

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Evaluación técnica-económica de una Unidad Móvil de Testeo (MTU) de tipo eléctrica y combustión, para pruebas de pozos en el campo Sacha

### **PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previo la obtención del Título de:

#### **Ingeniero en Petróleo**

Presentado por:

Vera Guagua Anthony Walter

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios, mi familia, profesores y amigos que han sido pilares fundamentales para avanzar en la consecución de mis objetivos, gracias por todo el apoyo brindado durante todos estos años y estoy seguro que se vendrán más logros.

- Vera Guagua Anthony Walter

## AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento a mis tutores quienes me guiaron para desarrollar el proyecto de buena manera.

A la empresa Sertecpet por haberme dado las facilidades para desarrollar el proyecto.

Y a los ingenieros dentro de la empresa que siempre me brindaron su ayuda en lo que necesitaba.

- Vera Guagua Anthony Walter

## Declaración Expresa

---

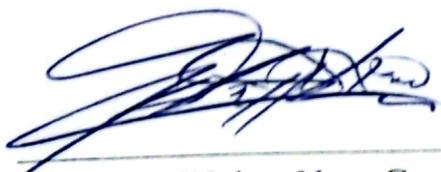
Yo Anthony Walter Vera Guagua acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 23 de mayo del 2024.



Anthony Walter Vera Guagua

# EVALUADORES

ANDRES  
EDUARDO  
GUZMAN  
VELASQUEZ

Firmado digitalmente  
por ANDRES  
EDUARDO GUZMAN  
VELASQUEZ  
Fecha: 2024.09.09  
15:30:17 -05'00'

**MSc. Andrés Guzmán Velásquez**

PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:  
XAVIER ERNESTO  
VARGAS GUTIERREZ

**MSc. Xavier Vargas**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

Este proyecto se centra en la evaluación técnica y económica de las Unidades Móviles de Prueba (MTU) de combustión y eléctricas utilizadas en la evaluación de pozos petroleros en el campo Sacha Bloque 60. Dada la necesidad de optimizar las operaciones y reducir el impacto ambiental, se analizan las características, de ambas tecnologías para guiar la selección en diferentes contextos operativos, a través de la recopilación de información y del análisis técnico, ambiental y económico.

Las MTU'S eléctricas, aunque requieren una infraestructura eléctrica adecuada y tienen un costo inicial más alto, ofrecen beneficios importantes. Estos incluyen mayor eficiencia, niveles de ruido más bajos y la ausencia de emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, su dependencia de una fuente estable de electricidad puede ser un desafío en áreas remotas o lejanas

El análisis económico compara los costos operativos y de mantenimiento de las unidades de combustión y eléctricas. Aunque las unidades de combustión tienen un costo inicial más bajo, resultan más costosas a largo plazo debido al consumo constante de combustible y al mantenimiento más frecuente.

Por otro lado, las unidades eléctricas, a pesar de tener un costo inicial más alto, presentan costos operativos y de mantenimiento más bajos a lo largo del tiempo, junto con beneficios como más seguridad operativa y un mayor aporte a la sostenibilidad.

**Palabras clave:** Unidad móvil de Prueba, Sostenibilidad, Combustión, Eléctrico.

## ***ABSTRACT***

*This project focuses on the technical and economic evaluation of combustion and electric Mobile Test Units (MTUs) used in the assessment of oil wells in the Sacha Block 60 field. Given the need to optimize operations and reduce environmental impact, the characteristics of both technologies are analyzed to guide selection in different operational contexts, through the collection of information and technical, environmental, and economic analysis.*

*Electric MTUs, although requiring suitable electrical infrastructure and having a higher initial cost, offer important benefits. These include greater efficiency, lower noise levels, and the absence of CO<sub>2</sub> emissions. However, their reliance on a stable electricity source can be a challenge in remote or distant areas.*

*The economic analysis compares the operational and maintenance costs of combustion and electric units. Although combustion units have a lower initial cost, they become more expensive in the long run due to constant fuel consumption and more frequent maintenance.*

*On the other hand, electric units, despite having a higher initial cost, present lower operational and maintenance costs over time, along with benefits such as greater operational safety and a higher contribution to sustainability.*

***Keywords:*** *Mobile Test Unit, Sustainability, Combustion, Electric.*

## Contenido

EVALUADORES .....	5
RESUMEN .....	6
<i>ABSTRACT</i> .....	7
ABREVIATURAS.....	10
SIMBOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO 1 .....	12
1. Introducción.....	12
1.1 Descripción del problema .....	13
1.2 Justificación del problema .....	14
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo General.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
1.4 Marco teórico .....	15
1.4.1 Generalidades campo Sacha .....	15
1.4.2 Estratigrafía .....	15
1.4.3 Formación Tena .....	15
1.4.4 Formación Napo .....	15
1.4.5 Formación Hollín .....	16
1.4.6 Descripción de los principales reservorios en el campo Sacha: .....	16
1.4.7 Evaluación de pozos .....	17
1.4.8 MTU tipo eléctrica y de combustión.....	17
1.4.9 Componentes .....	17
1.4.10 Bombeo hidráulico .....	20
1.4.11 Completación de fondo .....	20
1.4.12 Antecedentes .....	22
CAPÍTULO 2.....	22

2.	Metodología.....	22
2.1	Recopilación de información .....	23
2.2	Evaluación técnica y de operación.....	28
2.3	Evaluación ambiental .....	30
2.4	Evaluación económica .....	31
3.	Resultados y Análisis .....	32
3.1	Parámetros operativos de las MTU´S en evaluación de pozos del campo Sacha .....	33
3.2	Fallas más comunes en una MTU de combustión .....	36
3.3	Fallas más comunes en una MTU eléctrica .....	37
3.4	Fallas y condiciones adicionales que generan tiempos improductivos. 38	
3.5	Fallas y tiempos de paralización en cada pozo analizado.....	39
3.6	Total de horas evaluadas y total tiempos improductivos en cada pozo 45	
3.7	Porcentaje de frecuencia de paradas por cada fallo en evaluación de pozos con MTU´S eléctricas y MTU´S de combustión.....	46
3.8	Tiempo promedio de parada por cada falla.....	47
3.9	Cantidad de emisiones de CO2 por cada evaluación con MTU de combustión .....	49
3.9.1	Cálculo para determinar la cantidad de emisiones de CO2 por cada MTU	49
3.10	Decibeles que emiten las unidades .....	51
3.11	Análisis económico para cada tipo de MTU.....	51
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	54
4.1	Conclusiones.....	54
4.2	Recomendaciones.....	56
5.	Referencias Bibliográficas.....	57

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MTU	Unidad Móvil de Prueba
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ANSI	American National Standards Institute
MTTO	Mantenimiento
MTUc	Unidad Móvil de Prueba a Combustión
MTUe	Unidad Móvil de Prueba Eléctrica

## SIMBOLOGÍA

psi	Pounds per Square Inch
gls	Galones
BPD	Barriles Por Día
m	Metro
h	Hora
BSW	Basic Sediment and Water
Kg	Kilogramo
Hz	Hertzios
CO2	Dióxido de Carbono
V	Voltios

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El campo Sacha, es uno de los campos petroleros más importantes del Ecuador, este desempeña un papel fundamental en la producción nacional de hidrocarburos ya que es uno de los campos que más petróleo produce en el país. La eficiencia en la evaluación de los pozos de este campo son fundamentales para maximizar la optimización de la producción de petróleo y garantizar la sostenibilidad de las operaciones. En este contexto, para la realización de las operaciones de pruebas de pozos se utilizan las Unidades Móviles de Testeo (MTU) obteniendo datos así datos críticos para la toma de decisiones operativas.

El presente proyecto se centra en la evaluación de las Unidades Móviles de prueba (MTU) de tipo eléctrica y de combustión. Cada tipo ofrece ventajas y desafíos específicos en cuanto a rendimiento operativo, costos, mantenimiento e impacto ambiental. Por ejemplo, la MTU de tipo eléctrica puede ofrecer una operación más limpia y silenciosa, lo cual resulta en una disminución en las emisiones de gases y una mejora en las condiciones laborales en el sitio. Sin embargo, para su implementación se puede requerir de inversiones iniciales más altas y una infraestructura adecuada para el suministro de energía eléctrica (Fernández, 2024).

En cuanto a las MTU'S de combustión, las cuales son ampliamente utilizadas y tienen un enfoque más tradicional (Corrales, 2023), ofrece una mayor autonomía y flexibilidad operativa en áreas alejadas, donde el acceso a la energía eléctrica puede ser limitado. No obstante, su funcionamiento está vinculada con mayores emisiones contaminantes y a la variabilidad en los costos de combustibles.

Otro punto importante a tratar, tomando en consideración a problemas existentes en la evaluación de pozos y que puede influir en la determinación de que tipo de MTU utilizar, es la estimación de los tiempos no productivos en operación de prueba de pozos, considerando factores como periodos de espera, mantenimiento, aspectos operativos, reparación, y otros retrasos no planificados que al fin de cuentas tiene un impacto significativo en la producción y costos asociados.

El propósito de este proyecto es realizar un análisis detallado de ambos tipos de MTU, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Este estudio establecerá una base sólida para determinar la alternativa más viable, adecuada y sostenible para las pruebas de pozos en el campo Sacha evaluando además la estimación de tiempos no productivos en las operaciones, lo cual contribuye a la optimización de recursos y la mejora continua de las operaciones petroleras en el país.

### **1.1 Descripción del problema**

Entre los problemas más frecuentes dentro de la industria del petróleo se encuentran la ocurrencia de tiempos no productivos, por lo cual es esencial la búsqueda de una mayor optimización y eficiencia en las operaciones correspondientes a la evaluación de pozos con MTU en el campo Sacha. Además, se encuentra el hecho de la necesidad de encontrar opciones de trabajo con equipos que presenten menos problemas operativos en favor del sector petrolero. Estos problemas repercuten negativamente en la empresa operadora y en la prestadora de servicio, además de afectar potencialmente a otras áreas involucradas dentro del sector productivo. A su vez, estos factores pueden ocasionar costos adicionales, retrasos en la producción de petróleo y un impacto negativo en eficiencia de la operación, por lo que la identificación de estos problemas y su debida remediación resulta importante para el beneficio de la industria y comunidad.

## **1.2 Justificación del problema**

Para este proyecto se pretende realizar la identificación y estimación de tiempos no productivos en las pruebas de pozos con unidades MTU'S tomando en consideración factores técnicos, operativos, de gestión, mantenimiento, etc., además de la caracterización de unidades MTU'S para determinar los beneficios de utilizar una unidad de tipo eléctrica o de combustión.

