



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS**

TEMA:

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS BALANCINES
ACCIONADOS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
QUE PROVOCAN LA PRODUCCIÓN DE GRAN CANTIDAD DE
GASES TÓXICOS EN EL CAMPO GUSTAVO GALINDO DE LA
PARROQUIA ANCÓN”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

FRANK STEVEN SUÁREZ SUÁREZ

EDGAR LENIN HOLGUÍN SUÁREZ

TUTOR:

**XAVIER ERNESTO VARGAS GUTIÉRREZ
ING. PETRÓLEO, MSC.**

LA LIBERTAD, 2021

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERIA EN PETRÓLEOS**

TEMA:

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS BALANCINES
ACCIONADOS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
QUE PROVOCAN LA PRODUCCIÓN DE GRAN CANTIDAD DE
GASES TÓXICOS EN EL CAMPO GUSTAVO GALINDO DE LA
PARROQUIA ANCÓN”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

FRANK STEVEN SUÁREZ SUÁREZ

EDGAR LENIN HOLGUÍN SUÁREZ

TUTOR:

XAVIER ERNESTO VARGAS GUTIÉRREZ

ING. PETRÓLEO, MSC

LA LIBERTAD- ECUADOR

2021

DEDICATORIA FRANK STEVEN SUÁREZ SUÁREZ

A mis padres con cariño, a mi novia
y el resto de mi familia.

DEDICATORIA EDGAR LENIN HOLGUÍN SUÁREZ

A mis padres, por todo su esfuerzo
y al apoyo de mis amigos.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“Estudio del comportamiento de los balancines accionados por motores de combustión interna que provocan la producción de una gran cantidad de gases tóxicos en el campo Gustavo Galindo de la parroquia Ancón”**. Elaborado por los estudiantes Frank Steven Suárez Suárez y Edgar Lenin Holguín Suárez, egresados de la carrera de Ingeniería en Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti-plagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida.

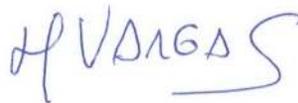


Curiginal

Document Information

Analyzed document	Tesis para URKUND.docx (D111347895)
Submitted	8/16/2021 4:23:00 PM
Submitted by	Xavier Ernesto Vargas Gutierrez
Submitter email	xvargas@upse.edu.ec
Similarity	7%
Analysis address	xvargas.upse@analysis.urkund.com

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Xavier Ernesto Vargas Gutiérrez, MSc.

C.I.: 0906392493

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Frank Steven Suárez Suárez**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“Estudio del comportamiento de los balancines accionados por motores de combustión interna que provocan la producción de una gran cantidad de gases tóxicos en el campo Gustavo Galindo de la parroquia ancón”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Frank Steven Suárez Suárez

Autor de Tesis

C.I. 2400127904

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Edgar Lenin Holguín Suárez** -, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“Estudio del comportamiento de los balancines accionados por motores de combustión interna que provocan la producción de una gran cantidad de gases tóxicos en el campo Gustavo Galindo de la parroquia Ancón”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Edgar Lenin Holguín Suárez

Autor de Tesis

C.I. 1753814985

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

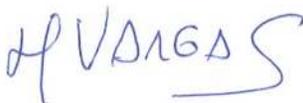
Ing. Xavier Ernesto Vargas Gutiérrez, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **“Estudio del comportamiento de los balancines accionados por motores de combustión interna que provocan la producción de una gran cantidad de gases tóxicos en el campo Gustavo Galindo de la parroquia Ancón”** previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo, elaborado por el Sr. Frank Steven Suárez Suárez y el Sr. Edgar Lenin Holguín Suárez-, egresado de la Escuela de Petróleo, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'XVARGAS', is written over a horizontal line.

Ing. Xavier Ernesto Vargas Gutiérrez, MSc.

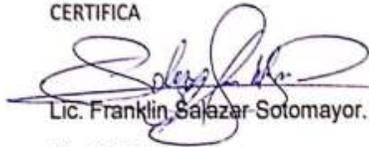
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

A petición de los interesados tengo a bien certificar que he realizado la revisión y análisis del contenido del presente ensayo con el Tema: **Estudio del comportamiento de los balancines accionados por motores de combustión interna que provocan la producción de gran cantidad de gases tóxicos en el Campo Gustavo Galindo de la parroquia Ancón**, de los egresados **Suárez Suárez Frank Steven**, con cédula de identidad No. **2400127904**, y de **Holguín Suárez Lenin Edgar**, con cédula de identidad No. **1753814985**, de la Carrera de Ingeniería en Petróleos de la Universidad Península de Santa Elena.

Certificación, que otorga en la ciudad de La Libertad, martes, 17 de agosto del 2021, para fines académicos respectivos.

Que el mencionado trabajo, en el contexto general, cumple con los requisitos lingüísticos dados por la Real Academia Española para el uso del idioma español.

CERTIFICA



Lic. Franklin Salazar Sotomayor. MSc.
Ci. 0913938692

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos la oportunidad de alcanzar otra meta más en nuestras vidas, por iluminar y ayudarnos a triunfar en cada obstáculo y los que seguirán apareciendo.

A nuestro tutor, por la paciencia y la enseñanza para culminar nuestro trabajo de investigación.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en especial los que conforman la Facultad de Ingeniería en Petróleo, por impartir la excelente formación académica

A la empresa EP. PACIPETROL, por su ayuda en brindarnos la información necesaria del campo Gustavo Galindo Velazco para llevar a cabo este proyecto.

TRIBUNAL DE GRADO



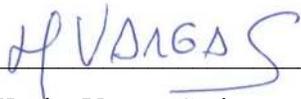
Qf. Rolando Calero Mendoza, PhD.
DIRECTOR DE LA CARRERA
DE PETRÓLEOS

ROMEL
ANGEL
ERAZO
BONE



Firmado digitalmente por
ROMEL ANGEL
ERAZO BONE
Fecha: 2021.11.26
09:26:38 -05'00'

Ing. Romel Erazo Bone, MSc
PROFESOR DE ARÉA



Ing. Xavier Vargas Gutierrez, MSc
TUTOR



Firmado digitalmente
por ERICA
LORENZO
GARCIA

Lcda. Erica Lorenzo García, PhD.
DOCENTE Y SECRETARÍA DE LA UIC

CONTENIDO

pág.

DEDICATORIA FRANK STEVEN SUÁREZ SUÁREZ.....	i
DEDICATORIA EDGAR LENIN HOLGUÍN SUÁREZ.....	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	v
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	vi
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
CONTENIDO	x
LISTA DE FIGURAS.....	xv
LISTA DE TABLAS.....	xvii
GLOSARIO.....	xix
RESUMEN	xx
ABSTRAC	xxi
INTRODUCCION.....	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Plantamiento del problema	4
1.3 Justificación	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6

1.5	Alcance	6
1.6	Hipótesis	7
1.7	Variables de la hipótesis	7
1.7.1	Variable independiente.....	7
1.7.2	Variable dependiente.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		8
2.1	Descripción del campo Gustavo Galindo	8
2.1.1	Ubicación geográfica.....	8
2.2	Sistemas de levantamiento artificial	9
2.2.1	Sistema de levantamiento artificial por gas.....	9
2.2.2	Sistema de levantamiento artificial por herramienta local.....	10
2.2.3	Sistema de levantamiento artificial plunger lift.....	11
2.2.4	Levantamiento artificial por bombeo mecánico.	11
2.3	Tipo de unidades de bombeo mecánico.....	12
2.3.1	Unidad de bombeo mecánico convencional.....	12
2.3.2	Unidad de bombeo mecánico Mark II.....	13
2.3.3	Unidad de bombeo mecánico aero balanceada.....	14
2.4	Tipos de motores en el sistema de bombeo mecánico	15
2.4.1	Motores de combustión interna.....	16
2.4.2	Motor de combustión interna Arrow c-46.....	22
2.4.3	Motores eléctricos.....	25
2.4.4	Eficiencia de un motor eléctrico.....	29
2.4.5	Motores IEEE 841.....	33
2.4.6	Energía fotovoltaica en motores eléctricos.....	35
2.5	Contaminación atmosférica y cambio climático.....	35
2.5.1	La atmósfera.....	35

2.5.2	Composición de gases de la atmosfera.	36
2.6	Nuevas tecnologías para reducir las emisiones de gases tóxicos en motores de combustión interna.....	37
2.6.1	Filtro Ehc Pf.	37
2.6.2	Tecnología para reducir las emisiones de material particulado.....	38
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		39
3.1	Tipo de investigación.....	39
3.2	Técnica de investigación	40
3.2.1	Observación directa.....	40
3.3	Intrumento de investigación.....	40
3.3.1	Guía de observación.....	40
3.3.2	Población y muestra.....	40
3.4	Pozos que usan bombeo mecánico en el campo GGV.....	41
3.4.1	Coordenadas de ubicación en la sección 73.	42
3.4.2	Producción diaria en la sección 73.	44
3.5	Propuesta.....	45
3.5.1	Objetivo.....	45
3.5.2	Alcance.....	45
3.5.3	Descripción de la propuesta.	45
3.5.4	Ubicación y características de la zona.....	48
3.5.5	Cargas eléctricas.	48
3.5.6	Bases y criterios de diseño eléctrico estudio de demanda.	50
3.5.7	Determinación de la potencia de transformadores.....	50
3.5.8	Características de la red de media tensión.	51
3.5.9	Características de la red de baja tensión.	51
3.5.10	Tableros de control de motores.	52

3.5.11	Determinación de calibre de conductores.....	52
3.5.12	Unidades de ingeniería.	53
3.5.1	Estudio de demanda y capacidad de transformadores.....	53
3.5.2	Determinación de la capacidad de los transformadores.	54
3.5.3	Capacidades de centros de transformación.....	55
3.6	Software asistente rpmac.....	56
CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS.....		57
4.1	Motores de combustión interna	57
4.1.1	Motores Arrow.....	57
4.1.2	Combustible que usan los motores Arrow.....	57
4.1.3	Mantenimiento de los motores Arrow.	58
4.2	Generación de los gases.....	58
4.3	Motores eléctricos.....	59
4.4	Bases y criterios de diseños de instalación.	60
4.4.1	Diseño de base metálica.	60
4.4.2	Cargas de diseño.	60
4.5	Nuevo sistema de transmisión.....	62
4.5.1	Cubre bandas.	63
4.6	Gastos.	63
4.7	Resultados del software asistente rpmac.....	66
4.8	Análisis económico	67
4.8.1	Valor actual neto.....	67
4.8.2	Tasa interna de retorno (TIR).	67
4.8.3	Tiempo recuperación de la inversión.	68
4.8.4	Costo/ beneficio	68
4.8.5	Costos del proyecto	68

4.8.6	Ingresos por barril de petróleo.....	69
4.8.7	Flujo de caja.....	70
4.8.8	Calculo del VAN.....	70
4.8.9	Calculo tasa interna de retorno.....	71
4.8.10	Calculo costo beneficio.....	71
4.8.11	Tiempo de recuperación de la inversión.....	72
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1	Conclusiones	73
5.2	Recomendaciones	74
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		75

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Bloque Gustavo Galindo Velasco (Ancón).....	8
Figura 2: Unidad de bombeo mecánico convencional.....	12
Figura 3: Unidad de bombeo mecánico Mark II.....	13
Figura 4: Unidad de bombeo aero balanceada.....	14
Figura 5. Motor de combustión interna (Arrow).....	15
Figura 6. Tiempo de un ciclo Otto.....	17
Figura 7. Motor de combustión interna Arrow c-46.....	24
Figura 8. Motor NEMA y Motor IEC.	26
Figura 9. Motor eléctrico.	27
Figura 10. Estator.	27
Figura 11. Rotor.....	28
Figura 12. Bobinado.	28
Figura 13. La carcasa.	29
Figura 14. Entrada y salida de la potencia.....	29
Figura 15. Motor eléctrico IEEE 841	34
Figura 16. Área de estudio, Sección 73.....	40
Figura 17. Producción diaria en la sección 73.....	44
Figura 18. Pozo ANC0004..	46
Figura 19. Pozo ANC1202.	47
Figura 20. Pozo ANC1230.	47

Figura 21. Ubicación de los pozos seleccionados..	48
Figura 22. Software Asistente RPMAC	56
Figura 23. Partes de base metálica de motor eléctrico	61
Figura 24. Sistema de transmisión.....	62
Figura 25. Cubre bandas y poleas.....	63
Figura 26. Resultados del software asistente RPMAC.....	66
Figura 27. Diagrama voltaje, amperio, torque vs velocidad.....	66

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Equipos se subsuelo y superficie	9
Tabla 2. Clasificación de los MCI.....	16
Tabla 3. Eficiencia para motores 900 rpm	31
Tabla 4. Eficiencia para motores de 1200 rpm.....	32
Tabla 5. Eficiencia para motores de 1800 rpm.....	33
Tabla 6. Cantidad de gases en el aire	36
Tabla 7. Característica de los filtros DPF	38
Tabla 8. Pozos que funcionan con bombeo mecánico.....	41
Tabla 9. Ubicación de los pozos en la sección 73	42
Tabla 10. Lista de pozos de la sección 73	43
Tabla 11. Pozos seleccionados	46
Tabla 12. Pozos a electrificar	49
Tabla 13. Parámetros en motores	50
Tabla 14. Red media de tensión.	51
Tabla 15. Red baja de tensión.....	52
Tabla 16. Parámetros y Unidades de ingeniería.	53
Tabla 17. Capacidad del transformador para el pozo ANC004.....	54
Tabla 18. Capacidad del transformador para el pozo ANC1202.....	55
Tabla 19. Capacidad del transformador para el pozo ANC1230.....	55

Tabla 20. Capacidad de centros de transformación.....	55
Tabla 20. Costo de materiales conductores y accesorios.....	64
Tabla 21. Costo de materiales transformadores y accesorios.....	64
Tabla 22. Costo de materiales de acometidas.....	65
Tabla 23. Costo de materiales y equipos de motores	65
Tabla 24. Inversión necesaria para poner en marcha el proyecto.....	68
Tabla 25. Ingresos por barril en un año.	69
Tabla 26. Ingreso a partir del precio del petróleo.....	69
Tabla 27. Gastos operativos a partir del precio del petróleo.	69
Tabla 28. Flujo de caja en dos años.....	70
Tabla 29. Resultados del VAN.....	70
Tabla 30. Resultado del TIR.....	71
Tabla 31. Resultado Costo Beneficio.	71
Tabla 32. Recuperación de la inversión.....	72

GLOSARIO

BOMBEO MECÁNICO: el bombeo mecánico es un procedimiento de succión y transferencia, casi continúa del petróleo hasta la superficie.

EFECTO INVERNADERO: determinados gases presentes en la atmósfera, retienen parte de la radiación térmica emitida por la superficie terrestre tras ser calentada por el sol, manteniendo la temperatura del planeta a un nivel adecuado para el desarrollo de la vida.

ENERGÍA FOTOVOLTAICA: la energía solar fotovoltaica, es una fuente de energía renovable que se obtiene directamente de la radiación solar mediante un panel solar que a su vez la transforma en energía eléctrica.

ENERGÍAS RENOVABLES: las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. Por ejemplo, la energía solar, la energía eólica o la energía mareomotriz, son fuentes renovables de energía.

MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA: el motor de combustión interna, es un motor térmico en el que una parte de la energía liberada en quemar el combustible, se transforma en trabajo, es decir, en movimiento.

MITIGAR: moderar o minimizar una acción que se esté ejecutando.

PISTÓN: el pistón también conocido como émbolo, forma parte del motor, y consiste en una pieza que se mueve de forma alternativa dentro de un cilindro y que interactúa con un fluido.

VÁLVULAS DE RETENCIÓN: válvulas check o válvulas de influjo, cierran completamente el paso de un fluido en circulación al mismo tiempo que permiten el fluido libre en el lado contrario.

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS BALANCINES
ACCIONADOS POR MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
QUE PROVOCAN LA PRODUCCIÓN DE GRAN CANTIDAD DE
GASES TÓXICOS EN EL CAMPO GUSTAVO GALINDO DE LA
PARROQUIA ANCÓN”**

RESUMEN

Este estudio describe los sistemas de levantamiento artificial que en la actualidad operan en el campo Gustavo Galindo Velazco, siendo el sistema más usado el bombeo mecánico y en el cual está enfocado el presente documento, puesto que para este sistema es necesario el uso de un motor, cuyo funcionamiento es a base de combustión interna.

Se plantea la propuesta para la sección 73, tomando en cuenta los procedimientos que se hicieron en la primera parte del proyecto denominado “electrificación de la sección 67”, las cuales, con datos recabados por el departamento de mantenimiento, los costos de operación se reducen con respecto a los motores de combustión interna.

La electrificación de los tres pozos de esta sección se propuso debido a la producción de estos, y a la necesidad de generar un ambiente estable y con esto llevar a cabo la idea principal, que es reducir la emisión de gases producidos por los MCI.

PALABRAS CLAVES- Motores de combustión interna - Motores eléctricos - Cambio de motor

"STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE ROCKER ARMS DRIVEN BY INTERNAL COMBUSTION ENGINES THAT CAUSE THE PRODUCTION OF A LARGE AMOUNT OF TOXIC GASES IN THE GUSTAVO GALINDO FIELD IN THE PARISH OF ANCÓN".

ABSTRAC

This study describes the artificial lift systems that currently operate in the Gustavo Galindo Velazco field, being the most used system the mechanical pumping and on which this document is focused, because for this system it is necessary to use an engine whose operation is based on internal combustion.

The proposal for section 73 is made taking into account the procedures that were done in the first part of the project called electrification of section 67, which, according to data collected by the maintenance department, the operating costs are reduced with respect to internal combustion engines.

The electrification of the three wells of this section was proposed due to the production of these, and the need to generate a stable environment and thus carry out the main idea which is to reduce the emission of gases produced by the ICMs.

