



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

TEMA:

**“ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS
PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO
GUSTAVO GALINDO”.**

PROYECTO DE TITULACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE:

INGENIERO EN PETRÓLEO

AUTOR

CARLOS VICENTE MORA FRANK

TUTOR

ING. FRANCISCO JAVIER MONTALVÁN TOALA, PhD.

LA LIBERTAD - SANTA ELENA - ECUADOR

2020

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

**“ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS
PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO
GUSTAVO GALINDO”.**

PROYECTO DE TITULACIÓN PARA OPTAR EL GRADO DE:

INGENIERO EN PETRÓLEO

AUTOR

CARLOS VICENTE MORA FRANK

TUTOR

ING. FRANCISCO JAVIER MONTALVÁN TOALA, PHD.

LA LIBERTAD - ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por haberme permitido culminar mis estudios de tercer nivel, dándome la oportunidad de llegar a realizar y conocer cosas que fortalecen mi sentido profesional y personal.

En segundo lugar, agradecer a mis padres, hermanos, tíos, y familia en general, que estuvieron apoyándome en los momentos de mi vida estudiantil, también agradecido con Jenny Mejía y su familia, quienes siempre estuvieron generando esas fuerzas emocionales que yo necesitaba.

En tercer lugar, agradezco a mi tutor de tesis el Doctor Javier Montalván por estar pendiente y guiándome en los avances de mi tesis. También, agradezco mucho a los Doctores Gricelda Herrera y Paúl Carrión por brindarme esa oportunidad de fortalecer mi vida académica, puesto que es muy importante para mí. ¡¡Vamos por más!!.

En cuarto lugar, agradecido con Kevin Caicedo por su apoyo y amistad en todo el transcurso de la carrera, así como amigos y compañeros del curso quienes compartimos momentos académicos y de diversión.

Quiero también agradecer a la Dra. Marllelis Gutierrez y la Dra. Érica Lorenzo, por su importante apoyo en mi transcurso y término de la carrera.

Agradezco el apoyo del grupo CIPAT-ESPOL por proporcionarnos el equipo geofísico y el conocimiento profesional, para que se realice el trabajo de campo.

También agradeciendo al proyecto “Junta Administradora de Agua Potable Regional Manglaralto, JAAPMAN,” Manglaralto, Ecuador.

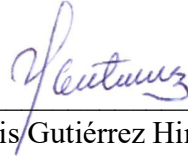
DEDICATORIA

Dedicado a Dios y a mi familia, pilares fundamental desde mis inicios académicos y lo que está por venir.

TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Juan Garcés Vargas, Mgt.
DECANO DE LA FACULTAD
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



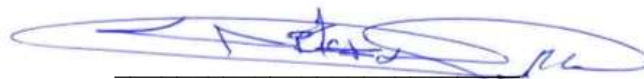
Ing. Marllelis Gutiérrez Hiestroza, PhD
DIRECTOR (E) DE LA CARRERA
DE PETRÓLEOS



Ing. Érica Lorenzo García, PhD
PROFESOR DE ARÉA



Ing. Francisco Montalván Toala, PhD
PROFESOR DE TESIS



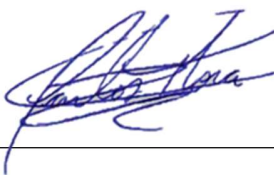
Ab. Víctor Coronel Ortiz, Mgt.
SECRETARIO GENERAL (E)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Carlos Vicente Mora Frank, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería en Petróel, lo cual es es un trabajo exclusivamente inhérito 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,



Carlos Vicente Mora Frank
Autor de Tesis
C.I. 2450290040

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Francisco Javier Montalván Toala, PhD.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO**”, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo elaborado por el Sr. **Carlos Vicente Mora Frank**, 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.



Ing. Francisco Javier Montalván Toala, PhD.

TUTOR

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema “ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO” elaborado por el estudiante CARLOS VICENTE MORA FRANK, egresado 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 antiplagio URKUND, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 0% de la valoración permitida.



Document Information

Analyzed document	Calos Mora URKUND.docx (D79817076)
Submitted	9/24/2020 2:43:00 PM
Submitted by	FRANCISCO MONTALVAN
Submitter email	fmontalvan@upse.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	fmontalvan.upse@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://www.slideshare.net/FRANKFLORESRUBINA/prospeccion-geofisica-metodos Fetched: 7/5/2020 9:41:58 AM	1
W	URL: https://docplayer.es/82812523-Geofisica-aplicada-en-los-proyectos-basicos-de-ingen... Fetched: 7/13/2020 12:06:41 AM	1

Ing. Francisco Javier Montalván Toala, PhD

Docente Tutor

C.I.: 0918533415

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

CERTIFICADO DE REVISIÓN DE LA REDACCIÓN Y ORTOGRAFÍA

Yo, MSc. Alfonso Duverly Del Pezo Tomalá, certifico que he revisado la redacción y la ortografía del contenido de la tesis con el tema: **ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO**", elaborado por **CARLOS VICENTE MORA FRANK**, previo a la obtención del título académico: **INGENIERO EN PETRÓLEO**.

Para el efecto he procedido a leer y analizar de manera profunda el estilo y la forma del contenido y anexos. Concluyendo que:

- Se denota pulcritud en la escritura en todas sus partes.
- La acentuación es precisa
- Se utilizaron los signos de puntuación de manera acertada.
- En todos los ejes temáticos se evita vicios de dicción.
- Hay concreción y exactitud en las ideas.
- No incurre en errores en la utilización de las letras.
- La aplicación de la sinonimia es correcta.
- Se maneja con conocimiento y precisión la morfosintaxis.
- El lenguaje es pedagógico, académico, sencillo y directo, por lo tanto, de fácil comprensión.

Por lo expuesto, y en uso de mis derechos como Licenciado en Educación y Magister en Diseño y Evaluación de Modelos Pedagógicos, recomiendo la VALIDEZ ORTOGRAFICA de su tesis previo la obtención de grado académico: **INGENIERÍA EN PETRÓLEO**.

Atentamente,


MSc. Alfonso Del Pezo Tomalá.
Registro 1050-14-86052886

ABREVIATURAS

ANC	Ancón
CIPAT	Centro de Investigaciones Proyectos Aplicados a Ciencias de la Tierra
CEPE	Corporación Estatal Petrolera
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
GG	Gustavo Galindo
LN	Normal Larga
SEV	Sondeos Eléctricos Verticales
SN	Normal Corta
SP	Potencial Espontáneo

SIMBOLOGÍA

km ²	Kilómetro cuadrado
m	Metro
ft	Pies
ohm (Ω)	Ohmio
ohm m (Ω m)	Ohmio metro
N, S, E, W	Puntos Cardinales

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE GRADO	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	V
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR.....	VI
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	VII
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	VIII
ABREVIATURAS	IX
SIMBOLOGÍA	X
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
RESUMEN	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA.....	5
1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	6
1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	7
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8

1.6. ALCANCE DE LA PROPUESTA	9
1.7. HIPÓTESIS	9
1.8. VARIABLES DE ESTUDIO	9
CAPÍTULO II	11
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. GENERALIDADES DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO.....	11
2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO.....	11
2.2. ÁREA DE ESTUDIO	12
2.2.1. SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO.....	12
2.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.	13
2.3.1. GENERALIDADES	13
2.3.2. ESTRATIGRAFÍA	14
2.4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL CRUDO EN EL CAMPO.....	16
2.4.1. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO MECÁNICO (BM)	
16	
2.4.2. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR PISTONEO O SWAB.....	18
2.4.3. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR HERRAMIENTA LOCAL.	19
2.5. MÉTODOS GEOFÍSICOS.	21
2.5.1. TIPOS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN GEOLOGÍA.....	21
2.5.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO GEOFÍSICO TERRAMETER	
SAS 1000	25
2.6. GENERALIDADES GEOELÉCTRICAS.....	29
2.6.1. BENEFICIOS DE LOS REGISTROS GEOELÉCTRICOS.....	29
2.6.2. TIPOS DE REGISTROS ELÉCTRICOS DISPONIBLES EN EL	
CAMPO	30

2.6.3. MÉTODO GEOFÍSICO, SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

30

CAPÍTULO III.....	34
3. MARCO METODOLÓGICO.....	34
3.1. TIPO DE ESTUDIO	34
3.1.1. DESCRIPTIVA.....	34
3.1.2. ANALÍTICA.....	34
3.2. ÁREA DEL TRANSEPTO GEOLÓGICO SUPERFICIAL.....	34
3.3. POZOS SELECCIONADOS	35
3.3.1. POZOS PRODUCTORES	36
3.3.2. POZO NO PRODUCTOR.....	38
3.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS	38
3.4.1. VISITA TÉCNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	38
3.4.2. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO	39
3.4.3. GEOFÍSICA (GEOELÉCTRICA).....	41
3.5. SOFTWARE DE MODELAMIENTO	47
3.5.1. SOFTWARE IPI2WIN.....	47
CAPÍTULO IV.....	48
4. RESULTADOS.....	48
4.1. INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOELÉCTRICOS	48
4.1.2. TABLA RESUMEN DE VALORES DE RESISTIVIDAD DE LA LITOLOGÍA ENCONTRADA	54
CAPÍTULO V.....	56
5. DISCUSIÓN	56
CAPÍTULO VI.....	58
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58

6.1. CONCLUSIONES	58
6.2. RECOMENDACIONES.....	59
CAPÍTULO VI.....	60
7. REFERENCIAS	60
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Provincia de Santa Elena, Ecuador.	1
Figura 2. (a) Método de Wenner; (b) Método de Schlumberger.....	3
Figura 3. Ubicación Geográfica del Campo Gustavo Galindo.....	11
Figura 4. Área de Estudio, Sección 73, Campo G.G.....	12
Figura 5. Columna Estratigráfica del Bloque Santa Elena.	14
Figura 6. Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico.	17
Figura 7. Principio Físico del Bombeo Mecánico.	17
Figura 8. Levantamiento Artificial por Pistoneo o Swab.....	19
Figura 9. Levantamiento Artificial por Herramienta Local.	20
Figura 10. Tipos de Ondas Mecánicas en un Cuerpo Estático.	23
Figura 11. Principio Físico del Gravímetro.....	23
Figura 12. Equipo Geofísico Terrameter SAS 1000.....	25
Figura 13. Diagrama de Tiempos de Terrameter SAS 1000 en el Modo de Resistividad.....	27
Figura 14. Diagrama de Tiempos de Terrameter SAS 1000 en el Modo IP..	28
Figura 15. Medida Geofísica Wenner.	31
Figura 16. Medida Geofísica Schulumberger.....	32
Figura 17. Área del Transepto Geológico Superficial.....	35
Figura 18. Pozo Productor ANC-0006, Sección 73, Campo GG.....	37
Figura 19. Pozo Productor ANC-1213, Sección 73, Campo GG.....	37
Figura 20. Pozo No Productor ANC-0001, Sección 73, Campo GG.	38
Figura 21. Estructura Sedimentaria con Falla Normal.	40
Figura 22. Acantilado de Ancón-Anconcito.	41
Figura 23. Arreglo de Electrodo AB/2 y MN/2 en el Pozo ANC0001.....	42
Figura 24. Indicaciones del Comportamiento del Equipo Terrameter SAS 1000 por Parte del Grupo CIPAT-ESPOL.....	43
Figura 25. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC0006.	49
Figura 26. Tabla de Resultados del SEV-1-Ancón del Pozo ANC-0006 con Ipi2win.....	50
Figura 27. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC0001.	51

Figura 28. Tabla de Resultados del SEV-2-Ancón del Pozo ANC-0001 con Ipi2win.....	51
Figura 29. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC1213.	52
Figura 30. Tabla de Resultados del SEV-3-Ancón del Pozo ANC-1213 con Ipi2win.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de la Hipótesis.	9
Tabla 2. Producción Mensual de las Secciones Centro Oeste.	13
Tabla 3. Pozos Seleccionados para el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).	36
Tabla 4. Condiciones de Campo para el Proceso Geofísico.....	39
Tabla 5. Materiales Utilizados en el Equipo Terrameter SAS 1000.	42
Tabla 6. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo Geofísico del Pozo ANC0006.	44
Tabla 7. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo Geofísico del Pozo ANC0001.	45
Tabla 8. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo de Campo del Pozo ANC1213.	46
Tabla 9. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-1-Ancón.....	50
Tabla 10. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-2-Ancón.....	52
Tabla 11. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-3-Ancón.....	54
Tabla 12. Resumen de Valores de Resistividades de las Diferentes Litologías Presente en la Zona De Estudio.	55

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

**“ESTUDIO DE CONTRASTE GEOFÍSICO CON TERRAMETER EN POZOS
PRODUCTORES Y NO PRODUCTOR DE LA SECCIÓN 73 DEL CAMPO
GUSTAVO GALINDO”**

Autor: Carlos Vicente Mora Frank

Tutor: Ing. Francisco Javier Montalván Toala, PhD

RESUMEN

El campo Gustavo Galindo posee pozos que actualmente no se encuentran operativos, siendo cerrados décadas atrás, así como pozos con una producción poco rentable, debido a estos antecedentes se requiere ampliar el conocimiento del subsuelo utilizando técnicas geofísicas. La metodología utilizada en el presente trabajo es la siguiente: i) Seleccionar tres pozos de la sección 73, que estén acorde a la información disponible de datos geofísicos, geológicos y logísticos, para la realización de la geofísica; ii) Realizar el trabajo geoelectrico con el equipo Terrameter SAS 1000, aplicando la metodología del dispositivo Schlumberger para luego realizar las curvas de resistividad con el programa IPI2win; iii) Interpretar las columnas litológicas de los pozos seleccionados mediante los datos de resistividad obtenidos en los SEV y datos existentes conforme a lo para su verificación geológica. El presente trabajo tiene como objetivo establecer un contraste geofísico con SEV en dos pozos productores y un pozo no productor de la sección 73 mediante la utilización del equipo Terrameter SAS 1000 para la interpretación litológica de los pozos seleccionados. Se obtuvieron curvas de resistividades con sus diferentes capas geoelectricas de los tres pozos, que fueron correlacionadas con los registros geoelectricos proporcionados por Pacifpetrol S.A. Se puede concluir que el contraste geofísico con el método empleado permitió alcanzar la hipótesis planteada, a proporcionar información litológica similar a la correspondientemente publicada.

Palabras claves: contraste geofísico, SEV, interpretación litológica.