Esta evaluación de las MTU'S eléctrica y de combustión permitiría conocer que equipo es más eficiente y genera menos tiempos improductivos en el campo Sacha, lo cual contribuiría a la reducción de costos operativos, aumento de la rentabilidad, aliviar retrasos en la producción y a mejorar la competitividad al ofrecer un servicio óptimo y eficiente para el desarrollo de las operaciones.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar la efectividad de las unidades móviles de testeo (MTU) de tipo eléctrica y combustión en el campo Sacha, mediante la identificación de factores claves en las pruebas de pozos, para la optimización y mejora de la eficiencia en las operaciones.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar las características de la MTU de tipo eléctrica y combustión para la evaluación de las opciones de trabajo tanto a nivel técnico como ambiental en el campo Sacha.
2. Examinar la causa-raíz para la identificación de problemas existentes detrás de los tiempos no productivos en operaciones de unidades MTU.

3. Proponer un sistema de seguimiento y registro mediante el análisis de pruebas de pozos y el uso de un dashboard en Power BI.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Generalidades campo Sacha**

El campo Sacha está ubicado en la provincia de Orellana, Ecuador, específicamente en el cantón Joya de los Sachas. Es uno de los campos más importantes del país debido a su alta producción de petróleo. Este campo se encuentra en el flanco occidental del "Play Central", también conocido como Corredor Sacha-Shushufindi, en la región oriental de Ecuador. Su historial de producción se remonta a 1972, cuando se perforaron los primeros pozos, y posteriormente se llevaron a cabo proyectos de recuperación secundaria que contribuyeron al aumento de la producción petrolera.

### **1.4.2 Estratigrafía**

La producción de petróleo en la cuenca Oriente, en general se relaciona a formación de del cretácico a medio, estos son, las formaciones Hollín y Napo (T, U, M2) y formación de del cretácico superior como lo son las areniscas Basal Tena y M1.

### **1.4.3 Formación Tena**

La formación Tena posee un espesor de entre 400 ft y 3200 ft aproximadamente y se subdivide en dos miembros: Tena superior, el cual pertenece a la edad del paleoceno y su ambiente depositacional es continental y por otro lado está el miembro Tena inferior, el cual corresponde a la era mesozoica, empezando en la parte inferior de Tena y perteneciendo a la edad cretácica, además su ambiente de depositación está entre continental a marina somera (Romero & Gómez, 2010).

### **1.4.4 Formación Napo**

Tal vez sea la secuencia mas importante del oriente ecuatoriano, esta formación consiste en una serie de lutitas negras, calizas grises y areniscas calcáreas. Su espesor varías desde

200 metros aproximadamente hasta los 700 metros y yace de forma concordante sobre la formación Hollín en la región oriental (Yuquilema & Vera, 2010).

#### **1.4.5 Formación Hollín**

Conformada por areniscas cuarzosas blancas. Esta formación posee un espesor que varía entre 80 y 240 metros, incluye lutitas fracturadas. Las cuarcitas de Hollín inferior emergen en la zona subandina, siendo visible en áreas del levantamiento Napo, dichas cuarcitas se extienden bajo gran parte del este oriental y conforman un importante reservorio de rocas en los campos petroleros del nororiente del país (Yuquilema & Vera, 2010).

#### **1.4.6 Descripción de los principales reservorios en el campo Sacha:**

##### ***1.4.6.1 Basal Tena***

Arena compuesta generalmente por secuencias de grano fino a muy fino, con un espesor de 4 pies, porosidad de 18%, Sw 31%, salinidad de 24000-36000 ppm, API 25.1, además se encuentra a una profundidad estimada en 9386 ft en MD (Romero & Gómez, 2010).

##### ***1.4.6.2 Reservorio U***

Constituido por arenisca cuarzo, blanca, de grano fino, con alta saturación de hidrocarburos. Posee un espesor promedio de 31 pies, porosidad de 20%, Sw de 25%, salinidad 25000-45000 ppm, API 28,6 (Romero & Gómez, 2010).

##### ***1.4.6.3 Reservorio T***

Es una arenisca cuarzosa de grano medio a fino y posee una buena saturación de hidrocarburos. Tiene un espesor alrededor de 100 pies, tiene una porosidad promedio de 21%, SW de 14,8%, salinidad de 20000-25000 ppm, API 28 (Romero & Gómez, 2010).

##### ***1.4.6.4 Hollín Superior***

Constituido por arenisca cuarzosa, consolidada, de grano fino, con integración de glauconita y clorita. Posee una buena saturación de hidrocarburos, tiene una porosidad

promedio de 12%, Sw 35%, salinidad de 3891 ppm. API 27 y se encuentra a una profundidad estimada de 10578 ft MD (Romero & Gómez, 2010).

#### ***1.4.6.5 Hollín Inferior***

Es una arenisca cuarzosa, consolidada, de grano medio. Tiene una buena saturación de hidrocarburos. Posee un espesor promedio de 45 a 55 ft, porosidad de 15%, Sw entre 20% y 40%, salinidad 500-1500 ppm. Se encuentra a una profundidad estimada de 10611 ft MD (Romero & Gómez, 2010).

#### **1.4.7 Evaluación de pozos**

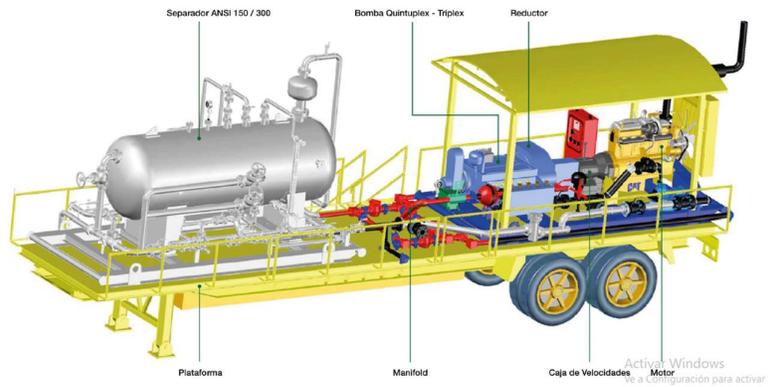
Procedimiento para evaluar la productividad y características de un pozo petrolero empleando mediciones de sus propiedades y comportamiento.

#### **1.4.8 MTU tipo eléctrica y de combustión**

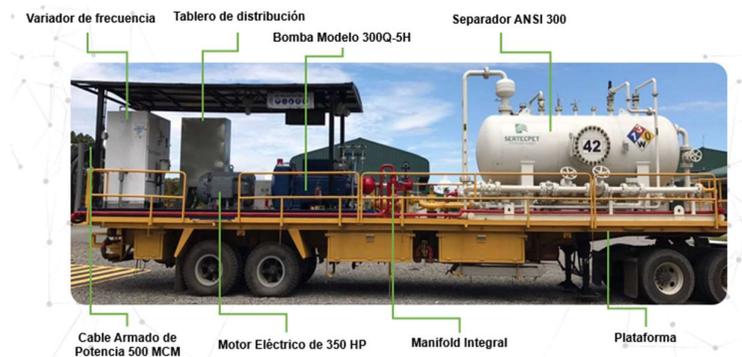
Los Mobile Testing Unit (MTU), son unidades utilizadas en evaluación y producción de pozos mediante levantamiento artificial hidráulico (Sertecpet, 2023).

#### **1.4.9 Componentes**

La MTU es un equipo versátil capaz de suministrar la energía necesaria, en forma de fluido motriz para el funcionamiento de la bomba Jet en fondo del pozo. Este proceso estimula la producción del yacimiento y permite determinar el verdadero potencial en corto tiempo (Sertecpet, 2023). Entre los componentes de la MTU están: motor, bomba de desplazamiento positivo, caja de velocidades, reductor, manifold, bomba booster, bomba de químico, bomba de lubricación forzada, separador, plataforma, válvulas, tuberías y accesorios.



*Ilustración 1.1. Mobile Testing Unit (MTU) / Fuente: Sertecpet*



*Ilustración 1.2: MTU eléctrica / Fuente: Sertecpet*

### **1.4.9.1 Motor**

#### **Motor a combustión interna**

Es un motor que transforma la energía química almacenada en el combustible en energía mecánica utilizable para realizar trabajo

#### **Motor eléctrico**

Un motor eléctrico transforma energía eléctrica en energía mecánica, generando movimiento a través de la interacción de campos magnéticos

### **1.4.9.2 Bomba quintuplex o triplex**

Bomba reciprocante de desplazamiento positivo que convierte la energía mecánica en energía hidráulica en alta presión (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.3 Caja de velocidades**

Es un mecanismo para transferir la potencia del motor, al cardan, reductor y la bomba (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.4 Reductor de velocidad**

Componente mecánico instalado entre la bomba de desplazamiento positivo y el cardán, que permite la transferencia de potencia, disminuyendo la velocidad angular y aumentando el torque en el cigüeñal de la bomba (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.5 Manifold**

Conjunto de accesorios para alta presión que permite direccionar fluidos, controlar presiones y caudales. Direcciona el fluido de descarga a alta presión desde la bomba al pozo y de retorno al separador, tanque y estación (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.6 Bomba booster**

Transfiere la energía de corriente del fluido, impulsándolo desde una baja presión estática a otra con mayor caudal y presión (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.7 Bomba de químico**

Bomba para inyección de químicos que opera mediante una banda que transfiere el movimiento desde la bomba Triplex o Quintuplex a través de una polea (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.8 Bomba de lubricación forzada**

Su diseño garantiza la entrega precisa de una cantidad específica de aceite, lubricando de manera regular los plunger de las bombas Triplex o Quintuplex (Sertecpet, 2010).

#### **1.4.9.9 Separador**

Encargada de la separación de fases del fluido multifásico producido del pozo, esto es la separación de agua, gas y petróleo. Pueden ser bifásicos o trifásicos.

#### **1.4.9.10 Válvulas**

Utilizadas para control de flujo. Existen diferentes tipos de válvulas que son usadas de acuerdo a las necesidades operativas. Estas pueden ser de globo, bola, aguja, check, choke, vrp, tapón.

#### **1.4.9.11 Tuberías y accesorios**

Son componentes especializados que transportan fluidos y proporcionan conexiones en las operaciones con MTU. (Sertecpet, 2010)

#### **1.4.9.12 Plataforma**

Estructura diseñada para el transporte del conjunto motor-bomba-separador. (Sertecpet, 2010)

### **1.4.10 Bombeo hidráulico**

Sistema de levantamiento artificial que utiliza fluido motriz presurizado para impulsar el crudo desde el pozo hasta la superficie.

### **1.4.11 Completación de fondo**



Ilustración 1.3: Completación de fondo / Fuente: Sertecpet

#### **1.4.11.1 Bomba Jet**

Bomba ubicada en fondo de pozo para la realizar operaciones de levantamiento artificial (bombeo hidráulico). Utiliza el principio de inyección de fluido motriz a alta presión generando un chorro que crea succión, permitiendo levantar fluidos desde el fondo de pozo hasta la superficie.

#### **1.4.11.2 Tubing**

Tubería de completacion para producción de pozo.

