

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA
EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DE LAS FORMACIONES DEL
SUELO UTILIZADAS POR WEATHERFORD WIRELINE MATURIN

Realizado Por:

JESUS ALFONSO FEBRES ALCALA

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad De Oriente como
Requisito Parcial para obtener el Título de

INGENIERO ELECTRICISTA

BARCELONA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA
EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DE LAS FORMACIONES DEL
SUELO UTILIZADAS POR WEATHERFORD WIRELINE MATURIN

ASESORES:

Ing. Melquiades Bermúdez

Asesor Académico

Firma

Ing. Ángel Villalobos

Asesor Industrial

Firma

BARCELONA, ABRIL DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA
EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DE LAS FORMACIONES DEL
SUELO UTILIZADAS POR WEATHERFORD WIRELINE MATURIN**

JURADO:

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Ing. Melquiades Bermúdez
Asesor Académico

Ing. Verena Mercado
Jurado Principal

Ing. Hernán Parra
Jurado Principal

BARCELONA, ABRIL DE 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico en primer lugar a mis padres, que siempre me brindaron sus palabras y sus consejos como aliento para seguir adelante y no desfallecer ante ninguna circunstancia.

A todas las personas que en su momento me brindaron su apoyo para de igual manera continuar con la incansable carrera de la vida y poder de esa forma ir cumpliendo cada una de mis metas.

Es importante también dedicar este logro a mi constancia y dedicación para darme cuenta una vez más que el ser humano es capaz de lograr cualquier objetivo en la vida, lo importante es trazarse una meta y a partir de allí hacer todo lo humanamente posible para alcanzarla.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar debo agradecerle el haber alcanzado esta meta al ser que siempre estuvo presente en todas las situaciones de mi vida y en el que siempre confié y pedí salud para poder lograr mis metas, gracias a Dios.

Gracias a mis padres por su apoyo y esfuerzo para ver a otro hijo graduado como profesional.

Gracias a mis hermanas Yoceline, Susan y Roseline, compañeros de estudio y amigos de toda la vida y los que encontré en la universidad, a Tirso, Katherine, Gianni, Romer, Yurimar, la China Hung, Sombay, Carlos y todos aquellos que me brindaron su amistad y compañerismo.

Gracias muy especialmente al profesor Melquiadez Bermúdez por toda la colaboración prestada tanto como mi asesor, como profesor que sirvió en gran parte en la formación profesional de quien esto escribe.

Gracias a todos los profesores, desde el primero que nos impartió clases en el departamento de electricidad, el profesor Luís Suárez, hasta el profesor Hernán Parra con el que culminamos la carrera, pasando por el profesor Enrique Serrano y el profesor Santiago Escalante, que nos enseñaron en muy particular forma la esencia de un profesional y la ética que debe mantener un profesional y al mismo

tiempo la humildad que debe prevalecer en un ser humano, a todos muchas gracias.

Gracias al Ingeniero Ángel Villalobos que me impartió todo sus conocimientos y demostrarme el trabajar duro para lograr los objetivos del trabajo y de la vida.

Gracias al señor Jesús Llerena por brindarme la oportunidad de realizar mi pasantía en la empresa, a los Ingenieros Juan Torres, Marceline Aguilera, Ángel Rodríguez, Judith García por el apoyo profesional brindado y por colaborar en la facilitación de todos los documentos requeridos para lograr culminar este trabajo.

Jesús Alfonso Febres Alcalá

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN	xix
INTRODUCCION	xx
CAPÍTULO I	21
LA EMPRESA	21
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	21
1.1.1 Objetivos	22
1.1.2 Política.....	24
1.1.3 Misión	24
1.1.4 Estructura Organizativa de la Empresa en la Base Weatherford Maturín.....	25

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
1.3- OBJETIVOS.....	28
1.3.1 Objetivo General.....	28
1.3.2 Objetivo Especifico.....	28
1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
CAPÍTULO II.....	31
MARCO TEÓRICO.....	31
2.1 ANTECEDENTES.....	31
2.2 LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.....	32
2.2.1 Influencias en el Comportamiento Eléctrico del Suelo.....	32
2.2.2 Factores que Determinan la Resistividad de los Suelos.....	33
2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA.....	42
2.3.1 Ubicación Geográfica del Área de San Tomé.....	42
2.3.2 Ubicación geográfica del Área de Morichal.....	46
2.4 RESESTIVIDAD ELECTRICA DE LAS ROCAS.....	48
2.4.1 Resistividad del Agua de Formacion (ρ_w).....	48
2.4.2 Registros Electricos.....	49

2.4.3 Registros de Pozos Abiertos (OPEN HOLE).....	52
2.5 PRINCIPIOS DE LOS REGISTROS ELECTRICOS.....	52
2.5.1 HERRAMIENTA RESISTIVAS.....	53
2.5.2 TIPOS DE HERRAMIENTAS.....	53
2.6 CALIBRACION DE HERRAMIENTAS RESISTIVAS:	56
2.7 CONCEPTOS BASICOS.....	57
2.7.1 CAMPO MAGNETICO:	57
2.7.2 CORRIENTE ELECTRICA:	57
2.7.3 CONDUCTANCIA:.....	57
2.7.4 DIFERENCIA DE POTENCIAL O VOLTAJE:	58
2.7.5 ELECTRON.....	58
2.7.6 FLUJO MAGNETICO.....	58
2.7.7 INDUCCION:	58
2.7.8 INDUCTORES O BOBINAS.....	59
2.7.9 LEY DE AMPERE:	59
2.7.10 LEY DE FARADAY:	59
2.7.11 LEY DE OHM	60
2.7.12 MAGNETISMO.....	60

2.7.13 RESISTENCIA ELECTRICA:	60
2.7.14 LA RESISTIVIDAD:	60
2.7.15 RESISTIVIDAD VERTICAL O APARENTE.....	61
CAPITULO III	62
MARCO METODOLOGIA	62
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	62
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.	63
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.	63
3.4.1 Primera Etapa: Descripción del funcionamiento de las herramientas.	64
3.4.2 Segunda Etapa: Calibración de las herramientas	64
3.4.3 Tercera Etapa: Evaluación de las herramientas resistivas.....	64
3.5 HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. 65	
3.6 RECURSOS.....	65
3.6.1 Recursos Humanos.....	65
3.6.2 Recursos Financieros.	66
3.6.3 Recursos Materiales y Bibliográficos.	66

CAPITULO IV	67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS UTILIZADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.	67
4.1.1 Herramienta Dual Laterolog (DLL-HA).....	67
4.1.2 Micro-Herramienta de Resistividad (MRT-BA).	70
4.1.3 Imagen de Alta Resolución (HMI).-	74
4.1.4 Micro-Esférico Centrado (MSFL-BA).....	78
4.1.5 Enfocado Eléctrico (MFE)	81
4.1.6 Triple Inducción (STI)	83
4.1.7 Arreglo Inductivo (MAI).....	86
4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS PETROLEROS.....	91
4.3 TIPOS DE CALIBRACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE RESISTIVIDAD.	93
4.3.1 Calibración del MDL.	93
4.3.2 Calibración del MRT - BA.....	93
4.3.3 Calibración del HMI.	93
4.3.4 Calibración del MSFL.....	94

4.3.5 Calibración del MFE.....	94
4.3.6 Calibración de la STI.....	94
4.3.7 Calibración del MAI.....	95
4.4 Calibración de las herramientas de resistividad según el perfil del suelo.	95
4.5 Mediciones de la resistividad de los diferentes perfiles de suelo.....	97
CAPITULO V.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
5.1 CONCLUSIONES.....	106
5.2 RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	108
ACLARATORIA.....	110
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Variación de la resistividad en función al porcentaje de humedad Fuente: PDVSA	35
Figura 2.2 Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura. Fuente: PDVSA	36
Figura 2.3 Variación de la resistividad del terreno en función del % de sal. Fuente: PDVSA	37
Figura 2.4 Variación de la resistividad del terreno en función de la compactación del mismo. Fuente:PDVSA	38
Figura 2.5 Influencia de la estratificación del terreno en la resistividad del mismo Fuente: PDVSA	39
Figura 2.6 Area San Tome. Fuente PDVSA	42
Figura 2.7 Ubicación del Campo Casma Anaco.Fuente PDVSA-ANACO	45
Figura 2.8 Columna Estratigráfica del Area	47
Figura 2.9 Registro eléctrico. Fuente: Registros de Pozos	50
Figura 2.10 Perfil Eléctrico.Fuente: Registros de Pozo	51
Figura 2.11 Principio de edición.Fuente:Weatherford	55
Figura 4.1. Herramienta Dual Laterolog Fuente Weatherford Wireline	68
Figura 4.2 Registro Electrico del MDL Fuente: Weatherford Wireline	70

Figura 4.3 Herramienta Micro Resistiva Fuente: Weatherford Wireline	72
Figura 4.4 Registro Electrico del MRT. Fuente: Weatherford Wireline	75
Figura 4.5 Herramienta Imagen de Alta Resolución. Fuente: Weatherford Wireline	77
Figura 4.6 Seccion de sensores del HMI. Fuente Weatherford Wireline	78
Figura 4.7 Registro eléctrico del HMI. Fuente:	80
Figura 4.8 Herramienta MSFL. Fuente: Weatherford Wireline	81
Figura 4.9 Registro Eléctrico del MSFL. Fuente: Weatherford Wireline	82
Figura 4.10 Seccion de medición del MFE. Fuente Weatherford Wireline	83
Figura 4.11 Registro Eléctrico de MFE (Enfocado Eléctrico). Fuente Weatherford Wireline	84
Figura 4.12 Herramienta Triple Induccion (STI). Fuente Weatherford Wireline	87
Figura 4.13 Registro Eléctrico de STI. Fuente Weatherford	89
Figura 4.14 Arreglo Inductivo (MAI). Fuente Weatherford Wireline	98
Figura 4.15 Registro Eléctrico de MAI. Fuente Weatherford Wireline	98
Figura 4.16 Zona de estudio desde 9355ft a 9400ft, datos suministrado por Weatherford Wireline	99

Figura 4.17 Zona Evaluada 7350ft a 7450ft	100
Figura 4.18 Zona Evaluada 3050ft a 3140ft	102
Figura 4.19 Zona Evaluada 600ft a 650ft	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores de resistividad de algunos suelos Fuente: PDVSA	35
Tabla 2.2 Salinidad del Agua.Fuente: Registros de Pozo	50
Tabla 4.1 Especificaciones de la herramienta MDL (Dual Laterolog). Fuente: Weatherford Wireline	69
Tabla 4.2 Rango de la herramienta MDL (Dual Laterolog). Fuente: Weatherford Wireline	70
Tabla 4.3 Rango de medicion MDL (Dual Laterolog). Fuente: Weatherford Wireline	70
Tabla 4.4 Especificaciones de la herramienta MRT (Micro Herramienta Resistiva). Fuente: Weatherford Wireline	73
Tabla 4.5 Rango de valores de la herramienta MRT (Micro Herramienta Resistiva). Fuente: Weatherford Wireline	73
Tabla 4.6 Rango de valores de la MRT (Micro Herramienta Resistiva). Fuente: Weatherford Wireline	74
Tabla 4.7 Especificaciones de la herramienta HMI (Imagen de Alta Resolucion). Fuente: Weatherford Wireline	76
Tabla 4.8 Rango de valores de la HMI (Imagen de Alta Resolución). Fuente: Weatherford Wireline	77
Tabla 4.9 Rango de medición de la HMI (Imagen de Alta Resolución). Fuente: Weatherford Wireline	77
Tabla 4.10 Especificaciones de la MSFL (Esférico centrado). Fuente: Weatherford Wireline	80
Tabla 4.11 Rango de valores de la MSFL (Esférico Centrado). Fuente: Weatherford	80

Tabla 4.12 Rango de medición de la MSFL (Esférico Centrado). Fuente: Weatherford Wireline	80
Tabla 4.13 Especificaciones de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente: Weatherford	82
Tabla 4.14 Especificaciones de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente: Weatherford Wireline	83
Tabla 4.15 Rangos de medicion de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente: Weatherford Wireline	83
Tabla 4.16 Especificaciones de la STI (Triple Inducción). Fuente: Weatherford Wireline	85
Tabla 4.17 Rangos de valores de la STI (Triple Inducción). Fuente: Weatherford Wireline	85
Tabla 4.18 Rangos de medición de la STI (Triple Inducción). Fuente: Weatherford Wireline	85
Tabla 4.19 Especificaciones de la MAI (Arreglo Inductivo). Fuente: Weatherford Wireline	88
Tabla 4.20 Rango de valores de la MAI (Arreglo Inductivo). Fuente: Weatherford Wireline	89
Tabla 4.21 Rango de medicion de la MAI (Arreglo Inductivo). Fuente: Weatherford Wireline	89

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó la evaluación de las diferentes tecnologías que posee Weatherford para la medición de resistividad de los suelos en los campos petroleros de la región oriental del país, ya que a través de estas se logra conocer y/o identificar ciertas condiciones del pozo como son litología, estimar porosidad, permeabilidad, resistividad, entre otros. Este estudio abarca una breve descripción de las herramientas resistivas, de igual forma se especifican las calibraciones realizadas, con el objeto de determinar cuales fueron las herramientas mas eficaces en los registros eléctricos en los pozos petroleros.

INTRODUCCION

En la industria petrolera la búsqueda de nuevos yacimientos productores es cada vez más retadora. La perforación de pozos requiere de nuevas tecnologías debido a que estos cada día son más profundos, trayendo como consecuencia parámetros difíciles de controlar. Los suelos son buenos, regulares o malos conductores de la electricidad en función de su naturaleza. El análisis y conocimiento de esta naturaleza es el primer paso para el proceso de perforación.

Las actividades de perfilaje de pozos (registros) son parte vital del complejo mundo que engloba el conjunto de operaciones que se llevan a cabo en la industria petrolera ya que, a través de estas se logra conocer y/o identificar ciertas condiciones del pozo como son litología, estimar porosidad, permeabilidad, entre otros, para el caso de los diferentes tipos de registros; así como conseguir la efectividad. Por lo tanto de su exactitud dependerá el éxito de su objetivo así como del proyecto de explotación en general, con lo cual dichas actividades resultan sometidas a constantes cambios e innovaciones que se apoyan en los adelantos tecnológicos disponibles actualmente. Estos instrumentos de medición de resistividad, está clasificado como una herramienta resistiva o de inducción. En este sentido, la empresa Weatherford diseña y fabrica una serie de herramientas con el propósito de lograr resultados más precisos en los pozos de hidrocarburos.

De manera que, la evaluación de la resistividad en los suelos, permite conocer la composición física (agua, gas y petróleo), dando un punto exacto de la zona donde se extraerá los hidrocarburos. Es importante destacar, que sin estos registros eléctricos de resistividad, las empresas petroleras presentarían pérdidas económicas y tiempo de estudios de los suelos por no contar con las herramientas adecuadas.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

Weatherford International S.A. (WFT) es una de las firmas más grandes en el mundo dedicadas a proveer innovadoras soluciones mecánicas, tecnológicas y servicios para los sectores de perforación, producción de la industria de gas y petróleo. La empresa cuenta con más de 40.000 empleados en todo el mundo y está comprometida con la obtención de los más altos estándares de calidad, salud, seguridad y desempeño ambiental. Por ello, Weatherford es considerada una de las compañías de servicio de yacimiento petrolífero más grandes y más dinámicas del mundo. Con sede en todo el mundo, la compañía opera en más de 710 locaciones y en más de 100 países alrededor del mundo. La empresa juega un papel muy importante en la demanda de la explotación de reservas del hidrocarburo que son esenciales para la economía mundial.

En julio de 2005 Standard & Poor anuncio la unión con Weatherford International S.A. así como el buque insignia S&P Index. En agosto del mismo año Weatherford adquirió a la compañía de servicios Precisión Drilling que prestaba Servicios de Wireline (Guaya Eléctrica) y Taladrado Internacional. Weatherford se reorganizó en dos negocios distintos. Éstos incluyen: La realización de los Sistemas de la Producción (CPS) y Evaluación, Taladrando y la Intervención de pozos petrolíferos (EDI).

La empresa Weatherford ha pasado de ser una pequeña firma a su posición actual, una de las mayores contratistas de servicios de perforación, especialidades y venta de equipos a nivel mundial.

Los productos y servicios de Weatherford cubren los ciclos de perforación, completación, producción de petróleo y de gas natural. La empresa cuenta con respaldo mundial en más de 100 países a través de su infraestructura global liderizando en el desarrollo de tecnologías que permiten la exploración y que agregan un importante valor a la industria de gas y petróleo.

Caracterizada por prestar servicios de excelencia y por estar al día con los cambios y mejoras tecnológicas en el entorno industrial, esencialmente en el área de guaya eléctrica (wireline), donde se requieren equipos y herramientas de alta calidad y tecnología de vanguardia para la evaluación de los pozos petrolíferos.

Dentro de las instalaciones de Weatherford Wireline en Maturin existen dos divisiones que son: pozo abierto (open hole) y pozo entubado (cased hole).

En los pozos entubados (cased hole) tienen como finalidad evaluar los pozos cementados para verificar como quedó el cemento (si fraguó o no), para luego hacer los cañoneos y hacer productivo un pozo. En estos pozos se usan guayas mono conductoras para correr las herramientas de registros.

En los pozos abiertos (open hole) tiene como tarea evaluar los hoyos recién perforados usando herramientas de registros de diferentes tipos: nucleares, radioactivas, resistivas, inductivas, acústicas entre otras.

1.1.1 Objetivos

El objetivo general de la empresa es lograr la total satisfacción de todos sus clientes internos y externos, y cumplir con los requisitos acordados mutuamente la primera y todas las veces, siempre protegiendo el bienestar de todo el personal, los activos y el medio ambiente. Así como prestar servicios técnicos a la industria

petrolera en especial, en el ramo de análisis y pruebas de producción de pozos. Además realizar todo tipo de operaciones de actos de lícito comercio e industrial, así como llevar a cabo toda clase de controles para tal fin.

Cumplir las necesidades de los clientes y accionistas a lo ancho del mundo a través de la dedicación y el trabajo de equipo de sus empleados.

Cumplir con los requisitos acordados entre los clientes y los trabajadores siempre protegiendo el bienestar de todo el personal, los activos y el medio ambiente.

Los objetivos de la empresa han sido orientados al desarrollo y a la puesta en vigencia global entre las que tenemos:

Uniformidad Apropia de Sistemas de Gestión de la Calidad (basado en ISO 9000-2000)

Alineamiento con el Cliente Estratégico (familiaridad con el cliente)

Competencia del Personal (entrenamiento y seguimiento)

Verificación de los Requerimientos del Cliente (corroborar las necesidades)

Manejo de Equipo (uso y mantenimiento)

Diseño de Validación y Comercialización (integridad técnica)

Seguimiento del Desempeño (historial de trabajo y manejo del incidente)

Estos objetivos se logran mediante un compromiso al entendimiento y aplicación de procesos empresariales definidos, el cumplimiento de las normas establecidas y la implementación de mejoramientos continuos. Se dará primera prioridad al desarrollo de procesos, productos y servicios sin errores y a mantener un entorno seguro.

1.1.2 Política

La Empresa se compromete a:

- Cumplir con todas las leyes y regulaciones federales, estatales y locales aplicables en materia de Salud, Seguridad y Ambiente;
- Conducir todas las operaciones de manera que se promueva la seguridad y se eviten los riesgos a nuestros empleados, vecinos y ambiente.
- Implementar los programas, entrenamientos y procedimientos internos necesarios para el logro de dichos objetivos.

1.1.3 Misión

Weatherford, es una compañía innovadora, orientada hacia el desempeño de servicios integrados de perforación petrolera y de energía. Está comprometida, dentro del negocio industrial del petróleo y el gas, en suministrar equipos tecnológicamente avanzados, con experticia, ambiente seguro de operación y calidad de servicio. Para ellos lo más importante es cumplir con las necesidades de los clientes y accionistas, en todo el mundo, a través de la dedicación y trabajo en equipo de los empleados. Logrando altos niveles de estándares en la industria y creciendo de una manera ética y profesional.

La cultura empresarial de Weatherford International S.A, tiene la misión y compromisos únicos: facultamos a cada empleado para que logre total satisfacción de los clientes internos y externos y para que esté conforme con los requerimientos mutuamente acordados la primera vez y todas las veces, al mismo tiempo que se proteja el bienestar de todo el personal, los activos y el ambiente. Facultando a cada

empleado para que tome las medidas apropiadas para garantizar el cumplimiento de las políticas y sus objetivos.

