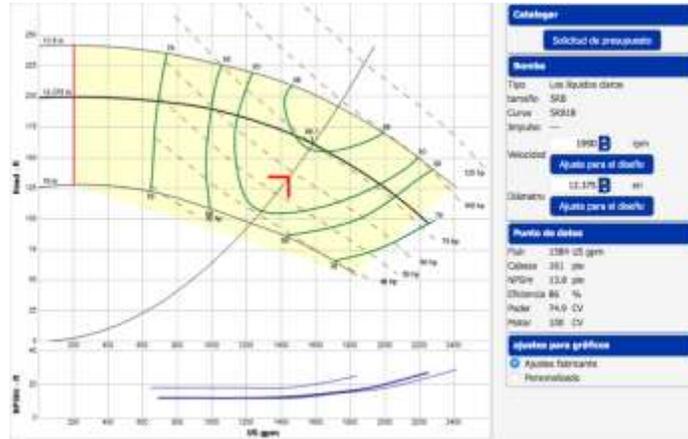
	Diseño	Real
RPM	2 000	1 950
Caudal instantáneo (m/s)	0,1017	0,0911
Caudal instantáneo (GPM)	1 612,15	1 444,12
Presión en la descarga (PSI)	55,00	58
Presión último aspersor (PSI)	10	8
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	38,73	40,85
Carga dinámica total (ft)	127,05	133,98
Potencia de bombeo (hp)	64,65	61,07
Potencia motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	74,65	71,07

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	113
Tipo de aspersores	Komet
Orden de boquillas	99%
No. de boquillas faltantes	2 (#13 y 15)

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica de operación bomba EP10 a 1 950 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba no está bombeando el caudal adecuado para las revoluciones a las que está siendo operada; según indica el programa, la bomba a 1 950 rpm debería estar bombeando 1 954 GPM con una presión de 69 PSI.

Figura 25. **Gráfica de correcta operación bomba EP10 a 1 810 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba debe operar a 1 810 rpm; actualmente, la bomba se opera a mayor revolución; se debe realizar un mantenimiento general a la bomba y ver que realmente ese sea el diámetro del impulsor.

Tabla XXIX. **EP11 pivote central**

Equipo	EP 11
Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 11H110 4 Etapas
Área (Has.)	163,6
Relación de engranajes	01:01

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

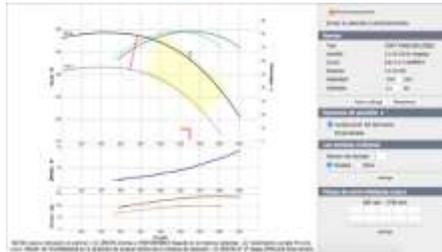
	Diseño	Real
RPM	1 800	2 000
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0,0820	0,0820
Caudal instantáneo (GPM)	1 300	1 299,87
Presión en la descarga (PSI)	59,56	27
Presión último aspersor (PSI)	9,10	0,00
Nivel dinámico (m)	45,73	51,83
Nivel dinámico (ft)	150	171,34
Carga dinámica total (m)	87,68	72,52
Carga dinámica total (ft)	287,58	232,37
Potencia de bombeo (hp)	118,01	95,34
Potencia motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	128,01	95,34

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	22 532-R3
Tipo de aspersores	Nelson AM3000
Orden de boquillas	90%

Fuente: elaboración propia.

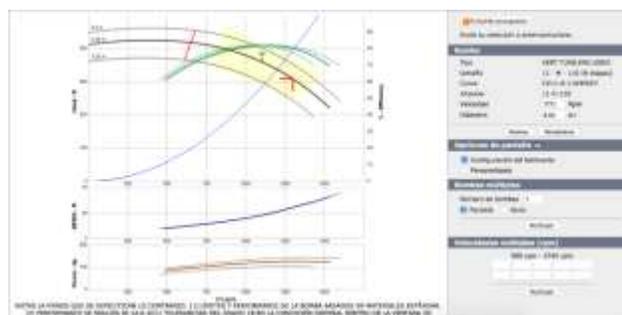
Figura 26. **Gráfica de operación bomba EP11 a 2 000 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la gráfica, la bomba está operando fuera de condiciones de diseño; según el sistema, esa bomba a 2 000 rpm debería de tener una carga dinámica total de 333 pies, para bombear los 1 300 GPM; al momento de realizar la auditoría se detectó presencia de aire en las mangueras lo que indica que el nivel dinámico está en lo más bajo.

Figura 27. **Gráfica de correcta operación bomba EP11 a 1 770 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Acorde a los requerimientos del sistema de riego, el programa indica que para que se puedan obtener las condiciones de diseño se deben añadir 2 etapas más a la bomba y realizar una modificación del diámetro de los

impulsores; contemplando una carga dinámica total de 307 pies requiriendo una potencia de 126,22 hp, una potencia total de 136,22 hp. Actualmente, cuenta con un motor que genera una potencia de 135 hp a 1 800 rpm, por lo cual se recomienda evaluar el cambio de motor a uno más potente.

Tabla XXX. **EP12 pivote central**

Equipo	EP 12
Motor	General Motors V6 4.3 L
Bomba	American Turbine 11H110 4 Etapas
Área (Has.)	88,2
Relación de engranajes	06:05

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

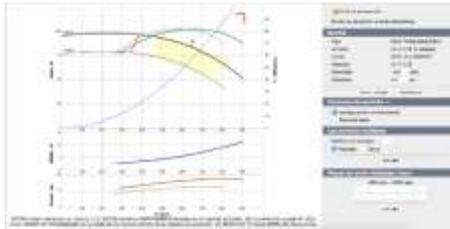
	Diseño	Real
RPM	2 000	1 200
Caudal instantáneo (m/s)	0,0599	0,0576
Caudal Instantáneo (GPM)	950,01	913,24
Presión en la descarga (PSI)	33,56	21
Presión último aspersor (PSI)	10	10
Nivel dinámico (m)	45,73	54,27
Nivel dinámico (ft)	150	178
Carga dinámica total (m)	69,37	69,06
Carga dinámica total (ft)	227,52	226,51
Vacío (in. Hg)		5 In. Hg.
Potencia al bombeo (hp)	68,23	65,30
Potencia motor hidráulico	10	10,00
Potencia total	78,23	75,30

BOQUILLAS

Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	90%

Fuente: elaboración propia.

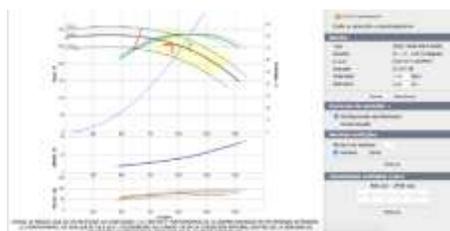
Figura 28. **Gráfica de operación bomba EP12 a 1 000 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, la bomba está operando de una manera inadecuada; acorde a la relación del cabezal de engranajes, la bomba opera a 1 000 rpm, y está diseñada para operar a 1 770 rpm para obtener su eficiencia máxima; es necesario evaluar el tacómetro del equipo para determinar si realmente está operando a 1200 rpm, ya que el vacío del motor se encuentra en el mínimo permisible, 5 in Hg.

Figura 29. **Gráfica de correcta operación bomba EP12 a 1 770 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Acorde a los requerimientos de diseño, es necesario que el motor opere a 2 200 rpm para cumplir bombear el caudal requerido y el nivel dinámico contemplado; debe realizarse una modificación al diámetro de los impulsores de 9,20 a 8,82 pulgadas; por lo cual debe tomarse en cuenta una carga dinámica

total de 255 pies y una potencia total de 86 hp; el motor con el que se cuenta actualmente genera una potencia de 61 hp a 2 112 rpm, por lo que se recomienda evaluar un cambio de motor más grande para cubrir los requerimientos del sistema y considerar una relación de engranajes de 5:4.

Tabla XXXI. **EP14 avance frontal**

Equipo	EP14
Motor	John Deere 6068TF150
Bomba centrífuga	Cornell 6RB
Área (ha)	213

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	0
No. de tubería dañada	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	1 800	2 000
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0,1704	0,1623
Caudal instantáneo (GPM)	2 701,00	2 572,79
Presión en la descarga (PSI)	35.60	27
Presión último aspersor (PSI)	10	10,8
Nivel dinámico (m)	0,00	0,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	25,07	19,02
Carga dinámica total (ft)	82,24	62,37
Potencia de bombeo (hp)	70,11	50,65
Potencia motor hidráulico (hp)	15	15
Potencia total (hp)	85,11	65,65

Continuación tabla XXXI.

BOQUILLAS

No. de carta de aspersión	27 286
Tipo de aspersores	I wob
Orden de boquillas	90%

Fuente: elaboración propia.

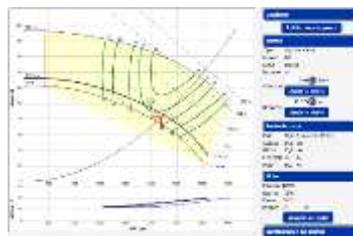
Figura 30. **Gráfica de operación bomba EP14 a 2 000 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba opera con una carga dinámica total demasiado baja debido a la baja presión en la base del avance frontal.

Figura 31. **Gráfica de correcta operación bomba EP14 a 1 800 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba debe operar a 1 800 rpm para estar en su punto óptimo de operación; será necesario revisar el diámetro del impulsor y hacer las modificaciones necesarias ya que el sistema recomienda un diámetro de 11 3/8"; se recomienda revisar el estado general del motor.

Tabla XXXII. **EP15 avance frontal**

Equipo	EP15
Motor	John Deere 6068TF250
Bomba centrífuga	Cornell 6RB
Área (ha)	250

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	0
No. de tubería dañada	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	1 800	2 100
Caudal instantáneo (m/s)	0,170325	0,17301
Caudal instantáneo (GPM)	2 700	2 742,56
Presión en la descarga (PSI)	37,62	27
Presión último aspersor (PSI)	10	10,8
Nivel dinámico (m)	0,00	0,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	26,49	19,02
Carga dinámica total (ft)	86,90	62,37
Potencia de bombeo (hp)	74,06	53,99
Potencia motor hidráulico (hp)	15,00	15
Potencia motor total (hp)	89,06	68,99

Continuación tabla XXXII.

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	27 687
Tipo de aspersores	I wob
Orden de boquillas	90%
Boquillas faltantes	39 No. 21

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Gráfica de operación bomba EP15 a 2 100 rpm**

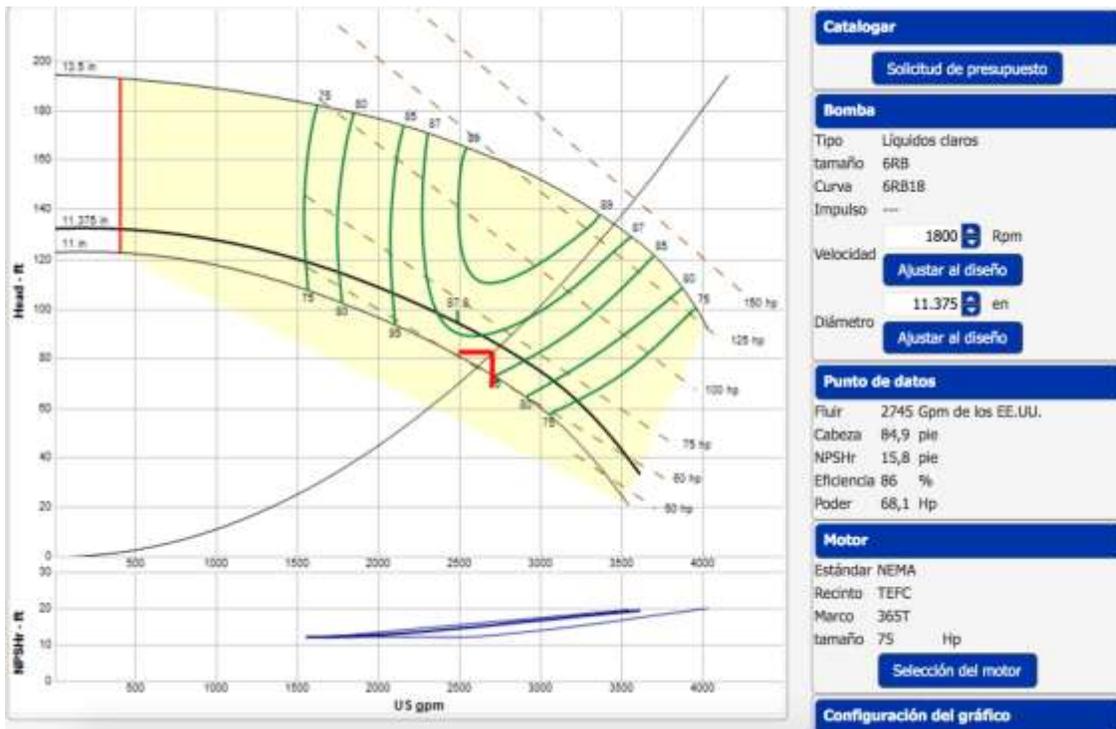


Fuente: elaboración propia.

Debido a las condiciones de operación; la bomba se encuentra operando fuera de un parámetro adecuado según la curva; la bomba está diseñada para

operarse a 1 800 rpm; se está bombeando el caudal requerido, pero la presión no es la adecuada, prueba de esto son las presiones tan bajas en el último aspersor de cada ala.