#### **1.4.11.3 Camisa**

Herramienta que permite la comunicación entre tubing y casing.

#### **1.4.11.4 Standing valve**

Herramienta que permite la circulación directa de fluido.

#### **1.4.11.5 No-go**

Utilizado para asentar standing valve.

#### **1.4.11.6 Packer**

Herramienta de completación utilizada para aislar secciones del pozo que se va a intervenir.

#### **1.4.11.7 Cross over**

Acople para unir dos tramos de herramienta o tubería.

#### **1.4.11.8 Pup joint**

Tramo de tubería.

#### **1.4.11.9 Mule shoe**

Ubicada al final de la sarta para ingreso o descarga de fluido.

#### **1.4.12 Antecedentes**

*“Optimización del tiempo de completación de pozos a través de la gestión de procesos y mejora continua”* (Vallejo, 2019)

En este estudio se desarrolla un análisis de los elementos más importantes para la optimización de los tiempos en las actividades de completación de pozos, teniendo en cuenta los diferentes procedimientos en los que se identifican tiempos no programados. En este análisis, se incluye a las evaluaciones de pozos con unidades MTU, tomando en consideración los aspectos operativos más relevantes en esta operación.

*“Componentes y usos de las unidades móviles de Testeo (MTU)”* (Corrales, 2023)

En este estudio se describe las aplicaciones de la MTU, sus usos, el principio de operación, los componentes, factores de riesgo, el impacto ambiental y fallas que pueden existir en una operación de evaluación de pozos petroleros con MTU. Además, se realiza la valoración de un pozo utilizando las herramientas otorgadas por la MTU e ingeniería, obteniendo un panorama un poco más claro del potencial uso de este equipo.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. METODOLOGÍA**

El presente proyecto analiza la eficiencia operativa, rendimiento económico e impacto ambiental en las evaluaciones de pozos con MTU, proporcionando insights importantes para la toma de decisiones estratégicas en el área de well testing. El siguiente esquema representa la metodología que se empleará en la realización del proyecto:



Ilustración 2.1: Metodología

## 2.1 Recopilación de información

Para la realización del presente proyecto se solicitó información a la empresa Sertecpet la cual, de entre su cartera de servicios, ofrece el de evaluación de pozos petroleros con unidades MTU tanto eléctrica como de combustión, de esta manera se obtuvieron los diferentes datos tanto técnicos, operativos, de mantenimiento, entre otros datos necesarios para la ejecución del proyecto. El proyecto se realiza con la información de 3 pozos que hayan sido evaluados con MTU eléctrica y 3 pozos que hayan sido evaluados con MTU de combustión.

### Especificaciones técnicas de equipos que componen la MTU tipo eléctrica y de combustión.

- **MTU de combustión**

Bomba Booster

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión máx. (psi)</b>	150
<b>Presión psi a 1750 RPM</b>	30
<b>Caudal BPD a 1750 RPM</b>	5500

Tabla 2.1: parámetros técnicos

Bomba para inyección de químico

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión máx. (psi)</b>	600

Tabla 2.2: parámetros técnicos

Bomba triplex

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Rango entrada</b>	200 HP – 400 rpm
<b>Rango salida</b>	180 HP – 400 rpm
<b>GPM at rated</b>	92,6 GPM – 3880 psi
<b>Máx rated</b>	3176 BLS – 3880 psi
<b>Caudal teórico máximo @ 400 rpm</b>	2798 BPD
<b>Caudal real máximo @ 400 rpm</b>	2600 BPD

Tabla 2.3: parámetros técnicos

Bomba quintuplex

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Rango entrada</b>	200 HP – 400 rpm
<b>Rango salida</b>	180 HP – 400 rpm
<b>GPM at rated</b>	115 GPM – 3780 psi
<b>Máx rated</b>	3755 BLS – 3780 psi
<b>Caudal teórico máximo @ 400 rpm</b>	4098 BPD
<b>Caudal real máximo @ 400 rpm</b>	3400 BPD

Tabla 2.4: parámetros técnicos

Caja de velocidades reparación de niple juntas de soldadura del damper.

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>No. Velocidades</b>	5 + reversa / 7 + reversa

Tabla 2.5: parámetros técnicos

Motor Diésel

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Potencia (HP)</b>	360

<b>Min. RPM</b>	1000
<b>Máx. RPM</b>	1800

*Tabla 2.6: parámetros técnicos*

Reductor de velocidad

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación de reducción</b>	4.38 : 1
<b>Máx. RPM</b>	1750
<b>Rating (HP)</b>	300

*Tabla 2.7: parámetros técnicos*

Separador

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad (BLS)</b>	46
<b>ASME Sección 8</b>	ANSI 300
<b>M.A.W.P</b>	650
<b>M.D.M.T</b>	33.5 F – 650 psi
<b>No. Fases</b>	2
<b>Año de fabricación</b>	2013

*Tabla 2.8: parámetros técnicos*

- **MTU eléctrica**

Bomba Booster

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión máx. (psi)</b>	150

*Tabla 2.9: parámetros técnicos*

Bomba para inyección de químico

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Presión máx.</b>	600

*Tabla 2.10: parámetros técnicos*

Bomba triplex

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Rango entrada</b>	300 HP – 400 rpm

<b>Rango Salida</b>	270 HP – 400 rpm
<b>GPM at rated</b>	92,6 GPM – 3880 psi
<b>Máx rated</b>	3176 BLS – 3880 psi

*Tabla 2.11: parámetros técnicos*

#### Bomba Quintuplex

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Rango entrada</b>	200 HP – 400 rpm
<b>Rango Salida</b>	180 HP – 400 rpm
<b>GPM at rated</b>	115 GPM – 3780 psi
<b>Máx rated</b>	3755 BLS – 3780 psi

*Tabla 2.12: parámetros técnicos*

#### Motor eléctrico bomba booster

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>HP (kW)</b>	15 (11)
<b>Amp.</b>	39.3 / 22.8 / 19.7
<b>RPM</b>	1755
<b>Volts</b>	220 / 380 / 440
<b>Hertz</b>	60

*Tabla 2.13: parámetros técnicos*

#### Motor eléctrico bomba de químico

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>HP (kW)</b>	0.25 (---)
<b>Amp.</b>	4.6 / 2.3 / 2.4
<b>RPM</b>	1725
<b>Volts</b>	208 / 230 / 460
<b>Hertz</b>	60

*Tabla 2.14: parámetros técnicos*

Motor eléctrico principal

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>HP (kW)</b>	350 (261)
<b>Amp.</b>	387
<b>RPM</b>	1785
<b>Volts</b>	460
<b>Hertz</b>	60

*Tabla 2.15: parámetros técnicos*

Reductor de velocidad

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Relación de reducción</b>	4.38 : 1
<b>Máx. RPM</b>	1800
<b>Rating (HP)</b>	300

*Tabla 2.16: parámetros técnicos*

Separador

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Capacidad (BLS)</b>	42 bls
<b>ASME sección 8</b>	ANSI 300
<b>No. Fases</b>	2
<b>M.A.W.P</b>	536 psi
<b>M.D.M.T</b>	45 °F – 650 psi

*Tabla 2.17: parámetros técnicos*

Variador de frecuencia

<b>Campo</b>	<b>Valor</b>
<b>Potencia (HP)</b>	550 – 695
<b>Potencia (kVA)</b>	309 – 390
<b>Voltaje de entrada (V)</b>	380 – 480
<b>Amperaje de entrada (Amp)</b>	492
<b>Frecuencia de entrada (Hz)</b>	50 – 60

<b>Voltaje máx. de salida (V)</b>	480
<b>Amperaje máx. de salida (Amp)</b>	469
<b>Rango de variación (Hz)</b>	10 – 120

*Tabla 2.18: parámetros técnicos*

## 2.2 Evaluación técnica y de operación

- Procedimientos en una evaluación con MTU.

Todas las unidades son probadas en base y enviadas a los diferentes frentes de trabajo, estando en campo se procede con la ubicación en sitio, pruebas de líneas y con los siguientes procedimientos:

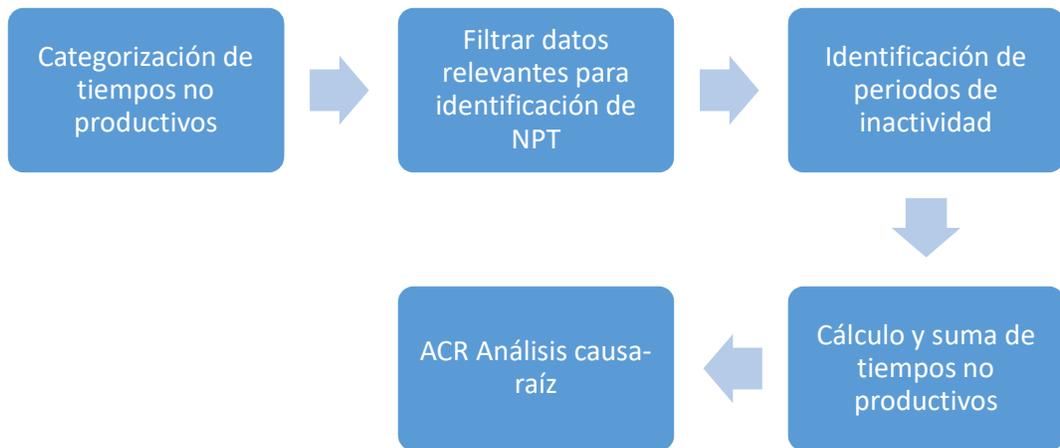
- Desplazar bomba jet directa tomando en consideración los caudales y presión recomendadas en el plan operativo para el desplazamiento.
- Prueba de packer lo cual consiste en la aplicación de presión a las gomas del packer con la finalidad de verificar la hermeticidad entre el espacio superior e inferior de las gomas en el espacio anular y se realiza con el packer asentado (Sertecpet, 2012).
- Prueba de inyectividad para determinar el caudal y la presión para bombear fluidos hacia la formación sin fracturarla. Además, se realizan pruebas de inyectividad al bombear fluidos de recuperación secundaria, como el agua. Durante estas pruebas, se registran las presiones a diferentes caudales, la presión registrada debe estar estabilizada (Sertecpet, 2012)
- Prueba de admisión realizada con el objetivo de verificar si el intervalo productor punzado está abierto. Además, evaluar si el pozo requiere algún tipo de estimulación. También evaluar la eficiencia de la estimulación después del reacondicionamiento (Sertecpet, 2012).
- Reversar bomba jet proceso que consiste en inyectar por anular y retornar por tubing.

- Finalización de operación con la unidad MTU en campo
- Datos operativos en cada pozo como temperatura, presiones, caudales, BSW, salinidad en operación.

Para proceder con la evaluación técnica y operativa se requiere de detallados y específicos con el fin de analizar el desempeño de las unidades de manera efectiva.