1.1.4 Estructura Organizativa de la Empresa en la Base Weatherford Maturín.

Weatherford, en su base de Maturín en el estado Monagas, posee un organigrama donde las líneas de mando vienen estructuradas de acuerdo a su grado de jerarquización. Entre los cuales están:

Gerente de Operaciones Oriente: Es el responsable del desempeño operativo y financiero de la línea de cargo.

Gerente de Base: Es la persona encargada de controlar en conjunto con la gerencia de operaciones oriente, los gastos generados para prestar los servicios y verifica que el personal cumpla con las labores asignadas en campo.

Representante de Ventas: Es el responsable de vender los servicios que ofrece la división Wireline, se mantiene en contacto con el cliente para facturar los servicios, preparar las licitaciones con el fin de ganar los contratos, de igual manera controla las partidas de un contrato ganado.

Coordinador de H.S.S.E: Asume la responsabilidad de mantener y asesorar al personal de la base en materia de seguridad, higiene y ambiente así como colaborar con los objetivos que se tienen planteados dentro de la base.

Asistente de Gerencia: Es responsable del control y gestión de los procedimientos administrativos de la empresa, adjunto a esto se encarga de algunos procesos de tipo laboral.

Asistente Administrativo: Es responsable de asistir en el control y gestión de los procesos administrativos de la empresa, a la asistencia de gerencia.

Analista de Compras: Se encarga de efectuar todas las compras de origen nacional en atención a los requerimientos operacionales y administrativos de la empresa. Desde que se inicia una requisición hasta que se realiza dicha compra.

Coordinador de Materiales: Se encarga de controlar la salida y entrada de todos los activos consumibles y no consumibles de la empresa.

Coordinador de Operaciones: Se encarga de realizar la coordinación de los equipos y el personal para la realización del trabajo y a la vez velar por el buen funcionamiento de los equipos.

Mantenimiento Electrónico: Se encarga de realizar las reparaciones o modificaciones a las herramientas electrónicas utilizadas en los pozos.

Señor Líder: Contribuir con las operaciones en el campo y lograr que se cumplan de acuerdo a lo que pauté el coordinador de operaciones.

Especialista Líder: Es responsable de dirigir trabajos específicos u operaciones en el campo.

Especialista I- II - III: Es equivalente a un operador de Wireline. Sirve de apoyo al especialista líder, se encarga de desarrollar las operaciones de campo del trabajo; de acuerdo a las instrucciones del especialista líder y/o supervisor a cargo.

Recepcionista: Es la encargada de la atención al público tanto personal como telefónicamente.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En las zona oriental del país, se encuentran almacenados grandes cantidades de hidrocarburos, por lo cual han sido enfocadas como uno de los puntos de mayor actividad para el desarrollo de proyectos de explotación por ser áreas que poseen pozos productores de hidrocarburos livianos, medianos, así como cuantiosas reservas de gas, lo que ha traído consigo un aumento en la cantidad de trabajo de la mayoría de las actividades ligadas con la explotación petrolera.

Las actividades de perfilaje de pozos (registros) son parte vital del complejo mundo que engloba el conjunto de operaciones que se llevan a cabo en la industria petrolera, ya que a través de estas se logra conocer y/o identificar ciertas condiciones del pozo como son litología, estimar porosidad, permeabilidad, resistividad, entre otros. Por lo tanto, de su exactitud dependerá el éxito del objetivo, así como del proyecto de explotación en general, con lo cual dichas actividades resultan sometidas a constantes cambios e innovaciones que se apoyan en los adelantos tecnológicos disponibles actualmente.

Dentro de todas las tecnologías que se encuentran en las industrias petroleras, hay una serie de instrumentos que miden la resistividad de la formación de los suelos. Estos instrumentos de medición de resistividad, está clasificado como una herramienta resistiva o de inducción. En este sentido, la empresa diseña y fabrica una serie de herramientas con el propósito de lograr resultados más precisos en los pozos de hidrocarburos.

De manera que, la evaluación de la resistividad en los suelos, permite conocer la composición física (agua, gas y petróleo), dando un punto exacto de la zona donde se extraerá los hidrocarburos. Es importante destacar, que sin estos registros eléctricos

de resistividad, las empresas petroleras presentarían pérdidas económicas y tiempo de estudios de los suelos por no contar con las herramientas adecuadas.

A pesar que la empresa Weatherford Wireline cuenta con sus propias herramientas de medición, muchas de ellas no son aplicables a todo tipo de suelo, por lo cual, se pierde mucho tiempo valioso en saber cual es la herramienta adecuada según el perfil del suelo a evaluar, ya que estos suelos varían según su temperatura y la ubicación geográfica, por ello se ha propuesto evaluar la efectividad de las herramientas para el estudio de la resistividad para así tener resultados mas precisos y confiables al momento de examinar las propiedades de los suelos. Y a su vez conocer que herramienta es la mas apropiada.

1.3- OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar las distintas tecnologías utilizadas para el estudio de la resistividad en los registros de pozos petroleros realizados por Weatherford Wireline – Maturín.

1.3.2 Objetivo Especifico

1. Describir las herramientas tecnológicas utilizadas para la medición d resistividad de los suelos.
2. Analizar los factores que influyen en la medición de la resistividad de los suelos petroleros.
3. Describir los tipos de calibración de las herramientas de resistividad

4. Verificar la calibración de las herramientas de resistividad según el perfil del suelo
5. Realizar las mediciones de la resistividad de los diferentes perfiles de suelo.

1.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

El desarrollo y ejecución de este estudio se llevará a cabo en la base de la empresa Weatherford Wireline, ubicada en Maturín, estado Monagas, mediante la recopilación y análisis de datos de campo, en lapso comprendido del 2009 – 2010.

Esta investigación se enfocará en la evaluación de las diferentes tecnologías para el estudio de la resistividad, con lo cual se busca evaluar la capacidad, efectividad y confiabilidad en los diversos tipos de suelos que presenta las regiones de Anaco, San Tome y Morichal.

1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.

En la región oriental del país se encuentran grandes cantidades de hidrocarburos (gas y petróleo) que revisten de mucha importancia para la industria petrolera nacional, motivo por el cual se requiere de la perforación de pozos y la rehabilitación /reacondicionamiento de muchos otros, en pozos abiertos (open hole) y pozos entubados (cased hole).

Actualmente, la empresa ha tenido resultados satisfactorios con la aplicación de las herramientas para la medición de la resistividad de los suelos en un 85%, sin embargo se busca una mayor confiabilidad y calidad en el uso de las herramientas

para así poder determinar con exactitud su confiabilidad de una herramienta sin necesidad de usar varias a la vez para medir los suelos.

La empresa la da un apoyo a la comunidad suministrándole fuentes de trabajo y labores sociales conjuntamente con PDVSA en el sector salud y educación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Se encontró tres informes de pasantías de grado de estudiantes egresados de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, el primero realizado por el bachiller Cruz Chacón se refiere a los registros eléctricos en los pozos petroleros titulada “Aspectos de ingeniería Eléctrica en Registro de Pozos Petroleros”, editada en el año de 1980, el autor realizó sus pasantía de grado en la empresa petrolera GO INTERNACIONAL DE VENEZUELA S.A, donde se enfoca a la importancia de los registros eléctricos en el estudio de los suelos en las formaciones petrolíferas, estos registros eléctricos permiten resolver, sin necesidad de extraer muestras de rocas, las diversas incógnitas que surgen cuando el pozo ha sido perforado tales como: la porosidad, fluidos que contienen las formaciones porosas determinando si es agua, petróleo o gas.

El segundo informe titulado “Evaluación de los sistemas de puesta tierra de las subestaciones de distribución de SEMDA”, realizado por Carlos Hernandez, editada en el 2005, donde habla sobre los tipos de suelos tomando en cuenta las propiedades eléctricas, físicas y químicas de las formaciones como son: conductividad, resistividad, potenciales electroquímicos, entre otros.

El tercer informe del bachiller egresado Carlos Bermúdez de la Universidad de Oriente Núcleo Monagas, titulada “Evaluar la efectividad del registro C.C.L como herramienta para la ubicación de la profundidad de cañoneo en pozos del área de San Tomé y Morichal mediante correlaciones con otros registros” editada en el 2007, donde habla de los registros hechos en la zona de San Tomé y Morichal.

Con lo cual tiene relación con el presente proyecto, ya que se realizan registros para determinar la efectividad de las diferentes herramientas en el estudio de la resistividad de los suelos.

2.2 LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS

La resistividad del terreno depende de su naturaleza, estratificación (capas de distinta composición), contenido de humedad, salinidad y temperatura. La resistividad de un terreno también se ve afectado por las variaciones estacionales.

Por otro lado, a medida que aumenta el tamaño de las partículas aumenta el valor de la resistividad, por ello la grava tiene mayor resistividad que la arena, y esta mayor resistividad que la arcilla.

Debido que las capas no son uniformes en un terreno, cuando se mide la resistividad se esta midiendo la resistividad aparente y por ello amerita determinar la resistividad de cada capa o estrato y sus espesores.

2.2.1 Influencias en el Comportamiento Eléctrico del Suelo

La tierra representa generalmente un mal conductor (gran contenido de oxido de silicio y óxido de aluminio que son altamente resistivos) pero gracias al amplio volumen disponible, se puede lograr a través de ella los niveles conductivos necesarios para su utilización auxiliar.

La conductividad representa un fenómeno esencialmente electroquímico o electrolítico, y por lo tanto, depende de la cantidad de agua depositada o el nivel de humidificación existente, sin embargo la presencia de sales y agua contenida en ellos, mejora notablemente la conductividad de los mismos.

2.2.2 Factores que Determinan la Resistividad de los Suelos

En la resistividad del terreno influyen los siguientes factores y es necesaria su evaluación:

- Naturaleza de los suelos.
- La humedad.
- La temperatura del terreno.
- La concentración de sales disueltas.
- La compactación del terreno.
- La estratificación del terreno.
- Tipos de fluidos al momento de controlar el pozo

2.2.2.1 Naturaleza de los Suelos

Los suelos son buenos, regulares o malos conductores de la electricidad en función de su naturaleza. El análisis y conocimiento de esta naturaleza es el primer paso para el proceso de perforación. En la tabla se muestran los valores característicos de la resistividad de los suelos, donde se puede apreciar que entre la resistividad del agua de mar y el hielo existe una gran diferencia y se puede concluir que el agua de mar es el que presenta la mas baja resistividad y por lo tanto un buen conductor de la electricidad.

Tabla 2.1 Valores de resistividad de algunos suelos Fuente: PDVSA

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN OHM-M
Agua de mar	2
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800

2.2.2.2 La Humedad

La resistividad que presenta un terreno está en relación directa a los porcentajes de humedad contenida en él; es decir, depende de su estado hidrométrico, al aumentar la humedad disminuye la resistividad y al disminuir la humedad aumenta la resistividad.

En todo caso siempre que se añade agua a un terreno disminuye su resistividad respecto al que tendría en seco.

Se dice que el terreno está “Saturado de agua” cuando todos sus intersticios están llenos de agua. Una vez pasada la causa de la “saturación” el agua contenida en los espacios entre los diferentes agregados, debido a la gravedad se dirigirá hacia abajo quedando estos ínter espacios ocupados por aire en el interior de los agregados, al ser superior la fuerza de capilaridad que la gravedad.

El agua contenida en ellos no se mueve y en estas circunstancias, se dice que el terreno está “saturado de humedad”. En la figura 2.1 se puede observar la variación de resistividad en función de la humedad, en una muestra de arcilla roja, con el porcentaje de humedad contenida.

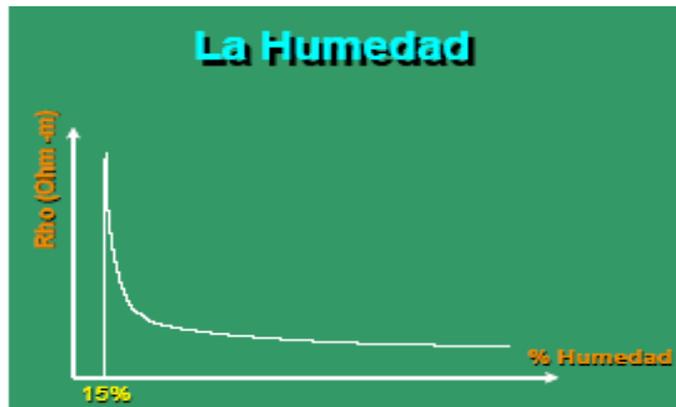


Figura 2.1 Variación de la resistividad en función al porcentaje de humedad

Fuente: PDVSA

2.2.2.3 La Temperatura del Terreno

La resistividad de los suelos, también depende de la temperatura, esta característica térmica del terreno depende de su composición, de su grado de compactación y del grado de humedad. La resistividad del terreno aumenta al disminuir la temperatura, pero cuando el terreno se enfría por debajo de cero grados centígrados el agua que contiene se congela. El hielo es aislante desde el punto de vista eléctrico, lo que implica que la movilidad de los iones del terreno a través del agua se ve detenida al congelarse ésta. Una forma de amortiguar este efecto en zonas con clima continental (inviernos fríos y veranos calurosos). En el siguiente gráfico, figura 2.2, se puede observar como aumenta la resistividad de un terreno en función del descenso de la temperatura.

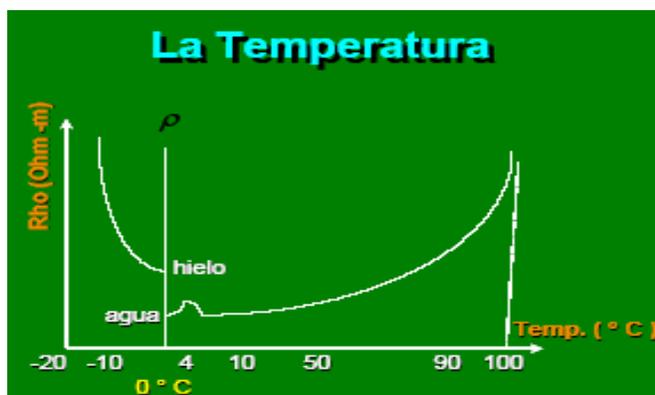


Figura 2.2 Variación de la resistividad del terreno en función de la temperatura.

Fuente: PDVSA

2.2.2.4 La Concentración de Sales Disueltas

Al presentarse una mayor concentración de sales disueltas en un terreno, mejora notablemente la conductividad y por lo tanto la resistividad disminuye.

El agua hace que las sales penetren hacia la parte profunda del terreno, hacia la capa de depósito, y que un riego excesivo o unas lluvias excesivas lavan el terreno y, por lo tanto, arrastran la sal que rodea los electrodos aumentando la resistividad.

El siguiente gráfico muestra la variación de la resistividad de un terreno en función del porcentaje de sal presente:



Figura 2.3 Variación de la resistividad del terreno en función del % de sal.

Fuente: PDVSA

2.2.2.5 La Compactación del Terreno

Cuando la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad, por lo tanto es recomendable que exista un buen contacto entre electrodo y el terreno y por ende es necesaria una compactación. En el siguiente gráfico se muestra

cualitativamente la influencia de la compactación del suelo, en la variación de la resistividad.

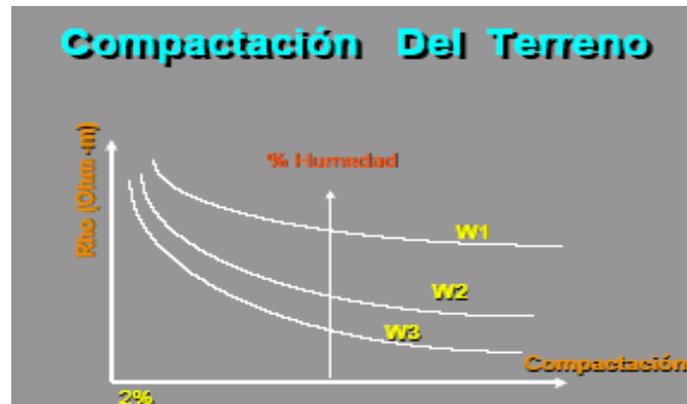


Figura 2.4 Variación de la resistividad del terreno en función de la compactación del mismo.

Fuente:PDVSA

2.2.2.6 La Estratificación del Terreno

El suelo está formado por capas (estratos) que tienen diferentes resistividades y profundidades debido a la formación geológica que son generalmente horizontales y paralelas a la superficie.

Existen estratos que se presentan en forma inclinada o verticales, debido a fallas geológicas pero para los estudios se asumen horizontales. El desconocimiento a priori de la resistividad de las capas inferiores obliga al estudio y medición de las mismas si se requiere conocer el valor a una determinada profundidad.

Se puede afirmar que la resistividad a una profundidad de 5 m puede llegar a ser mayor que solamente a una profundidad de 1,5 m por tratarse de un terreno de una capa arcillosa.

En la siguiente figura se observa que el comportamiento de la resistividad del terreno no es uniforme y depende de la característica de los estratos y en un caso real se puede dar terrenos con diferentes capas con resistividades y espesores diversos que pueden ser mayor a lo requerido.

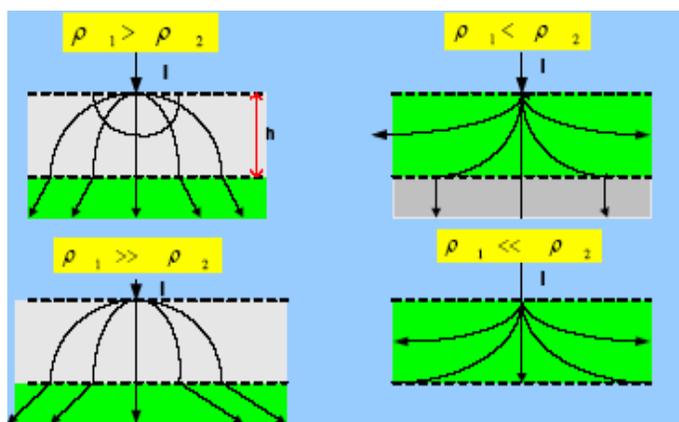


Figura 2.5 Influencia de la estratificación del terreno en la resistividad del mismo

.Fuente: PDVSA

2.2.2.7 Tipos de Fluidos al Momento de Controlar el Pozo

Básicamente los fluidos de perforación se preparan a base de agua, de aceite (derivados del petróleo) o emulsiones. En su composición interactúan tres partes principales: la parte líquida; la parte sólida, compuesta por material soluble que le imprime las características tixotrópicas y por material insoluble de alta densidad que le imparte peso; y materias químicas adicionales, que se añaden directamente o en soluciones, para controlar las características deseadas. El tipo de fluido utilizado en

la perforación rotatoria en sí, en el reacondicionamiento y terminación de pozos es elemento decisivo en cada una de estas operaciones. Pues las características del fluido tienen relación con la interpretación de las observaciones hechas de los estratos penetrados, ya sean por muestras de ripio tomadas del cernidor, núcleo de pared o núcleos convencionales o a presión; registros de litología, de presión o de temperatura; pruebas preliminares de producción en hoyo desnudo; tareas de pesca, entre otros.

* **Fluido de perforación a base de agua:** El agua es uno de los mejores líquidos básicos para perforar, por su abundancia y bajo costo. Sin embargo, el agua debe ser de buena calidad ya que las sales disueltas que pueda tener, como calcio, magnesio, cloruros, tienden a disminuir las buenas propiedades requeridas. Por esto es aconsejable disponer de análisis químicos de las aguas que se escojan para preparar el fluido de perforación. El fluido de perforación más común está compuesto de agua y sustancia coloidal. Durante la perforación puede darse la oportunidad de que el contenido coloidal de ciertos estratos sirva para hacer el fluido pero hay estratos tan carentes de material coloidal que su contribución es nula. Por tanto es preferible utilizar bentonita preparada con fines comerciales como la mejor fuente del componente coloidal del fluido. La bentonita es un material de origen volcánico, compuesto de sílice y alúmina pulverizada y debidamente acondicionada, se hincha al mojarse y su volumen se multiplica. El fluido bentonítico resultante es muy favorable para la formación del revoque sobre la pared del hoyo. Sin embargo, a este tipo de fluido hay que agregarle un material pesado, como la baritina (preparada del sulfato de bario), para que la presión que ejerza contra los estratos domine las presiones subterráneas que se estiman encontrar durante la perforación. Para mantener las características deseadas de este tipo de fluido como son: viscosidad, gelatinización inicial y final, pérdida por filtración, pH y contenido de sólidos, se recurre a la

utilización de sustancias químicas como quebracho, soda cáustica, silicatos y arseniatos.