Figura 33. **Gráfica de correcta operación bomba EP15 a 1 800 rpm**



Fuente: elaboración propia.

El sistema recomienda recortar el impulsor a 11 3/8” ya que, de esta manera, operando a 1 800 rpm, se puede alcanzar la presión requerida para operar de manera óptima en el sistema; tomando en cuenta que al disminuir las revoluciones de operación del motor reducirá considerablemente el consumo de combustible.

Tabla XXXIII. **EP16 avance frontal**

Equipo	EP16
Motor	John Deere 4045TF250
Bomba	Cornell 5RB
Área (ha)	130

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	0
No. de tubería dañada	0

OPERACIÓN

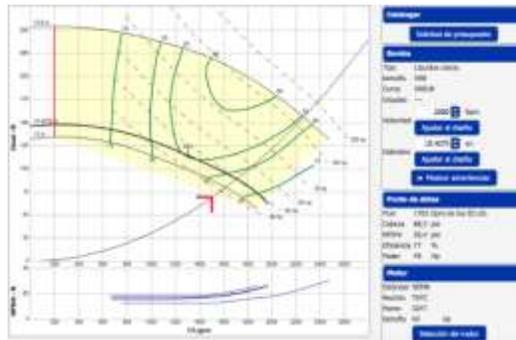
	Diseño	Real
RPM	1 800	2 000
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0,0946	0,0950
Caudal instantáneo (GPM)	1 500	1 505,94
Presión en la descarga (PSI)	35,56	30
Presión último aspersor (PSI)	10	10
Nivel dinámico (m)	0,00	0,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	25,04	21,13
Carga dinámica total (ft)	82,14	69,30
Potencia de bombeo (hp)	38,89	32,94
Potencia motor hidráulico (hp)	15	15,00
Potencia total (hp)	53,89	47,94

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	28 092
Tipo de aspersores	I wob
Orden de boquillas	90%

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Gráfica de operación bomba EP16 a 2 000 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba está operando de manera ineficiente ya que para las revoluciones a las que opera debería de generar una carga dinámica de más de 100 pies.

Figura 35. **Gráfica de correcta operación bomba EP16 a 1 600 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Se recomienda revisar el impulsor, el sistema propone un impulsor de 10 4/5" para que la bomba opere con a las condiciones requeridas por el diseño del equipo, sin consumir más combustible del necesario.

Tabla XXXIV. **EP17 pivote central**

Equipo	EP 17
Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 11H110 5 Etapas
Área (Has.)	107,6
Relación de engranajes	11:10

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

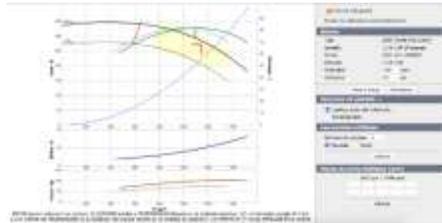
	Diseño	Real
RPM	1 800	1 850
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0,0744	0,0720
Caudal instantáneo (GPM)	1,180.00	1,141.82
Presión en la descarga (PSI)	42,56	36
Presión último aspersor (PSI)	10	5
Nivel dinámico (m)	51.83	57,69
Nivel dinámico (ft)	170	189,21
Carga dinámica total (m)	81,80	83,04
Carga dinámica total (ft)	268,31	272,37
Potencia de bombeo (hp)	99,94	98,17
Potencia total (hp)	10	10
Potencia de total (hp)	109,94	108,07

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	28 598
Tipo de aspersores	I wobbler
Orden de boquillas	100%

Fuente: elaboración propia.

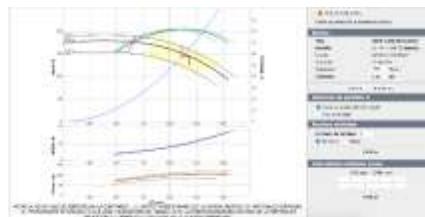
Figura 36. **Gráfica de operación bomba EP17 a 1 681 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba actualmente está operando adecuadamente, pero en la auditoría se pudo determinar que el nivel dinámico descendió 20 pies al contemplado en el presupuesto, lo que justifica el aumento en el consumo de combustible; de igual manera, el agua se encuentra 20 pies sobre la bomba y según los resultados que da el sistema el NPSH para operar adecuadamente es 19,2 pies, lo que indica que se encuentra en el límite permisible; para operar sin problemas la próxima temporada es necesario bajar más la bomba y contemplar un nuevo nivel dinámico; revisar el tacómetro.

Figura 37. **Gráfica de correcta operación bomba EP17 a 1 770 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Para tener la mejor eficiencia cumpliendo con los requerimientos necesarios establecidos en el diseño del equipo, debe realizarse una

modificación en el diámetro de los impulsores, de 9,20 a 8,82 pulgadas; la bomba debe operar a 1 770 rpm; debido a esto, se propone un cambio de la relación de engranajes a 1:1, caso contrario el motor debe ser operado a 1 936 rpm.

Tabla XXXV. **EP20 avance frontal**

Equipo	EP20
Motor	John Deere 6068TF150
Bomba centrífuga	Cornell 6RB
Área (ha)	247

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. mangueras rotas	4
No. de tubería dañada	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	1 800	1 600
Caudal instantáneo (m ³ /s)	0.1893	0,1752
Caudal instantáneo GPM	3 000	2 776,49
Presión en la descarga (PSI)	34,79	26
Presión último aspersor (PSI)	10	R4, L8
Nivel dinámico (m)	0,00	0,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (m)	24,50	18,31
Carga dinámica total (ft)	80,36	60,06
Potencia de bombeo (hp)	76,10	52,64
Potencia motor hidráulico (hp)	15	15
Potencia total (hp)	91,10	67,64

Continuación tabla XXXV.

BOQUILLAS

No. carta de aspersión	29 566
Tipo de aspersores	Nelson A3000M
Orden de boquillas	100%

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Gráfica de operación bomba EP20 a 2 000 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba opera de manera adecuada a las revoluciones a las cuales está siendo operada; será necesario hacer una revisión general del motor para determinar las causas por las cuales ese equipo no está operando de manera adecuada.

Figura 39. Gráfica de correcta operación bomba EP20 a 1 800 rpm



Fuente: elaboración propia.

El sistema sugiere un impulsor de 11 5/8" para operar en las condiciones establecidas en el diseño.

Tabla XXXVI. EP22 pivote central

Equipo	EP 22
Motor	General Motor V8 5.7 L
Bomba	American Turbine 11H110 4 Etapas
Área (Has.)	80,4
Relación de engranajes	01:01

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

Continuación tabla XXXVI.

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	2 000	1 450
Caudal instantáneo (m ³ /S)	0,0568	0,0590
Caudal instantáneo (GPM)	900	935,27
Presión en la descarga (PSI)	33,56	34
Presión último aspersor (PSI)	10	12
Nivel dinámico (m)	36,59	31,88
Nivel dinámico (ft)	120	104,56
Carga dinámica total (m)	60,22	55,82
Carga dinámica total (ft)	197,52	183,10
Potencia de bombeo (hp)	56,11	54,06
Potencia motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	66,11	64,06

BOQUILLAS

No. de carta de aspersión	29750R1
Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	100%

Fuente: elaboración propia.

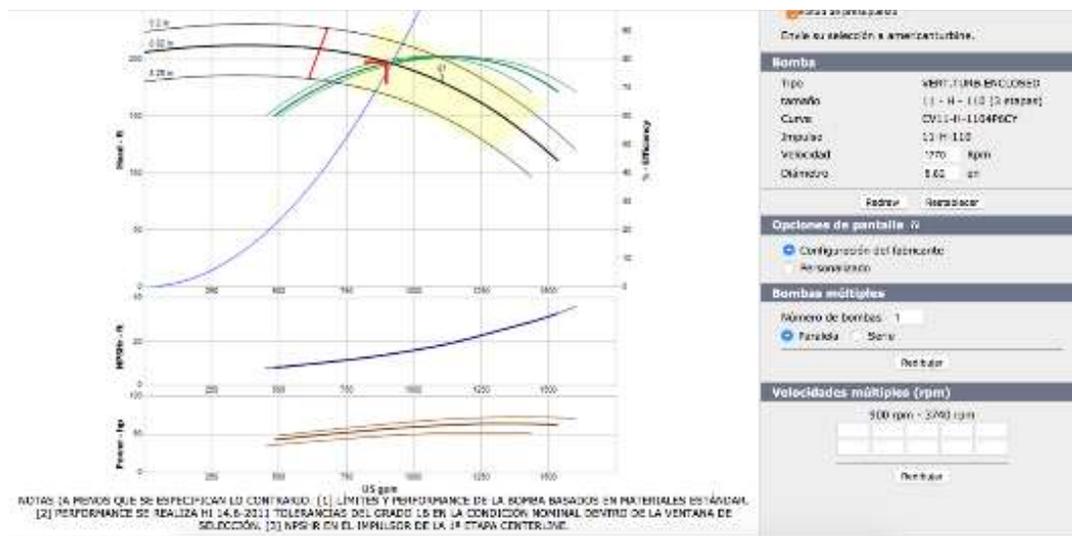
Figura 40. **Gráfica de operación bomba EP22 a 2 450 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, la bomba opera a bajas revoluciones y opera con una carga dinámica total mayor a la que la bomba debería para esas condiciones; bombea más del caudal requerido, aparentemente, la bomba tiene etapas, una etapa de más.

Figura 41. Gráfica de correcta operación bomba EP22 a 1 770 rpm



Fuente: elaboración propia.

Acorde con los requerimientos del sistema, y asumiendo un nivel dinámico de operación total durante la temporada de 120 pies, la bomba únicamente requiere 3 etapas, ya que la 4ta etapa puede ser una de las principales causas del aumento en el consumo de combustible; también, se propone una modificación en el diámetro de los impulsores, de 9,20 a 8,82 pulgadas.

Tabla XXXVII. **EP25 pivote central**

Equipo	EP 25
Motor	John Deere 6081AF001
Bomba	American Turbine 12X180 6 Etapas
Área (Has.)	143
Relación de engranajes	11:10

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	1 800	2 000
Caudal instantáneo (m ³ /S)	0,0820	0,0730
Caudal instantáneo (GPM)	1 300	1157,20
Presión en la descarga (PSI)	38,56	20
Presión último aspersor (PSI)	10	10
Nivel dinámico (m)	57,93	62,90
Nivel dinámico (ft)	190	206,30
Carga dinámica total (m)	85,08	76,98
Carga dinámica total (ft)	279,07	252,50
Potencia de bombeo (hp)	114,52	92,23
Potencia motor requerido (hp)	10	10
Potencia de motor requerido (hp)	124,52	102,23

BOQUILLAS

No. de carta de aspersión	30 582
Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	100%

Fuente: elaboración propia.

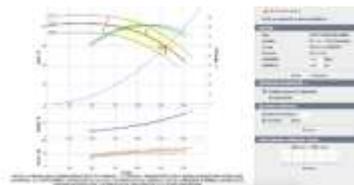
Figura 42. **Gráfica de operación bomba EP25 a 1 820 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Actualmente, la bomba opera de manera inadecuada; no bombea el caudal requerido tampoco a la presión adecuada; se puede observar que la presión final es la requerida a pesar de que la presión de la base es demasiado baja; se debe a que debido a la cantidad de arena en el sistema se crea una capa gruesa de incrustación que aumenta la presión dentro de la tubería de conducción; se recomienda lavar los aspersores y mangueras; también, darle mantenimiento a la tubería de conducción.

Figura 43. **Gráfica de correcta operación bomba EP25 a 1 770 rpm**



Fuente elaboración propia.

Al buscar una bomba con base en los criterios de diseño actuales, el sistema propone una bomba 11H110 de 6 etapas con un diámetro de impulsores de 8,75 pulgadas; actualmente, cuenta con una bomba de mayor tamaño; esta puede ser una de las causas del exceso en el consumo de

combustible, se recomienda cambiar el motor ya que el que se tiene actualmente es demasiado grande para los requerimientos del sistema; también, será necesario cambiar la relación de engranajes a una de 1:1 y operar el motor a 1 800 rpm.

Tabla XXXVIII. **EP26 pivote central**

Equipo	EP 26
Motor	John Deere 4045TF250
Bomba	American Turbine 11H110 4 Etapas
Área (Has.)	121
Relación de Engranajes	01:01

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	1 800	1 800
Caudal instantáneo (m/S)	0,0820	0,0630
Caudal instantáneo (GPM)	1 300	998,68
Presión en la descarga (PSI)	38,56	20
Presión último aspersor (PSI)	15,25	7
Nivel dinámico (m)	42,68	46,18
Nivel dinámico (ft)	140	151,46
Carga dinámica total (m)	69,84	60,26
Carga dinámica total (ft)	229,07	197,66
Potencia de bombeo (hp)	94	62,31
Potencia total (hp)	10	10
Potencia de motor requerido (hp)	104	72,31

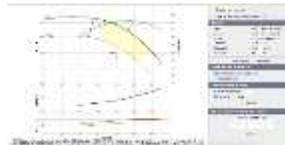
Continuación tabla XXXVIII.

BOQUILLAS

No. de Carta de aspersión	30 582
Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	85%

Fuente: elaboración propia.