KEYWORDS - Internal combustion engines - Electric motors - Change of motors

INTRODUCCION

El resolver el problema de la energía derivada del petróleo es fundamental, para un mejor futuro de la humanidad, por eso, es tan importante uno de los temas prioritarios que debe resolver la ciencia. La energía es tanto, una solución para el desarrollo sostenible como un problema, siendo una de las principales causas de contaminación del hábitat, causando daños a la salud humana y al medio ambiente.

El presente estudio se llevará a cabo, en el campo Gustavo Galindo, en la parroquia Ancón, debido a su importancia, puesto que, en esta parroquia se perforó el primer pozo a nivel nacional y tendrá como línea de investigación el manejo ambiental. Se llegó a esta decisión debido a que, los motores de combustión interna que proporcionan energía a los balancines, provocan una gran contaminación en el área donde se encuentran.

Una de las principales desventajas de los motores de combustión interna, es la emisión de gases tóxicos como: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), dióxido de azufre (SO₂) y óxido de nitrógeno (NO). Se analizarán las razones por las que se prevé sustituir estos motores por motores eléctricos, como principal fuente de energía para su funcionamiento.

Las organizaciones que laboran con petróleo y sus derivados, deberían llevar a cabo mejores e innovadoras maneras de productividad y auto-sostenibilidad, para de esta forma poder mitigar la contaminación y la conservación del medio ambiente.

Se realizará un estudio mixto, con dos tipos de investigación para la recolección de datos referentes a los motores de combustión interna. Se pretende utilizar la investigación bibliográfica, por otra parte, la investigación de campo permitirá recolectar datos de manera directa. Con todo esto se pretende proponer un cambio de motor, debido a que el motor actual con el que se accionan los balancines provoca gran emanación de gases tóxicos perjudiciales para la sociedad.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los primeros antecedentes de las máquinas de desplazamiento positivo, tienen sus inicios a partir del siglo XVII. Estaban basados en el funcionamiento del cañón. Según el científico holandés Christian Huygens, construyó en 1.673, un cilindro en donde en el interior se desplazaba un pistón accionado por los gases procedentes de una explosión de pólvora. Cuando el pistón terminaba su carrera ascendente, descubría unas lumbreras por las que se escapaban los gases calientes y, al enfriarse el gas residual, la presión atmosférica, actuaba sobre la cara opuesta del pistón, lo que empujaba hacia abajo.

Tras la muerte de Rudolf Diésel en 1.913, dejó como legado los motores de diésel, revolucionando todo el sector del transporte y posteriormente tras varios cambios el sector petrolero, siendo este un motor térmico de combustión interna, que tuvo su origen en 1.892, pero no fue hasta 1.895, que el primer motor comienza a funcionar en 1.912. Se lo implementó en una locomotora para consecutivamente en 1.923 ser utilizado en un camión. Básicamente se inyecta combustible diésel en el motor en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, produciendo una mezcla de aire y gas, que se quema rápidamente, lo cual ocasiona que el gas que emana, se expanda (Consuegra Pacheco, 2007). Con el pasar de los años, los motores diésel serían implementados en los balancines de las industrias petroleras para generar energía y aumentar la producción.

Un primer trabajo corresponde a Edison Iván Córdova Morales, quien realizó el “estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica”. La investigación es de diseño experimental y bibliográfico.

Dentro de la muestra están considerados los parámetros de funcionamiento como son la potencia y torque. El tratado tiene como objetivo general, realizar un estudio de un motor de combustión interna y determinar sus parámetros de funcionamiento y con las pruebas realizadas al motor se determinó que, la velocidad (r.p.m.), potencia y torque de operación, son diferentes arrojando unos valores de potencia y torque máximos. A los cuales trabaja el motor y su velocidad de operación (Córdova Morales, 2013). Este estudio se relaciona con la investigación en curso, puesto que propone estudiar el funcionamiento de los MCI, su desempeño y las condiciones de trabajo que se puede aplicar al motor de combustión interna de potencia puesto a prueba.

Por otra parte, en lo que concierne a la utilización de energía renovable dentro de las industrias petroleras, el campo operado por Petroleum Development Oman, o en sus siglas en inglés DOP, tras tres años de estudio (que produce más de 1.25 millones de barriles por día), ha determinado que la energía solar es un método más económico (Capacitación Integral Empresarial, 2019). A esto se suma la importancia que varios países le están otorgando a este tipo de energía, tanto así que, muchos de estos están realizando grandes inversiones.

Respecto a lo anteriormente mencionado, Ugarteche y De león (2020) enfatizan: “La anglo-neerlandesa Royal Dutch Shell, la petrolera más grande de Europa y la segunda en el mundo, mencionó que en el periodo de 2016 a 2020, se invertirían entre cuatro y seis mil millones de dólares en energía eólica, solar”. A su vez países como Perú, Estados Unidos, Colombia y Francia, se han pronunciado en la actualidad con los cambios que están en marcha, en relación a la energía renovable.

Con esto, queda en evidencia los cambios de matriz energética que están optando ciertas empresas petroleras a nivel mundial, con el único propósito de mejorar el aire contaminado, además de prevenir cualquier peligro para la industria petrolera. Los sistemas accionados por motores eléctricos que se utilizan en procesos industriales, consumen un 63% de la electricidad usada en el sector industrial estadounidense. ABB (s.f) afirman:

Un informe del Departamento de Energía (DOE) de EE. UU, que fuera publicado en el año 2.002, indica que las empresas que aplicaban las “mejores prácticas”, realmente lograron un promedio del 33% de ahorros al implementar mejoras en la eficiencia de

motores y sistemas motorizados, incluyendo el uso de controles de velocidad ajustable. El impacto positivo potencial en las utilidades de las empresas y en el medio ambiente es muy significativo. (p.13)

1.2 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

En Ecuador, la industria petrolera es una de las principales fuentes de ingresos, por lo que tiene un importante rol en la economía del país. En concordancia con el Banco Central del Ecuador (BCE, 2020), las cifras de ventas petroleras al exterior, representaron 6.715 millones de dólares, es decir, el 40 por ciento del total de las exportaciones nacionales, superando de forma significativa a los productos no petroleros del país como: el camarón, banano, pesca y flores, luego la refinación del mismo ha permitido abastecer de combustibles al mercado interno.

Según BCE (2002) refiere: “La producción nacional de petróleo para el periodo 2020, fue 175.45 millones de barriles, igual a una producción promedio diaria de 479.37 miles de barriles, inferior a 9.7% que fue lo producido diariamente en el 2019, y 7.3% menos de lo producido en el 2018” (p.1). Ciertamente el hallazgo del crudo en el Ecuador, trajo consigo múltiples beneficios para el crecimiento de la sociedad ecuatoriana, pero más tarde después de la explotación, se dejarían ver sus repercusiones.

Dentro de las principales causas de contaminación, es el derramamiento del crudo, que arrastra consigo grandes impactos ambientales, entre ellas: la destrucción no compensada de los recursos naturales, la contaminación de las aguas, efectos sobre el suelo, efectos de la flora y la fauna, pero más concretamente la contaminación del aire que es la problemática a estudiar.

Pero, ¿cómo se contamina dentro del proceso de producción, extracción o perforación del hidrocarburo? Por lo general, es conocido que, para el funcionamiento los balancines, se necesita del abastecimiento de energía para producir el movimiento de arriba hacia abajo, la misma que es obtenida de los motores de combustión interna o motores eléctricos, los cuales mediante un sistema de engranaje movilizan la unidad de superficie del sistema.

Los motores de combustión interna están relacionados directamente con la exploración y perforación, al ser herramientas propias del área de perforación. Desde el punto de vista

de Calderón Enríquez (2014), en los campos de Pacipetrol, los motores de combustión interna mayormente empleados, son de tipo ARROW de entre 9 y 13 hp y eléctricos de 10 hp (p. 36).

En la península de Santa Elena, se tiene un promedio de 35 pozos en producción en el Bloque 1, y en el Bloque Gustavo Galindo, un promedio de 1.240 pozos. En la parroquia de Ancón, se encuentra el Campo Gustavo Galindo descubierto en 1.911 tras la perforación del pozo Ancón 1, por la compañía ANGLO. Es aquí en donde, se centrará el estudio de la investigación, puesto que este campo específicamente cuenta con 2.880 pozos perforados y 1.567 pozos activos para la producción del crudo (EP Petroecuador, 2013). La mayoría opera con motores de combustión interna (MCI), y por todo lo antes mencionado, en el campo Gustavo Galindo, es donde se está dando la emanación de gases contaminantes a causa de la implementación de MCI.

1.3 JUSTIFICACION

La intención del proyecto, surge de la necesidad de beneficiar a Pacipetrol, particularmente al campo petrolero Gustavo Galindo en la parroquia Ancón, para encontrar nuevas e innovadoras alternativas, que permitan reducir de alguna manera las emisiones de gases generados por motores de combustión que usan los balancines para producir hidrocarburos. Una de las posibles soluciones es, instalar un filtro en el escape del motor. Esta medida tiene como objetivo reducir la emisión de gases tóxicos que contaminan el aire.

Otras de las probables soluciones, es instalar motores eléctricos en sitios que tenga la facilidad o ingreso a la electricidad, dichos motores funcionan con energía limpia y renovable. Su punto a favor más importante es que, no tienen impacto ambiental, puesto que no emiten gases de efecto invernadero. Además, hay diversos tipos de recursos como lo son la energía solar y eólica etcétera.

Con la determinación de reducir la contaminación atmosférica por la emisión de gases, tanto a nivel local, como también siendo visionarios y poder reducir contaminación a nivel global, se pueden tener en cuenta la implementación de nuevas tecnologías como la de los motores eléctricos, y así la empresa pueda tener rentabilidad en producción y

costos, desde el plan de electrificación de los motores en el campo Gustavo Galindo, para favorecer a la organización y al medio ambiente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general.

Justificar el cambio de motores de combustión interna por motores eléctricos, a partir de un estudio documental con el propósito de mitigar la contaminación en la zona.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Identificar los tipos de motores que generan energía a los balancines para producción del crudo.
- Describir el mecanismo de funcionamiento de los motores que usan los balancines (MCI).
- Investigar cuáles son los gases contaminantes emitidos por la combustión en los motores (MCI).
- Realizar un análisis comparativo de la vida útil de los motores de combustión interna y los motores eléctricos.

1.5 ALCANCE

El proyecto está dedicado a la divulgación científica, para dar realce al método de generación de energía eléctrica en los balancines. Para llevar a cabo el estudio, es necesario la recolección de datos que proporcionará la empresa involucrada, para luego poder procesarlos y entender cómo afecta a la sociedad y al medio ambiente, para que así, éstos puedan extraer petróleo, reduciendo así el impacto del área de observación en el medio ambiente.

Por ello, es necesario describir el funcionamiento de los motores y determinar los balancines accionados por los mismos, investigar y analizar los gases tóxicos que producen.

1.6 HIPÓTESIS

Los gases tóxicos que emiten los motores de combustión interna, son factores contaminantes, mientras que los motores eléctricos crean ambientes óptimos en la producción del crudo.

1.7 VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

1.7.1 Variable independiente.

Producción de gases tóxicos.

1.7.2 Variable dependiente.

Motores de combustión interna.

2.2 SISTEMAS DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL

Los sistemas de levantamiento artificial según Reatiqui (2015), afirma que son el primer componente, al cual se recurre una vez que se quiere aumentar la producción en un campo, con el fin de reactivar pozos que no fluyen o para incrementar la tasa de flujo en pozos activos. Dichos sistemas operan de diferentes maneras sobre los fluidos del pozo, así sea modificando alguna de sus características o aportando un empuje adicional a los mismos.

Actualmente en Ancón se implementan varios tipos de levantamiento artificial tales como:

2.2.1 Sistema de levantamiento artificial por gas.

El levantamiento artificial por inyección de gas, es un método de producción que utiliza gas comprimido a alta presión, como fuente externa de energía. El gas es inyectado en un punto de la columna de fluidos en la tubería de producción. Tiene como propósito aligerar o desplazar la columna de fluidos, reduciendo su peso. De esta manera, la energía del yacimiento será suficiente para transportar los fluidos desde el fondo hasta la superficie (Vargas, s.f.). A continuación, según el mismo autor, algunas especificaciones del levantamiento artificial por inyección de gas:

a. Componentes de los sistemas de gas lift.

Tabla 1: Equipos se subsuelo y superficie (Vargas, s.f.).

Equipos de superficie	Equipos de subsuelo
Planta compresora	Mandriles
Sistema de distribución de gas	Válvulas
Sistema de recolección de fluidos	

b. Ventajas del sistema de levantamiento gas lift.

- El equipo del subsuelo es sencillo y de bajo costo.
- Bajo costo de operación.
- Ideal para pozos de alta relación gas-líquido y con producción de arena.

c. Desventajas del sistema de levantamiento gas lift.

- Se requiere una fuente de gas de alta presión.
- El gas de inyección debe ser tratado.
- Su diseño es laborioso.

2.2.2 Sistema de levantamiento artificial por herramienta local.

La manera de funcionar este método, es parecido al sistema de Swab, la diferencia está en el uso de la botella o también conocido como cuchara, esto es un cilindro de 6 a 10 m de longitud y 3 a 6 pulgadas de diámetro, con una capacidad de llenado de ½ barril por salida para la cuchara de 3 pulgadas y 1 barril por salida para la cuchara de 6 pulgadas, es económicamente rentable y debido a las características presentes en el campo como la profundidad y la calidad del crudo, es considerado como un proceso eficiente.

Su manejo es bastante sencillo, la botella ingresa al pozo por medio del casing por gravedad, esta botella tiene una válvula de retención en su parte inferior que controla el ingreso y salida del fluido, por consiguiente, cuando la cuchara llega al fondo del pozo y topa el grado del líquido, esta válvula se abre por la presión que ejerce el fluido hacia arriba, y empieza a llenarse el cilindro. Cuando se llena la cuchara o botella con petróleo, esta es levantada mediante un cable de acero, que está conectado al malacate, generando que la válvula de retención se cierre debido al peso que practica el fluido recuperado sobre el recipiente.

a. Partes del sistema de herramienta local.

- Motor.
- Malacate.
- Tanque de recobro.
- Tanque de almacenamiento principal.
- Pluma.

2.2.3 Sistema de levantamiento artificial plunger lift.

Este sistema es una manera de levantamiento artificial, con base en un procedimiento de cierre y abertura del pozo en superficie. Madrigal (2012), exhibe que, el objetivo es usar la energía del yacimiento para generar los líquidos acumulados en el pozo, por medio de un pistón que actúa como una interface solida entre el grado del líquido y gas de levantamiento.

A continuación, se describen ventajas y desventajas que refiere (Madrigal, 2012):

a. Ventajas del plunger lift.

- No necesita energía adicional o externa para funcionar.
- Mantiene la tubería de producción limpia de hidratos y parafinas.
- Conserva la presión de gas en formación.
- Económico. Reduce costos de levantamientos.

b. Desventajas del plunger lift.

- El sistema utiliza GLR específicas.
- Produce a 400 BPD.
- No es adecuado para pozos con migración de sólidos

2.2.4 Sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico.

El bombeo mecánico es el método de levantamiento artificial más utilizado en todo el mundo. Este procedimiento se basa en una bomba de subsuelo de acción reciprocante, que se abastece con energía producida por medio de una sarta de cabillas. La energía proviene de un motor eléctrico o de combustión interna. El levantamiento del crudo se hace por medio de la acción de las bombas de subsuelo, las cuales son accionadas por la sarta de varillas, que les transmiten la potencia solicitada, generada en la superficie. Estas bombas consisten en esencia de un pistón dentro de un barril, con válvulas de acceso y salida de fluido, además tienen la posibilidad de ser de acción fácil o de acción doble (Gil y Rolón, 2009).

2.3 TIPO DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO.

2.3.1 Unidad de bombeo mecánico convencional.

En la U.B.M. convencional se tiene el reductor de engranes, colocado en la parte trasera con su apoyo a la mitad del balancín. Su balanceo es a través de contrapesos y su rotación es en contra de las manecillas del reloj (Hernández Cortés, 2000, p.82)



Figura 2: Unidad de bombeo mecánico convencional. (Hernández

Cruz (2020) menciona algunas ventajas y desventajas del bombeo mecánico convencional:

a. Ventaja del bombeo mecánico convencional.

- Puede bombear el pozo a una muy baja presión de entrada para obtener la máxima producción.
- Fácil de operar y de hacer mantenimiento.
- Usualmente es la más eficiente forma de levantamiento artificial.
- Puede ser monitoreada remotamente con un sistema de control de supervisión de bomba.

b. Desventajas del bombeo mecánico convencional.

- No puede funcionar con excesiva producción de arena.
- La eficiencia volumétrica cae considerablemente cuando se tiene gas libre.
- No puede ser usada en pozos off shore por los grandes equipos de superficie y limitada la capacidad de producción es comparada con otros métodos.

2.3.2 Unidad de bombeo mecánico Mark II.

En la U.B.M. según Hernández Cortés (2000), Mark II con el reductor de engranes colocado al frente, su balanceo es a través de contrapesos y su rotación es conforme a las manecillas del reloj, puesto que, su sistema de lubricación en el reductor, es exclusivamente para esta rotación, y no se puede operar en rotación contraria porque dañaría considerablemente el reductor (p.82).



Figura 3: Unidad de bombeo mecánico Mark II. (Hernández Cortés, 2000)

2.3.3 Unidad de bombeo mecánico aero balanceada.

En la unidad de bombeo aero-balanceada, su balanceo es a través de aire suministrado por motocompresor hacia un cilindro amortiguador. El motocompresor se calibra a un paro y a un arranque automático, dependiendo del peso de la sarta de varillas para que, el motor principal opere sin esfuerzos. Su rotación y el sistema de lubricación del reductor es igual al de la unidad convencional. Las partes principales de la unidad aero-balanceada son iguales a la de las unidades Mark II y convencional (Hernández Cortés, 2000, p.82).