Entre los datos recopilados más relevantes se encuentran:

- Los caudales de operación tanto como el caudal de inyección como de producción, importantes para analizar la capacidad de producción y analizar la eficiencia de las unidades a manejar dichos caudales.
- Presiones de inyección y retorno para analizar el rendimiento de los equipos en evaluaciones de pozos y capacidad de los equipos a manejar dichas presiones.
- Condiciones de temperatura presentes en la operación y comportamiento de los equipos a estos parámetros.
- Propiedades del fluido como salinidad, BSW (inyección, retorno, producción), API, y químicos agregados.
- Parámetros operativos de motor y variador de frecuencia (en caso de MTU eléctrica)
- Fallos en equipos de superficie y de fondo, frecuencia de fallos, requerimientos de mantenimiento ya sean estos mantenimientos correctivos o preventivos. Se realiza la recopilación de información de todos los fallos y problemas que hayan existido en las operaciones de evaluación de pozos con las unidades MTU'S y que además generan tiempos no productivos analizados con el siguiente esquema:



*Ilustración 2.2: Esquema metodología aplicada a tiempos no productivos.*

- Disponibilidad de repuestos, gestión y soporte técnico para poder solventar todos los inconvenientes que pudiese existir cuando se esté realizando las operaciones correspondientes a la evaluación de pozos con MTU.
- Adaptabilidad a diferentes condiciones de pozo, así como la portabilidad y facilidad de instalación en las diferentes locaciones o pads donde se requiera el servicio de evaluación de pozos.

### **2.3 Evaluación ambiental**

- Medir las emisiones de gases y contaminantes.

Como toda operación dentro de la industria hidrocarburífera, realizar estos procedimientos pueden generar contaminantes y también la emisión de gases de efecto invernadero, por tal razón el desarrollo de este punto es muy importante para evaluar las emisiones que se pudiesen producir con una MTU de combustión y de tipo eléctrica y determinar a fin de cuenta la mejor opción de operación en beneficio de la sostenibilidad.

- Evaluar la estimación de la cantidad y tipo de residuos generados en la operación con cada tipo de MTU, estos residuos ya sean sólidos, líquidos o gaseosos.
- Medición del consumo energético y de otros recursos como el agua durante la operación de evaluación de pozos petroleros.
- Identificación de riesgos potenciales asociados con la operación de la MTU tanto eléctrica como de combustión, estos riesgos que pueden ser derrames, explosiones y fugas que pudiesen existir y el impacto que tendría algunos de estos eventos en la zona.

## **2.4 Evaluación económica**

- Costo inicial, inversión inicial

El costo inicial de una MTU es un factor muy importante a considerar en esta evaluación y de acuerdo a eso también el rendimiento que puede tener a lo largo del tiempo el operar con algún tipo de MTU ya sea para evaluación o producción de pozos petroleros.

- Costos de mantenimiento

El costo de mantenimiento ya sea este mantenimiento correctivo o preventivo necesario cuando exista algún problema en la operación con estas MTU, focalizando para la evaluación los equipos eléctricos y de combustión d las MTU según corresponda, y en ese caso conocer cuales pudiesen llegar a representar mayores gastos.

- Costos de gestión de residuos.

Estos costos representados por todos los residuos que generan las operaciones relacionadas con las pruebas de pozos con la MTU eléctrica y de combustión, por lo que tomando en consideración el volumen de residuos generados por cada tipo de MTU se estima el valor que resulte el hecho de gestionar estos desechos.

- Beneficios directos

Beneficios centrados en tema económico en el cual se refleje la rentabilidad ganancia de cada tipo de MTU en el servicio de evaluación de pozos.

- Beneficios indirectos

Estos beneficios asociados al cumplimiento normativo, mejora de la imagen corporativa de la compañía al implementar un servicio óptimo, eficiente y sostenible, además de la flexibilidad operativa con unidades con la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones de pozos y necesidades operativas.

- Identificación de variables críticas

Identificando y tomando en consideración las variables que más impacten los resultados económicos como pueden ser el precio del petróleo, costos de energía, etc.

## Capítulo 3

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El presente capítulo tiene como objetivo presentar y analizar los resultados obtenidos de la evaluación técnica, operativa, económica y ambiental de las unidades móviles de prueba (MTU) de tipo eléctrica y de combustión para la evaluación de pozos petroleros en el campo Sacha. Esta evaluación es importante para determinar que tipo de unidad proporciona una mayor eficiencia operativa y rentabilidad económica en las condiciones específicas del campo.

En primer lugar, se describirá los parámetros técnicos y operativos desarrollados por las unidades en cada uno de los pozos, incluyendo los criterios de selección y las herramientas utilizadas para el análisis. Además, se tendrá una comparación detallada de los aspectos técnicos de ambas MTU'S, considerando factores como rendimiento,

disponibilidad, operatividad e impacto ambiental. También, se realizará un análisis económico de las unidades, abarcando tanto los costos de implementación y operación como los beneficios financieros proyectados a largo plazo.

Los resultados obtenidos serán discutidos en función de su relevancia práctica y las implicaciones que tienen para la operación eficiente y sostenible de los pozos en el campo Sacha. Finalmente, se ofrecerán conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados presentados, destacando características propias de cada tipo de MTU.

Este capítulo busca no solo aportar una comprensión clara y detallada del desempeño comparativo de las MTU'S analizadas, sino también proporcionar una base sólida para futuras investigaciones y mejoras en la gestión de recursos en la industria hidrocarburífera.

### 3.1 Parámetros operativos de las MTU'S en evaluación de pozos del campo Sacha

#### Pozo: Sacha 212 MTU de combustión

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
13	1540	3100	80	2914	240	100	99.2	90
413	1530	3100	120	2818	296	100	92.8	24.1
963	1530	3100	120	2820	296	100	93.2	28
1441	1530	3000	120	2935	296	100	93.4	28

Tabla 3.1: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 364D MTU de combustión**

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
10	1507	3200	20	1670	518.4	100	99	95.8
207	1510	3300	100	1930	355	100	93	56.3
815	1510	3300	160	2285	388	100	93.4	54.6
1850	1515	3300	160	2299	358	100	93.9	54.8

Tabla 3.2: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 212 MTU eléctrica**

Horas evaluadas	HZ	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
1451	43.9	3000	120	3090	296	100	93.7	28.1
1915	43.9	3000	90	3020	296	100	93.6	28.8
2898	42.9	3000	130	3008	296	16	16	16
3047	43.8	3000	180	3037	296	16	16	16

Tabla 3.3: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 364D MTU eléctrica**

Horas evaluadas	HZ	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
1857	31.2	3350	106	2308	358	100	93.9	54.6
2105	31.1	3300	150	2293	358	100	93.9	54.9
5175	31.2	3300	140	2319	426	100	93.2	56
8050	31.2	3500	150	2335	426	100	93	54.6

Tabla 3.4: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 397 MTU eléctrica**

Horas evaluadas	HZ	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
68	36	3100	45	2410	168	100	98	67
283	35	3000	50	2400	127	100	95.45	20
985	35	3000	50	2328	122	100	96.1	23
1189	35	3000	70	2300	145	100	96	32

Tabla 3.5: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 460 MTU de combustión**

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
4	1400	3000	50	2980	408	100	100	100
1476	1614	3100	50	3025	151	100	97.5	50
3165	1623	3400	100	3099	154	100	97.4	52
4715	1686	3400	80	3140	181	100	97.1	52

Tabla 3.6: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 460 MTU eléctrica**

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
4790	1686	3400	60	3280	181	100	97.2	52
5910	1335	3400	70	3285	181	100	97.3	53
7072	1335	3600	80	3317	236	100	96.7	54
8012	1335	3600	80	3317	236	100	96.7	54

Tabla 3.7: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 364 MTU de combustión**

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
10	1413	3200	20	1670	518.4	100	99	95.8
500	1652	3300	160	2120	389.5	100	92.8	53.3
1200	1652	3300	160	2305	366.2	100	93.8	54.4
1856	1400	3300	160	2299	358.4	100	93.9	54.8

Tabla 3.8: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 364 MTU eléctrica**

Horas evaluadas	HZ	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
2000	30.2	3300	150	2293	358.4	100	93.9	54.9
4600	30.6	3300	140	2319	363.4	100	93.9	55
6650	41	3500	140	2266	426	100	92.8	54.7
9819	39.9	3200	160	3073	464	100	94	56

Tabla 3.9: Parámetros operativos

**Pozo: Sacha 192 MTU de combustión**

Horas evaluadas	RPM motor	Presiones		Caudales		BSW		
		Inyección	Módulo	Q iny	Q prod	Inyección	Retorno	Real
390	1308	3000	180	2100	68.57	100	94.7	55
2027	1308	3000	160	2286	74.6	100	94.7	54.9
4800	1436	3050	55	3160	83.3	100	94.6	54.9
7768	1450	3250	60	3181	94.6	100	94.6	54.9

*Tabla 3.10: Parámetros operativos*

**3.2 Fallas más comunes en una MTU de combustión**

Las unidades móviles de trabajo (MTU) de combustión, utilizadas para la evaluación de pozos petroleros, pueden enfrentar una variedad de fallas comunes debido a las condiciones operativas y el desgaste natural.

**Fallo del motor:** Problemas de encendido o falta de potencia, sobrecalentamiento del motor.

**Desgaste de componentes:** Desgaste de pistones y anillos, desgaste de válvulas y asientos de válvulas.

**Problemas de combustible:** Contaminación del combustible, filtros de combustible obstruidos.

**Fallo del sistema de refrigeración:** Fugas en el radiador, bomba de agua defectuosa.

**Problemas de lubricación:** Bomba de aceite defectuosa. Fugas de aceite.

**Fallo del sistema de escape:** Obstrucción en el sistema de escape. Fugas en el colector de escape.

**Problemas eléctricos:** Fallos en el sistema de arranque. Alternador defectuoso.

**Fallas en la transmisión:** Desgaste de engranajes. Problemas en el embrague.

**Fallo del sistema de frenos:** Desgaste de las pastillas de freno. Fugas en el sistema hidráulico de frenos.

**Problemas en el sistema de inyección:** Inyectores obstruidos o dañados. Bomba de inyección defectuosa.

**Fallo del sistema hidráulico:** Fugas en las líneas hidráulicas. Bomba hidráulica defectuosa.

**Problemas con el sistema de aire acondicionado y ventilación:** Compresor de aire acondicionado defectuoso. Fugas en el sistema de refrigerante.

**Fallas en los sistemas de control y monitoreo:** Sensores defectuosos. Fallos en el software de control.

**Problemas de alineación y balanceo:** Alineación incorrecta del sistema de transmisión. Desequilibrio en componentes rotativos.