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

**“STUDY OF GEOPHYSICAL CONTRAST WITH TERRAMETER IN
PRODUCING WELLS AND A NON-PRODUCING OF SECTION 73 OF THE
GUSTAVO GALINDO FIELD”**

Autor: Carlos Vicente Mora Frank

Tutor: Ing. Francisco Javier Montalván Toala, PhD

ABSTRACT

The Gustavo Galindo field has wells that are currently not operational, being closed decades ago, as well as wells with an unprofitable production, due to these antecedents it is necessary to expand the knowledge of the subsoil using geophysical techniques. The methodology used in the present work is the following: i) Select three wells from section 73, which are in accordance with the information available from geophysical, geological, and logistical data, for the realization of geophysics; ii) Carry out the geoelectric work with the Terrameter SAS 1000 equipment, applying the methodology of the Schlumberger device to then carry out the resistivity curves with the IPI2win program; iii) Interpret the lithological columns of the selected wells using the resistivity data obtained in the SEV and existing data in accordance with the geological verification. The present work aims to establish a geophysical contrast with SEV in two producing wells and one non-producing well in section 73 by using the Terrameter SAS 1000 equipment for the lithological interpretation of the selected wells. Resistivity curves were obtained with their different geoelectric layers for the three wells, which were correlated with the geoelectric records provided by Pacifpetrol S.A. It can be concluded that the geophysical contrast with the method used allowed us to reach the proposed hypothesis, to provide lithological information similar to that correspondingly published.

Keywords: geophysical contrast, SEV, lithological interpretation.

INTRODUCCIÓN

La Provincia de Santa Elena-Ecuador (Figura 1) ha sufrido cambios geológicos en toda su extensión territorial durante millones de años, estos cambios han sido de tipo sedimentológico, sedimentos no consolidados, y formaciones geológicas causadas por movimientos tectónicos y volcánicos. El área de estudio abarca en el campo Gustavo Galindo, puesto que contiene un tipo de arena de alta porosidad en su superficie, acompañada de una lutita relativamente porosa, zona conocida como “Acantilado de Ancón” (se localiza la sección 73).

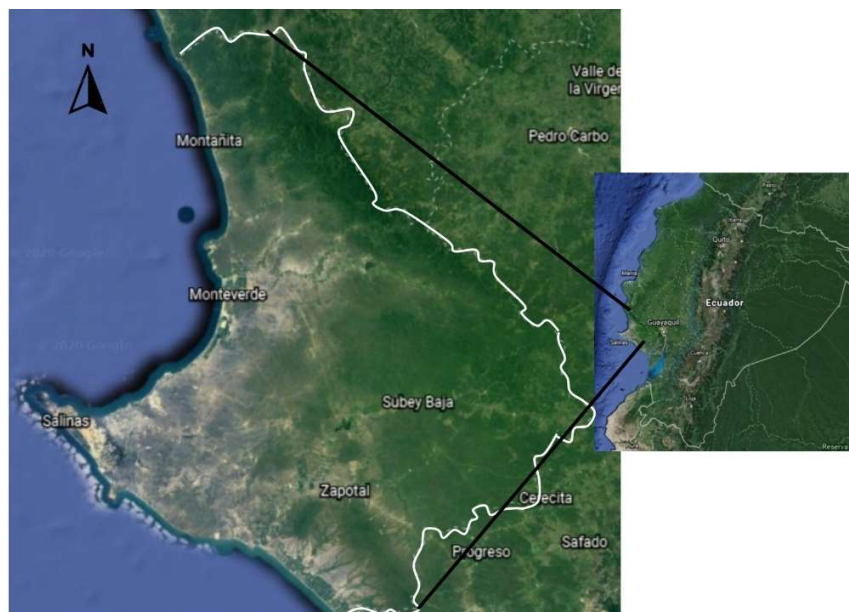


Figura 1. Ubicación geográfica de la Provincia de Santa Elena, Ecuador.

En el campo Gustavo Galindo (Figura 3) comienza la producción petrolera con el primer pozo “ANC-1”, este fue perforado por Anglo Ecuatorian Oilfields en 1911, posteriormente el estado ecuatoriano toma posiciones del campo, puesto que diferentes industrias petroleras comienzan a operar (Pacifpetrol, 2018), tales como: Corporación Estatal Petrolera (CEPE) y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). En la actualidad Pacifpetrol es la empresa operadora del campo desde el año 2002, con una producción aproximada de

1500 bbl/D, (Synergy, 2011), esta producción ha venido decreciendo y miles de pozos han sido cerrado, mientras que otros son reacondicionados para un mejor recobro de su producción.

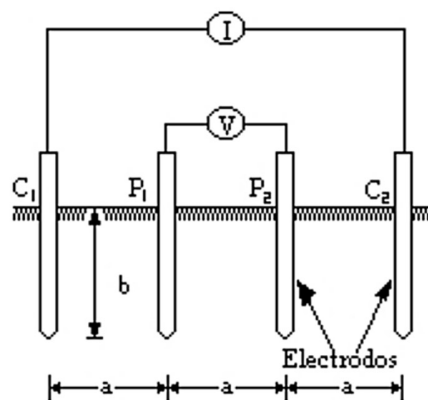
Los pozos a explorar de la sección 73 están ubicados en la zona centro oeste del campo, realizan sus operaciones desde algunos años atrás utilizando medidas de levantamiento artificial de tipo: bombeo mecánico, bombeo por Swab, bombeo por Herramienta Local, y Cavidades Progresivas (Rezavala & Yanza, 2015). Estos pozos en tiempos diferenciados necesitan un reacondicionamiento u otro tipo de proceso que conlleve a mejorar la estimulación de su producción, caso contrario se procede el abandono o cierre de pozo.

Las estratigrafías geológicas son utilizadas en los estudios de exploración petrolera para el conocimiento de las rocas que contienen o generan componentes hidrocarburíferos. Nos brinda un énfasis general de la estructura intelectual del subsuelo sobre las condiciones geológicas favorables para el descubrimiento de importantes acumulaciones de petróleo y gas. En un estudio realizado por Sørensen A. (2006), utiliza los conceptos de estratigrafías geológicas para la determinación de términos en la exploración petrolera de alta mar en territorio canadiense.

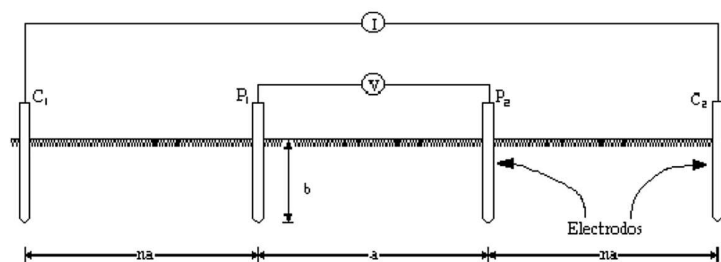
Los métodos geofísicos modernos empleados en la exploración, resuelven las necesidades de información geológicas que se requiere, conllevando al manejo sistémico en la obtención e interpretación de datos, siendo un enfoque crucial en las áreas de exploración petrolera (Pagés et al., 2016).

Los métodos aplicados en trabajos geofísicos para la interpretación geológica del subsuelo, manejan diferentes principios básicos que influyen directamente en el rendimiento geoelectrico, estos métodos son los siguientes: (a) método de Wenner, esta técnica utiliza 4 electrodos que serán penetrados a una misma profundidad y sus mediciones dependerá de la distancia de estos

electrodos. Su principio se basa en inyectar una corriente eléctrica directa (baja frecuencia) que viajará a través del subsuelo entrelazados en los electrodos C1 y C2, mientras que los electrodos P1 y P2 miden el potencial. La relación V/I es la resistencia aparente, misma que está en función de la resistividad y la geometría del electrodo (Figura 2) (Gómez, 2010); (b) método de Schlumberger, esta técnica se utiliza normalmente cuando se requiere llegar a profundidades altas, contiene los mismos 4 electrodos que el Wenner pero la separación de los electrodos de potencial “a” es constante, puesto que las mediciones se realizan tomando distancias diferentes de los electrodos de corriente externa (na) basándose en los electrodos de corriente interna o potencial (a) (Figura 2) (Gómez, 2010).



a.



b.

Figura 2. (a) Método de Wenner; (b) Método de Schlumberger.
Fuente: (Gómez, 2010)

El presente trabajo realiza el estudio con equipo Terrameter SAS 1000 con sistemas electrodos ABEM, es un equipo geofísico donde las lecturas se

muestran automáticamente mediante el uso de algoritmos matemáticos como el método de mínimos cuadrados y elementos finitos (ABEM, 2018), este utiliza la polarización inducida (IP) para el conducto eléctrico encontrada en los minerales (sulfuros y minerales arcillosos), puesto que la medición IP se puede utilizar como complemento del método de resistividad en la capacidad de diferenciar entre zonas no erosionadas y erosionadas por arcilla (Cegrell & Mårtensson, 2008).

CAPÍTULO I

1. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL TEMA

El campo Gustavo Galindo está controlado por la empresa Pacifpetrol S.A. desde el año 2002, distribuido en tres zonas (Norte, Centro y Sur), posee una producción de petróleo de 1200 bbl/D aproximadamente considerada como un crudo liviano (35,7 grados API). La producción de este campo ha venido decreciendo desde décadas atrás por ser uno de los más antiguos del Ecuador.

Los estudios geofísicos ayudan a determinar la estratigrafía geológica y la zona de interés de los pozos petroleros en pocas o altas profundidades, dependiendo del mecanismo de estudio que se requiera realizar. En el presente trabajo se proporciona un mecanismo geofísico basado en la resistividad de los materiales conductivos, es decir, aprovecha la polarización inducida para la obtención del registro geoelectrico en superficie. Dicho esto, se genera una configuración sistemática topográfica de 3 pozos productores y un pozo no productor mediante técnicas de sondeo eléctrico vertical (SEV) del método de resistividad eléctrica con equipo Terrameter SAS 1000, siendo un caso piloto para futuras investigaciones operarias dentro del campo.

El equipo geofísico Terrameter SAS 1000 con sistemas electrodos ABEM, utilizado para registros de resistividad, Polarización Inducida (PI) y de potencial propio: i) modo de resistividad, posee un medidor de resistividad el mismo que ejerce una penetración profunda donde la relación voltaje y corriente (V / I) se calcula y se muestra en unidades de kilo ohmios, ohmios o miliohmios; ii) modo de polarización inducida, esta mide la caída de tensión transitoria en varios intervalos de tiempo donde el efecto de IP se realiza en términos de ($ms V / V$); iii) modo de medición de voltaje, esta comprende de un instrumento

de potencial propio donde el resultado se muestra en V o mV. Los resultados se muestran en modelos bidimensionales de resistividades verdaderas.

1.2. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

El método de resistividad eléctrica se usa en diferentes campos investigativos para el registro geológico en áreas como minería, ingeniería, geología, hidrogeología y medio ambiente (Lago et al., 2009), ya que recrea un fundamento para la identificación estratigráfica.

El registro geofísico por el método de resistividad eléctrica alcanza altas profundidades durante el proceso de este (Groves et al., 2011), de tal manera que, hay que tener en consideración algunas características que influyen en este proceso: el contenido de agua del suelo, textura del suelo, densidad aparente del suelo, temperatura, composición química, en el suelo la resistividad eléctrica también dependerá de los aniones y cationes (Grandjean et al., 2009).

Dentro de las investigaciones geofísicas se encuentran los análisis geoeléctricos para el entendimiento del comportamiento de las rocas y los sedimentos en base a las sondas eléctricas artificiales emitidas desde la superficie conocidos como Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) (Auge, 2008).

Un estudio realizado por Ezomo (2012) menciona que se registró el allanamiento de un depósito de arenisca mediante un equipo geofísico Terrameter usando técnicas de sondeo eléctrico vertical (SEV), misma que tenía como objetivo la prospección de depósitos de arenas siendo una inquietud de mucho jóvenes con fines de fabricación. Entonces, ellos identifican áreas de probables depósitos de arenisca para la futura minería, industrias, cimientos, operación y perforación. Siendo un equipo capaz de generar datos geoeléctricos, con sondeos que van desde profundidades altas hasta secuencias superficiales poco profundas.

1.3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En el campo Gustavo Galindo, existe una rentabilidad poco sustentable de su producción acumulada, conllevando a la exploración litológica de este campo mediante métodos geofísicos, donde el método comúnmente utilizado es la “sísmica”, considerando que al realizar esta metodología resulta económicamente no favorable en los precios del crudo en la actualidad, al ser complejo en tecnologías es altamente costoso en su operación, lo que conlleva a la búsqueda de nuevas alternativas geofísicas.

Luego de conocer la problemática general del campo, se pretende escoger un sitio piloto (sección 73) realizando exploración geológica indirecta poco profunda, para el conocimiento de las diferentes litologías por sus resistividades que se reflejan en capas geoelectricas, mediante la metodología de SEV utilizando el programa IPI2win y luego verificar con información existente del campo para proponer utilizar el equipo Terrameter como un nuevo instrumento geofísico especializado en la exploración geopetrolera del campo de estudio.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El campo Gustavo Galindo ha pasado por una larga historia productiva desde 1911 con la perforación del pozo Ancón 1 hasta la actualidad, pasando por varias entidades empresariales (Anglo Ecuatorian Oilfields, Corporación Estatal Petrolera (CEPE) y la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)) para la perforación y producción de este campo (Pacifpetrol, 2018). En la actualidad la empresa encargada Pacifpetrol S.A. muestra una producción anual en decline (Sinergy, 2016), puesto que es importante un análisis geofísico de la litología de las diferentes secciones que contiene en el campo Gustavo Galindo.

El análisis geofísico con Terrameter SAS 1000 puede ser empleado en diferentes estudios de exploración, ya sea en migración de petróleo (Ameloko & Ojigbo, 2015) o en exploración geológica a pocas o grandes profundidades (Ameh et al., 2020; Rubio Sánchez-Aguililla et al., 2017), generando con un desempeño favorable una opción alterna a nuevos estudios geofísicos en el campo Gustavo Galindo.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer un contraste geofísico con SEV en dos pozos productores y un pozo no productor de la sección 73 mediante la utilización del equipo Terrameter SAS 1000 para la interpretación litológica de los pozos seleccionados.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar los pozos para el estudio del acantilado dentro de la zona central del campo Gustavo Galindo mediante la recopilación de información en fuentes primarias y secundarias para el inicio del proceso geofísico.
- Realizar medidas geoelectricas de superficie mediante el equipo Terrameter SAS 1000 por Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) para la obtención de las curvas de resistividad con el programa IPI2win.
- Interpretar la litología de los pozos seleccionados mediante los valores de resistividad obtenidos y existentes para la explicación geológica de este sector.

1.6. ALCANCE DE LA PROPUESTA

El propósito de este proyecto es analizar dos pozos productores y un no productor en zona piloto (transepto con tres pozos) de la sección 73 para establecer si el equipo Terrameter puede ser aplicado en la exploración petrolera y geológica.

1.7. HIPÓTESIS

Tabla 1. Operacionalización de la Hipótesis.

HIPÓTESIS	VARIABLES	LINEAMIENTOS DE INDICADORES
El análisis de contraste geofísico con Terrameter permite alcanzar las condiciones litológicas de los pozos.	X: Análisis de contraste geofísico	X₁: Ubicación de pozos X₂: Estado de los pozos X₃: Valores geofísicos: resistividad X₄: Observaciones de campo
	Y: Interpretación geofísica	Y₁: Contraste de valores Y₂: Capas de resistividades de dos pozos productivos Y₃: Capas de resistividades de un pozo abandonado Y₄: Interpretación litológica general alcanzada

1.8. VARIABLES DE ESTUDIO

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Estudio de contraste geofísico en pozos productores y no productor de la sección 73.