* **Fluido de perforación a base de petróleo:** Para ciertos casos de perforación, terminación o reacondicionamiento de pozos se emplean fluidos a base de petróleo o de derivados del petróleo. En ocasiones se ha usado crudo liviano, pero la gran mayoría de las veces se emplea diesel u otro tipo de destilado pesado al cual ha agregarle negrohumo o asfalto para impartirle consistencia y poder mantener en suspensión el material pesante y controlar otras características. Generalmente, este tipo de fluido contiene un pequeño porcentaje de agua que forma parte de la emulsión, que se mantiene con la adición de soda cáustica, cal cáustica u otro ácido orgánico. La composición del fluido puede controlarse para mantener sus características, así sea básicamente petróleo o emulsión, petróleo/ agua o agua/petróleo. Estos tipos de fluidos requieren un manejo cuidadoso, tanto por el costo, el aseo del taladro, el mantenimiento de sus propiedades físicas y el peligro de incendio.

***Otros tipos de fluidos de perforación:** Para la base acuosa del fluido, además de agua fresca, puede usarse agua salobre o agua salada (salmuera) o un tratamiento de sulfato de calcio. Muchas veces se requiere un fluido de pH muy alto, o sea muy alcalino, como es el caso del hecho a base de almidón. En general, la composición y la preparación del fluido son determinadas según la experiencia y resultados obtenidos en el área. Para satisfacer las más simples o complicadas situaciones hay una extensa gama de materiales y aditivos que se emplean como anticorrosivos, reductores o incrementadores de la viscosidad, disminuidores de la filtración, controladores del pH, lubricadores, antifermentantes, floculantes, arrestadores de la pérdida de circulación, surfactantes, controladores de lutitas deleznales o emulsificadores y desmulsificadores, entre otros. Actualmente existen alrededor del mundo más de 120 firmas que directa o indirectamente ofrecen la tecnología y los

servicios que pide la industria petrolera sobre diagnósticos, preparación, utilización y mantenimiento de todo tipo de fluido de perforación para cada clase de formaciones y circunstancias operacionales, como también fluidos específicos para la terminación, la rehabilitación o limpieza de pozos. El progreso y las aplicaciones en esta rama de ingeniería de petróleos es hoy tan importante que se ha transformado en una especialidad operacional y profesional.

2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA.

2.3.1 Ubicación Geográfica del Área de San Tomé.

El Distrito San Tomé forma parte del Área Mayor de Oficina y constituye un área extensa de aproximadamente 24000 km², comprendiendo la mayor parte del sur de los estados: Anzoátegui y Guarico y se extiende hasta Casma- Soledad en el estado Monagas. Se caracteriza por tener pozos profundos hasta 14.000 pies en el área tradicional y pozos someros hasta 2.500 pies en el área de la faja del Orinoco.

Este Distrito está ubicado específicamente en el centro de la Mesa de Guanipa (zona sur del estado Anzoátegui)



Figura 2.6 Area San Tome. Fuente PDVSA

2.3.1.1 Geología del Área.

La secuencia estratigráfica de esta región corresponde al Área Mayor de Oficina, la cual contempla las siguientes formaciones:

Formación Mesa : perteneciente a la edad del Pleistoceno y depositada en un ambiente continental, está constituida en la parte superior y media por arcillas solubles de color crema, rojizas y grisáceas, alternando hacia la base con cuerpos de areniscas de grueso a conglomerático y capas de lignito, con un espesor que varía entre 500 y 900 pies.

Formación Las Piedras: aflora en la mayor parte de Anzoátegui y Monagas, encontrándose también en el subsuelo de la Cuenca Oriental de Venezuela. Perteneciente a la edad de del Mioceno tardío- Plioceno y depositadas en aguas salobres de un ambiente continental, está compuesta principalmente de areniscas lenticulares, limonitas , lutitas, arcillas y lignitos, con un espesor máximo calculado en unos 5000 pies.

Formación Freites: se presenta en el flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela, y consiste esencialmente de lutitas marinas de color gris verdoso. En las secciones inferior y superior de la secuencia se presentan areniscas, siendo algunas de ellas muy persistentes lateralmente con un espesor variable entre los 825 y 3000 pies. Contiene conjuntos de moluscos y foraminíferos y algunas especies de ostrácodos, teniendo la formación un carácter predominantemente lutítico.

Formación Oficina: se presenta en el subsuelo del flanco sur de la Cuenca Oriental de Venezuela y consiste de una alternancia de arenas y lutitas con intercalaciones de horizontes ligníticos.

Formación Merecure: se presenta en Anzoátegui y Monagas en las áreas de Anaco, Oficina y Temblador, caracterizada por una secuencia de areniscas macizas a mal estratificadas, con intercalaciones delgadas de lutitas carbonáceas, arcillitas y limonitas. Su contacto inferior es discordante con el Grupo Temblador o con el Grupo Santa Anita, o directamente con el basamento hacia la parte sur de la Cuenca Oriental de Venezuela; el contacto superior es concordante con la Formación Oficina, con un ambiente sedimentario de aguas salobres a dulces.

Las acumulaciones petrolíferas en la zona de San Tomé, más específicamente del Área Mayor de Oficina se encuentran principalmente en las arenas inferiores y medias de la Formación Oficina, y en las arenas superiores de la Formación Merecure, y se han encontrado escasamente en el grupo Temblador del Cretácico infrayacente. Generalmente las arenas son medianamente consolidadas y de grano medio a grueso (Fig. 2.2).

Los espesores de las arenas varían entre tres y cien pies y la extensión lateral de las mismas es muy variable, desde considerables hasta canales angostos.

Los valores promedios son: porosidad 30%, permeabilidad 2000 *mildarcies*, saturación de agua connata 15% y arcillosidad 15%, respectivamente.

La gravedad del petróleo está distribuida al azar en los numerosos campos y va desde petróleos muy pesados (8° API) hasta los más livianos (32°API) Los mecanismos de producción activos en los yacimientos del área son una combinación de empuje por gas en solución y empuje de los acuíferos asociados a cada yacimiento.

2.3.1.2 Descripción del Campo Casma Anaco

El campo fue descubierto en el año 1972, encontrándose ubicado en la región central del Área Casma Anaco, y el mismo llevaba por nombre Acema-Casma. El

límite de dicho campo está constituido por la zona identificada como Acema Oeste, limitada verticalmente desde la superficie hasta la base de la arena U2 de la formación Merecure.

El campo Casma Anaco, está ubicado en el flanco sur de la Cuenca Sedimentaria del Oriente de la República Bolivariana de Venezuela, Subcuenca Maturín a unos 30 Km. (Ver figura 2.3).

El área de convenio Casma Anaco comprendía aproximadamente 137 km² (área inicial) y estaba ubicada en el centro oeste del Estado Monagas aproximadamente a 200 Km al sur - oeste de Maturín. Luego de la migración del convenio a empresas mixtas (Abril 2006), el campo Casma Anaco fue nuevamente delimitado y su área fue recalculada en aproximadamente 100 km² y forma parte el área de San Tomé.

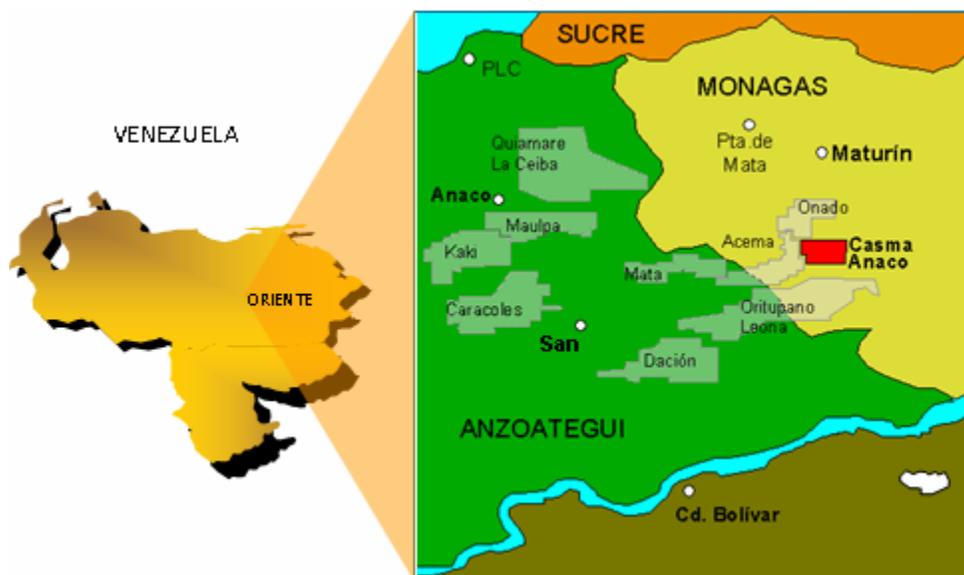


Figura 2.7 Ubicación del Campo Casma Anaco. Fuente PDVSA-ANACO

2.3.1.3 Geología del Campo Casma Anaco

La geología regional se corresponde con el modelo geológico típico del Área Mayor de Oficina. En orden ascendente la sección estratigráfica del campo consiste en la siguientes formaciones: Merecure, Oficina, Freites, Las Piedras y Mesa.

La Formación Oficina de edad Mioceno, yace concordante sobre la Formación Merecure y consiste de areniscas gruesas en su parte inferior desde la arena N1 y areniscas de granulometría medio gruesa en la parte superior desde la arena F6; por encima de estas no aparecen arenas desarrolladas en toda la extensión del campo. Las arenas son interstratificadas con lutitas grises y capas delgadas de lignitos hacia la parte basal.

La Formación Freites yace concordante sobre la Formación Oficina y consta de lutitas grises y areniscas embebidas medianamente consolidadas de granos finos a medios y su edad es del Mioceno.

2.3.2 Ubicación geográfica del Área de Morichal.

El Distrito Morichal, está ubicado aproximadamente a 120 km al sur de Maturín, Estado Monagas. Este Distrito está conformado por las Áreas tradicionales (Campo Jobo, Campo Morichal, Campo Pión, Campo Temblador, Campo el Salto, Campo Isleño) y el Bloque Cerro Negro (Áreas: M19, J20, O16).

2.3.2.1 Geología general del área.

El área de Morichal presenta una geología muy variada que comprende lo siguiente de acuerdo a los distintos campos que lo conforman: En el Campo Morichal la geología además de variada es compleja y muestra varios altos

estructurales, siendo su rasgo principal una falla normal que la atraviesa en dirección oeste a este con desplazamientos de 30 a 200 pies.

El Campo Pílon está limitado por una falla principal que delimita el alto mayor de Pílon con el sur del Campo Temblador y al este del Campo Jobo, y su geología estructural corresponde a un monoclinal con buzamiento hacia el norte de 4 a 5 grados, aproximadamente.

El Campo Temblador en su geología estructural señala un monoclinal fallado, en el cual los estratos de las formaciones petrolíferas buzcan con un ángulo de 2 a 4 grados hacia el norte. Mayormente, se evidencian trampas de tipo combinado (acuñamientos laterales con fallas) para el almacenamiento de los hidrocarburos.

EDAD	GRUPO	FORMACION	MIEMBRO	Descripción Litológica
PLEISTOCENO		MESA		Arcillas rojas y moteadas, conglomerados, gujarros, peñas y peñones
PLIOCENO				
MIOCENO SUPERIOR		LAS PIEDRAS		Arcillitas, limolitas, areniscas y en algunas partes conglomerados
MIOCENO MEDIO		FREITES		Lutitas de gran espesor, con intercalaciones de areniscas de grano fino a muy grueso
			PILON	Limos y lutitas
			JOBO	Areniscas, lutitas, limolitas y capas calcáreas y ligníticas
MIOCENO INFERIOR		OFICINA	YABO	Lutitas con intercalaciones de areniscas de grano fino
			MORICHAL	Areniscas basales, marrones y masivas
CRETACEO SUPERIOR	TEMBLADOR	CANGA		Conglomerados finos, areniscas y limolitas
		TIGRE		Areniscas, limolitas glauconíticas y lentes calcáreas
PRECAMERICO		COMPLEJO IGNEO METAMORFICO		Granitos, gneises, granodioritas, metasedimentos plegados e inyecciones félsicas

Figura 2.8 Columna Estratigráfica del Area

2.4 RESESTIVIDAD ELECTRICA DE LAS ROCAS.

La resistividad eléctrica es la primera y sigue siendo la más frecuente de medir las propiedades físicas de las rocas ígneas, metamórficas y rocas sedimentarias, que en seco son pobres conductores de corriente eléctrica, tienen baja conductividad, por lo tanto, alta resistividad. Para pasar a través de las rocas, la corriente eléctrica se necesita un material conductor como los son los minerales metálicos. Las Rocas sedimentarias de interés son normalmente porosos conductores con el llenado de agua de los poros. Estas rocas se puede denominar conductores electrolíticos. Varios parámetros pueden afectar a la resistencia de las rocas sedimentarias porosas. Los hidrocarburos se conoce comúnmente como malos conductores eléctricos y se comportan como un aislantes. En las mediciones de resistividad de los suelos se pueden utilizar para encontrar hidrocarburos en formaciones sedimentarias. Esta sección analiza la conductividad eléctrica de las rocas sedimentarias, y la relación entre la resistividad de la roca y otras propiedades de la roca.

2.4.1 Resistividad del Agua de Formacion (ρ_w).

Es la capacidad del agua de evitar el paso de la corriente eléctrica en un espacio del poro de una roca, este valor varia con la salinidad del agua, volumen del agua y la temperatura.

La salinidad del agua:

Cuando aumenta la salinidad significa que mas iones están disponibles para conducir electricidad por lo tanto ρ_w (resistividad de agua) disminuye.

Dicho de otra manera, es válida la expresión *salinidad* para referirse al contenido salino en suelos o en agua. El sabor salado del agua se debe a que contiene cloruro de sodio. El porcentaje medio que existe en los océanos es de 10.9 % (35 gramos por

cada litro de agua). Además esta salinidad varía según la intensidad de la evaporación o el aporte de agua dulce de los ríos aumente en relación a la cantidad de agua. La acción y efecto de variar la salinidad se denomina saladura.

Tabla 2.2 Salinidad del Agua.Fuente: Registros de Pozo

Salinidad del agua			
Agua dulce	Agua salobre	Agua de mar	Salmuera
< 0.05 %	0.05 – 3 %	3 – 5 %	> 5 %
< 0.5 ppt	0.5 – 30 ppt	30 – 50 ppt	> 50 ppt

Volumen del agua:

Cuando el agua en el espacio poroso de una roca aumenta, la resistividad disminuye. Si algún volumen de agua es desplazado por hidrocarburos (aislante), la saturación de agua disminuye y por lo tanto la resistividad aumenta.

Temperatura del agua:

Cuando la temperatura de agua se eleva, la movilidad iónica aumenta y disminuye la resistividad.

2.4.2 Registros Electricos.

El registro eléctrico convencional consiste en medir la resistividad de la formación, ofreciendo de esta manera una herramienta muy importante para el

geólogo, geofísico, petrofísico, ingeniero de petróleo y perforador, ya que permite identificar zonas prospectivas y otras.

La resistividad de la formación es un parámetro clave para determinar la saturación de hidrocarburos. La electricidad puede pasar a través de una formación debido al agua conductiva que contenga dicha formación.



Figura 2.9 Registro eléctrico. Fuente: Registros de Pozos

Por lo general el perfil eléctrico contiene cuatro curvas:

Normal Corta (SN) de 16", esta mide la resistividad de la zona lavada (ρ_{xo}), es decir la zona invadida por lodo.

Normal Larga (NL) de 64", ésta mide la resistividad en la zona virgen (ρ_t).

Lateral de (18" - 8"), es utilizada para medir la resistividad verdadera de la formación cuando no es posible obtener un valor preciso de la curva normal larga.

Potencial espontáneo (SP), es un registro de la diferencia de potencial entre el potencial eléctrico de un electrodo móvil en la herramienta y el potencial eléctrico de electrodo fijo en la superficie en función de la profundidad. En formaciones de lutitas, la curva de SP por lo general, define una línea más o

menos recta en el registro, que se llama línea base de lutitas. En frente de formaciones permeables, la línea muestra deflexiones con respecto a la línea base de lutitas; en las capas gruesas estas deflexiones tienden a alcanzar una deflexión esencialmente constante, definiendo así una línea de arenas.

Ésta curva de potencial espontáneo es muy útil, ya que permite detectar capas permeables, correlación de capas, determinar la resistividad del agua de formación y una estimación aproximada del contenido de arcillas.

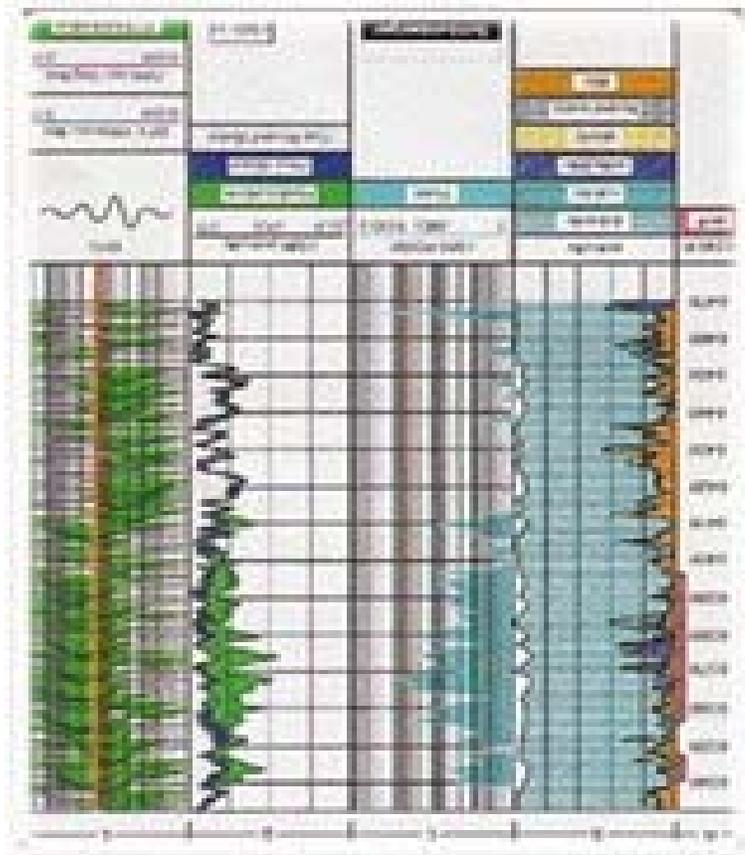


Figura 2.10 Perfil Eléctrico. Fuente: Registros de Pozo

2.4.3 Registros de Pozos Abiertos (OPEN HOLE)

Un registro de pozo abierto es el registro de un pozo nuevo o de segmentos sin revestir de un pozo existente. El objetivo de realizar la operación de registro en pozo abierto es ayudar a determinar la cantidad y calidad de hidrocarburos que pueden hallarse presentes en la roca del reservorio. Se colocan una variedad de sensores dentro del pozo en una línea de multiconductores o por la tubería de perforación en pozos muy desviados u horizontales. A medida que se recuperan estos sensores del pozo, éstos continuamente muestrean la formación para determinar características como la resistividad, densidad, velocidad acústica, geometría del hoyo y radioactividad.

Estas mediciones son transmitidas hacia arriba del pozo vía cable multiconductor al sistema de superficie CS400TM donde se procesan las señales, convirtiéndolas en productos para el usuario tales como impresos de alta calidad y formatos digitales. En cualquier momento en la fase de adquisición de las operaciones, los datos se pueden transmitir por vía satélite al centro de computación donde se puede emplear una amplia variedad de técnicas para determinar la presencia de hidrocarburos con valor comercial.

Los datos de registro de pozo abierto están generalmente disponibles sólo una vez en la vida del pozo y constituye un referencia de inestimable valor para futuras operaciones del pozo.

2.5 PRINCIPIOS DE LOS REGISTROS ELECTRICOS

Se inducen corrientes en la formación, por medio de electrodos de corriente y se miden los voltajes entre los electrodos de medición. Estos voltajes proporcionan la resistividad de cada dispositivo.