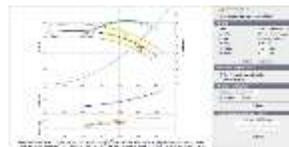
Figura 44. **Gráfica de operación bomba EP26 a 1800 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La presión es demasiado baja, por lo que la carga dinámica total no es la adecuada para el caudal y las revoluciones a las que se está operando actualmente la bomba; la potencia que requiere el sistema es mayor a la potencia que puede generar el motor del equipo a 1 800 rpm.

Figura 45. **Gráfica de correcta operación bomba EP26 a 1 770 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Al ingresar los datos actualizados al sistema, el sistema sugiere un incremento de una etapa en la bomba, para que esta sea eficiente debe

operarse a 1 770 rpm; se debe de contemplar el incremento en la carga dinámica total al momento de realizar el presupuesto de combustible. Es necesario considerar un cambio de motor, ya que el que tiene actualmente genera únicamente 98 hp a 1 800 rpm; el sistema requiere 108 hp para cubrir los requerimientos de la quinta etapa al nivel dinámico más profundo.

Tabla XXXIX. **EP28 pivote central**

Equipo	EP 28
Motor	General Motors V8 5.7 L
Bomba	American Turbine 11H110 3 Etapas
Área (Has.)	121
Relación de engranajes	06:05

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de tubería dañada	0
No. de mangueras rotas	0

OPERACIÓN

	Diseño	Real
RPM	2 000	2 100
Caudal instantáneo (m/S)	0,0820	0,0812
Caudal instantáneo (GPM)	1 300	1287,19
Presión en la descarga (PSI)	40,56	32
Presión último aspersor (PSI)	10	8
Nivel dinámico (m)	30,49	42,91
Nivel dinámico (ft)	100	140,76
Carga dinámica total (m)	59,05	65,45
Carga dinámica total (ft)	193,69	214,68
Vacío (in. Hg)		9
Potencia de bombeo (hp)	79,48	87,23
Potencia motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	89,48	87,23

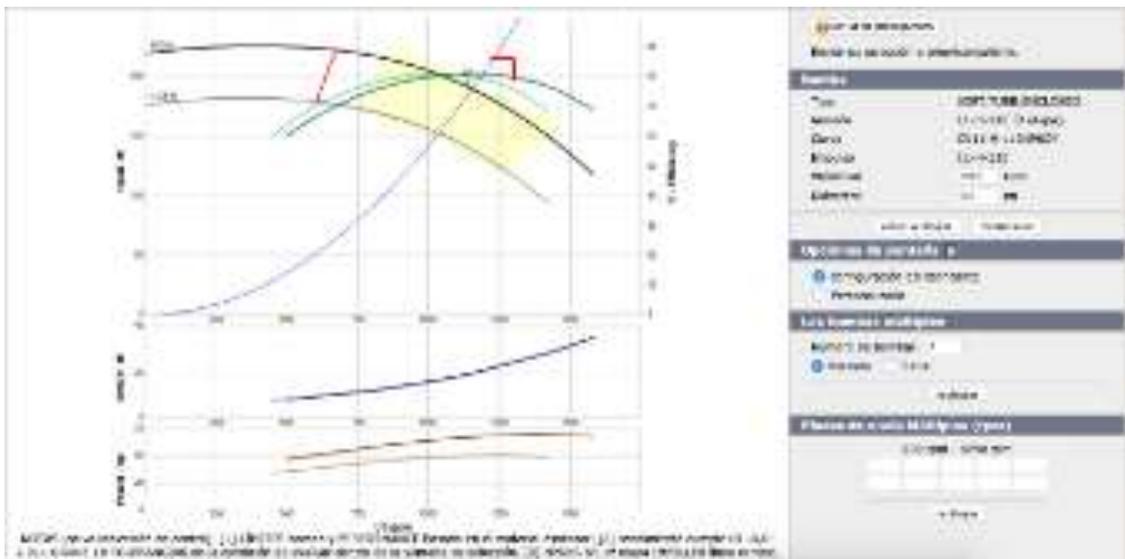
Continuación tabla XXXIX.

BOQUILLAS

No. de carta de aspersión	31 194
Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	90%

Fuente: elaboración propia.

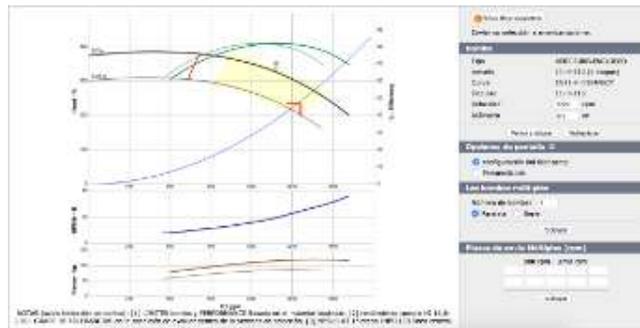
Figura 46. **Gráfica de operación bomba EP28 a 1 750 rpm**



Fuente: elaboración propia.

La bomba está operando fuera de las condiciones de diseño; el nivel dinámico es demasiado bajo; el NPSH permisible para las condiciones de la bomba es de 24,4 pies y actualmente el agua se encuentra 10 pies sobre la bomba; lo cual está causando cavitación en la bomba, por lo tanto, será necesario profundizar la columna.

Figura 47. **gráfica de operación bomba EP28 a 1 770 rpm**



Fuente elaboración propia.

Al ingresar los datos actualizados al sistema se puede observar que se requieren 2 etapas más para cumplir con los requerimientos de diseño; también, debe tomarse en cuenta el incremento de potencia del sistema y la necesidad de profundizar más la columna. El motor con el que cuenta actualmente genera una potencia de 82 hp a 2 100 rpm y el sistema, según el nuevo nivel dinámico, requiere una potencia de 105 hp.

Tabla XL. **EP36 pivote central**

Equipo	EP36
Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 11H110 5 Etapas
Área (Has.)	143
Relación de Engranajes	01:01

TUBERÍA Y MANGUERAS

No. de Tubería Dañada	0
No. de Mangueras rotas	0

Continuación tabla XL.

OPERACIÓN

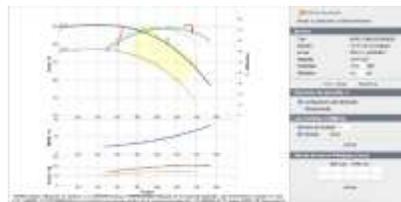
	Diseño	Real
RPM	1 800	1 700
Caudal instantáneo (m ³ /S)	0,1047	0,0850
Caudal instantáneo (GPM)	1 600	1 347,42
Presión en la descarga (PSI)	48,56	30
Presión último aspersor (PSI)	10	5
Nivel dinámico (m)	33,54	86,53
Nivel dinámico (ft)	110	283,83
Carga dinámica total (m)	67,74	107,66
Carga dinámica total (ft)	222,17	353,13
Potencia de bombeo (hp)	112,21	150,19
Potencia motor requerido (hp)	143,46	185,09
Potencia motor hidráulico (hp)	10	10
Potencia total (hp)	153,46	195,09

BOQUILLAS

No. de Carta de aspersión	33 463
Tipo de aspersores	I wob UP3
Orden de boquillas	100%

Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Gráfica de operación bomba EP36 a 1 700 rpm**



Fuente: elaboración propia.

Para evaluar los equipos de mini-aspersión la mecánica fue distinta, ya que se determinó que la causa principal de la falta de riego en estos equipos es la falta de agua por parte de los pozos, por lo que se procedió a evaluar los distintos pozos que abastecen a los equipos de la finca Acapolón, se realizó un aforo de 24 horas para evaluar niveles dinámicos, caudal bombeado y en base a eso realizar las acciones correctivas.

Tabla XLI. **EP46 pozo 2**

Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 14M270
Relación de Engranajes	11:10
RPM motor	1 800
RPM bomba	1 636
Caudal requerido (GPM)	2 200
Caudal inicial (GPM)	2 060,77
Caudal final (GPM)	1 759,58
Nivel estático (ft)	52,16
Nivel dinámico Inicial (ft)	123,77
Nivel dinámico final (ft)	135,32

Fuente: elaboración propia.

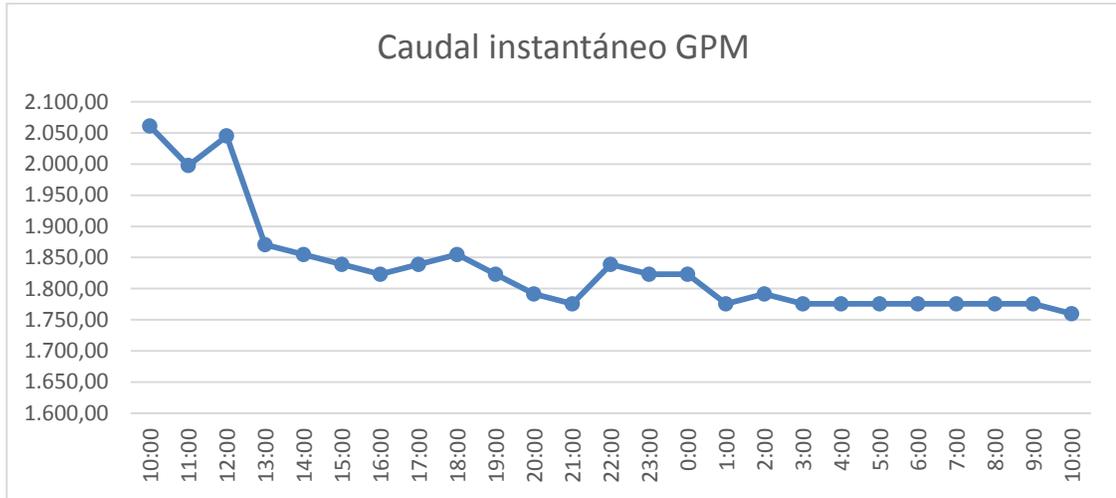
Tabla XLII. **Aforo realizado durante 24 horas**

Hora	RPM	Caudal instantáneo GPM	Nivel dinámico
10:00	1 800	2 060,77	123,77
11:00	1 800	1 997,36	128,39
12:00	1 800	2 044,91	126,08
13:00	1 800	1 870,54	133,01
14:00	1 800	1 854,69	133,01
15:00	1 800	1 838,84	133,01
16:00	1 800	1 822,99	133,01
17:00	1 800	1 838,84	133,01
18:00	1 800	1 854,69	130,70
19:00	1 800	1 822,99	133,01
20:00	1 800	1 791,28	135,32
21:00	1 800	1 775,43	135,32
22:00	1 800	1 838,84	133,01
23:00	1 800	1 822,99	133,01
00:00	1 800	1 822,99	133,01
01:00	1 800	1 775,43	135,32
02:00	1 800	1,791.28	135,32
03:00	1 800	1 775,43	135,32
04:00	1 800	1 775,43	135,32
05:00	1 800	1 775,43	135,32
06:00	1 800	1 775,43	135,32
07:00	1 800	1 775,43	135,32
08:00	1 800	1 775,43	135,32
09:00	1 800	1 775,43	135,32
10:00	1 800	1 759,58	135,32

Fuente: elaboración propia.

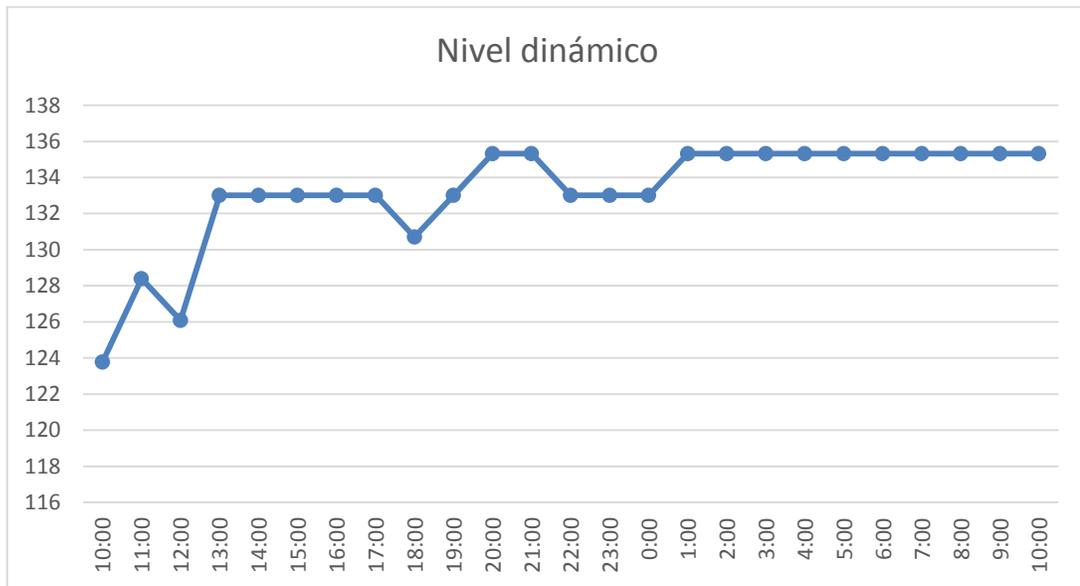
Se observa durante el aforo, en ningún momento, se alcanzó el caudal requerido para abastecer los equipos de mini-aspersión, posiblemente por mala operación de la bomba, ya que no se operó a las revoluciones adecuadas, esto también incide en el nivel dinámico del pozo, ya que si la bomba operara a 1 770 rpm que sugiere el fabricante esta generaría mayor caudal y el nivel dinámico sería mayor, aproximadamente unos 20 pies más.