Variables Independientes:

- Pozos seleccionados.
- Método de resistividad eléctrica.
- Interpretación litológica de los pozos seleccionados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO.

2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO.

El campo Gustavo Galindo se encuentra ubicado en el bloque 2 al suroeste en la provincia de Santa Elena (Figura 3), liderada por la empresa PACIFPETROL S.A. con una extensión de 1200 km^2 , puesto que 480 km^2 pertenece a la extensión costa afuera (offshore) siendo el 40% de la totalidad del territorio del campo. Se han perforado desde sus inicios hasta la actualidad un total aproximado de 2900 pozos, mismo que contiene los primeros pozos del Ecuador. El pozo ANC0001 perforado por la empresa ANGLO ECUADORIAN OILSFIELDS Ltda. se encuentra cerca de la parroquia Anconcito.



Figura 3. Ubicación Geográfica del Campo Gustavo Galindo.
Fuente: (Guale, 2013)

2.2. ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1. SECCIÓN 73 DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO

El campo Gustavo Galindo actualmente se encuentra dividido en tres zonas: Norte, Central y Sur. (Galarza, 2013). Dentro del campo se encuentra la sección 73 en la zona centro oeste del campo (Figura 4) donde se realizó una configuración sistemática para el desarrollo del contraste geofísico.

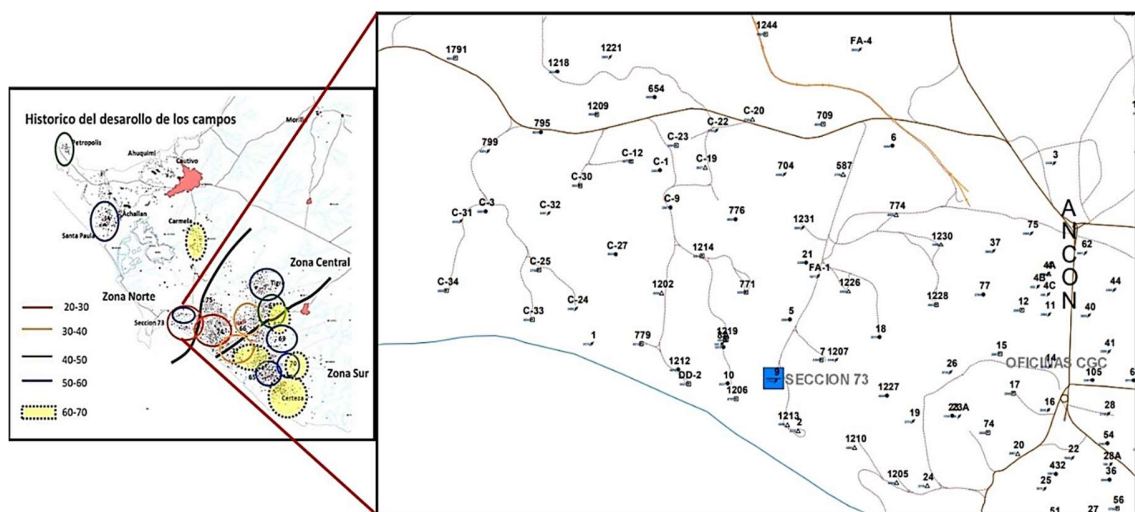


Figura 4. Área de Estudio, Sección 73, Campo G.G.
Fuente: Foto izquierda (Galarza, 2013); Foto derecha (Rezavala & Yanza, 2015)

En esta sección se encuentra el Acantilado de Ancón donde contiene parroquias cercanas como Anconcito y Ancón, en este lugar se localiza el primer pozo (ANC0001) petrolero del Ecuador, zona considerada como patrimonio nacional (Herrera-Franco, et al., 2020).

Existen otras secciones aledañas (pertenecientes a la zona centro oeste) que tienen una producción mensual similar a la sección 73 (método de Bombeo Mecánico), sin embargo, por Herramienta Local y Swab existen diferencias significativas. La Tabla 2 nos muestra de manera general la producción mensual de estas áreas del campo:

Tabla 2. Producción Mensual de las Secciones Centro Oeste.

ACOPIO	SISTEMA			TOTAL
	BM	HL	SW	
Sección 66	1755,4	207,1	749,4	2711,9
Sección 73	1404,2	2477,9	3045,9	6928
Sección 74	1378,7	3322,4	2759,1	7460,2
Sección Carmela	927,4	28,0	126,1	1081,5
PRODUCCIÓN MENSUAL	5465,7	6035,4	6680,5	18181,6

FUENTE: (Velastegui & Veloz, 2007)

Con lo antes mencionado se realizó la selección de los pozos de esta sección, puesto que contiene pozos antiguos que han sido cerrados en diferentes tiempos y pozos que aún siguen en producción como el caso del pozo ANC-0006.

2.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA.

2.3.1. GENERALIDADES

El área petrolera Ancón se encuentra en el levantamiento de Santa Elena, comprendida de la secuencia litológica sedimentaria Cretácico al Terciario Inferior (Paleoceno-Eoceno), el cual se presentó como unidad geológica emergente desde la reactivación del sistema de la falla La Cruz. En este campo desde los primeros pozos exploratorios en la provincia de Santa Elena, los geólogos de la compañía inglesa Anglo correlacionaron las rocas del campo Ancón con las de Monteverde, observando que existía una cercanía entre las zonas sedimentarias de estas áreas (García, 2006).

Se ha determinado que la Península de Santa Elena posee sedimentación eocena perteneciente al Grupo Ancón, este contiene a las formaciones Passage Beds, Clay Pebble Beds (CPB) y Socorro, indicando que la Fm. CPB está compuesta por areniscas calcárea gruesa y arenisca opuestas del Grupo Azúcar; así como un banco de areniscas conocido como Fm. Santo Tomas, considerada como productora en el campo Ancón (Lorenzo et al., 2018).

2.3.2. ESTRATIGRAFÍA

La provincia de Santa Elena contiene una estratigrafía (Figura 5) que ha venido surgiendo referente a los tipos de formaciones, detallando diferentes procesos geológicos ocurridos desde hace millones de años, mismo que ha servido para los depósitos orgánicos enterrados y afectados por factores de tiempo, temperatura y presión, formando el petróleo del área.

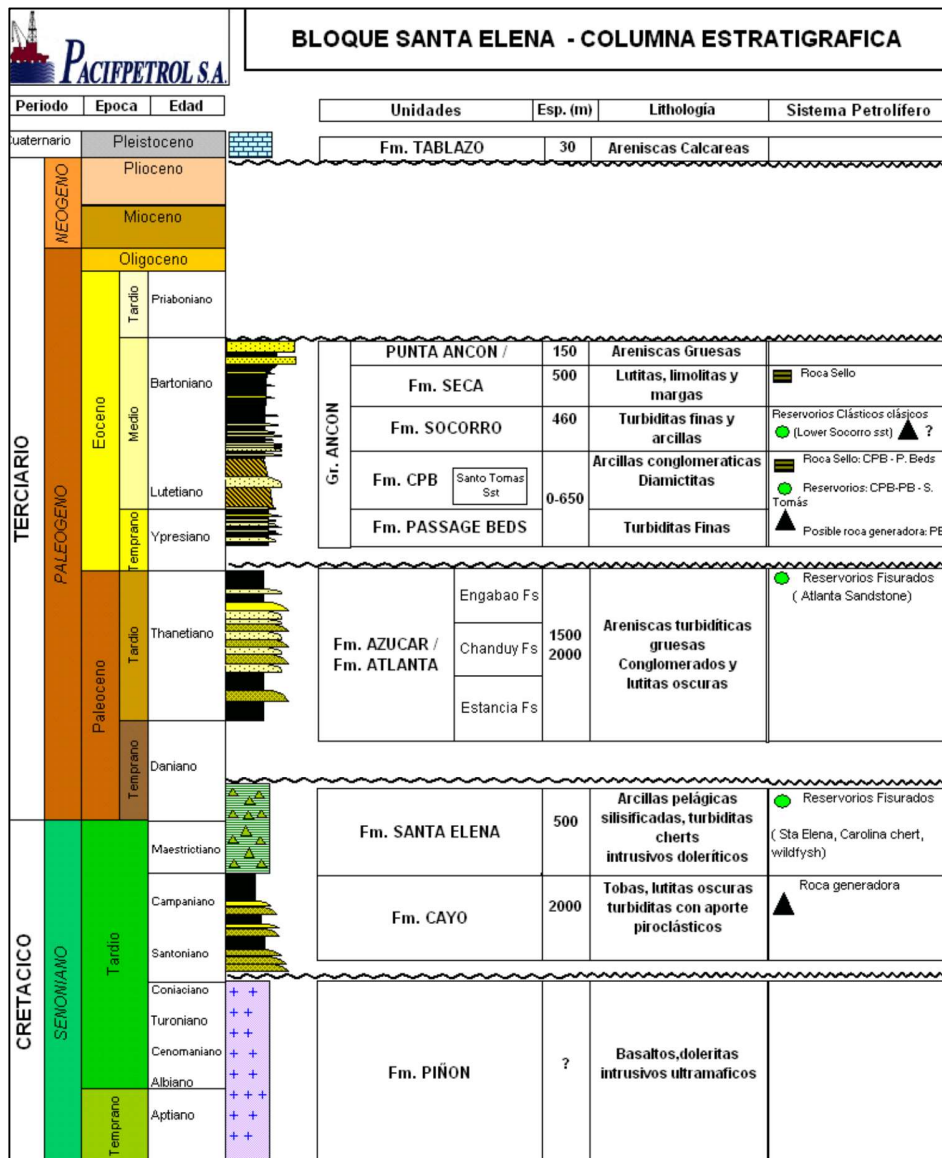


Figura 5. Columna Estratigráfica del Bloque Santa Elena.
Fuente: PACIFPETROL

Dentro de las principales formaciones del campo Gustavo Galindo se encuentran: Socorro, CPB, PB, Santo Tomás y Atlanta.

- **Formación Socorro**

La Fm Socorro tiene una edad de Eoceno Medio, con una composición rígida y muy fracturada compuesta por lutitas laminadas, limolitas y areniscas de grano fino con intercalaciones turbidinas finas. El reservorio ha contribuido en un 25% de su producción acumulada, con un espesor de 390 m a 500 m (Villacís, 2018).

- **Formación Clay Pebble Bed (CPB)**

La Fm CPB contiene una potencia de 1000 m a 1500 m aproximadamente, misma que aflora en los acantilados de Ancón. Constituye en la edad Eoceno Temprana inferior (Figura 2), con una composición litológica de lutitas y capas deformadas de areniscas guijarrosas, cherts y calizas (Villacís, 2018). Su producción se incorpora desde el año 2004 en una variedad de pozos y se considera un potencial petrolero en otras áreas del campo.

- **Formación Passage Beds**

Esta formación se despliega en todo el campo, a excepción de las zonas muy superficiales como la corteza. Está constituida por duros estratos delgados de areniscas, que incluyen intercalaciones de areniscas calcáreas (Navarrete, 2018).

- **Formación Santo Tomás**

Consiste de un conjunto de areniscas de potencias moderadas conocida solamente en el subsuelo en el sector homónimo, con un espesor de entre 100 y 150 ft (Navarrete, 2018). Esta formación pertenece a la edad de Eoceno

Medio con una composición litológica de Arcillas conglomeraticas y Diamictitas.

- **Formación Atlanta**

Es el principal reservorio del campo por su volumen y producción, constituye a la edad Paleoceno Tardío y su litología está formada principalmente de areniscas grises duras de textura media a gruesa con un espesor aún sin definir (López, 2000).

2.4. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DEL CRUDO EN EL CAMPO.

Los métodos de extracción son utilizados cuando el yacimiento ha perdido su energía natural y el pozo deja de producir o su tasa de recobro no es rentable, puesto que es necesario suministrar energía adicional. Conocidos como levantamiento artificial generan un refuerzo energético de presión al pozo, llevando el fluido desde el fondo (punto intake) hacia la superficie (SLACOL, 2015).

Estos métodos tienen como finalidad minimizar los requerimientos de energía en la cara de la formación productora y maximizar el diferencial de presión para provocar la mayor afluencia de fluidos.

2.4.1. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR BOMBEO MECÁNICO (BM)

Este levantamiento artificial (Figura 6) es el más utilizado y antiguo del campo Gustavo Galindo, donde aproximadamente el 45% de la producción se extrae por bombeo mecánico (Synergy, 2018), aplicado normalmente cuando los pozos tienen un largo tiempo de producción.



Figura 6. Levantamiento Artificial por Bombeo Mecánico.
Fuente: Pacifpetrol

El Bombeo Mecánico emplea una bomba recíproca de desplazamiento positivo en el fondo, elevando la presión del fluido, puesto que el mecanismo consta de elementos básicos. Su principio físico se basa en un sistema de válvulas viajeras y estacionarias, se encargan de realizar su funcionamiento mediante el método de succión para levantar el fluido hasta la superficie (Figura 7) (Rodríguez & Pilasagua, 2014).

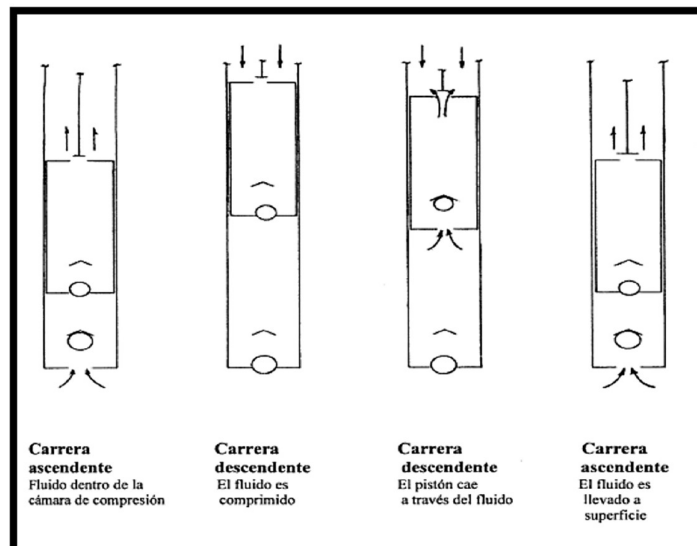


Figura 7. Principio Físico del Bombeo Mecánico.
Fuente: (Rodríguez & Pilasagua, 2014)

Las principales partes del BM están implementadas según la función a emplear (fondo o superficie), tales como:

- Estructura
- Soporte maestro
- Bloque viajero
- Biela
- Manivela
- Reductor de velocidades
- Correas o bandas
- Cabeza del balancín
- Elevador
- Motor de la unidad
- Cabezal del pozo

2.4.2. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR PISTONEO O SWAB

Este método consiste en la extracción de fluidos del interior del pozo desde una profundidad determinada hasta la superficie, donde el fluido atraviesa el pistoneo del pozo. Esta función se realiza en pozos profundos y someros, cuando la presión de la formación no es suficiente a la columna hidrostática (Calderón, 2014), por ende necesita un incremento de la presión de fondo (intake).