Se deben utilizar lodos conductivos a base de agua o lodos de emulsión de petróleo. Dependiendo del tipo de lodo puede variar el tipo de herramienta resistiva a correr en el pozo. En general, cuanto mayor sea el espaciamiento entre los electrodos, mayor es la investigación dentro de la formación. Así, la curva lateral de 18 pies 8 pulgadas, tiene mayor profundidad de investigación y la normal corta de 16", las más somera.

2.5.1 HERRAMIENTA RESISTIVAS

En las industrias petroleras son utilizadas para medir la resistividad de las formaciones una serie de instrumentos que mejoran la precisión de los registros.

Estas herramientas requieren un conductor medio en el pozo para poder medir las propiedades resistivas de las rocas. Las herramientas de inducción tienen la capacidad de ser utilizada en casi cualquier entorno de la perforación, están compuesta de bobinas de alambre enrollado de un cilindro no conductor en la base, para inducir el campo electromagnético en la formación, ayuda a centrar los campos y recibir la señal de la formación.

Las señales recibidas en el receptor de las bobinas se utilizan para determinar la conductividad de la formación, estas herramientas no miden exactamente la resistividad de una zona destinada. La señal debe viajar a través de múltiples zonas de perforación y una porción del total de la señal recibida proviene de cada zona.

2.5.2 TIPOS DE HERRAMIENTAS

- **Dispositivos resistivos:**

Las herramientas de resistividad miden el efecto del campo electromagnético sobre las capas. Estas herramientas requieren de un medio conductor en el hoyo para ser capaz de medir las propiedades resistivas de la roca.

Estos son los siguientes dispositivos:

Herramienta Dual Laterolog (DLL-HA)

Micro-Herramienta de Resistividad (MRT-BA)

Micro-Esférico Centrado (MSFL-BA)

Centrado Eléctrico (MFE)

5. Micro-Log (MML)/MMR

- **Herramientas de Inducción:**

Las herramientas de inducción tienen la capacidad de ser usadas con cualquier tipo de fluido en el hoyo. Estas herramientas consisten en unas bobinas alrededor de una base cilíndrica no conductiva. Las piezas separadas de las bobinas inducen un campo electromagnético en la formación. La señal recibida de las bobinas receptoras es usada para determinar la conductividad de la formación.

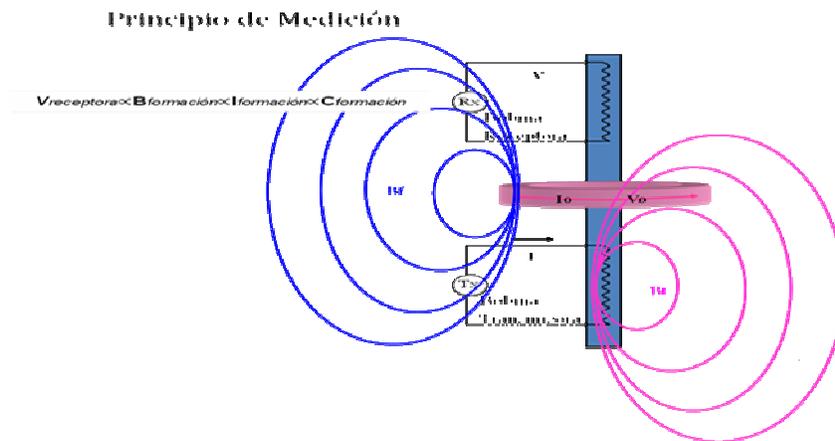


Figura 2.11 Principio de edición. Fuente: Weathford

1. La bobina transmisora, Tx, produce una corriente alterna de amplitud constante, I. Esta corriente induce un campo magnético, Bt, en la formación alrededor del hoyo. La magnitud del campo magnético y la frecuencia son dependientes de la corriente de la bobina transmisora y oscila en fase con la corriente Tx; la base para esto es la Ley de Ampere.

2. La Ley de Faraday predice el establecimiento de una fuerza potencial, Vo. La fuerza del potencial es determinada por la velocidad de cambio del campo magnético; el potencial está fuera de fase con el campo magnético, ej. Por 90° .

3. En un aro elemental de área de sección transversal la unidad, la Ley de Ohm en tal caso predice una corriente en forma de remolino, Io, proporcional a la conductividad eléctrica en el espiral. La corriente fluye en fase con la fuerza potencial.

4. La corriente en forma de remolino, por la Ley de Ampere, produce un flujo magnético, Bf, el cual envuelve la bobina receptora.

5. La corriente en forma de remolino es un fuente secundaria que induce voltaje a través de la bobina receptora. El voltaje alterno inducido esta desfasado 90° , ej. 180° en desfase con la corriente transmisora. La contribución del voltaje medido por la bobina receptora es proporcional a la conductividad de la formación, aumentando rápidamente con la frecuencia, y desfasado 180° con la corriente transmisora.

La medición de la señal de voltaje de la bobina receptora, que se traduce en un componente resistivo, constituye el registro de inducción. El receptor también recibe una señal por pareja directa desde el transmisor, pero este es rechazado por el circuito eléctrico que bloquea la señal desfasada 90° .

Estos son los equipos inductivos utilizados para la medición de la resistividad:

Triple Inducción (STI)

Arreglo Inductivo (MAI)

2.6 CALIBRACION DE HERRAMIENTAS RESISTIVAS:

La calibración se define como el “conjunto de operaciones que establecen, en unas condiciones especificadas, la relación que existe entre los valores indicados por un instrumento o sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada y los correspondientes valores conocidos de una magnitud de medida”.

Los procedimientos de la calibración son: la designación, la normalización, caracterización y la combinación.

La designación: es la identificación de un nuevo tipo de instrumento, o el nivel de modificación a un tipo existente, que hace que ello tenga un juego nuevo y único de características de respuesta.

La normalización: es el proceso que asegura que todos los ejemplos del mismo tipo de instrumento responden de la misma manera a un estímulo común.

Caracterización: es el proceso de relacionar salidas de instrumento normalizadas con la característica (propiedad) de formación de interés, y de definir las perturbaciones ambientales sobre aquella respuesta.

La combinación: se refiere a la manera en la cual medidas individuales son juntadas(reconciliadas) para formar una medida compensada.

2.7 CONCEPTOS BASICOS.

2.7.1 CAMPO MAGNETICO:

Magnitud vectorial que expresa la intensidad de la fuerza magnética. El campo magnético es creado por cargas eléctricas en movimiento, pero nunca se crea campo magnético en el mismo sentido de la trayectoria de la carga, además cargas en reposo no originan ningún campo magnético.

2.7.2 CORRIENTE ELECTRICA:

Se refiere al flujo de las cargas eléctricas en el espacio en una dirección determinada, viene expresada en Amperios (A).

2.7.3 CONDUCTANCIA:

Es el recíproco de la resistencia y se mide (mhos o Siemens).

$$G = 1/ R \text{ Ecuación 2.1.c}$$

2.7.4 DIFERENCIA DE POTENCIAL O VOLTAJE:

Es la presión que ejerce una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz (FEM) sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado, para que se establezca el flujo de una corriente eléctrica.

$$V = I * R \quad \rightarrow \text{Amperio} * \text{Ohm} = (\text{Voltios})$$

2.7.5 ELECTRON.

Tipo de partícula elemental de carga negativa que forma parte de la familia de los electrones y que, junto con los protones y neutrones forman los

átomos y las moléculas. Estos están presentes en todos los átomos y cuando son arrancados el átomo se conocen como electrones libres.

2.7.6 FLUJO MAGNETICO.

Generalmente representado con la letra griega Φ , es una medida de la cantidad de magnetismo, a partir de la fuerza y la extensión de un campo magnético.

2.7.7 INDUCCION:

Es la generación de una corriente eléctrica en un conductor en movimiento en el interior de un campo magnético (de aquí el nombre completo de inducción electromagnética).

2.7.8 INDUCTORES O BOBINAS.

Consisten en un hilo conductor enrollado en forma de bobina. Al pasar una corriente a través de la bobina, alrededor de la misma se crea un campo magnético que tiende a oponerse a los cambios bruscos de la intensidad de la corriente.

2.7.9 LEY DE AMPERE:

Una corriente alterna, I , crea un campo magnético alterno, B , en fase con el flujo de corriente. La ley de Ampère explica, que la circulación de la intensidad del campo magnético en un contorno cerrado es igual a la corriente que lo recorre en ese contorno.

El campo magnético es un campo vectorial con forma circular, cuyas líneas encierran la corriente. La dirección del campo en un punto es tangencial al círculo que encierra la corriente. El campo magnético disminuye inversamente con la distancia al conductor.

2.7.10 LEY DE FARADAY:

Un campo magnético cambiante, B , induce una fuerza potencial coaxial con la sonda en el medio circundante proporcional al campo magnético. La fuerza potencial inducida retrasa al campo magnético por 90° .

La Ley de Faraday establece que la corriente inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez con que cambia el flujo magnético que lo atraviesa. La inducción electromagnética fue descubierta casi simultáneamente y de forma independiente por Michael Faraday y Joseph Henry en 1830. La inducción electromagnética es el principio sobre el que se basa el funcionamiento del generador eléctrico, el transformador y muchos otros dispositivos.

2.7.11 LEY DE OHM

La intensidad de la corriente eléctrica que pasa por un conductor en un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicado a sus extremos e inversamente proporcional a la resistencia del conductor.

2.7.12 MAGNETISMO.

Es uno de los aspectos del electromagnetismo, que es una de las fuerzas fundamentales de la naturaleza. Estas fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de partículas cargadas, como por ejemplo electrones. Lo que indica la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo

2.7.13 RESISTENCIA ELECTRICA:

Representa la oposición que ofrece el conductor para el flujo de corriente eléctrica y es una constante característica del material, viene expresada por la letra (R) en (ohm) (Ω).

2.7.14 LA RESISTIVIDAD:

Es la Resistencia medida entre las caras opuestas de un cubo unitario de esa sustancia a una temperatura específica. El metro es la unidad de longitud y el ohm es la unidad de resistencia eléctrica, la resistividad es:

$$\rho = R \cdot A / L \text{ (ohm-m)}$$

Donde:

ρ es la resistividad en ohm-metros

R es la Resistencia en ohm

A es el area en metros cuadrados

L es la longitud en metros

2.7.15 RESISTIVIDAD VERTICAL O APARENTE

Es la resistividad obtenida con una medida directa en el suelo natural, bajo el esquema geométrico especificado por el método de (4) electrodos, aplicado con circuitos independientes de corriente y potencial, solo es representativo de un punto de la característica del suelo estratificado.

CAPITULO III

MARCO METODOLOGIA

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Para la realización de este proyecto fue necesario observar y recolectar información que permitió describir el funcionamiento de cada una de las herramientas resistivas, sus condiciones de uso, calibración, así como la comparación de la efectividad según el perfil del suelo

Por todo lo anterior la investigación se encuadró dentro del tipo explicativa dado que esta “Consiste en buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. Fidias G Arias, (2004) en este sentido señala que, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post.facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis”. En este estudio en particular se determinó la efectividad, sus consecuencias.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.

Para dar respuesta al problema planteado, la estrategia seguida correspondió con un diseño de campo el cual “Consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna” (Fidias G Arias, 2004). La investigación concuerda con el diseño anteriormente descrito debido a que los datos y/o la información se tomó directamente de los pozos bajo estudio, así como de los archivos y bases de datos de la empresa., mediante lo cual se realizó un estudio exhaustivo del funcionamiento de las herramientas antes mencionadas, así como un análisis

profundo de los registros.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Según Fidias Arias la población **“es el conjunto de elementos con características comunes que son objeto de análisis y para los cuales serán válidas las conclusiones de la investigación”**. En este trabajo la población estará constituida por 31 pozos pertenecientes a diferentes campos del Oriente del país donde se tenga que trabajar con los registros eléctricos.

En el mismo orden de ideas, la muestra **“es un subconjunto representativo de un universo o población”** según Morles (1994, Pág. 54). Para esta investigación la muestra estuvo conformada por 4 pozos de los 31 que conformaban la muestra, los cuales requirieron intervenciones inmediatas para cañoneo y fueron utilizados para la aplicación de la propuesta. El pozo xx15A perteneciente al campo Santo Tomé, desarrollado bajo convenio operativo entre la empresa Weatherford y PDVSA, Distrito San Tomé, el pozo xx102 perteneciente al campo Morichal, en PDVSA Distrito Morichal, y los pozos xx13A y xx27J pertenecientes a PDVSA Distrito Anaco. En la selección de esta muestra no privó ningún otro requerimiento que no fueran los señalados en el párrafo anterior, así que se puede afirmar que su escogencia respondió más a la necesidad e inmediatez del trabajo de registros eléctricos que a ningún otro parámetro.

3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

3.4.1 Primera Etapa: Descripción del funcionamiento de las herramientas.

En esta primera etapa de la investigación se procedió a recolectar toda la información documental y de campo disponible, necesaria para la descripción del funcionamiento y principio operacional de las herramientas resistivas. Esto se logró mediante la revisión y posterior análisis de bibliografía como: informes técnicos y manuales de mantenimiento de la empresa Weatherford Wireline, manuales de funcionamiento y prueba de las empresas fabricantes de las herramientas (COMPACT y STANDAR), literatura especializada en el área de registros, usados en pozos de hidrocarburos.

3.4.2 Segunda Etapa: Calibración de las herramientas

Una vez conocido el funcionamiento de las referidas herramientas, se procedió a calibrar cada una de ellas. Una vez que se realizó esta actividad se seleccionaron las herramientas más aptas para realizar las operaciones en los pozos.

3.4.3 Tercera Etapa: Evaluación de las herramientas resistivas.

En esta etapa de la investigación es donde se evaluaron los procedimientos de los estudios de registros eléctricos y fueron comparados con cada herramienta para establecer una propuesta definitiva de un procedimiento efectivo dependiendo del tipo de perfil del suelo para obtener un buen control desempeño al momento de realizar la operación, utilizando solo una sola herramienta o combinada para tal fin, así como también se logró establecer las ventajas asociadas a la aplicación de este procedimiento, desde el punto de vista técnico y económico.

3.5 HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

Para la evaluación de la efectividad de las herramientas en los registros eléctricos de pozos, fue necesario un estudio pormenorizado acerca del funcionamiento de estas herramientas, lo cual permitió hacer un balance de sus potencialidades y debilidades; a la vez que se obtuvo una comprensión y dominio de las técnicas de correlación en registro de pozos.

Por otro lado se contó con el importante apoyo de la tecnología a través del Sistema Well Manager. Este sistema permitió visualizar la información de profundidad suministrada por los sistemas de medición mecánico y digital; presentó en pantalla información acerca del estado de las herramientas en lo referente a la alimentación y consumo eléctricos de estas y finalmente permitió observar las curvas de cada una de los equipos resistivos, los cuales describieron el comportamiento litológico, resistivos mostrando el estado y ubicación de ciertos elementos específicos de los perfiles de los suelos, todo esto en tiempo real, es decir en el mismo momento en que se tomaron los datos.

3.6 RECURSOS.

3.6.1 Recursos Humanos.

Se contó con el apoyo del personal técnico y profesional de la empresa Weatherford Wireline Maturín. El desarrollo metodológico y asesorías académicas estuvo orientado por profesores de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui , Escuela de Ingeniería Eléctrica

3.6.2 Recursos Financieros.

Los recursos financieros necesarios para la ejecución de este proyecto fueron provistos por la División de Wireline y la Gerencia de Recursos Humanos de la empresa **Weatherford Wireline Maturín**.

3.6.3 Recursos Materiales y Bibliográficos.

La recopilación de información de campo, programas de registros, esquemas de completación de pozos, además del apoyo de la plataforma tecnológica (computador, equipos de oficina, entre otros), fueron aportes de la empresa Weatherford Wireline Maturín. Entre estas herramientas se contó con el programa Well Manager, el cual permite correr, conocer, ver y corregir en tiempo real la ubicación en lo profundo del pozo de las herramientas que se encuentran dentro de éste.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación realizada, donde se refleja el logro de cada uno de los objetivos específicos planteados. A continuación se detallan cada objetivo logrado con sus resultados alcanzados.

4.1 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS UTILIZADAS PARA LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS.

4.1.1 Herramienta Dual Laterolog (DLL-HA)

El Laterolog Dual trabaja con dos medidas de frecuencia simultáneamente; Laterolog Shallow (LLS) que operan a 280 Hz y Deep Laterolog (LID) que operan a 35 Hz (superficial y profunda). Al medir la corriente (I_0) y la tensión (V_0) de cada una de las señales, un perfil de resistencia (V / I) puede ser calculado como $\text{ohm-m}^2 / \text{m}$ o simplemente ohm-m . Dado que uno laterolog es poco profundo y el otro, es un laterolog profundas, los sistemas de guardia y electrodos de retorno son diferentes para cada medición. La herramienta filtra la señal para mantener las dos frecuencias separadas para la medición y las rutas de salida de corriente. La medición de resistividad se realiza mediante un dispositivo de potencia constante, donde el producto de la tensión de salida (V_0) y salida de corriente (I_0) se mantienen en un nivel constante y permite a cada uno de ellos variar en función de la resistividad de la formación. La dual laterolog se utiliza mayormente en los pozos perforados con lodos salinos.

La DLL-HA normalmente se corre conjuntamente con otras herramientas para la determinación de resistividad total de la zona no invadida.(ver figura 4.1).

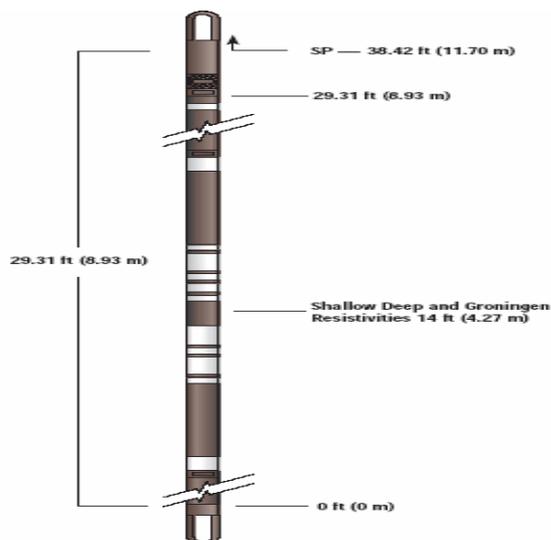


Figura 4.1. Herramienta Dual Laterolog Fuente Weatherford Wireline

4.1.1.2 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE DUAL LATEROLOG (MDL)

Se presentan en este punto las distintas especificaciones técnicas de la herramienta Dual Laterolog, para dar conocer su utilidad de acuerdo a las necesidades en la que sea requerida.

Tabla 4.1 Especificaciones de la herramienta MDL (Dual Laterolog). Fuente: Weatherford Wireline

LONGITUD	8,93 m	29,31 in
DIAMETRO	57 mm	2,25 in
PESO	98 Kg	216 Lb

Tabla 4.2 Rango de la herramienta MDL (Dual Laterolog). Fuente: Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-40 a 125 C°	-40 a 257 f°
DIAMETRO DEL POZO	70 a 400 mm	2,8 a 15,7 in
PRESION MAXIMA	86 MPa	12,5 Kpi

Tabla 4.3 Rango de medicion MDL (Dual Laterolog).
Fuente: Weatherford Wireline

RANGO	0,1 a 4000 ohm-m	-
RESOLUCION	1% DEL VALOR MEDIO	-
RESOLUCION VERTICAL	0,6 m	2 ft

Ahora se muestra un modelo de registro eléctrico del MDL el cual indica los distintos parámetros de evaluación de resistividad del suelo.