**Problemas de suspensión:** Desgaste de amortiguadores. Fugas en el sistema de suspensión neumática.

### **3.3 Fallas más comunes en una MTU eléctrica**

Las unidades móviles de trabajo (MTU) eléctricas utilizadas para la evaluación de pozos petroleros también pueden enfrentar diversas fallas debido a las condiciones operativas.

**Problemas de batería:** Batería descargada o agotada. Conexiones sueltas o corroídas en la batería.

**Fallas en el motor eléctrico:** Sobrecalentamiento del motor. Desgaste de rodamientos.

**Problemas en el sistema de control:** Fallos en el controlador de motor. Problemas en el software de control.

**Fallas en los inversores:** Inversor defectuoso. Problemas de conversión de corriente continua a alterna.

**Fallo del sistema de carga:** Cargador defectuoso. Conexiones de carga sueltas o dañadas.

**Problemas en el sistema de refrigeración:** Fugas en el sistema de refrigeración. Bomba de refrigerante defectuosa.

**Problemas de cableado:** Conexiones eléctricas sueltas o dañadas. Cortocircuitos o circuitos abiertos.

**Fallas en los sensores:** Sensores defectuosos o mal calibrados. Fallos en la transmisión de datos de los sensores.

**Problemas con los convertidores de potencia:** Convertidor de potencia defectuoso. Problemas de eficiencia en la conversión de energía.

**Fallas en el sistema de frenos regenerativos:** Problemas en la regeneración de energía. Desgaste de componentes del sistema de frenos.

**Problemas en el sistema de monitoreo y diagnóstico:** Fallos en el sistema de diagnóstico a bordo. Problemas en la interfaz de usuario.

**Fallas en los actuadores eléctricos:** Actuadores desgastados o defectuosos. Problemas en la transmisión de señales a los actuadores.

**Problemas en el sistema de ventilación:** Filtros de aire obstruidos. Ventiladores defectuosos.

**Problemas con los sistemas de comunicación:** Fallos en la comunicación inalámbrica. Problemas en la transmisión de datos.

**Fallas en los dispositivos de protección:** Fusibles o disyuntores defectuosos. Problemas en los sistemas de protección contra sobretensiones.

### **3.4 Fallas y condiciones adicionales que generan tiempos improductivos.**

**Desgaste de líneas:** Daño y corrosión en tuberías, accesorios, herramientas, spools.

**Problemas con documentación:** Tener en orden toda la documentación correspondiente a la unidad.

**Problemas de fuerza mayor:** condiciones fortuitas que generan paralización de las operaciones como problemas con el SOTE, socavones, etc.

**Condiciones climáticas:** condiciones como una fuerte lluvia puede ocasionar problemas en los equipos e impiden una normal operación y puede generar tiempos de paralización.

**Manifestación de la comunidad:** exigencia y manifestaciones de las personas de la comunidad puede impedir los trabajos.

**Problemas de aporte de pozo:** Inconvenientes con partes de bomba jet (erosión, cavitación, taponamiento, etc)

**Cambio de unidad:** el cambio unidad de combustión por una eléctrica o viceversa en el pozo.

**Trabajos de pesca:** Armada y trabajos de recuperación de herramientas de completación de fondo como bomba jet.

**Problemas con terceros:** Inconvenientes con servicios de terceros que puede ocasionar problemas en la operación como fluido contaminado de vacuum, problemas con slick line, etc.

**Reubicación de unidades:** cambio de ubicación de las unidades dentro del pad.

### 3.5 Fallas y tiempos de paralización en cada pozo analizado

Pozo	MTUc / MTUe	Fallos / Paradas	Tiempo de para [h]
Sacha 212	MTUc	. Mantenimiento preventivo. . Mantenimiento preventivo y cambio de válvula e instrumento no operativo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> </ul>
Sacha 212	MTUe	Mantenimiento preventivo, revisión de equipos como bomba Q, VSD y tablero de distribución.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> </ul>

Sacha 364D	MTUc	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mantenimiento preventivo a equipos.</li> <li>. Mantenimiento preventivo a equipos.</li> <li>. Mantenimiento preventivo, cambio de válvula y eslingas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 4 horas</li> </ul>
Sacha 364D	MTUe	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Problemas con bomba jet y trabajos de recuperación de la misma.</li> <li>. Mantenimiento preventivo y cambio de eslingas no operativas.</li> <li>. Falla en el sistema eléctrico.</li> <li>. Mantenimiento preventivo.</li> <li>. Falla en el sistema eléctrico.</li> <li>. Para por condiciones climáticas (fuerte lluvia).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 5 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 5 horas</li> </ul>
Sacha 397	MTUe	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Problemas con bomba jet y trabajos de recuperación de la misma.</li> <li>. Problemas con bomba jet y trabajos de recuperación de la misma.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 7 horas</li> <li>• 11 horas</li> <li>• 2 horas</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mantenimiento preventivo</li> <li>. Falla de red eléctrica.</li> <li>. Falla de red eléctrica.</li> <li>. Falla de red eléctrica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 horas</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 2 horas</li> </ul>
Sacha 460	MTUc	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Sin nivel en el separador y daño de packer.</li> <li>. Mantenimiento preventivo.</li> <li>. Mantenimiento preventivo, revisión nivel de aceite de bomba y reductor, engrasado de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 horas</li> <li>• 1 hora</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 1 hora</li> <li>• 1 hora</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 3 horas</li> </ul>

		válvulas, cambio de aceite de caja de cambios de motor  . Mantenimiento preventivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 horas</li> </ul>
Sacha 460	MTUe	. Falla en red eléctrica. . Mantenimiento preventivo (Chequeo Bomba Q, cambio de guaya de seguridad, cambio de válvula de seguridad de separador, engrasado de rodamientos motor eléctrico, mantenimiento equipos eléctricos, engrasado de válvulas y accesorios) . Mantenimiento preventivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 hora</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 2 horas</li> </ul>
Sacha 364	MTUc	. Mantenimiento preventivo. . Mantenimiento preventivo . Mantenimiento preventivo, cambio de válvula, cambio eslinga no operativa, chequeo bomba quintuplex.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 4 horas</li> </ul>
		. Problema con bomba jet, intentos de reversar, recuperación con slick line.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 horas</li> </ul>

Sacha 364	MTUe	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mantenimiento preventivo, cambio de eslingas no operativas.</li> <li>. Falla de red eléctrica</li> <li>. Mantenimiento preventivo.</li> <li>. Falla de red eléctrica.</li> <li>. Condiciones climáticas (fuerte lluvia), mantenimiento a equipos de la unidad.</li> <li>. Mantenimiento preventivo.</li> <li>. Cambio de bomba, pesca y reparación de standing valve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> <li>• 5 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 4 horas</li> <li>• 3 horas</li> <li>• 13 horas</li> </ul>
Sacha 192	MTUc	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Mantenimiento preventivo a motor.</li> <li>. Mantenimiento preventivo a motor.</li> <li>. Mantenimiento preventivo.</li> <li>. Mantenimiento correctivo a manifold.</li> <li>. Mantenimiento preventivo, vacío módulo, despresurización de líneas, cambio de spools.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 2 horas</li> <li>• 1 hora</li> <li>• 9 horas</li> <li>• 1 hora</li> <li>• 2 horas</li> </ul>

		. Mantenimiento preventivo, cambio de filtros y aceite del motor.	• 2 horas
		. Mantenimiento preventivo, chequeo de bomba quintuplex.	• 2 horas
		. Mantenimiento preventivo.	• 3 horas
		. Mantenimiento preventivo.	• 3 horas
		. Mantenimiento preventivo y correctivo.	
		. Mantenimiento preventivo y cambio de eslingas no operativas.	

Tabla 3.11: Fallos y paradas por cada MTU

En la tabla 3.11 se refleja el total de las fallas y paradas que ha existido en cada uno de los pozos analizado, estas paradas tienen que ver con los equipos de superficie, herramientas de completación de fondo y mantenimientos preventivos que son necesarios en las unidades. Partiendo del hecho en que se analiza principalmente los componentes eléctricos y a combustión en las unidades que son los principales diferenciadores de las mismas. Se evidencia que en las unidades a combustión se realiza un mantenimiento preventivo de manera más periódica por lo que en esas unidades existe un mayor número de paradas por lo tanto más tiempo no productivo y más gastos, por otro lado, en cuanto a las unidades eléctricas también existe paradas debido a fallas en el sistema eléctrico del cliente donde se energiza las unidades para su funcionamiento.

### 3.6 Total de horas evaluadas y total tiempos improductivos en cada pozo

Pozo	MTUc / MTUe	Total horas evaluadas	Total horas no productivas [H]
Sacha 212	MTUc	1441	4
Sacha 212	MTUe	1596	2
Sacha 364D	MTUc	1850	9
Sacha 364D	MTUe	6193	24
Sacha 397	MTUe	1189	31
Sacha 460	MTUc	4715	62
Sacha 460	MTUe	3222	6
Sacha 364	MTUc	1856	9
Sacha 364	MTUe	7819	40
Sacha 192	MTUc	7768	29

*Tabla 3.12: Horas improductivas en cada evaluación*

En la tabla 3.12 se tiene el total horas que ha durado la evaluación en el pozo y el total de horas improductivas existentes. Se evidencia la relación en cuanto a que a más horas evaluadas pueden existir más fallas y más tiempos improductivos, sin embargo, también se observa que hay pozos donde ha existido muchos tiempos improductivos, esto debido a las condiciones de operación propias en esos pozos como problemas con las herramientas de completación por ejemplo, independientemente de componentes eléctricos y de combustión que difiere o son diferentes entre los dos tipos de unidades, adicional también se identifica un mayor número de paradas en las MTU'S de combustión debido a que se realiza un mayor número de mantenimientos preventivos y correctivos por lo que hay más tiempos improductivos lo que hace más eficiente las unidades eléctricas en ese caso, aunque las eléctricas también dependen mucho del correcto funcionamiento de la red eléctrica de la locación lo que en determinados casos han generado considerables tiempos improductivos.