Figura 50. **Gráfica caudal - tiempo pozo EP46**



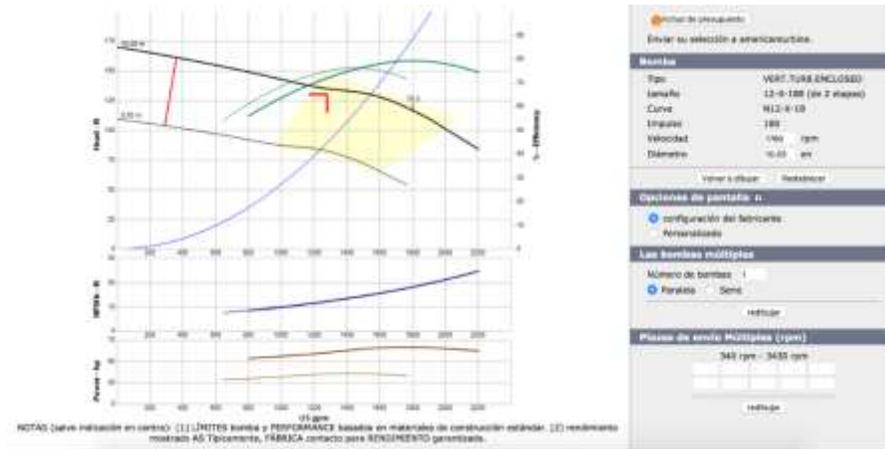
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Gráfica nivel dinámico - tiempo aforo pozo EP46**



Fuente: elaboración propia.

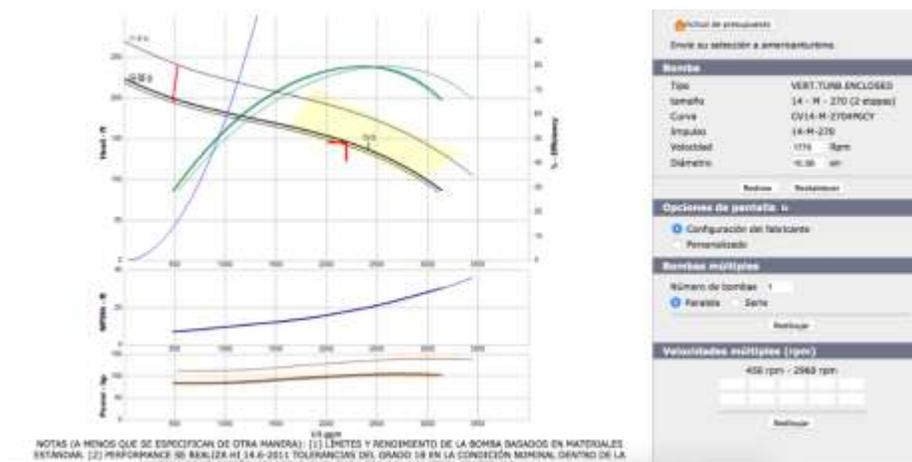
Figura 52. Gráfica de operación bomba pozo EP46 1 760 rpm



Fuente: elaboración propia.

La bomba no opera de manera adecuada, debido a la relación de engranajes.

Figura 53. Gráfica correcta operación bomba pozo EP46 1 770 rpm



Fuente: elaboración propia.

Se contempla que al operar la bomba a condiciones adecuadas debemos contemplar un nivel dinámico de 145 pies, para lo cual deberemos contemplar una potencia de 92 hp, se recomienda evaluar un cambio de cabezal de engranajes para que la relación de engranajes sea 1:1 y poder operar de manera óptima y ajustar el diámetro de los impulsores de la bomba a 10,56 pulgadas.

Tabla XLIII. **EP47 pozo 3**

Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 14M270 2 Etapas
Relación de engranajes	01:01
RPM motor	1 400
RPM bomba	1 400
Caudal requerido (GPM)	2 200
Caudal inicial (GPM)	2 968,14
Caudal final (GPM)	2 571,36
Nivel estático (ft)	50,64
Nivel dinámico inicial (ft)	133,80
Nivel dinámico final (ft)	143,04
Carga dinámica total	143,04
Potencia al freno actual	116,10

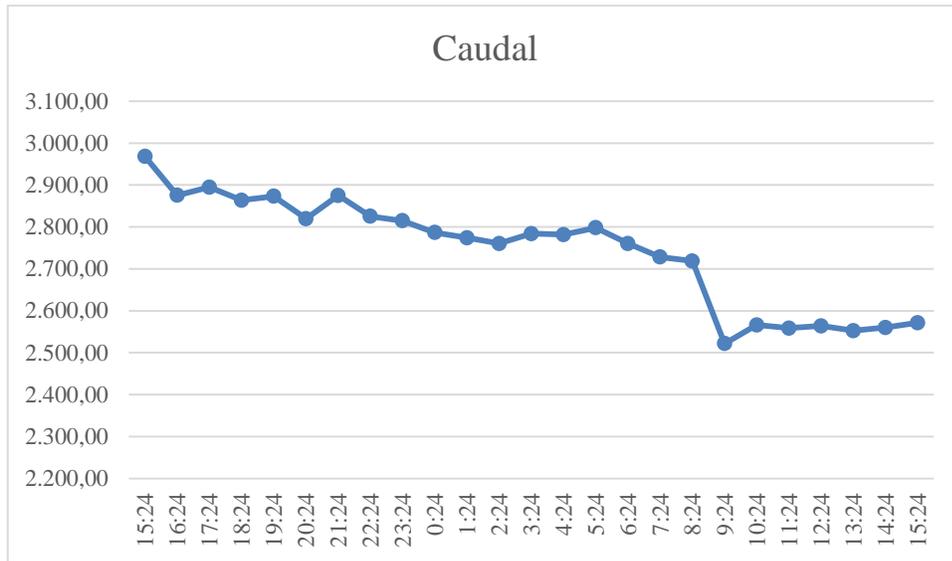
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Aforo realizado durante 24 horas**

Hora	RPM	Caudal	Nivel dinámico
15:24	1 400	2 968,14	133,80
16:24	1 400	2 875,40	138,42
17:24	1 400	2 894,90	138,42
18:24	1 400	2 863,83	138,42
19:24	1 400	2 873,18	138,42
20:24	1 400	2 819,45	140,73
21:24	1 400	2 875,09	140,73
22:24	1 400	2 825,15	140,73
23:24	1 400	2 814,53	140,73
00:24	1 400	2 786,47	140,73
01:24	1 400	2 773,95	140,73
02:24	1 400	2 760,48	140,73
03:24	1 400	2 784,10	140,73
04:24	1 400	2 781,72	140,73
05:24	1 400	2 798,04	140,73
06:24	1 400	2 760,32	145,35
07:24	1 400	2 728,14	145,35
08:24	1 400	2 718,63	145,35
09:24	1 400	2 521,59	145,35
10:24	1 400	2 566,29	145,35
11:24	1 400	2 558,52	143,04
12:24	1 400	2 563,75	143,04
13:24	1 400	2 552,66	143,04
14:24	1 400	2 560,11	143,04
15:24	1 400	2 571,36	143,04

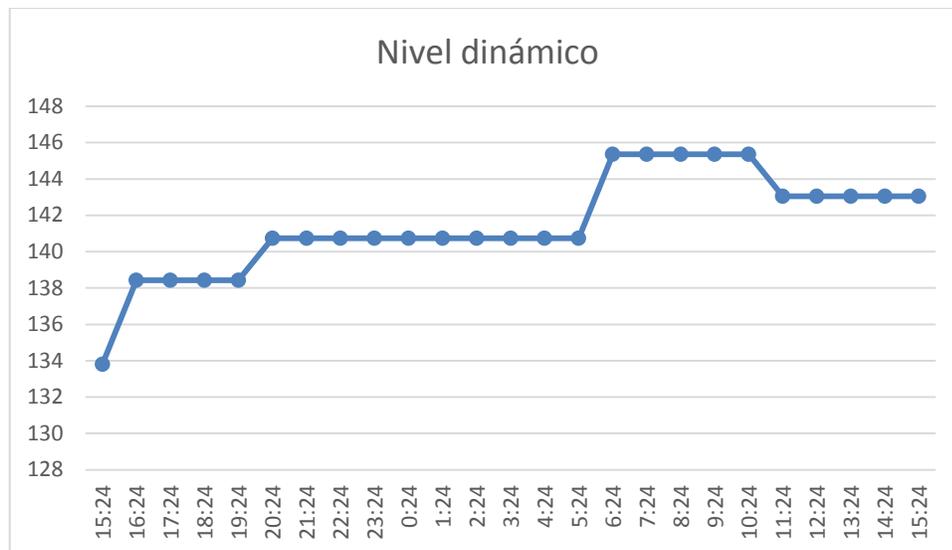
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Gráfica caudal - tiempo pozo EP47**



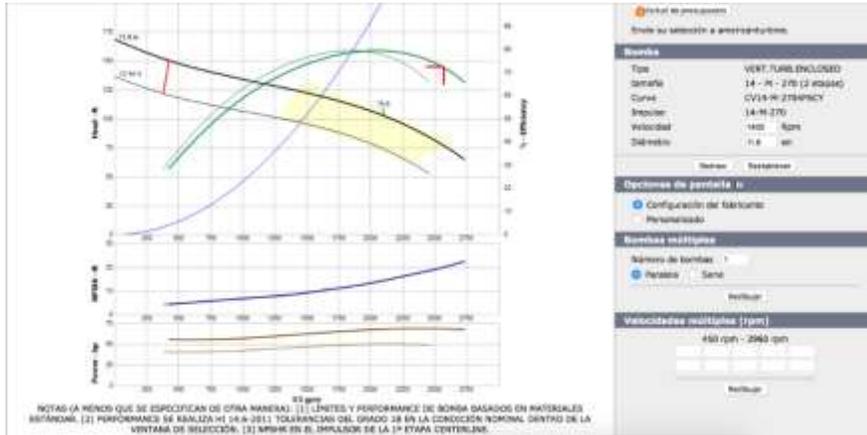
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP47**



Fuente: elaboración propia.

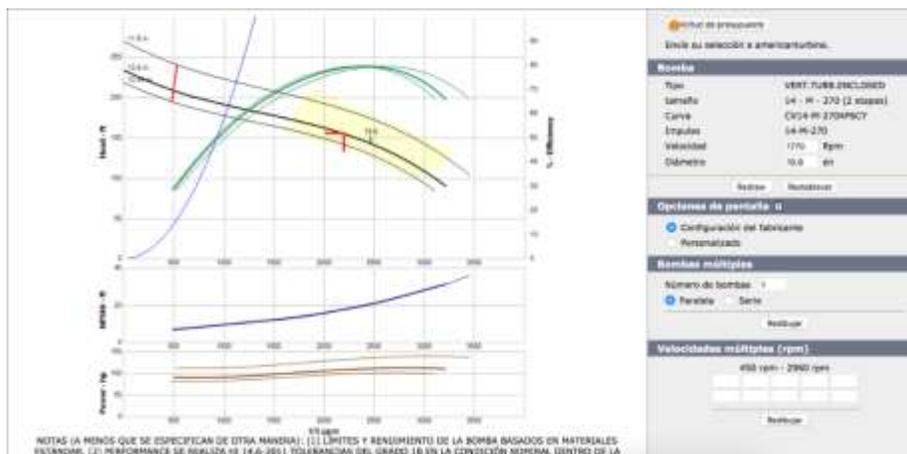
Figura 56. **Gráfica de operación bomba pozo EP47**



Fuente: elaboración propia.

La bomba actualmente está operando fuera de la curva según las revoluciones, está sobre dimensionada, se recomienda revisar el motor ya que este motor no puede acelerarse a más de 1 400 rpm porque se apaga.

Figura 57. **Gráfica correcta operación bomba pozo EP47**



Fuente: elaboración propia.

Debido a que el aforo se realizó después de varios días de lluvia se cree que los pozos se recuperaron en cuanto a sus niveles de agua, se estima que en temporada de operación el nivel dinámico se encontrará a 155 pies, para obtener la óptima operación el equipo debe operar a 1 770 rpm y se debe realizar un ajuste al diámetro de los impulsores a 10,80 pulgadas.