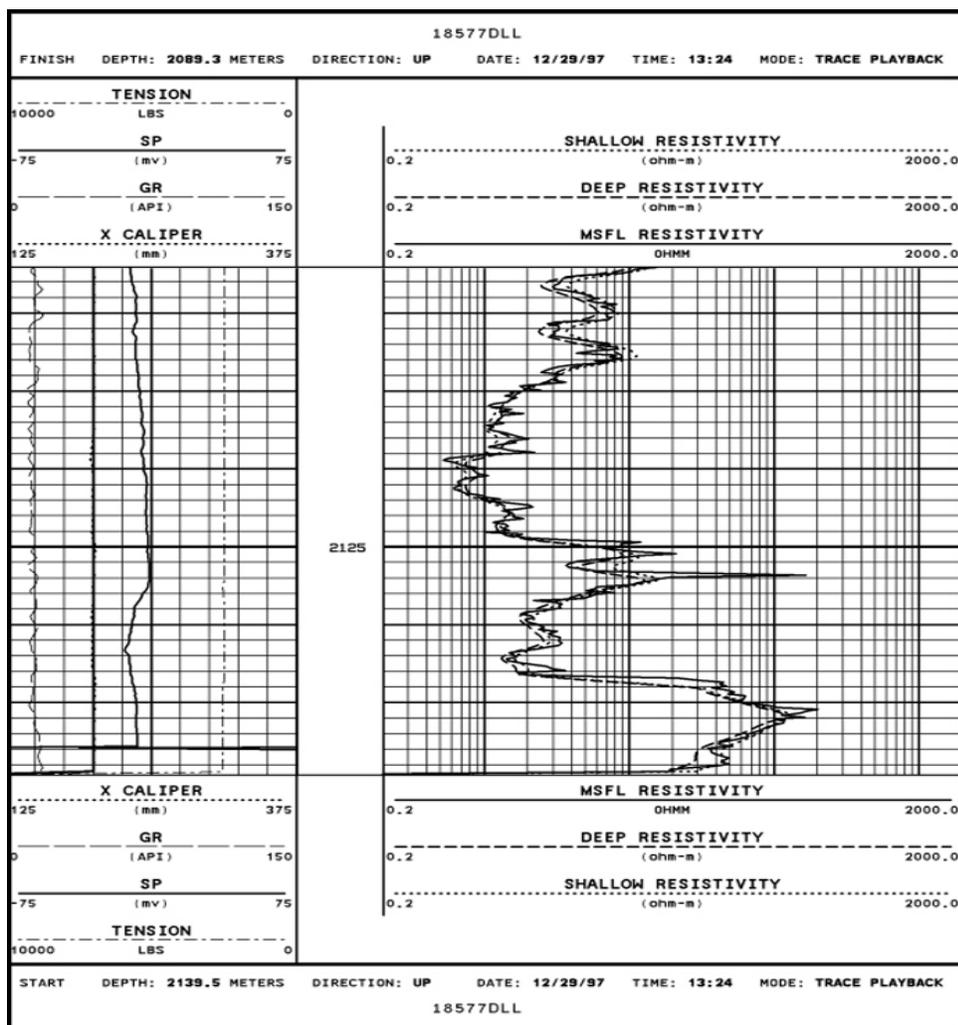


Figura 4.2 Registro Electrico del MDL Fuente: Weatherford Wireline

4.1.2 Micro-Herramienta de Resistividad (MRT-BA).

La herramienta de micro-resistividad (MRT- BA) es un micro-dispositivo de registro con electrodos. Estos electrodos se encuentran en una almohadilla de aislamiento que es presionado contra la pared del pozo.

El MRT se compone de dos conjuntos principales, el cartucho de la electrónica (MRC) y la sonda (MRS) (ver figura 4.2). Ya sea una plataforma de MSFL o una almohadilla MEL está instalado en la sección de sonda. Aunque el cartucho electrónico tiene la capacidad de ejecutar ambas pastillas al mismo tiempo, en realidad, sólo una se ejecuta en cualquier momento donde puede evaluarse de forma superficial o mas profunda. Una alfombrilla de relé seleccionar en la sección de sonda permite la selección adecuada de la plataforma de cableado. El cableado MSFL de los electrodos de A0, M0 y A1 se convierte en el cableado del MEL de los electrodos de A0, M1 y M2, cuando la herramienta está activada desde la plataforma de MSFL al modo plataforma de MEL. La conmutación es controlada por el software de los sistemas de superficie en función de un instrumento particular que se carga (es decir, correr). La sección de la electrónica (MSFL o MEL), que no está en uso se ve obligada a modo de un cero. Los canales analógicos no se utilizan y no se convierten, a fin de acelerar el tiempo de adquisición. En cualquiera de los MSFL o el modo de la MEL, tanto la medida de corriente y tensión medida son adquiridos para aumentar la exactitud de la lectura de la herramienta. La suma de la tensión de medida y la corriente se mantiene constante para mejorar el rango dinámico de la herramienta. La medición se hace con un rayo enfocado centrado que penetra el lodo haciéndolo sensible a Rxo. Esto se usa para corregir la curva de penetración profunda del Dual Laterolog (DLL) y en detección de hidrocarburos móviles via computación de la saturación Roxy de la zona de deslave.

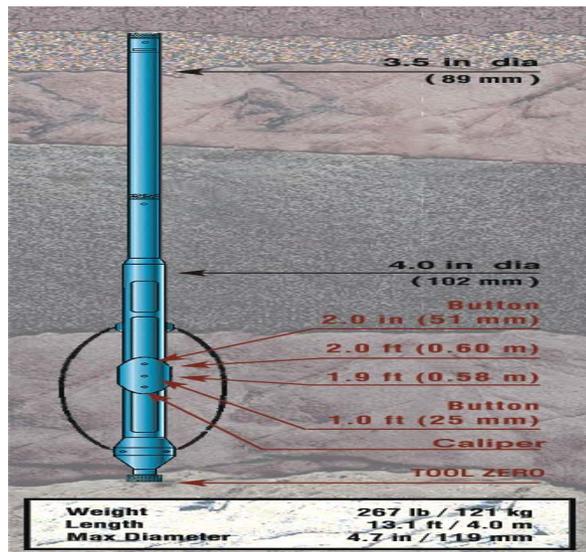


Figura 4.3 Herramienta Micro Resistiva Fuente: Weatherford Wireline

Luego de conocer las estructuras físicas y componentes de la herramienta microresistiva, se muestran sus especificaciones.

Tabla 4.4 Especificaciones de la herramienta MRT (Micro Herramienta Resistiva). Fuente: Weatherford Wireline

LONGITUD	2619 mm	103,1 in
DIAMETRO	119 mm	4,7 in
PESO	37 Kg	81,6 Lb

Tabla 4.5 Rango de valores de la herramienta MRT (Micro Herramienta Resistiva). Fuente: Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-40 a 125 C°	-40 a 257 f°
DIAMETRO DEL POZO	110 a 353 mm	4,3 a 13,9 in
PRESION MAXIMA	138kPa	20000 psi

Tabla 4.6 Rango de valores de la MRT (Micro Herramienta Resistiva).

Fuente: Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 2000 ohm-m	-
RESOLUCION	1 %	-
RESOLUCION VERTICAL	-	-

A continuacion se muestra un modelo de registro de la herramienta microresistiva.

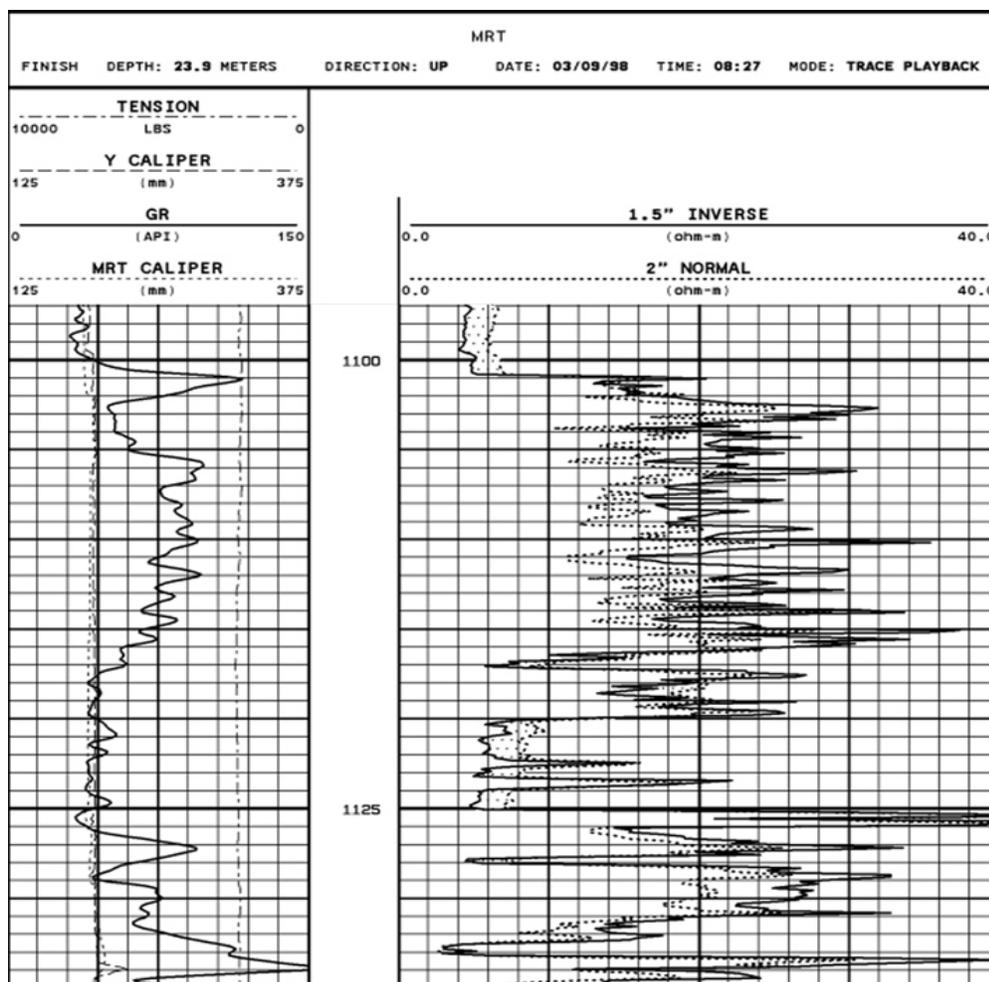


Figura 4.4 Registro Electrico del MRT. Fuente: Weatherford Wireline

4.1.3 Imagen de Alta Resolución (HMI).-

El HMI es una herramienta de imágenes de resistividad eléctrica. Cuenta con seis brazos independientes, cada uno con 25 botones de medición. Las aberturas de los brazos y del comportamiento de la herramienta en el agujero es grabado, así como los datos de imagen, de modo que da una imagen exacta de la perforación.(ver fig. 4.5 y 4.6).

Un paquete de precisión, incluye un magnetómetro de tri-axial; Debido a esto, gran parte de la herramienta está hecha de materiales no magnéticos, incluidas las versiones especiales de lo que sería esencialmente elementos estándar, como los depósitos de conector y carcasa de la herramienta.

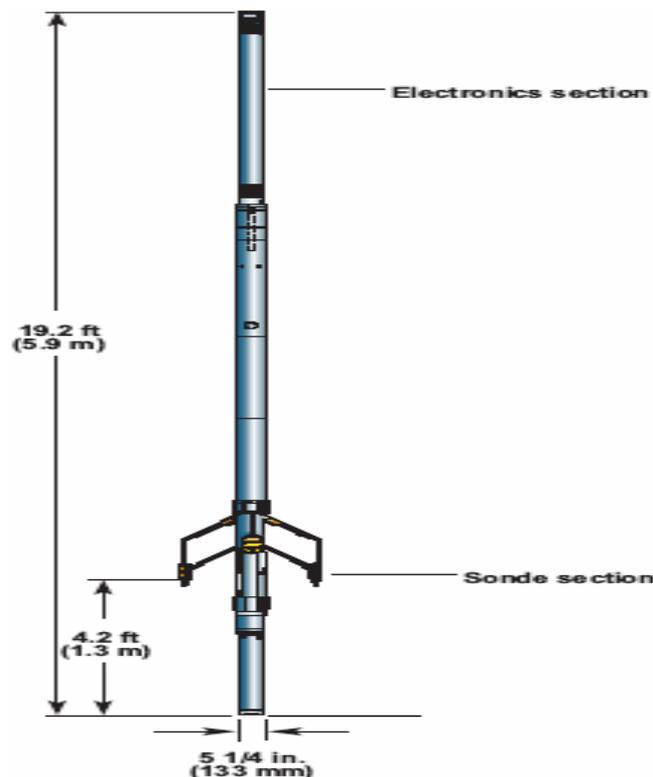


Figura 4.5 Herramienta Imagen de Alta Resolución. Fuente:
Weatherford Wireline

La HMI puede operar en pozos de lodo base de agua o base aceite, la cual da caracterización de estructuras sedimentarias, evaluación de capas delgadas y resistividad orientada.



Figura 4.6 Sección de sensores del HMI. Fuente Weatherford Wireline

Se muestra a continuación las diferentes especificaciones que constituye la herramienta de imagen de alta resolución.

Tabla 4.7 Especificaciones de la herramienta HMI (Imagen de Alta Resolución). Fuente: Weatherford Wireline

LONGITUD	5,9 m	19,2 in
DIAMETRO	55 mm	2,25 in
PESO	190 Kg	400 Lb

Tabla 4.8 Rango de valores de la HMI (Imagen de Alta Resolución). Fuente:
Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-30 a 77 C°	-22 a 350 f°
DIAMETRO DEL POZO	152 a 508 mm	6 a 20 in
PRESION MAXIMA	138 MPa	20 Kpi

Tabla 4.9 Rango de medición de la HMI (Imagen de Alta Resolución). Fuente:
Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 2000 ohm-m	-40 a 270 f°
RESOLUCION	>0,05%	-
RESOLUCION VERTICAL	1 m	3,3 ft

Para mejor visualización de una evaluación hecha por la herramienta HMI (Imagen de Alta Resolución), se muestra un registro eléctrico de los resultados arrojados por el equipo.

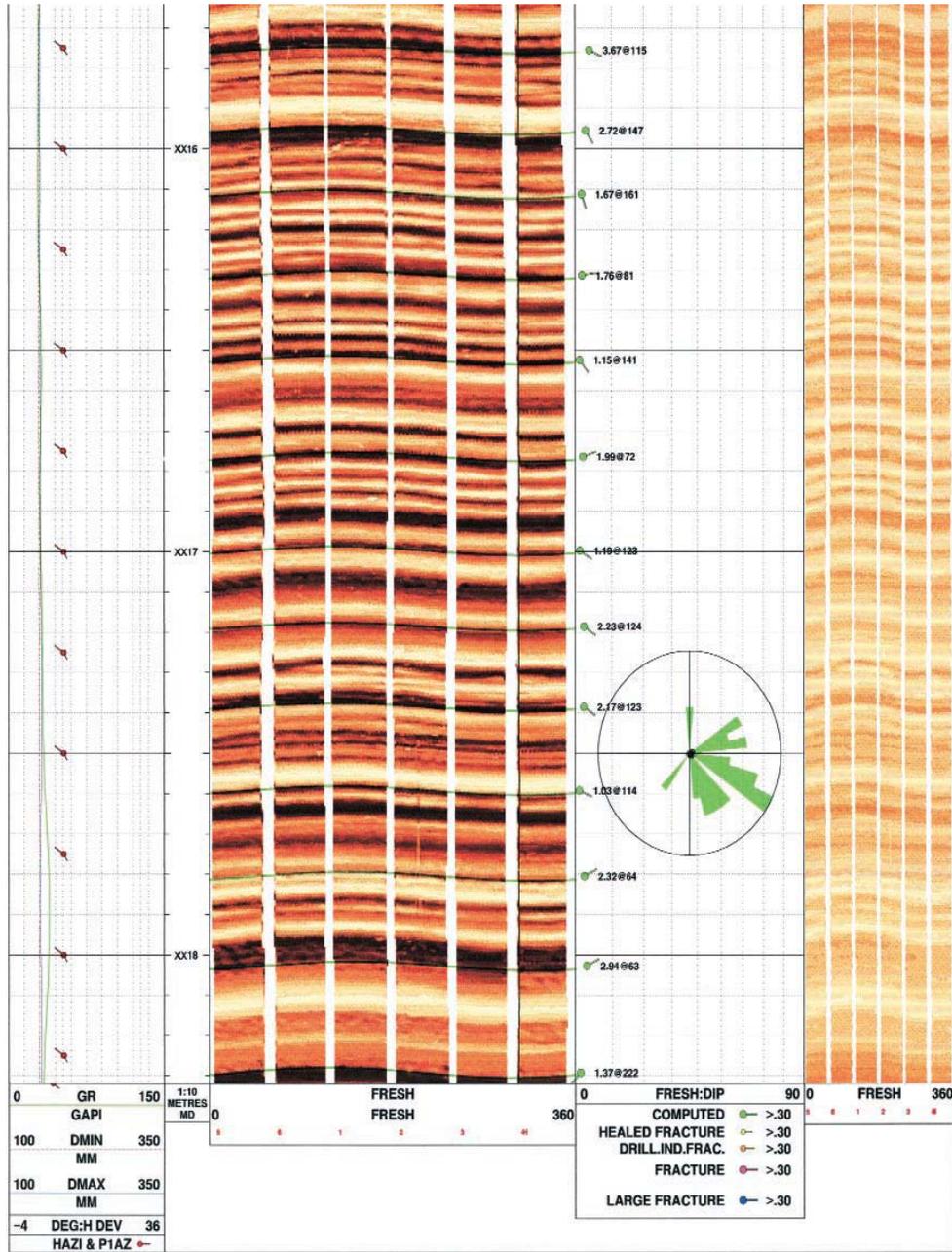


Figura 4.7 Registro eléctrico del HMI. Fuente:

4.1.4 Micro-Esférico Centrado (MSFL-BA)

Esta herramienta mide la resistividad de la formación cerca de la pared del pozo y proporciona la medida somera de investigación para evaluar los efectos de la invasión de las medidas mas profundas de la resistividad.

La herramienta consiste en electrodos de corriente – emisión, electrodos corriente retorno y electrodos de medida. Dos esferas equipotenciales son establecidas alrededor de la fuente de corriente de la herramienta. Una esfera se coloca a una distancia de 9 pulgadas de la fuente de corriente y la otra a 50 pulgada con un potencial constant de 2.5 mV, la resistividad de este volumen de formación puede ser calculada midiendo el flujo de corriente. (ver fig.4.4.1)

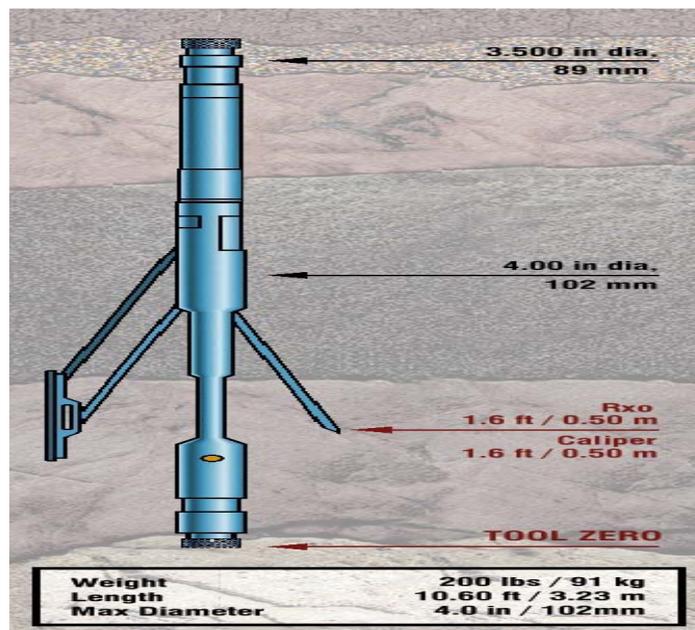


Figura 4.8 Herramienta MSFL. Fuente: Weatherford Wireline

A continuación se muestra las siguientes especificaciones de la herramienta MSFL (esférico centrado).

Tabla 4.10 Especificaciones de la MSFL (Esférico centrado).

Fuente: Weatherford Wireline

LONGITUD	3230 mm	10, 6 ft
DIAMETRO	102 mm	4 in
PESO	91 Kg	200 Lb

Tabla 4.11 Rango de valores de la MSFL (Esférico Centrado). Fuente: Weatherford

TEMPERATURA	-40 a 177 C°	-40 a 350 f°
DIAMETRO DEL POZO	70 a 400 mm	2,8 a 15,7 in
PRESION MAXIMA	138 MPa	20 Kpi

Tabla 4.12 Rango de medición de la MSFL (Esférico Centrado).

Fuente: Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 2000 ohm-m	-40 a 270 f°
RESOLUCION	>0,05%	-
RESOLUCION VERTICAL	1 m	3,3 ft

Ahora se muestra un modelo de un registro eléctrico del MSFL, que puede ayudar su medición en un registro eléctrico.