Figura 4: Unidad de bombeo aero balanceada. (Hernández Cortés, 2000)

Como todos los sistemas de levantamiento artificiales estos se dividen en dos partes.
Anónimo (2010):

a. Equipo de subsuelo.

- Bombas.
- Sarta de varilla.

b. Equipo de superficie.

- Accesorios de seguridad y control.
- El motor.
- Caja reductora.
- Cuerpo de soporte.
- Contrapeso.

2.4 TIPOS DE MOTORES EN EL SISTEMA DE BOMBEO MECÁNICO

Como se mencionó anteriormente, uno de los componentes más importantes de un sistema de bombeo mecánico, es el motor para que todo el sistema pueda funcionar. La función del motor principal es proporcionar energía mecánica para el dispositivo, que se transfiere a la bomba y se utiliza para levantar el fluido. Por supuesto, el motor principal seleccionado para una unidad determinada, debe tener suficiente potencia para levantar el fluido a la tarifa requerida, del nivel de trabajo del fluido en el pozo.

El motor principal puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, la selección del tipo de motor principal depende: de los recursos locales del suministro y del costo de combustible (diésel, gas natural o energía eléctrica), costo de mantenimiento y de la existencia del personal experimentado (Hernández Cortés, 2000, p.82).



Figura 5. Motor de combustión interna Arrow. (Hernández Cortés, 2000)

2.4.1 Motores de combustión interna.

Para poner en funcionamiento las diversas máquinas, Rafael y Hernández (2014) afirman:

La energía mecánica es indispensable, esta energía se puede obtener utilizando energía térmica, hidráulica, solar y eólica. La más empleada, es la energía térmica que se obtiene de la quema de los combustibles de naturaleza orgánica tales como los hidrocarburos. Dentro de los equipos que transforman la energía térmica en trabajo, se encuentran los motores de combustión interna, los cuales consumen el 80% de la energía derivada de los hidrocarburos a nivel mundial. (p. 3).

Tabla 2. Clasificación de los MCI Fuente: Rafael y Hernández (2014)

Clasificación	
Aplicación	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia y generación de energía.
Diseño básico del motor	Motores recíprocos (subdivididos por el arreglo de los cilindros en línea, en V, etc.), motores rotatorios.
Ciclos de funcionamiento	Ciclo de cuatro tiempos: aspirado naturalmente (admitiendo el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbo cargado (admitiendo la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una tubería de extractor), ciclo de tiempos: sobre alimentado y turbo cargado.
Válvula o diseño del puerto y localización	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
Combustible	Gasolina, diésel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol) hidrógeno.
Método de preparación de la mezcla	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección el combustible en el cilindro del motor.
Método de encendido	Encendido por chispa, encendido por compresión.
Diseño de la cámara de combustión	Cámara abierta, cámara dividida.
Método de control de carga	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire juntos, permanece sin cambio control del flujo solamente, una combinación de éstos.
Método de enfriamiento	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales).

- a. **Principio de funcionamiento de los motores de combustión interna:** El ciclo Otto se basa en el movimiento alternativo (arriba y abajo) del pistón en el cilindro. El ciclo está abierto porque la mezcla gas combustible-aire se renueva en cada momento o fase de entrada. El ciclo completo incluye 4 carreras y el pistón tiene dos carreras hacia arriba y hacia abajo (Plantas de Cogeneración, s.f.).

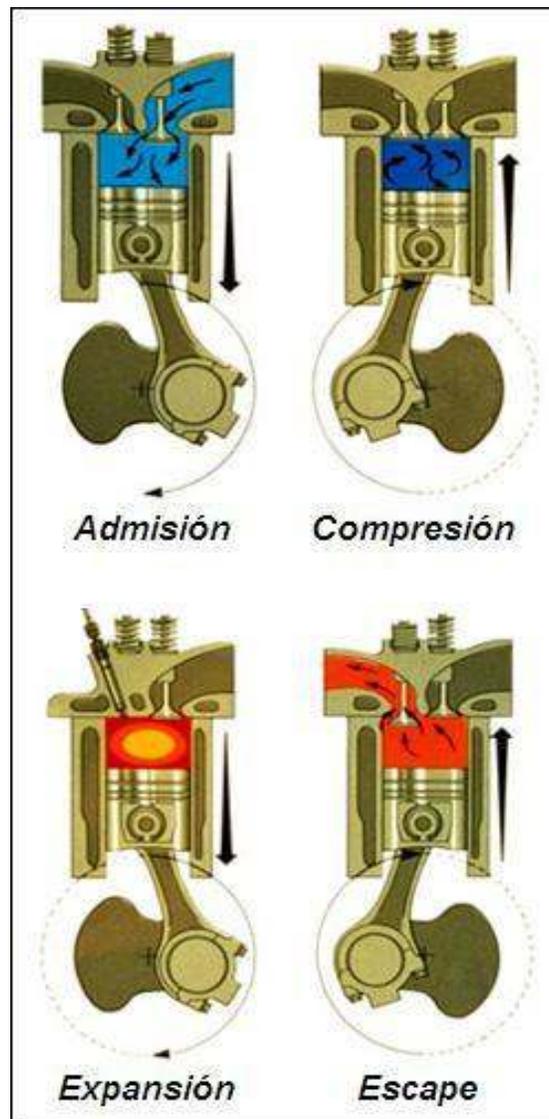


Figura 6. Tiempo de un ciclo Otto. (Plantas de Cogeneración, s.f)

Según Plantas de Cogeneración (s.f.), las fases en un motor alternativo de cuatro tiempos son:

- *Tiempo 1 Admisión:* El pistón se encuentra en el PMS (punto muerto superior). La válvula de admisión se abre y entra una mezcla de gas y aire en el cilindro. Esta mezcla puede estar a presión atmosférica y ser aspirada por la depresión creada en el movimiento de bajada, o como en los actuales motores industriales, puede haber sido comprimida en un turbocompresor y ser inyectada en el cilindro a presión. Cuando el pistón llega al PMI (punto muerto inferior), la válvula de admisión se cierra. El cigüeñal ha dado media vuelta.
 - *Tiempo 2 Compresión:* El pistón, en su subida desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior comprime la mezcla. Las válvulas de admisión y escape están cerradas. Un poco antes de llegar a la parte más alta, se produce el encendido de la bujía, y la mezcla deflagra. El cigüeñal ha dado ya una vuelta completa. Estas dos etapas o tiempos son consumidoras de energía, pues hasta ahora no se ha generado ningún trabajo.
 - *Tiempo 3 Expansión:* Los gases producidos en la explosión se expansionan, lanzando el pistón hacia abajo y produciendo el movimiento del cigüeñal. Las válvulas de admisión y escape siguen cerradas. De los cuatro tiempos, este es el único en el que se desarrolla trabajo. Los otros tres, son consumidores de energía mecánica. El cigüeñal ha dado una tercera media vuelta. El pistón llega finalmente al PMI.
 - *Tiempo 4 Al alcanzar el PMI:* La válvula de escape se abre y libera los gases quemados producidos en la combustión. Al llegar al PMS esta válvula se cierra y se abre nuevamente la de admisión, comenzando un nuevo ciclo. El cigüeñal ha dado dos vueltas completas.
- b. **Balance térmico de un motor de combustión interna:** Por lo general los balances de energía en los motores se efectúan bajo condiciones estacionarias estabilizadas, hay que considerar que los motores siempre están funcionando en condiciones variables de operación. Al efectuar un balance térmico del motor partiendo de pruebas puntuales bajo un ciclo de conducción no resulta ser muy exactas y no consideran las fluctuaciones causadas por los procesos transitorios. De forma paralela se sabe que los

ciclos normalizados son representativos de la utilización media. Las mediciones registradas durante el ciclo permiten profundizar más en los caminos tomados por la energía, en comparación con las valoraciones realizadas, mediante las mediciones efectuadas en los puntos de operación discretos y estabilizados. (Cornejo, L., y Velásquez, D., 2020, p. 14).

c. Parámetros de interés para todos los motores de combustión interna.: Según TECHAMC (S.F), los parámetros son los siguientes:

- *Potencias.*

Potencia indicada (Pi): Es la potencia desarrollada en el interior del cilindro.

$$P_i = \frac{W_i}{i} \Rightarrow W_i = F_i \times L \Rightarrow F_i = p_i \times A = p_i \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$W_i = p_i \cdot (V_1 - V_2) = p_i \cdot V_u$$
(1)

Teniendo en cuenta todos los cilindros del motor:

$$P_i = \frac{V_r \cdot p_i \cdot n}{k \cdot 60 \cdot 75}$$
(2)

P_i = Potencia indicada en caballos de vapor (**CV**).

p_i = Presión media indicada, representa la potencia media, que se desarrolla en un cilindro en kilogramos por metros cuadrados (**Kg/m²**).

V_r = Cilindrada total en metros cúbicos (**m³**).

V_u = Cilindrada unitaria (**m³**).

n = Revoluciones por minuto del cigüeñal (**rpm**).

L = Carrera (**m**).

k = Representa las carreras útiles por vueltas del cigüeñal.

$1/60$ = Constante para pasar los minutos de RPM a segundos.

$1/75$ = Constante para pasar los Kg · m a CV.

Potencia efectiva (P_e): Potencia desarrollada en el eje de salida del motor.

$$P_e = M \cdot \omega \quad (3)$$

P_e = Potencia en julios (**J**).

M = Par motor en el eje del motor en Newton metro (**N · m**).

ω = Velocidad angular en radianes por segundo (**rad/s**).

Potencia pérdida o potencia pasiva (P_p): Es función de los rozamientos entre las piezas del motor.

$$P_p = P_i - P_e \quad (4)$$

- *Cilindradas.*

Cilindrada unitaria (V_u): Representa el volumen arrido por el pistón al pasar desde el PMS al PMI en un cilindro, es decir, es el volumen barrido en una carrera.

$$V_u = V_1 - V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \quad (5)$$

Magnitudes y unidad

V_u = Volumen del cilindro en centímetros cúbicos (**cm³**).

D = Diámetro del cilindro en centímetros (**cm**).

L = Carrera del pistón en centímetros (**cm**).

Cilindrada total (V_t): Representa el volumen útil total de los cilindros del motor.

$$V_t = N \cdot V_u \quad (6)$$

Magnitudes y unidades.

V_t = Cilindrada del motor en centímetros cúbicos (**cm³**).

N = Numero de cilindros del motor.

V_u = Cilindradas unitarias en centímetros cúbicos (**cm³**).

- *Combustibles.*

Dosado (D): Representa la proporción de aire necesaria para quemar un combustible determinado.

$$D = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible}} \quad (7)$$

Consumo específico de combustible.

$$G_{pe} = \frac{1}{G_e \cdot \eta} \quad (8)$$

- *Rendimientos.*

Rendimiento indicado (η_i): Representa la relación entre el trabajo realizado en el interior del cilindro y el calor aportado.

$$\eta_i = \frac{W_I}{Q_{ap}} \quad (9)$$

W_I = Trabajo realizado en el cilindro en julios (**J**).

Q_{ap} = Calor aportado en julios (**J**)

Rendimiento efectivo (η_e).

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_{ap}} \quad (10)$$

W_e = Trabajo realizado por la maquina en su eje en julios (**J**).

Q_{ap} = Calor aportado en julios (**J**).

Rendimiento mecánico (η_m): Representa la relación entre el rendimiento efectivo y el indicado. Da una idea de las pérdidas por rozamientos que posee la máquina.

$$\eta_m = \frac{\eta_e}{\eta_i}$$

(11)

2.4.2 Motor de combustión interna Arrow c-46.

El diseño de estos motores consta de lo siguiente, Arrow engine company (s.f) menciona:

a. *Circulación.*

- *Circulación del aceite:* El aceite es succionado por la bomba de aceite desde el sumidero de aceite a través de un filtro, montado en el exterior del motor, dentro del bloque de la base del eje de levas, al rodaje del eje de levas y al levanta válvulas. Una válvula de regulación de presión de aceite, está ubicada en el bloque de la base del eje de levas accesible, sin sacar el conjunto del eje de levas. El aceite derivado de la válvula reguladora es pulverizado sobre el engranaje del eje de levas.
- *Sumidero del aceite:* La base del motor es el depósito del aceite. La base tiene capacidad para gran cantidad de aceite, lo que alarga los intervalos entre cambios.
- *Bomba de aceite:* Una bomba de aceite tipo trocaidal, suministra el aceite a presión al sistema de circulación de aceite. La bomba de aceite está conectada e impulsada por el conjunto del eje de levas. La bomba de aceite no necesita inspección sino durante el reacondicionamiento del motor, cuando se debe: desarmar, limpiar, inspeccionar y verificar su desgaste. Si hubiera acumulación extrema de lodo, requerirá el desarmado ocasional de la bomba para limpiarle los conductos y la válvula de alivio. Una baja presión de aceite es una posible indicación de conductores obstruidos.
- *Válvula de alivio de presión aceite:* La válvula de alivio de presión de aceite, que está ubicada en el bloque de la base del eje de levas, provee una adecuada presión de aceite a todas las partes del motor. Si es necesario regular la presión del aceite, ésta puede

ser efectuada insertando o quitando arandelas en el tapón ubicado detrás del resorte de la válvula de alivio. Este tapón siempre debe estar bien ajustado. La presión de aceite no debe ser regulada aflojando este tapón.

- *Filtro de aceite:* El filtro de aceite es accesible en el exterior del motor y es del tipo de flujo total. - Tiene una válvula de desviación que permite el flujo de aceite a los rodamientos del motor, aunque el filtro esté obstruido.

b. Sistema de combustible.

- *Sistema de combustible y carburador:* El motor opera normalmente con combustibles gaseosos. - Adecuadas regulaciones del combustible son importantes para asegurar una operación eficiente, alcanzar el caballaje de clasificación y una vida prolongada.
- *Consumo de combustible de los motores Arrow:* Para llegar al rango de consumo de combustible de los motores *Arrow*, hay que tener en mente que todos los motores de combustión interna, son motores que usan calor. - Esto quiere decir que el combustible consumido, provee el calor que a su vez provee el aumento en presiones en el cilindro, para generar los impulsos de fuerza.

c. Sistema de enfriamiento. El sistema de radiador a circuito abierto, puede ser descrito como un sistema de enfriamiento donde es normal que el agua hierva en el sistema del radiador. - El vapor sube dentro del radiador o condensador y es condensado por la acción de enfriamiento del ventilador.

- *Sistema de condensado a presión:* El sistema de enfriamiento por condensador a presión, como norma, es del tipo cerrado, que trabaja a 4 LBS, sobre la presión atmosférica. - Este sistema es ventajoso cuando opera en altitud. Si se trabaja a 3.500 pies o más sobre el nivel del mar, es aconsejable utilizar el sistema de condensado a presión para mantener la temperatura en el punto de ebullición, para un mejor rendimiento del motor.
- *Válvula de alivio (condensado a presión):* Durante el período de calentamiento, aire y pequeñas cantidades de vapor saldrán por la válvula de alivio. Si sigue saliendo vapor después que el motor ha calentado y durante la operación normal del motor, verifique

si las aletas del panal están obstruidas con suciedad, lo que restringe el flujo de aire, causando el recalentamiento del motor. Inspeccione el condensador cada semana.

d. Sistema de encendido.

- *Magneto-Alta tensión:* El magneto está equipado con un acoplamiento de impulso que provee la chispa automáticamente retardada para el arranque. - Una acción de acoplamiento de impulso, ocurre una vez por revolución a bajas velocidades de arranque, y conforme aumenta la velocidad, la fuerza centrífuga actúa sobre el acoplamiento para eliminar la acción de impulso.
- *Magnetos-Baja tensión:* Un magneto de disparo también está montado en el volante de cara a una bobina de disparo localizada en el motor. La bobina de disparo está posicionada de tal manera que, el magneto pasa por la bobina y causa que el rectificador controlado por silicón (SCR), descargue la carga del capacitor al transformador de encendido situado cerca de a la bujía.
- *Camisa Del Cilindro:* El motor tiene una camisa de cilindro recambiable, hecha de una aleación refinada de hierro níquel, finamente maquinada y rectificada para un mínimo juego del pistón.
- *Pistón:* Un pistón de hierro fundido con dos anillos de compresión, un anillo rascador y un anillo aceitero en el C-46.
- *Anillos De Pistón:* Todos los anillos deben ser acomodados selectivamente en cada ranura del pistón y la camisa del cilindro, pero deben moverse libremente cuando el pistón es rotado. Tener cuidado de no torcer los anillos al sacarlos o al instalarlos.



Figura 7. Motor de combustión interna Arrow c-46. (Arrow

2.4.3 Motores eléctricos.

Según Partidas (2003), de acuerdo con su investigación, la mayoría de las instalaciones de bombeo mecánico hoy en día son movidas por motores eléctricos debido a su bajo costo relativo. Esto comprensiblemente varía en la facilidad de obtener la disponibilidad de la energía eléctrica, en lugares donde no es posible que se opte por motores de combustión interna. Estos motores son generalmente trifásicos y operan a 60 Hz de frecuencia con velocidades promedios entre 835 y 1200 RPM. (p.98)

De acuerdo a *NEMA* (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos), clasifica a los motores en función del desplazamiento y de las características de torque durante el arranque, los cuales son: *NEMA D*, *NEMA C*, *NEMA B*, alto deslizamiento, etc.

- *Nema b*: deslizamiento < 3% y torque de arranque max 175%
- *Nema c*: deslizamiento < 5% y torque de arranque max 250%
- *Nema d*: deslizamiento entre 5-8% y torque de arranque máximo de 275% (Paredes, 2003, p.100).