### 3.7 Porcentaje de frecuencia de paradas por cada fallo en evaluación de pozos con MTU'S eléctricas y MTU'S de combustión

Frecuencia de paradas en MTU de combustión

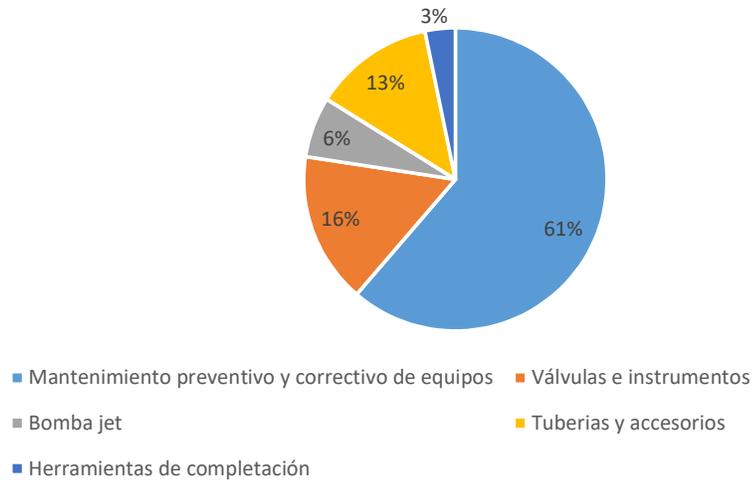


Ilustración 3.1: Porcentaje frecuencia de paradas MTU'S combustión

Frecuencia de paradas en MTU eléctrica

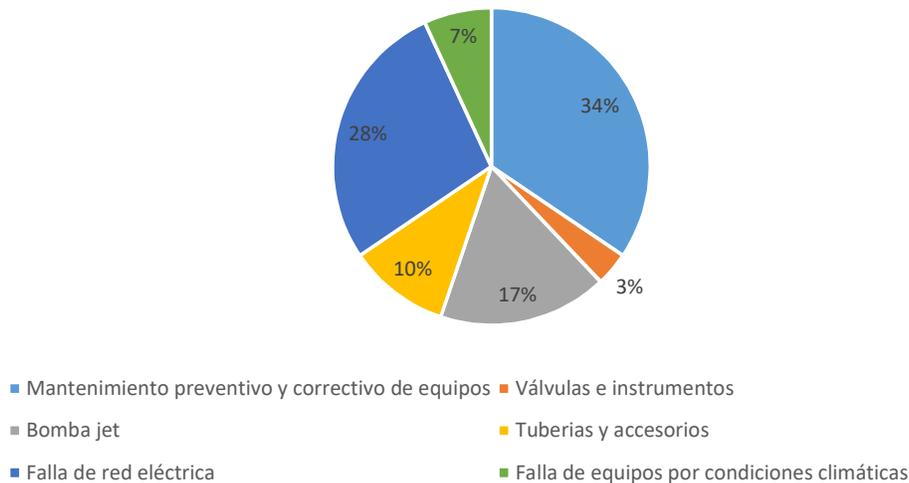
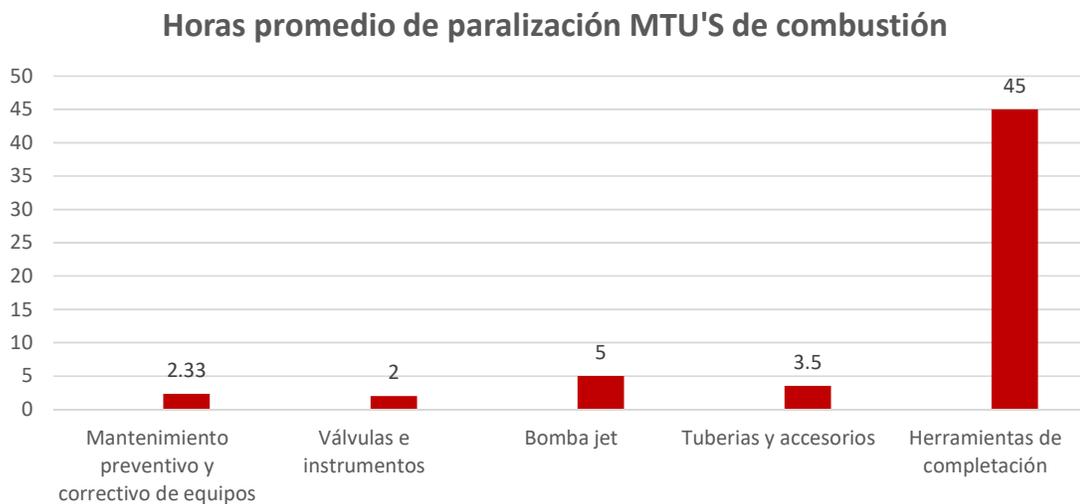


Ilustración 3.2: Frecuencia de paradas MTU'S eléctricas

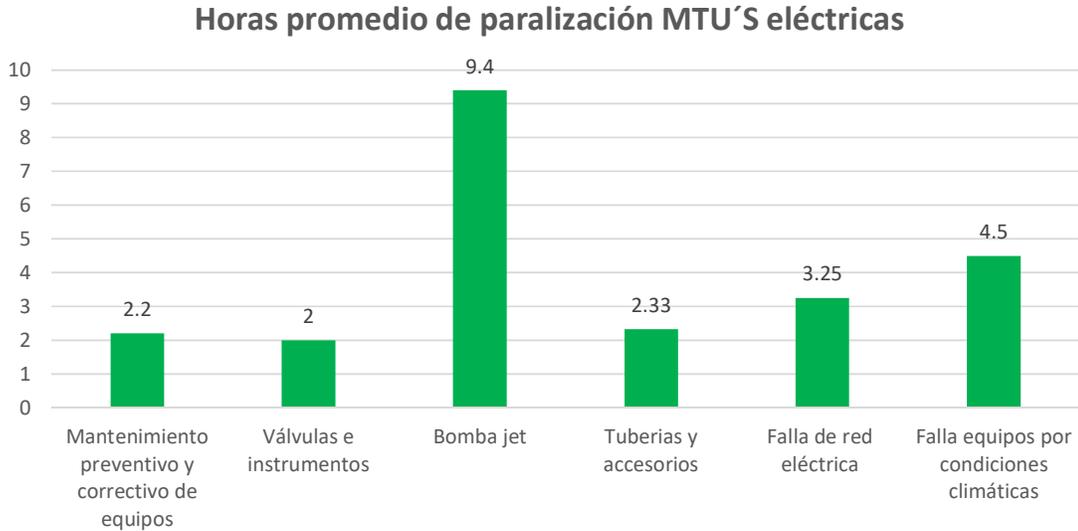
En las ilustraciones 3.1 y 3.2 se observa la frecuencia de paradas por cada fallo en las operaciones de evaluación en los diferentes pozos con MTU'S a combustión y MTU'S eléctricas respectivamente, en el caso de las MTU'S a combustión se evidencia la mayor parte de paradas debido a mantenimientos preventivos y correctivos, esto debido a que los componentes a combustión requieren mayor mantenimiento preventivo, en cuanto a

las unidades MTU'S eléctricas existe un menor número de mantenimientos preventivos y correctivos en comparación con las MTU'S a combustión, sin embargo también se evidencia un porcentaje alto de falla de red eléctrica por lo que este es un punto considerable también en las unidades eléctricas. Adicional se identifica también un alto porcentaje de paradas por problemas con la bomba jet de fondo debido a factores como taponamiento, cavitación, erosión de sus partes, etc., debido a las condiciones propias del campo y esto genera paradas para realizar su respectiva recuperación cambio. Otros inconvenientes que puede existir es en cuanto a las herramientas de completación de fondo lo cual puede generar un número considerable de horas no productivas como sucedió en unos de los pozos analizados donde hubo un problema de asentamiento de packer.

### 3.8 Tiempo promedio de parada por cada falla



*Ilustración 3.3: Horas promedio de para por cada falla MTU'S de combustión*



*Ilustración 3.4: Horas promedio de para por cada fallo MTU'S eléctricas*

En la ilustración 3.3 y 3.4 se muestra las horas promedio que dura una parada por cada parada ocurrida en las operaciones de evaluación en las MTU'S de combustión y eléctrica, se observa que un mantenimiento realizado a las unidades está por alrededor de las 2 horas lo cual considerando que el mantenimiento en las unidades de combustión es más frecuente se tiene evidentemente más tiempo de para, en cuanto a las paradas que tiene que ver con inconvenientes con la bomba jet reflejan entre 5 y 9 horas de paralización de la evaluación por factores mencionados anteriormente, las fallas en herramientas de completación de fondo puede significar muchas horas de para como sucedió en uno de los pozos estudiados y cabe mencionar también que en el caso de las MTU'S eléctricas la calidad del sistema eléctrico desempeña un papel importante y que un fallo en dicha red puede significar horas de paralización, en promedio 3.25 horas según los datos analizados.

### 3.9 Cantidad de emisiones de CO2 por cada evaluación con MTU de combustión

Para determinar la cantidad de emisiones de CO2 de las MTU'S a combustión, se parte desde el consumo de combustible, la cual se determina de acuerdo a la presión y caudal de inyección detallada en la siguiente ilustración:

		CAUDAL DE INYECCIÓN [BFPD], CONSUMO [gls/h]												
		1100	1300	1500	1700	1900	2100	2300	2500	2700	2900	3100	3300	3500
PRESIÓN DE INYECCIÓN [PSI]	1800	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6	5.6	5.6	5.9	6.2
	1900	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9	5.9	5.9	6.2	6.6
	2000	-	-	-	-	-	-	-	5	6.2	6.2	6.2	6.6	6.9
	2100	-	-	-	-	-	-	-	5.2	6.5	6.5	6.5	6.9	7.3
	2200	-	-	-	-	-	-	5	5.5	6.8	6.8	6.8	7.2	7.7
	2300	-	-	-	-	-	-	5.3	5.7	7.2	7.2	7.2	7.6	8
	2400	-	-	-	-	5.1	5.1	5.5	6	7.5	7.5	7.5	7.9	8.4
	2500	-	-	-	-	5.3	5.3	5.7	6.2	7.8	7.8	7.8	8.3	8.7
	2600	-	-	-	-	5.5	5.5	6	6.5	8.1	8.1	8.1	8.6	9.1
	2700	-	-	-	-	5.8	5.8	6.2	6.8	8.4	8.4	8.4	8.9	9.4
	2800	-	-	-	-	6	6	6.4	7	8.8	8.8	8.8	9.3	9.8
	2900	-	-	-	-	6.2	6.2	6.7	7.3	9.1	9.1	9.1	9.6	10.2
	3000	-	-	-	-	6.4	6.4	6.9	7.5	9.4	9.4	9.4	9.9	10.5
	3100	-	-	-	5.3	6.6	6.6	7.1	7.8	9.7	9.7	9.7	10.3	10.9
	3200	-	-	4.9	5.5	6.8	6.8	7.4	8	10	10	10	10.6	11.2
	3300	-	5	5	5.6	7.1	7.1	7.6	8.3	10.3	10.3	10.3	10.9	11.6
3400	3.8	5.2	5.2	5.8	7.3	7.3	7.9	8.5	10.7	10.7	10.7	11.3	-	
3500	3.9	5.4	5.4	6	7.5	7.5	8.1	8.8	11	11	11	-	-	
3600	4	5.5	5.5	6.1	7.7	7.7	8.3	9.1	11.3	11.3	11.3	-	-	

Ilustración 3.5: Consumo de combustible según presión y caudal de inyección. / Fuente: Sertecpet

Pozo con MTU a combustión	Presión de inyección promedio [PSI]	Caudal de inyección promedio [BPD]	Consumo de combustible [gls/h]
Sacha 212	3075	2871	9.7
Sacha 364D	3275	2046	7.1
Sacha 192	3075	2681	9.7
Sacha 364	3275	2098	7.1
Sacha 460	3225	3061	10

Tabla 3.13: consumo de combustible por cada evaluación

#### 3.9.1 Cálculo para determinar la cantidad de emisiones de CO2 por cada MTU

Para determinar la cantidad de CO2 emitidos se toma en consideración el siguiente factor de conversión por consumo de combustible:

$$FC = 2.67Kg \text{ CO}_2/\text{litro}$$

### Cantidad de CO2 en pozo Sacha 212

Consumo de combustible = 9.7 gls/h

Conversión de gls/h a litros/h

$$\text{consumo de combustible} = 9.7 \frac{\text{gls}}{\text{h}} * 3.78 \frac{\text{litros}}{\text{gls}} = 36.67 \frac{\text{litros}}{\text{h}}$$

### Cálculo total de emisión de CO2

$$\text{Cantidad CO2} = \text{Consumo de combustible} * \text{FC}$$

$$\text{Cantidad CO2} = 36.67 \frac{\text{litros}}{\text{h}} * 2.67 \frac{\text{KgCO2}}{\text{litro}} = 97.89 \frac{\text{KgCO2}}{\text{h}}$$

$$\text{Cantidad total CO2} = 97.89 \frac{\text{KgCO2}}{\text{h}} * 1441 \text{ h} = 141071 \text{ KgCO2}$$

De la misma forma se realiza el procedimiento para el cálculo total de emisiones de CO2 para las demás evaluaciones con las MTU'S de combustión.