Tabla XLV. **EP48 pozo 4**

Motor	John Deere 6068TF150
Bomba	American Turbine 12X1803 Etapas
Relación de engranajes	11:10
RPM motor	1 800
RPM bomba	1 636
Caudal requerido (GPM)	1 756
Caudal inicial (GPM)	1 797,62
Caudal final (GPM)	1 561,43
Nivel estático (ft)	39,06
Nivel dinámico inicial (ft)	85,26
Nivel dinámico final (ft)	108,36
Carga dinámica total	108,36
Potencia de bombeo	53,41

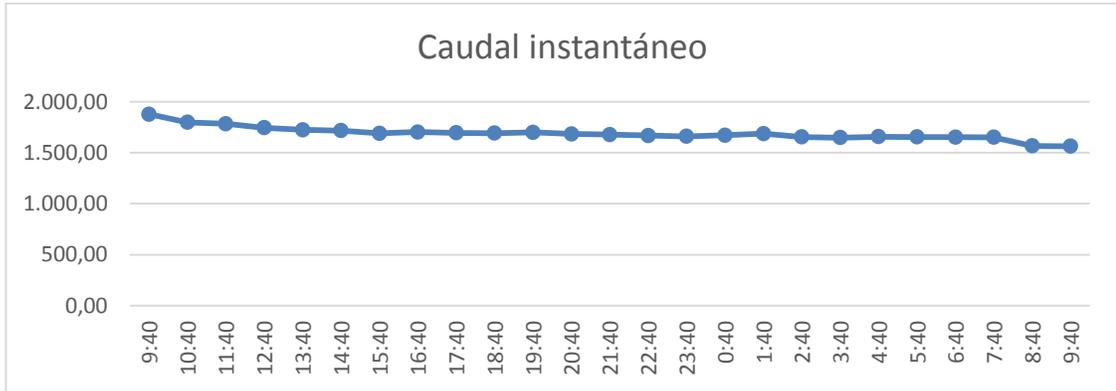
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Aforo realizado durante 24 horas**

Hora	RPM	Caudal instantáneo	Nivel dinámico
09:40	1 800	1 877,99	85,26
10:40	1 800	1 797,62	92,19
11:40	1 800	1 784,15	92,19
12:40	1 800	1 744,68	94,50
13:40	1 800	1 724,54	96,81
14:40	1 800	1 717,25	96,81
15:40	1 800	1 690,62	99,12
16:40	1 800	1 702,67	99,12
17:40	1 800	1 695,22	99,12
18:40	1 800	1 692,68	99,12
19:40	1 800	1 699,50	99,12
20:40	1 800	1 683,49	99,12
21:40	1 800	1 677,62	99,12
22:40	1 800	1 668,27	101,43
23:40	1 800	1 660,66	101,43
00:40	1 800	1 672,39	99,12
01:40	1 800	1 686,66	99,12
02:40	1 800	1 654,16	101,43
03:40	1 800	1 648,14	101,43
04:40	1 800	1 657,33	101,43
05:40	1 800	1 653,84	101,43
06:40	1 800	1 652,58	101,43
07:40	1 800	1 650,99	101,43
08:40	1 800	1 567,13	108,36
09:40	1 800	1 563,80	108,36

Fuente: elaboración propia.

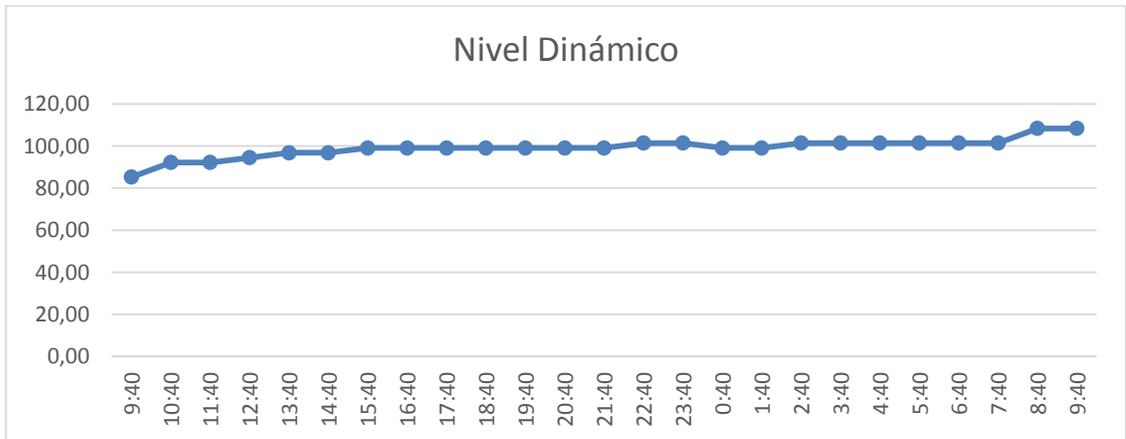
Figura 58. **Gráfica caudal - tiempo pozo EP48**



Fuente: elaboración propia.

En el gráfico podemos ver como el caudal tiende a disminuir respecto al tiempo, esto es algo que se esperaba ya que a lo largo de la temporada se reportó varias veces que el equipo no estaba bombeando el caudal requerido.

Figura 59. **Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP48**



Fuente: elaboración propia

En el gráfico se puede observar una tendencia de incremento en el nivel dinámico del pozo respecto del tiempo.

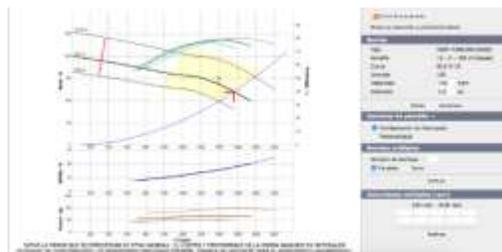
Figura 60. **Gráfica de operación bomba pozo EP48**



Fuente: elaboración propia.

La bomba no está siendo operada a las revoluciones óptimas de diseño, por tal causa no está bombeando el caudal requerido y el nivel dinámico es bastante alto.

Figura 61. **Gráfica de correcta operación bomba pozo EP48**



Fuente: elaboración propia.

Se estima que en operación el nivel dinámico descienda a 120 pies, se recomienda cambiar la relación de engranajes a una relación 1:1 para operar la bomba sin necesidad de revolucionar de más el motor.

Tabla XLVII. **EP50 pozo 6**

Motor	Origin 8.0 L
Bomba	American Turbine 12X180 3 Etapas
Relación de engranajes	11:10
RPM motor	1 700
RPM bomba	1 545,45
Caudal requerido (GPM)	1 848
Caudal inicial (GPM)	1 516,41
Caudal final (GPM)	1 449,35
Nivel estático (ft)	59,88
Nivel dinámico inicial (ft)	122,25
Nivel dinámico final (ft)	138,42
Carga dinámica total	138,42
Potencia al freno actual	63,33

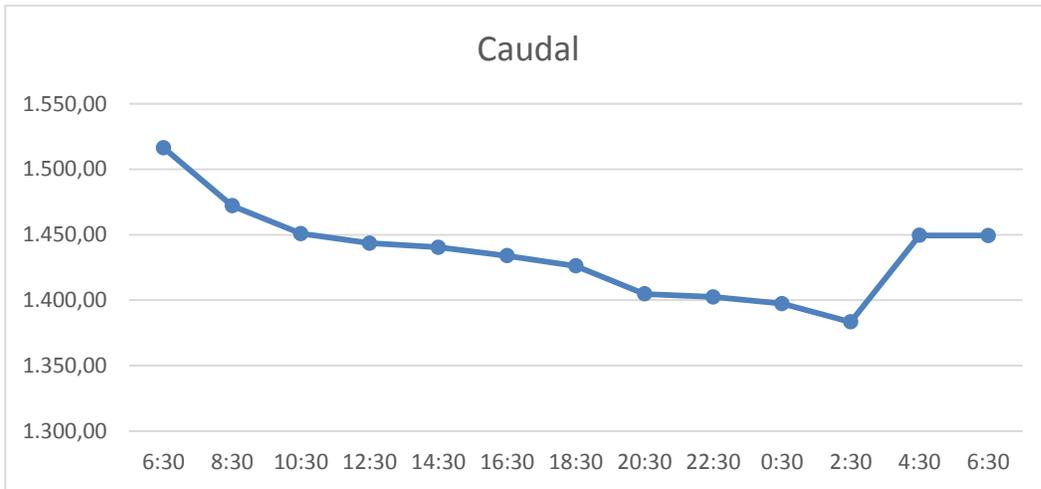
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Aforo realizado durante 24 horas**

Hora	RPM	Caudal	Nivel dinámico
06:30	1 700	1 516,41	122,25
08:30	1 700	1 472,02	124,56
10:30	1 700	1 450,78	124,56
12:30	1 700	1 443,49	126,87
14:30	1 700	1 440,32	129,18
16:30	1 700	1 433,98	131,49
18:30	1 700	1 426,21	131,49
20:30	1 700	1 404,81	133,80
22:30	1 700	1 402,43	133,80
00:30	1 700	1 397,36	133,80
02:30	1 700	1 383,41	136,11
04:30	1 700	1 449,51	136,11
06:30	1 700	1 449,35	138,42

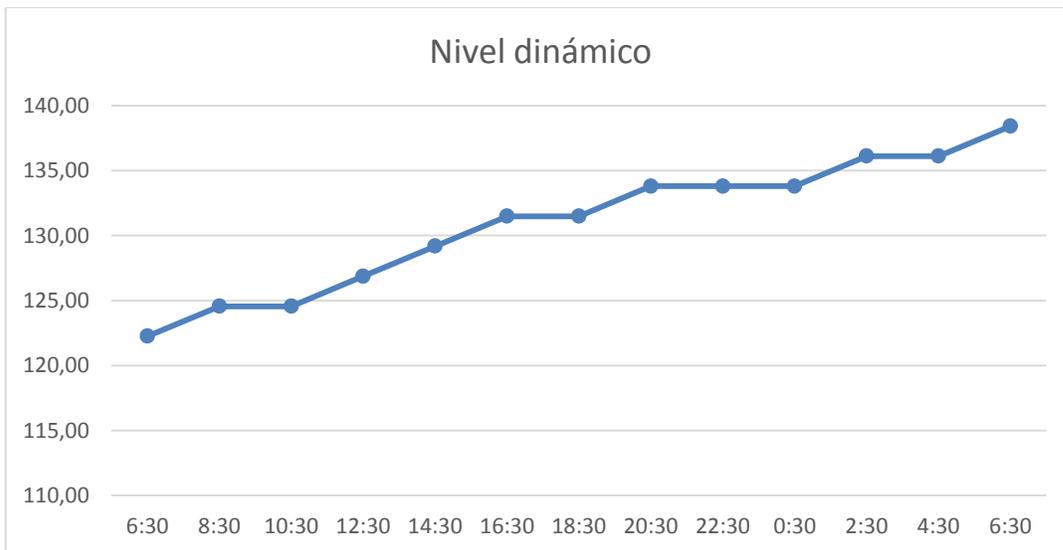
Fuente: elaboración propia.

Figura 62. **Gráfica caudal - tiempo pozo EP50**



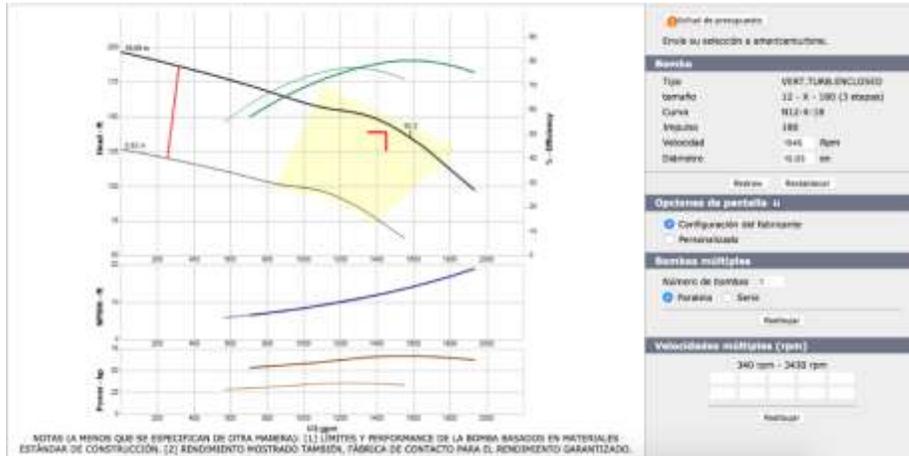
Fuente: elaboración propia.

Figura 63. **Gráfica nivel dinámico - tiempo pozo EP50**



Fuente: elaboración propia.

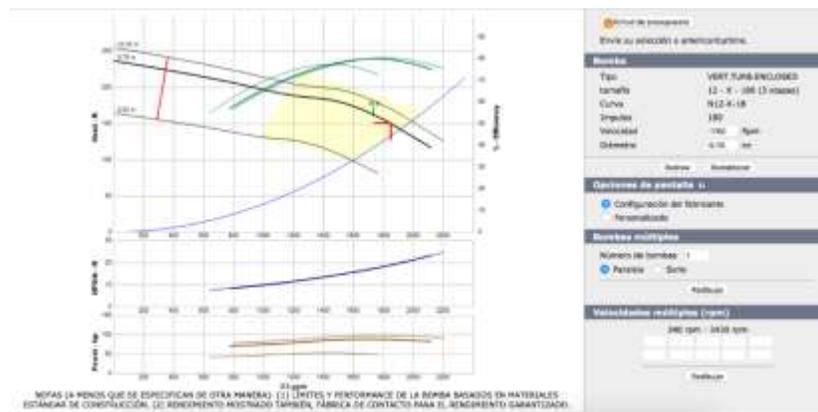
Figura 64. Gráfica de operación bomba pozo EP50



Fuente: elaboración propia.

La bomba opera de manera correcta a 1 545 rpm, el equipo no puede operar a más debido a que el vacío del motor no permite que este se acelere a más de 1 700 rpm, será necesario realizar una revisión completa del motor.

Figura 65. Gráfica de correcta operación de bomba pozo EP50



Fuente: elaboración propia.

Se estima que el nivel dinámico de la bomba a 1 760 rpm será de 150 pies, y requerirá una potencia de 86 hp, el motor deberá ser operado a 1 936 rpm para que la bomba opere en óptimas condiciones.