En la producción del pozo mediante este levantamiento (Figura 8), consiste en utilizar un cable de acero enrollado tambor del Swab, y con apoyo de otros componentes instalados en el equipo.



Figura 8. Levantamiento Artificial por Pistoneo o Swab.
Fuente: (Calderón, 2014)

El sistema de levantamiento de Pistoneo o Swab, contiene una serie de herramientas que la componen, ya sea en su lado superficial y de subsuelo:

- Motor a diésel.
- Pluma.
- Malacate.
- sistema hidráulico de estabilización.
- Cable de 9/16".
- Manguera de producción.
- Lubricador.
- Tanque de Almacenamiento.
- Copa de Swab.
- Porta copas.
- Standing Valve.

2.4.3. LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL POR HERRAMIENTA LOCAL

Este levantamiento artificial por Herramienta Local (Figura 9) es un método no especificado o considerado como un tipo de levantamiento, sin embargo, es el más sencillo y más utilizado por contener una operación de bajo costo y una

rápida recuperación de producción durante el proceso de extracción (Calderón, 2014).



Figura 9. Levantamiento Artificial por Herramienta Local.
Fuente: (Calderón, 2014)

Su principio físico consta de una botella que se sumerge en el casing por efecto de gravedad hasta alcanzar el fluido del pozo, precedentemente la válvula se abre e ingresa el petróleo hasta llenar la botella para luego ser levantada mediante un cable de acero que está conectado en el malacate, permitiendo que la válvula se cierre por el peso del fluido; dado que, cuando llega el fluido a la superficie contenido en la botella, se descarga y se lo canaliza en un tanque de almacenamiento. Se repite el proceso hasta que la producción acumulada en el fondo del pozo, se recupere.

Los componentes de este levantamiento artificial en la zona superficial y de subsuelo, son las siguientes:

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

2.5. MÉTODOS GEOFÍSICOS.

La geología está formada por materiales terrestres que han sido resultado de procesos de formación y distorsión en el tiempo, generando de esta manera diferentes tipos de estructuras. Aquellas formaciones que permiten la ocurrencia de hidrocarburos como las trampas geológicas se encuentran generalmente en el subsuelo, necesitando de esta manera métodos geofísicos para el conocimiento general y específico de esta formación. Existen diferentes métodos geofísicos utilizados en la exploración geológica y petrolera, permitiendo el conocimiento de la estratigrafía geológica (Fucugauchi et al., 2005).

2.5.1. TIPOS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS EN GEOLOGÍA

En geología la geofísica estudia la constitución y propiedades de los materiales que conforman la tierra en toda la distribución global, así mismo, implica los procesos que generaron la formación y las alteraciones que la conllevaron, su transporte (fenómenos dinámicos), la naturaleza y evolución del ambiente superficial (Navarrete, 2005).

La geofísica es considerada un modelo importante en la exploración, puesto que estudia los fenómenos físicos producidos en el planeta, considerando estos fenómenos, como el electromagnetismo, la propagación de ondas mecánicas en la corteza terrestre, la gravedad y campos eléctricos.

- Electromagnetismo:

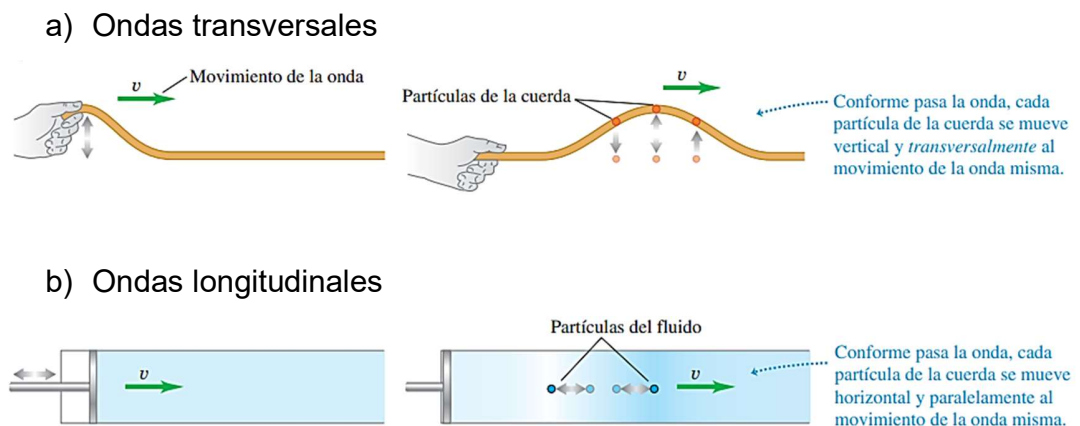
El electromagnetismo constituye a los métodos geofísicos de mayor diversidad en la parte metodológica e instrumentación. Los métodos electromagnéticos en la geofísica básicamente tienen como objetivo determinar la cuantificación de las variaciones en conductividad eléctrica de la tierra que está en función de la profundidad utilizados en los estudios de exploración (Fernández et al.,

1987). Los estudios de exploración comúnmente conocidos, manejan instrumentos que son realizados en base a la teoría avanzada logrando los alcances geológicos, siendo estos: la geotérmica, zonas hidrocarburíferas, mantos acuíferos y zonas de alta mineralización (Fernández et al., 1987), así como estudios de aguas subterráneas cartografía de la intrusión marina, la localización de vertidos contaminantes, arqueología y descubrimiento de cavidades (Serralde, 2011).

Las ondas electromagnéticas fueron descubiertas por estudios basados en los campos eléctricos y magnéticos, al considerar la existencia de una perturbación electromagnética que puede propagarse a través del espacio, indistintamente de la presencia de una materia (Young & Roger, 2009).

- **Ondas Mecánicas:**

Las ondas mecánicas es una perturbación de las propiedades mecánicas que viaja a través de un material o un medio físico. Al momento de viajar la onda por el cuerpo o medio, las partículas que componen la sustancia sufren desplazamientos de varios tipos, esto dependerá de la naturaleza de la onda (Young & Roger, 2009). Dicho esto, la Figura 10 muestra tres formas de generar una onda mecánica en un cuerpo estático:



c) Ondas superficiales

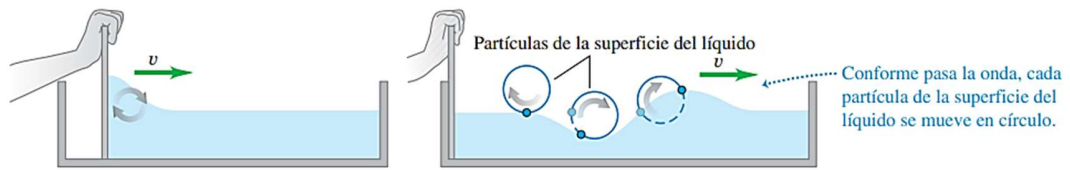


Figura 10. Tipos de Ondas Mecánicas en un Cuerpo Estático.
Fuente: (Young & Roger, 2009)

- **Gravitación:**

Se basa en el campo gravitatorio natural de la Tierra conocido como campo potencial (suma de las masas que componen la Tierra), puesto que inicialmente fue aplicado en la prospección petrolífera en los Estados Unidos y golfo de México para la localización de domos de sal que acumulan petróleo crudo (Sigismondi et al., 2011).

Cuando se realiza una prospección geofísica por el método gravimétrico, se debe tomar en cuenta que, a pesar de la topografía plana del terreno existirán anomalías de gravedad por causa de desviaciones de densidad en el subsuelo (respecto a la densidad base), es decir, esto dependerá de la distribución de la densidad másica (Dobrin, 1997).

El gravímetro es un equipo que mide diferencias muy finas en la gravedad, cuyo principio físico consta de la gravitación normal y forzada (Figura 11):



Figura 11. Principio Físico del Gravímetro.
Fuente: (Griem, 2020).

- **Campos eléctricos:**

Un cuerpo eléctrico perturba el espacio que lo rodea, creando un campo eléctrico que está compuesto en su alrededor por fuerzas encontradas sobre una carga eléctrica.

El campo eléctrico es una cantidad vectorial que existe en cualquier parte del espacio. Se conoce que un punto o posición en un campo eléctrico es la fuerza que recibiría una carga puntual positiva, esta es llamada "intensidad de campo eléctrico" (Young & Roger, 2018).

La fórmula del campo eléctrico \vec{E} (McAllister, 2017) es:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left(\frac{N}{C} \right)$$

Donde:

\vec{F} = es la fuerza sobre la carga eléctrica.

$\frac{N}{C}$ = son las dimensiones del campo eléctrico newton / coulomb.

q = carga arbitraria.

Al implementar una carga q y otras cargas representadas por q_i en la ecuación de Coulomb (McAllister, 2017), forma un campo eléctrico:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r^2} \hat{r}_i$$

Donde:

\hat{r}_i = son vectores unitarios, indica cual es la dirección de la recta en el plano que está unida por q_i y q .

2.5.2. ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO GEOFÍSICO TERRAMETER SAS 1000

Las especificaciones del equipo Terrameter SAS 100 son basadas mediante el manual de instrucciones ABEM (2018), puesto que consta de información completa del sistema geofísico y tipos de mediciones.

2.5.2.1. GENERALIDADES

El equipo geofísico Terrameter consta de un equipo llamado SAS 1000 (Figura 12) o SAS 4000, con sistema de electrodos ABEM LUND, ABEM MULTIMAC Y ABEM SAS LOG 200. SAS significa Signal Averaging System, donde muestra la lectura de manera automática con resultados promedios.



Figura 12. Equipo Geofísico Terrameter SAS 1000.
Fuente: Mora C., 2020.

Un estudio realizado por Doneva y Karanakov (2011), presentan una teoría sobre el equipo geofísico Terrameter SAS 1000 con medición de resistividad eléctrica, mismo que obtienen datos cuantitativos del área subterránea. Detallan que la medición consiste en conducir la corriente a través del campo investigativo y monitorear la caída del potencial eléctrico.

Según el manual de instrucciones (ABEM, 2018) el empaquetamiento del sistema Terrameter SAS 1000, consta de los siguientes componentes: instrumento SAS 1000 con un canal de entrada, conector de batería externa, cable RS 232 (con conector KPT a SAS 4000 y conector DSUB a PC), kit de documentación donde vienen dos juegos de Manual del operador y Tarjeta de registro de garantía, también un CD con software programado.

2.5.2.2. TIPOS DE MEDICIÓN EN TERRAMETER SAS 1000

- **Mediciones de resistividad:**

El receptor se encarga de medir la señal de voltaje de respuesta incluido el ruido de fondo y el potencial propio en intervalos moderados cuando las corrientes, la IP y la carga energética (transitorios) de los cables han descendido a niveles bajos. Normalmente el tiempo del ciclo en este modo es de 2.6 segundos, el retraso de adquisición es de 0.2 segundos y el tiempo de adquisición es de 0.3 segundos. Es notable mencionar que cuando existe una resistividad elevada en extremas profundidades, estos valores de tiempo deberían incrementarse (ABEM, 2018).

El diagrama de tiempo en modo de resistividad (Figura 13) del equipo Terrameter SAS 1000, donde la curva punteada es medido con la presencia del ruido y la curva completa es la corriente transmitida. Los intervalos de recepción están en la línea inferior.

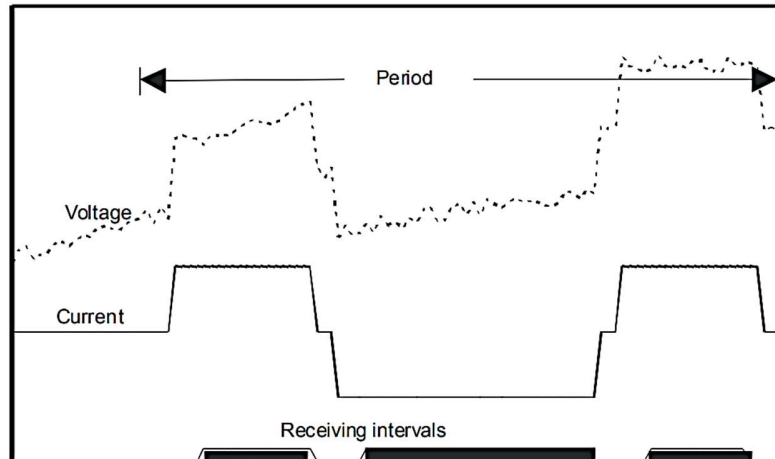


Figura 13. Diagrama de Tiempos de Terrameter SAS 1000 en el Modo de Resistividad.
Fuente: (ABEM, 2018)

- Modo Polarización Inducida:

La capacidad de fuerza del equipo SAS 1000 es gracias al modo de polarización inducida (utilizada para diferenciar las formaciones geológicas encontradas en el subsuelo), donde la corriente se transmite simétricamente, es decir, que las polaridades serán de misma longitud. El ciclo completo en este modo, está compuesta por una parte positiva y negativa de longitudes T, también llamadas corriente activada y corriente desactivada, respectivamente, puesto que el tiempo se establece en valores de 1, 1.5, 2, 2.5, ... en tiempos de 0.5 segundos (ABEM, 2018).

El diagrama de tiempos de Terrameter SAS 1000 en el modo IP (Figura 14), varía según las condiciones energéticas donde la Figura 11 muestra dos curvas, la curva punteada es un voltaje de descomposición medido en presencia de ruido en un periodo de tiempo y la curva completa es la corriente transmitida. Puesto que, no hay mucha presencia de IP en este ejemplo y dichos intervalos de recepción se muestran en la línea inferior.

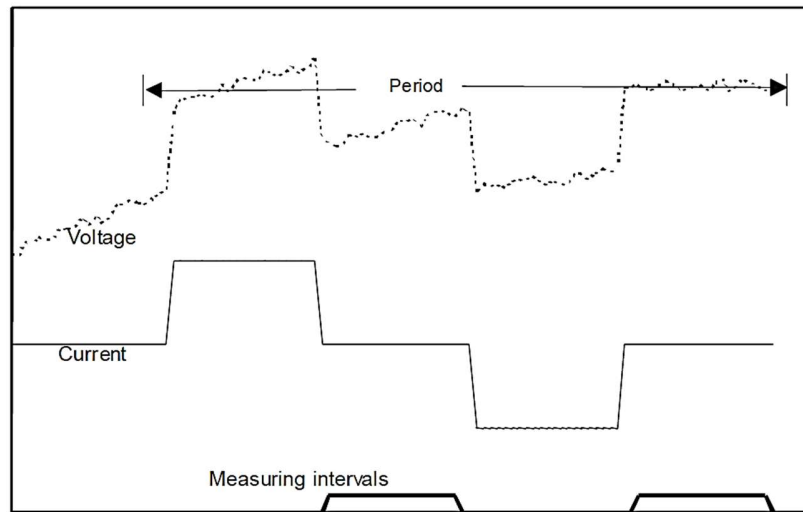


Figura 14. Diagrama de Tiempos de Terrameter SAS 1000 en el Modo IP.
Fuente: (ABEM, 2018)

A pesar de la amplitud automatizada en el modo IP también puede ser controlada manualmente por el operador. Ofrece una configuración entre 1 mA y 1000 mA con un voltaje máximo de electrodos de 400 V. El equipo SAS 1000 mide la disminución transitoria del voltaje cuando ocurre un apagón del alimentador de corriente. La longitud de los diferentes intervalos de tiempo es expresada de la siguiente manera:

$$\Delta t_i = n \cdot f^{i-1} \Delta t_0$$

Donde:

n = es un factor multiplicante (por defecto = 1).