EL Motor convencional *NEMA D*, es el más usado en la industria. Posee bajo porcentaje de deslizamiento, variando entre 8 y 12% a plena carga, en consecuencia, la variación de la velocidad es relativamente pequeña.

Dentro del universo de motores eléctricos, el motor trifásico de inducción jaula de ardilla, es el que más se usa en el ámbito industrial.

a. Característica.

- Bajo costo.
- Bajo mantenimiento.
- Fácil de adquirir.
- Alto grado de protección.
- Pocos componentes.
- Por carecer de chispas internas, puede instalarse en ambientes de riesgo.

Albán Valverde (2018) refiere en los motores nema, así como los IEC. Presentan unidades de medición, la diferencia se encuentra en que el primero utiliza la medida americana (pulgada), mientras que la segunda hace uso del sistema internacional (milímetros). El mismo autor menciona que:

- *Norma Nema.*: Sus siglas son de National Electric Manufactures Assciation. Son los Estándares principales en los Estados Unidos y la Norma Nema MG1 dicta los estándares para la producción de motores y Generadores.
- *Norma Iec*: Sus Siglas vienen de International Electrotechnical Comission. Son los estándares internacionales, con más de 67 países afiliados, muy fuerte sobre todo en Europa.

b. Diferencias entre norma Iec y Nema: La principal diferencia está en las unidades de medición. Todos los motores NEMA están hechos a la medida americana, pulgadas. Mientras que la IEC utiliza el sistema internacional con milímetros.

Además de la unidad de medición, hay varias diferencias físicas que se verán a continuación:



Figura 8. Motor NEMA y Motor IEC. (Albán Valverde, 2018)

Una gran diferencia es que el motor “nema” que se observa en la imagen, trae la caja de conexiones a la derecha (vista desde la cubierta del ventilador del motor), que se llama instalación F-1, mientras que el IEC, cuyo estándar está en la parte superior, se denomina montaje para F-3. (Álban Valverde, 2018)

c. **Partes de un motor eléctrico.** : Rosales Fernández (s.f), menciona que: “Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica” (p.2).

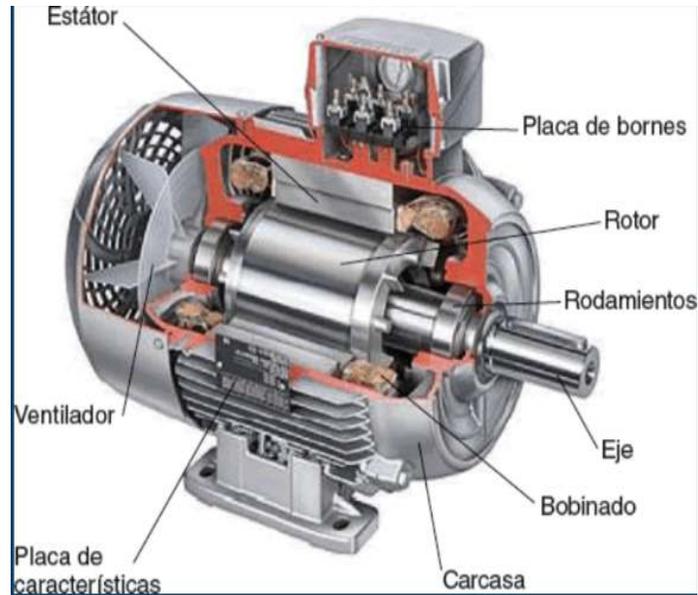


Figura 9. Motor eléctrico. (Rosales Fernández, s.f)

- *Estator*: Constituye la parte fija del motor, elemento que opera como base permitiendo la rotación del motor. El estator no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente.

Existen dos tipos: De polos salientes y ranurado (Rosales Fernández, s.f)

Rosales Fernández (s.f), refiere: “El estator está constituido por un conjunto de láminas de acero al silicio, que permite que pase a través del flujo magnético con facilidad. Aloja los devanados llamados polos magnéticos” (p.4).



Figura 10. Estator. (Rosales Fernández, s.f)

- *Rotor*: Constituye la parte móvil del motor. Es el elemento de transferencia mecánica, debido a que de él depende la conversión de energía eléctrica a mecánica. Los rotores, son un conjunto de láminas de acero al silicio que forman un paquete, y pueden ser básicamente de tres tipos:
 - Rotor ranurado.
 - Rotor de polos salientes.
 - Rotor de jaula de ardilla (Rosales Fernández, s.f)



Figura 11. Rotor. (De Herrero, 2014)

- *Bobinado*: Sobre el estator, se coloca el bobinado del motor, que indentificara si éste es de 2 polos o 4 polos, con su correspondiente característica velocidad, aislamiento y voltaje de uso, todos se especifica en la placa del motor (Motorex, s.f).



Figura 12. Bobinado. (Cromamentales, 2014)

- *La carcasa:* Mayormente están elaborados de hierro colado. En el centro tienen cavidades donde se incrustan cojinetes, sobre los cuales descansa el eje del rotor. Los escudos deben estar siempre bien ajustados con respecto al estator, porque de ello depende que, el rotor gire libremente y evitar fricciones (Motorex, s.f).



Figura 13. La carcasa. (Rosales Fernández, s.f)

2.4.4 Eficiencia de un motor eléctrico.

La eficiencia del motor eléctrico es la relación entre la potencia de salida (mecánica) y la potencia de entrada (eléctrica). La salida de potencia mecánica se calcula, con base al par y la velocidad requerida (es decir, la potencia requerida para mover el objeto conectado al motor) y la entrada de energía eléctrica, se calcula con base al voltaje y la corriente suministrados al motor (Anónimo, 2020).

La salida de potencia mecánica, es siempre inferior a la entrada de energía eléctrica, puesto que la energía se pierde durante la conversión (eléctrica a mecánica) en diversas formas, como el calor y la fricción. La mayoría de los motores eléctricos están diseñados para funcionar entre el 50% y el 100% de la carga nominal (Anónimo, 2020).

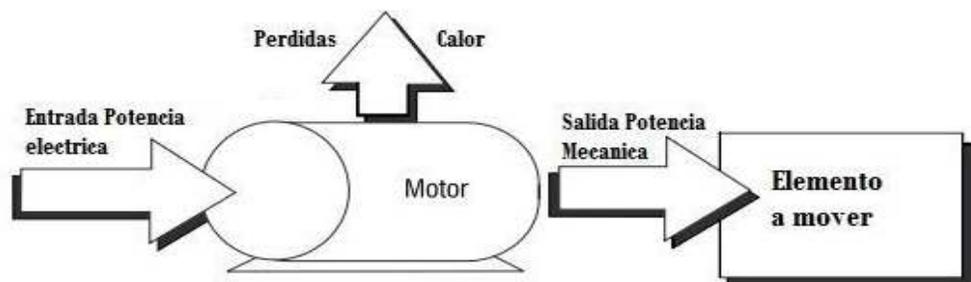


Figura 14. Entrada y salida de la potencia. (Anónimo, 2020).

Anónimo (2020) menciona las siguientes fórmulas:

a. Fórmulas para calcular la eficiencia de motores eléctricos.

Fórmula eficiencia motor D.C (corriente directa):

$$E_f = \frac{H_p \times 746}{V \times I} \quad (12)$$

Fórmula eficiencia motor monofásico A.C (corriente alterna):

$$E_f = \frac{H_p \times 746}{V_{L-N} \times I \times F.p} \quad (13)$$

Eficiencia motor bifásico A.C (corriente alterna):

$$E_f = \frac{H_p \times 746}{2 \times V_{L-N} \times I \times F.p} \quad (14)$$

Fórmula eficiencia motor trifásico A.C (corriente alterna):

$$E_f = \frac{H_p \times 746}{1,732 \times V_{L-L} \times I \times F.p} \quad (15)$$

b. Fuentes comunes de pérdida de eficiencia de un motor eléctrico.

- *Pérdida de fricción:* Estas pérdidas se atribuyen a la fuerza que se necesita para superar el arrastre asociado, con la rotación del rotor o armadura del motor. Un claro ejemplo de pérdidas de fricción, es la fricción de cojinetes, bujes o escobillas en un motor de corriente continua de tipo universal o cepillado (Anónimo, 2020).

- *Pérdida de Hierro*: También llamadas pérdida de núcleo. Éstas son pérdidas asociadas en las rutas magnéticas del motor. Por lo general, se caracterizan por la pérdida de vatios por masa. Los diferentes aceros tienen diferentes características que afectan estas pérdidas (Anónimo, 2020).
- *Pérdidas óhmicas*: Las pérdidas óhmicas se deben a la corriente que fluye a través de los conductores del motor. Estas pérdidas son iguales al cuadrado de la corriente, multiplicado por la resistencia del camino a través del cual fluye la corriente (Anónimo, 2020).

A continuación, se muestran tres tablas donde se podrá observar la eficiencia de motores para motores de 900 rpm, 1200 rpm, 1800 rpm.

Tabla 3. Eficiencia para motores 900 rpm (Anónimo, 2020).

Eficiencia para motores de 900 rpm									
Tamaño del motor	Porcentaje de carga de los motores								
	Odc (motores con carcasa abierta que permiten la refrigeración)				Tefc (motores completamente sellados con ventilación)				
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%	
Eficiencia en porcentaje									
10	87,2%	87,6%	86,3%	78,3%	86,8%	87,6%	86,8%	77,3%	
15	87,8%	88,8%	88,2%	79,6%	87,5%	88,7%	88,1%	79,1%	
20	88,2%	89,2%	88,0%	81,8%	89,2%	89,9%	89,2%	82,6%	
25	88,6%	89,2%	88,0%	83,0%	89,7%	90,3%	89,1%	78,6%	
30	89,9%	90,7%	90,2%	84,5%	89,6%	90,5%	86,5%	84,4%	
40	91,0%	91,8%	91,7%	86,2%	90,5%	91,4%	85,5%	85,0%	
50	90,8%	91,9%	91,1%	87,1%	90,2%	91,0%	90,2%	84,9%	
75	91,7%	92,4%	92,1%	86,5%	91,6%	91,8%	91,0%	87,0%	
100	92,2%	92,2%	91,8%	85,8%	92,4%	92,5%	92,0%	83,6%	
125	92,9%	92,3%	91,7%	86,9%	93,0%	93,1%	92,1%	87,9%	
150	93,3%	93,1%	92,6%	89,5%	93,0%	93,1%	92,5%	NA	
200	92,8%	93,5%	93,1%	NA	93,7%	94,1%	93,4%	NA	
250	93,1%	93,5%	93,0%	NA	91,7%	94,8%	94,5%	NA	
300	93,1%	93,7%	92,9%	92,7%	94,2%	94,2%	93,7%	NA	

Tabla 4. Eficiencia para motores de 1200 rpm (Anónimo, 2020).

Eficiencia para motores de 1200 rpm								
Tamaño del motor (Hp)	Porcentaje de carga de los motores							
	Odc(motores con carcasa abierta que permiten la refrigeración)				Tefc (motores completamente sellados con ventilación)			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
Eficiencia en porcentaje								
10	87,3%	86,9%	85,7%	78,5%	87,1%	87,7%	86,4%	80,3%
15	87,4%	87,5%	86,6%	80,8%	88,2%	88,1%	87,3%	80,7%
20	88,5%	89,2%	88,8%	84,1%	89,1%	89,7%	89,4%	82,8%
25	89,4%	89,2%	89,3%	85,0%	89,8%	90,5%	89,4%	83,5%
30	89,2%	89,7%	89,9%	87,6%	90,1%	91,3%	89,8%	84,6%
40	90,1%	90,1%	90,0%	85,8%	90,3%	90,1%	90,7%	85,3%
50	90,7%	90,4%	90,9%	86,9%	91,6%	92,0%	89,3%	86,7%
75	92,0%	91,2%	92,3%	88,6%	91,9%	91,6%	91,5%	87,2%
100	92,3%	92,5%	92,2%	87,4%	92,8%	92,7%	91,0%	86,5%
125	92,6%	92,7%	2,8%	87,9%	93,0%	93,0%	91,9%	88,7%
150	93,1%	92,9%	92,9%	89,7%	93,3%	93,8%	92,6%	91,1%
200	94,1%	93,3%	93,5%	91,5%	94,0%	94,3%	93,1%	NA
250	93,5%	94,6%	94,0%	91,9%	94,6%	94,5%	93,6%	NA
300	93,8%	94,4%	94,3%	92,9%	94,7%	94,8%	94,4%	NA

Tabla 5. Eficiencia para motores de 1800 rpm (Anónimo, 2020).

Eficiencia para motores de 1800 rpm								
Tamaño del motor (Hp)	Porcentaje de carga de los motores							
	Odc (motores con carcasa abierta que permiten la refrigeración)				Tefc (motores completamente sellados con ventilación)			
	100%	75%	50%	25%	100%	75%	50%	25%
Eficiencia en porcentaje								
10	86,3%	86,8%	85,9%	80,0%	87,0%	88,4%	87,7%	80,0%
15	88,0%	89,0%	88,5%	82,6%	88,2%	89,3%	88,4%	80,7%
20	88,6%	89,2%	88,9%	83,3%	89,6%	90,8%	90,0%	83,4%
25	89,5%	90,6%	90,0%	86,6%	90,0%	90,9%	90,3%	83,4%
30	89,7%	91,0%	90,9%	87,3%	90,6%	91,6%	91,0%	85,6%
40	90,1%	90,0%	89,0%	86,3%	90,7%	90,5%	89,2%	84,2%
50	90,4%	90,8%	90,3%	88,1%	91,6%	91,8%	91,1%	86,3%
75	91,7%	92,4%	92,0%	87,7%	92,2%	92,5%	91,3%	87,1%
100	92,3%	92,8%	92,3%	89,2%	92,3%	92,1%	91,4%	85,5%
125	92,8%	93,2%	92,7%	90,7%	92,6%	92,3%	91,3%	84,0%
150	93,3%	93,3%	93,0%	89,2%	93,3%	93,1%	92,2%	86,7%
200	93,4%	93,8%	93,3%	90,7%	94,2%	94,0%	93,1%	87,4%
250	93,9%	94,4%	94,0%	92,6%	93,8%	94,2%	93,5%	89,4%
300	93,8%	94,5%	94,2%	93,4%	94,5%	94,4%	93,3%	89,9%

2.4.5 Motores IEEE 841.

ABB (s.f), afirma que los motores 841XL están diseñados para cumplir o exceder todos los requisitos de la especificación IEEE841, para los motores utilizados en la industria petrolera. Las características de los motores 841XL garantizan bajo mantenimiento en ambientes y aplicaciones que normalmente demandan un alto mantenimiento.

Los motores *BALDOR 841XL* son una excelente opción, cuando las condiciones son severas y la confiabilidad es importante. (p. 12)

Algunas de las soluciones especializadas para bombeo mecánico según lo refiere (ABB, s.f):

a. Adaptaciones y configuraciones.

- *Tropicalizado*: Debido a las condiciones de temperatura que normalmente se presenta en el sector petrolero, ABB ofrece este servicio que permite aislar los motores con un recubrimiento especializado para evitar fallas en el motor a causa de la mugre y la humedad del ambiente.
- *Rodamientos sellados*: Los rodamientos sellados son una configuración de los motores que ofrece ABB, para evitar que la grasa interna del motor se vea afectada por el polvo y suciedad del ambiente y a su vez se reduzca la vida útil del mismo.
- *Conexión de cajas f1 o f2*: Según los requerimientos del cliente, la caja de conexiones de los motores de Baldor puede ser modificada en el lado izquierdo o derecho debido a la simetría de los motores.
- *Resistencia al calentamiento*: Es una modificación que permiten los motores en su interior, para no admitir la condensación del agua dentro del equipo y evitar posibles fallas que requieren constantemente mantenimientos.



Figura 15. Motor eléctrico IEEE 841. (ABB, s.f)

2.4.6 Energía fotovoltaica en motores eléctricos.

Para Acciona (2020), ostenta que, los dispositivos solares son una gran variedad de componentes, que se utilizan en sistemas de energía solar. Se utilizan en energía alternativa, aplicaciones independientes o cualquier producto que requiera energía solar. Las celdas solares son dispositivos semiconductores que convierten la radiación solar en energía eléctrica. Lo hacen mediante el efecto fotovoltaico, un fenómeno electroquímico donde los electrones se agitan mediante la absorción de la luz solar y salen de su órbita.

Disipan la energía como calor o reducen su potencial y regresan a su órbita flotando a través de los electrodos de la celda y el circuito conectado. Las celdas están dispuestas en matrices para las características de tensión y corriente necesarias, que se denominan como paneles solares. Estos paneles pueden contener diodos para asegurarse de que la corriente fluye en la dirección correcta y que las celdas pueden funcionar correctamente en paralelo entre sí, durante los efectos de sombreado (Acciona, 2020)

Existen IC de cargadores de batería especiales, diseñados específicamente para recargar las baterías con una fuente de energía solar. Dichos dispositivos tienen características de carga específicos para la química de la batería utilizada y normalmente deben ser compatibles con una amplia variedad de tensiones de los paneles solares, debido a que la tensión depende de la intensidad de la luz solar. Estos dispositivos pueden incorporar diferentes modos de carga e incluso características de carga especiales, para considera el envejecimiento de la batería (Acciona, 2020).

2.5 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

2.5.1 La atmósfera.

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la tierra y que se mantiene unida al planeta por la fuerza de la gravedad. Entre sus funciones más importantes cabe destacar que provee a los seres vivos, de gases imprescindibles para la vida (Ambientum, 2018).