Debido a un desperfecto con el equipo de medición no se pudo realizar una medida durante las 24 horas del nivel dinámico, únicamente se tomó la lectura inicial y final del nivel dinámico de este equipo

Tabla XLIX. **EP52 pozo 8**

Motor	Origin 8.0 L
Bomba	American Turbine 12X180 2 Etapas
Relación de engranajes	01:01
RPM motor	1 800
RPM bomba	1 800
Caudal requerido (GPM)	1 408
Caudal inicial (GPM)	1 358,52
Caudal final (GPM)	1 277,68
Nivel estático (ft)	No se pudo medir
Nivel dinámico inicial (ft)	99,18
Nivel dinámico final (ft)	106,11
Carga dinámica total	106,11
Potencia al freno actual	42,79

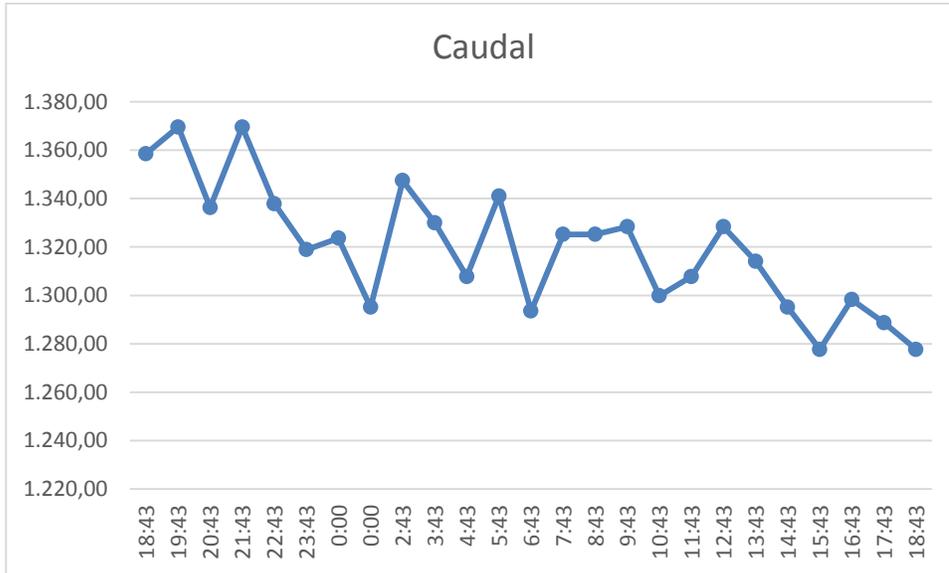
Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Aforo realizado durante 24 horas**

Hora	RPM	Caudal
18:43	1 800	1 358,52
19:43	1 800	1 369,62
20:43	1 800	1 336,33
21:43	1 800	1 369,62
22:43	1 800	1 337,91
23:43	1 800	1 318,89
00:00	1 800	1 323,65
00:00	1 800	1 295,11
02:43	1 800	1 347,42
03:43	1 800	1 329,99
04:43	1 800	1 307,79
05:43	1 800	1 341,08
06:43	1 800	1 293,53
07:43	1 800	1 325,23
08:43	1 800	1 325,23
09:43	1 800	1 328,40
10:43	1 800	1 299,87
11:43	1 800	1 307,79
12:43	1 800	1 328,40
13:43	1 800	1 314,13
14:43	1 800	1 295,11
15:43	1 800	1 277,68
16:43	1 800	1 298,28
17:43	1 800	1 288,77
18:43	1 800	1 277,68

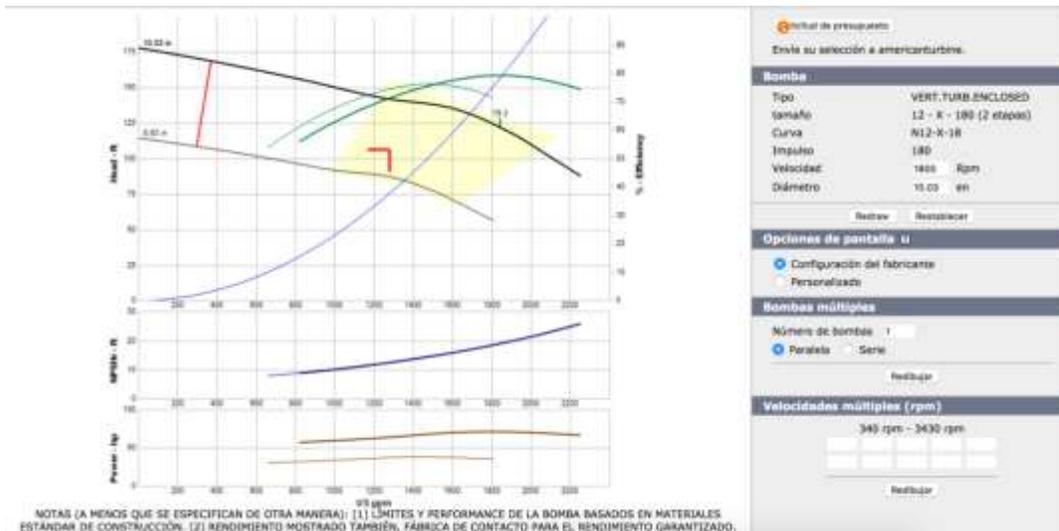
Fuente: elaboración propia.

Figura 66. Gráfica caudal - tiempo pozo EP52



Fuente: elaboración propia.

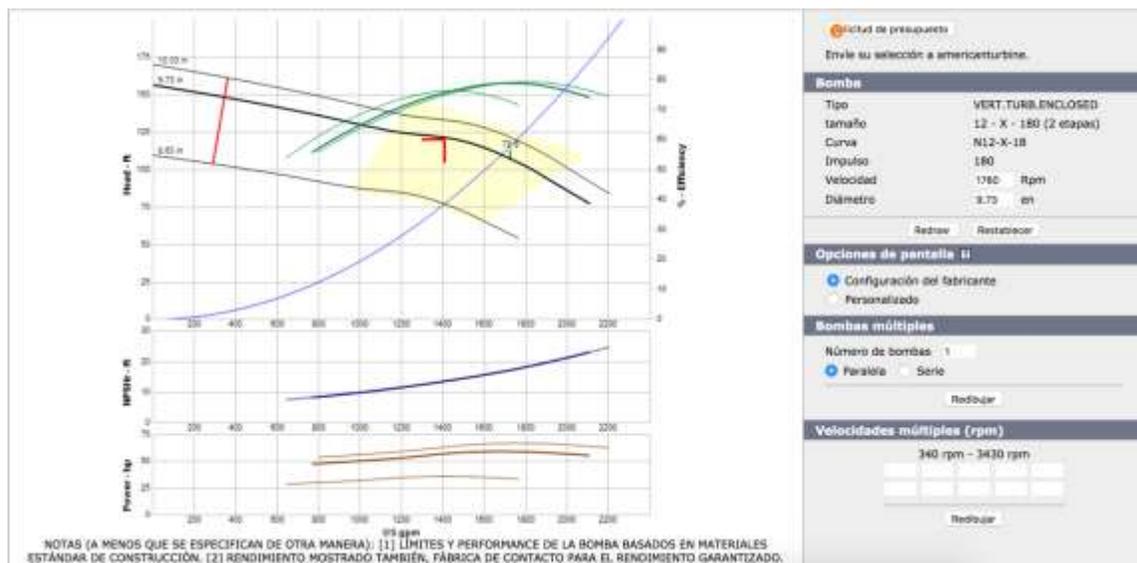
Figura 67. Gráfica de operación bomba pozo EP52



Fuente: elaboración propia.

La bomba opera dentro de los parámetros normales, pero no está aportando el caudal requerido en el diseño, se deberá revisar las etapas de la bomba y ver que estén en buen estado.

Figura 68. **Gráfica de correcta operación bomba pozo EP52**



Fuente: : elaboración propia.

Se determinó que durante la época de riego el nivel dinámico podría aumentar hasta 120 pies, con lo cual requerirá un aumento de potencia.

2.4. Mejora de eficiencia

Para mejorar la eficiencia y mantenerla lo más alta posible será necesario que el personal operativo conozca las condiciones específicas de cada equipo de riego, que este enterado de las consecuencias de mala supervisión e ignorar las anomalías detectadas en operación.

También es necesario tomar en cuenta los datos actualizados para la realización del presupuesto de la próxima temporada y mantener un constante monitoreo de las distintas variables en la operación de riego.

Se presentan los datos actualizados de niveles dinámicos obtenidos y la propuesta de acciones a realizar en el equipo hidráulico y motores de combustión interna para mejorar la operación la próxima temporada y subir el nivel de eficiencia en cada equipo de riego.

2.5. Comparación de datos del presupuesto contra datos actualizados propuesto para la próxima temporada de riego

Tabla LI. Presupuesto equipo EP-09

EP09	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000	1 800
Caudal (GPM)	1 200	1 200
Presión (PSI)	49,60	49,60
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	114,58	114,58
Potencia de bombeo (hp)	43,40	43,40
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	53,40	53,40
Bomba	Cornell 5RB	Cornell 5RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	12 1/4	11 3/8
Motor	GM V6 4.3 L	GM V8 5.7 L

Fuente: elaboración propia.

El acople del motor a la bomba en este caso es directo por lo que se recomienda operar el motor a 1800 rpm para evitar excesos de consumo de combustible, y recortar el impulsor de la bomba acorde a lo que indica el programa.

Tabla LII. **Presupuesto equipo EP-10**

EP10	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000	1 800,00
Caudal (GPM)	2 000	2 000,00
Presión (PSI)	55,00	55,00
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	127,05	127,05
Potencia de bombeo (hp)	80,21	80,21
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	90,21	90,21
Bomba	Cornell 5RB	Cornell 5RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	12 3/8	12 3/8
Motor	GM V8 8.0 L	GM V8 8.0 L

Fuente: elaboración propia.

Al igual que en el EP09 este equipo no cuenta con relación de engranajes por lo que se recomienda operar el motor a 1 800 rpm, evaluar la manera de determinar los puntos de altibajos en la altimetría del terreno para poder mejorar las presiones en esos puntos.

Tabla LIII. **Presupuesto equipo EP-11**

EP11	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	01:01	01:01
Caudal (GPM)	1 300,00	1 300,00
Presión (PSI)	59,56	59,56
Nivel dinámico (ft)	150,00	170,00
Carga dinámica total (ft)	287,58	307,58
Potencia de bombeo (hp)	118,01	126,22
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	128,01	136,22
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	4	6
Diámetro de impulsores (in)	9,20	8,82
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF250

Fuente: elaboración propia.

En este equipo se denotó un aumento en el nivel dinámico, con lo que se recomienda profundizar la columna de la bomba y agregarle dos etapas más a la bomba según lo indica el software, el cual también sugiere una modificación al diámetro de los impulsores, de 9,20 a 8,80 pulgadas, estos nuevos datos generarán un incremento en la potencia por lo cual se recomienda realizar un cambio de motor a un John Deere 6068TF250 que genera una potencia de 145 hp a 1 800 rpm.

Tabla LIV. **Presupuesto equipo EP-12**

EP12	presupuesto	
	2017	dato presupuesto
RPM	2 000,00	2 200,00
Relación de engranajes	06:05	05:04
Caudal (GPM)	950,00	950,00
Presión (PSI)	33,56	33,56
Nivel dinámico (ft)	150,00	178,00
Carga dinámica total (ft)	227,52	255,52
Potencia de bombeo (hp)	68,23	76,62
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	78,23	86,62
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	4	4
Diámetro de impulsores (in)	9,20	8,82
Motor	GM V6 4.3L	GM V8 5.7L

Fuente: elaboración propia.

Debido a la potencia que requiere el equipo será necesario operar el motor a 2c100 rpm para cubrir la demanda del motor, tomando en cuenta que el nivel dinámico incrementó casi 30 pies de lo que se tiene contemplado en el presupuesto, también se recomienda realizar una modificación al diámetro de los impulsores de la bomba, de 9,2 a 8,82 pulgadas.

Tabla LV. **Presupuesto equipo EP-14**

EP14	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Caudal (GPM)	2 701,00	2 701,00
Presión (PSI)	35,60	35,60
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	82,24	82,24
Potencia de bombeo (hp)	70,11	70,11
Potencia motor hidráulico (hp)	15,00	15,00
Potencia total (hp)	85,11	85,11
Bomba	Cornell 6RB	Cornell 6RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	12	11 3/8
Motor	JD 6068TF150	JD/068TF250

Fuente: elaboración propia.

Este equipo debe operarse a 1 800 rpm para que la bomba opere en óptimas condiciones sin reducir su eficiencia, será necesario darle mantenimiento general al motor, la bomba y recortar el diámetro del impulsor a 11 3/8" para operar adecuadamente.

Tabla LVI. **Presupuesto equipo EP-15**

EP15	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Caudal (GPM)	2 700,00	2 700,00

Continuación tabla LVI.

Presión (PSI)	37,62	37,62
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	86,90	86,90
Potencia de bombeo (hp)	74,06	74,06
Potencia motor hidráulico (hp)	15,00	15,00
Potencia total (hp)	89,06	89,06
Bomba	Cornell 6RB	Cornell 6RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	12	11 3/8
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia.