$f = 1$ y 2 (por defecto = 2) es un exponente incremental.

Δt_0 = es el intervalo de tiempo fundamental (20 ms en áreas con una frecuencia de alimentación principal de 50 Hz, respectivamente, 16,67 ms en áreas con una frecuencia de alimentación de 60 Hz).

- **Lecturas negativas:**

Las causas negativas de resistividad pueden ocurrir por efecto graves de calidad de medición, puesto que debe investigarse. La causa más común es la conexión a tierra deficiente del electrodo, dando como resultado, una baja optimización de la potencia de transmisión. Es recomendable que el suelo este seco para una mejor eficiencia del equipo (ABEM, 2018).

Las lecturas negativas IP son más comunes de encontrarse, esto ocurre cuando la capa subsuperficial es más conductora que la superficial.

- **Medición de potencial DC (SP)**

Esta modo SP ofrece mediciones de potencial DC que se pueden interpretar los resultados hasta 3 o 4 dígitos, ofreciendo un intervalo de integración de 20 ms (una reducción efectiva del ruido de voltaje) (ABEM, 2018).

2.6. GENERALIDADES GEOELÉCTRICAS.

Las investigaciones geoeléctricas son una disciplina de la geofísica, aplicadas en la geología e hidrología pero normalmente son representadas en la minería de minerales, construcción y geotecnia, puesto que es indispensable hacer una retroalimentación de información sobre los beneficios de los registros geoeléctricos, registros eléctricos obtenidos por la industria petrolera y existentes en el campo, así como los diferentes métodos geofísicos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

2.6.1. BENEFICIOS DE LOS REGISTROS GEOELÉCTRICOS

Los registros geoeléctricos son de gran importancia en la exploración de recursos en áreas industriales o académicas, la implementación de estos métodos nos muestran las formas geológicas del subsuelo y los diferentes

componentes que la contienen. De esta manera, una gran cantidad de estudios académicos e industriales con fines de lucro, son realizados en recubro de una respuesta hacia las necesidades respectivas.

Un estudio realizado por Cervantes y Cuadros (2017) revelan los aportes de la aplicación de mediciones geofísicas utilizando resistividad eléctrica, entonces, determinan que los métodos geofísicos utilizados permitieron completar y especificar las condiciones geológicas del área de estudio. Los autores dieron otros aportes importantes de los métodos geofísicos, siendo la “obtención de datos de una forma rápida y en tiempo real, contribuyendo a una interpretación más objetiva de los resultados obtenidos”.

2.6.2. TIPOS DE REGISTROS ELÉCTRICOS DISPONIBLES EN EL CAMPO

El campo Gustavo Galindo ha tenido una larga producción durante toda su historia, durante y antes de ese proceso existieron diferentes tipos de registros eléctricos, y los primeros registro se corrieron mediante Spontaneus Potencial (SP), Long-Normal (LN) y Short-Normal (SN). A partir de 1997 aparecen registros modernos para la obtención de mejores resultados de porosidad y resistividad (Tigse, 2018), tales como:

- Spontaneus Potencial (SP).
- Registro Gamma Ray.
- Registro de Porosidad.

2.6.3. MÉTODO GEOFÍSICO, SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

Este método constituye la distribución física de un campo eléctrico artificial que se propaga en el terreno en dirección vertical y horizontal, puesto que, entre más se distancien los electrodos de corriente, mayor será la profundidad que alcanzará el sondeo (De la Torre, 2010). Los sondeos eléctricos pueden

realizarse por diferentes arreglos de electrodos, utilizados principalmente los dispositivos Wenner y Schlumberger.

2.6.3.1. Método de Wenner

En la aplicación del método Wenner (Figura 15), muestra un diagrama de electrodos AM, MN y NB están separados proporcionalmente con la variable “a”, esto significa que, en el nivel 1 tiene una abertura “a”, en el segundo nivel tiene una abertura de “2a”, y así con los demás factores (nivel “n” con abertura “na”), concluyendo que entre mayor sea “n” la profundidad del SEV aumentará (Marín & Avedaño, 2017).

Constante geométrica:

$$k = 2\pi a$$

Diagrama de distribución de electrodos:

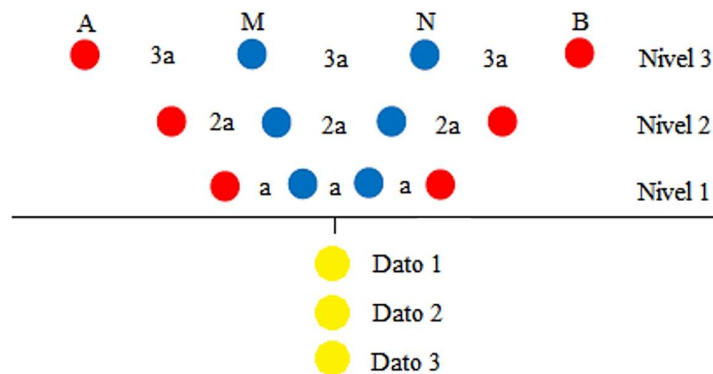


Figura 15. Medida Geofísica Wenner.
Fuente: (Marín & Avedaño, 2017)

2.6.3.2. Método Schlumberger

En la aplicación del método Schlumberger (Figura 16), la distancia entre electrodos de potencial MN se mantiene constante pero variando la distancia que existe entre los electrodos AM y BN en una variable “na”. A medida que

avanzan los niveles de sondeo, se aumenta la distancia de la variable “a”, es decir, en el nivel 1 será “a”, en el nivel 2 será “2a”, en el nivel n será “na” (Marín & Avedaño, 2017).

Constante geométrica:

$$k = \frac{\pi}{4MN} (AB^2 - MN^2)$$

Diagrama de distribución de electrodos:

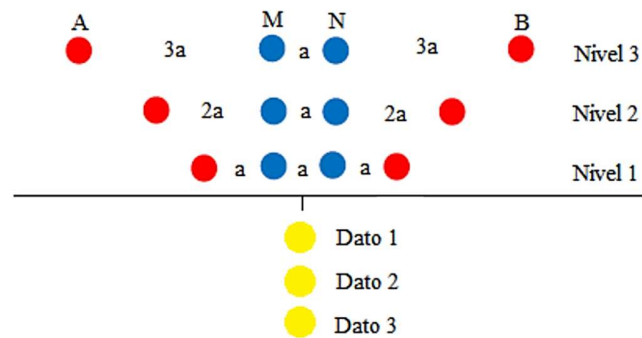


Figura 16. Medida Geofísica Schlumberger.
Fuente: (Marín & Avedaño, 2017)

La expresión para calcular la resistividad aparente en el sondeo Schlumberger (De la Torre, 2010) está dada por la siguiente fórmula:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \left\{ \left(\frac{L^2}{a} \right) - 0.25 \right\}$$

Donde:

ρ_a = resistividad aparente, representada en Ωm .

V = es la diferencia del potencial medido en los electrodos M y N.

I = pertenece a la corriente eléctrica que va a través de A y B.

L = es la distancia media entre A y B.

a = es la distancia entre M y N.

Cabe recalcar, que al momento de aumentar los niveles de AB y MN (electrodos de corriente interna y externa), los Datos que se muestra serán de profundidades mayores, manteniendo un voltaje constante (12 voltios durante la geofísica).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO DE ESTUDIO

El presente trabajo es de tipo descriptiva y analítica, puesto que se realiza investigación en el área seleccionada para luego realizar un análisis de interpretación de los resultados obtenidos, resolviendo la problemática de manera panorámica.

3.1.1. DESCRIPTIVA

Este estudio es investigativo porque describe las variables como contraste geofísico, registros geoelectricos, pozos productores y no productor, enmarcada en el área de geociencias para sintetizar con criterios de carácter geológico en la configuración sistemática de un plan piloto.

3.1.2. ANALÍTICA

La investigación analítica consiste en el estudio de la información utilizando los datos obtenidos del trabajo de campo (mediante equipo Terrameter) en los tres pozos seleccionados para observar las curvas de los registros y reflejar de manera geológica los mecanismos estructurales encontrados en el subsuelo.

3.2. ÁREA DEL TRANSEPTO GEOLÓGICO SUPERFICIAL

El área del transepto geológico se realizó utilizando una vista general de la sección dando un área irregular de $0,51 \text{ km}^2$ aproximadamente, está conformada por tres pozos identificados dos pozos productores y un pozo no productor, como se muestra en la Figura 17.

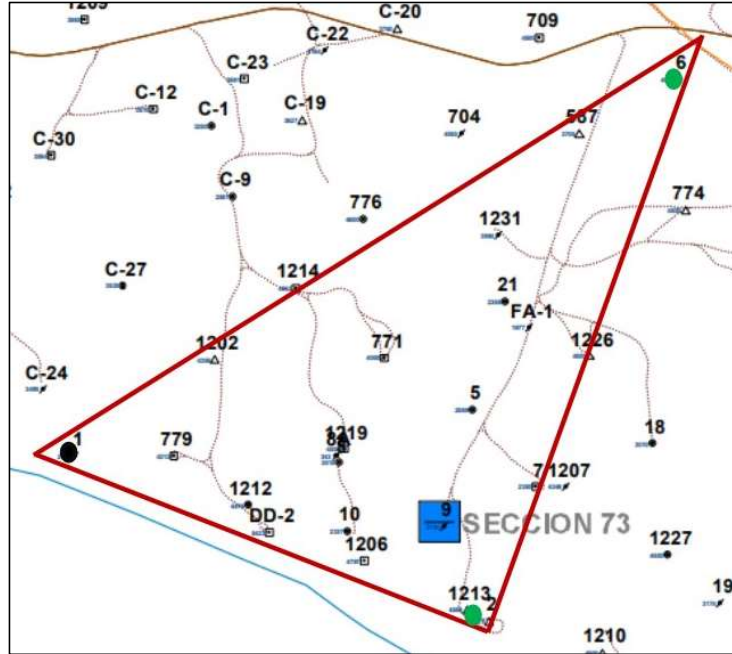


Figura 17. Área del Transepto Geológico Superficial.
Elaborado por: Mora C., 2020.

La longitud de distancia separadas por cada pozo, está dada de la siguiente manera:

- ANC-0001 y ANC-1213 con una distancia de 0,88 km.
- ANC-0001 y ANC-0006 con una distancia de 1,45 km.
- ANC-1213 y ANC-0006 con una distancia de 1,17 km.

3.3. POZOS SELECCIONADOS

En la Tabla 3 se detalla la selección de pozos utilizados para el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), donde se encuentran dos pozos productores (ANC1213, ANC0006) y un pozo no productor (ANC0001), perforados a diferentes profundidades. Los pozos productores contienen diferentes métodos de levantamiento artificial y fueron seleccionados indistintamente de la producción acumulada diaria que generen cada uno, puesto que únicamente se da una proyección geológica.

Tabla 3. Pozos Seleccionados para el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV).

SECCIÓN	N° POZO	POSICIÓN GEOGRÁFICA		PROFUNDIDAD (ft)	TIPO DE BOMBEO
		Sur	Oeste		
73	1	2°19'23.5"	80°52'20.1"	2174	Cerrado
73	1213	2°19'33.4"	80°51'54.4"	4556	BM
73	6	2°18'58.8"	80°51'40.3"	4094	HL

Elaborado por: Mora C., 2020.

Al seleccionar los pozos, el enfoque se realizó no solamente en cubrir toda el área de la sección 73, sino también en considerar los primeros pozos perforados para analizar con criterios geológicos sobre lo que sucede respecto a la producción en esta área del campo. Sin embargo, estos criterios no generan un enfoque profundo de la problemática pero conducen a una generalidad de lo que sucede en la sección y el resto del campo Gustavo Galindo.

Otra variable de selección fue la accesibilidad al lugar, puesto que algunos pozos se localizaban en superficies con problemas de inestabilidad logística.

3.3.1. POZOS PRODUCTORES

Los pozos productores seleccionados han cursado una trayectoria de aproximadamente cien años de logística en su producción. Dentro de la historia a nivel provincial y nacional, estos pozos productores contienen una particularidad por ser los más antiguos.

La selección de estos pozos se debe al libre acceso de la información disponible a datos geofísicos, geológicos y logísticos, para el seguimiento de la geofísica.

Los pozos seleccionados que actualmente se encuentran en producción para el trabajo geoeléctrico, son: ANC-0006 (Figura 18) y ANC-1213 (Figura 19).

- POZO ANC-0006



**Figura 18. Pozo Productor ANC-0006, Sección 73, Campo GG.
Fuente: Mora C., 2020.**

- POZO ANC-1213



**Figura 19. Pozo Productor ANC-1213, Sección 73, Campo GG.
Fuente: Mora C., 2020.**

3.3.2. POZO NO PRODUCTOR

El pozo no productor seleccionado es el ANC-0001 (Figura 20), este pozo fue el primer pozo petrolero del Ecuador perforado en 1911 por la compañía Anglo. La selección de este pozo, es basado utilizando la misma teoría implementada con los pozos productores.



**Figura 20. Pozo No Productor ANC-0001, Sección 73, Campo GG.
Fuente: Mora C., 2020.**

3.4. MÉTODO DE OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos recopilados se obtuvieron mediante técnicas geoelectricas y geológicas, la primera por datos de resistividad del terreno, mientras que la segunda por levantamiento geológico.

3.4.1. VISITA TÉCNICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Durante la visita técnica se inspeccionó las condiciones que llevaría realizar el trabajo geofísico y la geología de este sector. Para la geofísica, se confirmó si el área de estudio era acorde logísticamente para este fin, dado que la

distancia longitudinal de los AB/2 debe ser mayor a los 100m para alcanzar una mayor profundidad del subsuelo, es decir, la distancia longitudinal en superficie es directamente proporcional a la profundidad en la que alcanzará el campo eléctrico artificial en el subsuelo, donde posteriormente los receptores obtendrán datos de resistividad.

De la misma manera, se verificó que los electrodos no tengan ningún problema al momento de ser anclados en la superficie del suelo, puesto que, si la textura del suelo es dura o muy dura, no se podría insertar con facilidad los diferentes electrodos.

A continuación se presenta la tabla 4, misma que muestra las condiciones que se tuvo al momento de realizar la geofísica:

Tabla 4. Condiciones de Campo para el Proceso Geofísico.

N° Pozo	Condición Superficial	
	Longitud (m)	Textura del suelo
1	147	Arena blanda
1213	147	Arcilla y Arena semidura
6	100	Arena semidura

Elaborado por: Mora C., 2020.

3.4.2. GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio está situado en el acantilado de Ancón en la línea costera Ancón-Anconcito, formado por rocas terciarias y cuaternarias a unos metros sobre el nivel del mar.