2.5.2 Composición de gases de la atmosfera.

En un motor de combustión interna se introduce aire y combustible, la mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, por efecto de la combustión, en vapor de agua (H₂O), bióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene y se comporta como un gas permanente. Entre los otros productos de la combustión se encuentran partículas de otros gases tales como: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), metano (CH₄) y oxígeno (O₂), cuando la combustión es incompleta. La cantidad de oxígeno que participa en el proceso está en razón directa del exceso de aire introducido, con respecto al necesario para la combustión. A continuación, se presenta en la Tabla 6, en donde se muestra el porcentaje en volumen y masa de los gases. (Rafael y Hernández, 2014, p. 3)

Tabla 6. Cantidad de gases en el aire (Ambientum, 2018)

Nombre	Por volumen (%)	Por masa (%)
Nitrógeno	78,084	75,52
Oxígeno	20,946	23,14
Argón	0,934	1,3
Neón	$18,2 \times 10^{-4}$	$12,7 \times 10^{-4}$
Helio	$5,2 \times 10^{-4}$	$0,7 \times 10^{-4}$
Criptón	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$
Hidrógeno	$5,0 \times 10^{-5}$	$0,3 \times 10^{-5}$
Óxido nitroso	$3,0 \times 10^{-5}$	$4,6 \times 10^{-5}$
Xenón	$0,9 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-5}$

2.6 NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES TÓXICOS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Los motores en general transforman la energía química contenida, en combustible en energía mecánica. Esta conversión de energía se produce cuando del combustible en este caso el gas natural es inyectado al cilindro del motor, donde se mezcla con aire y bajo condiciones de presión y temperatura adecuadas, para que se produzca la combustión, que entrega energía para el movimiento del motor, además de liberar energía, la combustión genera gases de escape que contienen monóxido de carbono (CO), material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂) (Fernández Ríos, 2013).

Para reducir la emisión de estos gases se podrían usar filtros que son una de las nuevas tecnologías empleadas en motores de combustión interna, para minimizar gases nocivos para el medio ambiente.

2.6.1 Filtro Ehc Pf.

El filtro EHC PF es un filtro cerrado de auto regeneración, proyectado para ser usado de forma permanente, en todo tipo de maquinarias, El filtro está fabricado de carburo de silicio (SiC), un material duradero y resistente al calor (Interempresas Media, S.L.U, 2019).

La resistencia tiene una estructura parecida a un panel de abejas. De forma alternada, cada canal tiene cerrada la entrada o salida. Los gases de escape atraviesan las membranas porosas y las partículas son atrapadas en la resistencia del filtro (mínimo 95 %). Los filtros PF tienen también un efecto positivo en las emisiones de CO y HC (<85%) (Interempresas Media, S.L.U, 2019).

Los filtros EHC PF son proyectados para ser usados en condiciones “dificiles”. Dichos filtros pueden ser usados con motores encendidos durante largos periodos, sometidos a altas cargas de trabajo (temperatura mínima de los gases de escape 300 °C). Es por ello, que resulta muy importante el análisis de las condiciones de trabajo del motor (Interempresas Media, S.L.U, 2019).

El filtro EHC PF debe ser instalado lo más próximo posible al motor. Por esa razón el filtro PF puede reemplazar al silenciador. El tamaño apropiado del filtro es determinado por las especificaciones técnicas del motor (Interempresas Media, S.L.U, 2019).

2.6.2 Tecnología para reducir las emisiones de material particulado.

La tecnología más eficiente para reducir las emisiones de material particulado, corresponde a los filtros de partículas diésel (DPF), la que puede alcanzar hasta el 90% de eficiencia de remoción (Fernández Ríos, 2013).

A continuación, en la siguiente tabla se presentan las principales características de los filtros DPF.

Tabla 7. Característica de los filtros DPF (Fernández Ríos, 2013)

Tecnología	Principios de mantenimiento
Filtro DPF	<p>Monolito cerámico, con baño catalizador.</p> <p>Canales largos y estrechos, abiertos en un extremo y cerrados en el otro.</p> <p>El gas del escape se ve forzado a salir pasando por las paredes del filtro, donde las partículas (el hollín) quedan atrapadas en presencia de alta temperatura, el hollín se oxida y limpia el filtro en un proceso denominado regeneración.</p>

Los filtros DPF no requieren de limpieza frecuente debido a que, todo el material particulado que queda retenido en sus paredes, es quemado producto de las altas temperaturas (capacidad de auto regeneración). Para que esto ocurra, el motor debe funcionar en buena forma. De lo contrario, el material particulado puede quedar en las paredes del filtro, obstruyéndolo, y haciéndose necesaria su limpieza usando aire comprimido, y en casos en que exista mayor acumulación, el filtro deberá ser sometido a altas temperaturas en el interior de un horno. Para controlar esta situación estos filtros se instalan en conjunto con un sistema de monitoreo de presión, que advierta al operador de la posible obstrucción del filtro y se tomen las medidas para su auto regeneración (Fernández Ríos, 2013).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La investigación tiene un enfoque naturalístico-positivista es decir mixta, y es de tipo correlacional, porque se pretende estudiar la relación entre la variable independiente y dependiente. El proyecto depende fundamentalmente de la investigación documental, es decir, de la información que se pueda recolectar o consultar de los documentos de registro, manuales de usuario, listas de mantenimiento, costos operativos, entre otros. Donde la empresa Pacipetrol da acceso de obtener la información, dándole importancia a la investigación de campo.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de campo permite realizar un estudio comparativo entre la vida útil de los motores de combustión interna vs. motores eléctricos, puesto que estos motores tienden a dañarse o simplemente llegan al final de su ciclo, teniendo conocimiento que todos los motores necesitan de un mantenimiento cada cierto tiempo, en vista de que si no se lo realiza, estos tienden a generar más contaminantes.

Con el fin de poder analizar y recopilar datos sobre los motores seleccionados para comprender cómo funcionan, la información se recaudó de artículos, revistas, videos informativos, y otras fuentes primarias. Posteriormente se podrá entender cómo se benefician las industrias petroleras, cómo contaminan y así conseguir utilizar un sistema amigable con el medio ambiente en el que se puedan reducir los costos operativos para la entidad que opera estas máquinas y obviamente reducir contaminaciones alrededor del lugar de estudio.

3.2 TÉCNICA DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Observación directa.

La característica de la observación directa no es invasiva. Esto significa que el objeto que se está observando no molestará al observador cuando se despliegue. Por todo ello, los datos obtenidos a través de este método son reconocidos y conocidos en el campo de la investigación. No participa ningún observador. En la observación directa, el observador toma un perfil bajo.

3.3 INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.

3.3.1 Guía de observación.

Es una herramienta que permite a los observadores ubicarse sistemáticamente sobre el objeto de investigación real; también es un medio para recolectar y obtener datos e información sobre hechos o fenómenos. La guía llevó un control sobre el objeto estudiado en relación con la producción, ubicación, y tipo de motor de emplean los balancines.

3.3.2 Población y muestra.

Para efecto de este estudio la población seleccionada es finita, de 2.882 pozos del campo Gustavo Galindo. Actualmente en Ancón los pozos que producen hidrocarburos por bombeo mecánico, son un total de 259 pozos. El muestreo utilizado es el no probabilístico; por lo que se utiliza el método intencional, debido a que se deciden cuáles son los pozos que integran la investigación.

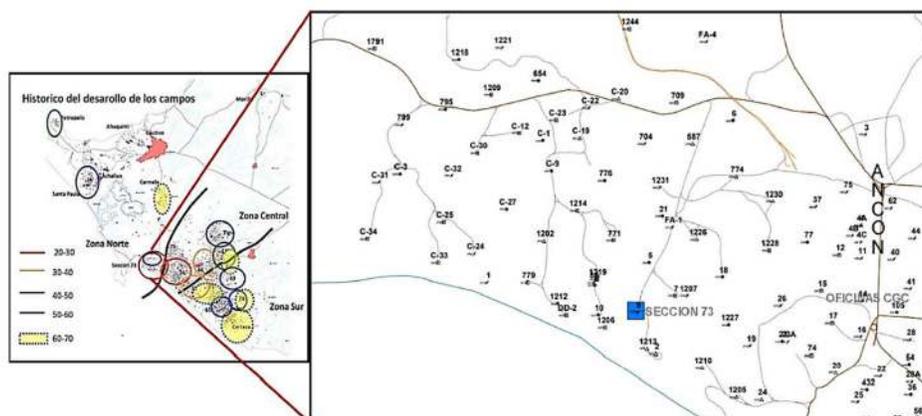


Figura 16. Área de estudio, Sección 73. (Galarza, 2013) y (Rezavala y Yanza, 2015)

3.4 POZOS QUE USAN BOMBEO MECÁNICO EN EL CAMPO GGV.

El campo GGV en la actualidad cuenta con 259 pozos que usan el sistema de bombeo mecánico como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Pozos que funcionan con bombeo mecánico (PACIPETROL, 2021)

Pozo	Pozo	Pozo	Pozo	Pozo
ANC0004	ANC0606	ANC1122	ANC1864	CMA0027
ANC0006	ANC0609	ANC1202	ANC1866	CMA0033
ANC0020	ANC0644	ANC1203	ANC1870	CMA0035
ANC0024	ANC0645	ANC1205	ANC1871	CMA0036
ANC0027	ANC0656	ANC1208	ANC1872	CMA0037
ANC0053	ANC0657	ANC1210	ANC1874	CMA0039
ANC0056	ANC0661	ANC1213	ANC1876	CMA0040
ANC0081	ANC0662	ANC1218	ANC1878	CMA0041
ANC0090	ANC0668	ANC1223	ANC1879	CMA0043
ANC0091	ANC0684	ANC1230	ANC1886	MAN0001
ANC0093	ANC0685	ANC1232	ANC1890	MAT0005
ANC0106	ANC0694	ANC1236	ANC1894	MOR0001X
ANC0114	ANC0702	ANC1253	ANC1898	MOR0005X
ANC0115	ANC0703	ANC1254	ANC1905	TIG00045
ANC0120	ANC0705	ANC1268	ANC1909	TIG0007
ANC0121	ANC0706	ANC1272	ANC1912	TIG0011
ANC0134	ANC0708	ANC1275	ANC1913	TIG0013
ANC0137	ANC0742	ANC1281	ANC1915	TIG0014
ANC0145	ANC0768	ANC1287	ANC1925	TIG0018
ANC0147	ANC0778	ANC1295	ANC1929	TIG0019
ANC0149	ANC0779	ANC1297	ANC1934	TIG0020
ANC0152	ANC0781	ANC1298	ANC1939	TIG0021
ANC0179	ANC0788	ANC1314	ANC1946	TIG0022
ANC0236	ANC0818	ANC1315	ANC1962	TIG0023
ANC0237	ANC0820	ANC1316	ANC1963	TIG0028
ANC0238	ANC0822	ANC1321	ANC1966	TIG0030
ANC0435	ANC0830	ANC1322	ANC1967	TIG0032
ANC0437	ANC0832	ANC1328	ANC1968	TIG0039
ANC0438	ANC0834	ANC1340	ANC1986	TIG00395
ANC0446	ANC0835	ANC1343	ANC1996	TIG0040
ANC0452	ANC0838	ANC1386	ANC2009	TIG00405
ANC0458	ANC0843	ANC1415	ANC2019	TIG00415
ANC0461	ANC0863	ANC1440	ANC3005	TIG0042
ANC0465	ANC0864	ANC1451	ANCC019	TIG0043
ANC0492	ANC0867	ANC1453	ANCC020	TIG00445
ANC0495	ANC0868	ANC1550	ANCC042	TIG0046
ANC0507	ANC0869	ANC1594	ANCC051	TIG0047
ANC0508	ANC0872	ANC1622	ANCFA19	TIG00485
ANC0545	ANC0880	ANC1630	ANCFA21	TIG0050
ANC0550	ANC0883	ANC1639	ANCFA28	TIG0051
ANC0551	ANC0887	ANC1646	CAU0048	TIG0054
ANC0552	ANC0911	ANC1670	CAU0059	TIG00545
ANC0556	ANC0929	ANC1718	CMA0001	TIG0055
ANC0557	ANC0939	ANC1723	CMA0003	TIG0057
ANC0584	ANC0952	ANC1737	CMA0005	TIG0059
ANC0585	ANC0976	ANC1760	CMA0009	TIG00595
ANC0587	ANC0979	ANC1783	CMA00115	TIG0061
ANC0588	ANC1013	ANC1787	CMA0016	TIG0064
ANC0600	ANC1098	ANC1788	CMA0017	TIG1002
ANC0602	ANC1103	ANC1820	CMA0019	TIG1004
ANC0603	ANC1108	ANC1825	CMA0022	TIG1005
ANC0604	ANC1121	ANC1863	CMA0023	

3.4.1 Coordenadas de ubicación en la sección 73.

La sección 73 se encuentra ubicada al norte del campo GGV, en la Tabla 9 se muestran las coordenadas X y Y.

Tabla 9. Ubicación de los pozos en la sección 73 (PACIPETROL, 2021)

Pozo	Td	Coordenadas x	Coordenadas y
ANC0004	3406	516323	9743844
ANC0020	2687	516197	9743149
ANC0024	3175	515827	9743024
ANC0070	1213	517496	9743120
ANC0081	2280	518090	9743100
ANC0093	1975	516005	9742783
ANC0115	2734	518209	9743206
ANC0130	2007	517587	9743213
ANC0137	2375	517894	9743282
ANC0147	2902	518536	9743153
ANC0556	3418	518949	9743592
ANC0587	3705	515484	9744229
ANC0774	4500	515700	9744073
ANC1202	4258	514744	9743769
ANC1205	4585	515702	9743036
ANC1210	4500	515531	9743172
ANC1213	4556	515256	9743260
ANC1218	3534	514319	9744625
ANC1226	4500	515505	9743775
ANC1230	4488	515883	9743957
ANC1737	1200	518920	9743314
ANCC019	3627	514921	9744255
ANCC020	3760	515114	9744442

En la sección 73 donde se realizará el estudio cuenta con 23 pozos que funcionan con sistema de bombeo mecánico.

Tabla 10. Lista de pozos de la sección 73 (PACIPETROL, 2021)

Pozo	Sección	Sistema de extracción
ANC0004	73	BOMBEO MECANICO
ANC0020	73	BOMBEO MECANICO
ANC0024	73	BOMBEO MECANICO
ANC0070	73	BOMBEO MECANICO
ANC0081	73	BOMBEO MECANICO
ANC0093	73	BOMBEO MECANICO
ANC0115	73	BOMBEO MECANICO
ANC0130	73	BOMBEO MECANICO
ANC0137	73	BOMBEO MECANICO
ANC0147	73	BOMBEO MECANICO
ANC0556	73	BOMBEO MECANICO
ANC0587	73	BOMBEO MECANICO
ANC0774	73	BOMBEO MECANICO
ANC1202	73	BOMBEO MECANICO
ANC1205	73	BOMBEO MECANICO
ANC1210	73	BOMBEO MECANICO
ANC1213	73	BOMBEO MECANICO
ANC1218	73	BOMBEO MECANICO
ANC1226	73	BOMBEO MECANICO
ANC1230	73	BOMBEO MECANICO
ANC1737	73	BOMBEO MECANICO
ANCC019	73	BOMBEO MECANICO
ANCC020	73	BOMBEO MECANICO

3.4.2 Producción diaria en la sección 73.

A continuación, en la Figura 14 se muestra la producción diaria que tiene los pozos en la sección 73. Se puede observar que son 7 pozos los que pasan de una producción de 5 Bppd y 17 los que son menos de 5 Bppd.

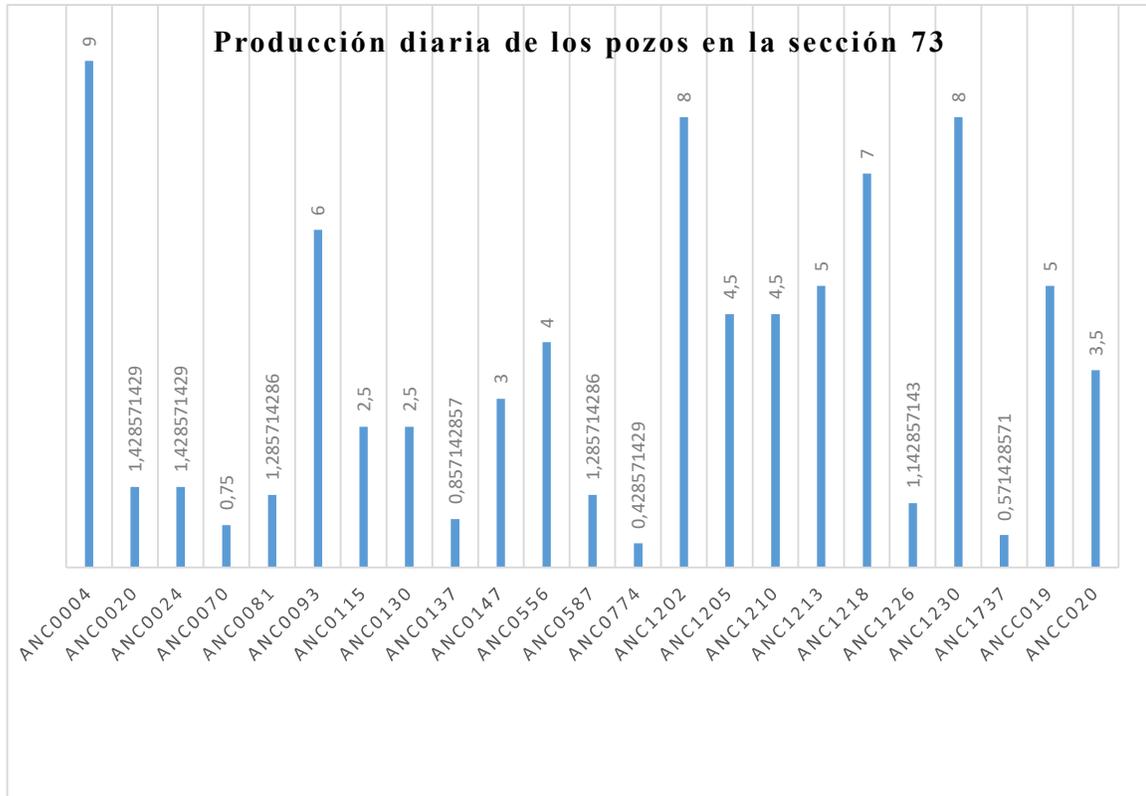


Figura 17. Producción diaria en la sección 73 (PACIPETROL, 2021).