Pozo	Emisión de CO2 [KgCO2]
Sacha 212	141071.0
Sacha 364D	132566.0
Sacha 192	760473.0
Sacha 364	132996.0
Sacha 460	475866.0

Tabla 3.14: Total de emisiones de CO2 por evaluación

En la tabla 3.14 se observa la cantidad de emisiones de CO2 que ha producido las MTU'S de combustión en las evaluaciones desarrolladas en los diferentes pozos del campo Sacha, se identifica que lógicamente las unidades que han evaluado por más tiempo son las que más emisiones de CO2 han producido. Además, considerando las emisiones durante un año producidas por las unidades MTU a combustión equivale al volumen ocupado por 713 viviendas con los parámetros promedios de operación, además considerar el ruido que generan las unidades de combustión que es otro factor que afecta a la comunidad.

### 3.10 Decibeles que emiten las unidades

Característica	MTUc	MTUe
<b>Decibeles que transmite</b>	125	75

Tabla 3.15: Decibeles emitidos por cada tipo de MTU

Otro punto importante a considerar son los decibeles que transmite al ambiente una unidad MTU a combustión y MTU eléctrica, esta es una medida del ruido que emiten las unidades y que pueden generar daños auditivos en personas cercanas y malestar a la comunidad en caso de mantenerse alto, se puede observar que la MTU eléctrica transmite poco ruido en comparación del otro tipo de unidad, incluso está mas bajo que el nivel admisible el cual es de 83 decibeles.

### 3.11 Análisis económico para cada tipo de MTU

POZO	MTUc/MTUe	Total horas evaluadas	Total de Mantenimientos	Costo referencial por MTTO	Gasto total de MTTO
Sacha 212	MTUc	1441	2	\$ 1.500,00	\$ 3.000,00
Sacha 212	MTUe	1596	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Sacha 364D	MTUc	1850	3	\$ 1.500,00	\$ 4.500,00
Sacha 364D	MTUe	6193	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Sacha 397	MTUe	1189	1	\$ 300,00	\$ 300,00
Sacha 460	MTUc	4715	9	\$ 1.500,00	\$ 13.500,00
Sacha 460	MTUe	3222	2	\$ 300,00	\$ 600,00
Sacha 364	MTUc	1856	3	\$ 1.500,00	\$ 4.500,00
Sacha 364	MTUe	7819	3	\$ 300,00	\$ 900,00
Sacha 192	MTUc	7768	10	\$ 1.500,00	\$ 15.000,00

Tabla 3.16: Gastos referenciales de mantenimiento

En la tabla 3.16 se evidencia los gastos referenciales por mantenimiento de cada uno de los tipos de MTU'S en evaluación de los diferentes pozos del campo Sacha, como anteriormente se mencionaba para el caso de las MTU a combustión,, estas requieren mantenimientos más

frecuentes a comparación de las unidades eléctricas, lo que supone lógicamente un mayor gasto por mantenimiento en las unidades de combustión, en la tabla 3.16 se tiene el costo referencial por mes parra cada unidad y el total de mantenimientos realizados a cada unidad durante su servicio de evaluación, por lo que se obtiene de esta manera el gasto por mantenimiento, aquí se identifica un claro gasto mayor para las unidades de combustión.

<b>MTUc/MTUe</b>	<b>Costo de construcción</b>	<b>Costo de servicio por día (referencial)</b>
<b>MTUc</b>	\$600.000,00	\$ 2.000,00
<b>MTUe</b>	\$600.900,00	

*Tabla 3.17: Costos de construcción y por servicio*

Las unidades eléctricas son más caras que las unidades de combustión esto debido a su infraestructura y componentes eléctricos de este tipo de unidades como lo refleja la tabla 3.17 en la cual de evidencia un costo de construcción mayor por parte de las MTU'S eléctricas.

<b>POZO</b>	<b>MTUc/MTUe</b>	<b>Total horas evaluadas</b>	<b>Ingresos</b>
<b>Sacha 212</b>	<b>MTUc</b>	<b>1441</b>	\$120.083,00
<b>Sacha 212</b>	<b>MTUe</b>	<b>1596</b>	\$133.000,00
<b>Sacha 364D</b>	<b>MTUc</b>	<b>1850</b>	\$154.166,00
<b>Sacha 364D</b>	<b>MTUe</b>	<b>6193</b>	\$516.083,00
<b>Sacha 397</b>	<b>MTUe</b>	<b>1189</b>	\$ 99.083,00
<b>Sacha 460</b>	<b>MTUc</b>	<b>4715</b>	\$392.916,00
<b>Sacha 460</b>	<b>MTUe</b>	<b>3222</b>	\$268.500,00
<b>Sacha 364</b>	<b>MTUc</b>	<b>1856</b>	\$154.666,00
<b>Sacha 364</b>	<b>MTUe</b>	<b>7819</b>	\$651.583,00
<b>Sacha 192</b>	<b>MTUc</b>	<b>7768</b>	\$647.333,00

*Tabla 3.18: Ingresos por servicio*

El ingreso por el cada servicio se ve determinado por la cantidad de tiempo pedido por el cliente y el costo se lo puede realizar por días, en este caso en la tabla 3.18 refleja precisamente el total de horas trabajadas y el ingreso que ha generado en estos pozos, parámetro importante para conocer después el beneficio económico de las unidades eléctricas y combustión de acuerdo al gasto empleado para cada tipo de unidad.

MTUc	Costo de combustible por galón	Galones consumidos de combustible [gls/h]	Total horas evaluadas	Total galones consumidos	Gasto total
Sacha 212	\$ 1,90	9,7	1441	13977,7	\$ 26.557,63
Sacha 364D		7,1	1850	13135	\$ 24.956,50
Sacha 192		9,7	4715	45735,5	\$ 86.897,45
Sacha 364		7,1	1856	13177,6	\$ 25.037,44
Sacha 460		10	7768	77680	\$147.592,00

Tabla 3.19: Gasto por consumo de combustible

Como ya se ha mencionado en puntos anteriores un tema importante a tratar es el consumo de combustible ya que además de generar emisiones de CO2 también genera gastos económicos. En la tabla 3.19 se identifica el total de galones consumidos por las unidades MTU a combustión en cada trabajo desarrollado en el campo Sacha y el gasto total que estos han representado, teniendo como resultado un considerable gasto económico que por otra parte no existe en las unidades de MTU eléctricas ya que estas no consumen combustible para su funcionamiento si no que se conectan al sistema eléctrico de la locación provista por el cliente, por lo que en este rubro las unidades eléctricas no representan gastos en cuanto a su energización.

POZO	MTUc/MTUe	Ingresos	Gasto de mantenimiento	Gasto por combustible	% gasto
Sacha 212	MTUc	\$ 120.083,00	\$ 3.000,00	\$ 26.557,63	24,61%
Sacha 212	MTUe	\$ 133.000,00	\$ 600,00	\$ -	0,45%
Sacha 364D	MTUc	\$ 154.166,00	\$ 4.500,00	\$ 24.956,50	19,11%
Sacha 364D	MTUe	\$ 516.083,00	\$ 600,00	\$ -	0,12%
Sacha 397	MTUe	\$ 99.083,00	\$ 300,00	\$ -	0,30%
Sacha 460	MTUc	\$ 392.916,00	\$ 13.500,00	\$ 86.897,45	25,55%
Sacha 460	MTUe	\$ 268.500,00	\$ 600,00	\$ -	0,22%
Sacha 364	MTUc	\$ 154.666,00	\$ 4.500,00	\$ 25.037,44	19,10%
Sacha 364	MTUe	\$ 651.583,00	\$ 900,00	\$ -	0,14%
Sacha 192	MTUc	\$ 647.333,00	\$ 15.000,00	\$147.592,00	25,12%

Tabla 3.20: Resumen económico para ambos tipos de MTU

En la tabla 3.20 se evidencia el detalle de los gastos representativos de cada tipo MTU en los diferentes trabajos desarrollados en el campo sachá tomando en consideración los componentes que diferencian estos tipos de unidades, por un lado se tiene los ingresos determinados por la cantidad de tiempo que se ha trabajado, también el gasto por mantenimientos y el gasto de combustible por parte de las unidades a combustión y adicional como muestra el rendimiento

económico se tiene el porcentaje de gasto que estos factores implican, es decir, que porcentaje de dinero representan estos gastos al total de ingreso de generados por las MTU'S, lo cual da una idea clara de la diferencia en el rendimiento económico por la utilización de cada tipo de MTU en evaluaciones de pozos. Se identifica que en las unidades a combustión se generan muchos más gastos operativos en comparación con las unidades eléctricas, esto debido a que en las unidades de combustión se requiere de una frecuencia mayor de mantenimiento y posee un gasto considerable en cuanto al uso de combustible cosa que no sucede con las unidades eléctricas. Por tal razón en cuanto a rendimiento económico operativo las unidades eléctricas representan una ventaja aunque también hay que considerar que el costo inicial de las unidades eléctricas es más costoso y que además debe existir una infraestructura eléctrica adecuada y estable para su funcionamiento, sin embargo, se considera que a lo largo del tiempo puede dar más utilidad económica e incluso bajar el precio de servicio siendo más atractivo para los clientes y así abarcar más mercado favoreciendo además a la sostenibilidad del medio ambiente.