Las rocas terciarias pertenecen al grupo Ancón de la formación Seca (edad Eoceno Superior), mientras que el basamento de esta parte del Ecuador, está

constituido por formaciones de era Cretácea, Piñón constituida por basaltos y Cayo por materiales sedimentarios marinos (tobas y lutitas oscuras).

En la parte superficial a lo largo de la zona entre Ancón y Anconcito, se puede observar una estructura sedimentaria (Figura 21) compuesta de lutita seca, arcilla con presencia de óxido, areniscas, así como arcillolitas y limolitas en conglomerados delgados, con presencia de cristales de yesos y carbonatos de calcio, así como sedimentación turbidítica (Moreno-Alcivar et al., 2019).



Figura 21. Estructura Sedimentaria con Falla Normal.
Fuente: Mora C., 2020.

La zona es denominada “costa accidentada”, donde las rocas de lutita son erosionadas por efecto del oleaje marino y el viento constante que va en dirección Oeste-Este, presentando un paisaje reuniforme, irregular y, en su mayoría inaccesible. El acantilado (Figura 22) además muestra, que ha sido afectado por un proceso de meteorización, donde las fallas normales, fallas por gravedad, estratificación gradual y cruzada, depresiones, marcas de ondulación, estratificación laminar, y estratos de betún (derivado del petróleo), son parte de la singularidad geológica que contiene esta parte de la Provincia de Santa Elena (Herrera-Franco et al., 2020).



Figura 22. Acantilado de Ancón-Anconcito.
Fuente: Mora C., 2020.

3.4.3. GEOFÍSICA (GEOELÉCTRICA)

Para el proceso geofísico se utilizó el método geoelectrico, el cual es utilizado para determinar estratos o capas con diferentes resistividades en el subsuelo, los cuales fueron interpretados acorde a la geología de la zona, de esta manera ampliando el conocimiento de los diferentes materiales y sus potencias existentes en el área estudiada.

3.4.3.1. MÉTODO GEOFÍSICO APLICADO EN CAMPO

El presente trabajo se realizó por el método de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), mediante el dispositivo Schlumberger, el cual con el arreglo de electrodos proporciona una mejor resolución de datos de resistividad de los diferentes materiales en el subsuelo. El equipo utilizado es el Terrameter SAS 1000.

- Método Schlumberger

En la aplicación del método Schlumberger para la obtención de los datos de resistividad, se procede con una abertura de los electrodos AB/2 en cada punto de interés geofísico con 100m (ANC0006), 147m (ANC0001) y 147m

(ANC1213), mientras que los electrodos internos de MN/2 tuvieron una abertura de hasta 10m. Los materiales utilizados en la geofísica se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales Utilizados en el Equipo Terrameter SAS 1000.

Equipo	Cantidad
Sistema Terrameter	1
Batería	1
Pinzas de lagarto	2
Cinta métrica	2
Electrodos	38
Carrete de cable con pinza	4
GPS	1

Elaborado por: Mora C., 2020.

En el comienzo del sondeo eléctrico, se colocó un electrodo en el centro (punto de inicio) ubicado en la medida “cero”. Se procedió a clavar los electrodos en la línea pretendida para el comienzo de la abertura AB/2 y MN/2 (Figura 23), luego cuidadosamente se conectó los cables de los carretes que conducirían la corriente (AB/2) y los carretes con los cables que recibirían el potencial (MN/2), manteniendo estirados los cables en cada proceso.



Figura 23. Arreglo de Electrodos AB/2 y MN/2 en el Pozo ANC0001.
Fuente: Mora C., 2020.

Como último punto, se conecta el equipo Terrameter SAS 1000 en la batería para generar una corriente eléctrica que conduciría a través del carrete para llegar al electrodo y generar una conductividad eléctrica en el subsuelo. Explicación profesional por el equipo de trabajo CIPAT-ESPOL (Figura 24).



**Figura 24. Indicaciones del Comportamiento del Equipo Terrameter SAS 1000 por Parte del Grupo CIPAT-ESPOL.
Fuente: Mora C., 2020.**

3.4.3.2. DATOS OBTENIDOS EN LA GEOFÍSICA

Los datos que se han obtenido mediante el trabajo de campo por el equipo Terrameter SAS 1000, son indexados en una planilla o matriz de datos para el procedimiento del cálculo de resistividad en cada uno de los puntos seleccionados.

La siguiente Tabla 6 muestra los resultados de la geofísica del SEV-1-Ancón ubicado próximo al pozo ANC0006, este muestra la estación, abertura de los AB/2 y MN/2 en superficie, el valor de la constante K, la resistencia obtenida por el equipo Terrameter y la resistividad aparente.

Tabla 6. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo Geofísico del Pozo ANC0006.

CÓDIGO:	SEV-1-Ancón	CROQUIS Coordenadas en WGS 84/ 17M Dirección de la línea de SEV: 130°N Cercano al pozo 6
FECHA:	21-ago-20	
OPERADOR:	Ing. Ximena Quiñonez	
COORDENADAS X:	515415	
COORDENADAS Y:	9743980	
COORDENADAS Z:	46	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia		Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm)		
1	1	0,2	7,54	5,4278	Ω	40,9
2	1.47	0.2	16.66	3,526	Ω	58,7
3	2.15	0.2	35.99	2,189	Ω	78,8
4	3.16	0.2	78.11	1,099	Ω	85,8
5	4.64	0.2	168.78	458,91	mΩ	77,5
6	4.64	0.5	66.85	824,81	mΩ	55,1
7	6.81	0.2	363.92	156,4	mΩ	56,9
8	6.81	0.5	144.91	278,71	mΩ	40,4
9	10	0.5	313.37	92,951	mΩ	29,1
10	14.7	0.5	678.08	13,67	mΩ	9,3
11	14.7	2	166.58	49,176	mΩ	8,2
12	21.5	0.5	1451.42	6,7822	mΩ	9,8
13	21.5	2	359.91	13,288	mΩ	4,8
14	31.6	2	781.13	6,622	mΩ	5,2
15	46.4	2	1687.79	44,975	mΩ	75,9
16	46.4	5	668.52	48,541	mΩ	32,5
17	68.1	2	3639.24	9,9038	mΩ	36,0
18	68.1	5	1449.1	12,24	mΩ	17,7
19	100	5	3133.75	13,134	mΩ	41,2
20	100	10	1555.09	15,757	mΩ	24,5

Elaborado por: Mora C., 2020.

La Tabla 7 nos presenta la planilla de los datos obtenidos durante el trabajo geofísico del SEV-2-Ancón próximo al pozo ANC0001, indicando la resistencia obtenida y la resistividad en unidades (ohm m).

Tabla 7. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo Geofísico del Pozo ANC0001.

CÓDIGO:	SEV-2-Ancón	CROQUIS Coordenadas en WGS 84/ 17M Dirección de la línea de SEV: 124°N Cercano al pozo 1
FECHA:	21-ago-20	
OPERADOR:	Ing. Ximena Quiñonez	
COORDENADAS X:	514223	
COORDENADAS Y:	9743194	
COORDENADAS Z:	2	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia		Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K	(ohm)		
1	1	0,2	7,54	219,46	mΩ	1,7
2	1.47	0.2	16.66	93,177	mΩ	1,6
3	2.15	0.2	35.99	48,793	mΩ	1,8
4	3.16	0.2	78.11	18,194	mΩ	1,4
5	4.64	0.2	168.78	9,4577	mΩ	1,6
6	4.64	0.5	66.85	21,858	mΩ	1,5
7	6.81	0.2	363.92	4,933	mΩ	1,8
8	6.81	0.5	144.91	11,374	mΩ	1,6
9	10	0.5	313.37	5,735	mΩ	1,8
10	14.7	0.5	678.08	2,7925	mΩ	1,9
11	14.7	2	166.58	10,345	mΩ	1,7
12	21.5	0.5	1451.42	1,175	mΩ	1,7
13	21.5	2	359.91	4,3695	mΩ	1,6
14	31.6	2	781.13	2,0604	mΩ	1,6
15	46.4	2	1687.79	1,431	mΩ	2,4
16	46.4	5	668.52	3,6997	mΩ	2,5
17	68.1	2	3639.24	0,7202	mΩ	2,6
18	68.1	5	1449.1	1,922	mΩ	2,8
19	100	5	3133.75	0,4101	mΩ	1,3
20	100	10	1555.09	1,8933	mΩ	2,9
21	147	5	6780.83	0,5409	mΩ	3,7
22	147	10	3378.63	1,0937	mΩ	3,7

Elaborado por: Mora C., 2020.

Finalmente, en la Tabla 8 se encuentra la planilla de los datos obtenidos en el trabajo geofísico del SEV-3-Ancón próximo al pozo ANC1213.

Tabla 8. Planilla de los Datos Obtenidos en el Trabajo de Campo del Pozo ANC1213.

CÓDIGO:	SEV-3-Ancón	CROQUIS Coordenadas en WGS 84/ 17M Dirección de la línea de SEV: 219°N Cercano al pozo 1213
FECHA:	21-ago-20	
OPERADOR:	Ing. Ximena Quiñonez	
COORDENADAS X:	515107	
COORDENADAS Y:	9742873	
COORDENADAS Z:	1	

Estación	Abertura	Abertura	Constante	Resistencia (ohm)		Resistividad (ohm m)
Punto	AB/2	MN/2	K			
1	1	0,2	7,54	158,05	mΩ	1,2
2	1.47	0.2	16.66	80,383	mΩ	1,3
3	2.15	0.2	35.99	41,484	mΩ	1,5
4	3.16	0.2	78.11	22,67	mΩ	1,8
5	4.64	0.2	168.78	12,901	mΩ	2,2
6	4.64	0.5	66.85	26,91	mΩ	1,8
7	6.81	0.2	363.92	7,727	mΩ	2,8
8	6.81	0.5	144.91	15,761	mΩ	2,3
9	10	0.5	313.37	8,082	mΩ	2,5
10	14.7	0.5	678.08	3,988	mΩ	2,7
11	14.7	2	166.58	14,44	mΩ	2,4
12	21.5	0.5	1451.42	1,876	mΩ	2,7
13	21.5	2	359.91	7,052	mΩ	2,5
14	31.6	2	781.13	4,8385	mΩ	3,8
15	46.4	2	1687.79	1,454	mΩ	2,5
16	46.4	5	668.52	3,537	mΩ	2,4
17	68.1	2	3639.24	0,476	mΩ	1,7
18	68.1	5	1449.1	1,553	mΩ	2,3
19	100	5	3133.75	1,897	mΩ	5,9
20	100	10	1555.09	2,851	mΩ	4,4
21	147	5	6780.83	0,406	mΩ	2,8
22	147	10	3378.63	0,501	mΩ	1,7

Elaborado por: Mora C., 2020.

3.5. SOFTWARE DE MODELAMIENTO

La información recopilada en el trabajo de campo es introducida en el software seleccionado para el modelamiento e interpretación de los valores de resistividad obtenidos, utilizando gráficas en segunda dimensión (2D). Se utilizó el software Ipi2win debido a la calidad del procesamiento de las resistividades de los materiales.

3.5.1. SOFTWARE IPI2WIN

El software Ipi2win es de origen ruso de propiedad GEOSCAN-M Ltd., diseñado para la interpretación de datos de resistividad por medio de SEV con distintos arreglos de dispositivos utilizados en la prospección eléctrica (Wenner, Schlumberger, Dipolo-dipolo).

El programa Ipi2win procesa los datos de resistividad obtenidos en el trabajo geofísico, una vez iniciado el proceso nos genera una curva de ajuste de resistividad, permitiendo el conocimiento indirecto geológico del sustrato encontrado en el subsuelo en base a un rango de resistividades con respecto a la litología encontrada; además, el programa se ajusta a un margen de error menor del 6%, haciendo fiable los datos (Quiñonez, 2019). Los márgenes de error presentados en el software están ligados al interpretador y a la litología.

Este programa utiliza hojas logarítmicas, donde consta de dos curvas diferentes de resistividad, la curva de color negro corresponde a los datos ingresados, y la curva de color rojo muestra el ajuste de los valores ingresados.

La tablas de resultado generada por el programa IPI2win, contiene cuatro variables que muestra los valores del número de capas (N), resistividad (ρ), espesor de capas (h), y profundidad (d) (Quiñonez, 2019).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOELÉCTRICOS

Los datos de resistividad de las planillas del trabajo de campo, son introducidos en el programa IPI2win, este nos generó tres curvas de ajustes (una curva para cada pozo).

Una vez concluido el ajuste de curvas, el programa mostró los resultados obtenidos en una tabla, determinada como "Tabla de Resultados".

Las tablas de los valores de resistividad, mostraron el número de capas, los valores de resistividad, espesor y profundidad, facilitando el entendimiento litológico del sitio. La resistividad se relaciona con la litología del sector, se compara en base a la geología encontrada.

4.1.1. CURVAS DE AJUSTE DE LOS TRES POZOS CON IPI2WIN

- SEV-1-Ancón (POZO ANC-0006)

Se realizó el ajuste de la curva para la obtención de un margen de error aceptable.

La curva de ajuste del pozo ANC0006 muestra un total de cuatro capas geoelectricas (Figura 25), en este SEV se corrió con un $AB/2$ de 100 m, puesto que logísticamente cumple con la distancia mínima, dispuesta en el presente trabajo.

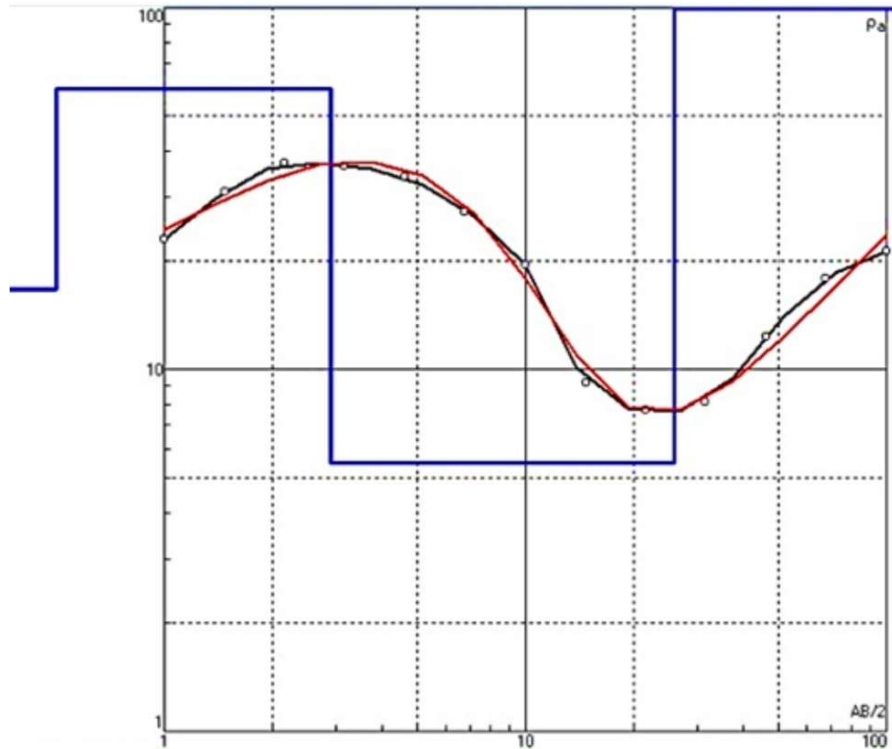


Figura 25. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC0006.
Fuente: Mora C., 2020.