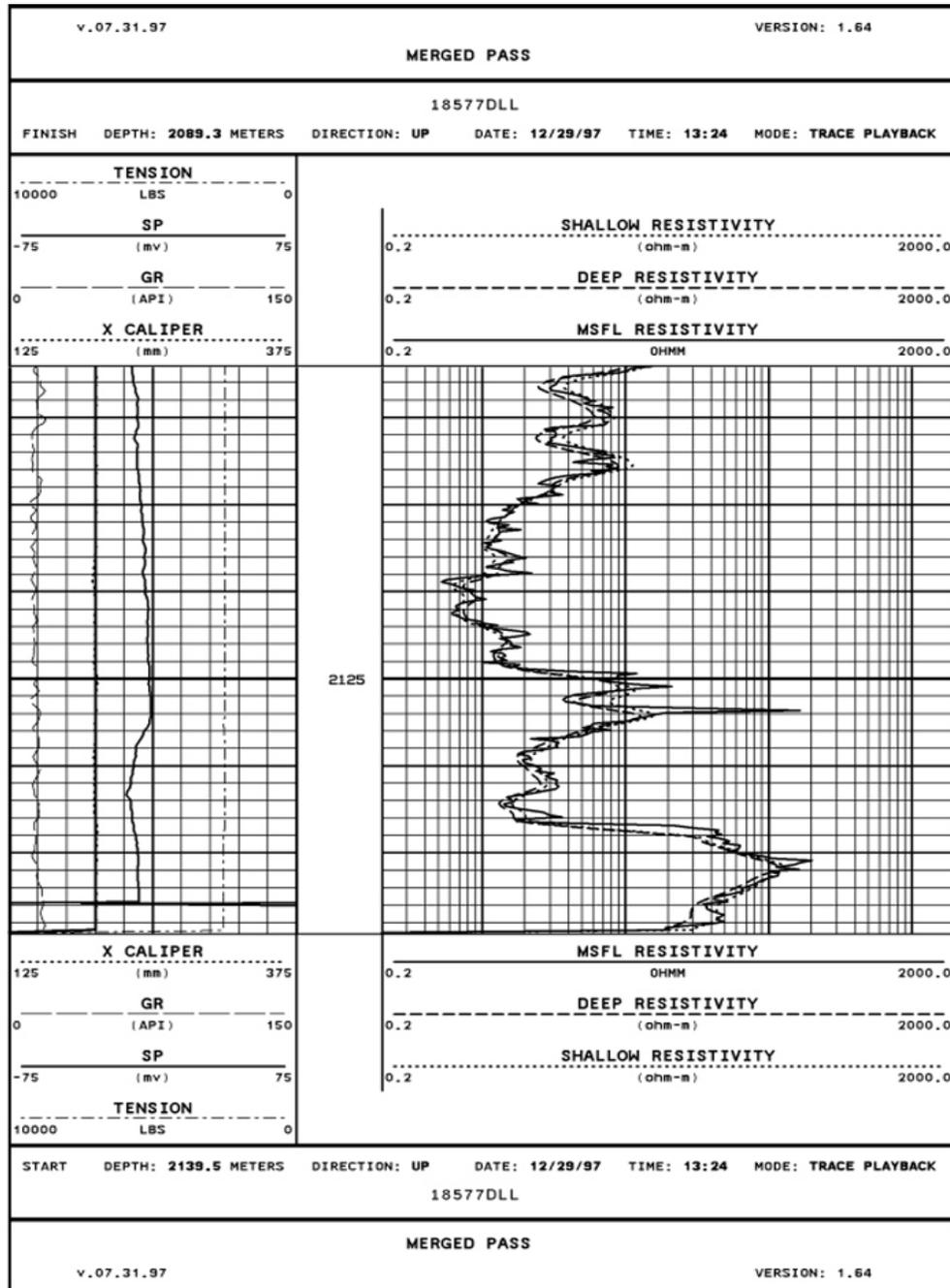


Figura 4.9 Registro Eléctrico del MSFL. Fuente: Weathford Wireline

4.1.5 Enfocado Eléctrico (MFE)

La herramienta de alta resolución eléctrica enfocada somera (MFE) es un dispositivo de mandril sensible al Rox que combina una excelente resolución vertical con una alta inmunidad a la rugosidad del pozo. La curva de salida (FE) tiene una resolución máxima de muestreo de 4" a 1", la MFE puede ser combinada con otras herramientas. (ver figura 10)

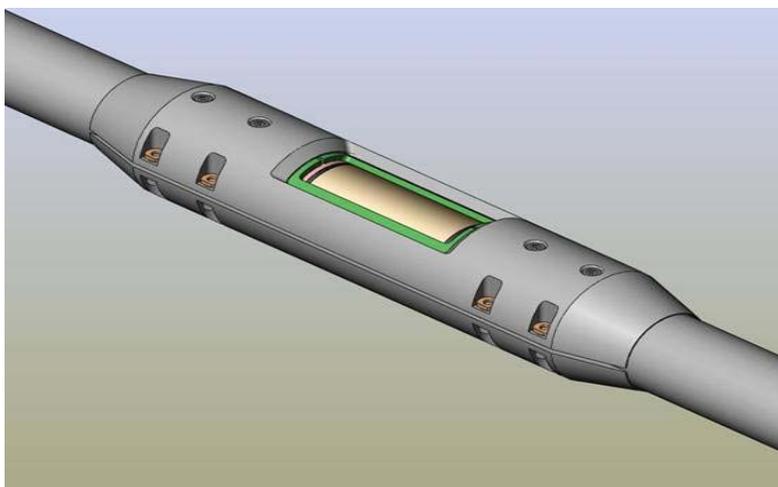


Figura 4.10 Sección de medición del MFE. Fuente Weatherford Wireline

Se muestran a continuación las siguientes especificaciones de la herramienta Enfocado Eléctrico (MFE).

Tabla 4.13 Especificaciones de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente: Weatherford

LONGITUD	1845 mm	72,6 in
DIAMETRO	55 mm	2,25 in
PESO	22 Kg	49 Lb

Tabla 4.14 Especificaciones de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente:
Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-40 a 125 C°	-40 a 270 f°
DIAMETRO DEL POZO	70 a 400 mm	2,8 a 15,7 in
PRESION MAXIMA	86 MPa	12,5 Kpi

Tabla 4.15 Rangos de medicion de la MFE (Enfocado Electrico). Fuente:
Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 2000 ohm-m	-40 a 270 f°
RESOLUCION	>0,05%	-
RESOLUCION VERTICAL	1 m	3,3 ft

Se muestra un registro eléctrico del MFE para visualizar su toma de resultados.

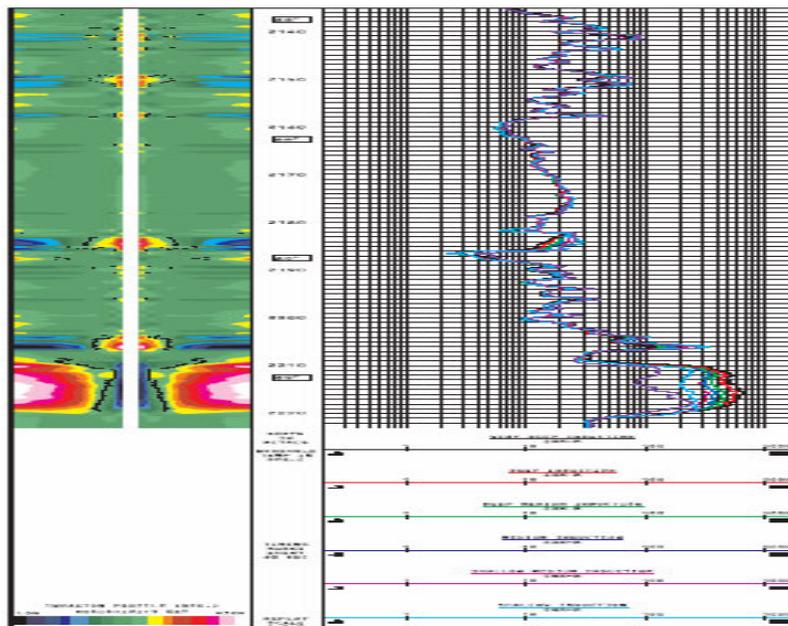


Figura 4.11 Registro Eléctrico de MFE (Enfocado Eléctrico). Fuente
Weatherford Wireline

4.1.6 Triple Inducción (STI)

El dispositivo de inducción consta de 11 bobinas de detrás de un mandril de fibra de vidrio. Tres bobinas se utilizan para el circuito transmisor, receptor de tres bobinas se utilizan para la medición de inducción profunda y cinco bobinas de recepción se utilizan para la medición de inducción medio. La parte de la inducción de la herramienta opera a tres frecuencias al mismo tiempo - 10 kHz, 20 kHz y 40 kHz. Estas frecuencias dan al usuario los mejores resultados en rangos preferido del sensor. Por debajo de 2 ohmios * m, la señal de 10 kHz se prefiere; 2 a 100 ohmios * m, la señal de 20 kHz deben ser utilizados, y, por encima de 100 ohm* m la señal de 40 kHz es recomendable. Componentes R y X de las señales del receptor se miden para la mejora posterior de la resistividad de inducción.(ver figura 4.12).

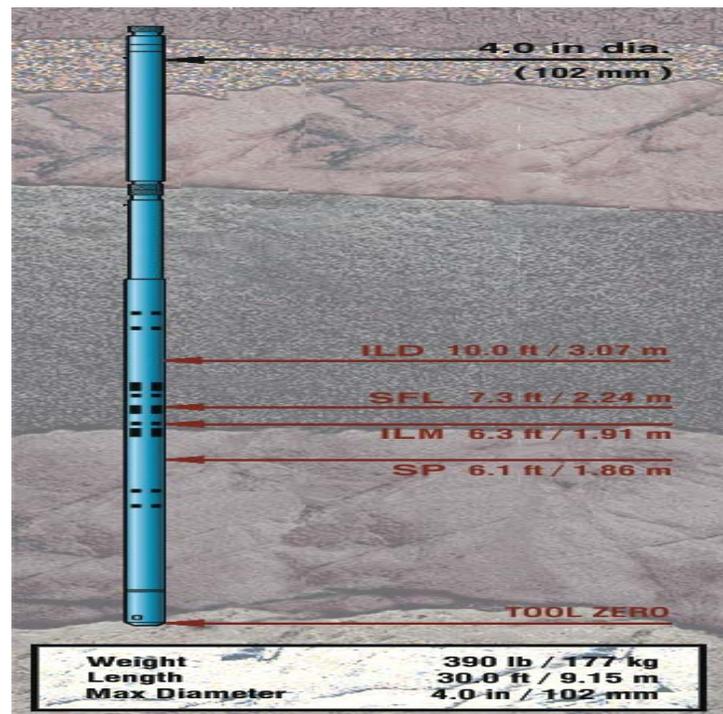


Figura 4.12 Herramienta Triple Inducción (STI). Fuente Weathford Wireline

A continuación se muestran las siguientes tablas donde se especifican las características de la herramienta triple inducción.

Tabla 4.16 Especificaciones de la STI (Triple Inducción).

Fuente: Weatherford Wireline

LONGITUD	8,8 m	28,7 ft
DIAMETRO	102 mm	4 in
PESO	177 Kg	390 Lb

Tabla 4.17 Rangos de valores de la STI (Triple Inducción).

Fuente: Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-40 a 125 C°	-40 a 270 f°
DIAMETRO DEL POZO	70 a 400 mm	2,8 a 15,7 in
PRESION MAXIMA	86 MPa	12,5 Kpi

Tabla 4.18 Rangos de medición de la STI (Triple Inducción).

Fuente: Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 2000 ohm-m	-40 a 270 f°
RESOLUCION	5%	-
RESOLUCION VERTICAL	76 cm	30 in

A continuación se muestra un tipo de registro eléctrico de la herramienta STI (Triple Inducción) ver figura 4.6.2

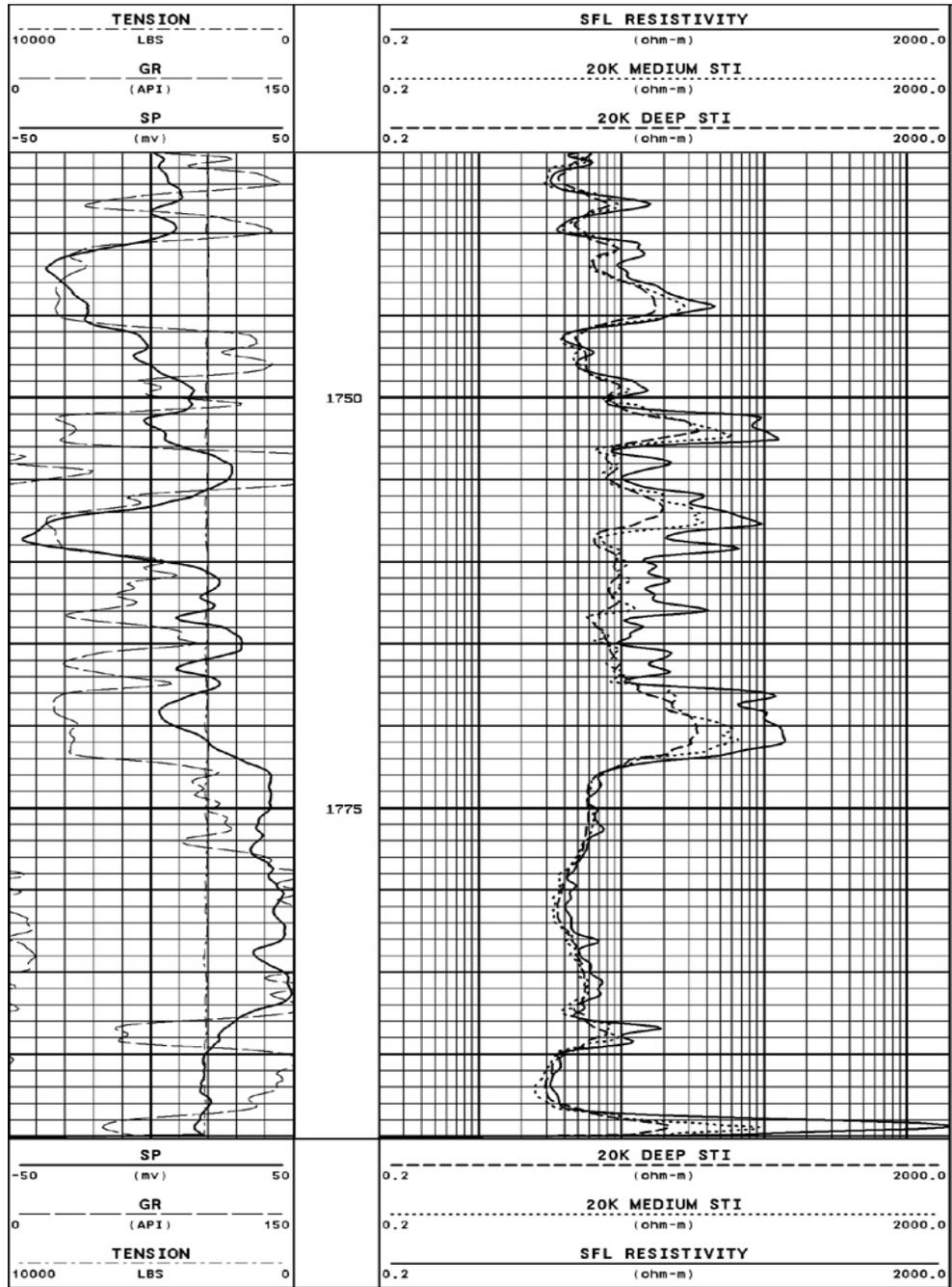


Figura 4.13 Registro Eléctrico de STI. Fuente Weathford

4.1.7 Arreglo Inductivo (MAI).

La herramienta Arreglo Inductivo, combina las señales del transmisor y receptor de pares mediante la conexión de las bobinas en serie dentro de la herramienta. Herramientas de matriz, sin embargo, las señales de medida desde el transmisor de varios pares de receptor y combinar las señales utilizando el tratamiento de superficies para formar los registros de síntesis. Un nivel muy complejo de procesamiento de la señal que permite una mayor flexibilidad en el filtrado y la ponderación de las medidas que se combinan.

Usualmente hay un transmisor y cinco a diez pares de receptores ubicados adecuadamente desde el transmisor con corte de bobinas que son equilibradas para eliminar el acoplamiento directo. Las señales se combinan en una amplia variedad de formas para producir la respuesta deseada. Por ejemplo, las mediciones de los cuatro pares de bobinas se combinan para formar una sola lectura profunda, la medición de la resistividad. La bobina del transmisor opera en varias frecuencias de forma simultánea con las bobinas más cercano receptor recibe las señales de mayor frecuencia y las bobinas receptoras más distantes de recibir señales de menor frecuencia. En fase y en cuadratura componentes se registran para cada par de bobinas.(ver figura 4.14).

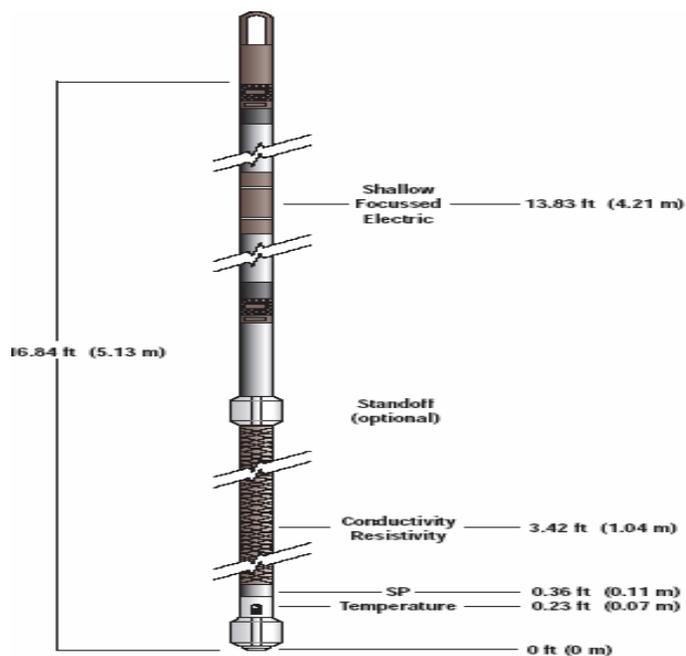


Figura 4.14 Arreglo Inductivo (MAI). Fuente
Weatherford Wireline

Se presenta en este punto las distintas especificaciones técnicas de la herramienta Arreglo Inductivo, para dar a conocer su utilidad de acuerdo a las necesidades en la que sea requerida.

Tabla 4.19 Especificaciones de la MAI (Arreglo Inductivo). Fuente:
Weatherford Wireline

LONGITUD	3294 mm	129,7 in
DIAMETRO	57 mm	2,25 in
PESO	21,50 Kg	47,4 Lb

Tabla 4.20 Rango de valores de la MAI (Arreglo Inductivo).

Fuente: Weatherford Wireline

TEMPERATURA	-40 a 125 C°	-40 a 270 f°
DIAMETRO DEL POZO	70 a 400 mm	2,8 a 15,7 in
PRESION MAXIMA	86 MPa	12,5 Kpi

Tabla 4.21 Rango de medicion de la MAI (Arreglo Inductivo).

Fuente: Weatherford Wireline

RANGO	0,2 a 0,1 ohm-m	
RESOLUCION	0.00025 S/m	-
RESOLUCION VERTICAL	1 m	3,3 ft

Ahora se muestra un modelo de registro eléctrico de la MAI, la cual indica los distintos parámetros de evaluación de resistividad del suelo. (ver figura 4.7.2)

Para la medición de la resistividad en los pozos petroleros existe una serie de herramientas capaces de realizar este trabajo en forma individual o conjunta, donde cada una de ellas resalta sus cualidades según el perfil del suelo o siguiendo las exigencia que requiere el cliente. La Dual Laterolog (DLL- HA) trabaja con dos medidas de frecuencias simultaneas, la herramienta filtra la señal para mantener las dos frecuencias separadas para la medición y las rutas de salida de corriente, la Dual Laterolog se utiliza mayormente en los pozos perforados con lodo salino.