Este equipo debe operarse a 1 800 rpm para que la bomba opere en óptimas condiciones sin reducir su eficiencia, será necesario darle mantenimiento general al motor, la bomba y recortar el diámetro del impulsor a 11 3/8" para operar adecuadamente.

Tabla LVII. **Presupuesto equipo EP-16**

EP16	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Caudal (GPM)	1 500,00	1 500,00
Presión (PSI)	35,56	35,56
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	82,14	82,14
Potencia de bombeo (hp)	38,89	38,89
Potencia motor hidráulico (hp)	15,00	15,00

Continuación tabla LVII.

Potencia total (hp)	53,89	53,89
Bomba	Cornell 5RB	Cornell 5RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	12 4/9	12 4/5
Motor	JD 4045TF250	JD 4045TF250

Fuente: elaboración propia.

El motor no debe operarse a más de 1 800 rpm para que la bomba opere adecuadamente, también se debe cambiar el impulsor por uno más grande, este sufrió desgaste, el sistema sugiere un impulsor de 12 4/5”

Tabla LVIII. **Presupuesto equipo EP-17**

EP17	presupuesto 2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	11:10	01:01
Caudal (GPM)	1 180,00	1 180,00
Presión (PSI)	42,56	42,56
Nivel dinámico (ft)	170,00	189,21
Carga dinámica total (ft)	268,31	287,52
Potencia de bombeo (hp)	99,94	107,10
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	109,94	117,10
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	5	5
Diámetro de impulsores	9,20	8,82
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia.

Para la realización del presupuesto de la próxima temporada debe considerarse el incremento del nivel dinámico, se propone una modificación del diámetro de los impulsores de 9,20 a 8,82 pulgadas, el sistema requiere una potencia total de potencia a 117,01 hp, también se plantea el cambio de cabezal de engranajes a uno de relación 01:01 para que no haya necesidad de acelerar de más el motor y tener la bomba trabajando a las revoluciones adecuadas.

Tabla LIX. **Presupuesto equipo EP-20**

EP20	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Caudal (GPM)	3 000,00	3 000,00
Presión (PSI)	34,79	34,79
Nivel dinámico (ft)	0,00	0,00
Carga dinámica total (ft)	80,36	80,36
Potencia de bombeo (hp)	76,10	76,10
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	86,10	86,10
Bomba	Cornell 6RB	Cornell 6RB
Diámetro de impulsor (pulgada)	11 1/2	11 5/8
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia.

El motor no está operando a más de 1 600 rpm por lo que el caudal no es el adecuado, será necesaria una evaluación general del motor y realizar las acciones correctivas de este para operar en óptimas condiciones, el impulsor de

la bomba debe cambiarse ya que se requiere un impulsor de 11 5/8 para las condiciones de diseño.

Tabla LX. **Presupuesto equipo EP-22**

EP22	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000,00	2 112,00
Relación de engranajes	01:01	06:05
Caudal (GPM)	900,00	900,00
Presión (PSI)	33,56	33,56
Nivel dinámico (ft)	120,00	120,00
Carga dinámica total (ft)	197,52	197,52
Potencia de bombeo (hp)	56,11	56,11
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	66,11	66,11
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	4	3
Diámetro de impulsores	9,20	8,82
Motor	GM V8 5.7 L	GM V8 5.7 L

Fuente: elaboración propia.

Se recomienda tomar en cuenta el mismo nivel dinámico de 120 pies para la próxima temporada ya que al momento de realizar la evaluación el pozo se encontraba recuperado, con un nivel dinámico de 105 pies, también es necesario quitar una etapa de la bomba ya que esta incide en el exceso consumo de combustible, se propone cambiar la relación de engranajes a una relación de 6:5 y operar el motor a 2 112 rpm con esto se obtendrá la potencia

necesaria para cubrir los requerimientos del equipo y se operará la bomba a las revoluciones óptimas.

Tabla LXI. **Presupuesto equipo EP-25**

EP25	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	11:10	01:01
Caudal (GPM)	1 300,00	1 300,00
Presión (PSI)	38,56	38,56
Nivel dinámico (ft)	190,00	206,00
Carga dinámica total (ft)	279,07	295,07
Potencia de bombeo (hp)	114,52	121,08
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	124,52	131,08
Bomba American turbine	12X180	11H110
Número de etapas	6	6
Diámetro de impulsores	10,03	8,75
Motor	JD 6081AF001	JD 6081TF250

Fuente: elaboración propia.

Se debe contemplar el incremento en el nivel dinámico para la siguiente temporada, lo cual incurrirá en un incremento de potencia, según los datos obtenidos del software utilizado, la bomba que mejor se adapta a las necesidades es una bomba 11H110 de 6 etapas, con un diámetro de 8,75 pulgadas, el sistema requerirá una potencia de 131,08 hp y deberá ser operado a 1 800 rpm, el motor con el cual cuenta genera mucha más potencia de lo cual

el sistema necesita por lo que se recomienda cambiarlo por uno de menor caballaje y utilizar este motor en otro sistema de riego, debido al exceso de arena en el equipo se recomienda utilizar un sistema *Pre-Pack wellscreen*.

Tabla LXII. **Presupuesto equipo EP-26**

EP26	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	01:01	01:01
Caudal (GPM)	1 300,00	1 300,00
Presión (PSI)	38,56	38,56
Nivel dinámico (ft)	140,00	151,46
Carga dinámica total (ft)	229,07	240,53
Potencia de bombeo (hp)	94,00	98,70
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	104,00	108,70
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	4	5
Diámetro de impulsores	9,20	8,70
Motor	JD 4045TF250	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia.

Debe considerarse el incremento en el nivel dinámico de este equipo, a su vez será necesario añadir una etapa más a la bomba y un ajuste al diámetro de los impulsores de 9,20 a 8,70 pulgadas, debe contemplarse el incremento de potencia en el equipo ya que el motor actual no cubre los requerimientos de las

condiciones actualizadas del sistema, se recomienda un cambio a un motor John Deere 6068TF150.

Tabla LXIII. **Presupuesto equipo EP-28**

EP28	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000,00	1 980,00
Relación de engranajes	06:05	11,10
Caudal (GPM)	1 300,00	1 300,00
Presión (PSI)	40,56	40,56
Nivel dinámico (ft)	100,00	140,76
Carga dinámica total (ft)	193,69	234,45
Potencia de bombeo (hp)	79,48	96,21
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	89,48	106,21
Bomba American turbine	11H110	11H110
Número de etapas	3	4
Diámetro de impulsores	9,20	9,20
Motor	GM V8 5.7 L	GM 8.0L

Fuente: elaboración propia.

Debe considerarse el nivel dinámico ya que descendió considerablemente, 30 pies aproximadamente, esto justifica el exceso de combustible del sistema, ya que requiere más potencia para tratar de cubrir las necesidades de riego, según los datos obtenidos, se recomienda añadir una etapa más a la bomba y considerar un requerimiento de potencia de 106 hp, por lo que se recomienda realizar un cambio de motor a un motor de 8.0 L.

Tabla LXIV. Presupuesto equipo EP-36

EP36	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	01:01	01:01
Caudal (GPM)	1 600,00	1 600,00
Presión (PSI)	48,56	48,56
Nivel dinámico (ft)	110,00	283,00
Carga dinámica total (ft)	222,17	395,17
Potencia de bombeo (hp)	112,21	197,12
Potencia motor hidráulico (hp)	10,00	10,00
Potencia total (hp)	122,21	207,12
Bomba American turbine	11H110	12x180
Número de etapas	5	7
Diámetro de impulsores	9,20	9,96
Motor	JD 6068TF150	JD 6068HF450

Fuente: elaboración propia.

El nivel dinámico descendió considerablemente, se encuentra al límite de la bomba, unos 5 pies sobre la bomba, si se desea seguir operando con este pozo será necesario profundizar más la columna de la bomba, cambiar a una bomba 12X180 de 7 etapas 2 etapas y realizar un cambio de motor ya que el motor actual no cubre la potencia requerida para operar de manera adecuada, también debe considerarse un mantenimiento al pozo por exceso de arena, y la implementación del sistema *Pre-pack WellScreen*.

Tabla LXV. **Presupuesto equipo EP-46 pozo 2**

EP46 pozo 2	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1,800.00
Relación de engranajes	11:10	01:01
Caudal (GPM)	2 200,00	2,200.00
Nivel dinámico (ft)	110,00	145.00
Carga dinámica total (ft)	110,00	135.00
Potencia de bombeo (hp)	76,39	92.59
Potencia motor hidráulico (hp)	0,00	0.00
Potencia total (hp)	76,39	99.45
Bomba American turbine	14M270	12x180
Número de etapas	2	2
Diámetro de impulsores	11,60	10.56
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia.

Se recomienda realizar un cambio de relación de engranajes y asumir un nivel dinámico de 145 cuando el equipo se encuentre en operación completa, debido a que el pozo se encontraba recuperado al momento de realizar el aforo se obtuvo una lectura de 135 pies

Tabla LXVI. **Presupuesto equipo EP-47 pozo 3**

EP47 pozo 3	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00

Continuación tabla LXVI.

Relación de engranajes	01:01	01:01
Caudal (GPM)	2 200,00	2 200,00
Nivel dinámico (ft)	125,00	155,00
Carga dinámica total (ft)	125,00	155,00
Potencia de bombeo (hp)	86,81	106,31
Potencia motor hidráulico (hp)	0,00	0,00
Potencia total (hp)	86,81	106,31
Bomba American turbine	14M270	12x180
Número de etapas	2	2
Diámetro de impulsores	11,60	10,80
Motor	JD 6068TF150	JD 6068TF150

Fuente: elaboración propia

Debe contemplarse un nivel dinámico de 155 pies para la temporada de riego, esto debido a que al momento de realizar el aforo el pozo se encontraba recuperado, también debe considerarse un ajuste al diámetro de los impulsores, a 10,80 pulgadas.

Tabla LXVII. **Presupuesto equipo EP-48 pozo 4**

EP48 pozo 4	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	1 800,00	1 800,00
Relación de engranajes	11:10	01:01
Caudal (GPM)	1 756,00	1 756,00
Nivel dinámico (ft)	95,00	120,00

Continuación Tabla LXVII.

Carga dinámica total (ft)	95,00	120,00
Potencia de bombeo (hp)	52,66	65,69
Potencia motor hidráulico (hp)	0.00	0.00
Potencia total (hp)	52,66	65,69
Bomba American turbine	14M270	12x180
Número de etapas	2	3
Diámetro de impulsores	11,60	10,80
Motor	JD 6068TF150	JD 4045TF250

Fuente: elaboración propia

Debido a los requerimientos de caudal del equipo no es necesario tener una bomba tan grande, ni un motor de tanta potencia ya que según indica el análisis el sistema requiere una bomba 12X180 de 3 etapas con diámetro de impulsores de 10,80, se recomienda cambiar la relación de engranajes a una relación 1:1 para operar el motor a 1 800 rpm y no forzarlo, se sugiere contemplar un nivel dinámico de operación de 120 pies.

Tabla LXVIII. **Presupuesto equipo EP-50 pozo 6**

EP50 pozo 6	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000,00	1 936,00
Relación de engranajes	11:10	11:10
Caudal (GPM)	1 848,00	1 848,00
Nivel dinámico (ft)	120,00	150,00
Carga dinámica total (ft)	120,00	150,00
Potencia de bombeo (hp)	70,00	86,42

Continuación Tabla LXVIII.

Potencia motor hidráulico (hp)	0,00	0,00
Potencia total (hp)	70,00	86,42
Bomba American turbine	12X180	12x180
Número de etapas	3	3
Diámetro de impulsores	10,03	9,75
Motor	Origin 8.0 L	Origin 8.0 L

Fuente: elaboración propia.

El motor presenta problemas ya que no puede operarse a más de 1 700 rpm, se debe realizar una revisión general para determinar las condiciones del motor, se estima que el nivel dinámico del pozo durante la temporada de riego descenderá a 150 pies, debe realizarse un ajuste al diámetro de los impulsores de la bomba a 9,75 pulgadas, idealmente el motor debe operar a 1 936 rpm para que la bomba opere de manera adecuada.

Tabla LXIX. **Presupuesto equipo EP-52 pozo 8**

EP52 Pozo 8	presupuesto	
	2017	dato propuesto
RPM	2 000,00	2 200,00
Relación de engranajes	01:01	05:04
Caudal (GPM)	1 408,00	1 408,00
Nivel dinámico (ft)	100,00	120,00
Carga dinámica total (ft)	100,00	120,00
Potencia de bombeo (hp)	44,44	52,67
Potencia motor hidráulico (hp)	0,00	0,00
Potencia total (hp)	44,44	52,67

Continuación Tabla LXIX.

Bomba American turbine	12X180	12x180
Número de etapas	2	2
Diámetro de impulsores	10,03	9,73
Motor	Origin 8.0 L	GM V6 4.3 L

Fuente: elaboración propia.

Actualmente el equipo cuenta con un motor Origin 8.0 L el cual genera una potencia mucho mayor a la que el sistema requiere, se sugiere colocar un motor General Motors V6 4.3 L que a 2 200 rpm genera una potencia de 64 hp, con una relación de engranajes de 5:4; la bomba no requiere ningún cambio, pero se recomienda ajustar el diámetro de los impulsores a 9,75 pulgadas según datos del software.