La tabla de resultados con un margen de error del 6,52%, mismo que se encuentra en el rango aceptado (Figura 26).

Alcanzando una profundidad de 25.8 m, la primera capa se registra como “suelo” con una resistividad de 16.6 Ωm con un espesor de 0,5 m, seguido de una segunda con 59,9 Ωm (2,39 m) que se reconoce como un material arcilloso, la tercera capa con 5,52 Ωm (22,9 m) contiene un material turbidífico. Por último se encuentra la cuarta capa que muestra una severa elevación de resistividad de 29,58 Ωm con un espesor y un material, desconocido.

N	ρ	h	d	Alt
1	16.6	0.5	0.5	-0.5
2	59.7	2.39	2.89	-2.891
3	5.52	22.9	25.8	-25.82
4	2958			

Figura 26. Tabla de Resultados del SEV-1-Ancón del Pozo ANC-0006 con Ipi2win.
Fuente: Mora C., 2020.

La Tabla 9 presenta los valores de resistividad realizadas en el SEV-1-Ancón, puesto que en base a la interpretación de la litología encontrada, se muestra un material no saturado.

Tabla 9. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-1-Ancón.

Resistividad	Espesor (m)	Litología
16,6	0,5	Suelo
59,7	2,39	Arcilla
5,52	22,9	Material Turbidífico
29,58	-	?

Elaborado por: Mora C., 2020.

- SEV-2-Ancón (POZO ANC-0001)

Se procedió con el ajuste de la curva para la obtención de un margen de error aceptable.

La curva de ajuste del pozo ANC0001 muestra un total de cuatro capas geoelectricas (Figura 27), en este SEV se corrió con un AB/2 de 147 m, puesto que logísticamente cumple con la distancia requerida.

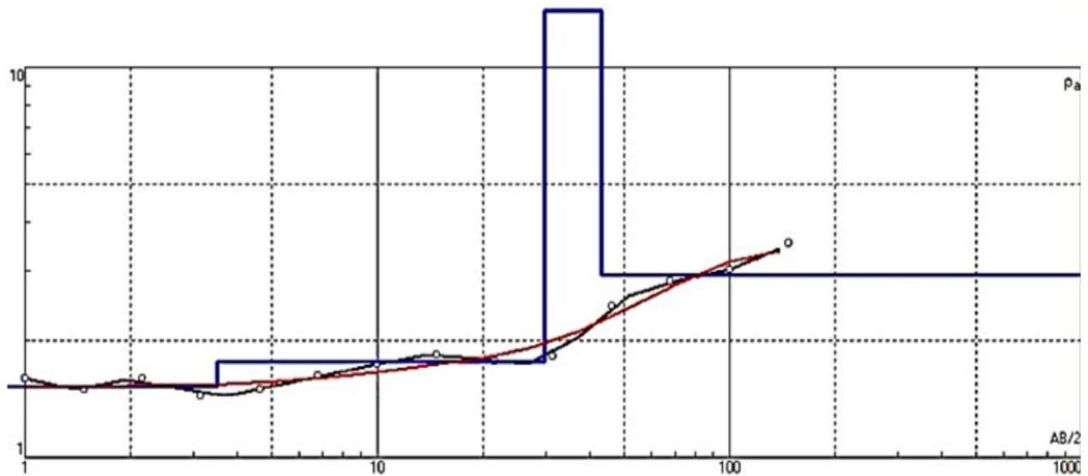


Figura 27. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC0001.
Fuente: Mora C., 2020.

La profundidad alcanzada fue de 43,1 m con un margen de error del 4,46% (Figura 28), con un AB/2 de 147m alcanzando. La curva de ajuste muestra que las dos primeras capas poseen resistividades bajas de 1.52 Ωm y 1.76 Ωm con espesores de 3,5m y 26,3m respectivamente, encontrándose materiales arenosos y turbidíficos, saturados con agua de mar, mientras que la tercera capa tiene una resistividad elevada de 14 Ωm (13,4m) registrando un material arcilloso conglomerado saturado con agua de mar, y la cuarta capa disminuye su resistividad con 2,94 Ωm siendo un material turbidífico igualmente saturado.

Error = 4.48%				
N	ρ	h	d	Alt
1	1.52	3.5	3.5	-3.504
2	1.76	26.3	29.8	-29.78
3	14	13.4	43.1	-43.15
4	2.94			

Figura 28. Tabla de Resultados del SEV-2-Ancón del Pozo ANC-0001 con Ipi2win.
Fuente: Mora C., 2020.

La Tabla 10 presenta los valores de resistividad y la litología encontrada en el SEV-2-Ancón, lo cual en todo el recorrido se encuentra saturada mayoritariamente con agua de mar.

Tabla 10. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-2-Ancón.

Resistividad	Espesor (m)	Litología
1,52	3,5	Arenas saturadas agua de mar
1,76	26,3	Material Turbidítico saturado con agua de mar
14	13,4	Arcillas conglomeradas saturadas con agua de mar
2,94	-	Material Turbidítico saturado con agua de mar

Elaborado por: Mora C., 2020.

- SEV-3-Ancón (POZO ANC-1213)

La curva de ajuste del pozo ANC1213 muestra un total de cuatro capas geoelectricas (Figura 29), en este SEV se corrió con un AB/2 de 147 m, puesto que logísticamente cumple con la distancia requerida.

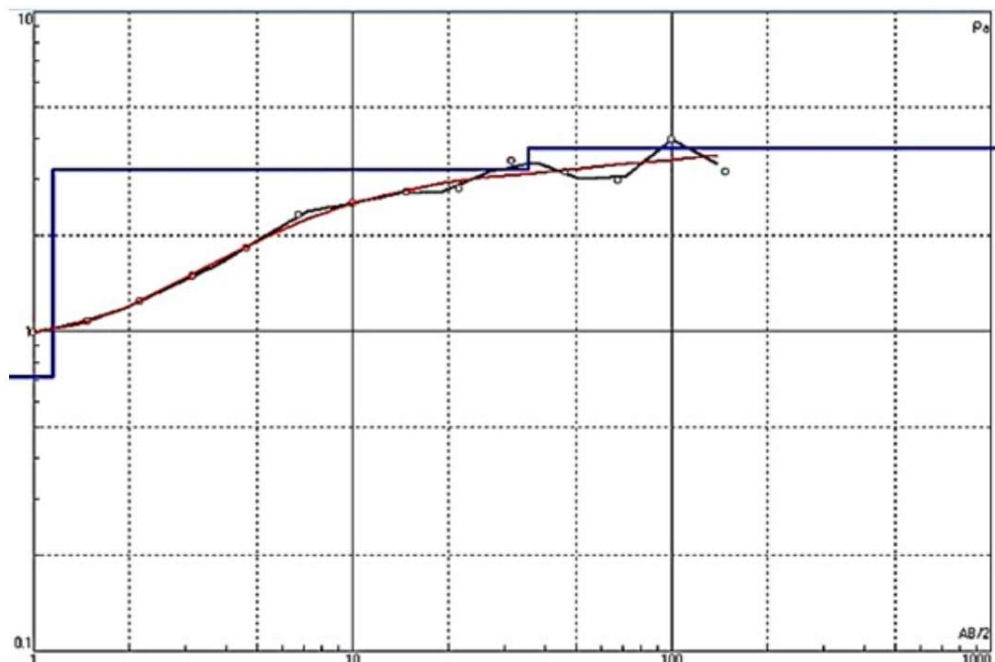


Figura 29. Curva de Ajuste con Ipi2win en el Pozo ANC1213.

Fuente: Mora C., 2020.

Alcanzando una profundidad de 35.6m con un margen de error de 5,65% (Figura 30), las dos primeras capas contienen una resistividad por debajo de 1 Ωm (0,966 Ωm y 0,721 Ωm) encontrando material arcilloso y arenoso, saturados con agua de mar, así mismo, la tercera y cuarta capa presentan similitudes en la resistividad con 3,19 Ωm y 3,75 Ωm , igualmente saturados con agua de mar.

N	ρ	h	d	Alt
1	0.966	0.709	0.709	-0.7092
2	0.721	0.441	1.15	-1.151
3	3.19	34.5	35.6	-35.65
4	3.75			

Figura 30. Tabla de Resultados del SEV-3-Ancón del Pozo ANC-1213 con Ipi2win.
Fuente: Mora C., 2020.

La Tabla 11 muestra los valores resistivos encontrados mediante el SEV-3-Ancón próximo al pozo ANC-1213, compuesto por una litología mayoritariamente por material saturado con agua de mar.

La litología también es basada con el registro eléctrico de resistividad del pozo ANC-1213 (**Anexo 1**), correlacionado con el SEV-3-Ancón, se fortalece de esta manera el conocimiento litológico del sector en base a las mismas profundidades que alcanzó el equipo Terrameter SAS 1000.

Tabla 11. Valores de Resistividad de las Diferentes Litologías Obtenida Mediante el SEV-3-Ancón.

Resistividad	Espesor (m)	Litología
0,966	0,7	Arcilla saturada con agua de mar
0,721	0,4	Arena saturada con agua de mar
3,19	34,5	Material Turbidítico saturado con agua de mar
3,75	-	Arcilla saturada con agua de mar

Elaborado por: Mora C., 2020.

4.1.2. TABLA RESUMEN DE VALORES DE RESISTIVIDAD DE LA LITOLOGÍA ENCONTRADA

En la Tabla 12 se genera el resumen de los valores de resistividad de la litología encontrada en los diferentes SEV realizados.

La resistividad puede variar en un mismo rango de posibilidades, puesto que las rocas pueden contener agua dulce, agua salada, o puede encontrarse seca, sin embargo, se determina que los materiales localizados están saturados con agua de mar y materiales que no están saturados.

Los materiales encontrados en los tres puntos seleccionados, muestra un contenido mayoritariamente saturado con agua de mar, donde las resistividades abarcan un rango de 0 – 14 Ωm con materiales de arcilla, arenas y turbidítico.

Por otro lado, también se encuentra el contenido que no es saturado con agua de mar con resistividades que abarca desde 5,5 Ωm hasta los 60 Ωm , determinando que existe presencia de material arcilloso y turbidítico.

Tabla 12. Resumen de Valores de Resistividades de las Diferentes Litologías Presente en la Zona De Estudio.

Rango de resistividades	Espesor (m)	Litología
0 – 4	> 0.5	Arcilla saturada con agua de mar
0 – 2	0 – 4	Arenas saturadas con agua de mar
1 -3,5	26 - 34	Turbidítico saturado con agua de mar
14	13	Arcillas conglomeradas saturadas con agua de mar
60	2	Arcillas
5,5	22	Material turbidítico
16	0,5	Suelo

Elaborado por: Mora C., 2020.

CAPÍTULO V

5. DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, la hipótesis general planteada en este estudio, la cual indica que el análisis geofísico por SEV, como un método alternativo para el conocimiento de las diferentes litologías próximos a los pozos seleccionados es aceptable.

La tabla resumen (Tabla 12), muestra las diferentes litologías interpretadas en los trabajos de los SEV, estos resultados guardan relación con lo relatado por diferentes autores acerca de la estratigrafía litológica del subsuelo del campo Ancón, presentan material turbidítico (Barzola, 2019), material de arena, arcilla y conglomerados como se indica mediante una columna estratigráfica (Lorenzo et al., 2018) y estructuras sedimentarias turbidíticas (Moreno-Alcivar et al., 2019).

Estudios realizados con Terrameter SAS 1000 en la cuenca del río Manglaralto, revelan datos de resistividades que se corresponden con ambientes costeros similares a los obtenidos en el presente estudio, indicando que a profundidades desde los 2,5 m hasta 70 m con resistividades de 5,59 Ωm y 32,2 Ωm , existe material limo y arcilla, así como arenas y gravas, saturadas con agua, mientras que a profundidades mayores a los 30 m hasta los 70 m con resistividad de 1 Ωm y 14,4 Ωm , se encuentra lutitas y areniscas saturadas con agua (Quiñonez, 2019). Esta información da conocer una similitud de la litología existente en Manglaralto con las rocas localizadas en el presente estudio y el expediente relatado por (García, 2006).

Otros estudios, revelan que los electrodos ABEM con equipo Terrameter SAS 1000/4000, pueden ser utilizados para la lectura de resistividades a una mayor profundidad, estos trabajos de investigación identifican las diferentes rocas litológicas encontradas por tomografía o columna estratigráfica de resistividad,

a una profundidad de 200 m (700 ft) a 600 m (2000 ft) (Ameh et al., 2020; Rubio Sánchez-Aguililla et al., 2017; Sharifi et al., 2014), sin embargo, los datos en el área seleccionada pueden ser aún mayores si se realiza una buena verificación logística y geológica del lugar, expandiendo de esta manera la distancia en superficie de los AB/2 y MN/2.

El equipo geofísico Terrameter también ha sido empleado en procesos de exploración y migración hidrocarburífera, este identifica mediante tomografía geoelectrica los diferentes materiales litológicos, tales como: arcilla, arenas, lutitas y calizas, puesto que evidencia el comportamiento sobre el desplazamiento del hidrocarburo a una profundidad de 50 m (Ameloko & Ojigbo, 2015).

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Los pozos fueron seleccionados acorde a la información disponible de datos geofísicos, geológicos y logísticos, lo que permitió obtener información previa para el seguimiento del proceso geofísico y el conocimiento del subsuelo de la zona de estudio.

En los sitios seleccionados se realizaron las medidas geoeléctricas con el equipo Terrameter, permitiendo la obtención de los datos de resistividad aparente para luego ser procesados con el programa IPI2win, generando diferentes rangos de resistividades. Las resistividades fueron correlacionadas con la geología y el perfil del pozo (ANC-1213), permitiendo el establecimiento de diferentes capas geoeléctricas.

La interpretación de los SEV, permitió el conocimiento de los primeros 50m de profundidad desde la superficie, donde se encontró arcillas, arenas saturadas, arcillas saturadas, material turbidítico saturado y no saturado, reflejada en la Tabla 12. Dicho esto, la comprensión detallada de las diferentes litologías a esta profundidad, conlleva a determinar que el método empleado por el equipo Terrameter SAS 1000 tiene la capacidad de implementarse en exploraciones petroleras y geológicas.

6.2. RECOMENDACIONES

Realizar los SEV con AB/2 superiores a los 200 m para alcanzar mayores profundidades, dado que en el presente trabajo el AB/2 máximo fue de 147 m, debido a la logística para el arreglo de los electrodos mediante el dispositivo Schlumberger.

Llevar a cabo esta metodología de correlación geofísica en otros pozos de la sección 73 para ampliar el conocimiento del subsuelo de las diferentes litologías presentes y migración petrolera, así como en otras secciones del campo Ancón.