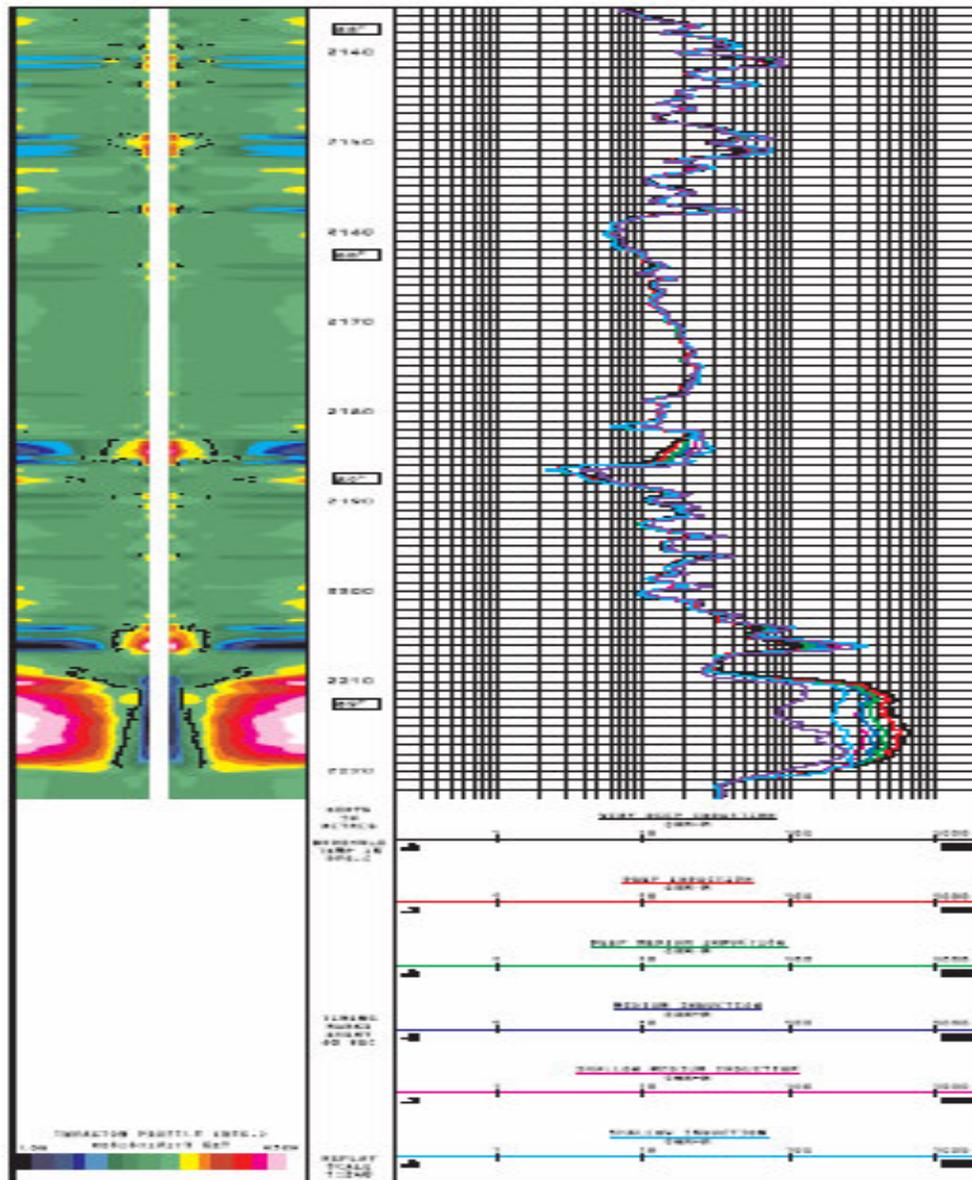


Figura 4.15 Registro Eléctrico de MAI. Fuente Weatherford Wireline

La herramienta microresistiva (MRT), es un micro dispositivo de registro con electrodos, estos electrodos se encuentran en una almohadilla de aislamiento que es presionado contra la pared del pozo. Se compone de dos conjuntos principales, el cartucho de electrónica (MRC) y la sonda (MRS), la medición se hace con un rayo enfocado centrado que penetra el lodo haciéndolo mas sensible.

La herramienta de imagen de alta resolución (HMI), cuenta de seis brazos independientes, cada uno con 25 sensores de medición, el comportamiento de la herramienta en el agujero es grabado, mostrando una imagen exacta de la perforación. La HMI puede operar en pozos de lodos base agua o base aceite.

La herramienta micro esférico centrado (MSFL), mide la resistividad de la formación cerca de la pared del pozo, el instrumento consiste en electrodos de corrientes - emisión, electrodo de corriente retorno y electrodo de medida, la resistividad puede ser calculada midiendo el flujo de corriente que posee la formación.

Para tener un valor mas exacto se puede combinar estas herramienta con la enfocado eléctrico (MFE), que es un dispositivo de mandril sensible que combina una excelente resolución vertical, debido que se puede ajustar a lo áspero del pozo.

El dispositivo de triple inducción (STI), consta de 11 bobinas de detrás de un mandril de fibra de vidrio. Tres bobinas se utilizan para el circuito transmisor, receptor de tres bobinas se utilizan para la medición de inducción profunda y cinco bobinas de recepción se utilizan para la medición de inducción medio. La parte de la inducción de la herramienta opera a tres frecuencias al mismo tiempo - 10 kHz, 20 kHz y 40 kHz, teniendo como resultado tres valores de resistividad.

La herramienta Arreglo Inductivo, combina las señales del transmisor y receptor de pares mediante la conexión de las bobinas en serie dentro de la herramienta.

Usualmente hay un transmisor y cinco a diez pares de receptores ubicados adecuadamente desde el transmisor con corte de bobinas que son equilibradas para eliminar el acoplamiento directo. Las señales se combinan en una amplia variedad de formas para producir la respuesta deseada. Por ejemplo, las mediciones de los cuatro pares de bobinas se combinan para formar una sola lectura profunda, la medición de la resistividad.

4.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MEDICIÓN DE LA RESISTIVIDAD DE LOS SUELOS PETROLEROS.

Naturaleza de los suelos: Evaluando el tipo de suelo de acuerdo a los aspectos teóricos se plantea por ejemplo si el suelo es del tipo arcilloso, con un 5% de humedad, dicho suelo puede presentar una resistividad de 10 000 ohm-m, en cambio, con un 20% de humedad, la resistividad disminuye hasta 100 ohm-m.

Humedad: El contenido de agua y la humedad influyen en forma apreciable. Su valor varía con el clima, época del año, profundidad y el nivel freático. Como ejemplo, la resistividad del suelo se eleva considerablemente cuando el contenido de humedad se reduce a menos del 15% del peso de éste. Pero, un mayor contenido de humedad del 15% mencionado, causa que la resistividad sea prácticamente constante. Y, puede tenerse el caso de que en tiempo de sequías.

Temperatura: La temperatura no ejerce una influencia tan marcada, a menos que supere el punto de congelación, después de lo cual hay un aumento significativo de la resistividad. A medida que desciende la temperatura aumenta la resistividad del terreno y ese aumento se nota aún más al llegar a 0° C, hasta el punto que, a medida que es mayor la cantidad de agua en estado de congelación, se va

reduciendo el movimiento de los electrolitos los cuales influyen en la resistividad de la tierra.

Concentración de sales disueltas: La resistividad del suelo es determinada principalmente por su cantidad de electrolitos; éstos es, por la cantidad de humedad, minerales y sales disueltas. Como ejemplo, para valores de 1% (por peso) de sal (NaCl) o mayores, la resistividad es prácticamente la misma, pero, para valores menores de esa cantidad, la resistividad es muy alta.

Compactación del terreno: Evaluando el tipo de suelo, según la teoría utilizada, la compactación del terreno es grande disminuye la resistividad, pasa lo contrario cuando la compactación es baja (alrededor del 2%) aumenta la resistividad.

Estratificación del terreno: El suelo está formado por capas (estratos) que tienen diferentes resistividades y profundidades debido a la formación geológica que son generalmente horizontales y paralelas a la superficie, la resistividad variara cuando cambie de estrato (por ejemplo arena a arcilla), debido a la profundidad de la muestra.

Tipo de fluido para controlar el pozo: Básicamente los fluidos de perforación se preparan a base de agua, de aceite (derivados del petróleo) o emulsiones. En ocasiones se ha usado crudo liviano, pero la gran mayoría de las veces se emplea diesel u otro tipo de destilado.pesado al cual hay que agregarle negrohumo o asfalto para impartirle consistencia y poder mantener en suspensión el material pesante y controlar otras características. Generalmente, este tipo de fluido contiene un pequeño porcentaje de agua que forma parte de la emulsión, que se mantiene con la adición de soda cáustica, cal cáustica u otro ácido orgánico.

4.3 TIPOS DE CALIBRACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE RESISTIVIDAD.

En este objetivo se indican los diferentes tipos de calibración de las herramientas de resistividad donde se especifican el proceso del mismo.

4.3.1 Calibración del MDL.

La calibración de la herramienta MDL se realiza en tres fases, la primaria que se realiza en base, la segunda en campo antes de la bajada de las herramientas y la tercera después de la medición. Donde los valores de Resistencia tiene un rango de $100 \text{ ohms} \pm 10 \text{ ohms}$.

4.3.2 Calibración del MRT - BA.

CALIBRACION DEL MRT – BA	
BASE	Caja de calibración A12905 , para la medición de la continuidad de la herramienta
CAMPO	Chequeo interno de la herramienta
DESPUES DE LA MEDICION	Chequeo interno después de la bajada

4.3.3 Calibración del HMI.

CALIBRACION DEL HMI	
Calipers	Calibración con los anillos de 8” y 15”
Resistividad	Chequeo a los patines para la medición de la resistividad y continuidad.
Medición	Chequeo interno en el campo antes y después de la bajada

4.3.4 Calibración del MSFL.

CALIBRACION DEL MSFL	
Calipers	Calibración con los anillos de 8" y 15"
Resistividad	Chequeo a los brazos para la medición de la resistividad y continuidad.
Medición	Chequeo interno en el campo antes y después de la bajada

4.3.5 Calibración del MFE.

CALIBRACION DEL MFE	
BASE	Caja de calibración B26190, para la medición de la continuidad de la herramienta
CAMPO	Chequeo interno de la herramienta
DESPUES DE LA MEDICION	Chequeo interno después de la bajada

4.3.6 Calibración de la STI.

CALIBRACION DE LA STI	
Resistividad	Chequeo a los brazos para la medición de la resistividad y continuidad.
Medición	Chequeo interno en el campo antes y después de la bajada

4.3.7 Calibración del MAI.

CALIBRACION DEL MAI	
BASE	Caja de calibración ILC X08018, para la medición de la continuidad de la herramienta
CAMPO	Chequeo interno de la herramienta
DESPUES DE LA MEDICION	Chequeo interno después de la bajada

Al evaluar cada tipo de calibración de acuerdo a la herramienta utilizada para la medición de la resistividad, se determinó que cada una de ellas tiene su esquema de calibración determinado para el uso adecuado de la misma, el cual debe ser realizado permanentemente para un mejor funcionamiento y así lograr resultados confiables en la medición que se efectúa con ellas.

4.4 Calibración de las herramientas de resistividad según el perfil del suelo.

Para conocer los parámetros de calibración de las herramientas de resistividad según el perfil del suelo petrolero, se establecen valores que deben ser considerados para ello, entre los cuales se mencionan:

Calibración de la Herramienta MAI para el pozo xx13A

CANALES	Calibración en Base (mmho/m)		Calibración en Campo (mmho/m)	
	Bajos	Altos	Bajos	Altos
1	14.0	3740,1	16.5	3742.4
2	30.2	3443,0	31.0	3443.0
3	29.6	3001.3	29.9	3001.2
4	21.0	2070.6	21.1	2070,2
Profundos	19.5	2005.5	19.7	2005,4
Medio	41.9	3921.6	42.1	3921.2
Poco Profundos	43.1	5020.9	44.4	50211

Calibración de la Herramienta MAI para el pozo xx27J

CANALES	Calibración en Base (mmho/m)		Calibración en Campo (mmho/m)	
	Bajos	Altos	Bajos	Altos
1	12.9	3831.8	13.5	3830.2
2	29.4	3526.9	29.1	3524.5
3	28.1	3052.6	27.8	3050.3
4	19.1	2073.7	18.8	2072.2
Profundos	17.3	1996.9	17.1	1995.4
Medio	41.2	4024.9	40.6	4021.6
Poco Profundos	43.7	5203.8	43.4	5200.2

Calibración de la Herramienta MAI para el pozo xx03E

CANALES	Calibración en Base (mmho/m)		Calibración en Campo (mmho/m)	
	Bajos	Altos	Bajos	Altos
1	14.5	3740.8	13.7	3741.4
2	30.8	3601.2	30.7	3602.7
3	28.8	3073.1	28.7	3073.8
4	19.6	2079.7	19.6	2080.5
Profundos	17.3	1939.3	17.2	1939.4
Medio	42.1	4113.8	42.1	4114.9
Poco Profundos	46.6	5411.6	46.4	5414.6

Calibración de la Herramienta MFE para el pozo xx03E

CANALES	Calibración en Base (ohm-m)	Calibración en Campo (ohm-m)
1	281.1	282.2

Calibración de la Herramienta MFE para el pozo xx26R

CANALES	Calibración en Base (ohm-m)	Calibración en Campo (ohm-m)
1	281.3	27.6

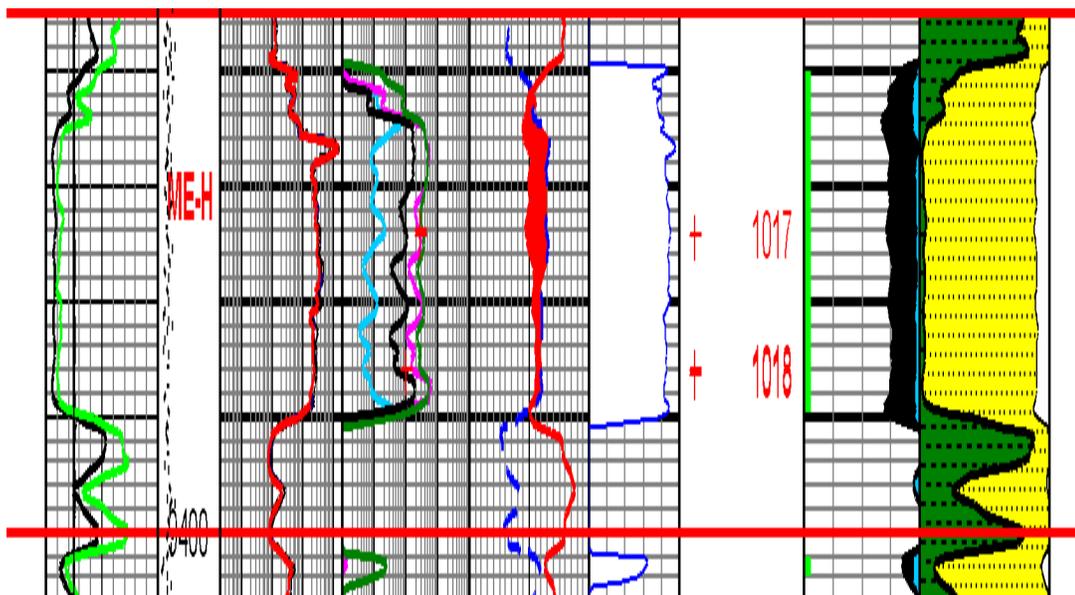
Calibración de la Herramienta MMR para el pozo xx26R

CANALES	Calibración en Base (ohm-m)	Calibración en Campo (ohm-m)
1	5.2	5.2

Los resultados obtenidos en las calibraciones en base y en el campo de las herramientas resistivas han dado como resultado valores cercanos o parecidos a los obtenidos en los registros resistivos de cada pozo, suministrando valores confiables y eficaz.

4.5 Mediciones de la resistividad de los diferentes perfiles de suelo.

- Pozo xx13A, muestra tomada en un intervalo de profundidad de 9355 ft a 9400 ft, donde se utilizaron las herramientas Gamma Ray (MCG) y Arreglo Inductivo (MAI).



Aux. Curves	Resistividad	Permeabilidad	Porosidad Densidad/ Neutron	Sat. Agua	Presion de Formacion	Porosidad Efectiva	Litologia
Revoque							
Derrumbe	RTT 0.2 OHMM 2000						
GRGC 0 GAPI 150	R90T 0.2 OHMM 2000	K MFT +++++ 0.1 mD 1000				Hydrocarburo	Vol de Arena
GRS 0 API 150	R60T 0.2 OHMM 2000	K Morris-Biggs 0.1 mD 1000				Vol de Agua	Vol de Arcilla
BS 6 in 16	R40T 0.2 OHMM 2000	K Smit 0.1 mD 1000	GAS			Pay Flag	Carbon
CLYC 6 in 16	R30T 0.2 OHMM 2000	K Timur 0.1 mD 1000	NPSS 0.45 dec -0.15			PHIE 0.4 dec 0.1	PHIE dec 1
SMTU (LB) 0 2000	R20T 0.2 OHMM 2000	K Wyllie-Rose 0.1 mD 1000	RHOB 1.9 g/cc 2.91	SW dec 0.0	PRESS +++++ psi 8000	BWW 0.4 dec 0.0	VSH dec 1

Figura 4.16 Zona de estudio desde 9355ft a 9400ft, datos suministrado por Weathford Wireline

Medición de la resistividad en el Pozo xx13A, Distrito Anaco	
Naturaleza de los Suelos	Compuesta por Arenas y Lutitas
Humedad	15 %
Temperatura del Terreno	238° C°
Concentración de sales disueltas	Baja
Compactación del Terreno	Compacto, con porosidad baja de 2% por el tamaño de los granos de arcillas
Estratificación del Terreno	Arena – Arcilla
Tipos de fluidos para controlar el pozo	Base Aceite

Tipo de Perfil	Resistividad Teórica Min-Max (ohm-m)	Resistividad Medida Min-Max(ohm- m)
Arena Arcillosa	50 a 500	60-200

Los valores obtenidos de la muestra 1 en el pozo xx13A del distrito Anaco, dio como resultado, que el suelo esta compuesta por arena y lutitas, su humedad es de 15%, el terreno es compacto con porosidad baja de 2%, la resistividades obtenidas están dentro del rango según el tipo de perfil (arena arcillosa), la resistividad mas baja en la zona fue de 60 ohm-m y el máximo de 200 ohm-m. Con estos resultado se puede verificar que la herramienta de arreglo inductivo (MAI), funciono de modo optimo a las labores de trabajo.

- Pozo xx27J, muestra tomada en un intervalo de profundidad de 7350 ft a 7450 ft donde se utilizaron las herramientas Gamma Ray (MCG) y Arreglo Inductivo.