2.5.1.1. Eficiencia según fabricante

Según los datos obtenidos en las distintas cartas de aspersión, en los sistemas de riego mecanizado se tiene una eficiencia total de un 98% de aplicación de riego, esto tomando en cuenta que esto se toma en condiciones ideales, distintas a las de nuestro país, ya que el fabricante es norteamericano, en esta eficiencia no se toma en cuenta que la rugosidad del material pueda variar a través del uso, esto debido a la dureza del agua que se bombea, sería necesario evaluar el nivel de rugosidad en cada equipo de bombeo y en base a eso realizar un nuevo análisis de pérdidas de fricción para ver que tanto ha cambiado con el tiempo y determinar la presión exacta necesaria para vencer dichas pérdidas.

2.5.1.2. Eficiencia con datos reales de operación

En la sección “Optimización de agua y combustible como fuente de energía” se puede percibir la baja eficiencia de los equipos de riego, ya que consideramos eficiente un sistema de riego el cual consume una cantidad optima de combustible para operar y aplicar la lámina adecuada, los equipos descritos en dicha sección muestran un alto consumo de combustible comparado con una baja aplicación de lámina de riego, lo que busca este trabajo es determinar las posibles causas y proponer mejoras para evitar este tipo de situaciones.

2.5.1.3. Eficiencia con mejoras propuestas

Si se realizan las propuestas de mejora presentadas en este trabajo se espera que la eficiencia de los equipos de riego aumente, reduciendo considerablemente la desviación entre los porcentajes de consumo de combustible y lamina de riego aplicada a lo largo de la temporada, evitando gastos excesivos en combustible, siendo capaz de alcanzar la meta de riego requerida por el cliente; no es posible determinar con exactitud la eficiencia que puede alcanzar cada equipo debido a que no se puede determinar si las fuentes que abastecen a cada equipo serán capaces de recuperarse al 100% durante la temporada de lluvia.

3. FASE DE ENSEÑANZA – APRENDIZAJE

El objetivo principal de esta fase fue que el personal operativo y de supervisión conociera la importancia de un mejor control de operación, para ello es necesario que se conozca a la perfección los detalles del equipo y sus requerimientos de operación, también se indicó al personal la manera de reportar las fallas encontradas en operación y a que personas debe reportar dichas fallas.

3.1. Capacitación a personal operativo

Se realizó una capacitación principal, en la cual se encontró presente el gerente general de la empresa, gerente de operaciones administrativas, gerente de operaciones en campo y el personal operativo y de supervisión.

3.1.1. Programa de capacitación

- Palabras de ofrecimiento, Ing. Allan Rasch.
- Presentación de personal administrativo, Ing. Ángel Xilój.
- Normas y requerimientos del departamento financiero, Lic. Giovanni Villela.
- Informe final de riego temporada 2016 – 2017, Ing. Manuel Castro.
- Refrigerio.
- Importancia de la correcta operación de equipo de riego, Br. Juan Manuel Pérez.
- Importancia de reportar fallas y anomalías de operación de equipo de riego, Br. Juan Manuel Pérez.

- Importancia de monitoreo constante de equipos de riego, Br. Juan Manuel Pérez.
- Almuerzo por parte de Grupo Topke S.A.
- Entrega de diplomas de participación, Br. Juan Manuel Pérez.
- Palabras de agradecimiento, Ing. Allan Rasch.

3.1.2. Importancia de la correcta operación de equipo de riego

El principal tema abordado es la consecuencia de una mala operación, de qué manera repercute la mala operación en la pérdida económica para la empresa. Se explicó en cómo repercute la mala operación del equipo en un alto consumo de combustible, ya que no necesariamente por operar el motor a mayores revoluciones por minuto este ayudará a que se bombee más agua, el equipo debe estar operando a las revoluciones indicadas en la bitácora para que por medio del cabezal de engranes la bomba este revolucionando entre 1750 y 1800 rpm y es allí en donde se encuentra la mayor eficiencia de diseño de las bombas.

Se explicó las causas y consecuencias de las altas presiones en la descarga y tubería del sistema, ya que si se cuenta con presión mayor a la de diseño y se cuenta con un caudal menor o igual al establecido para lograr la lámina diaria indica que la tubería esta tapada y el motor está siendo forzado para bombear el agua adecuadamente, pero el agua no está siendo descargada al mismo ritmo que está siendo bombeada debido al taponamiento en mangueras o tuberías, lo cual también repercute en un alto consumo de combustible.

3.1.3. Importancia de reportar fallas y anomalías de operación de equipo de riego

Se indicó al personal operativo que hacer en caso de que el equipo no se encuentre operando de manera adecuada o que el equipo sufra un daño repentino y a quien reportar inmediatamente detectada la falla ya que entre más rápido se realice la acción correctiva más pronto estará el sistema operando nuevamente y se reduce el tiempo perdido de riego a cargo de la empresa, reduciendo el margen de pérdida al finalizar la temporada de riego.

3.1.4. Importancia de monitoreo constante de equipos de riego

Se indicó al personal operativo y de supervisión la importancia de llevar los datos al día para contar con un mejor control de operación, por lo que conjunto con el departamento de sistemas de la empresa se creó una aplicación móvil para Smartphone en la cual por medio del mismo, el supervisor de área pueda ingresar los datos de operación diaria de cada equipo a su cargo, el principal objetivo es hacer más eficiente el proceso de reporte de fallas y contar con los datos de operación al día incluso los fines de semana en los que el personal de oficina no se presenta a laborar.

Se hizo entrega a cada supervisor de área una bitácora de operación para cada equipo a su cargo, en la primera página de cada bitácora se encuentran un listado de los códigos de tiempos perdidos, la causa o descripción y a causa de quien corresponde dicho tiempo perdido, esta información es crucial para determinar el responsable de que un equipo detenga su operación ya que esto genera un costo, ya sea para el ingenio o Grupo Topke S.A. Los datos generales de cada equipo, los cuales comprenden: la ubicación, área a regar,

supervisor de área, motor con el que cuenta el equipo, tipo de combustible con el que opera, revoluciones a las que se debe operar, presión en la descarga de la bomba y en el último aspersor, caudal instantáneo al que debe operar las 24 horas del día para lograr la meta de 5 milímetros de agua que debe aplicar.

En las páginas posteriores se encuentran casillas, las cuales deben ser llenadas por el operador al finalizar su turno para demostrar que el equipo operó de manera correcta, debe escribir el caudal inicial acumulado al inicio de su turno, el caudal final acumulado al finalizar el turno, horómetro inicial del turno, horómetro final del turno, caudal instantáneo al que operó durante el turno, presión en la descarga de la bomba, la presión al final del aspersor, también cuenta con una casilla de abastecimiento de combustible, en caso que se le abastezca combustible al equipo el operario debe anotar el horómetro de abastecimiento, el porcentaje inicial y final de abastecimiento de combustible, la bitácora cuenta con un espacio para anotar tiempos perdido en los cuales debe anotar la hora inicial del día en que se dio el tiempo perdido, hora final, causa del tiempo perdido, código del tiempo perdido y a cargo de quien corresponde; por último se encuentra una sección de observaciones para anotar en caso que se realice mantenimiento preventivo o alguna otra observación que realice el operario.

De esa manera concluyo la capacitación principal con el objetivo que los supervisores y jefes de área puedan transmitir la información adecuada al personal operativo al momento de que se realice la contratación para iniciar la temporada de riego.

Se espera un incremento en la eficiencia de reporte de fallas para poder ser atendidas más rápidamente y poder así reducir los tiempos perdidos por fallas mecánicas, también se espera que con el uso adecuado de la bitácora se

pueda tener un mejor control de operación y que el personal operativo conozca las condiciones a las que el equipo debe operar para poder cumplir con la meta de riego de cada equipo dentro del periodo estipulado de riego, de manera que se reducirán pérdidas por incumplimiento de meta de riego y exceso de consumo de combustible.

Figura 69. **Capacitación a personal operativo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 70. **Capacitación a personal operativo 2**



Fuente: elaboración propia.

3.2. Presentación de resultados del Ejercicio Profesional Supervisado

Para la presentación de resultados se organizó una reunión a la cual asistió el gerente general de la empresa, gerente de operaciones administrativas, gerente de operaciones en campo; en la cual se presentaron los avances logrados con el proyecto, destacando la importancia del cálculo de pérdidas de fricción para contar con un presupuesto más acertado para la próxima temporada de riego, también se presentaron las sugerencias de acciones correctivas y cambios a realizarse en cada equipo estudiado a lo largo del proyecto con el fin de tener una mejor operación la próxima temporada de riego.

Se indicaron las principales causas del déficit de operación en los equipos y las posibles soluciones operativas a realizar, con el fin de obtener para esta temporada un mejor control de operación, información más actualizada, mejor proyección de riego, prevención en falla de equipo de riego, realizar acciones correctivas en menor tiempo y brindar un mejor mantenimiento preventivo a los motores de combustión interna.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que equipos de riego presentaron bajo rendimiento a lo largo de la temporada 2016 – 2017 y se presentó la propuesta de mejora para cada equipo en particular y poder mejorar el rendimiento para la próxima temporada de riego.
2. Se actualizaron los datos de operación de los equipos de riego con bajo rendimiento, con lo cual se espera tener un mejor panorama de la situación actual de los equipos y poder realizar un presupuesto de temporada más preciso en la próxima temporada de riego.
3. Se realizó un análisis de operación de cada equipo con bajo rendimiento, considerando los datos obtenidos durante la visita al campo con lo cual se comparó la situación real con los datos que la empresa posee y se evidenció la discrepancia de estos, la cual es una de las principales causas de mala operación.
4. Se determinó la causa del bajo rendimiento cada equipo en particular, la mayoría porque al momento de realizar el presupuesto de operación, no se realizaban actualizaciones de niveles dinámicos que incrementaron a lo largo de los años por extracción excesiva de agua y mala recuperación de los pozos, otros por tener elementos mecánicos que no permiten un desempeño óptimo del equipo en general.
5. Se realizó una propuesta de mejora en la cual se detallan acciones correctivas a realizar en cada equipo de riego con déficit, la cual debe

realizarse antes de la próxima temporada de riego para que los equipos no presenten excesos en el consumo de combustible.

6. Se realizó una presentación de todos los datos actualizados de los equipos de riego, con el objetivo de realizar un presupuesto más apegado a las condiciones reales de operación para la próxima temporada de riego, con lo cual se reducirá la cantidad de equipos con déficit de operación y fundará las pautas para un mejor monitoreo y control de operación en las próximas temporadas de riego.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un monitoreo frecuente durante la temporada de todos los equipos para determinar las condiciones actuales de operación y mantener los datos actualizados necesarios para realizar una acción correctiva en algún equipo.
2. Evaluar la potencia requerida del motor para el cálculo de consumo de combustible y no únicamente la potencia de bombeo, ya que varía un poco ese dato, eso ayudara a determinar un mejor dato del consumo de combustible del equipo en galones por hora.
3. Dar un mantenimiento y limpieza general a todos los elementos de conducción y riego que con los que cuenta la empresa ya que actualmente no se da un mayor mantenimiento a tubería de conducción, mangueras, aspersores y reguladores.
4. Evaluación de reguladores, es necesario comprobar que los reguladores funcionen adecuadamente y regulen la presión de manera adecuada para evitar daño del cultivo.
5. Realizar por lo menos 2 auditorías de operación en cada equipo a lo largo de la temporada para conocer mejor el comportamiento del mismo respecto al tiempo de riego.
6. Mejorar el plan de mantenimiento de motores de combustión interna que se da a los motores a lo largo de la temporada de riego y velar porque

este sea cumplido dentro del tiempo estipulado por los manuales de mantenimiento y operación.

7. Realizar constante capacitación al equipo operativo para que conozcan mejor el funcionamiento de los elementos que conforman un sistema de riego.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMERICAN TURBINE. *Vertical Turbine & Submersible Pumps*. Estados Unidos: McGraw Hill, 2004. 283 p.
2. ÇENGEL, Y. BOLES, M. *Termodinámica*. 6ta ed. México: McGraw Hill, 2008. 1093 p.
3. CORNELL PUMP COMPANY. *Pump selector*. 2da ed. Estados Unidos: McGraw Hill, 1995. 364 p.
4. JOHN DEERE POWER SYSTEMS. *Operator's manual powertech 4.5 L and 6.8 L Non-Certified And Tier 1 Certified OEM Diesel Engines*. Estados Unidos: McGraw Hill, 2006. 855 p.
5. MATAIX, C. *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. 5ta ed. España: Ediciones del Castillo S.A., 1986. 570 p.
6. MONTENEGRO, M. *Gas natural comprimido vehicular*. [en línea]. <<http://www.banrepcultural.org/node/92121>>. [Consulta: 03 de junio de 2017].
7. NATIONAL PUMP COMPANY. *Instrucciones de instalación, operación y mantenimiento y lista de piezas para bombas verticales de turbina*. Estados Unidos: McGraw Hill, 2012. 212 p.

8. PINTO, J. (2011). *Diseño del sistema de riego por miniaspersión para caña de azúcar (Saccharum spp.) diagnóstico y servicio en la finca San Nicolás del Ingenio Magdalena, en el parcelamiento La Máquina, Cuyotenango, Guatemala, C.A.* Tesis de Licenciatura en Ingeniería Agronómica, Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

9. ZUBICARAY, V. *Bombas, teoría, diseño y aplicaciones*, Mexico: Editorial Limusa S.A, 2004. 361 p.