Fomentar el aprovechamiento del equipo geofísico en la exploración de proyectos geológicos y petroleros mediante el trabajo de campo y la geofísica existente proporcionada por Pacifpetrol S.A., con el fin de potenciar el conocimiento académico e investigación científica, en las materias correspondientes a la carrera.

CAPÍTULO VI

7. REFERENCIAS

1. ABEM. (2018). *Instruction Manual Terrameter SAS 4000/SAS 1000* (Issue 1).
2. Ameh, M., Amadi, A. N., Unuevho, C. I., & Ejepu, J. S. (2020). Hydrogeophysical Investigation of Groundwater Systems in Otukpo, Benue State, North-Central Nigeria. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 45(5), 897–905. <https://doi.org/10.46602/jcsn.v45i5.525>
3. Ameloko, A. A., & Ojigbo, O. O. (2015). 2D Geophysical Evaluation of Sub-Soil Contamination - A Case Study. *Petroleum and Coal*, 57(2), 135–142.
4. Auge, M. (2008). *Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea*. Universidad de Buenos Aires.
5. Barzola, C. (2019). *Bioestratigrafía, Ambiente Sedimentario y Tectónica Depositional de las Areniscas de la Formación Socorro (Eoceno Medio) del Acantilado de Ancón, Área Concepción, Provincia de Santa Elena*. Universidad de Guayaquil.
6. Calderón, A. (2014). *Estudio 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*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
7. Cegrell, M., & Mårtensson, J. (2008). Resistivity and IP measurements at the Bolmen Tunnel and Resistivity and IP measurements at the Bolmen Tunnel and Ådalsbanan , Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, 231, 46.
8. Cervantes Ricalde, B. A., & Cuadros-León, T. L. (2017). Aportes de la aplicación de la tomografía eléctrica y del georadar en la investigación del deslizamiento de Lidecko en los Cárpatos Occidentales, República Checa. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 34(2), 105–113. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2017.2.471>

9. De la Torre, B. (2010). *Definición de Zonas de Fracturamiento Empleando Tomografía de Resistividad Eléctrica 3D* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/1312/Tesis.pdf?sequence=1>
10. Dobrin, M. (1997). *Introducción a La Prospección Geofísica*. <https://www.google.com/search?q=APUNTES+DE+INTRODUCCION+A+LOS+METODOS+GEOFISICOS+DE+EXPLORACION&>
11. Doneva, B., & Karanakova Stefanovska, R. (2011). Геоелектрични мерења со Terrameter SAS 1000. *Natural Resources and Technologies*, 5(5), 141–148.
12. Ezomo, F. O. (2012). Geophysical study of sandstone properties at Ozalla area of Edo State, Nigeria. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 3(2), 326–329.
13. Fernández, R., Martínez, M., & Romo, J. M. (1987). Teoría electromagnética en la exploración del subsuelo y un ejemplo de su aplicación en México. *Revista Mexicana de Física*, 33(3), 438–466.
14. Fucugauchi, U., Vieyra, R., & Arechalde, S. (2005). El Cráter de Chicxulub - Investigaciones Recientes y sus Implicaciones Sobre Edad del Impacto, Relaciones con las Extinciones y Eventos del K/T, Dinámica del Impacto y Formación del Cráter. *Geos*, 25(1), 20.
15. Galarza, J. (2013). *Estudio de Factibilidad para el Cañoneo Selectivo en las Arenas Productoras del Campo "Gustavo Galindo Velasco", Provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
16. García, J. (2006). *Diseño de las Facilidades de Superficie por Bombeo Mecánico para la Extracción de Crudo de la Sección 67 del Campo Ancón*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
17. Gómez, R. R. (2010). *Teoría y Diseño de Sistemas de Tierras Según las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) e IEEE*. <http://www.ruelsa.com/notas/tierras/pe01>

18. Grandjean, G., Cousin, I., Seger, M., Thiesson, J., Wesemael, B. Van, Stevens, A., Samyn, K., Bitri, A., Grandjean, G., Cousin, I., Seger, M., Thiesson, J., & Lambot, S. (2009). *From geophysical parameters to soil characteristics*.
19. Griem, W. (2020). *Apuntes Geología General - Introducción a la Geología*. <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/geogenap.html>
20. Groves, P., Cascante, G., Dundas, D., & Chatterji, P. K. (2011). Use of geophysical methods for soil profile evaluation. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(9), 1364–1377. <https://doi.org/10.1139/t11-044>
21. Guale, J. (2013). *Estudio para la Optimización de Sistemas de Levantamiento Artificial para la Producción de Petróleo en Pozos de la Zona Central del Campo Ancón - Provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
22. Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Alvarado, N., Morante-Carballo, F., Maldonado, A., Caldevilla, P., Briones-Bitar, J., & Berrezueta, E. (2020). Geosites and Georesources to Foster Geotourism in Communities: Case Study of the Santa Elena Peninsula Geopark Project in Ecuador. *Sustainability*, 12(11), 4484. <https://doi.org/10.3390/su12114484>
23. Herrera-Franco, G., Carrión-Mero, P., Mora-Frank, C., & Caicedo-Potosí, J. (2020). Comparative Analysis of Methodologies for the Evaluation of Geosites in the Context of the Santa Elena-Ancón Geopark Project. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 15(2), 183–188. <https://doi.org/10.18280/ijdne.150207>
24. Lago, A. L., Elis, V. R., Borges, W. R., & Penner, G. C. (2009). Geophysical investigation using resistivity and GPR methods: a case study of a lubricant oil waste disposal area in the city of Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil. *Environmental Geology*, 58(2), 407–417. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1511-x>
25. López, F. (2000). *Respuestas de las Formaciones Santo Tomas y Atlanta del Campo Ancon al Fracturamiento Hidraulico: Analisis*

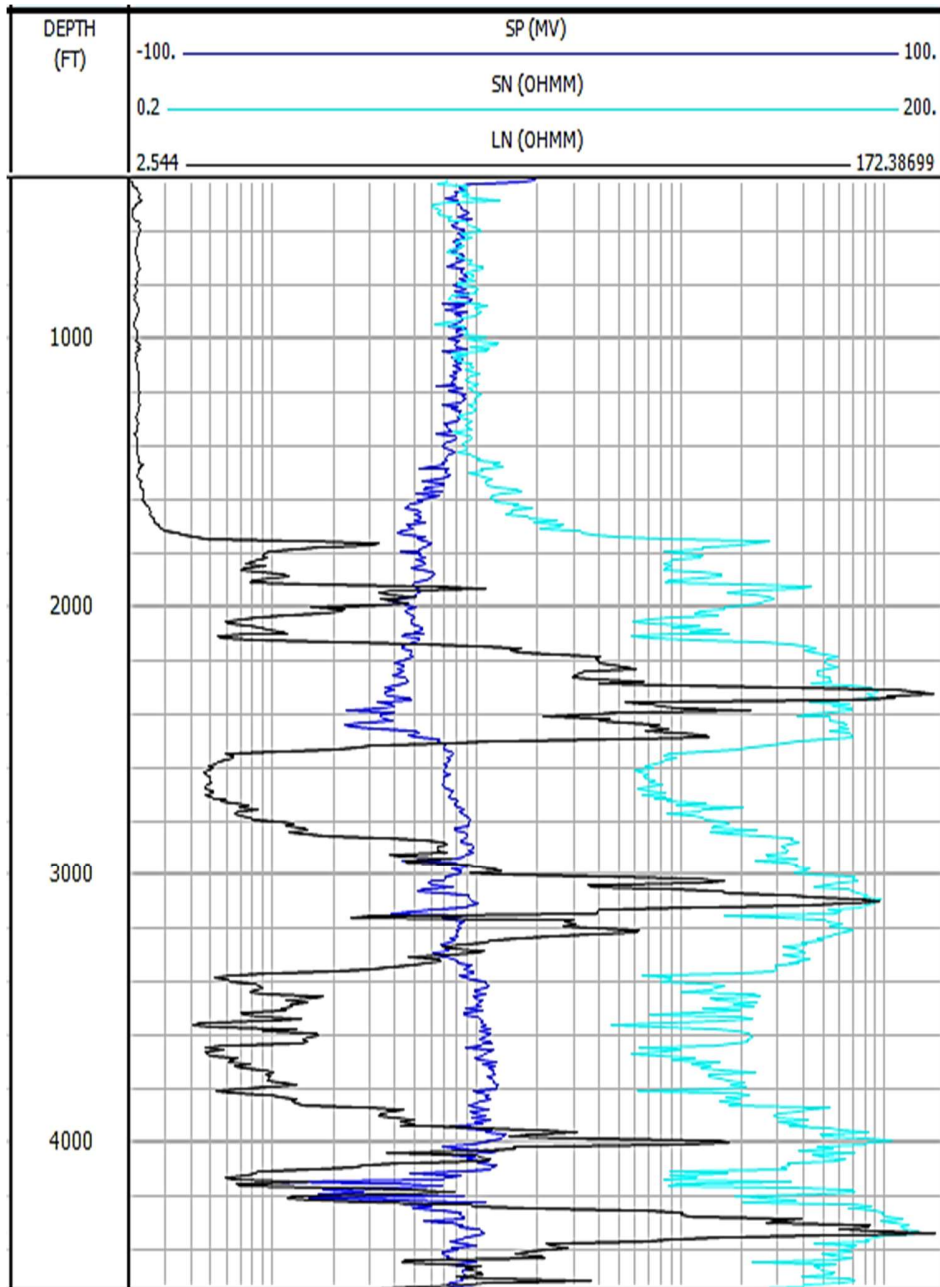
Estadístico e Indicaciones para el Fracturamiento. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

26. Lorenzo, E., Roca-Beltrán, W. A., Martínez, M., Morato, A., Escandón-Panchana, P. C., & Álvarez-Domínguez, C. P. (2018). Correlación geoquímica entre crudos y rocas del sistema petrolero de la península de Santa Elena y el golfo de Guayaquil. *Boletín de Geología*, 40(1), 31–42. <https://doi.org/10.18273/revbol.v40n1-2018002>
27. Marín, E., & Avedaño, F. (2017). *Prospección geofísica ambiental aplicada a la detección de plumas contaminantes debidas a la infiltración de lixiviados en un relleno sanitario, bajo la adaptación de sondeos eléctricos verticales de resistividad y polarización inducida*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
28. McAllister, W. (2017). *El Campo Eléctrico*. Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-electrostatics/ee-electric-force-and-electric-field/a/ee-electric-field>
29. Moreno-Alcivar, L., Muñoz-Rosado, M., & Ramirez-Palma, R. (2019). Caracterización Mecánica de Suelos del Perfil Costero entre Ancón y Anconcito. *Revista Ciencia UNEMI*, 12(31), 40–53.
30. Navarrete, E. (2005). *Apuntes de Geología General*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
31. Navarrete, E. (2018). *Itinerarios Geológicos de la Costa del Ecuador* (Issue June). Escuela Superior Politécnica del Litoral.
32. Pagés, G. M., Prol-Betancourt, J. G. L., Paredes, O. R., & Hernández, M. C. (2016). Diseño de la asignatura “Métodos geofísicos aplicados a la prospección de yacimientos de hidrocarburos” para la carrera de Ingeniería Geofísica en Cuba. *Revista Referencia Pedagógica*, 4(2), 180–192.
33. Quiñonez, X. (2019). *Modelo Geométrico del Acuífero Costero de Manglaralto y su Incidencia en el Aprovechamiento Sostenible del Agua, Santa Elena-Ecuador*. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

34. Rezavala, G., & Yanza, J. (2015). *Análisis de Perdida de Producción de Hidrocarburos por Factores Geológicos del Campo Ancón Sección 73*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
35. Rodríguez, D., & Pillasagua, J. (2014). *Estudio de Factibilidad para la Implementación del Sistema de Bombas de Cavidades Progresivas en el Campo "Gustavo Galindo Velasco" Ubicado en la Provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
36. Rubio Sánchez-Aguililla, F. M., Ramiro-Camacho, A., & Ibarra Torre, P. (2017). Métodos Geofísicos en Entornos Naturales Protegidos. Tomografía Eléctrica. *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO*, 128(1), 171–192. <https://doi.org/10.21701/bolgeomin.128.1.010>
37. Serralde, D. (2011). *Caracterización electromagnética, una aplicación de la geofísica somera, Templo del Sol, Sogamoso (Boyacá)* [Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4021/>
38. Sharifi, F., Arab-Amiri, A., & Kamkar-Rouhani, A. (2014). Karstic Water Exploration Using the Schlumberger VES and Dipole–Dipole Resistivity Profiling Surveys in the Tepal Area, West of Shahrood, Iran. *Journal of Mining and Environment*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.22044/jme.2014.267>
39. Sigismondí, M. E., Martínez, P., Castiglione, B., Ruiz, F., & Giménez, M. (2011). Métodos de Prospección Geofísicos Aplicados al Análisis de Cuencas Sedimentarias. *XVIII Congreso Geológico Argentino*.
40. Synergy. (2016). Memoria de Sostenibilidad 2016. In *Grupo Synergy E&P Ecuador*.
41. SLACOL. (2015). *Sistemas de Levantamiento Artificial*. <http://www.slacol.com/sistemas-de-levantamiento-artificial/>
42. Sørensen, A. B. (2006). Stratigraphy, structure and petroleum potential of the Lady Franklin and Maniitsoq Basins, offshore southern West Greenland. *Petroleum Geoscience*, 12(3), 221–234. <https://doi.org/10.1144/1354-079305-692>

43. Synergy. (2011). *Memoria de Sostenibilidad 2011*.
44. Synergy. (2018). *Memoria de Sostenibilidad 2018*.
45. Tigse, F. (2018). *Optimización de la Producción del Campo Gustavo Galindo Velasco por Medio del Método de Fracturamiento Hidráulico*. Universidad Central del Ecuador.
46. Velastegui, L., & Veloz, C. (2007). *Elaboración del Plan de Contingencias para las Operaciones Hidrocarburíferas Desarrolladas en el Campo Gustavo Galindo Velasco*. Escuela Politécnica Nacional.
47. Villacís, A. (2018). Modelo Estático de la Formación Atlanta en el Área Certeza del Campo Ancón Península de Santa Elena [Universidad Central del Ecuador]. In *Universidad Central del Ecuador*. [https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones_jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion para el aprendizaje Perspectiva alumnos.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Juan_Aparicio7/publication/253571379_Los_estudios_sobre_el_cambio_conceptual_](https://www.uam.es/gruposinv/meva/publicaciones_jesus/capitulos_espanyol_jesus/2005_motivacion_para_el_aprendizaje_Perspectiva_alumnos.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Juan_Aparicio7/publication/253571379_Los_estudios_sobre_el_cambio_conceptual_)
48. Young, H. D., & Roger, F. (2009). *Física Universitaria Volumen 1* (Vol. 1, Issue 12). Pearson Education.
49. Young, H. D., & Roger, F. (2018). *Física Universitaria Volumen 2* (Vol. 2, Issue 12). Pearson Education.

ANEXOS



Anexo 1. Registro Eléctrico del Pozo ANC-1213.
Fuente: Pacifpetrol.