## Capítulo 4

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- De acuerdo al análisis operativo en desarrollado en el campo Sacha se identifica que ambos tipos de MTU puede llegar a trabajar con los mismos parámetros operativos de presiones y caudales de inyección, estos parámetros dependen de las condiciones de cada pozo para poder producir y optimizar la producción de petróleo.
- Existen muchos factores e inconvenientes dentro de la operación que pueden generar tiempos de inoperatividad como problemas con las herramientas de completación y equipos de superficie, mencionados en el capítulo 3 (resultados),

mayormente estos tiempos de inoperatividad se presentan durante los mantenimientos bien sean preventivos o correctivos.

- La MTU de combustión es la que más mantenimientos requiere (cada 500 horas) en comparación con la MTU eléctrica (mantenimiento cada 1500 horas), por ende, también existe mayores tiempos de inoperatividad en la MTU de combustión.
- Se evidenció que las MTU'S eléctricas son más eficientes que las MTU'S de combustión, debido a su operatividad con motores eléctricos que alcanzan mayor eficiencia que los motores de combustión, además que como ya se ha mencionado, las MTU'S requieren menos mantenimiento lo cual minimiza el tiempo de inactividad, optimizando la operación y preservando la eficiencia a largo plazo.
- Ambos tipos de MTU pueden presentar similares inconvenientes dado que en mayor parte los componentes son los mismos, como equipos, tuberías, accesorios, instrumentos, etc., sin embargo, se identificó que pueden existir otros inconvenientes propios en cada tipo de MTU que pueden generar tiempos de inoperatividad, como en el caso de las MTU eléctricas en donde puede existir fallos en la red eléctrica de la locación lo cual puede generar algunas horas de paralización.
- Los problemas con la completación, mantenimientos y problemas con la bomba jet son los inconvenientes que más tiempos de paralización han generado en las MTU'S.
- Se evidenció que la MTU eléctrica genera menos ruido que las MTU de combustión incluso en nivel más bajo del admisible, dado a la ausencia de motores de combustión interna que son la principal fuente de ruido en las MTU de combustión, esta reducción de ruido mejora el entorno de trabajo y minimiza el impacto auditivo en las personas del entorno.

- Las unidades eléctricas no generan emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente en contra a los cientos de miles de KgCO<sub>2</sub> que generan las unidades a combustión por cada operación como se determinó en el capítulo 3, además en las unidades eléctricas, se elimina la logística del transporte de combustible y se disminuye la generación de desechos contaminantes.
- Las MTU'S eléctricas son más caras debido a que sus componentes electrónicos son más costosos, sin embargo, comparando con las MTU'S de combustión, se evidenció un ahorro en cuanto a costos de mantenimiento y costos de combustible como se observa en la tabla 3.20 por lo tanto a largo plazo estas unidades eléctricas pueden generar mayores utilidades. Por otro lado, se comprobó que la MTU de combustión tiene un costo inicial menor, pero puede generar mayores costos operativos debido al mayor mantenimiento requerido y al consumo de combustible.

## **4.2 Recomendaciones**

- Evaluar la viabilidad de utilizar fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica, para alimentar las MTU y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Analizar la viabilidad de utilizar MTU'S eléctricas en áreas alejadas, considerando la infraestructura de suministro eléctrico y las opciones de integración con fuentes de energía renovable para garantizar la continuidad de las operaciones.
- Se recomienda realizar a futuro un análisis de sensibilidad más detallado para evaluar cómo los cambios en los precios de los combustibles, las normas ambientales y los avances tecnológicos pueden afectar la viabilidad económica y ambiental para ambos tipos de unidades.

- Para la implementación de la MTU eléctrica hay que considerar el tener una correcta infraestructura para el suministro de energía eléctrica dado que en zonas remotas o alejadas el acceso a este suministro puede ser complicado por lo que en este contexto las utilidades de las unidades eléctricas en estas localidades son muy limitadas.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SERTECPET, 2010. Manual Para Operaciones En Campo
- SERTECPET, 2012, Catálogo De Productos Y Servicios
- EP PETROECUADOR. (s/f). Eppetroecuador.ec. de <https://www.eppetroecuador.ec/?p=19539>
- La Formación Napo del Campo Sacha, (s/f). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Edu.ec, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1973/1/CD-2831.pdf>
- Modelo Depositacional, (s/f). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Edu.ec, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2417/1/CD-3148.pdf>
- (S/f-b).Edu.ec,de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2782/2/PRESENTACION.pdf>
- Evaluación Componentes Y Usos, U. M. (s/f). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. De <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24454/1/CD%2013378.pdf>
- SERTECPET S.A., Manual de Operaciones, Ecuador, 2017
- SERTECPET S.A., Procedimientos, Ecuador, 2016

- Evaluación Componentes Y Usos, U. M. (s/f). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Edu.ec. Recuperado el 30 de agosto de 2024, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/24454/1/CD%2013378.pdf>
- Pruebas de pozo integradas. (s/f). Sertecpet.com, de <https://www.sertecpet.com/servicios-petroleros/pruebas-de-pozo-integradas>
- (S/f). Eppetroecuador.ec, de <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/08/BOL-041.pdf>

# Evaluación técnica económica de una Unidad Móvil de Testeo (MTU) de tipo eléctrica y combustión para pruebas de pozos en el campo Sacha

## PROBLEMA

Optimizar la evaluación de pozos con MTU en el campo Sacha es fundamental para reducir tiempos no productivos y mejorar la eficiencia en la industria petrolera. Además, es necesario encontrar equipos más sostenibles y con menos problemas operativos para evitar costos adicionales, retrasos en la producción y afectar negativamente la eficiencia de la operación y el sector productivo.

## OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de las unidades móviles de testeo (MTU) de tipo eléctrica y combustión en el campo Sacha, mediante la identificación de factores claves en las pruebas de pozos, para la optimización y mejora de la eficiencia en las operaciones.

## PROPUESTA

El proyecto se realizó mediante la siguiente metodología:

- El proyecto se realizó con la información de 5 pozos que hayan sido evaluados con MTU eléctrica y 5 pozos que hayan sido evaluados con MTU de combustión.
- Procedimientos en una evaluación con MTU. Datos operativos en cada pozo como temperatura, presiones, caudales, BSW, salinidad en operación. Fallos en equipos de superficie y de fondo, frecuencia de fallos, requerimientos de mantenimiento ya sean estos mantenimientos correctivos o preventivos. Estimación de tiempos no productivos. Adaptabilidad y facilidad de instalación.
- Medición de emisiones de CO<sub>2</sub>.  
Consumo energético.  
Impacto ambiental.
- Costo inicial.  
Costos de mantenimientos.  
Beneficios directos.  
Beneficios indirectos.
- Comparación y análisis de resultados.

A) Recopilación de información y especificaciones técnicas de los equipos

B) Evaluación técnica y de operación

C) Evaluación ambiental

D) Evaluación económica

E) Análisis y comparación de resultados

Fig. 3: Metodología

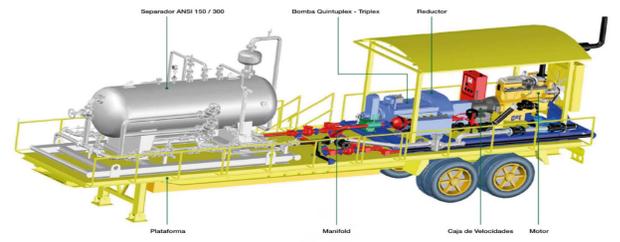


Fig. 1: MTU convencional



Fig. 2: MTU eléctrica

## RESULTADOS

### Frecuencia de paradas en MTU de combustión



Fig 4: Tiempos de para en MTU'S de combustión

### Frecuencia de paradas en MTU eléctrica

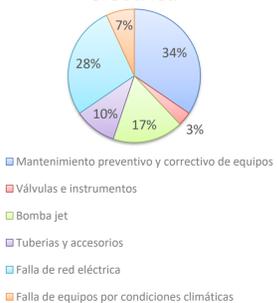


Fig 5: Tiempos de para en MTU'S eléctricas

Pozo	Emisión de CO <sub>2</sub> [KgCO <sub>2</sub> ]
Sacha 212	141071.0
Sacha 364D	132566.0
Sacha 192	760473.0
Sacha 364	132996.0
Sacha 460	475866.0

Tabla 1: Total de emisiones de CO<sub>2</sub> por evaluación

Las MTU a combustión generan una cantidad considerable de emisiones de CO<sub>2</sub>. Una MTU puede generar al año el mismo volumen de consumo de 713 viviendas.

POZO	MTUc/MTUe	Ingresos	Gasto de mantenimiento	Gasto por combustible	% Gasto
Sacha 212	MTUc	\$ 120.083,00	\$ 3.000,00	\$ 26.557,63	24,61%
Sacha 212	MTUe	\$ 133.000,00	\$ 600,00	\$ -	0,45%
Sacha 364D	MTUc	\$ 154.166,00	\$ 4.500,00	\$ 24.956,50	19,11%
Sacha 364D	MTUe	\$ 516.083,00	\$ 600,00	\$ -	0,12%
Sacha 397	MTUe	\$ 99.083,00	\$ 300,00	\$ -	0,30%
Sacha 460	MTUc	\$ 392.916,00	\$ 13.500,00	\$ 86.897,45	25,55%
Sacha 460	MTUe	\$ 268.500,00	\$ 600,00	\$ -	0,22%
Sacha 364	MTUc	\$ 154.666,00	\$ 4.500,00	\$ 25.037,44	19,10%
Sacha 364	MTUe	\$ 651.583,00	\$ 900,00	\$ -	0,14%
Sacha 192	MTUc	\$ 647.333,00	\$ 15.000,00	\$ 147.592,00	25,12%

Tabla 2: Resumen económico para ambos tipos de MTU

Las MTU de combustión generan mayores gastos operativos, por otro lado, en las MTU eléctricas el costo inicial es mayor.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se identifica que cada tipo de MTU puede llegar a trabajar con los mismos parámetros operativos de presiones y caudales de inyección.
- Se evidencia que MTU de combustión es la que más mantenimientos que las MTU'S eléctricas, por ende, existe mayores tiempos de inoperatividad en las MTU'S de combustión, además también existen problemas propios para cada tipo de MTU, por ejemplo, puede existir fallos en la red eléctrica de la locación lo cual puede generar algunas horas de paralización para la MTU eléctrica.
- Se evidencia que los problemas con la completación, mantenimientos y problemas con la bomba jet son los inconvenientes que más tiempos de paralización han generado en las MTU'S.
- Las MTU generan más contaminación y más niveles de ruido.
- Se identifica que las MTU'S eléctricas son más costosas que las de combustión, sin embargo, se evidencia un ahorro en cuanto a costos de mantenimiento y de combustible, por lo tanto a largo plazo estas unidades eléctricas pueden generar mayores utilidades.
- Se recomienda evaluar la viabilidad de utilizar fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica, para alimentar las MTU y reducir la dependencia de los combustibles fósiles.