Elaborado por: Autores (2021)

3.5 PROPUESTA.

“Electrificación de motores de balancines con sistema de bombeo mecánico.”

3.5.1 Objetivo.

Definir las bases y criterios de diseño que se utilizarán para el desarrollo de ingeniería eléctrica del proyecto: “Electrificación de motores de balancines con sistema de bombeo mecánico de la sección 73 ubicado en el bloque Gustavo Galindo Velasco”, campo operado por la Asociación SMC Ecuador Inc – Pacifpetrol Andipetroleos S.A. – Santa Elena Oil & Gas Corp.

3.5.2 Alcance.

Este documento aplica la red primaria y secundaria necesaria para llevar a cabo la electrificación de los motores de los balancines de 23 pozos de bombeo mecánico. Se reemplazarán 3 motores de combustión en 3 balancines fijos.

3.5.3 Descripción de la propuesta.

El proyecto “Electrificación de motores de balancines con sistema de bombeo mecánico”, consiste en el reemplazo de motores a combustión propulsados por gas natural, por motores eléctricos. Actualmente estos motores a combustión accionan pozos de bombeo mecánico ubicados en las diferentes secciones del Bloque GGV, las que actualmente se hallan cercanas a redes de medio voltaje por lo cual es factible su electrificación.

Se reemplazarán 3 motores de combustión en 3 balancines fijos, atendiendo un total de 23 pozos de bombeo mecánico. Se requiere, por lo tanto, construir derivaciones monofásicas y trifásicas en media tensión que alimenten a una red de distribución hasta llegar al punto de acometida de los motores en los pozos.

Los arranques de estas derivaciones en su gran mayoría serán desde el alimentador trifásico, que va desde la Estación Planta de Gasolina, pasa por la estación 67 y finaliza en la estación Tigre. Otras derivaciones se realizarán en la red de distribución de Pacifpetrol en las zonas aledañas a las Oficinas Centrales y Case de Operaciones.

En la tabla 11 se encuentran detallados los 3 pozos que se pretenden utilizar para la propuesta planteada, cabe indicar que fueron seleccionados por ser los más productores, según como se puede observar en la figura 15: (ANC004) (ANC1202) (ANC1230), perforados a distintas profundidades. Estos 3 pozos seleccionados utilizan el mismo sistema de levantamiento artificial siendo este de bombeo mecánico.

Tabla 11. Pozos seleccionados (PACIPETROL, 2021).

Sección	Pozo	Td	Bppd
73	ANC0004	3406	9
73	ANC1202	4258	8
73	ANC1230	4488	8



Figura 18. Pozo ANC0004. (PACIPETROL, 2021).



Figura 19. Pozo ANC1202. (PACIPETROL, 2021).



Figura 20. Pozo ANC1230. (PACIPETROL, 2021).

El enfoque de la propuesta pretende cubrir toda el área de la sección 73, pero en esta primera parte se consideran aquellos 3 primeros pozos de mayor producción en esta sección del campo. Si bien es cierto, la población seleccionada no genera un enfoque profundo de la problemática, sino más bien estos conducen a comprender lo que sucede en la sección de estudio, y demás áreas del campo Gustavo Galindo.

3.5.4 Ubicación y características de la zona.

El proyecto se halla ubicado dentro del Bloque Gustavo Galindo Velasco operado por Pacifpetrol S. A, en la parroquia Ancón, Cantón Santa Elena, Provincia de Santa Elena, coordenadas UTM WSG84 zona: 17, Longitud: 521558 E, Latitud: 97445048 S, altura 50m.



Figura 21. Ubicación de los pozos seleccionados. (PACIPETROL, 2021).

3.5.5 Cargas eléctricas.

Representadas por la demanda que representan los motores, la siguiente tabla se presenta la lista de los pozos que serán electrificados mediante el cambio del motor de combustión interna por uno eléctrico:

En la siguiente tabla se presentan los 3 pozos que serán electrificados

Tabla 12. Pozos a electrificar (PACIPETROL, 2021).

Pozo	Zona	Balancín	Potencial	Ciclo
ANC0004	Norte	Fijo	7	1
ANC1202	Norte	Fijo	8	1
ANC1230	Norte	Fijo	8	1

a. Sistema eléctrico actual: El sistema eléctrico de potencia de Pacipetrol, está formado de una central de generación de la cual salen alimentadores en media tensión (13.3KV) a las distintas cargas que conforman las oficinas de Gestión, la Base de Operaciones y las diversas estaciones como son Casa Bomba, Planta de Gasolina, Estación 67, Estación Tigre y Estación 73.

b. Sistema de Distribución y Transferencia de Potencia: En el cuarto de control aledaño a la central de generación contempla cubículos con entradas y salidas de potencia operados por un switchgear, y un sistema de transferencia automática ATS. La llegada ATS es desde la Empresa Eléctrica de la Península (CNEL) y en donde se realiza la transferencia automática en media tensión.

Salida D1 en media tensión trifásica para planta de gasolina. En el proyecto de “Electrificación de Motores de Balancines (1ra parte)” que se realizó en el año 2014, a partir de la planta de gasolina, se construyó un alimentador trifásico de aproximadamente 6 Km que pasa por la estación 67 y llega a la estación 73. De este alimentador se sirven a los motores de 52 pozos electrificados en la primera etapa en la sección 67 y servirá también para atender a la mayoría de motores contemplados para la sección 73.

Salida D2 en media tensión para alimentar a las facilidades de Casa Bomba y una derivación para las instalaciones de base de operaciones en donde se halla los talleres. Salida D3 para alimentar oficinas administrativas, así mismo mediante derivación monofásica se provee de energía a las instalaciones: Club Ancón, Casa Grande, Casa Chica y 434.

3.5.6 Bases y criterios de diseño eléctrico estudio de demanda.

Para determinar la capacidad y características de trabajo de los motores eléctricos a instalar en los balancines, se analizará el tipo de carga que constituyen los balancines y la influencia que tienen elementos como la caja reductora, la profundidad del pozo, el potencial de producción y ciclo de recolección.

Se determinarán los siguientes parámetros para los motores

Tabla 13. Parámetros en motores (PACIPETROL, 2021).

Potencia	HP
Voltaje	V
Numero de fases	Bifásico o Trifásico
Velocidad	RPM
Diseño	NEMA del motor
Eficiencia	

Se tomará en cuenta también las marcas y tipos de motores que actualmente están operando en los pozos de bombeo mecánico electrificados, en la sección 67 y Tigre, con el fin de mantener una línea similar que permita no diversificar el stock básico de repuestos necesarios para el mantenimiento de los mismos.

3.5.7 Determinación de la potencia de transformadores.

Para determinar las características de los transformadores y su capacidad se considerará los siguientes:

- La ubicación de los pozos y la posibilidad de agruparlos en un mismo centro de transformación.
- Las características de las cargas (motores) en cuanto a su demanda y no de fases.

Estos parámetros determinaran la capacidad del transformador y el número de fases.

Las capacidades a utilizarse serán las normalizadas: 10, 25 y 37.5 KVA para transformadores monofásicos, 15, 30 y 45 KVA para transformadores trifásicos.

3.5.8 Características de la red de media tensión.

La red de media tensión estará constituida por las derivaciones monofásicas y trifásicas que partirán desde las redes existentes. Serán de tipo aéreo, a 13.2 KV (95KV BIL), soportada en postes de hormigón de 11m o más, con conductores desnudos de aluminio ASC. En todo caso no será menor al calibre #2 AWG.

Tabla 14. Red media de tensión. (PACIPETROL, 2021).

Media tensión	
1AC	Monofásico Centrado Angular.
1CD	Monofásico Centrado Doble Retención.
1CP	Monofásico Centrado Pasante.
1CR	Monofásico Centrado Retención.
3SA	Trifásico Semicentrado Angular.
3SD	Trifásico Semicentrado Doble Retención.
3SP	Trifásico Semicentrado Pasante.
3SR	Trifásico Semicentrado Retención.

3.5.9 Características de la red de baja tensión.

La red de baja tensión como se evidencia en la tabla 15, estará constituida por las acometidas bifásicas o trifásicas que partirán desde los centros de transformación. Serán de tipo aéreo, a 240/120V con neutro para los bifásicos, y/o 220/127V para los trifásicos, soportada en postes de hormigón de 11m o más, con cable de aluminio cubierto tipo XLPE de tres (triplex) o cuatro (Cuádruplex) conductores. Los calibres se determinarán de acuerdo a los cálculos de regulación por centros de carga.

Los secundarios llegarán hasta el pozo a electrificar. Se baja del poste una acometida subterránea que llegará hasta el tablero de control del motor en caso de los balancines fijos, o finalizará en una toma protegida para el caso de los balancines portátiles.

Tabla 15. Red baja de tensión. (PACIPETROL, 2021).

Baja tensión	
1PR4	Una Vía - Preensamblado-Retención con cuatro conductores.
1PR3	Una Vía - Preensamblado-Retención con tres conductores.
1PP4	Una Vía - Preensamblado-Pasante con cuatro conductores.
1PP3	Una Vía - Preensamblado-Pasante con tres conductores.
1PD4	Una Vía - Preensamblado-Doble Retención con cuatro conductores.
1PD3	Una Vía - Preensamblado- Doble Retención con tres conductores.
1PA4	Una Vía - Preensamblado-Angular con cuatro conductores.
1PA3	Una Vía - Preensamblado-Angular con tres conductores.

3.5.10 Tableros de control de motores.

- Para el caso de los balancines fijos el tablero de control se ubicará cerca del motor eléctrico.
- Para el caso de los portátiles, se montará sobre la plataforma del balancín. Se conectará a la toma industrial mediante un cable retráctil.
- Los tableros serán de arranques directos (bifásicos y trifásicos). Tendrán protecciones magnéticas y un módulo de control tipo Logo.
- La caja contenedora deberá ser resistente a medios corrosivos.
- Se tomará en cuenta las disposiciones sobre clasificación de áreas, para determinar el nivel de protección de los accesorios a emplearse en las conexiones tablero y motor.

3.5.11 Determinación de calibre de conductores.

Para la determinación del calibre de los conductores, se realizarán cálculos de caídas de tensión que deberán cumplir con los siguientes parámetros:

- Caída máxima permisible media tensión: 2%.
- Caída máxima permisible media tensión: 5%.

Un parámetro adicional a tomarse en cuenta será la caída de tensión en el arranque de los motores que no deberá superar el 20%.

3.5.12 Unidades de ingeniería.

Tabla 16. Parámetros y Unidades de ingeniería. (PACIPETROL, 2021).

Parámetro	Unidad
Caudal de Líquido	BPD
Densidad	Lb/Ft ³
Presión	Psia ó Psig
Presión Diferencial	Psi
Temperatura	°F / °C
Masa	Kg
Diámetro	Inch, mm
Potencia	KW, HP, KVA
Tiempo	Segundo, Hora, Día
Longitud	Ft, cm, m
Velocidad	Ft/S, km/h
Voltaje	VAC, VDC
Corriente	A
Frecuencia	Hz
Resistencia	Ω

3.5.1 Estudio de demanda y capacidad de transformadores.

a. Cálculo de la demanda: Las cargas que existirán en una instalación típica en un pozo de bombeo mecánico son las siguientes:

- Motor de 10 HP, trifásico, 230 V
- Luminaria de sodio de 250 w, 230V

La potencia del motor debe ser expresada en watt por lo que:

$$Potencia\ de\ motor = 10Hp \times 746w/Hp = 7460\ w$$

La carga instalada por pozo será la suma de la potencia del motor y la luminaria:

$$CI = 7460w + 250w = 7690w$$

Expresando en volti-amperios, con un factor de potencia de 0.85, la demanda por pozo será:

$$DM = \frac{7690w}{0.85} = 9047\ VA$$

b. Transformadores.

TRT-1E (1) Monofásico: Auto-protegido en un poste con red secundaria preensamblada.

TRT-3E (1) Trifásico: Convencional en dos postes con red secundaria preensamblada.

3.5.2 Determinación de la capacidad de los transformadores.

En diseño de la ampliación de la red eléctrica, se ha considerado los centros de carga para ubicar los transformadores que atenderán a los motores. Se ha determinado 3 centros de transformación cuya capacidad se determina en las siguientes tablas, donde se podrá encontrar la demanda nominal, el factor de simultaneidad y la demanda proyectada. Con estas tablas se puede observar que se necesitará una capacidad del transformador de 15 KVA.

Tabla 17. Capacidad del transformador para el pozo ANC004. (PACIPETROL, 2021).

Pozo	Tipo	Demanda Nominal (VA)	Factor simultaneidad	Demanda proyectada (VA)
ANC004	Fijo	9047	1	9047
		Subtotal demanda		9047
		Factor de arranque motor trifásico		1.6
		Total demanda		14475
		Capacidad de transformador (KVA)		15

Tabla 18. Capacidad del transformador para el pozo ANC1202. (PACIPETROL, 2021).

Pozo	Tipo	Demanda Nominal (VA)	Factor simultaneidad	Demanda proyectada (VA)
ANC1202	fijo	9047	1	9047
		Subtotal demanda		9047
		Factor de arranque motor trifásico		1.6
		Total demanda		14475
		Capacidad de transformador (KVA)		15

Tabla 19. Capacidad del transformador para el pozo ANC1230. (PACIPETROL, 2021).

Pozo	Tipo	Demanda Nominal (VA)	Factor simultaneidad	Demanda proyectada (VA)
ANC1230	fijo	9047	1	9047
		Subtotal demanda		9047
		Factor de arranque motor trifásico		1.6
		Total demanda		14475
		Capacidad de transformador (KVA)		15

3.5.3 Capacidades de centros de transformación.

Tabla 20. Capacidad de centros de transformación.

Centro de transformación	Capacidad transformador (KVA)	Cantidad
CT-1	15	1
CT-2	15	1
CT-3	15	1
	Total	3

Como datos de carga tenemos los motores eléctricos que se instalarán cuya capacidad es de 10HP, trifásicos, 230V, tipo diseño nema D. Los 3 transformadores deberán ser tipo distribución, para ser montados en postes, del tipo convencional de 13.2KV en el primario y 230/127V en el secundario.

3.6 SOFTWARE ASISTENTE RPMAC.

El software asistente RPMAC, permite el diseño de un motor, dependiendo de las características elegidas, se puede trabajar con el sistema inglés o sistema métrico, puesto que da la oportunidad de elegir los datos a ingresar como lo son: el voltaje, las revoluciones por minuto, la potencia, la constancia del torque, los ciclos de trabajo, el factor de servicio. Una vez ingresado los datos se procede a dar click en la opción de seleccionar motor y el software de manera autónoma arroja la marca del motor junto con el poder aparente, corriente de carga completa y el rotor de inercia.

Incluye opciones de selección de rotor PM síncrono y de inducción, proporcionando opciones de construcción de motores para configuraciones NEMA o IEC. Las características adicionales incluyen la capacidad de ingresar un ciclo de trabajo de aplicación único y guardar cada ejecución para referencia futura. Es gratis, rápido y fácil de usar.

The screenshot shows the RPMAC software interface with the following settings:

- Motor Standard: NEMA
- Units: English
- Application Rating: Motor Voltage 460 V
- Speed: 1750 rpm
- Power: 10 HP
- Torque: Constant, 30.0 lb ft
- Service Factor: 1.15
- Overload: 150%
- Enclosure: DPFV (60 F)
- Duty: Continuous
- Temp. Rise Cls.: H
- Division II: N/A
- Ambient: 40 °C
- Alt. Abv. Sea Level: 3300 ft
- Reference: (empty)
- Issued By: FRANK SUAREZ
- Date: 5/8/2021

Buttons: Select Motor, Data Sheet, Drawings, Duty Cycle

Frame	Apparent Power [kVA]	Full Load Current [Amps]	Rotor Inertia [lb-ft sq]
Induction			
● FL1831	11,2	14,0	0,392
Permanent Magnet	Drive with Permanent Magnet Control required for this type of motor.		
● FL1831	11,2	14,0	0,460

Figura 22. Software Asistente RPMAC. (ABB, s.f)

CAPITULO 4: ANALISIS Y RESULTADOS

4.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Al realizar las debidas investigaciones, se llegó a conocer que en la parroquia Ancón, en el campo GGV para los sistemas de bombeo mecánico, se usan motores de combustión interna marca Arrow, los cuales presentan varias características en su uso diario.

4.1.1 Motores Arrow.

Arrow Engine & Company (s.f.), menciona que los motores *Arrow* están diseñados para un funcionamiento continuo las 24 horas del día. Poseen un rendimiento confiable, y el diseño de servicio pesado de *Arrow* cuenta con un volante pesado, un control de velocidad del regulador y un sistema de lubricación de flujo total presurizado para asegurar un funcionamiento continuo.

En el campo de estudio se logró determinar que los pozos que usan bombeo mecánico funcionan con motores *Arrow Engines*, los cuales son los generadores de energía. Muchos de los motores originales construidos en la década de 1.940 todavía funcionan hoy.

4.1.2 Combustible que usan los motores Arrow.

Los motores *Arrow* en el campo Gustavo Galindo utilizan una variedad de gases de bajo BTU; gas natural, metano, butano o propano. Los combustibles de gas disponibles localmente, suelen ser mucho más baratos que la introducción de combustibles líquidos o electricidad. El motor Arrow de un solo cilindro también puede equiparse con una bomba de elevación de combustible y funcionar con gasolina, el mismo que provoca la emanación de una variedad de gases contaminantes.

4.1.3 Mantenimiento de los motores Arrow.

Los motores Arrow están diseñados para un mantenimiento rápido y sencillo. El nivel de aceite se puede comprobar y ajustar con el motor en marcha. El fácil acceso permite reemplazar las camisas de los cilindros húmedos y los anillos de pistón en el campo. Las partes de la flecha también se pueden intercambiar con el primer modelo fábrica.

4.2 GENERACIÓN DE LOS GASES

En cuanto al gas que se genera en el interior del motor de combustión interna, por mucho o poco gas tóxico que produzcan cada día, considerando que los motores se utilizan las 24 horas del día, los siete días de la semana, y en el campo es uno de los sistemas más usados para generar hidrocarburos.

Se puede determinar que, al implementar el cambio de motor, estos gases se reducirán a un nivel considerable respecto a la reducción en el uso de combustibles fósiles para generar energía mecánica, en los balancines de la sección 73, que bien viene siendo una prueba debido a la facilidad de la energía eléctrica, en esta sección para después analizar la posible electrificación en las demás secciones y así poder establecer un cambio de motores en la mayor parte del campo.

De acuerdo a datos del ministerio de medio ambiente del Ecuador, sobre un estudio realizado en el 2012, sobre la cantidad de gases que producen el uso de combustibles fósiles, se determinó que, las emisiones totales del sector de energía para dicho año ascienden a 37.594,03 Gg de CO₂-eq. En este sector la categoría de “quema de combustibles” aporta con el 97,95% del total del sector y la categoría “emisiones fugitivas” provenientes de los combustibles con el 2,05%. Los GEI considerados en este sector son CO₂, CH₄ y N₂O.

Una gran parte de la cantidad de gases emitidos, se atribuye a los motores de los automóviles, y una proporción pequeña se atribuye a los motores estacionarios utilizados en diferentes industrias para generar energía mecánica, una de las cuales es el uso de motores estacionarios en balancines del sistema de elevación artificial de bombeo mecánico, que usa como combustible gas natural para su funcionamiento. Debido a esto a lo largo del tiempo, las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético

en 2012 aumentaron un 150,71% respecto a 1994, debido principalmente a la evolución de la quema de combustibles.

Uno de los gases que permite el efecto invernadero es el CO₂ (dióxido de carbono). La combustión de combustibles fósiles provoca una mayor emisión de dióxido de carbono (su concentración se ha duplicado desde principios del siglo XX hasta la actualidad), provocando un exceso de temperatura o calentamiento global que tiene como consecuencia el conocido cambio climático. Pues bien, unos de los principales problemas que tienen la población humana y demás especies es el calentamiento global provocando cambios climáticos considerables.

4.3 MOTORES ELÉCTRICOS.

De la experiencia de desempeño en campo, por datos recabados al Departamento de Mantenimiento, los motores trifásicos de 10 HP marca WEG modelo w21, muestran mejor performance, debido a que la característica de torque es posible derrotar la inercia de todos los tipos de balancines usados en la operación. Por esta razón, se ha considerado para el presente plan, la demanda que representa el motor de 10 HP, trifásico, nema D, de 1180 rpm.

Se determinó la potencia y tipo de motores factibles de ser utilizados para reemplazar los motores de combustión interna de los balancines de los pozos de bombeo mecánico:

Dos son los tipos recomendados:

- Motor monofásico de 10 HP, a 1750 RPM.
- Motor trifásico de 10 HP, a 800 rpm, nema D.

Los 3 transformadores deberán ser de tipo distribución, para ser montados en postes, del tipo convencional de 13.2KV en el primario y 230/127 V en el secundario. Los transformadores se protegerán con seccionadores y pararrayos. La razón del cambio de transformador es que el valor de mercado de uno de 30 KV difiere por muy poco con uno de 15. En caso de ser necesario, adquirir un transformador para cualquier pozo, con uno de 30KVA se recuperan 15KVA, que puede servir de repuesto para eventuales fallas en otros transformadores.

4.4 BASES Y CRITERIOS DE DISEÑOS DE INSTALACIÓN.

En el año 2012 se realiza la primera fase de la electrificación con el proyecto “Electrificación de las secciones 67/Tigre y motores de balancines de pozos”. Parte del proyecto fue el desarrollo de la carrera de Ingeniería en las disciplinas civil, mecánica y eléctrica. Los criterios empleados en este documento basan su desarrollo en la Ingeniería correspondiente a la parte mecánica, relacionada con los balancines y diseño de los elementos para el montaje del motor eléctrico.

4.4.1 Diseño de base metálica.

La base del motor eléctrico, conocido como SKID estará construido por estructura metálica y será apoyado directamente sobre el patín del balancín, el cual será provisto de ranuras en los orificios de los pernos de anclajes para templar las bandas. Contará con un protector desmontable de platina que servirá para resguardar el motor en caso de sustracción.

4.4.2 Cargas de diseño.

- a. **Carga muerta (D):** Es el conjunto de acciones que se producen debido al peso propio del equipo y de todos los elementos que conservan una posición fija.
- b. **Carga viva (L):** Es la carga debida a la operación y uso de la construcción, y en general, todo aquello que no tiene una posición fija y definitiva en la misma.

Se ha considerado como carga viva, la tensión ejercida por las bandas del motor eléctrico, que hace girar a los engranajes de la caja reductora, esta tensión es mínima, debido a que el motor eléctrico es el que hace girar la caja reductora y no viceversa. Por tal motivo y con el fin de reducir tensiones y cargas vivas las ranuras en el skid (ojo chino), cumplen un rol específico dentro del diseño.

Cada balancín posee características propias que deben ser consideradas en forma particular para el diseño de los diferentes elementos. En cuanto a la base metálica, se adicionarán un protector de motor similar a la siguiente figura:

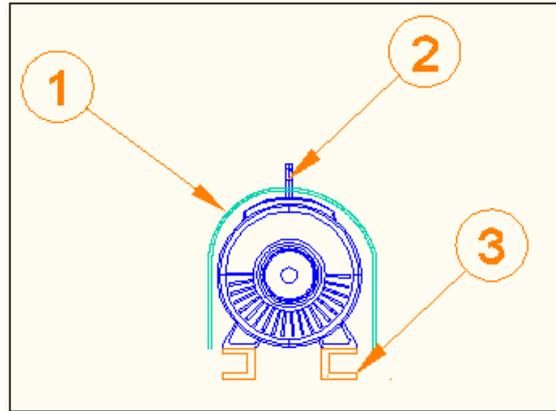


Figura 23. Partes de base metálica de motor eléctrico (PACIPETROL, 2021).

Se puede apreciar el siguiente significado:

- 1.- Protector del motor eléctrico.** Sirve para resguardar el motor en caso de robo.
- 2.- Motor.** Motor eléctrico de 10 HP, 1100rpm.
- 3.- Base metálica.** Para el diseño de la base se ha tomado en cuenta las necesidades operativas de los balancines, por tal motivo, esta base será de estructura metálica tipo UPN, con orificios para los pernos de anclaje, tanto del motor como de la base. Estas ranuras serán horizontales en la base del motor para nivelar las poleas del motor-caja reductora, y verticales en las aletas de la base para templar las bandas. La base del motor eléctrico y los pernos de anclaje soportarán el peso muerto del motor y la tensión ejercida por la bandas, por consiguiente, para la base del motor se utilizará perfiles estructurales UPN y para los pernos de anclaje se utilizará pernos $\Phi= 3/8''$ Acero A-193.

4.5 NUEVO SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

Para mantener las RPM que la caja reductora necesita y pueda ejercer el levantamiento de la varilla de producción del balancín, se necesita cambiar la polea del motor eléctrico y acoplarlo a las necesidades operativas de la caja reductora. Esto se debe a que la velocidad del nuevo motor es de 1100 RPM, por tal motivo se requiere cambiar el diámetro de la polea del motor eléctrico. Se lo puede calcular bajo la siguiente expresión:

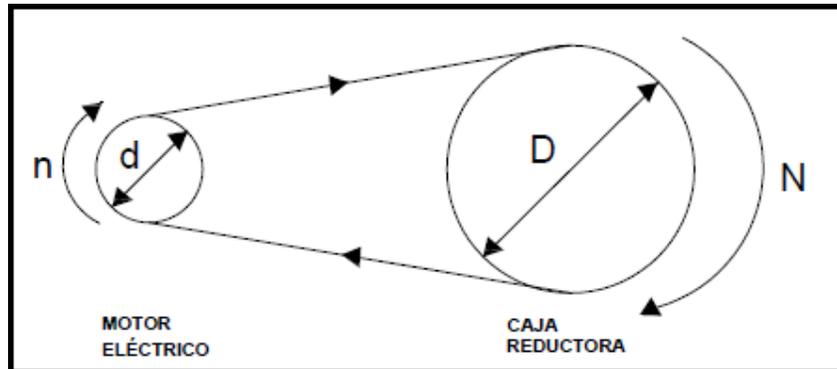


Figura 24. Sistema de transmisión. (PACIPETROL, 2021).

$$\frac{D}{d} = \frac{n}{N}$$

(16)

Dónde:

n= Velocidad de la polea motriz (entrada).

N= Velocidad de la polea conducida (salida).

d= Diámetro de la polea motriz (entrada).

D= Diámetro de la polea conducida (salida).

4.5.1 Cubre bandas.

Se mantendrán los diseños originales en los protectores de bandas y poleas ubicados en los balancines fijos, los cuales brindan seguridad a los operadores y protegen al motor y otras partes del balancín.

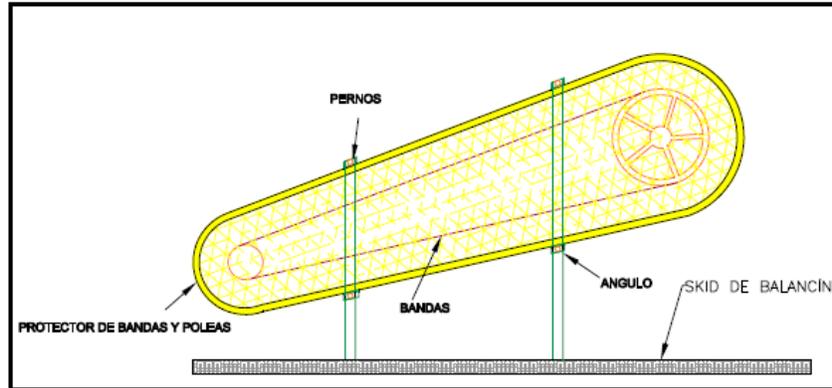


Figura 25. Cubre bandas y poleas. (PACIPETROL, 2021).

4.6 GASTOS.

Saber el costo de los materiales y herramientas a usar, es una fase importante para poder llevar a cabo con éxito la propuesta, “Electrificación de motores de balancines con sistema de bombeo mecánico”, por eso es primordial establecer los gastos de acuerdo a los tres pozos a electrificar ANC0004 ANC1202, ANC1230, como se ha mencionado anteriormente, este cambio se pretende realizar en la sección 73 en los pozos con mayor producción.

A continuación, se presentan las siguientes tablas en donde se colocan a detalle los materiales y herramientas, que se necesitan para la propuesta, incluyendo los costos por tablas y dando un costo total de 24.452,99\$ dólares para electrificar los pozos ANC0004 ANC1202, ANC1230.

Tabla 20. Costo de materiales conductores y accesorios. PACIPETROL, 2021).

Materiales conductores y accesorios				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Us\$)	Total (\$Us)
Aislador de suspensión Ansi 52-1 de 6"	Unidad	70	6,8	476,00
Aislador pin Ansi 56-1	Unidad	54	8,26	446,04
Aislador rollo Ansi 53-2	Unidad	38	0,63	23,94
Alambre de aluminio para atar	M	220	0,43	94,60
Conductor de aluminio asc # 2	M	3200	0,46	1472,00
Conductor de aluminio asc # 4	M	754	0,32	241,28
Conductor de aluminio cuádruplex # 4	M	520	1,28	665,60
Conductor triplex # 4	M	325	1,28	416,00
Grapa de retención tipo distribución 2-4/0	Unidad	40	6,94	277,60
Subtotal materiales conductores y accesorios				4113,06

Tabla 21. Costo de materiales transformadores y accesorios. PACIPETROL, 2021).

Materiales transformadores y accesorios				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (US\$)	Total (US\$)
Conductor de cobre cableado aislado # 6	M	240	1,79	429,60
Conector de compresión vcse-44	Unidad	45	2,00	90,00
Seccionador portafusible tipo abierto de 27 kv. 100 a.	Unidad	20	89,96	1799,20
Transformador trifásico 15 kva	Unidad	3	2436,5	7309,50
Varilla copperweld de 5/8 x 1.80 m con conector	Unidad	8	8,05	64,40
Subtotal materiales transformadores y accesorios				9692,70

Tabla 22. Costo de materiales de acometidas PACIPETROL, 2021).

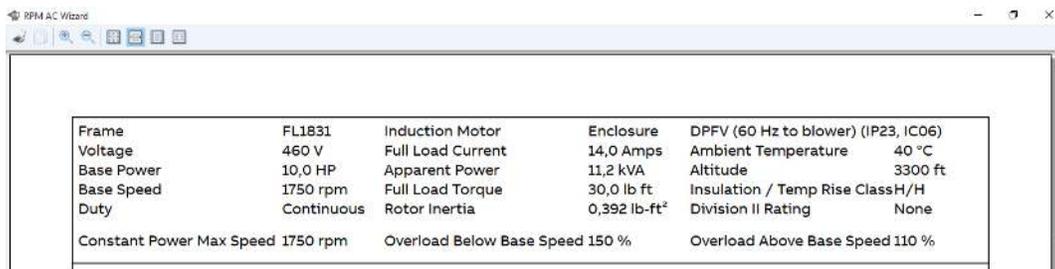
Materiales de acometidas				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Us\$)	Total (\$Us)
Reversible para tubería de 1"	Unidad	12	2,95	35,40
Tubería Pvc de 1"	Unidad	76	5,14	390,64
Codo Pvc de 1"	Unidad	24	0,41	9,84
Cable de cobre tw # 8 aislado	m	600	1,38	828,00
Cable de cobre flexible tw # 10 aislado	m	250	0,87	217,50
Conector de compresión vcse-44	m	26	2,35	61,10
Fleje metálico de ¾	Unidad	38	2,2	83,60
Hebilla para fleje metálico de 3/4	Unidad	40	0,66	26,40
Conector emt de 1"	Unidad	14	0,77	10,78
Pegatubo	Unidad	2	4,4	8,80
Cinta aislante temflex de 20 yardas	Unidad	10	0,74	7,40
Subtotal materiales de acometidas				1679,46

Tabla 23. Costo de materiales y equipos de motores PACIPETROL, 2021).

Materiales y equipos de motores				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (Us\$)	Total (\$Us)
Tablero de control para motor de 10 hp trifásico	Unidad	3	1353	4059
Motor de 10 hp trifásico nema d	Unidad	3	1320	3960
Funda sellada de 1"	Unidad	20	5,06	101,20
Conector para funda sellada de 1"	Unidad	10	2,05	20,50
Cable concéntrico 4x8	Unidad	20	7,63	152,60
Neplo de conexión a caja de 1 1/2 a 1"	Unidad	9	5,5	49,50
Amarras plásticas negras de 20 cm	Unidad	25	0,07	1,75
Cinta # 23	Unidad	2	10,91	21,82
Cinta aislante temflex de 20 yardas	Unidad	10	0,74	7,40
Caja con tc industrial trifásico de 32 Amp	Unidad	3	165,00	495,00
Clavija de 32 amperios trifásica	Unidad	3	33,00	99,00
Subtotal materiales y equipos de motores				8967,77

4.7 RESULTADOS DEL SOFTWARE ASISTENTE RPMAC

En el software, al ingresar la opción Data Sheet (ficha de datos), se abre una nueva ventana donde muestra los datos que se ingresaron, adicional a esto muestra la sobrecarga por debajo de la velocidad base de 150% y también la sobrecarga por encima de la velocidad base 110%.



Frame	FL1831	Induction Motor	Enclosure	DPFV (60 Hz to blower) (IP23, IC06)	
Voltage	460 V	Full Load Current	14,0 Amps	Ambient Temperature	40 °C
Base Power	10,0 HP	Apparent Power	11,2 kVA	Altitude	3300 ft
Base Speed	1750 rpm	Full Load Torque	30,0 lb ft	Insulation / Temp Rise ClassH/H	
Duty	Continuous	Rotor Inertia	0,392 lb-ft ²	Division II Rating	None
Constant Power Max Speed	1750 rpm	Overload Below Base Speed	150 %	Overload Above Base Speed	110 %

Figura 26. Resultados del software asistente RPMAC. (ABB, s.f)

Además, se muestra un diagrama voltaje, amperio, torque vs la velocidad, donde se puede encontrar un incremento en el voltaje hasta los 450 v, mientras que el torque, los amperios se mantienen constantes.

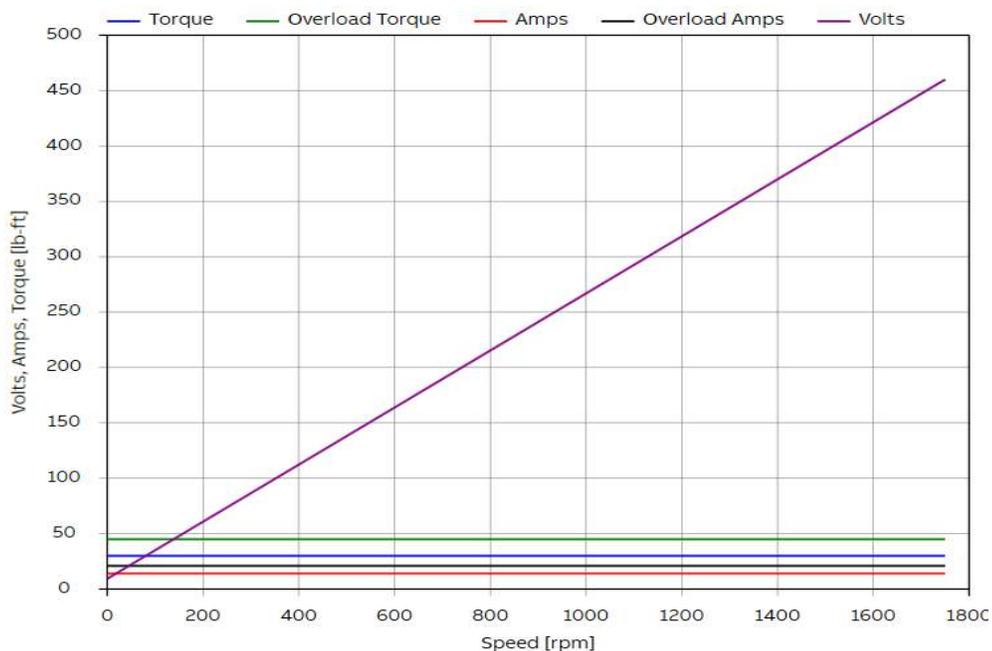


Figura 27. Diagrama voltaje, amperio, torque vs velocidad. (ABB, s.f)

4.8 ANALISIS ECONOMICO

Para determinar si la propuesta es rentable se emplean los siguientes métodos:

- VAN (VALOR ACTUAL NETO)
- TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)
- TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION
- COSTO/BENEFICIO

4.8.1 Valor actual neto.

Sirve para identificar si el proyecto es viable. Tras medir los flujos de los ingresos y egresos y descontar la inversión inicial queda alguna ganancia, el proyecto es viable.

Se puede calcular con la siguiente ecuación

$$VAN = -C_0 + \frac{c_1}{(1+i)} + \frac{c_1}{(1+i)^2} + \frac{c_1}{(1+i)^3} + \dots + \frac{c_n}{(1+i)^n} \quad (17)$$

C_0 = Capital inicial aportado para el proyecto.

C_n = Diferencia entre cobros y pagos en el periodo n.

i = Tasa de descuento ajustada al riesgo=Interés que se puede obtener del dinero en inversiones.

n = Número de años en los que se calcula la inversión.

4.8.2 Tasa interna de retorno (TIR).

Medidor empleado en la evaluación de proyectos de inversión, ligado con el Valor Actual Neto. También se considera como el valor de la tasa de descuento que consigue que el VAN resulte igual a cero. Se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$VAN = -C_0 + \frac{c_1}{(1+TIR)} + \frac{c_1}{(1+TIR)^2} + \frac{c_1}{(1+TIR)^3} + \dots + \frac{c_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (18)$$

Co= Capital inicial aportado para el proyecto.

Cn= Diferencia entre cobros y pagos en el periodo n

n= Número de años en los que se calcula la inversión.

Si el VAN >0 y el TIR > tasa de descuento, el proyecto es rentable.

4.8.3 Tiempo recuperación de la inversión.

El tiempo de recuperación de la inversión mide en cuanto tiempo se recupera el total de la inversión a valor presente.

4.8.4 Costo/ beneficio

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por la cantidad de dinero que se emplea en el proyecto. Se calcula con la siguiente formula:

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos} + \text{Inversion}} \quad (19)$$

4.8.5 Costos del proyecto

Se establecieron diferentes parámetros para estimar un valor de inversión del proyecto, además de la adquisición de los motores y demás accesorios para los tres pozos, se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 24. Inversión necesaria para poner en marcha el proyecto

PETROECUADOR		
DETALLE		COSTO ESTIMADOS
Presupuesto para paneles de control para motores eléctricos	\$	12.663,00
Consumo costo de energía	\$	20.657,00
Contingencias	\$	9.023,00
Muebles enseres y otras inversiones	\$	8.560,00
Repuesto y Accesorios- Motores	\$	24.452,99
Costo de mantenimiento anual	\$	1.520,00
TOTAL	\$	76.875,99

4.8.6 Ingresos por barril de petróleo.

En la siguiente tabla se especifica la cantidad de petróleo acumulado entre los tres pozos y el precio estimado actual, para poder obtener el flujo de caja.

Tabla 25. Ingresos por barril en un año. (Autores)

Producción de barriles-sección 73					
Tiempo	Pozo1	Pozo2	Pozo3	Producción mensual	Costo de Bppd
Enero	9	8	8	750	7,5
Febrero	9	8	8	750	7,5
Marzo	9	8	8	750	7,5
Abril	9	8	8	750	7,5
Mayo	9	8	8	750	7,5
Junio	9	8	8	750	7,5
Julio	9	8	8	750	7,5
Agosto	9	8	8	750	7,5
Septiembre	9	8	8	750	7,5
Octubre	9	8	8	750	7,5
Noviembre	9	8	8	750	7,5
Diciembre	9	8	8	750	7,5
	Total anual			9000	

Se determina los ingresos y los gastos operativos a partir del precio del petróleo

Tabla 26. Ingreso a partir del precio del petróleo. (Autores)

Ingresos				
Tiempo	Año	Precio del barril de petróleo anual	Producción Bppd	Ingresos en venta
1	2022	858,0	9968	\$ 712.697,84
2	2023	858,0	11957	\$ 854.919,57

Tabla 27. Gastos operativos a partir del precio del petróleo. (Autores)

Costos operativos de producción				
Tiempo	Costo de mantenimiento	Costo de operaciones generales	Costos por producción de barril	Total mensual
1	\$ 18.240,00	\$ 439.176,00	\$ 67.500,00	\$ 524.916,00
2	\$ 18.240,00	\$ 439.176,00	\$ 67.500,00	\$ 524.916,00

4.8.7 Flujo de caja.

Flujo de caja = ingresos – gastos

Flujo de caja para los 12 primeros meses

Flujo de caja = \$712.697,84 - \$524.916,00 = \$187.781,84

Flujo de caja para el segundo año

Flujo de caja = \$854.989,57 - \$524.916,00 = \$330.073,57

Tabla 28. Flujo de caja en dos años. (Autores)

Flujo de caja				
	Tiempo	Ingresos	Egresos	Flujo de caja neto
		\$	\$	\$
1	2022	712.697,84	524.916,00	187.781,84
		\$	\$	\$
2	2023	854.919,57	524.916,00	330.003,57

4.8.8 Calculo del VAN.

$$VAN = -C_0 + \frac{c_1}{(1+i)} + \frac{c_1}{(1+i)^2} + \frac{c_1}{(1+i)^3} + \dots + \frac{c_n}{(1+i)^n}$$

Con un $i = 15,3\%$

Tabla 29. Resultados del VAN. (Autores)

Resultados		
Valor actual neto (van)	\$	99.724,79
Diferencia entre inversión inicial - van	\$	176.600,78
Cálculo tasa interna de retorno (TIR)		19%
Costo/beneficio	\$	1,39
Tiempo de recuperación		5 meses

Corresponde a un valor de \$ 99.174,79

Al valor total del VAN se le resta el valor de inversión inicial

\$ 99.174,79 – (\$-76.875,99) = \$176.600,78.

4.8.9 Cálculo tasa interna de retorno.

Para encontrar TIR, se debe encontrar un valor de tasa de descuento, de tal manera que el Van sea igual a cero.

$$VAN = -C_0 + \frac{c_1}{(1 + TIR)} + \frac{c_1}{(1 + TIR)^2} + \frac{c_1}{(1 + TIR)^3} + \dots + \frac{c_n}{(1 + TIR)^n} = 0$$

El TIR es igual a 19%

Tabla 30. Resultado del TIR. (Autores)

Resultados	
Valor actual neto (van)	\$ 99.724,79
Diferencia entre inversión inicial - van	\$ 176.600,78
Cálculo tasa interna de retorno (tir)	19%
Costo/beneficio	\$ 1,39
Tiempo de recuperación	5 MESES

4.8.10 Cálculo costo beneficio.

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Costos} + \text{Inversion}}$$

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{1.567.617,41}{1.049.832,00 + 76.875,99} = 1,39$$

Por cada dólar invertido se obtendrá una ganancia de \$ 1.39

Tabla 31. Resultado Costo Beneficio. (Autores)

Resultados	
Valor actual neto (van)	\$ 99.724,79
Diferencia entre inversión inicial - van	\$ 176.600,78
Cálculo tasa interna de retorno (tir)	19%
Costo/beneficio	\$ 1,39
Tiempo de recuperación	5 MESES

4.8.11 Tiempo de recuperación de la inversión.

Con una producción entre los tres pozos de 750 barriles mensuales y a un precio de \$71,5 por cada barril, la inversión se recuperara en aproximadamente en 5 meses.

Tabla 32. Recuperación de la inversión. (Autores).

Resultados	
Valor actual neto (van)	\$ 99.724,79
Diferencia entre inversión inicial - van	\$ 176.600,78
Cálculo tasa interna de retorno (tir)	19%
Costo/beneficio	\$ 1,39
Tiempo de recuperación	5 MESES

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En sus inicios el sistema de bombeo mecánico en el campo Gustavo Galindo fue y en la actualidad aun es impulsado por motores de combustión interna que, utilizan como combustible gas natural del propio pozo, pero con el tiempo las tecnologías han mejorado en la industria del petróleo, por este motivo se propone un cambio de motores a eléctricos con la intención de minimizar precios de mantenimiento y sobre todo minimizar la emisión de gases.
- Los gases emanados por los motores se dan por medio de la combustión o la quema de una mezcla entre combustible y aire, demostrando que entre más motores de combustión funcionen, más gases se generarán. Sin embargo, al llevar a cabo un cambio a motores eléctricos, se pretende reducir las emanaciones y crear un ambiente amigable, puesto que se trata de energía limpia, la cual no necesita del uso de gases.
- Los gases que influyen al cambio climático son generados en su mayoría por los motores de combustión interna, estos motores son accionados por combustible a base de gas natural siendo los principales: CO₂, CO, N₂O.
- Un factor importante al realizar un cambio a motor eléctrico es su viabilidad, debido a que posee un sistema de producción autónoma y su funcionamiento es controlado a través de un software.
- Los motores eléctricos son más económicos en el aspecto de mantenimiento con respecto a los de combustión interna, debido a que los motores *Arrow*, están compuestos por parte que ocasionalmente se dañan como los anillos en el pistón, que son las piezas con mayor tendencia a dañarse

5.2 RECOMENDACIONES

- Se ha proyectado ubicar en sitios estratégicos seccionadores con el fin de configurar segmentos de red que puedan ser aislados para permitir y facilitar la operación y mantenimiento del sistema. Se debería realizar la instalación de pararrayos y puestas a tierra adicionales a los existentes, en los centros de transformación, que otorguen protección de las tormentas eléctricas y descargas atmosféricas
- Las acometidas a los motores, deberían ser de tipo subterráneo con cable TTU #4 AWG, que lleguen hasta el tablero de control de los motores en el caso de los pozos de balancín fijo.
- Los tableros de control de los motores deberían poseer breaker, como elemento de seccionamiento y protección, un arranque directo como elemento de conexión y desconexión del motor, un elemento de control tipo logo que permita programación de encendido y apagado, y además, puedan ser utilizados para procesamiento de señales en entrada y salida, hasta una toma trifásica estratégicamente ubicada para el caso de los pozos de balancín portátil si ha de haberse.
- Como otra fuente de energía para los motores eléctricos es la energía fotovoltaica, siendo una energía limpia que se puede obtener de la naturaleza a través de paneles solares, los cuales son dispositivos semiconductores que convierten la radiación solar en energía eléctrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrow engine company. (s.f). *Arrow C-Series partes, operaciones y mantenimiento*. Oklahoma, Estados Unidos. Obtenido de <https://arrowengine.com/literature/parts/arrow-sup-sup-oem-parts/122-c-series-parts-operation-maintenance-1/file>
- Albán Valverde. (2018). ¿Cómo saber si mi motor es Norma NEMA o IEC? [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://www1.elvatron.com/motores/c%C3%B3mo-saber-si-mi-motor-es-norma-nema-o-iec>
- Anónimo. (2020). *Eficiencia de un motor eléctrico*. Obtenido de Electricaplicada: <https://www.electricaplicada.com/eficiencia-de-un-motor-electrico-y-los-valores-mas-comunes/>
- Anónimo. (2010). Bombeo mecánico de petróleo [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.ingenieriadepetroleo.com/bombeo-mecanico-de-petroleo/>
- Acciona. (2020). *Energía solar fotovoltaica*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/fotovoltaica/?_adin=02021864894
- Ambientum. (2018). *Composicion de la atmósfera* . Obtenido de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/composicion-de-la-atmosfera.asp
- Banco Central del Ecuador. (2020). Reporte del Sector Petrolero. Ecuador . Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP202002.pdf>
- Calderon Enriquez, A. (2014). Estudios de los ciclos de trabajo utilizando el echometer para aumentar la eficiencia de los equipos de bombeo mecánico en las secciones 67 y tigre del campo Gustavo Galindo Velasco. La Libertad , Ecuador.
- Capacitación Integral Empresarial. (2019). *¿Que relación tienen los paneles solares con el petróleo?* Obtenido de <https://capacitacionintegral.mx/que-relacion-tienen-los-paneles-solares-con-el-petroleo/>
- CROMAMENTALES. (20 de OCTUBRE de 2013). OBINADO DE MOTOR ELECTRICO "CENTURY" 1/4 HP, 3500 R.P.M. Obtenido de

<https://cromamentales.blogspot.com/2013/10/bobinados-de-motores-electricos-datos.html?m=1>

- Cornejo, L, y Velásquez (2020). *Determinación de ciclos de termodinámicos en motores de encendido provocado de vehículos de categoría M1 en ciclos de conducción reales* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador
- Cuevas Chana, D. A. (2020). El motor de combustión interna y su impacto ambiental: sistemas de escape modernos. Nuevas tecnologías. El mundo: las euro. Jorge Sarmiento Editor - Universitarias. <https://elibro.net/es/lc/upsc/titulos/174829>
- Consuegra Pacheco, S. (2007). Módulo Motores Diesel. (I. t. atlántico, Ed.)
- Cordova Morales, E. I. (2013). *Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la facultad de ingeniería civil y mecánica* (tesis de pregrado) Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Calderon Enriquez, A. (2014). *Estudios de los ciclos de trabajo utilizando el echometer para aumentar la eficiencia de los equipos de bombeo mecánico en las secciones 67 y tigre del campo Gustavo Galindo Velasco* (tesis de pregrado). Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad , Ecuador.
- Cruz Reyes, J. (2020). ¿Qué es el bombeo mecánico? [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://epmex.org/news/2020/05/06/que-es-el-bombeo-mecanico/>
- De Herrero, A. (13 de enero de 2014). Rotores de motores eléctricos. Obtenido de <https://almadeherrero.blogspot.com/2014/01/rotores-de-motores-electricos.html?m=1>
- Downs, D., Wheeler, RW y JC Stre. "5. Un concepto unificado de combustión en motores IC (Gran Bretaña)". Documento presentado en el IV Congreso Mundial del Petróleo, Roma, Italia, junio de 1955.
- EP Petroecuador. (Junio de 2013). El petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera. (E. T. T, Ed.) pág. 146. Obtenido de <https://www.eppetroecuador.ec/wp->

content/uploads/downloads/2015/03/El-Petr%C3%B3leo-en-el-Ecuador-La-Nueva-Era.pdf

- Erazo López , J. E. (2008). Análisis del comportamiento de un motor de combustión interna a gasolina de 4 cilindros 1800. Universidad Internacional SEK.
- Fernández Ríos, P. (17 de Junio de 2013). *Tecnologías de reducción de emisiones de gases y partículas casos de sistema DPF*. Obtenido de <https://better.cl/tecnologias-de-reduccion-de-emisiones-de-gases-y-particulas-casos-de-sistemas-dpf/>
- Gil Hernandez, J. A., & Rolón Hernandez, J. R. (2009). *Selección, diseño y prueba de nuevos sistemas de levantamiento artificial. Aplicación al campo colorado* (tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/130449.pdf>
- Hernández Córdova, M. A. (2000). *Operación de bombeo mecánico I* (Primera ed.). (I. M. Petróleo, Ed.) México: PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN ACTIVO DE PRODUCCIÓN POZA RICA .
- Interempresas Media, S.L.U. (2019). *Filtros para escape: de alto rendimiento*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Agua/FeriaVirtual/Producto-Filtros-para-escape-EHC-EHC-PF-97162.html>
- Muñoz Domínguez, M. y de Antonio, A. R. (2016). Motores de combustión interna. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/lc/upse/titulos/48846>
- Madrigal, A. (5 de octubre de 2012). Sistemas de Levantamiento: Plunger Lift [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://empleospetrolerosdotorg.wordpress.com/2012/10/05/sistemas-de-levantamiento-plunger-lift-2/>

- Plantas de Cogeneración. (s.f). *Principio de Funcionamiento de Motores de Gas*.
Obtenido de <http://www.plantasdecogeneracion.com/index.php/principios-de-funcionamiento1-2>
- Rafael Morales, M. Y., & Hernández Guzmán, A. (2014). Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible. (417). Sanfandila, Qro.
Obtenido de
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
- Reatiqui, J. (25 de abril de 2015). Levantamiento artificial I. Ecuador: Escuela Politécnica del Litoral.
- TECHAMC web de recursos tecnológicos. (s.f). *Parámetros de interés para todos los motores de combustión interna*. Obtenido de
http://techamc.es/TECNOLOG%C3%8DA%20INDUSTRIAL%20II/MAQUINAS/MOTORES%20TERMICOS/parametros_motores_termicos.pdf
- Ugarteche , O., & De León , C. (05 de agosto de 2020). Las petroleras y la energía limpia. *America Latina en movimiento*.