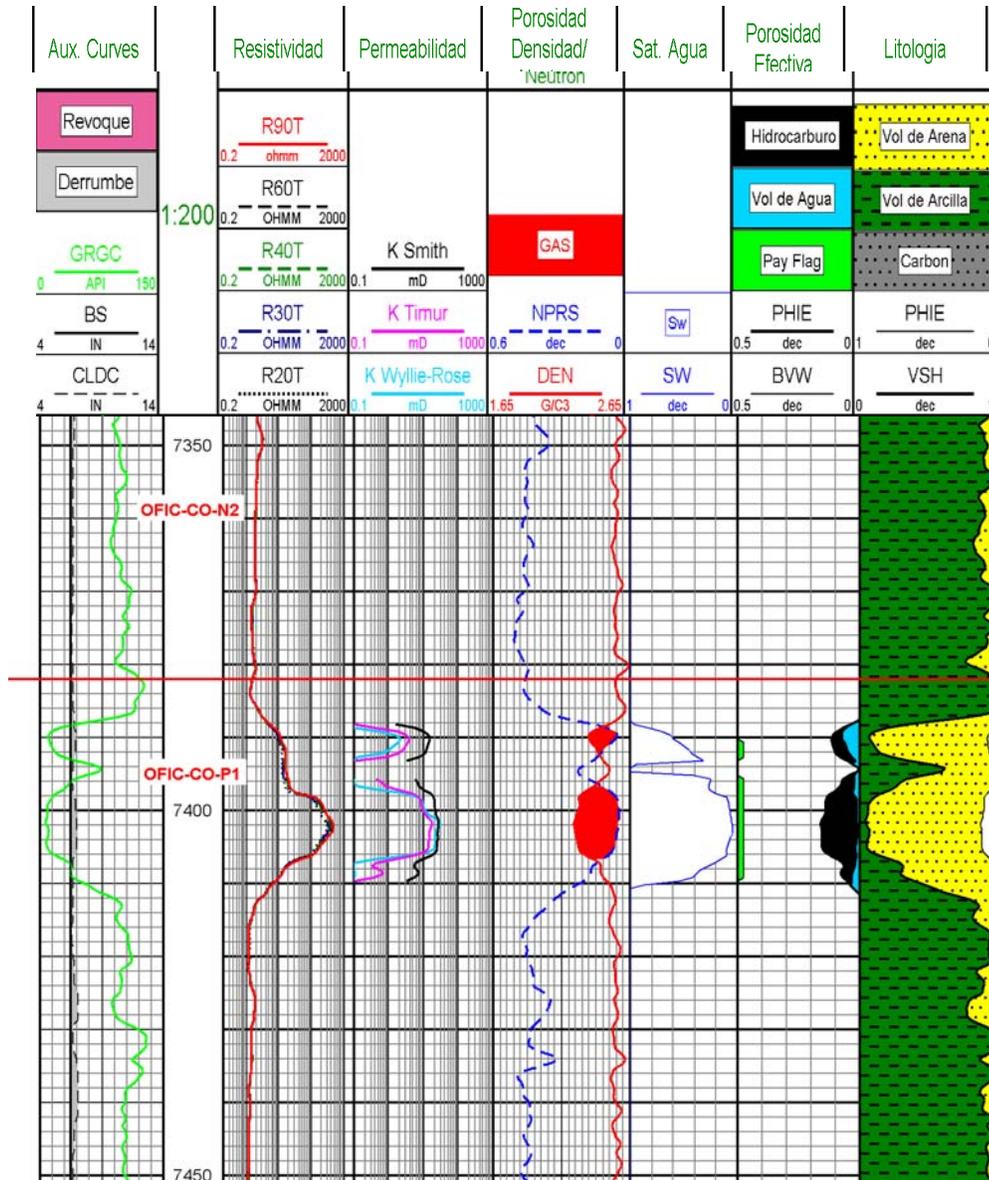


Figura 4.17 Zona Evaluada 7350ft a 7450ft

Medición de la resistividad en el Pozo xx27J, Distrito Anaco	
Naturaleza de los Suelos	Compuesta por Arenas y Arcilla
Humedad	17 %
Temperatura del Terreno	238° c
Concentración de sales disueltas	Baja
Compactación del Terreno	Compacto, con porosidad baja de 2% por el tamaño de los granos de arcillas
Estratificación del Terreno	Arena – Arcilla
Tipos de fluidos para controlar el pozo	Base Aceite

Tipo de Perfil	Resistividad Teórica Min-Max(ohm-m)	Resistividad Medida Min-Max(ohm- m)
Arena Arcillosa	50 a 500	60-1400

Los resultados obtenidos de la muestra 2 del pozo xx27j son semejantes del pozo xx13A, se aplico una correlación para comparar los resultados y así llevar un control de los pozo de la zona, los valores de la resistividad variaron debido a la profundidad en donde fue tomada la muestra, en esta zona se encontró reservas de petróleo y de gas, con resistividad comprendidas a partir de 60 ohm-m a 1400 ohm-m.

- Pozo xx03E, muestra tomada a una profundidad de 3050 ft a 3140 ft donde se utilizaron las herramientas Gamma Ray (MCG), Arreglo Inductivo (MAI), Densidad Fotoeléctrica (MPD) y Enfocado Eléctrico (MFE).

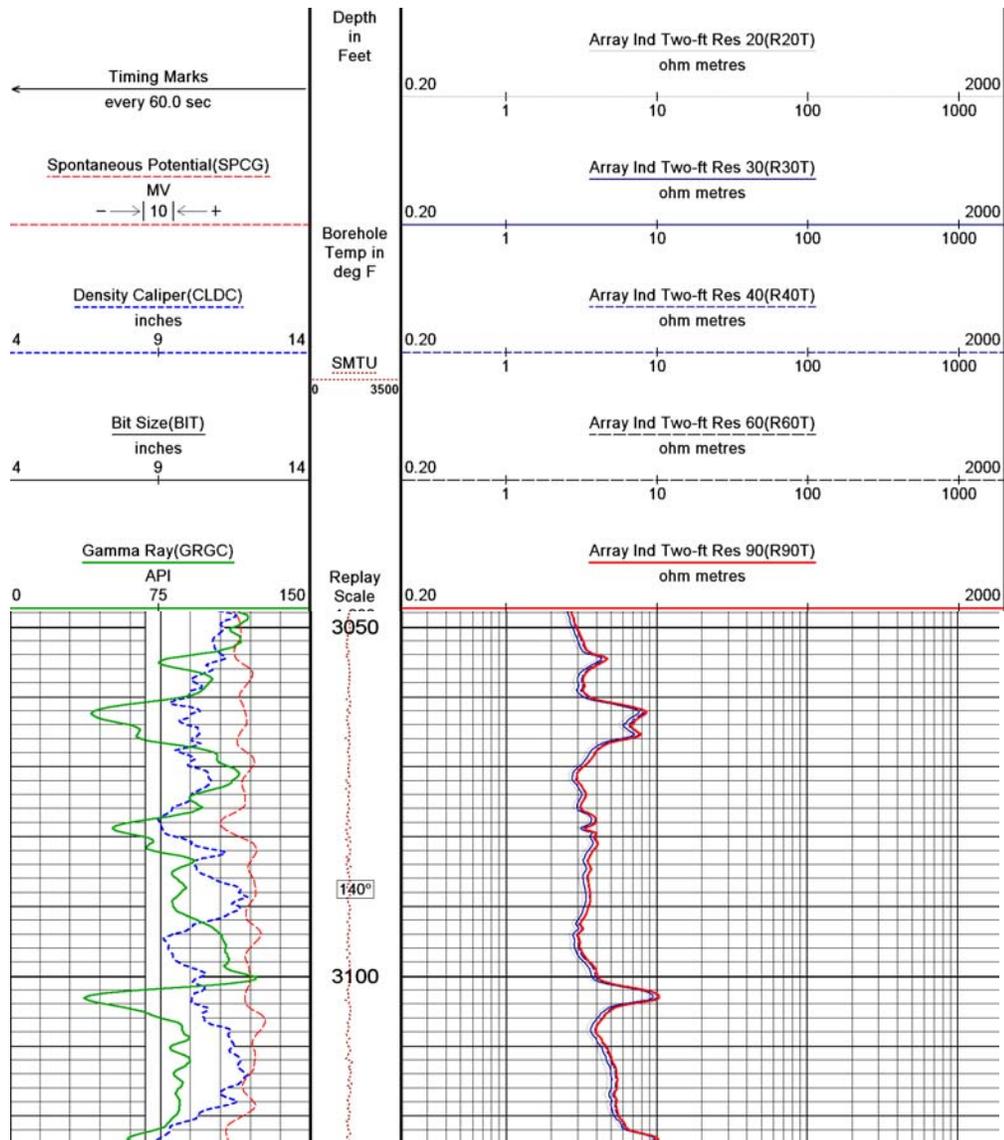


Figura 4.18 Zona Evaluada 3050ft a 3140ft

Medición de la resistividad en el Pozo xx03E, Distrito Morichal	
Naturaleza de los Suelos	Compuesta por Arenas y Lutitas
Humedad	20 %
Temperatura del Terreno	140° C
Concentración de sales disueltas	Baja
Compactación del Terreno	Compacto, con porosidad baja de 2,7% por el tamaño de los granos de arcillas
Estratificación del Terreno	Arena – Arcilla
Tipos de fluidos para controlar el pozo	Polimericos

Tipo de Perfil	Resistividad Teórica (ohm-m)	Resistividad Medida (ohm- m)
Arena Arcillosa	50 a 500	10.2-160

De acuerdo a los valores obtenidos por las herramientas enfocada eléctrica (MFE) y arreglo inductivo (MAI), en el pozo xx03E, del distrito Morichal, el valor de la humedad aumento a 20%, con el tipo de suelo arena y arcilla compacto, porosidad alrededor de 2,7%, la resistividad mínima medida es mas baja que el valor teórico según el perfil.

- Pozo xx26R, muestra 4 tomada en un intervalo de profundidad de 600 ft a 650 ft, donde se utilizaron las herramientas Microresistiva (MMR), Gamma Ray (MCG) y Enfocado Eléctrico (MFE).

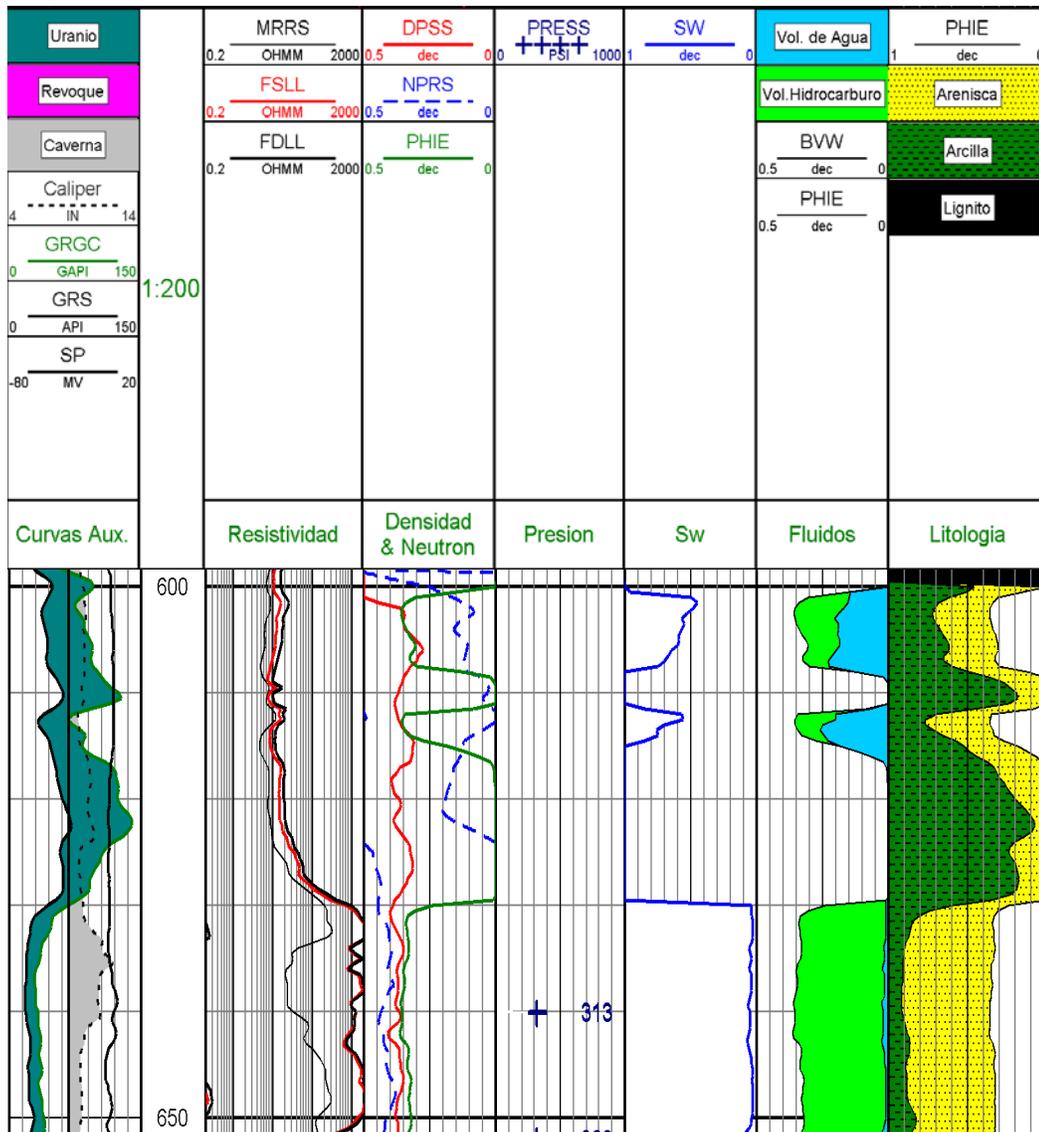


Figura 4.19 Zona Evaluada 600ft a 650ft

Medición de la resistividad en el Pozo xx26R, Distrito San Tome	
Naturaleza de los Suelos	Compuesta por Arenisca – Arcilla
Humedad	40 %
Temperatura del Terreno	66° C
Concentración de sales disueltas	Baja
Compactación del Terreno	Semi-Compacto, con porosidad media de 4,3% por el tamaño de los granos de arcillas
Estratificación del Terreno	Arenisca – Arcilla
Tipos de fluidos para controlar el pozo	Poliméricos

Tipo de Perfil	Resistividad Teórica Min-Max(ohm-m)	Resistividad Medida Min-Max (ohm- m)
Arena Arenisca	1000 a 1500	500-1480

Los resultados obtenidos en la muestra 4 del pozo xx26R, se puede observar que suelo estaba compuesto por arenisca y arcilla, la humedad del pozo es de 40%, la medición de la resistividad realizada con las herramientas microresistiva (MMR) y enfocado eléctrico (MFE), suministraron valores cercanos de los valores teóricos del tipo de suelo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Las herramientas utilizadas en la medición de resistividad son importantes en los trabajos de campo, para encontrar hidrocarburos en los suelos, dando la ubicación exacta para su extracción y así no perder tiempo ni dinero a la empresas petroleras.
- Es fundamental la calibración de las herramientas resistivas, antes, durante y después de los trabajos de campo, permite darle una vida útil a los equipos mejorando su rendimiento.
- Para seleccionar las herramientas adecuadas para realizar un registro eléctrico hay que tomar los factores ambientales tales como la humedad, salinidad, temperatura entre otros, por ejemplo algunas herramientas son mas efectivas en ambientes mas salinos y de temperatura alta y otras menos efectivas.
- La utilización de las herramientas resistivas permite obtener un buen control y ubicación precisa de las reservas de gas y petróleo, siempre que esté bien atado a un buen registro eléctrico.

5.2 RECOMENDACIONES

- Utilizar las herramientas resistivas de una manera adecuada dependiendo de los datos suministrado del pozo, así se evitaría fallas de los equipos.
- Realizar un buen registro inicial de resistividad porque servirá como patrón para futuras correlaciones con otros pozos.
- Conocer las condiciones adecuada de los perfiles del suelo, de manera que se ahorraría tiempo y dinero en la ejecución del trabajo.
- Sugerir a los operadores de campo e ingenieros tratar las herramientas de manera adecuada para evitar daños a la electrónica de los equipos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **BERMUDEZ, C.**(2007), “Evaluar la efectividad del registro C.C.L como herramienta para la ubicación de la profundidad de cañoneo en pozos del área de San Tomé y Morichal mediante correlaciones con otros registros”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Petróleo , UDO Universidad de Oriente, Maturín, Monagas, Venezuela.
2. **CHACON, C.** (1980), “Aspectos de Ingeniería Eléctrica en Registros de Pozos Petroleros”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, UDO Universidad de Oriente, Puerto La Cruz, Anzoátegui, Venezuela.
3. **D.J. Fink y H.W. Beaty**, (2000), “Manual de Ingeniería Eléctrica”, Tomo III, Editorial Mc Graw-Hill, Decimotercera Edición, México.
4. **E. Harper** (2004). “Elementos de Diseño de Subestaciones Eléctricas.”, Editorial Limusa,S.A. México.
5. **HERNANDEZ, C.** (2005), “Evaluación de los Sistemas de Puesta a Tierra de las Subestaciones de Distribución de SEMDA”, Tesis de Grado, Universidad de Oriente. Puerto La Cruz, Anzoátegui, Venezuela
6. **H.L.S DE VENEZUELA.** . (2002),“MANUAL DE OPERACIONES DE COMPLETACIÓN” CARACAS, VENEZUELA.
7. **IEEE 81.** (1983), “Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System”. .
8. **OCHOA J.** (2004). “Adecuación de los Sistemas de Disipación de Descargas Atmosféricas y Puesta a Tierra de las Refinerías Puerto la cruz

9. y Chaure”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, (UDO) Universidad de Oriente, Puerto la Cruz, Anzoategui, Venezuela,
10. **PDVSA CIED.** (1999). “REGISTROS EN HOYO DESNUDO Y ENTUBADO” UNIVERSIDAD CORPORATIVA. CARACAS, VENEZUELA.
11. **WEATHERFORD S.A.** (2002)., “Tool Manual Section 2 Measureme 0 Principles”, Estados Unidos.
12. **WEATHERFORD S.A.** (2002), “Tool Manual Section 3 Measureme Principles”, Estados Unidos .
13. **WEATHERFORD S.A,** (2002). “Resistivity Manual Section 4 Measurement Principles”, Estados Unidos.
14. **INGENIERIA DE PETROLEO,** “Registros de Pozos”. (Documento en línea) (Disponible: <http://www.registro de pozos.ucv.ve/>) (Consulta el 16 de Agosto).
15. **PROCURE PERU,** “Medidas de parámetros eléctricos aplicados sistemas de puesta a tierras puntuales”. (Documento en línea) (Disponible <http://www.procure peru.com/>) (Consulta: 24 de Julio de 2009).

ACLARATORIA

Explico, nosotros somos una compañía trasnacional que diseñamos y fabricamos nuestras propias herramientas de registro, teniendo una casa matriz en Fort Worth, Texas, USA. Las herramientas son calibradas y probadas en la fabrica según los estándares de Weatherford, y luego de eso se hacen varias calibraciones como tu sabes (En Base, antes del Pozo y después del pozo) pero en realidad son verificaciones de la calibración de fabrica, si hay algún valor que se salga de los rangos establecidos vendría a mi departamento y yo haría las correcciones o reparaciones pertinentes según recomendaciones de nuestro equipo de soporte técnico Global llamado WISE (Wireline Interactive Support Engineer, por sus siglas en Ingles).

En el tiempo que tiene Weatherford Wireline trabajando en Venezuela, nuestro mayor Cliente PDVSA nunca nos ha exigido que algún organismo externo certifique nuestras herramientas, y la compañía no lo hará porque las herramientas son fabricadas por nuestra propia gente y tienen su calibración de fábrica en nuestra base de datos global. La comparación de la precisión de las herramientas se hace en los pozo en cada trabajo cuando se compraran registros anteriores de ese mismo pozo con trabajos realizados con diferentes empresas de servicio petroleras (Halliburton, Schullumberger, entre otras...).Si nuestras herramientas se comparan con varios registros de diferentes compañías con herramientas resistivas (o del tipo que se el caso) y dicen lo mismo entonces nuestras herramientas están bien.

Angel Villalobos

Field Technologist II

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO:**

TÍTULO	“EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DE LAS FORMACIONES DEL SUELO UTILIZADAS POR WEATHERFORD WIRELINE MATURIN”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
JESUS A. FEBRES A.	CVLAC: 15.904.858 E MAIL: Alfonso-fa@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

evaluación
 tecnología
 estudio
 resistividad
 suelos
 formación

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Electricidad

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se realizó la evaluación de las diferentes tecnologías que posee Weatherford para la medición de resistividad de los suelos en los campos petroleros de la región oriental del país, ya que a través de estas se logra conocer y/o identificar ciertas condiciones del pozo como son litología, estimar porosidad, permeabilidad, resistividad, entre otros. Este estudio abarca una breve descripción de las herramientas resistivas, de igual forma se especifican las calibraciones realizadas, con el objeto de determinar cuales fueron las herramientas mas eficaces en los registros eléctricos en los pozos petroleros.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Ing. Melquíades Bermúdez	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	V.- 3.486.726			
	E_MAIL	mbermudez@anz.udo.edu.ve			
	E_MAIL				
Ing. Ángel Villalobos	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	CVLAC: 13.746.330			
	E_MAIL	villalobos.angel@wheathaford.com			
	E_MAIL				
Ing. Hernán Parra	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	V.- 4.362.404			
	E_MAIL	hernanparra@cantv.net			
	E_MAIL				
Ing. Verena Mercado	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:				
	E_MAIL	v.mercado@anz.udo.edu.ve			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

<u>2010</u>	<u>04</u>	<u>12</u>
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE: SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis Ing. Elect. Alfonso Febres	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t
u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.**

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Electricidad

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS:

“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.

Jesús A. Febres A.

AUTOR

Melquiades Bermúdez

TUTOR

Verena Mercado

JURADO

Hernán Parra

JURADO

Verena Mercado

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS