



**ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DE LOS CEMENTOS DE LOS POZOS
DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES CENTRAL DE ECOPETROL
S.A**

OSCAR LIBARDO GUTIERREZ GUTIÉRREZ

YEISSON MAYORGA CAMACHO

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE PETRÓLEOS

NEIVA - HUILA

2010



**ASEGURAMIENTO DE LA INTEGRIDAD DE LOS CEMENTOS DE LOS POZOS
DE LA SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES CENTRAL DE ECOPETROL
S.A**

OSCAR LIBARDO GUTIERREZ GUTIÉRREZ

YEISSON MAYORGA CAMACHO

**Proyecto presentado como requisito parcial para optar
al título de ingeniero de petróleos.**

Directores

ALDIR SANTIAGO ROJAS

JORGE ARTURO CAMARGO

Ingenieros de Petróleos

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETROLEOS

NEIVA-HUILA

2010



Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Neiva, _____



DEDICATORIA

Dedico este importante logro a Dios, por permitirme alcanzar una de mis más grandes metas dándome salud, inteligencia, alegría y perseverancia.

A mis queridos padres José Libardo Gutiérrez y Nora Gutiérrez que siempre han estado conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida, a mi hermana María Fernanda Gutiérrez que siempre creyó en mis capacidades y a mi novia Shirley Tamayo, por su dulzura, por su ternura y por ayudarme a encontrar el rumbo cuando por culpa de las adversidades lo pierdo.

A mis grandes amigos y amigas, Diego, Paola, Cesar, Edwin, Juancho, Luis, Albeiro, Pacho, Uriel, Yhon y a todas mi amistades, porque de distintas formas han contribuido en mi formación como persona y como profesional.

OSCAR LIBARDO GUTIERREZ

Quiero dedicar este trabajo a Dios todo poderoso, por haberme permitido la culminación de este proyecto, fruto del esfuerzo y dedicación. A mis padres Pedro Nel Mayorga y Beatriz Camacho que me apoyaron incondicionalmente en el transcurso de mi carrera, a mis hermanos y familiares por darme esperanza y comprensión, a partir de las cuales mis metas y sueños llegan a hacerse realidad y a mi novia Sandra Milena Osorio por su aliento y ayuda para realizar este proyecto, por su cariño y amor.

A mis profesores, compañeros de universidad y amigos, quienes me enseñaron y formaron como profesional y persona. A ellos quiero darles las gracias por compartir una parte de su vida conmigo.

YEISSON MAYORGA CAMACHO



AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- ECOPETROL S.A. por permitirnos desarrollar este proyecto.
- La universidad SURCOLOMBIANA, por la educación y formación durante estos años.
- Ing. Aldir Santiago Rojas, director del proyecto, por su acompañamiento y colaboración.
- Ing. Jorge Arturo Camargo, codirector del proyecto por sus valiosas recomendaciones y aportes al proyecto.
- Ing. Ingris Astrid Mendoza, por su colaboración y compañerismo.
- Lingüista. Sandra Milena Osorio, por su talento, apoyo y consejo.
- A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la culminación de este proyecto



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES DEL ÁREA	15
1.1 LOCALIZACIÓN.	15
2. MARCO GEOLÓGICO	17
2.1 GEOLOGÍA HISTÓRICA.	17
2.2 TECTÓNICA.	18
2.3 ESTRATIGRAFÍA.	19
3. MARCO TEORICO.....	25
3.1 CEMENTACIÓN.	27
3.2. REGISTRO DE GAMMA RAY	32
3.3 REGISTRO CBL – VDL	34
3.4 REGISTROS ULTRASÓNICOS.	53
4. PROCEDIMIENTO	64
4.1 SELECCIÓN DE LOS POZOS CANDIDATOS	64
4.2 EVALUACION DE LOS POZOS CANDIDATOS.....	67
5. ANALISIS Y RESULTADOS.....	756
5.1. RESULTADOS	766
5.2. ANÁLISIS DEL SELLO HIDRÁULICO:	977



CONCLUSIONES.....	1000
RECOMENDACIONES	1001
BIBLIOGRAFIA	1022

ANEXOS



LISTA DE TABLAS

TABLA. 1 - TIEMPO DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE VARIOS MATERIALES	44
TABLA 2 – IMPEDANCIA ACÚSTICA EN ALGUNOS MATERIALES.	55
TABLA 3 – ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA USI	60
TABLA 4 –COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE CAST-V Y USI.	63
TABLA 5.- EVALUACIÓN POZOS CANDIDATOS	66
TABLA 6. DATOS COMPARACIÓN DE LOS REGISTROS	68
TABLA 7. DATOS DE ATENUACIÓN PARA CSG DE 7”	70
TABLA 8. DATOS DE AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO. CSG 29 LB/FT.	72
TABLA 9. DATOS DE AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO. CSG 7 “, 26 LB/FT.	73
TABLA 10.TABLA DE INTERPRETACIÓN DE CBL	74
TABLA 11. EVALUACIÓN REGISTRO APIAY 16	76
TABLA 12. DATOS ANÁLISIS SELLO HIDRÁULICO SUPERIOR (10012 – 10022 Ft)	97
TABLA 13. DATOS ANÁLISIS SELLO HIDRÁULICO INFERIOR (10104 – 10116 Ft)	98



LISTA DE FIGURAS

FIG. 1 – MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA ESTUDIADA.	15
FIG. 2 – CAMPOS DE LA S. C. O. E.	16
FIG. 3. CORTE ESQUEMÁTICO DE LA CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES	18
FIG. 4 – COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA.	24
FIG. 5 – ESQUEMA CEMENTACIÓN PRIMARIA.	28
FIG. 6 – PRESENTACIÓN TÍPICA DE UN REGISTRO CBL-VDL	36
FIG. 7 - PRINCIPIO DE LA OPERACIÓN DEL VDL.	38
FIG. 8 – ESQUEMA DEL EQUIPO USADO EN EL REGISTRO DE PERFIL COMBINADO CBL_VDL	40
FIG. 9 -MEDIDA DE TIEMPO DE TRÁNSITO.	43
FIG. 10 - EXTENDIMIENTO	46
FIG. 11 - SALTO DE CICLOS.	46
FIG. 12 ESFUERZO COMPRESIONAL VS. TASA DE ATENUACIÓN.	48
FIG. 13 – PORCENTAJE DE ATENUACIÓN VS. % DEL REVESTIMIENTO CON CEMENTO ADHERIDO.	49
FIG. 14 - RESULTADO DEL DIÁMETRO DEL CSG. SOBRE LA SEÑAL DE AMPLITUD E1 PARA UN CSG., USANDO UN ESPACIAMIENTO DE 3 PIES.	49
FIG. 15 -ATENUACIÓN VS. ESPESOR DE CEMENTO.	50
FIG. 16 - HERRAMIENTA DE CBL-VDL DESCENTRALIZADA	51
FIG. 17. EFECTO DE LA DESCENTRALIZACIÓN SOBRE LA RECEPCIÓN DE LA SEÑAL ACÚSTICA.	51
FIG. 18 - CENTRALIZADORES.	52
FIG. 19 – MICROANULOS.	53



FIG. 20 - PRINCIPIO DEL REGISTRO ULTRASÓNICO.	55
FIG. 21 - TÉCNICA ULTRASÓNICA.	57
FIG. 22 – HERRAMIENTA PARA REGISTRO DE ULTRASONIDO.	57
FIG. 23 - CAST-V	58
FIG. 24 - USI	59
FIG. 25 - PRESENTACIÓN COMBINADA USIT, CBL, VDL	61
FIG. 26 – ESCALA DE COLORES PARA EVALUACIÓN DEL REGISTRO	62
FIG. 27 COMPARACIÓN DE REGISTROS	68
FIG. 28 NOMOGRAMA	69
FIG. 29 – AMPLITUD VS. ATENUACIÓN CSG. 7 “	71
FIG. 30 – AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO CSG. 7 “, 29 LB/FT.	72
FIG. 31 – AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO CSG. 7 “, 26 LB/FT.	73
FIG. 32 PROF. VS. ÍNDICE DE ADHERENCIA	93
FIG. 33 PROF. VS. ÍNDICE DE AMPLITUD	94
FIG. 34 PROF. VS. ÍNDICE DE ATENUACIÓN	95
FIG. 35 PROF. VS. ESFUERZO COMPRESIVO	96
FIG. 36 REGISTRO POR ENCIMA DE LOS PERFORADOS	98
FIG. 37 REGISTRO POR DEBAJO DE LOS PERFORADOS	98



RESUMEN

Este trabajo es un análisis del estado de la integridad del cemento de los pozos que representaron un riesgo alto en la superintendencia de operaciones central de ECOPEPETROL S.A., en las zonas de liner de producción que en este caso es de 7 pulgadas y 29 lbs/ft.

Para la ejecución de este trabajo se contó con información acerca de la cementación, historia del pozo, estado mecánico de los pozos seleccionados, en ellos se evalúan la calidad de estas operaciones y el aislamiento hidráulico existente por encima y por debajo de los intervalos cañoneados, para que de esta manera garantizar la migración de los fluidos de las zonas deseadas y no de las zonas aledañas. Esta evaluación se realiza por medio de los registros de cementación (Gamma Ray, CCL, CBL, VDL, ultrasónico como USIT y CAST-V) que funcionan bajo el principio de reactividad natural de la formación, variación de amplitud de un impulso sónico y de la impedancia acústica.

Se hizo necesaria una investigación previa de las generalidades del área, geología y formas de evaluar la cementación la cual se desarrolla en el contenido de este trabajo. Con base en esta investigación se logró hacer un buen análisis de estado del cemento y del sello hidráulico, lo que llevó a concluir y a recomendar lo siguiente: que todas aquellas zonas que no generen sello hidráulico en los 11 ft recomendados por la norma, para evitar la migración de fluidos a formaciones que estén conectadas con acuíferos que se afecten las zonas pobladas; se debe realizar trabajos de cementación remedial (squeeze) para evitar la contaminación del ambiente y la disminución del crudo producido por los pozos.



ABSTRACT

This work is an analysis of the cement's integrity state, of the wells that represented a high risk in superintendence of central operations of ECOPETROL CORP. in the liner's production areas; in this case these are about 7 inches and 29 lbs/ft.

For the execution of this work we took information about the cementation, well's history, mechanical state of the selected wells, on them the quality of these operations and the existent hydraulic stamp are evaluated above and below the shelled intervals, so to guarantee the migration of the fluids of the wanted areas and not the bordering areas. This evaluation is carried out by means of cementation registrations (Gamma Ray, CCL, CBL, VDL, ultrasonic as USIT and CAST-V) which work under the principle of natural reactivity of the formation, with variation of a sonic impulse and the acoustic impedance.

It became necessary a previous investigation of the generalities of the area, geology and ways of evaluating the cementation which is developed in the content of this work. With base on this research we achievement to do a good analysis of cement's state and the hydraulic stamp, which took to conclude and to recommend the following thing: all those areas that do not generate hydraulic stamp in the 11 ft recommended by the norm, to avoid the migration of fluids to formations that are connected with aquifers which the populated areas are affected; it is important carry out works of remedial cementation (squezz) to avoid the atmosphere's contamination and the crude's decrease produced by the wells.



INTRODUCCIÓN

En el proceso del completamiento de un pozo, la cementación es una de las etapas más cruciales y definitivas, ya que en el tratamiento de extracción de los fluidos de yacimiento, la cementación cumple unos objetivos primordiales que hacen que la dependencia hacia la integridad de los cementos sea total.

Como se indica en la Superintendencia De Operaciones Central de Ecopetrol, existen algunos pozos que luego de evaluar su integridad, presentan un riesgo alto. Uno de los factores que más afecta la integridad de estos pozos es el estado del cemento, debido a las repercusiones que esto genera. Dentro de las más importantes está la disminución en la producción aceite, el aumento del GOR y el WOR.

La preocupación de la Superintendencia Central De Ecopetrol es que los fluidos que se extraen o se inyectan al yacimiento por medio del pozo, de una u otra forma pueden llegar a afectar el entorno en ciertas poblaciones, y de este modo, los pozos presentan un alto riesgo al llegar a tener afectación en el medio ambiente en sectores aledaños; pero si la integridad de los cementos de estos pozos está en buenas condiciones se disminuye dicho riesgo, de ahí la importancia del Aseguramiento de La Integridad de Los Cementos en los Pozos.

Cuando no se cuenta con una integridad total del cemento en el revestimiento del pozo, se tienen problemas debido a la filtración de los fluidos de producción hacia



las formaciones propias o vecinas, lo cual puede llegar a afectar acuíferos presentes en la zona. Si la cementación no cumple con los objetivos propios de ella, se tienen numerosos problemas que se ven reflejados en la producción diaria de cada pozo, generando pérdidas para la empresa que van desde el ámbito económico hasta el decaimiento de su imagen.

Para contrarrestar este problema fue necesario determinar y garantizar la integridad del cemento en los pozos de la Superintendencia De Operaciones Central De Ecopetrol, en aquellos pozos en los que se identificó mayor riesgo de tener una baja integridad del cemento, de acuerdo con una evaluación previa que estimó dicho riesgo y que consideró las siguientes variables:

- Tipo de levantamiento.
- Zona de afectación en caso de fuga (cercanía en zonas pobladas y/o alta consecuencia).
- Agresividad del fluido de producción.
- Número de eventos por año.
- Pérdida promedio por diferida.

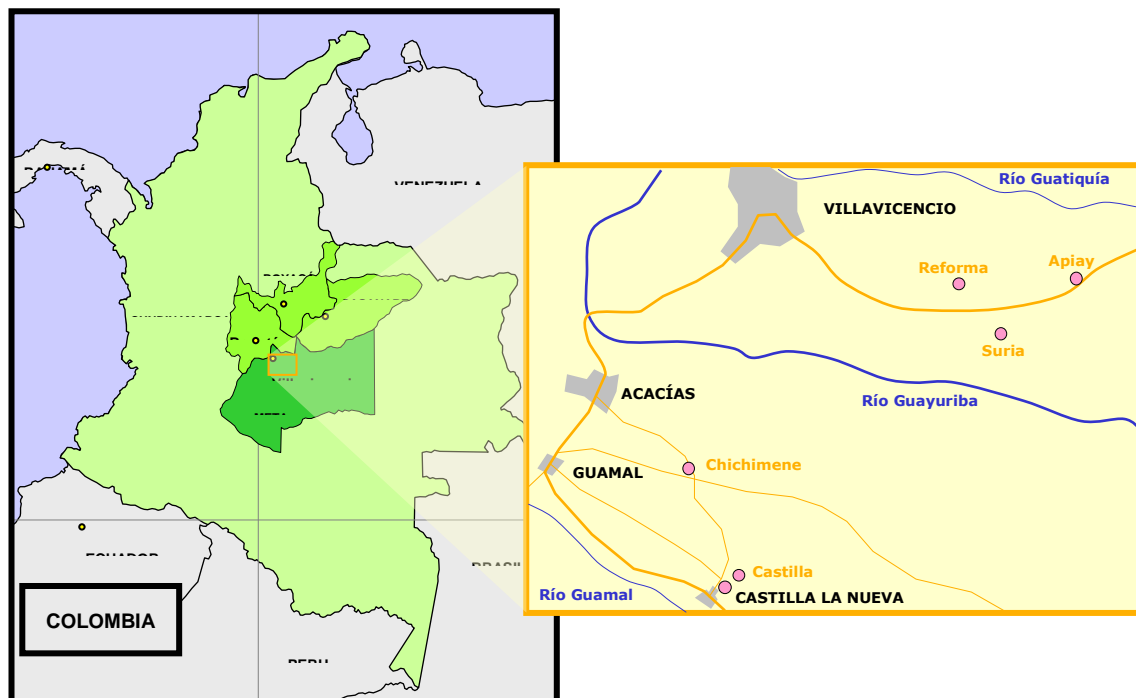


1. GENERALIDADES DEL ÁREA

1.1 LOCALIZACIÓN.

El área está localizada entre las coordenadas N 770000 y 970000 y E 1'020000 y 1'185000 entre la Cordillera Oriental y la Serranía de la Macarena y de los ríos Guaviare y Guatiquía.¹

FIG. 1 – MAPA DE LOCALIZACIÓN DEL ÁREA ESTUDIADA.



Fuente: Ecopetrol S.A.

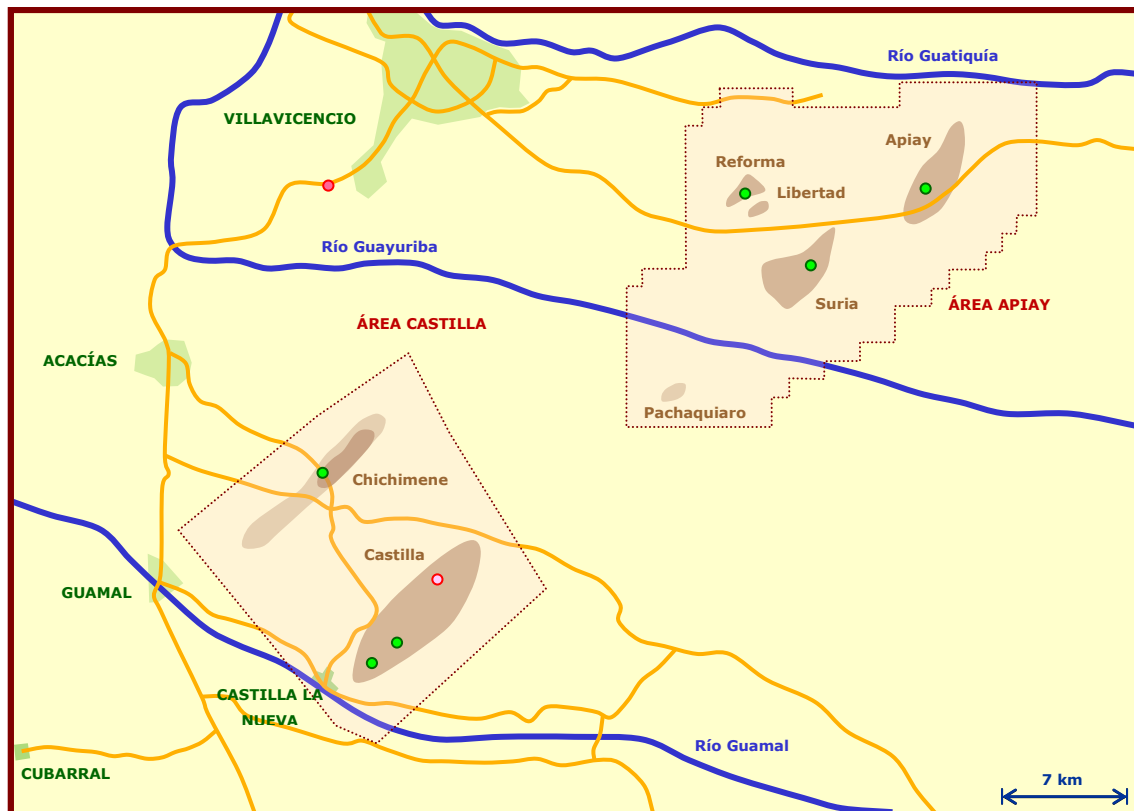
¹ BARON LENES, Delio W.” Evaluación de cementaciones para revestimiento de producción en el área Apiay – Ariari. Bogotá, Colombia, 1990.



Hacia el oriente limita con la subcuenca Rubiales – Manacacias. El área es aproximadamente de 35.000 km² y se encuentra en el departamento del Meta, 30 km al este de Villavicencio. Este departamento se encuentra ubicado en zona de los llanos orientales de Colombia. Acceso por vías terrestres, aéreas y fluviales.

La región se caracteriza por una topografía plana con alturas variables entre 200 y 500 metros sobre el nivel del mar. Su fisiografía es típica de los llanos orientales. Presenta un área de drenaje paralela orientada hacia el este y controlada por los ríos Meta y Guaviare. Su clima se clasifica como cálido de sabana, periódicamente húmedo con lluvias moderadas a súper húmedas de selva ecuatorial, con 100 a 200 días de lluvia por año y una precipitación promedio de 2000 a 3000 mm anuales.

FIG. 2 – CAMPOS DE LA SUPERINTENDENCIA CENTRAL DE OPERACIONES DE ECOPETROL



Fuente: Ecopetrol S.A.



2. MARCO GEOLÓGICO

2.1 GEOLOGÍA HISTÓRICA.

Según algunos autores, en los comienzos del Paleozoico temprano el basamento de la subcuenca APIAY-ARIARI estaba constituido por rocas ígneas y metamórficas afectadas tectónicamente por fallamientos de tipo normal e inverso.

Durante el Cambrio-Ordoviciano ocurrió una trasgresión marina que cubrió el área, la cual formaba parte de una plataforma epicontinental somera y relativamente estable con una paleopendiente inclinada hacia el occidente y una paleotopografía que determinó los cambios faciales de los sedimentos depositados en este tiempo.

Posteriormente el área fue sometida a procesos erosivos y de no depositación que alcanzaron hasta el periodo cretácico y que fueron simultáneos con procesos erogénicos que ocasionaron metamorfismos de la secuencia Paleozoica.

En el Cretáceo tardío hubo un predominio de sedimentación marina que fue interrumpida a finales del Maestrichtiano y comienzos del Cenozoico por procesos erogénicos ocurridos en este tiempo.

Un nuevo ciclo de sedimentación se inició a finales del Eoceno quedando en el área de estudio registrada por la depositación de las unidades T2 y las lutitas E4, en un ambiente con influencia marina y transicional que permaneció hasta los principios del Oligoceno cuando se depositaron las unidades T1 y las lutitas E3.

Durante el Oligoceno se depositó una gruesa secuencia sedimentaria en ambientes marinos a transicionales con periodos de marcada influencia continental. Al final del Oligoceno y principios del Mioceno ocurrieron nuevos



movimientos tectónicos en algunos sectores de la cuenca como resultado del inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental.

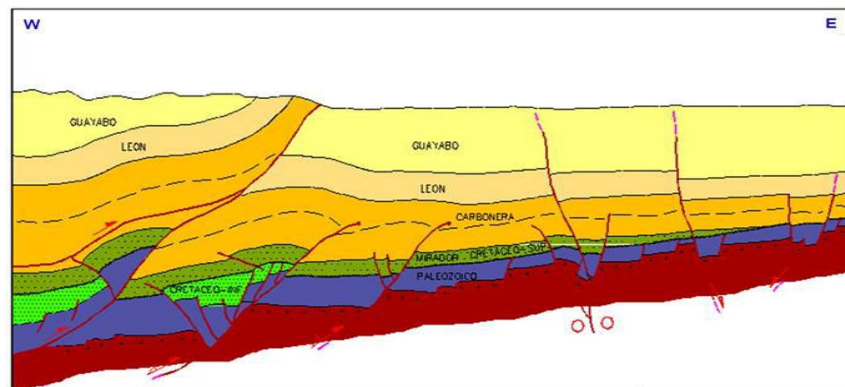
Durante el Mioceno surgieron rápidas transgresiones marinas que depositaron las lutitas E y León. A finales de esta época, luego del levantamiento de la Cordillera Oriental, tuvo lugar un dominio de condiciones continentales que prevalecen hasta el presente.

2.2 TECTÓNICA.

La cuenca de los Llanos Orientales se divide en tres zonas estructurales, cada una de las cuales presenta un estilo tectónico característico (ver la figura 3).

- Zona 1: zona plegada al Oeste, caracterizada por fallas de cabalgamiento de rumbo N-30 - 60 E y plano generalmente inclinado al Oeste.
- Zona 2: Zona central caracterizada por fallas normales antitéticas de rumbo N-S variando 30 al Oeste y plano inclinado al Este.
- Zona 3: Zona Este caracterizada por un monoclinal suave inclinado al NW-W.

FIG. 3. CORTE ESQUEMÁTICO REGIONAL DE LA CUENCA DE LOS LLANOS ORIENTALES



Fuente: Ecopetrol S.A.



2.3 ESTRATIGRAFÍA.

La sección estratigráfica del área involucra rocas que van del Precámbrico al Cuaternario. Se reconoce una secuencia sedimentaria representada por rocas del Paleozoico Inferior, Cretáceo Superior, Terciario y Cuaternario, la cual descansa sobre un basamento ígneo-metamórfico de edad Precámbrica. (Ver figura 20).

2.3.1 Precámbrico

Constituye el casamiento ígneo, descrito como una roca gris clara, fanerítica, fracturada, compuesta aproximadamente de 75% de cuarzo, hornablenda y feldespato, clasificada tentativamente como diorita o cuarzodiorita.

2.3.2 Paleozoico

Representada por una secuencia predominante lutítica, con intercalaciones menores de areniscas. Las lutitas son arcillosas, a veces limosas, grises oscuras a grises, calcáreas. Las areniscas son grises oscuras, bien consolidadas, de grano fino a medio, a veces limosas, compuestas de cuarzo, piritosas; en ocasiones presentan microfracturas rellenas de calcita.

2.3.3. Cretáceo

2.3.3.1 Unidad K-2:

Constituida por una potente secuencia de areniscas blanco-amarillentas, bien consolidadas de grano fino a medio, ocasionalmente grueso, con finas



intercalaciones de Lutitas negras y grises oscuras y limolitas silíceas; la composición de las areniscas es principalmente de cuarzo hialino con cemento silíceo, con una porosidad en general promedio buena.

2.3.3.2 Unidad K-1

Está constituida por dos niveles arenosos, hacia el tope y la base y un nivel de lutitas intermedio. La unidad K-1 inferior compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso sobredondeado a subangular, bien seleccionada, fiable y algo arcillosa.

La unidad K-1 superior compuesta por un grueso paquete arenoso con intercalaciones de lutita gris oscura, micáceas y piritosa. La arena es cuarzosa, subredondeada y subangular, bien seleccionada, fiable, compacta y con algo de matriz arcillosa.

2.3.4 Terciario

2.3.4.1 Formación Carbonera

Está representada de base a tope por las siguientes unidades operacionales:

2.3.4.1.1 Unidad T-2:

En el área de Apiay está representada por limolitas grises claras, bien consolidadas, cuarzosas, carbonosas, que gradan las areniscas de grano muy fino, con pequeñas intercalaciones de lutitas verdes oliva y grises pardas.



2.3.4.1.2 Lutitas E-4:

Constituidas por lutitas arcillosas, grises claras y grises verdosas, duras, silíceas, micáceas y piritosas; ocasionalmente se observan arcillolitas grises y grises verdosas y ligeramente carbonosas.

2.3.4.1.3 Unidad T1:

La constituyen en la base areniscas arcillosas grises a blancas, finas a medias, parcialmente calcáreas, con intercalaciones menores de lutitas arcillosas, grises a grises verdosas y limonitas hacia el techo.

2.3.4.1.4 Unidad E-3:

En contacto gradacional con la unidad T-1, son lititas arcillosas y lutitas limosas, grises, grises verdosas y limonitas hacia el tope.

2.3.4.1.5 Conjunto C-2:

Secuencia representada por lutitas grises verdosas a grises, algunas ligeramente carbonosas; arcillolitas grises claras, pardo rojizas, pardo amarillas y violetas, con intercalaciones menores de areniscas blanca y gris, fiabile de grano fino, que grada a limonita, mal seleccionada, arcillosa, cemento silicio, compuesta de cuarzo a veces con inclusiones glauconíticas.

2.3.4.1.6 Areniscas de Carbonera:

Areniscas translúcidas de grano medio a grueso en menor proporción conglomerática, subredondeadas a redondeadas, compuestas de cuarzo hialino; se presentan intercalaciones de limolita de color pardo, carbonosa y arcillolitas arenosas, grises claras y moteadas de rojo; también se observan niveles de carbón.



2.3.4.1.7. Conjunto C-1:

Constituido por intercalaciones de arcillolita varicoloreada, lutitas grises oscuras verdosas y areniscas grises, gruesas en la base y finas hacia la parte superior; se observan niveles de carbón y calizas; son comunes los nódulos de sederita.

2.3.4.1.8 Lutitas E:

Conformada por lutitas grises verdosas, algunas pardas, ocasionalmente piritosas, micáceas, a veces con trazas de glaucomita; ocasionalmente piritosas y carbonosas.

2.3.4.1.9 Areniscas superiores:

Ésta unidad está constituida por areniscas de grano medio, grueso y conglomerático, de regular selección, subangulares a sudredondeadas, compuestas por cuarzo hialino. Blanco lechoso y "chert"; intercalaciones de arcillolitas frecuentemente limosas de color pardo amarillo, pardo rojizo, gris verdoso, blancas y solubles.

2.3.4.2 Formación León:

Representadas por lutitas arcillosas de colores grises verdosos y azulosos, micáceas, ocasionalmente piritosas, a veces glauconíticas.



2.3.4.3 Formación Guayabo – Necesidad.

En general es difícil diferenciar estas dos formaciones, por lo que se incluyen en una sola unidad, constituidas por areniscas compuestas de cuarzo hialino, lechoso y amarillento, de tamaño grueso a conglomerático, angular a subredondeado, de mala selección. Estas areniscas se encuentran intercaladas con arcillolitas grises pardas, pardo rojizo, son blandas y solubles. Se presentan también niveles carbonosos.



3. MARCO TEORICO

Una vez terminada la perforación de un pozo se procede a bajar e instalar el liner de producción que va colgado del casing o revestimiento anterior hasta el fondo del pozo dejando un bolsillo. Después de instalado el liner se procede a bombear un fluido espaciador para desalojar el lodo de la perforación y limpiar el espacio anular donde posteriormente se bombea el cemento para que este ocupe el espacio que hay entre la cara del pozo y el liner de producción.

Uno de los objetivos más importantes de la cementación y por el cual se realiza este estudio es generar sello hidráulico necesario de 11 ft por encima y por debajo de los intervalos cañoneados, con un índice de adherencia de 60% y un buen fragüe del cemento en los 360 grados del pozo, garantizando de esta forma la migración de fluidos deseados de la zona productora y no de zonas aledañas. La evaluación de la calidad de la cementación se realiza utilizando los registros Gamma Ray, CCL, VDL y ultrasónicos (USIT de Schlumberger y CAST-V de Halliburton).

Con el registro Gama Ray se identifica las zonas permeables y se decide que intervalos cañonear; en ocasiones cuando el índice de adherencia está por debajo de la norma (60% de índice de adherencia ideal) es la litología del intervalo de 11 Ft por encima o por debajo del cañoneo que garantice sello hidráulico², para que

² NORMA API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE)



este criterio sea tomado en cuenta el registro debe tener una lectura mayor a 75 API GAMMA lo cual indica que es un intervalo impermeable que impide la migración de fluidos. Con el registro CCI se identifica los cuellos del liner para no cañonear sobre ellos. El registro VDL se utiliza para determinar la amplitud de arribo de señal del revestimiento al cemento y del cemento a la formación. Con el registro CBL se emplea para calcular el índice de adherencia, atenuación y esfuerzo compresivo; el registro ultrasónico evalúa el estado del cemento en los 360 grados del área perimetral del pozo.

En el año de 1990 se realizó un estudio de integridad de cementos en la superintendencia central de ECOPETROL pero para esa época solo se contaba con los registros Gamma Ray, CCL, CBL y el VDL, pero faltaba el registro ultrasónico que para ese tiempo aun no se usaba, con el cual no se tenía confirmación real del estado del cemento en los 360 grados del área perimetral del pozo. En el desarrollo de este trabajo no se utiliza nuevos métodos para la evaluación del sello hidráulico, se emplean métodos tradicionales usados en la industria para identificar los pozos que necesitan una cementación remedial, para garantizar la migración de fluidos deseados hacia la cara del pozo y disminuir el BSW y el GOR del crudo cuando se lleve a superficie.

Por otra parte evitar el flujo de fluidos a formaciones que contengan acuíferos que se encuentren en cercanías a zonas pobladas y que no interfiera con el medio ambiente de la población.



3.1 CEMENTACIÓN.

Es el proceso de mezcla y desplazamiento de la lechada de cemento de tal manera que ocupe el anular que forma el casing delante de las formaciones. La cementación influye directamente en la vida del pozo.

3.1.1 OBJETIVOS DE LA CEMENTACION:

- Sostener el casing y unirlo a las formaciones.
- Restringir el movimiento de fluidos entre formaciones evitando contaminaciones, o sea, aislando zonas.
- Prevenir reventones.
- Proteger el casing de la corrosión.
- Proteger el casing de cargas o choques.
- Sellar zonas de pérdida de circulación.

Estas operaciones se clasifican de acuerdo a los objetivos que se necesiten en:

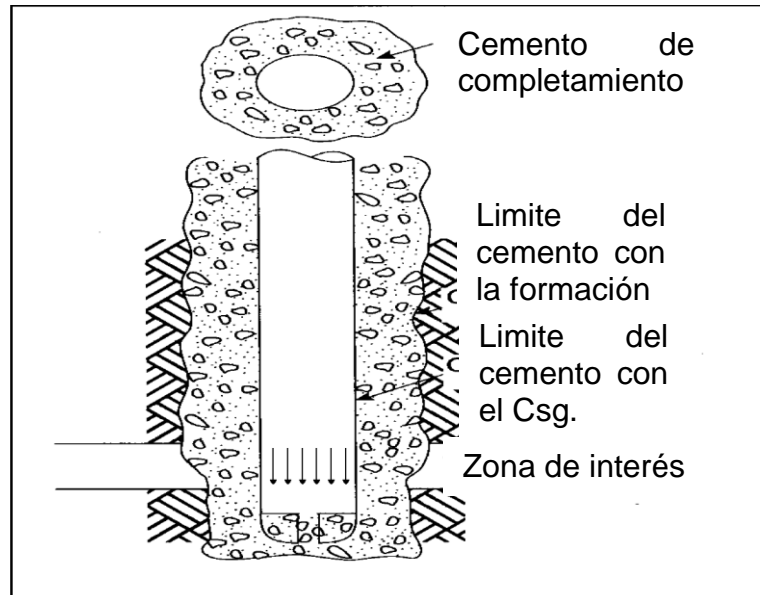
3.1.2 TIPOS DE CEMENTACIÓN

3.1.2.1 Cementación Primaria:

La cementación primaria es el proceso que consiste en colocar cemento en el espacio anular, entre la tubería de revestimiento y la formación expuesta del agujero, asegurando un sello completo y permanente, se hace inmediatamente después de que el casing es corrido en el hueco.



FIG. 5 – ESQUEMA CEMENTACIÓN PRIMARIA.



Fuente: Manual del Ingeniero de Petróleos

3.1.2.1.1. Los objetivos de la cementación primaria:

- Proporcionar aislamiento entre las zonas del pozo que contienen gas, aceite y agua.
- Soportar el peso de la propia tubería de revestimiento.
- Reducir el proceso corrosivo de la tubería de revestimiento con los fluidos del pozo y los que se inyectan en la estimulación.
- Evitar derrumbes de la pared de formaciones no consolidadas.

El reto es obtener sellos hidráulicos efectivos en las zonas que manejen fluidos a presión. Para lograrlo es indispensable mejorar el desplazamiento del lodo de



perforación del tramo anular que se va a cementar consiguiendo así una buena adherencia sobre las caras de la formación y de la tubería de revestimiento, sin canalizaciones en la capa de cemento y con un llenado completo.

Para cumplir el segundo y tercer objetivo, este debe desarrollar un esfuerzo compresivo de 500 psi dentro de las primeras 8 horas. Este valor es tomado de la práctica.

3.1.2.2 Cementación secundaria o Forzada:

Es cuando se inyecta cemento a presión a través de disparos en las ranuras en la tubería de revestimiento al espacio anular, ésta es una medida correctiva de una cementación primaria defectuosa, cuyos objetivos son:

- Mejorar el sello hidráulico entre las dos zonas que manejan el fluido.
- Eliminar la intrusión de agua al intervalo productor.
- Reducir el GOR.
- Sellar intervalo explotado.
- Sellar un intervalo que se seleccionó incorrectamente.
- Corregir una canalización en la cementación primaria.
- Corregir anomalía en la tubería de revestimiento.

3.1.2.3 Tapones De Cemento:

Los tapones comprenden un cierto volumen de lechada de cemento, colocada en el agujero o en el interior de la tubería de revestimiento. Se utiliza principalmente para:

- Desviar la trayectoria del pozo arriba de un pescado o para iniciar dirección.
- Taponar una zona del pozo o taponar el pozo.



- Resolver un problema de pérdida de circulación en la etapa de perforación.
- Proporcionar un amarre en la prueba del pozo.

3.1.3. TIPOS DE CEMENTOS.

3.1.3.1 Clases de los cementos por el API

- ❖ Clase A: Usos desde superficie hasta 6000 pies, cuando no requiere propiedades especiales.
- ❖ Clase B: Usos desde superficie hasta 6000 pies, cuando requiere moderadas resistencias a los sulfatos.
- ❖ Clase C: Usos desde superficie hasta 6000 pies, en las cuales se requieren altas resistencias iniciales.
- ❖ Clase D: Usos de 6.000 a 9.000 pies, en condiciones de presión y temperatura moderada.
- ❖ Clase E: Usos de 10.000 a 14.000 pies en condiciones de altas presiones y temperaturas.
- ❖ Clase F: Usos de 10.000 a 16.000 pies en condiciones de presión y temperaturas extremadamente altas.
- ❖ Clase G y H: Se usa básicamente para cementaciones desde superficie hasta 8.000 pies de profundidad.



3.1.3.2 Aditivos del cemento.

- ❖ **Aceleradores:** Se utilizan en cementaciones superficiales de baja temperatura, en la que se necesita la adición de agentes que corte el tiempo de fragüe y aumente rápidamente la resistencia. Entre los materiales utilizados se encuentran los cloruros de calcio y sodio, silicatos de sodio.
- ❖ **Densificadores:** Muchas formaciones no soportan las largas columnas de cemento., por lo tanto debe de adicionarse aditivos con el objetivo de disminuir la densidad. Entre los materiales más utilizados están la bentonita, bentonita prehidratada, tierras diatomáceas, pozzolana y la perlita.
- ❖ **Aditivos para aumentos de peso:** Utilizados para aumentar la densidad de la lechada, cuando se encuentran altas presiones. Los materiales más comunes son la hematita, ilmenita, barita.
- ❖ **Retardadores:** Empleados para aumentar el tiempo de bombeo y de fragüe en lechadas utilizadas para cementaciones de pozos profundos. Entre los más utilizados se encuentra el lignosulfato de calcio, los ligninos modificados y el agua saturada de sal.

3.1.3 FACTORES QUE AFECTAN LA CONFORMACIÓN DE LAS LECHADAS.

- ❖ **Presión, temperatura y tiempo de bombeo:** A altas temperaturas, la lechada de cemento se deshidrata y compacta rápidamente, desarrollando una resistencia inicial en corto tiempo. El tiempo de bombeo disminuye con la temperatura. La presión impuesta a una lechada de cemento por la acción hidrostática del los fluidos reduce también la bombeabilidad de la lechada.



- ❖ Viscosidad de la lechada: Para la cementación primaria, la lechada debe tener una viscosidad que permita un desplazamiento rápido del lodo y que pegue apropiadamente la tubería al hueco.
- ❖ Tiempo de desplazamiento: el mínimo tiempo de desplazamiento es el requerido para mezclar y bombear la lechada para que descienda y ascienda por el anular.
- ❖ Control de filtrado: Este paso es importante cuando se cementan revestimientos profundos. La pérdida de filtrado a través de un medio permeable produce el espaciamiento rápido de la lechada. La depositación rápida de una torta de cemento restringe el flujo. Los factores que afectan las pérdidas de filtrado son el tiempo, la presión de la temperatura y la permeabilidad de la formación.

3.2. REGISTRO DE GAMMA RAY

La curva de rayos gamma o GR (“Gamma-Ray”) representa la radioactividad natural de las formaciones y es presentada en unidades API (“American-Petroleum-Institute”); cada unidad API es definida como 1/200 de la respuesta generada por un calibrador patrón constituido por una formación artificial que contiene cantidades bien definidas de uranio, torio y potasio, mantenida por el API en Houston, Texas, USA.

Generalmente, la curva de GR es presentada en la pista 1, junto a las curvas de SP y de calibrador, con escalas de 0 a 100 ó de 0 a 150 API. Al igual que la curva de SP, la de GR tiene su escala definida de manera tal que ambas curvas indican zonas permeables cuando están próximas del extremo inferior de la pista, y ambas



indican lutitas o “shales” cuando están próximas del extremo superior de la pista (con el encabezado a la izquierda del observador).

Este registro es muy útil para identificar zonas permeables debido a que los elementos radioactivos mencionados tienden a concentrarse en las lutitas o “shales” (impermeables), siendo muy poco frecuente encontrarlos en areniscas o carbonatos (permeables).

El registro de GR puede aplicarse para:

- Detectar capas permeables.
- Determinar la arcillosidad de las capas.
- Evaluar minerales radioactivos.
- Identificar los minerales radioactivos.
- Correlación pozo a pozo
- Correlación con registros a pozo revestido

3.2.1 HERRAMIENTAS DE REGISTRO.

Existen dos tipos de herramientas de rayos gamma: la tradicional, que mide la radioactividad natural total de la formación, y la de espectrometría de rayos gamma naturales. Ambas pueden registrar también una curva de localización de acoples o CCL (“Casing-Collar-Locator”), que permite la correlación entre registros de agujero descubierto y de pozo revestido para el posicionamiento de las pistolas de perforación frente a las zonas de interés. La herramienta de espectrometría de rayos gamma naturales aprovecha que los rayos gamma emitidos por los tres elementos radioactivos (uranio, torio y potasio) tienen diferentes energías, para distinguir cuál de los elementos origina la radioactividad medida.



3.3 REGISTRO CBL – VDL

3.3.1. CBL:

El perfil de control de cementación (CBL) es utilizado para conocer la calidad de la adherencia del cemento al revestimiento y evaluar la longitud vertical existente de cemento bien adherido. El CBL puede ser registrado con un equipo sínoco estándar o mediante un equipo de un solo conductor (CBT).

El CBL mide la amplitud en mv del primer medio ciclo de la señal en el receptor ubicado a 3 ft del transmisor. Esta amplitud es máxima en una tubería mal cementada y mínima en una bien cementada, siendo una función del diámetro y espesor de la tubería de revestimiento, la fuerza compresional del cemento y su espesor, de la adherencia del cemento y la centralización del equipo. Como comprobación de la centralización se registra también el tiempo que tarda la señal en ir del transmisor al receptor.

3.3.2 VDL:

El registro de densidad variable del tren de ondas sónicas es un complemento útil del CBL para obtener información adicional sobre las condiciones de cementación, ya que evalúa la calidad de adherencia del cemento al revestimiento y a la formación.

El tren de ondas es medido normalmente en el receptor que está a 5 ft del transmisor (aproximadamente 1.5 mt). Presenta tres señales: la señal del revestimiento, de la formación y del fluido, que arriba al receptor en este mismo orden.



3.3.2.1. Características de la señal de revestimiento:

- Tiempo relativamente constante.
- Modelo de W (Chevron) en los collares.
- Repetición de señales o vibración.
- Tiempo predecible.

3.3.2.2. Señal de la formación:

Surge cuando el cemento está unido a la formación aún cuando exista una canalización parcial. Para ayudar a identificarlo se toma el registro de tiempo de tránsito durante un minuto en hueco abierto, para así encontrar el tiempo de retorno a la formación.

Las características son:

- Continuidad vertical.
- Variación con el tiempo
- Muestran imagen inversa del registro sísmico en hueco abierto debido a que su escala es inversa.

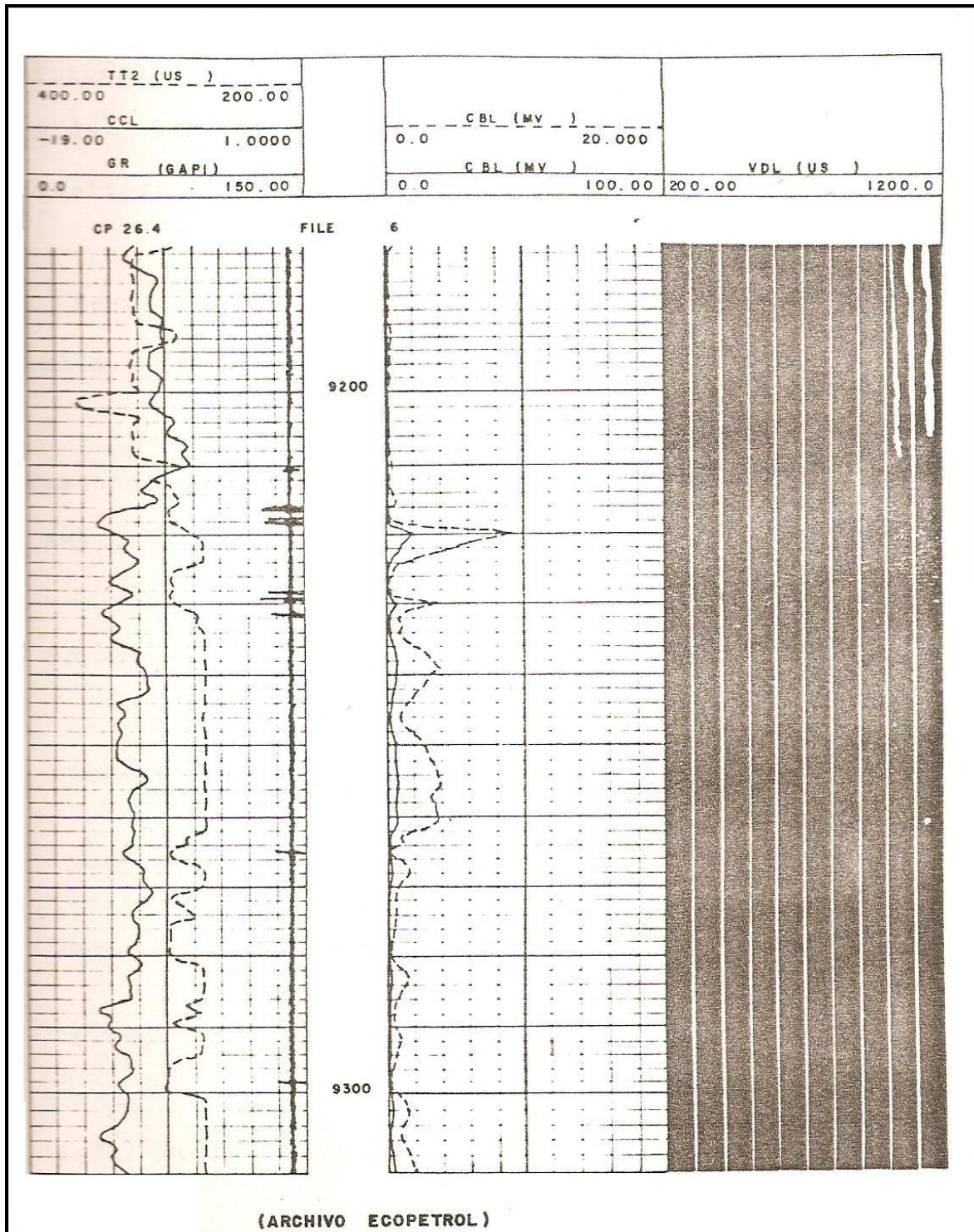


FIG. 6 – PRESENTACIÓN TÍPICA DE UN REGISTRO CBL-VDL



3.3.2.3. Señal del fluido:

Como las del revestimiento, su llegada tiene un tiempo relativamente constante debido a las propiedades elásticas del fluido, ellas son frecuentemente débiles y son saltadas fácilmente por las llegadas de las señales de la formación.

Las características son:

- Tiempo relativamente constante.
- Repetición de la señal.
- Normalmente son suaves o a veces no aparecen.
- Tiempo predecible (aproximadamente 200 por espaciamento transmisor/receptor)

3.3.3. HERRAMIENTAS PARA REGISTRO CBL/VDL:

Posee un transmisor y dos receptores colocados a 3 y 5 pies respectivamente del transmisor. El transmisor emite un tren de ondas acústicas de pequeña duración que viajan a través del revestimiento, del cemento y de la formación antes de llegar a los receptores.

El espaciamento a tres pies fue determinado experimentalmente para permitir el registro del rango completo de condiciones del cemento, el espaciamento a cinco pies permite una separación de tiempo en el arribo de las ondas sonoras lentas y rápidas antes de su presentación en la película.

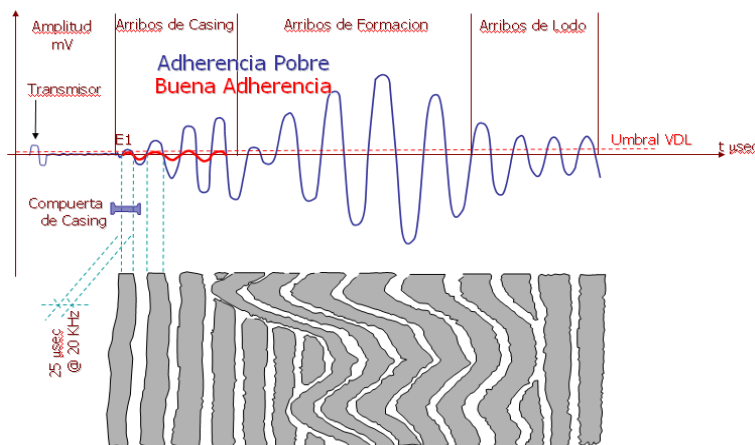
La energía acústica generada por el transmisor viaja a través del fluido del hueco al revestimiento como ondas compresionales. Después de alcanzar el límite fluido-sólido dicha energía acústica es distribuida.



La amplitud del primer arribo de onda, el cual ha viajado a través del fluido del pozo del transmisor a la tubería y luego al receptor a 3 pies, es medido y registrado presentándose como una curva de adherencia al revestimiento.

En cuanto al VDL, la señal acústica es recibida como una señal eléctrica análoga y es presentada a un osciloscopio cuyo barrido marca una línea horizontal de luz en la pantalla del tubo después de cada pulso del transmisor; este trazo del osciloscopio es fotográfico en una rápida sucesión a medida que la película se mueve en sincronismo con el movimiento de la sonda, produciendo una onda de densidad variable. La intensidad de la luz durante el barrido varía en relación directa con la amplitud de la onda acústica recibida. Por lo tanto los cambios de amplitud del tren de onda están indicados por la sucesión de matices variables de color gris a través de la pista de la película.

FIG. 7 - PRINCIPIO DE LA OPERACIÓN DEL VDL.



Fuente: Schlumberger

La figura 6 muestra el diagrama básico de una herramienta para perfiles CBL de 3 pies y VDL de 5 pies, utilizado por la compañía Schlumberger. La sonda que se



baja al pozo consiste de un transmisor y dos receptores de sonido. El transmisor emite pulsaciones sonoras de una frecuencia de 10 a 20 pulsos por segundo.

Las señales provenientes del pozo enviadas al equipo electrónico en superficie que contiene los circuitos de control, secuencia y computación. Dicho equipo posee circuitos lógicos digitales que separan las señales provenientes del receptor que se encuentra a 3 pies de aquellas que vienen del receptor que está a 5 ft. Las del receptor a tres pies son enviadas a los circuitos de medición de amplitud que computan el tiempo total de tránsito y la amplitud de la señal dando lugar al perfil CBL.

Las señales provenientes a cinco pies se envían a una cámara tubular de rayos catódicos que está montada sobre el registrador óptico. En dicha cámara una señal generada en el instante en que se energiza el transmisor acciona el barrido horizontal, el cual mueve el haz electrónico a través de la pantalla de rayos catódicos. La señal del receptor a cinco pies que aparece un poco más tarde se aplica al circuito de intensidad luminosa de tal manera que el haz electrónico de barrido variará en su brillantez en función de la amplitud de la señal.

El resultado es una imagen luminosa modulada en su intensidad que aparecerá en la cámara de rayos catódicos. Esta imagen luminosa se utiliza como una fuente de luz para el registro óptico de perfil VDL, proyectándose la luz a través de un sistema de lentes y espejos a la cámara de registros y registrándola en la película.

3.3.4. PRESENTACION DEL REGISTRO CBL- VDL

3.3.4.1. Tiempo de tránsito:

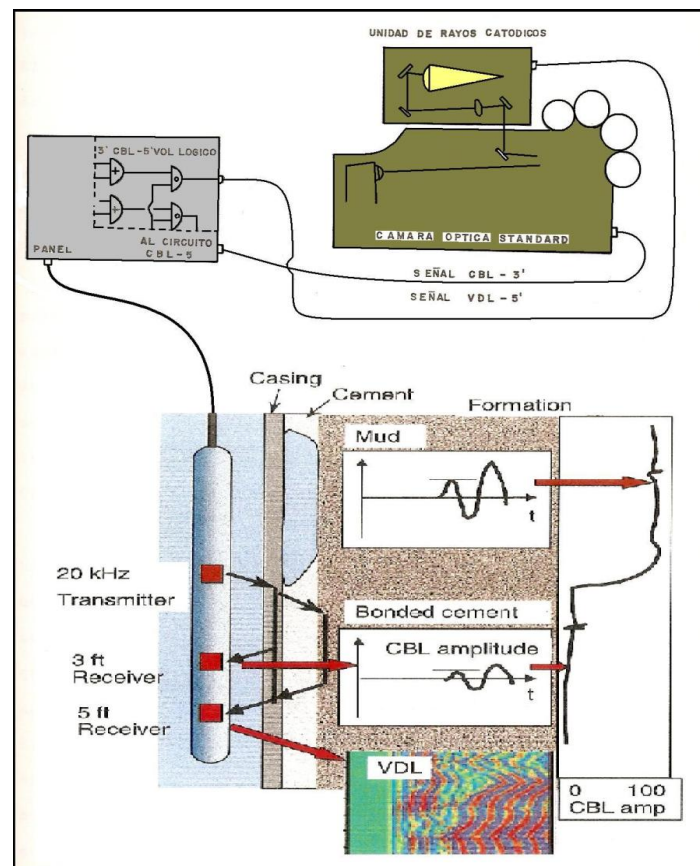
El tiempo de tránsito es una medida de tiempo requerido por la onda de sonido producida por el transmisor para viajar a través del fluido en el revestimiento, por



el revestimiento, cemento, formación y volver hasta el receptor. Está localizado generalmente en el carril izquierdo del registro. (Ver fig. 9)

El principal objetivo del tiempo de tránsito es determinar si la herramienta se encuentra bien centralizada en el hueco, ya que la descentralización de la herramienta da valores erróneos de la amplitud.

FIG. 8 – ESQUEMA DEL EQUIPO USADO EN EL REGISTRO DE PERFIL COMBINADO CBL_VDL



Fuente: Schlumberger

Para poder ejercer un control de calidad sobre esta curva se debe tener en cuenta lo siguiente:



- Tener buena sensibilidad para obtener una amplia resolución, se recomienda una escala de 100 microsegundos por carril.
- Medir el tiempo de tránsito crítico, el cual se obtiene en tubería libre de cemento. Se recomienda tener en el registro una sección mínima de 200 ft registrada en tubería libre. En tubería libre el tiempo de tránsito debe aparecer como una línea recta, excepto frente a los collares.

Un inadecuado tiempo de tránsito en tubería libre dará lecturas erróneas de amplitud, si el tiempo de tránsito crítico es mayor al real se notará un incremento en la lectura de amplitud, por el contrario, si es menor que el real, la amplitud disminuirá indicando un buen llenado de cemento donde en verdad no existe.

Para una herramienta perfectamente centrada el tiempo de tránsito crítico (tubería libre) será igual a tres veces el tiempo de tránsito a través del revestimiento (acero= 57 microseg.) más el tiempo de tránsito en el fluido a través del diámetro en el revestimiento:

$$T_{critico} = 3 * 57 + \frac{OD_{csg} * 100}{12} M_{sg}$$

$$T_{critico} = 171 M_{sg} + OD_{csg} * 15.75 M_{sg}$$

Por ejemplo para revestimiento de 7" el 'T crítico' del orden es de 281 M_{sg}, aproximación bastante útil especialmente en las camisas de producción donde en muchas oportunidades no se encuentra secciones de tubería 100% libres.

Los factores que normalmente causan variaciones al tiempo de tránsito en tubería libre son:

- Excentricidad de la herramienta en el hueco.
- Presencia de collares.



Después de que se detecta el tope del cemento, el tiempo de tránsito podrá tener valores mayores o menores a los registrados en tubería libre. Los mayores valores de tiempo de tránsito se deben principalmente a unas causas (no interpretativas):

- Collares: el tiempo de tránsito experimenta algunas discontinuidades cuando la herramienta de registro está pasando en frente de los collares del revestimiento. Esto es debido a factores como: procesos de fabricados de las roscas y el torque aplicado.
- Tiempo de tránsito ajustado: este efecto es visible cuando la amplitud de apagado del primer pico E1 de la señal de llegada disminuye debido a la buena unión del cemento.
- Salto de ciclo: el efecto es producido cuando la amplitud de E1 es menor que el nivel de detección ajustado. El tiempo de tránsito será reemplazado por el próximo arribo positivo E3 (ver fig. 11).
- Tamaño del revestimiento: grandes tamaños de revestimiento implican grandes tiempos de tránsito, esto puede explicarse por la definición de tiempo de tránsito en revestimientos grandes, el modelo de la señal sónica incluye grandes distancias de medida para el lodo, ésta medida ofrece una conductividad baja de sonido y por tanto el tiempo de tránsito se extiende.

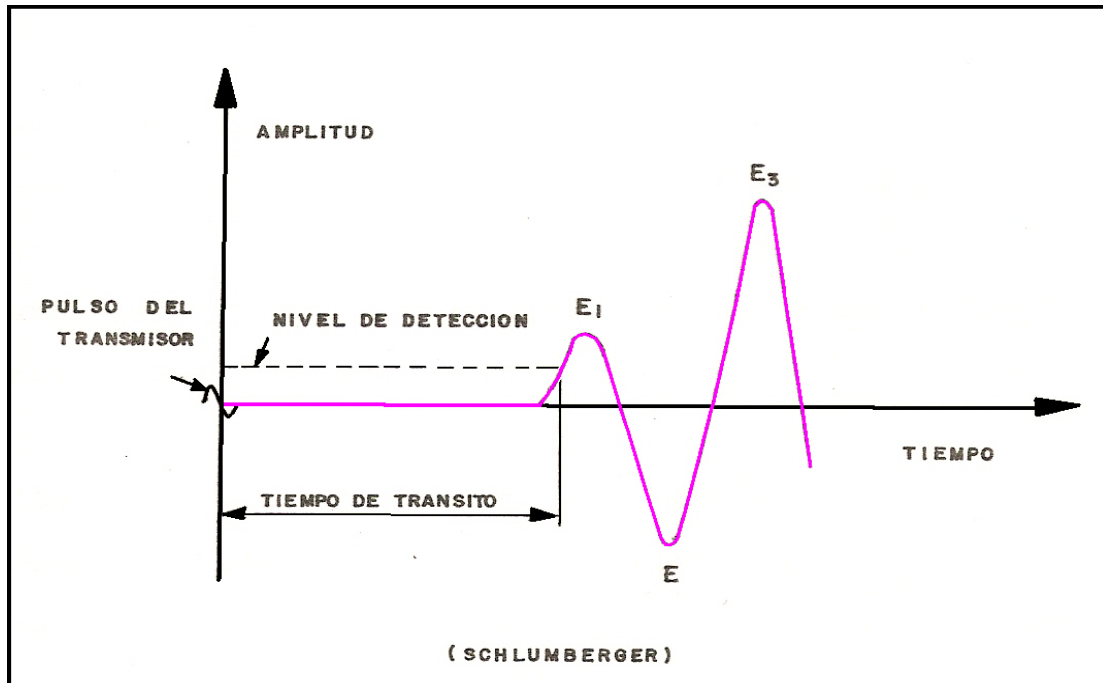


FIG. 9 -MEDIDA DE TIEMPO DE TRÁNSITO.

Los valores menores de tiempo de tránsito se deben principalmente a:

- ❖ Descentralización de la herramienta: la centralización de la herramienta de registro es crítica para la interpretación de resultados de los trabajos de cementación. El tiempo de tránsito es el mejor indicador de la calidad de la centralización obtenida de la herramienta de registro. Cualquier descentralización podrá causar que unas ondas lleguen primero que las otras, pues no son reforzadas por las demás y por tanto, la amplitud de la onda neta primaria se verá reducida.

Los primeros arribos serán detectados por el sistema electrónico y por lo tanto grabados en el registro como un desplazamiento en el tiempo de tránsito hacia la derecha. La máxima descentralización permitida es de 4 Msg.



- ❖ Rápida señal de formación: causada por formaciones que son muy duras por lo que tiene un tiempo de tránsito más rápido que el acero; ésta situación se presenta especialmente en Dolomitas y de calizas las cuales tienen un valor de 43 Msg.

Esta situación se presenta generalmente cuando hay una buena adherencia del cemento a la formación y del cemento al revestimiento. Cuando un arribo de formación precede a una señal de revestimiento, la curva de amplitud reflejará la amplitud de arribo de la formación no indicando nada acerca de la calidad del cemento. Los intervalos donde se presenta tal situación deben ser destacados para interpretación.

- ❖ Por último, el tiempo de tránsito puede variar por la presencia de gas en el fluido o por un fluido no homogéneo dentro del revestimiento. Esta situación producirá variaciones impredecibles en el tiempo de tránsito, las cuales no son válidas para una adecuada interpretación.

Material	Tiempo de Transito ($\mu\text{sec}/\text{ft}$)
- Arenisca	55.5
- Caliza	47.6
- Dolomita	43.5
- Sal	67.0
- Anhidrita	50.0
- Polihalita	57.5
- Agua (Fresca)	200.0
- Agua (100,000 ppm NaCl)	189.0
- Agua (200,000 ppm NaCl)	182.0
- Petroleo	222.0
- Aire	919.0
- Acero del Revestidor	57.0
- Lodo Base Agua	167.0
- Cemento	90.0-160.0

← Referencia

TABLA. 1 - TIEMPO DE TRÁNSITO A TRAVÉS DE VARIOS MATERIALES



3.3.4.2. Amplitud

Localizada en el carril central del registro. Es una medida para la interpretación cualitativa y cuantitativa de la adherencia del cemento al revestimiento, medida en milivoltios.

El sonido viaja a través del revestimiento y pierde energía al contacto con el material que se encuentre dentro o fuera de este. Debido a que el material que se encuentra dentro del revestimiento es homogéneo, la energía que se pierde es poca y la única variación se presentará al entrar en contacto con el material que se encuentra detrás del revestimiento. Si es un líquido, la cantidad de energía que se pierde es poca y la amplitud será grande. Cuando hay un buen cemento, la cantidad de energía perdida por él es grande y la amplitud es pequeña (0.2 a 0.8 mv). (Ver fig. 10).

La amplitud se presenta en dos curvas: una regular que mide de 0 a 100 mv y otra escala de 5 veces más sensible que mide de 0 a 20 mv.

Si la curva de amplitud no muestra ningún intervalo, el cual da una seguridad de que existe 100% de cemento en el anular, existe la posibilidad de la presencia de un micro anillo. Para destacar esta posibilidad debe de analizarse el registro de densidad variable.

Los factores que afectan la curva de amplitud son:

- ✓ Esfuerzo compresional y tiempo de fragüe del cemento.
- ✓ Porcentaje de cemento adherido al revestimiento.
- ✓ Tamaño y peso del revestimiento.
- ✓ Capa de cemento.
- ✓ Descentralización de la herramienta.



- ✓ Microseparaciones.
- ✓ Microánulos.
- ✓ Juntas del revestimiento.

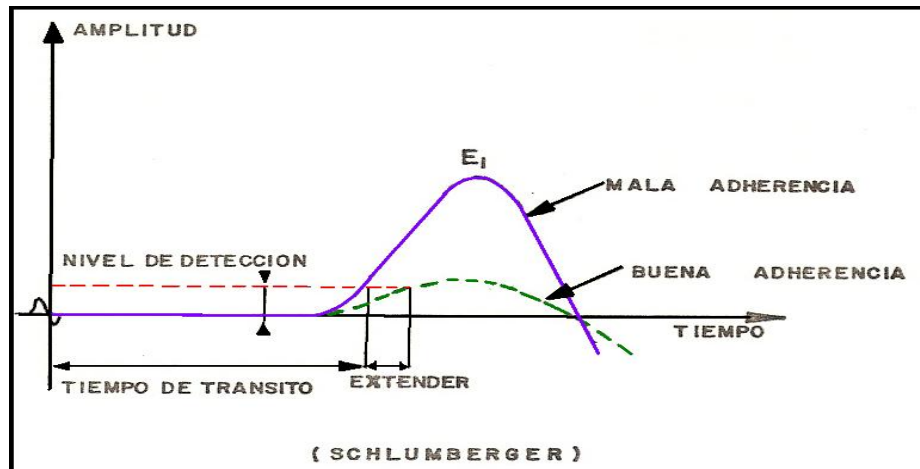


FIG. 10 - EXTENDIMIENTO

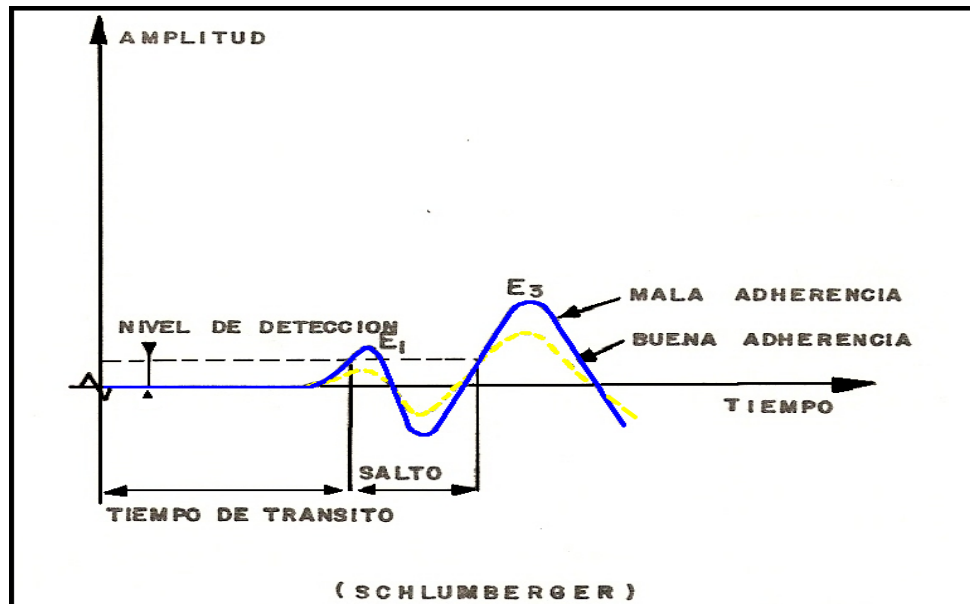


FIG. 11 - SALTO DE CICLOS.



3.3.4.2.1 Esfuerzo compresional y tiempo de fragüe del cemento:

La amplitud de E1 es proporcional a la tasa de atenuación del medio ambiente en el cual la onda viaja. Esta tasa de atenuación es muy influenciada por el esfuerzo compresional del cemento, proporcionando una buena adherencia del revestimiento y el cemento. (Tabla 1)

3.3.4.2.2. Porcentaje de cemento adherido al revestimiento:

La proporción de revestimiento adherido (circunferencia) depende de la tasa de atenuación. La costra de cemento que rodea al revestimiento debe estar adherida a esta para poder proveer mejores tasas de atenuación.

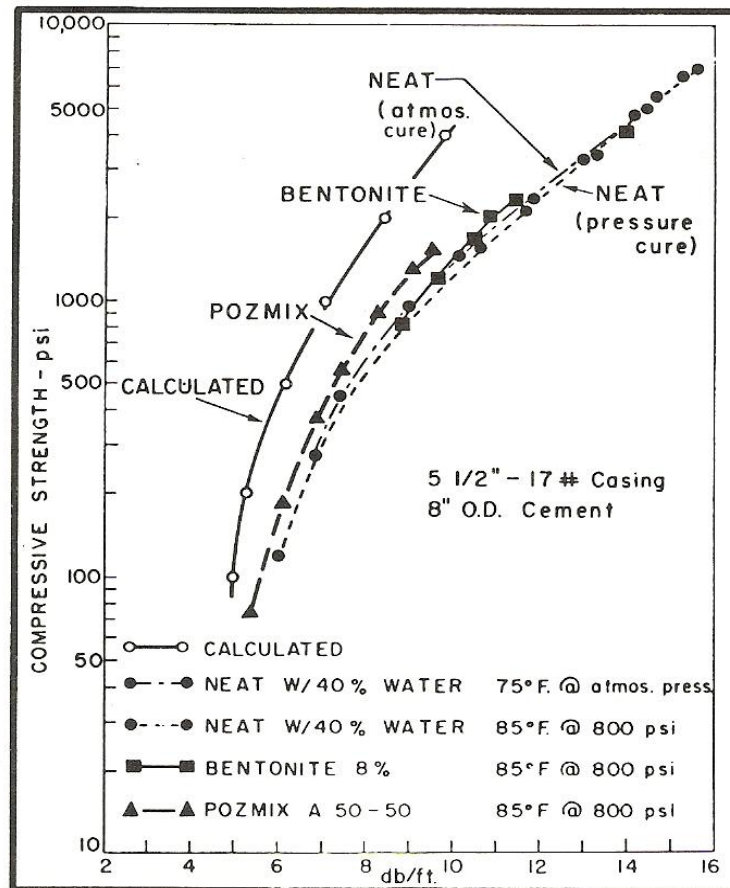
El índice de adherencia está ampliamente relacionado con la tasa de atenuación y corresponde a la escala vertical en el lado izquierdo de la tabla 2 y es una razón entre la atenuación de la zona de interés en db/ft y la atenuación de una zona 100% cementada.

3.3.4.2.3 Tamaño y peso del revestimiento:

Los efectos de la variación de los espesores de pared y el diámetro de revestimiento son independientes el uno del otro y pueden ser aislados.



FIG. 12 ESFUERZO COMPRESIONAL VS. TASA DE ATENUACIÓN.



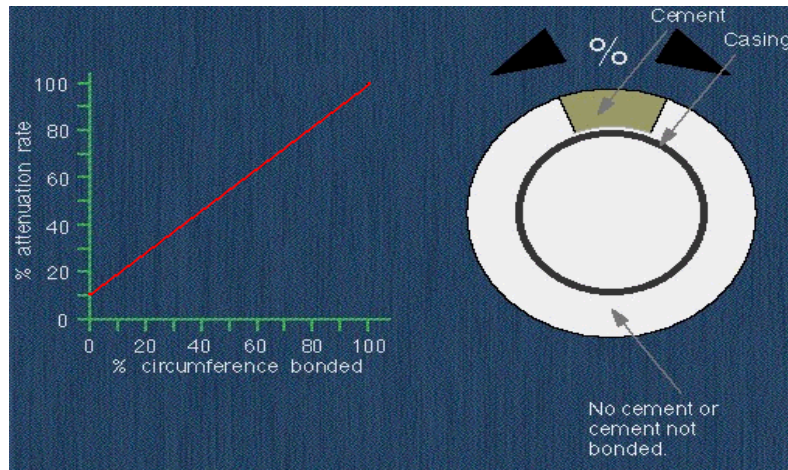
Fuente: Schlumberger

FIG. 12 ESFUERZO COMPRESIONAL VS. TASA DE ATENUACIÓN.

El diámetro prácticamente no tiene efecto sobre la tasa de atenuación, pero influencia la señal de amplitud del receptor. La figura 14 muestra el efecto del diámetro del revestimiento sobre la señal de amplitud para un revestimiento sin cemento, el mismo efecto tienen los revestimientos cementados pero se obtienen amplitudes más bajas.



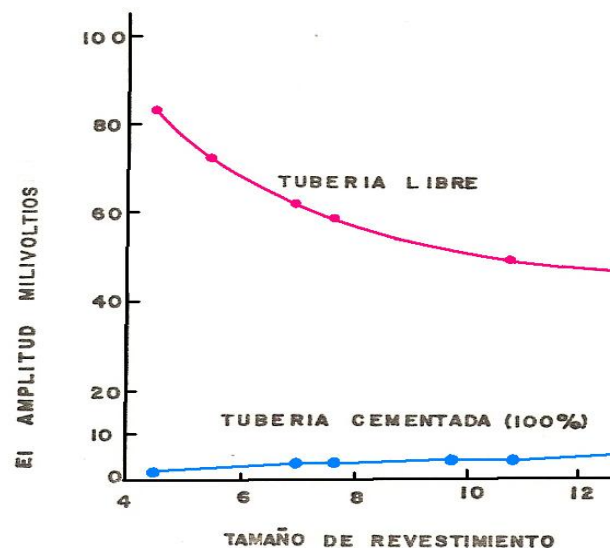
FIG. 13 – PORCENTAJE DE ATENUACIÓN VS. PORCENTAJE DEL REVESTIMIENTO CON CEMENTO ADHERIDO.



Fuente: Schlumberger

Acerca del espesor de pared, en revestimientos no cementados, la tasa de atenuación es respectivamente constante en todo rango de espesor de pared consumido.

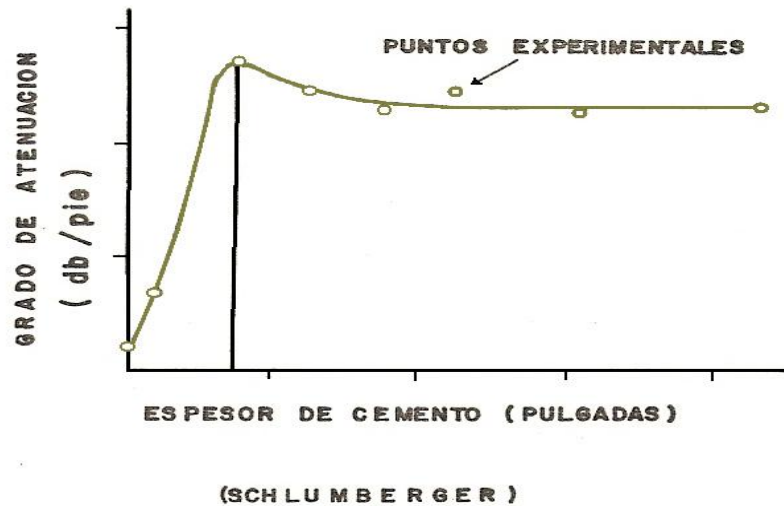
FIG. 14 - RESULTADO DEL DIÁMETRO DEL REVESTIMIENTO SOBRE LA SEÑAL DE AMPLITUD E1 PARA UN REVESTIMIENTO, USANDO UN ESPACIAMIENTO DE 3 PIES.



Fuente: Schlumberger



FIG. 15 - ATENUACIÓN VS. ESPESOR DE CEMENTO.



Cuando se tiene cemento adjunto al revestimiento, la atenuación es dependiente del espesor de pared.

3.3.4.2.4 Capa de cemento:

Para proporcionar interpretación del CBL se requiere de un mínimo de espesor de cemento de $\frac{3}{4}$ ".

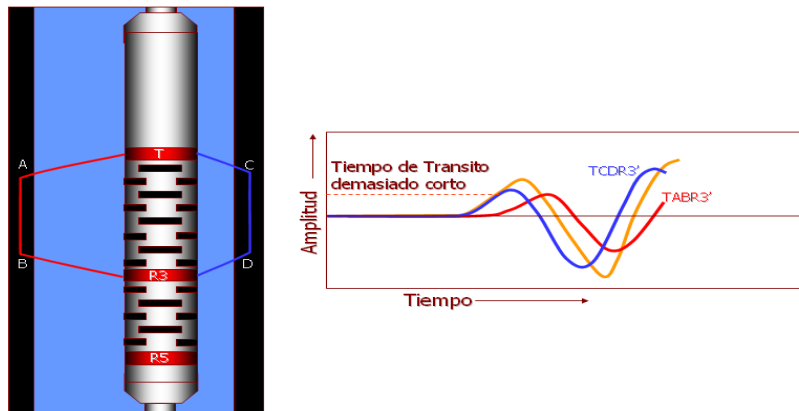
La figura 13 muestra la deducción experimental de la tasa de atenuación contra el espesor de cemento limpio fraguado a 25 horas (De las tasas de fragüe mayores se obtuvieron curvas equivalentes) obteniéndose efectos sobre la magnitud de la tasa de atenuación. Si se tienen espesores de cemento mayores a $\frac{3}{4}$ " sólo se puede esperar información cualitativa del registro.



3.3.4.2.5 Descentralización de la herramienta

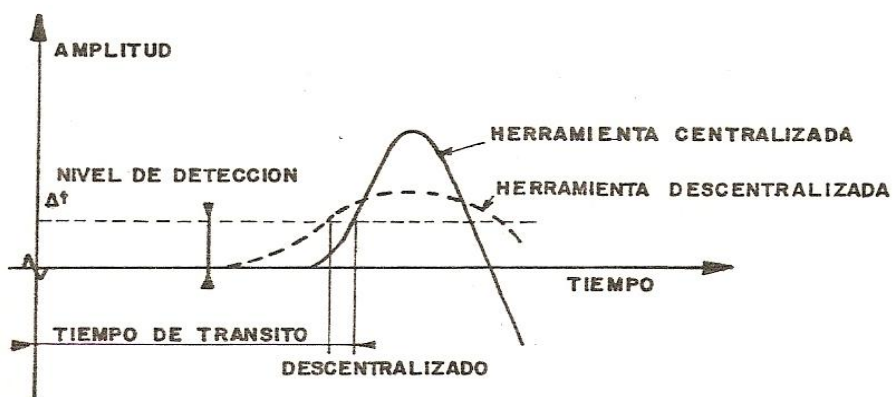
Una herramienta mal centralizada puede causar un decremento en la amplitud E1 indicando mejores resultados en trabajos de cementos a los que realmente se tienen. Las figuras 16 y 17 explican este efecto. Para corregir este problema son utilizados centralizadores como el de la figura 18.

FIG. 16 - HERRAMIENTA DE CBL-VDL DESCENTRALIZADA



Fuente: Schlumberger

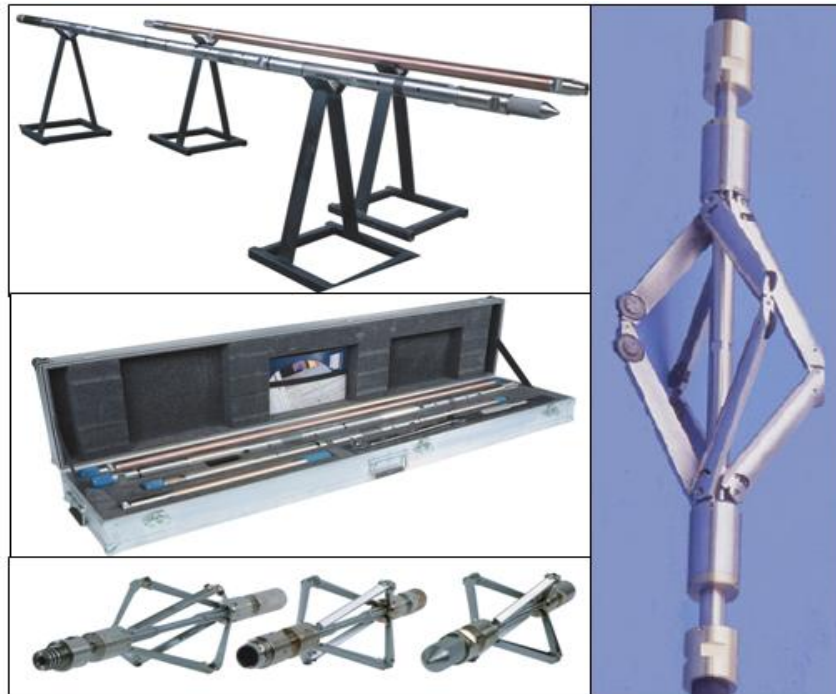
FIG. 17. EFECTO DE LA DESCENTRALIZACIÓN SOBRE LA RECEPCIÓN DE LA SEÑAL ACÚSTICA.



Fuente: Schlumberger



FIG. 18 - CENTRALIZADORES.



Fuente: Schlumberger

3.3.4.2.6 Microseparaciones:

Rupturas en los iones de la matriz del cemento disminuyen la influencia de la tasa de atenuación. Consecuentemente la información obtenida de un buen cemento puede estar representada por altas amplitudes en la curva de CBL denotando malos resultados del trabajo de cementación.

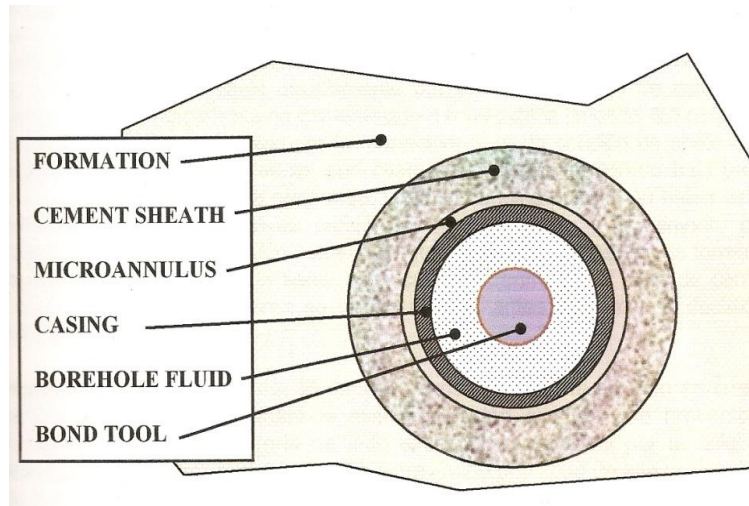
3.3.4.2.7 Microanulos:

Los resultados de un buen trabajo de cemento pueden ser alterados por la presencia de microanulos o una adherencia insuficiente entre el revestimiento y el cemento. Cuando los microanulos o microanillos son esperados, o se sospecha de



su presencia es necesario correr un nuevo registro aplicando presión en el revestimiento:

FIG. 19 – MICROANULOS.



Fuente: Schlumberger

3.4 REGISTROS ULTRASÓNICOS.

Son registros que nos permiten ver la adherencia del cemento que hay entre el espacio anular del revestimiento y la formación en 360 grados, basándose en la técnica de la impedancia, es de esta forma que se evalúa la calidad de la cementación. Este presenta un mapa visual de la calidad del cemento, dicha impedancia acústica se mide en megarays, a diferencia del CBL y el DVL, éste registro nos deja observar con alta claridad las grietas, microgránulos y franjas que tiene el cemento, usando resonancias de frecuencia muy altas (200-700 kHz) comparado con las frecuencias de los registros CBL-DVL (20-15 kHz).



3.4.1 IMPEDANCIA ACÚSTICA.

Es una propiedad de estado intensiva. Es la resistencia que opone un medio a las ondas que se propagan sobre este y por lo tanto el equivalente a la impedancia eléctrica, es decir una forma de disipación de energía de las ondas que se desplazan en un medio. Se define como la razón entre la presión sonora (p) y la velocidad de las partículas (v) de un medio material. La unidad de la impedancia acústica es el Rayleigh (Rayl).

$$1 \text{ Rayleigh (Rayl)} = 1\text{Kg/m}^2.\text{s} = 0,1/\text{cm}^2.\text{s}$$

La impedancia acústica se puede expresar como:

$$Z_a = \rho * V *$$

ρ = densidad del medio en (g/cm^3)

V = velocidad del sonido en el medio (cm/s.)

En la siguiente tabla podemos ver algunos tipos de material con su respectivo valor de impedancia acústica.

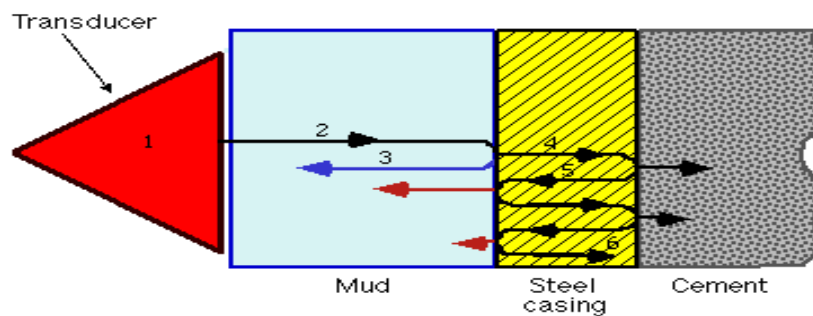


Material	Density (Kg/m ³)	Velocity (m/sec)	Acoustic Impedance (MRayl 10 ⁶ •m ² •sec ⁻¹)
Air (1-100 bar)	1.3-130	330	0.004-0.04
Water	1000	1500	1.5
Drilling Fluids	1000-2000	1300-1800	1.5-3.0
Cement Slurries	1000-2000	1800-1500	1.8-3.0
Cement (litedfil)	1400	2200-2600	3.1-3.6
Cement (class G)	1900	2700-3700	5.0-7.0
Limestone	2500	5000	12

TABLA 2 – IMPEDANCIA ACÚSTICA EN ALGUNOS MATERIALES.

3.4.2 PRINCIPIO DE REFLEXIÓN DEL REGISTRO ULTRASÓNICO

FIGURA 20 - PRINCIPIO DEL REGISTRO ULTRASÓNICO.



Fuente: Schlumberger



El transductor emite un pulso ultrasónico que viaja a través del fluido y golpea la pared interna del casing, una gran parte del pulso de energía es reflejado de regreso al transductor y parte de la energía penetra el casing y viaja a través de la cara exterior del casing, luego parte de la energía es reflejado por la pared del exterior del casing al transductor y la otra parte de energía penetra en la materia, la cual puede ser cemento, agua, gas etc. Para cada reflexión dentro del casing, un poco de energía regresa al transductor o detrás de la materia del casing.

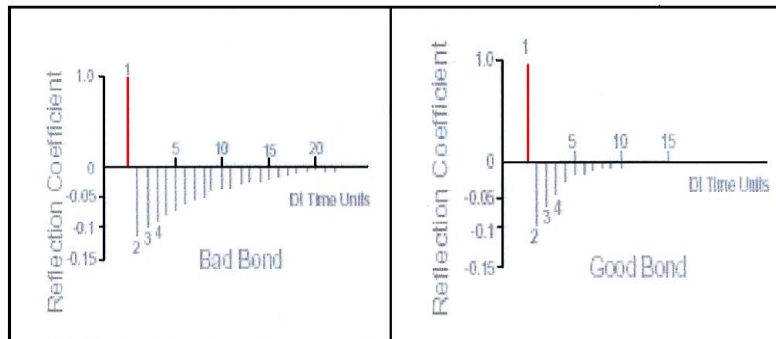
Una respuesta de la unidad de impulso demuestra el impulso ultrasónico de la onda reflejada en ambos casos de una mala o buena adherencia. Se nota que la primera amplitud es la que llega frente al casing y no entra en él teniendo coeficiente de reflexión positivo. Las demás tienen un cambio de fase de reflexión negativa tendiendo a reducir la amplitud de sus picos.

Con respecto al tiempo en que decae la onda se evalúa el tipo de cementación, en el cual si es lento el decaimiento es porque hay pobre adherencia, sin embargo si el caimiento es apresurado es un pozo con buena cementación, porque la adherencia acústica entre el cemento y el acero del casing es alta.

La señal reflejada primero se utiliza para evaluar la geometría del casing (excentricidad, ovalidad, OD casing) mientras que la resonancia es utilizada para dar la impedancia acústica de los materiales que se encuentran detrás del material del casing.



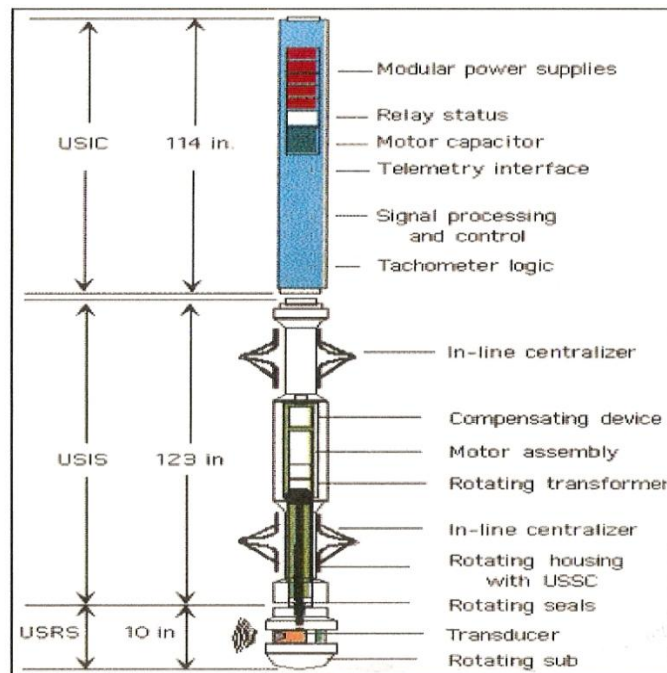
FIG. 21 - TÉCNICA ULTRASONICA.



FUENTE: SOFTWARE PARA OPERACIONES DE CEMENTACIÓN REMEDIAL EN POZOS DIRECCIONALES Y DESCRIPCION DE LOS REGISTROS APLICADOS

3.4.3 HERRAMIENTAS DE ULTRASONIDO.

FIG. 22 – HERRAMIENTA PARA REGISTRO DE ULTRASONIDO.



Fuente: Schlumberger



En la industria de servicios petroleros en Colombia conocemos las empresas de Halliburton y Schlumberger las cuales con sus herramientas CAST-V y USI respectivamente prestan este tipo de registros.

3.4.3.1 CAST- V (HALLIBURTON)

Es una herramienta ultrasónica utilizada desde 1995. No se puede operar con lodos que tengan corte de gas, porque la información sería errónea. El CAST_V recibe 100 datos por pie escaneado, el cual permite un gran rango de 360 grados y vertical del pozo para suministrar la autonomía y el esfuerzo compresivo de la capa de cemento, como también la detención e interpretación de zonas incomunicadas. Esta herramienta se puede correr combinada con las herramientas de rayos gama, CBL, CCL, VDL para ayudar en la evaluación del registro.

FIG. 23 - CAST-V



Fuente: Halliburton



Esta herramienta también puede ser utilizada para inspeccionar el casing de daños físicos, como huecos, desgaste por uso o por corrosión, calculando el espesor del casing por medio del tiempo de tránsito.

Contiene dos transductores ultrasónicos, donde actúan como transmisor y receptor, los cuales están acoplados en la cabeza giratoria de escaneo (Rotating Scanner Head), transmitiendo un impulso de gran magnitud para luego pasar a modo de receptor. El segundo transductor es el de la celda de lodo y es usado para la determinación de la velocidad del fluido del pozo. Es operado desde un punto fijo y a una distancia conocida del receptor. Esta información es utilizada para determinar el diámetro interno del casing y deformación del mismo.

3.4.3.2 USI (SCHLUMBERGER)

FIG. 24 - USI



Fuente: Schlumberger



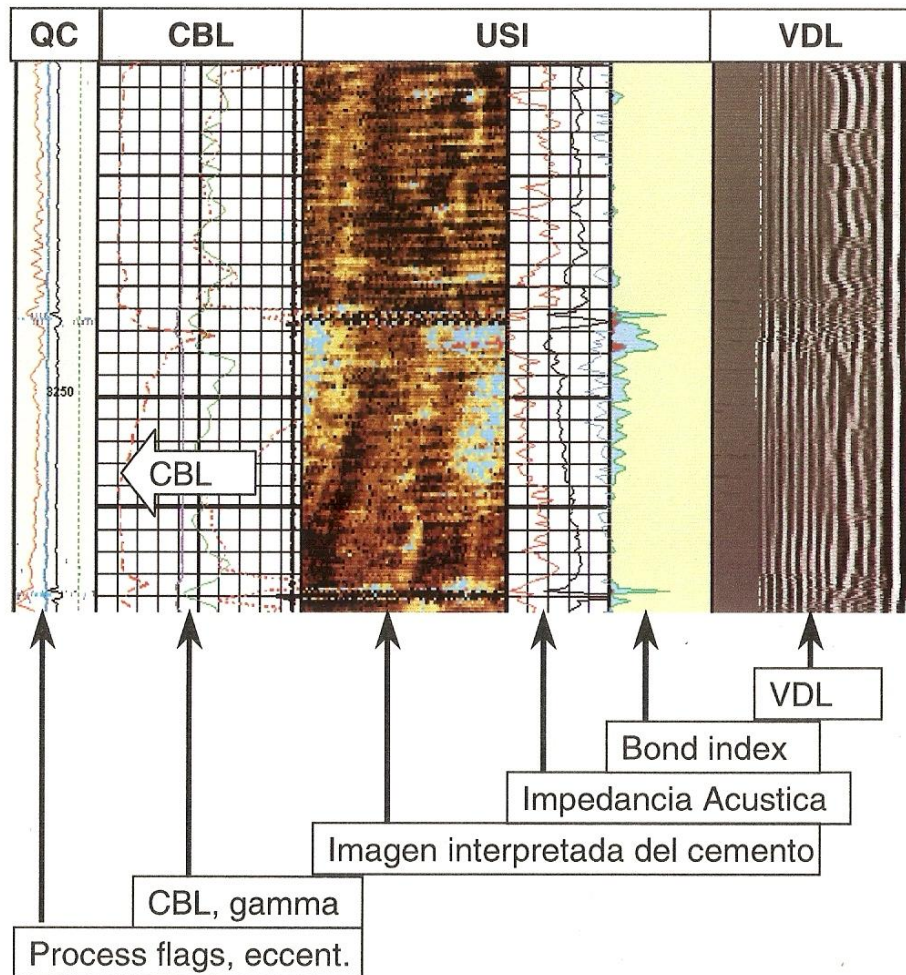
Esta herramienta tiene los mismos principios de los dos transductores y la cabeza giratoria teniendo las siguientes características.

ESPECIFICACIONES	
Longitud	248 in (6.3 m)
Diámetro	3.6 TO 11.2 in
Temperatura máxima de operación	350°F (175°C)
Presión máxima de operación	20.000 Psi
Velocidad de registro	400 a 3200 ft / hr
Combinable con	CBL - VDL , CBT , GPIT , GR , CCL
OD revestimiento	4.5 – 13.375 in
Espesor del revestimiento	0.17 – 0.59 in (4.5 – 15 mm)
Impedancia acústica	0 -10 MRayl
Desviación máxima	No limita
Peso del lodo	
Base agua	~16Lbm/gal
Base aceite	~11.6 Lbm / gal

TABLA 3 – ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA USI



FIG. 25 - PRESENTACIÓN COMBINADA USIT, CBL, VDL



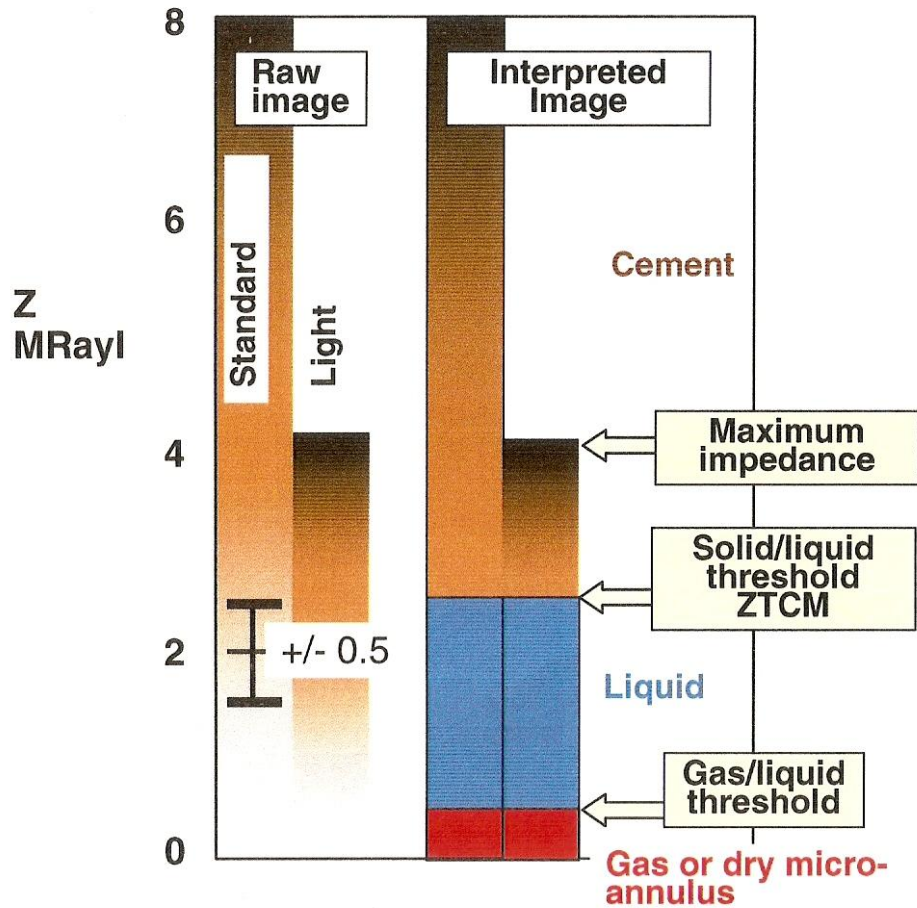
Fuente: Schlumberger

3.4.3.2.1 Operación.

El USIT distingue entre sólido, líquido y gas, aplicando los límites entre impedancia acústica, utilizando una escala de colores:



FIG. 26 – ESCALA DE COLORES PARA EVALUACIÓN DEL REGISTRO



Fuente: Schlumberger

Para esta operación hay que tener en cuenta algunas revisiones.

- ✓ Valores teóricos de propiedades del fluido (FPM).
- ✓ Revisión de ventanas para adquisición de ecos.
- ✓ Centralización dentro de las especificaciones.



- ✓ Radios internos y espesores cercanos a los valores nominales.
- ✓ Condición interna del revestimiento bueno, para una buena evaluación del cemento.

CAST-V versus USI

	<u>CAST-V</u>	<u>USI</u>
• Muestras/revolución	20	18
• Rev./muestra de profundidad	5	4
• Total disparos/muestra	100	72
• TT del fluido en tiempo real	Si	No
• Velocidad de Muestreo (")	6, 3, 1 6,	1.5, 0.6*, 0.4*
• Velocidad de Registro (pies/min.)	60, 30, 10	53, 27**, 13 15*
• Temperatura	350° F	350° F
• Presión	20,000 psi	20,000 psi
• Combinabilidad	All DITS	CBL, CBT, GR, CCL, Navegación

TABLA 4 –COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE CAST-V Y USI.



4. PROCEDIMIENTO

Para realizar la evaluación de la integridad de los cementos de los pozos ubicados en la Superintendencia Central de Operaciones de Ecopetrol, se realiza una selección de los pozos que de acuerdo a los siguientes criterios presentan mayor riesgo:

- Tipo de levantamiento.
- Zona de afectación en caso de fuga (cercanía a zonas pobladas y/o alto impacto).
- Agresividad del fluido de producción.
- Número de mantenimiento por año.
- Pérdida diferida promedio.

4.1 SELECCIÓN DE LOS POZOS CANDIDATOS

Aplicando los anteriores criterios a los pozos, se generó la siguiente tabla, en la cual se listan los posibles pozos candidatos para realizarles la evaluación de la integridad de los cementos. Ver la tabla 5. Evaluación de los Pozos.

De los pozos que presentan alto riesgo, con ayuda del asesor y teniendo en cuenta los registros históricos de cada uno de ellos, es decir, su comportamiento durante toda la producción y durante la perforación, se seleccionaron 20 pozos candidatos.



TABLA 5. EVALUACIÓN POZO

ESTADO ACTUAL			PERDIDAS POR DIFERIDA PROMEDIO						
POZO	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ESTADO	CERCANIA A ZONAS POBLADAS (m) y/o ALTA CONSECUENCIA	AGRESIVIDAD DEL FLUIDO	PRODUCCIÓN NETA DEL POZO (BPD)	TIEMPO EN DIAS PROMEDIO PARA ATENCIÓN DE PARADAS	DIFERIDA PROMEDIO	N° EVENTOS O INTERVENCIONES POR AÑO	VALOR DEL RIESGO PRELIMINAR
CEste-1	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	BAJA	883	2.50	2207.5	2.10	ALTO
C-2	BM	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	148	1.50	222	0.80	ALTO
C-7	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	1061	2.50	2652.5	1.30	ALTO
C-12	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	740	2.50	1850	2.00	ALTO
C-13	BM	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	320	1.50	480	1.20	ALTO
C-18	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	MODERADA	1713	2.50	4282.5	0.90	ALTO
C-20	BM	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	612	1.50	918	0.70	ALTO
C-21	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	480	2.50	1200	2.10	ALTO
C-23	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	811	2.50	2027.5	1.60	ALTO
C-24	BES	PRODUCTOR	Mayor de 500	SEVERA	811	2.50	2027.5	1.10	ALTO
C-25	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	1987	2.50	4967.5	1.29	ALTO
C-26	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	979	2.50	2447.5	1.43	ALTO
C-29	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	490	2.50	1225	1.20	ALTO

ESTADO ACTUAL			PERDIDAS POR DIFERIDA PROMEDIO						
POZO	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ESTADO	CERCANIA A ZONAS POBLADAS (m) y/o ALTA CONSECUENCIA	AGRESIVIDAD DEL FLUIDO	PRODUCCIÓN NETA DEL POZO (BPD)	TIEMPO EN DIAS PROMEDIO PARA ATENCIÓN DE PARADAS	DIFERIDA PROMEDIO	N° EVENTOS O INTERVENCIONES POR AÑO	VALOR DEL RIESGO PRELIMINAR
CN-3	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	1785	2.50	4462.5	0.50	ALTO
CN-20	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	1290	2.50	3225	1.50	ALTO
CN-25	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	1395	2.50	3487.5	1.50	ALTO
CN-30	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	MODERADA	895	2.50	2237.5	2.00	ALTO

ESTADO ACTUAL			PERDIDAS POR DIFERIDA PROMEDIO						
POZO	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ESTADO	CERCANIA A ZONAS POBLADAS (m) y/o ALTA CONSECUENCIA	AGRESIVIDAD DEL FLUIDO	PRODUCCIÓN NETA DEL POZO (BPD)	TIEMPO EN DIAS PROMEDIO PARA ATENCIÓN DE PARADAS	DIFERIDA PROMEDIO	N° EVENTOS O INTERVENCIONES POR AÑO	VALOR DEL RIESGO PRELIMINAR
CH-2	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	MODERADA	1103.27	2.50	2758.175	2.40	ALTO
CH-6	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	265.96	2.50	664.9	1.30	ALTO
CH-13	BM	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	443.7	1.50	665.55	2.30	ALTO
CH-18:SF	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	BAJA	2845.63	2.50	7114.075	1.57	ALTO
CH-23:SF	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	285.65	2.50	714.125	1.33	ALTO



TABLA 5. EVALUACIÓN POZO

POZO	ESTADO ACTUAL		CERCANIA A ZONAS POBLADAS (m) y/o ALTA CONSECUENCIA	AGRESIVIDAD DEL FLUIDO	PERDIDAS POR DIFERIDA PROMEDIO			N° EVENTOS O INTERVENCIONES POR AÑO	VALOR DEL RIESGO PRELIMINAR
	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ESTADO			PRODUCCIÓN NETA DEL POZO (BPD)	TIEMPO EN DIAS PROMEDIO PARA REACTIVACION DEL POZO	DIFERIDA PROMEDIO		
APIAY-1	FN	POZO GASIFERO	Entre 0 y 100	BAJA	83	4.50	373.5	1.10	ALTO
APIAY-10	FN	POZO GASIFERO	Entre 100 y 500	BAJA	165	4.50	742.5	1.70	ALTO
APIAY-11	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	1494	6.00	8964	0.80	ALTO
APIAY-16	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	271	3.00	813	1.20	ALTO
APIAY-17	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	336	3.00	1008	0.57	ALTO
APIAY-18	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	41	3.00	123	1.14	ALTO
APIAY-24	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	MODERADA	745	3.00	2235	2.33	ALTO
GUATI-2	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	287	3.00	861	1.10	ALTO

POZO	ESTADO ACTUAL		CERCANIA A ZONAS POBLADAS (m) y/o ALTA CONSECUENCIA	AGRESIVIDAD DEL FLUIDO	PERDIDAS POR DIFERIDA PROMEDIO			N° EVENTOS O INTERVENCIONES POR AÑO	VALOR DEL RIESGO PRELIMINAR
	TIPO DE LEVANTAMIENTO	ESTADO			PRODUCCIÓN NETA DEL POZO (BPD)	TIEMPO EN DIAS PROMEDIO PARA ATENCIÓN DE PARADAS	DIFERIDA PROMEDIO		
SURIA-1	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	183	3.00	549	0.70	ALTO
SURIA-2	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	SEVERA	103	3.00	309	1.20	ALTO
SURIA-4	BES	PRODUCTOR	Entre 0 y 100	MODERADA	81	3.00	243	1.20	ALTO
SURIA-5	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	456	3.00	1368	1.00	ALTO
SURIA-9	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	271	3.00	813	1.20	ALTO
SURIA-10	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	208	3.00	624	1.75	ALTO
SURIA-13	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	MODERADA	828	3.00	2484	3.00	ALTO
SURIA SUR-2	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	211	3.00	633	1.30	ALTO
SURIA SUR-9	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	194	3.00	582	1.20	ALTO
SURIA SUR-11	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	547	3.00	1641	1.50	ALTO
SURIA SUR-14	BES	PRODUCTOR	Entre 100 y 500	SEVERA	8	3.00	24	2.00	ALTO



Pozos seleccionados:

- APIAY 11
- APIAY 16
- SURIA 5
- SURIA 9
- SURIA 10
- SURIA 13
- SURIA SUR 9
- SURIA SUR 11
- CASTILLA 21
- CASTILLA 23
- CASTILLA 24
- CASTILLA 26
- CASTILLA 29
- CHICHIMENE 6
- CHICHIMENE 13
- CHICHIMENE23
- CATILLA NORTE 3
- CASTILLE NORTE 20
- CASTILLA NORTE 25
- CASTILLA NORTE 30

4.2 EVALUACIÓN DE LOS POZOS CANDIDATOS

La evaluación de los pozos candidatos, se hace basada en los registros de cementación mas reciente que se tiene de ellos, comparando el registro de la zona de interés con la sección repetida de dicho registro.



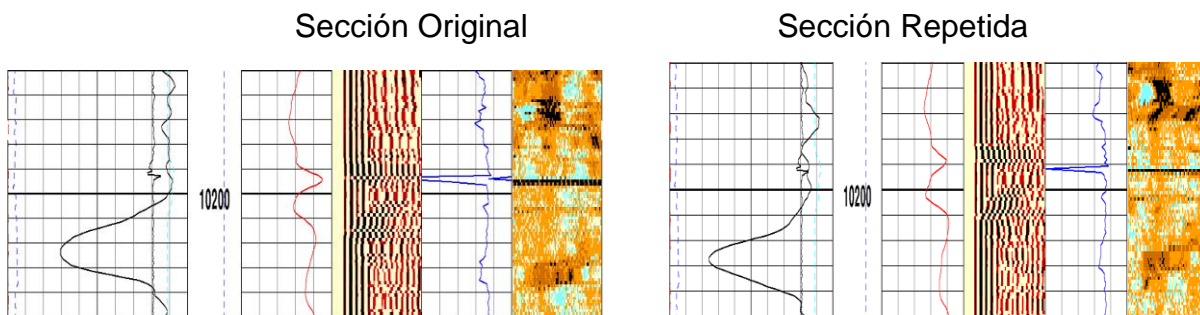
4.2.1. VERIFICACION DE LOS REGISTROS

Se realiza para comprobar la exactitud de la herramienta, mediante una segunda corrida en un tramo específico (200 ft), donde las lecturas de los registros deben ser similares en la corrida I (sección original) como en la corrida II (sección repetida), para que la compañía prestadora del servicio garantice la exactitud del registro; como se muestra a continuación en la Tabla 6, estas lecturas son idénticas con lo que se verifica que los datos presentes en los registros son confiables y corresponden a una buena corrida de dichas herramientas:

TABLA 6. DATOS COMPARACIÓN DE LOS REGISTROS

Profundidad (FT)	Sección Original		Sección Repetida	
	G.R (API)	CBL (Mv)	G.R (API)	CBL (Mv)
10190	120	31	120	31
10192	128	28	128	28
10194	134	26	134	26
10196	128	30	128	30
10198	130	39	130	39
10200	130	28	130	28
10202	115	40	115	40
10204	75	40	75	40
10206	43	37	43	37
10208	105	35	105	35
10210	125	41	125	41

FIG. 27 COMPARACIÓN DE REGISTROS





4.2.2. INTERPRETACIÓN DE LOS REGISTROS

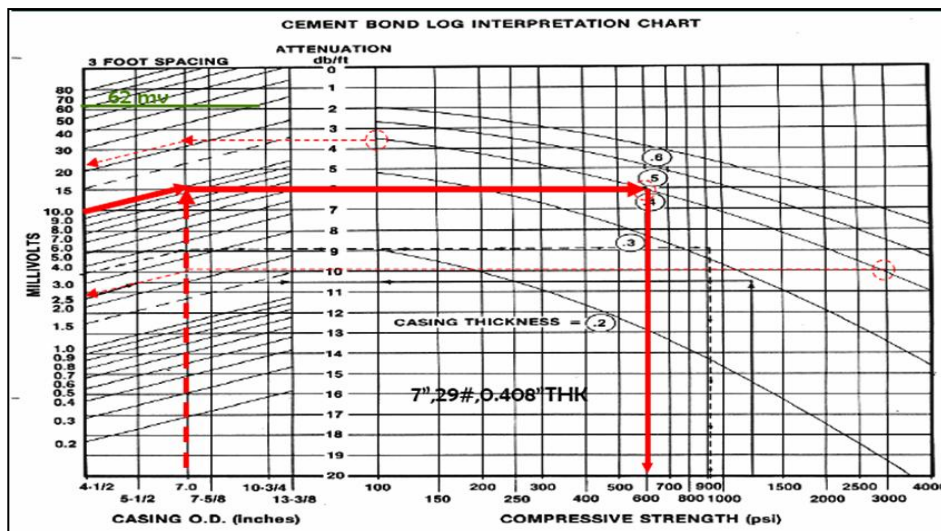
La interpretación de los registros se puede realizar de dos formas: una cuantitativa y otra cualitativa.

4.2.2.1. INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA

Para realizar la interpretación cuantitativa, primero se debe analizar el estado mecánico del pozo, para determinar el tipo de linner, espesor y peso del mismo. Ver la figura 28.

Luego de hacer la interpretación del estado mecánico, se realiza la lectura del registro de cementación (Amplitud Mv), cada 2 pies, en todo el linner de producción, (Ver Tabla 11 – Evaluación registro APIAY 16). Para llevar a cabo la interpretación del registro CBL se debe tener en cuenta el siguiente nomograma donde se relaciona la amplitud en mv con la atenuación y el esfuerzo compresivo:

FIG.28 NOMOGRAMA



Fuente: Schlumberger



4.2.2.1.1 Atenuación: Para determinar la atenuación se entra al nomograma con el diámetro externo del csg hasta interceptar con la amplitud medida en mv del registro CBL; una vez interceptada se avanza horizontalmente hasta determinar la atenuación. Se sigue avanzando horizontalmente hasta interceptar la curva que representa el espesor del revestimiento que se tiene en el pozo y se baja verticalmente hasta leer el esfuerzo compresivo que puede resistir el cemento. Los revestimientos que se utilizaron en los pozos seleccionados fueron los siguientes:

- Revestimiento de 7 pulgadas y de 26 lbs/ft
- Revestimiento de 7 pulgadas y de 29 lbs/ft

Para los dos tipos de revestimientos se calcularon las correlaciones para determinar la atenuación de la siguiente manera. Revestimiento de 7 pulgadas de 29 lbs. /ft y 26lbs/ft. Se calculó con el nomograma la atenuación para las diferentes amplitudes; los datos obtenidos son:

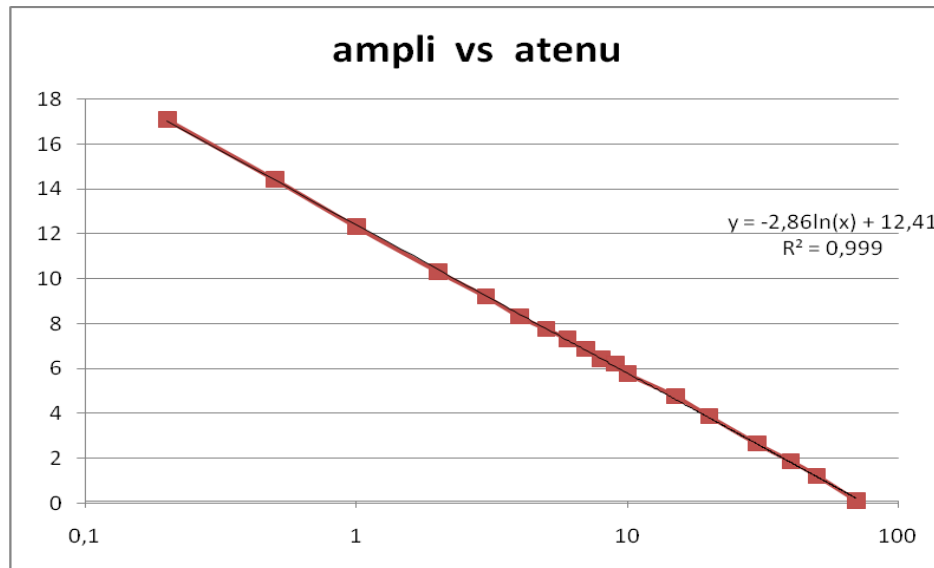
TABLA 7. DATOS DE ATENUACIÓN PARA CSG DE 7”

Amplitud(mv)	Atenuación(Db)
0,2	17,11
0,5	14,44
1	12,33
2	10,33
3	9,22
5	7,77
6	7,33
7	6,88
8	6,44
9	6,22
10	5,77
15	4,77
20	3,88
30	2,66
40	1,88
50	1,22
70	0,11



Con los datos anteriores graficamos amplitud (mv) Vs atenuación (Db) y calculamos la correlación.

FIG. 29 – AMPLIUD VS. ATENUACIÓN CSG. 7 “



Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga

La correlación equivalente a los datos graficados, es la siguiente:

$$Atenu = -2.86 \times \ln(Ampli) + 12.41 \quad (4.1)$$

Atenuación en Db y Amplitud en Mv.

Una vez determinada la correlación de la atenuación con la amplitud se calcula para cada peso unitario del csg de 7”, el esfuerzo compresivo.

4.2.2.1.2. Esfuerzo Compresivo: Se calcula con el nomograma el esfuerzo compresivo del cemento correspondiente para las diferentes amplitudes con el correspondiente espesor del csg (sólo se calcularon las que alcanzaron a estar dentro del rango de la curva), los datos son los siguientes:



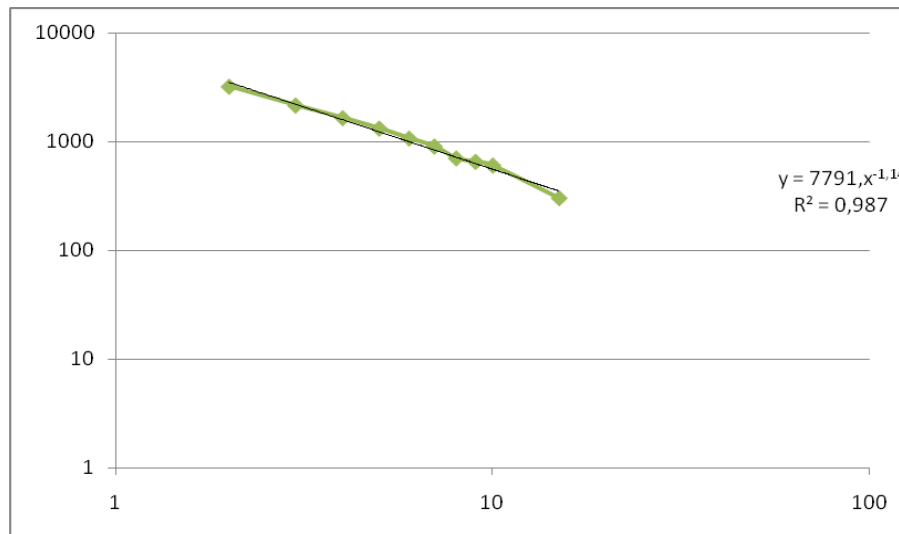
Revestimiento de 29 lbs /ft.

TABLA 8. DATOS DE AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO. REVESTIMIENTO 29 LB/FT.

Amplitud(mv)	Esfuerzo compresivo psi
2	3210
3	2153.84
4	1647.05
5	1318.18
6	1068.18
7	900
8	700
9	650
10	600
15	300

Con los datos anteriores se grafica amplitud (mv) Vs. esfuerzo compresivo (psi) y se calcula la correlación:

FIG. 30 – AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO CSG. 7 “, 29 LB/FT.



Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



La correlación equivalente a los datos graficados, es la siguiente:

$$Esf. comp. = 7791 \times Ampli^{-1.14} \quad (4.2)$$

Atenuación en Db y Esfuerzo compresivo en Psi.

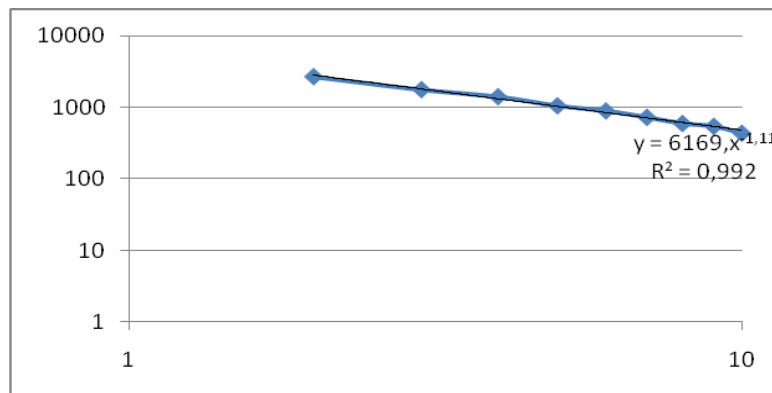
Revestimiento de 26 lbs /ft.

TABLA 9. DATOS DE AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO. REVESTIMIENTO 7 “, 26 LB/FT.

Amplitud(mv)	Esfuerzo compresivo psi
2	2703
3	1779.16
4	1417.34
5	1058
6	896
7	728.12
8	597.08
9	545.54
10	436

Con los datos anteriores graficamos amplitud (mv) Vs. esfuerzo compresivo (psi) y calculamos la correlación:

FIG. 31 – AMPLITUD VS. ESFUERZO COMPRESIVO CSG. 7 “, 26 LB/FT.



Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



La correlación equivalente a los datos graficados, es la siguiente:

$$Esf. comp. = 6169 \times Ampli^{-1.11} \quad (4.3)$$

Atenuación en Db y Esfuerzo compresivo en Psi.

Las correlaciones 4.1, 4.2, y 4.3 se determinaron para facilitar el calculo de la atenuación y el esfuerzo compresivo, para no tener que entrar al nomograma cada vez que se tenga una lectura distinta del CBL.

4.2.2.1.3. Índice de Adherencia:

Existen dos índices de adherencias que se trabajan, el primero es el teórico que ha sido estipulado por la empresa Halliburton, (ver tabla 10).

TABLA 10. TABLA DE INTERPRETACIÓN DE CBL

Tamaño del Revestidor (")	Peso (lb/ft)	Tiempo de Tránsito (usec)	Amplitud de Tubería Libre (mv)	100% Cemento Clase H 3000 psi (mv)	60% Bond Cut Off (mv)	Intervalo para Aislamiento (pies)
4-1/2	9.5	254	81	0.2	2.3	5
	11.6			0.6	4.6	
	13.5			1.0	7.0	
5-1/2	15.5	269	72	0.7	4.8	6
	17			1.0	6.0	
	20			2.1	9.0	
	23			3.5	13.0	
7	23	289	62	1.0	5.5	11
	26			1.7	7.5	
	29			2.4	9.3	
	32			3.3	13.0	
	35			4.0	14.0	
	38			5.0	15.0	
	40			6.0	17.0	
7-5/8	26.4	302	59	1.1	5.5	12
	29.7			1.8	7.5	
	33.7			2.6	10.0	
	39			3.5	13.0	
9-5/8	40	332	51	1.8	6.8	15
	43.5			2.2	8.5	
	47			2.7	9.0	
	53.5			4.0	12.0	
10-3/4	40.5	352	48	1.2	5.1	18
	45.5			1.8	6.5	
	48			2.1	7.6	
	51			2.5	8.0	
	54			2.7	8.4	
	55.5			2.8	8.8	



El otro es el índice real, que se calcula usando la ecuación 4.1, 4.2 y 4.3, halladas anteriormente, teniendo en cuenta que la atenuación equivalente a una sección 100% cementada es el valor más bajo de ésta que se lea en el registro. Para el caso que se muestra en el procedimiento (APIAY 16), al usar la ecuación 4.1, se tiene que el valor más bajo de atenuación es de 11,6596382, equivalente a una amplitud de 1.3 Mv.

Finalmente se halla el índice de adherencia para cada valor de amplitud con la siguiente ecuación:

$$\text{índice adherencia: } \frac{\text{atenuacion}}{\text{atenuacion 100\% cementada}} \quad (4.4)$$

4.2.2.2 Interpretación cualitativa

Es evaluada con el registro ultrasónico, el cual por medio de una escala de colores distingue entre gas, líquido y sólido en un área perimetral de 360°.

NOTA: Para garantizar la migración del fluidos de zonas deseadas se debe tener un sello hidráulico de 11 ft por encima y por debajo de los intervalos cañoneados, con un índice de adherencia mayor o igual a 60% (ver tabla 10 de Halliburton), y debe soportar un esfuerzo compresivo mayor a 500 Psi como lo muestran las gráficas de los resultados.



5. ANALISIS Y RESULTADOS

5.1. RESULTADOS

Usando las ecuaciones anteriormente mencionadas, y teniendo en cuenta la profundidad de las zonas de interés, se tienen los siguientes datos. (Ver tabla 11. Evaluación registro APIAY 16). En rojo aparecen los datos de las zonas que interesan tengan el sello hidráulico.

De la misma forma en los anexos se tiene la Evaluación de los registros de cada uno de los pozos seleccionados como candidatos.

TABLA 11. EVALUACIÓN REGISTRO APIAY 16

Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9130	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9132	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9134	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9136	23	3,442486542	218,385335	0,330132231	0,347509706
9138	28	2,879895101	174,5151153	0,276180076	0,290717621
9140	27	2,983906563	181,9024352	0,286154708	0,301217297
9142	29	2,779533926	167,6715916	0,266555504	0,280586432
9144	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
9146	23	3,442486542	218,385335	0,330132231	0,347509706
9148	21	3,702665828	242,2496779	0,355083256	0,373774101
9150	21	3,702665828	242,2496779	0,355083256	0,373774101
9152	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9154	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9156	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9158	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9160	8,3	6,357509228	697,9819295	0,60968102	0,641773362



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9162	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9164	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9166	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9168	2,5	9,789408507	2741,2055	0,938797939	0,988214312
9170	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9172	2,2	10,15501195	3171,256338	0,973859073	1,025120991
9174	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9176	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
9178	3,1	9,174189961	2145,067058	0,879798879	0,926109664
9180	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9182	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9184	4,4	8,172611013	1438,987937	0,783748106	0,825002978
9186	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9188	2,6	9,677237267	2621,341407	0,92804079	0,976890929
9190	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9192	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9194	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9196	2,6	9,677237267	2621,341407	0,92804079	0,976890929
9198	2,6	9,677237267	2621,341407	0,92804079	0,976890929
9200	2,8	9,465288467	2408,979191	0,907715037	0,955495271
9202	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9204	2,7	9,569299929	2510,952593	0,917689669	0,965994946
9206	2,7	9,569299929	2510,952593	0,917689669	0,965994946
9208	2,9	9,364927292	2314,512266	0,898090465	0,945364081
9210	2,7	9,569299929	2510,952593	0,917689669	0,965994946
9212	2,6	9,677237267	2621,341407	0,92804079	0,976890929
9214	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9216	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9218	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9220	2,7	9,569299929	2510,952593	0,917689669	0,965994946
9222	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9224	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9226	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
9228	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
9230	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9232	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9234	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9236	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9238	8,4	6,323257321	688,5172385	0,606396284	0,638315724
9240	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9242	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9244	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9246	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9248	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9250	19	3,98890452	271,527674	0,382533361	0,402669123
9252	20	3,842205698	256,1055613	0,368465039	0,387860273
9254	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9256	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9258	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9260	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9262	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9264	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9266	7,8	6,535206122	749,2130911	0,626722037	0,659711383
9268	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
9270	7,5	6,647377361	783,4717907	0,637479186	0,671034766
9272	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9274	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9276	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9278	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9280	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9282	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
9284	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
9286	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9288	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9290	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9292	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9294	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9296	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9298	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9300	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9302	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9304	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9306	7,9	6,498772508	738,4112764	0,623228077	0,656033508
9308	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9310	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
9312	46	1,460085606	99,09443738	0,140021264	0,147391693
9314	46	1,460085606	99,09443738	0,140021264	0,147391693
9316	46	1,460085606	99,09443738	0,140021264	0,147391693
9318	46	1,460085606	99,09443738	0,140021264	0,147391693
9320	45	1,522945279	101,6087102	0,146049466	0,153737207
9322	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
9324	32	2,497995318	149,8725957	0,239556134	0,252165871
9326	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
9328	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
9330	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
9332	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
9334	20	3,842205698	256,1055613	0,368465039	0,387860273
9336	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9338	20	3,842205698	256,1055613	0,368465039	0,387860273
9340	20	3,842205698	256,1055613	0,368465039	0,387860273
9342	24	3,320766045	208,0426556	0,318459314	0,335222351
9344	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9346	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9348	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9350	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9352	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9354	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9356	16	4,480396254	330,2907598	0,429667101	0,452283884
9358	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9360	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9362	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9364	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9366	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9368	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9370	9	6,125937709	636,4389398	0,587473461	0,618396843
9372	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9374	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9376	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9378	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9380	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9382	9	6,125937709	636,4389398	0,587473461	0,618396843



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9384	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9386	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
9388	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9390	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9392	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9394	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9396	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9398	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9400	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9402	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9404	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9406	8,3	6,357509228	697,9819295	0,60968102	0,641773362
9408	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9410	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9412	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9414	7	6,844696974	847,5814412	0,656402009	0,690953647
9416	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9418	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9420	8,1	6,427268784	717,6625482	0,616370916	0,6488154
9422	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9424	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9426	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9428	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9430	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9432	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9434	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9436	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9438	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
9440	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
9442	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9444	8,3	6,357509228	697,9819295	0,60968102	0,641773362
9446	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
9448	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9450	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9452	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9454	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9456	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9458	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9460	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9462	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9464	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9466	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9468	4,4	8,172611013	1438,987937	0,783748106	0,825002978
9470	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9472	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9474	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9476	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9478	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9480	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9482	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9484	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
9486	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9488	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9490	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9492	7	6,844696974	847,5814412	0,656402009	0,690953647
9494	8,4	6,323257321	688,5172385	0,606396284	0,638315724
9496	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9498	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9500	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9502	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9504	6,2	7,191789025	973,3447222	0,689687912	0,725991651
9506	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9508	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9510	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9512	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9514	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9516	7	6,844696974	847,5814412	0,656402009	0,690953647
9518	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9520	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9522	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9524	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9526	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9528	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9530	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9532	5,8	7,382526356	1050,232108	0,707979499	0,745246069
9534	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9536	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9538	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9540	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
9542	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9544	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9546	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9548	9,9	5,853350595	570,911883	0,561332533	0,590879911
9550	7	6,844696974	847,5814412	0,656402009	0,690953647
9552	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9554	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9556	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9558	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9560	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9562	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9564	2,2	10,15501195	3171,256338	0,973859073	1,025120991
9566	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9568	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9570	8,1	6,427268784	717,6625482	0,616370916	0,6488154
9572	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9574	16	4,480396254	330,2907598	0,429667101	0,452283884
9576	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9578	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
9580	23	3,442486542	218,385335	0,330132231	0,347509706
9582	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9584	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9586	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9588	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9590	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
9592	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9594	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9596	8,2	6,392176319	707,6938355	0,613005571	0,645272911
9598	8,2	6,392176319	707,6938355	0,613005571	0,645272911
9600	8,4	6,323257321	688,5172385	0,606396284	0,638315724
9602	9,8	5,882386377	577,5578327	0,564117046	0,593810995
9604	9	6,125937709	636,4389398	0,587473461	0,618396843



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9606	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9608	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9610	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
9612	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
9614	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
9616	6,4	7,100987748	938,7458585	0,680980128	0,716825508
9618	7,6	6,609496013	771,7305792	0,633846389	0,667210746
9620	8,1	6,427268784	717,6625482	0,616370916	0,6488154
9622	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
9624	19	3,98890452	271,527674	0,382533361	0,402669123
9626	36	2,161135836	131,0413485	0,207251528	0,218160818
9628	24	3,320766045	208,0426556	0,318459314	0,335222351
9630	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
9632	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
9634	28	2,879895101	174,5151153	0,276180076	0,290717621
9636	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
9638	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
9640	29	2,779533926	167,6715916	0,266555504	0,280586432
9642	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874
9644	28	2,879895101	174,5151153	0,276180076	0,290717621
9646	21	3,702665828	242,2496779	0,355083256	0,373774101
9648	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9650	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
9652	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9654	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9656	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
9658	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
9660	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
9662	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
9664	22	3,569618583	229,737213	0,342324112	0,360343341
9666	22	3,569618583	229,737213	0,342324112	0,360343341
9668	23	3,442486542	218,385335	0,330132231	0,347509706
9670	16	4,480396254	330,2907598	0,429667101	0,452283884
9672	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
9674	19	3,98890452	271,527674	0,382533361	0,402669123
9676	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
9678	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9680	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9682	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9684	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9686	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9688	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9690	4,4	8,172611013	1438,987937	0,783748106	0,825002978
9692	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9694	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9696	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9698	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9700	6,7	6,969972475	890,9799463	0,668415849	0,70359987
9702	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9704	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9706	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9708	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9710	5,8	7,382526356	1050,232108	0,707979499	0,745246069
9712	5,9	7,333636276	1029,963682	0,703290972	0,740310747
9714	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
9716	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9718	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9720	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9722	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9724	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9726	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9728	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9730	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
9732	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9734	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9736	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9738	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9740	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9742	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9744	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9746	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9748	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9750	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9752	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9754	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9756	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9758	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9760	3,5	8,82709791	1867,908652	0,846512976	0,89107166
9762	3,5	8,82709791	1867,908652	0,846512976	0,89107166
9764	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9766	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9768	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9770	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9772	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9774	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9776	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9778	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9780	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9782	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9784	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9786	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9788	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9790	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9792	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9794	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9796	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9798	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9800	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9802	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9804	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
9806	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9808	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9810	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9812	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9814	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9816	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9818	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9820	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9822	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9824	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9826	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9828	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9830	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9832	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9834	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9836	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9838	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9840	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9842	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9844	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9846	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9848	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9850	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9852	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9854	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9856	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9858	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9860	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9862	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9864	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9866	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9868	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9870	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9872	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9874	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9876	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
9878	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9880	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9882	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9884	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9886	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9888	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9890	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9892	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9894	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9896	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9898	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9900	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9902	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
9904	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9906	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9908	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9910	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9912	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
9914	9	6,125937709	636,4389398	0,587473461	0,618396843
9916	8,4	6,323257321	688,5172385	0,606396284	0,638315724
9918	8,1	6,427268784	717,6625482	0,616370916	0,6488154
9920	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9922	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9924	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9926	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9928	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9930	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9932	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9934	9,6	5,941357538	591,2947169	0,569772342	0,599763974
9936	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
9938	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
9940	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9942	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9944	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9946	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9948	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9950	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9952	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
9954	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9956	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9958	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9960	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9962	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
9964	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9966	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9968	5,8	7,382526356	1050,232108	0,707979499	0,745246069
9970	4,2	8,305658258	1517,361335	0,796507251	0,838433737
9972	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9974	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
9976	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9978	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9980	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
9982	5,7	7,43226674	1071,262417	0,712749569	0,750267226
9984	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
9986	2,3	10,02787991	3014,556801	0,961667192	1,012287355
9988	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
9990	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
9992	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
9994	3,9	8,517607058	1651,123476	0,816833003	0,859829395
9996	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
9998	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
10000	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10002	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10004	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10006	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10008	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10010	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
10012	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
10014	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
10016	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
10018	2,2	10,15501195	3171,256338	0,973859073	1,025120991
10020	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
10022	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10024	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
10026	7,8	6,535206122	749,2130911	0,626722037	0,659711383
10028	7,9	6,498772508	738,4112764	0,623228077	0,656033508
10030	5,8	7,382526356	1050,232108	0,707979499	0,745246069
10032	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10034	6,3	7,146028048	955,7514773	0,685299464	0,721372204
10036	3,8	8,591896949	1700,747747	0,823957356	0,867328759
10038	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
10040	3,6	8,746529202	1808,874154	0,838786489	0,882938467
10042	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
10044	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
10046	9,9	5,853350595	570,911883	0,561332533	0,590879911
10048	9,6	5,941357538	591,2947169	0,569772342	0,599763974



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
10050	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10052	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10054	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
10056	16	4,480396254	330,2907598	0,429667101	0,452283884
10058	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
10060	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10062	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10064	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10066	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10068	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
10070	5,6	7,48288753	1093,097381	0,71760407	0,755377258
10072	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
10074	2	10,42759906	3535,24087	1	1,052637923
10076	2,1	10,28805919	3343,976435	0,986618217	1,03855175
10078	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
10080	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
10082	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10084	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10086	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10088	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
10090	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10092	14	4,862296037	384,5981968	0,466291043	0,490835634
10094	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10096	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10098	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
10100	8,2	6,392176319	707,6938355	0,613005571	0,645272911
10102	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10104	9,9	5,853350595	570,911883	0,561332533	0,590879911
10106	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
10108	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
10110	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10112	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10114	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
10116	4,4	8,172611013	1438,987937	0,783748106	0,825002978
10118	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
10120	5,9	7,333636276	1029,963682	0,703290972	0,740310747
10122	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
10124	24	3,320766045	208,0426556	0,318459314	0,335222351
10126	18	4,143536772	288,7902645	0,397362494	0,41827883
10128	17	4,307009836	308,2346329	0,413039455	0,434780994
10130	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
10132	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292
10134	15	4,664976425	355,5078288	0,447368219	0,470916753
10136	8,2	6,392176319	707,6938355	0,613005571	0,645272911
10138	5,8	7,382526356	1050,232108	0,707979499	0,745246069
10140	4,3	8,238361035	1477,199544	0,790053491	0,831640265
10142	7	6,844696974	847,5814412	0,656402009	0,690953647
10144	8	6,462797191	727,898156	0,619778067	0,652401897
10146	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
10148	5	7,80700757	1243,84825	0,748686972	0,788096299
10150	5,9	7,333636276	1029,963682	0,703290972	0,740310747
10152	8,4	6,323257321	688,5172385	0,606396284	0,638315724
10154	10	5,824606634	564,4080565	0,558576006	0,587978286
10156	5,9	7,333636276	1029,963682	0,703290972	0,740310747
10158	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
10160	4	8,445198127	1604,149404	0,809889034	0,85251991
10162	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
10164	4,1	8,374577255	1559,622916	0,803116538	0,845390924
10166	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10168	29	2,779533926	167,6715916	0,266555504	0,280586432
10170	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
10172	7,8	6,535206122	749,2130911	0,626722037	0,659711383
10174	3,7	8,668168136	1753,247543	0,831271713	0,875028129
10176	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10178	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
10180	25	3,204015141	198,5827838	0,307262978	0,323436663
10182	22	3,569618583	229,737213	0,342324112	0,360343341
10184	27	2,983906563	181,9024352	0,286154708	0,301217297
10186	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874
10188	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10190	31	2,588796595	155,3963713	0,248263918	0,261332015
10192	28	2,879895101	174,5151153	0,276180076	0,290717621
10194	26	3,091843901	189,8993979	0,296505829	0,31211328
10196	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874



Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
10198	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10200	28	2,879895101	174,5151153	0,276180076	0,290717621
10202	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10204	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10206	37	2,08277477	127,0115567	0,199736752	0,21025048
10208	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10210	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10212	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10214	42	1,720264892	109,9231116	0,16497229	0,173656088
10216	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10218	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10220	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10222	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10224	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10226	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10228	31	2,588796595	155,3963713	0,248263918	0,261332015
10230	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874
10232	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10234	43	1,652967669	107,013647	0,158518529	0,166862616
10236	42	1,720264892	109,9231116	0,16497229	0,173656088
10238	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10240	29	2,779533926	167,6715916	0,266555504	0,280586432
10242	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874
10244	38	2,006503583	123,2082827	0,192422395	0,20255111
10246	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10248	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10250	42	1,720264892	109,9231116	0,16497229	0,173656088
10252	43	1,652967669	107,013647	0,158518529	0,166862616
10254	43	1,652967669	107,013647	0,158518529	0,166862616
10256	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10258	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10260	37	2,08277477	127,0115567	0,199736752	0,21025048
10262	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10264	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261
10266	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10268	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10270	40	1,859804761	116,2103514	0,178354073	0,187742261



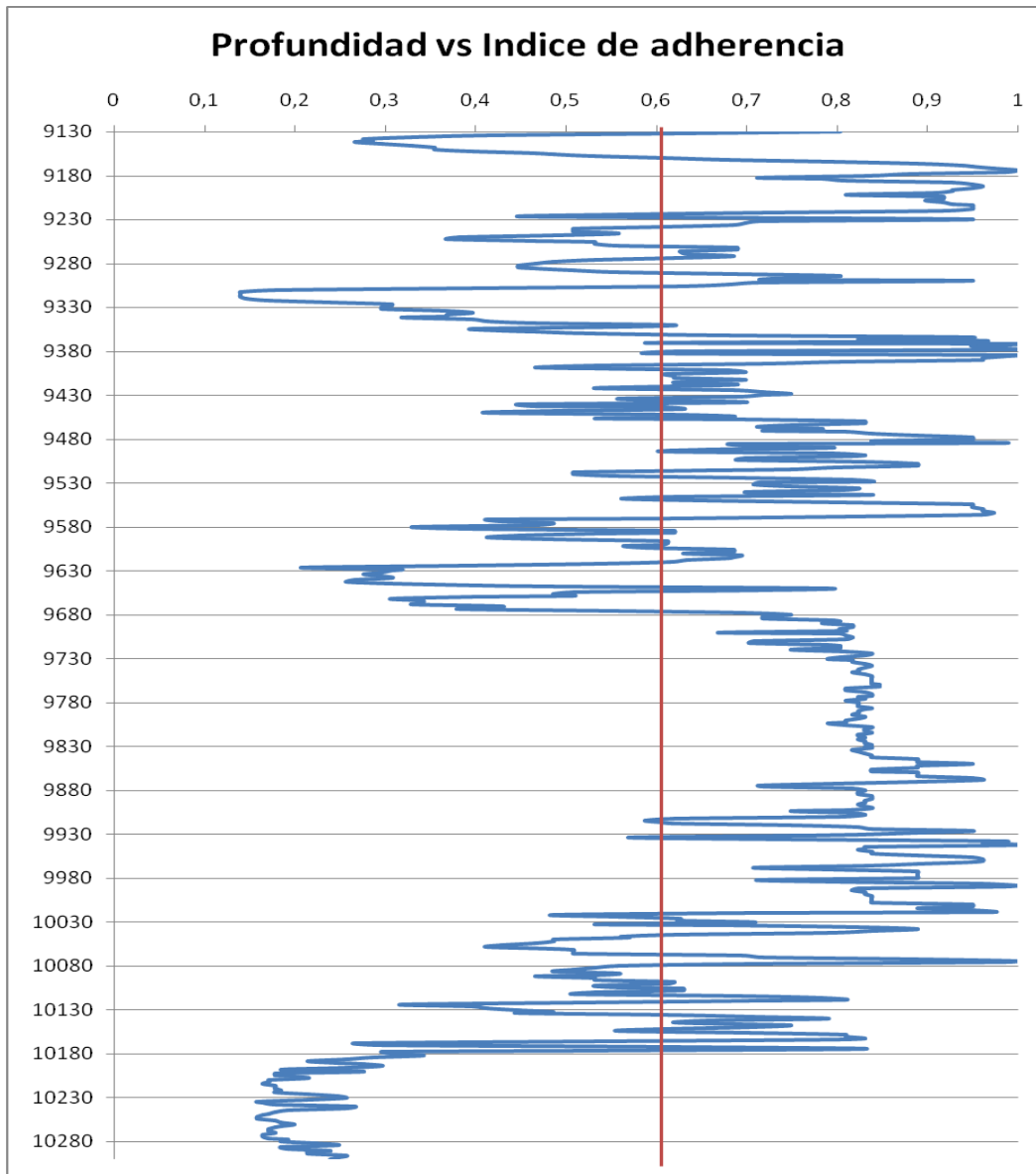
Profundidad	Amplitud en Mv.	Atenuación	Esfuerzo compresivo	Índice de adherencia	Índice por tabla
10272	42	1,720264892	109,9231116	0,16497229	0,173656088
10274	42	1,720264892	109,9231116	0,16497229	0,173656088
10276	41	1,789183889	112,9846924	0,171581577	0,180613275
10278	38	2,006503583	123,2082827	0,192422395	0,20255111
10280	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10282	34	2,3246089	139,8644168	0,222928489	0,234662981
10284	31	2,588796595	155,3963713	0,248263918	0,261332015
10286	39	1,932213692	119,6133221	0,185298042	0,195051746
10288	38	2,006503583	123,2082827	0,192422395	0,20255111
10290	32	2,497995318	149,8725957	0,239556134	0,252165871
10292	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10294	35	2,241704544	135,3180198	0,214978015	0,226294011
10296	30	2,682575488	161,3150823	0,257257253	0,27079874
10298	31	2,588796595	155,3963713	0,248263918	0,261332015
10300	32	2,497995318	149,8725957	0,239556134	0,252165871

Luego se grafican los valores profundidad vs. Índice de adherencia, amplitud, atenuación, esfuerzo compresivo, para la zona de interés:



PROFUNDIDAD VS. INDICE DE ADHERENCIA

FIG. 32 PROF. VS. ÍNDICE DE ADHERENCIA

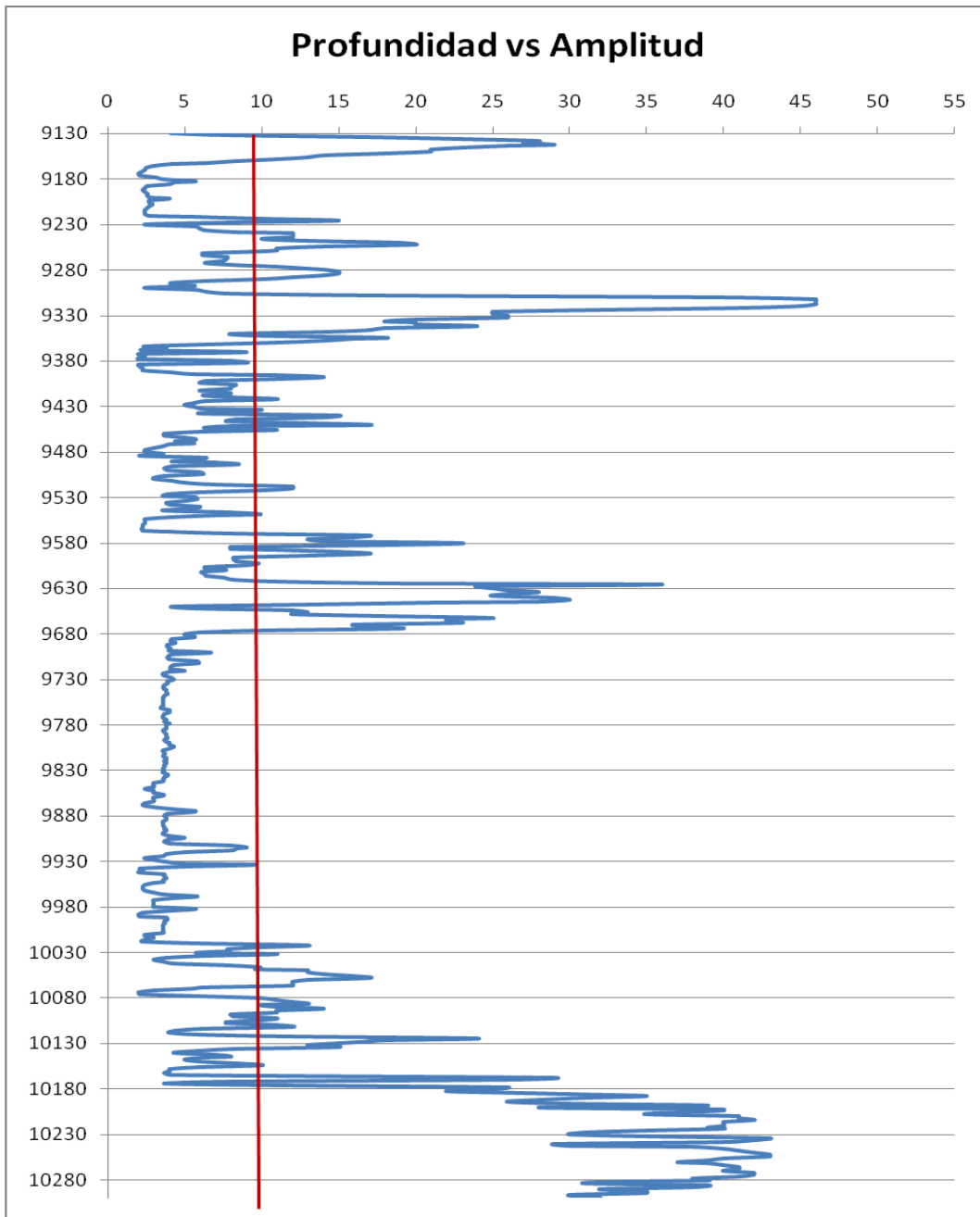


Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



PROFUNDIDAD VS AMPLITUD

FIG. 33 PROF. VS. ÍNDICE DE AMPLITUD

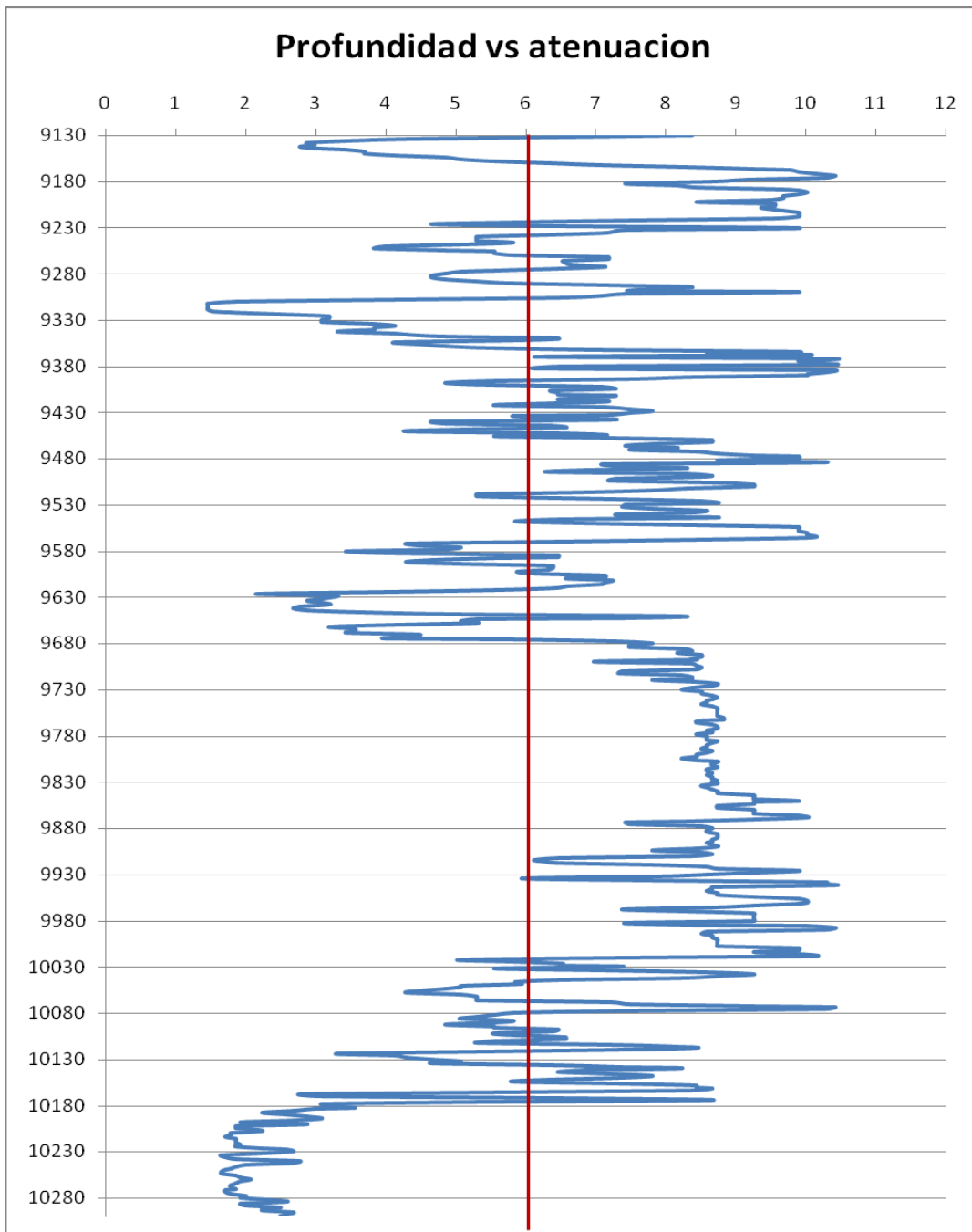


Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



PROFUNDIDAD VS ATENUACION

FIG. 34 PROF. VS. ÍNDICE DE ATENUACIÓN

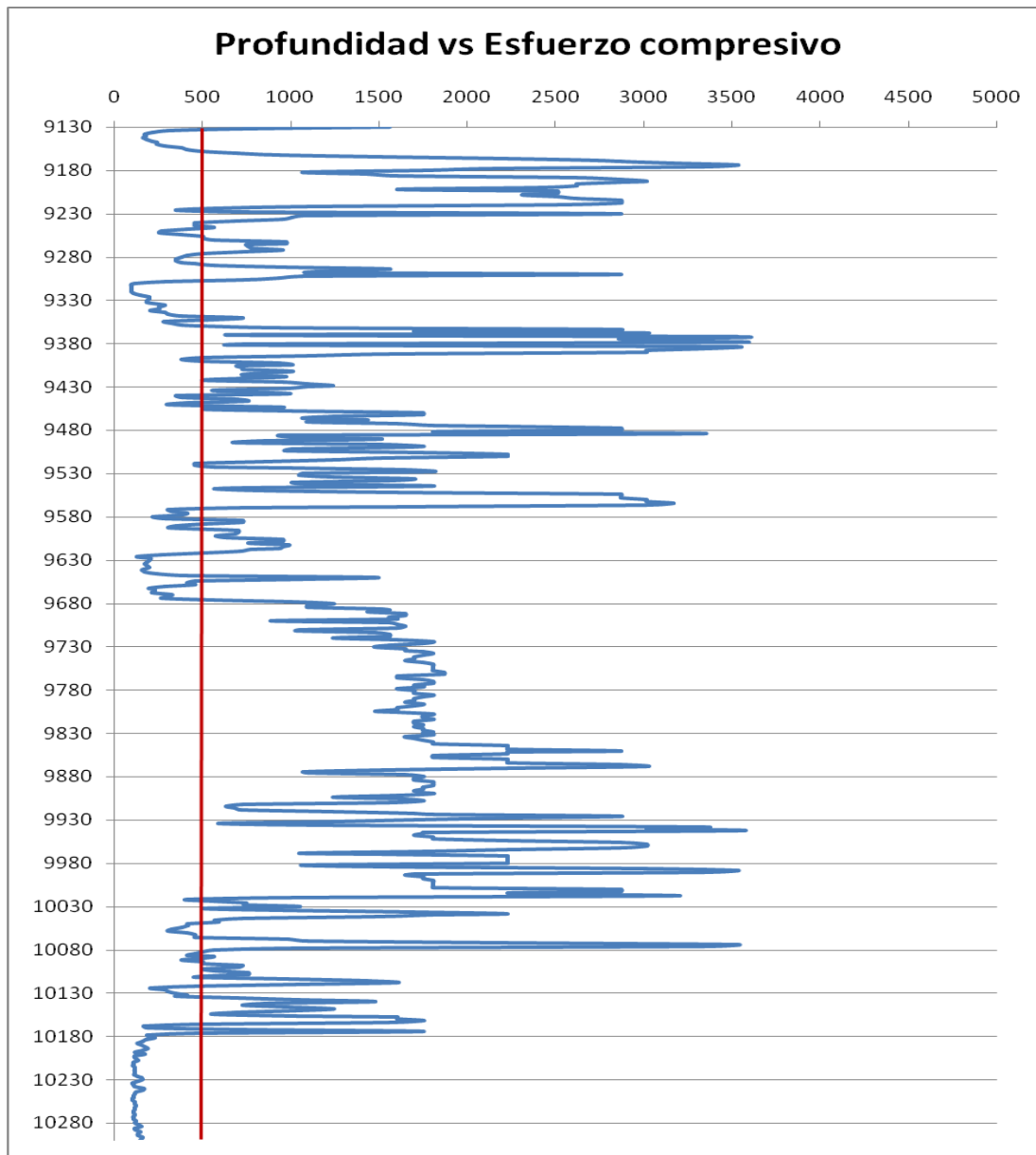


Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



PROFUNDIDAD VS ESFUERZO COMPRESIVO

FIG. 35 PROF. VS. ESFUERZO COMPRESIVO



Fuente: Oscar Gutiérrez y Yeisson Mayorga



5.2. ANÁLISIS DEL SELLO HIDRÁULICO:

Análisis del sello hidráulico por encima y por debajo de los intervalos cañoneados, el revestimiento o liner de producción que se está utilizando es de 7 pulgadas y de 29 lbs/ft, el intervalo en pies para garantizar un buen sello hidráulico es de 11 ft con un índice de adherencia mayor o igual al 0.6.

INTERVALOS CAÑONEADOS

10025-10039

10050-10073

10084-10093

10096-10103

Dentro de esta zona no se cañonearon los intervalos 10039-10050, 10073-10084 y el 10093-10103. Porque en la traza que registra el Gamma Ray presenta un valor mayor a 75 GAMMA API lo cual indica que estos intervalos presentan una permeabilidad baja.

Sello hidráulico por encima de los intervalos cañoneados

TABLA 12. DATOS ANÁLISIS SELLO HIDRÁULICO SUPERIOR (10012 – 10022 Ft)

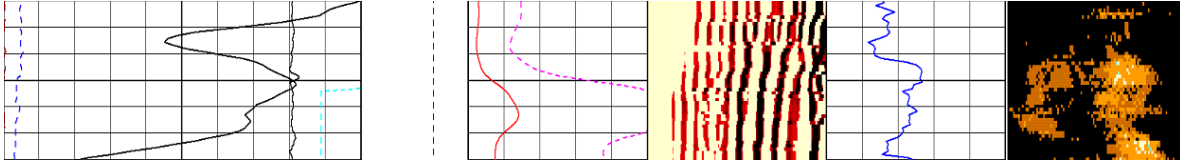
Profundidad	Amp en mv	atenuación	Esf. compresivo	índice de adherencia	índice por tabla
10012	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
10014	3	9,267968854	2226,768012	0,888792214	0,935576389
10016	2,4	9,906159411	2871,788082	0,949994275	1
10018	2,2	10,15501195	3171,256338	0,973859073	1,025120991
10020	6	7,285567918	1010,417313	0,698681247	0,735458377
10022	13	5,074244838	418,502236	0,486616795	0,512231292

Índice de adherencia promedio =0.868064508



Comentario= el índice de adherencia está por encima de la norma.

FIG. 36. REGISTRO POR ENCIMA DE LOS PERFORADOS



El registro ultrasonico muestra una coloracion negra lo cual indica que en ese intervalo se tiene cemento de excelente calidad y una coloracion café oscura lo cual indica que es cemento de muy buena calidad. Esto es en los 360 grados del espacio anular.

Sello hidráulico por debajo de los intervalos cañoneados

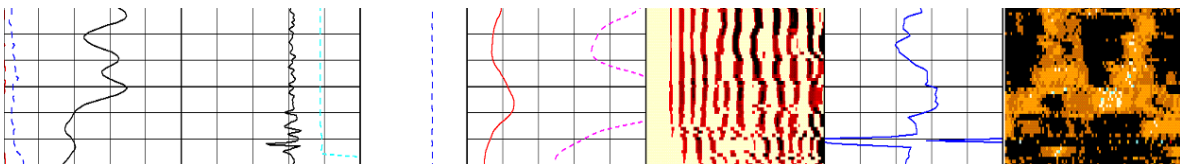
TABLA 13. DATOS ANÁLISIS SELLO HIDRÁULICO INFERIOR (10104 – 10116 Ft)

Profundidad	Amp. en Mv	atenuación	Esf. compresivo	Índice de adherencia	índice por tabla
10104	9,9	5,853350595	570,911883	0,561332533	0,590879911
10106	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
10108	7,7	6,572109859	760,3153835	0,630261081	0,663436715
10110	11	5,55201952	506,2972206	0,532435078	0,560461354
10112	12	5,303166982	458,4865331	0,508570281	0,535340364
10114	6,1	7,238294114	991,5558758	0,69414772	0,730686214
10116	4,4	8,172611013	1438,987937	0,783748106	0,825002978

Índice de adherencia promedio =0.825002978

Comentario= el índice de adherencia está por encima de la norma.

FIG. 37. REGISTRO POR DEBAJO DE LOS PERFORADOS





El registro ultrasonico muestra una coloracion oscura lo cual indica que en ese intervalo se tiene cemento de exelente calidad y una coloracion café claro lo cual indica que es cemento de buena calidad. Esto es en los 360 grados del espacio anular.



CONCLUSIONES

1. Los registros que han sido tomados en cada uno de los pozos seleccionados como candidatos para este proyecto, presentan concordancia entre la sección principal y la repetida, lo cual significa que han sido bien corridos y que su lectura es confiable.
2. Los pozos seleccionados como candidatos para este proyecto, no presentan problemas de sello hidráulico en las zonas de interés, según la evaluación de la integridad del cemento que se realizó.
3. A pesar de que en algunos intervalos los índices de adherencia están por debajo de la norma, con la lectura del registro Gama Ray se verificó que la litología de dicha zona correspondía a arcillas de naturaleza impermeable lo cual impide el paso de fluidos.
4. De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo, no existe algún riesgo de afectación al medio ambiente en cercanías de zonas pobladas, ya que los pozos presentan una buena integridad del cemento lo cual impide algún tipo de paso de fluido hacia las zonas cercanas.
5. Es conveniente relacionar todos los registros que se hayan corrido en el pozo (CBL, VDL, CAST-V, USI, GR, SP), para que al momento de tomar una decisión final acerca del estado del cemento, se cuenten con herramientas que puedan sustentar dicha decisión, antes de realizar cualquier intervención al pozo y asegurar de esta forma el éxito del trabajo.



RECOMENDACIONES

- La Superintendencia Central de Operaciones de Ecopetrol S.A. debe realizar una evaluación periódica (cada 2 años), a la integridad de los cementos de los pozos que se tienen en sus campos.
- Hacer uso de las correlaciones 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 para determinar y evaluar la integridad de los cementos que se tienen en pozos con linner de 7" y de 29 y 26 lb. /ft.
- Seguir usando los procedimientos actuales en todos los campos, para evaluar la integridad de los cementos.
- Hacer la comparación entre la interpretación cuantitativa y la cualitativa de los registros de cada pozo, para revalidar la evaluación de la integridad de los cementos.
- Sugerir a las empresas prestadoras de servicios de cementación los modelos o tipos de evaluación de los cementos, que generan una mínima afectación de los acuíferos presentes en las zonas donde ECOPEPETROL S.A tiene operaciones.
- Para resultados negativos que puedan presentarse luego de evaluar la integridad de un cemento en un pozo dado, se recomienda hacer los correctivos del caso en forma inmediata.



BIBLIOGRAFIA

BARON, Delio. Evaluación de cementaciones para el revestimiento de producción en el área Apiay – Ariari. Bogotá, 1990. Tesis (Ingeniero de Petróleos) ECOPETROL.

CARABALLO, John Pablo y CABRERA, Luis Felipe. Software para operación de cementación remedial en pozos direccionales y descripción de los registros aplicados. Neiva, 2003. Universidad Surcolombiana.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la Investigación. Santa fe de Bogotá: Mc Graw – Hill Interamericana de México, 1996.

MANRIQUE B. Jesús Antonio, KAIRUZ H. Edgar. Principios de interpretación de registros de pozos. Universidad de Caldas, Manizales 1998.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, Recommend Practice for Testing Well Cement 10B, 22^a edition, December 1997.

HALLIBURTON SERVICES, Tecnología de la Cementación, Excelent Through Training, 1985, Sección 2.

TRAINING MANUAL. Halliburton. Cement Bond Logging (C.B.L.) and The Pulse Echo Tool (P.E.T).

PETROLEUM ENGINEERS HANDBOOK

WESTERN ATLAS INTERNATIONAL. Cement Evaluation. Houston, Texas, 1990. Atlas Wireline Service.



ANEXO 1

APIAY 11



VERIFICACION DE LOS REGISTROS

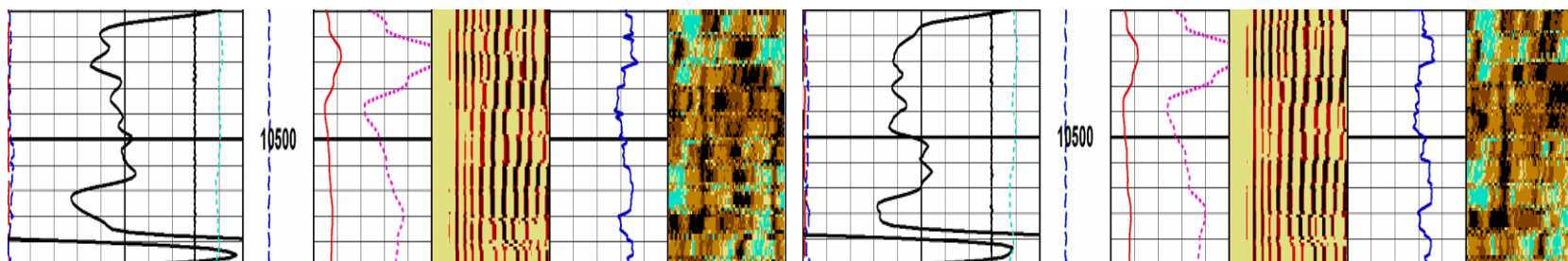
La verificación se realiza teniendo en cuenta la sección repetida, como se muestra a continuación:

Profundidad (FT)	Sección Original		Sección Repetida	
	G.R (API)	CBL (Mv)	G.R (API)	CBL (Mv)
10490	124	9.5	124	9.5
10492	70	13.8	70	13.8
10494	58	25	58	25
10496	55	15	55	15
10498	65	8.6	65	8.6
10500	70	11	70	11
10502	77	22.3	77	22.3
10504	75	13.8	75	13.8
10506	48	15	48	15
10508	195	14.4	195	14.4
10510	195	13.9	195	13.9

Tabla de comparación de datos

Seccion Original

Seccion Repetida





Interpretación de registro

PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10100	2,2	10,15501195	3820,337131	0,973859073	1,025120991
10102	3,5	8,82709791	2108,606904	0,846512976	0,89107166
10104	3,2	9,083388684	2364,888932	0,871091095	0,91694352
10106	4,2	8,305658258	1669,719923	0,796507251	0,838433737
10108	4,2	8,305658258	1669,719923	0,796507251	0,838433737
10110	5	7,80700757	1335,73749	0,748686972	0,788096299
10112	3	9,267968854	2568,546988	0,888792214	0,935576389
10114	3	9,267968854	2568,546988	0,888792214	0,935576389
10116	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10118	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10120	4,5	8,108338645	1528,588906	0,777584427	0,818514856
10122	6,8	6,927601329	901,1380185	0,664352483	0,699322618
10124	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10126	5,8	7,382526356	1104,625054	0,707979499	0,745246069
10128	7,8	6,535206122	755,9997111	0,626722037	0,659711383
10130	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10132	6,8	6,927601329	901,1380185	0,664352483	0,699322618
10134	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10136	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10138	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10140	7,9	6,498772508	743,7723754	0,623228077	0,656033508
10142	5	7,80700757	1335,73749	0,748686972	0,788096299
10144	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10146	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10148	3,9	8,517607058	1835,861964	0,816833003	0,859829395
10150	3,9	8,517607058	1835,861964	0,816833003	0,859829395
10152	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10154	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10156	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10158	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10160	5,8	7,382526356	1104,625054	0,707979499	0,745246069
10162	5,4	7,586898993	1210,427295	0,727578702	0,765876934
10164	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10166	7,9	6,498772508	743,7723754	0,623228077	0,656033508
10168	5	7,80700757	1335,73749	0,748686972	0,788096299
10170	4,9	7,864787313	1370,729434	0,754228012	0,793929008



PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10172	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10174	3,2	9,083388684	2364,888932	0,871091095	0,91694352
10176	6,7	6,969972475	918,3896348	0,668415849	0,70359987
10178	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10180	8,2	6,392176319	709,1220501	0,613005571	0,645272911
10182	7,2	6,764128266	837,5623091	0,648675522	0,682820454
10184	6	7,285567918	1057,716113	0,698681247	0,735458377
10186	5,7	7,43226674	1129,491341	0,712749569	0,750267226
10188	5,8	7,382526356	1104,625054	0,707979499	0,745246069
10190	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10192	7,4	6,685767199	808,6975357	0,641160747	0,674910116
10194	5,9	7,333636276	1080,717406	0,703290972	0,740310747
10196	5,7	7,43226674	1129,491341	0,712749569	0,750267226
10198	6,4	7,100987748	973,8506406	0,680980128	0,716825508
10200	8,2	6,392176319	709,1220501	0,613005571	0,645272911
10202	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10204	10	5,824606634	550,0506991	0,558576006	0,587978286
10206	7,3	6,724679364	822,9045432	0,644892398	0,678838194
10208	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10210	5,4	7,586898993	1210,427295	0,727578702	0,765876934
10212	5,9	7,333636276	1080,717406	0,703290972	0,740310747
10214	6,7	6,969972475	918,3896348	0,668415849	0,70359987
10216	7,5	6,647377361	794,9216107	0,637479186	0,671034766
10218	4,3	8,238361035	1620,17937	0,790053491	0,831640265
10220	3	9,267968854	2568,546988	0,888792214	0,935576389
10222	3,7	8,668168136	1963,832822	0,831271713	0,875028129
10224	5,8	7,382526356	1104,625054	0,707979499	0,745246069
10226	6,7	6,969972475	918,3896348	0,668415849	0,70359987
10228	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10230	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10232	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10234	6,9	6,885848763	884,4552921	0,660348439	0,695107809
10236	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10238	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10240	10,2	5,76797112	536,2835815	0,553144697	0,582261084
10242	11	5,55201952	486,8779248	0,532435078	0,560461354
10244	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364



PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10246	12,2	5,255893178	426,444127	0,504036754	0,530568201
10248	8,5	6,289410772	677,2460739	0,603150422	0,634899007
10250	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10252	8,7	6,222896147	657,3824076	0,596771712	0,628184535
10254	8,1	6,427268784	720,3472405	0,616370916	0,6488154
10256	9	6,125937709	629,4660461	0,587473461	0,618396843
10258	8,3	6,357509228	698,2046916	0,60968102	0,641773362
10260	9,6	5,941357538	579,556182	0,569772342	0,599763974
10262	10,2	5,76797112	536,2835815	0,553144697	0,582261084
10264	11,8	5,35123534	445,0345737	0,513180005	0,540192734
10266	9,3	6,032158816	603,5934896	0,578480126	0,608930118
10268	10,9	5,578138423	492,6027178	0,534939864	0,563097987
10270	13,5	4,9663075	374,6066626	0,476265674	0,50133531
10272	11	5,55201952	486,8779248	0,532435078	0,560461354
10274	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10276	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10278	5,7	7,43226674	1129,491341	0,712749569	0,750267226
10280	6	7,285567918	1057,716113	0,698681247	0,735458377
10282	8,4	6,323257321	687,5831651	0,606396284	0,638315724
10284	7,5	6,647377361	794,9216107	0,637479186	0,671034766
10286	10,5	5,685066765	516,7499201	0,545194223	0,573892114
10288	10,3	5,74006846	529,6281663	0,55046885	0,579444386
10290	7,5	6,647377361	794,9216107	0,637479186	0,671034766
10292	7,3	6,724679364	822,9045432	0,644892398	0,678838194
10294	7,6	6,609496013	781,558198	0,633846389	0,667210746
10296	6,4	7,100987748	973,8506406	0,680980128	0,716825508
10298	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10300	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10302	6,4	7,100987748	973,8506406	0,680980128	0,716825508
10304	10	5,824606634	550,0506991	0,558576006	0,587978286
10306	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10308	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10310	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10312	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10314	6,2	7,191789025	1014,241457	0,689687912	0,725991651
10316	8,8	6,190210077	647,8357355	0,593637139	0,624884965
10318	8,4	6,323257321	687,5831651	0,606396284	0,638315724



PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10320	7,3	6,724679364	822,9045432	0,644892398	0,678838194
10322	9,7	5,911719967	571,9194957	0,566930118	0,596772142
10324	11,6	5,400125419	454,879636	0,517868532	0,545128056
10326	12,8	5,118586811	401,0273199	0,490869162	0,516707495
10328	12,1	5,279432406	430,9604807	0,50629415	0,532944422
10330	12,2	5,255893178	426,444127	0,504036754	0,530568201
10332	12,6	5,163627112	409,1932144	0,495188498	0,521254191
10334	13,3	5,008994859	381,8322622	0,480359365	0,505644484
10336	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364
10338	11,7	5,375575912	449,909142	0,51551425	0,542649849
10340	11,3	5,475064204	470,3945846	0,525055113	0,552692923
10342	10,7	5,631102899	504,4190566	0,540019123	0,568444608
10344	12,1	5,279432406	430,9604807	0,50629415	0,532944422
10346	10,7	5,631102899	504,4190566	0,540019123	0,568444608
10348	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10350	7,6	6,609496013	781,558198	0,633846389	0,667210746
10352	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10354	4,9	7,864787313	1370,729434	0,754228012	0,793929008
10356	4,9	7,864787313	1370,729434	0,754228012	0,793929008
10358	6	7,285567918	1057,716113	0,698681247	0,735458377
10360	9,2	6,063078036	612,0040582	0,581445259	0,612051329
10362	8,2	6,392176319	709,1220501	0,613005571	0,645272911
10364	6,4	7,100987748	973,8506406	0,680980128	0,716825508
10366	8,2	6,392176319	709,1220501	0,613005571	0,645272911
10368	9,4	6,001570289	595,3866169	0,575546706	0,605842289
10370	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10372	9,2	6,063078036	612,0040582	0,581445259	0,612051329
10374	8,4	6,323257321	687,5831651	0,606396284	0,638315724
10376	6,4	7,100987748	973,8506406	0,680980128	0,716825508
10378	6,6	7,012980804	936,2384726	0,67254032	0,707941445
10380	7,3	6,724679364	822,9045432	0,644892398	0,678838194
10382	6,3	7,146028048	993,6806153	0,685299464	0,721372204
10384	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10386	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10388	5,9	7,333636276	1080,717406	0,703290972	0,740310747
10390	5,8	7,382526356	1104,625054	0,707979499	0,745246069
10392	6	7,285567918	1057,716113	0,698681247	0,735458377



PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10394	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10396	4,8	7,923758475	1407,388303	0,759883309	0,799881987
10398	4,2	8,305658258	1669,719923	0,796507251	0,838433737
10400	5	7,80700757	1335,73749	0,748686972	0,788096299
10402	5,5	7,534420456	1182,329371	0,722546045	0,760579367
10404	5,1	7,750372056	1302,305563	0,743255663	0,782379097
10406	6	7,285567918	1057,716113	0,698681247	0,735458377
10408	7,8	6,535206122	755,9997111	0,626722037	0,659711383
10410	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364
10412	13,3	5,008994859	381,8322622	0,480359365	0,505644484
10414	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10416	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10418	6,5	7,056645774	954,7147328	0,676727762	0,712349305
10420	7,1	6,804128918	852,691698	0,652511559	0,686858412
10422	11	5,55201952	486,8779248	0,532435078	0,560461354
10424	10,5	5,685066765	516,7499201	0,545194223	0,573892114
10426	10,3	5,74006846	529,6281663	0,55046885	0,579444386
10428	6,6	7,012980804	936,2384726	0,67254032	0,707941445
10430	5,7	7,43226674	1129,491341	0,712749569	0,750267226
10432	6,9	6,885848763	884,4552921	0,660348439	0,695107809
10434	6,8	6,927601329	901,1380185	0,664352483	0,699322618
10436	6,9	6,885848763	884,4552921	0,660348439	0,695107809
10438	9,3	6,032158816	603,5934896	0,578480126	0,608930118
10440	10,3	5,74006846	529,6281663	0,55046885	0,579444386
10442	8,8	6,190210077	647,8357355	0,593637139	0,624884965
10444	7,9	6,498772508	743,7723754	0,623228077	0,656033508
10446	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10448	8,6	6,255960099	667,1825876	0,599942524	0,631522252
10450	10,8	5,604498056	498,4485236	0,537467736	0,565758921
10452	8,8	6,190210077	647,8357355	0,593637139	0,624884965
10454	6,9	6,885848763	884,4552921	0,660348439	0,695107809
10456	9,4	6,001570289	595,3866169	0,575546706	0,605842289
10458	11,7	5,375575912	449,909142	0,51551425	0,542649849
10460	10,5	5,685066765	516,7499201	0,545194223	0,573892114
10462	9,4	6,001570289	595,3866169	0,575546706	0,605842289
10464	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10466	8,2	6,392176319	709,1220501	0,613005571	0,645272911



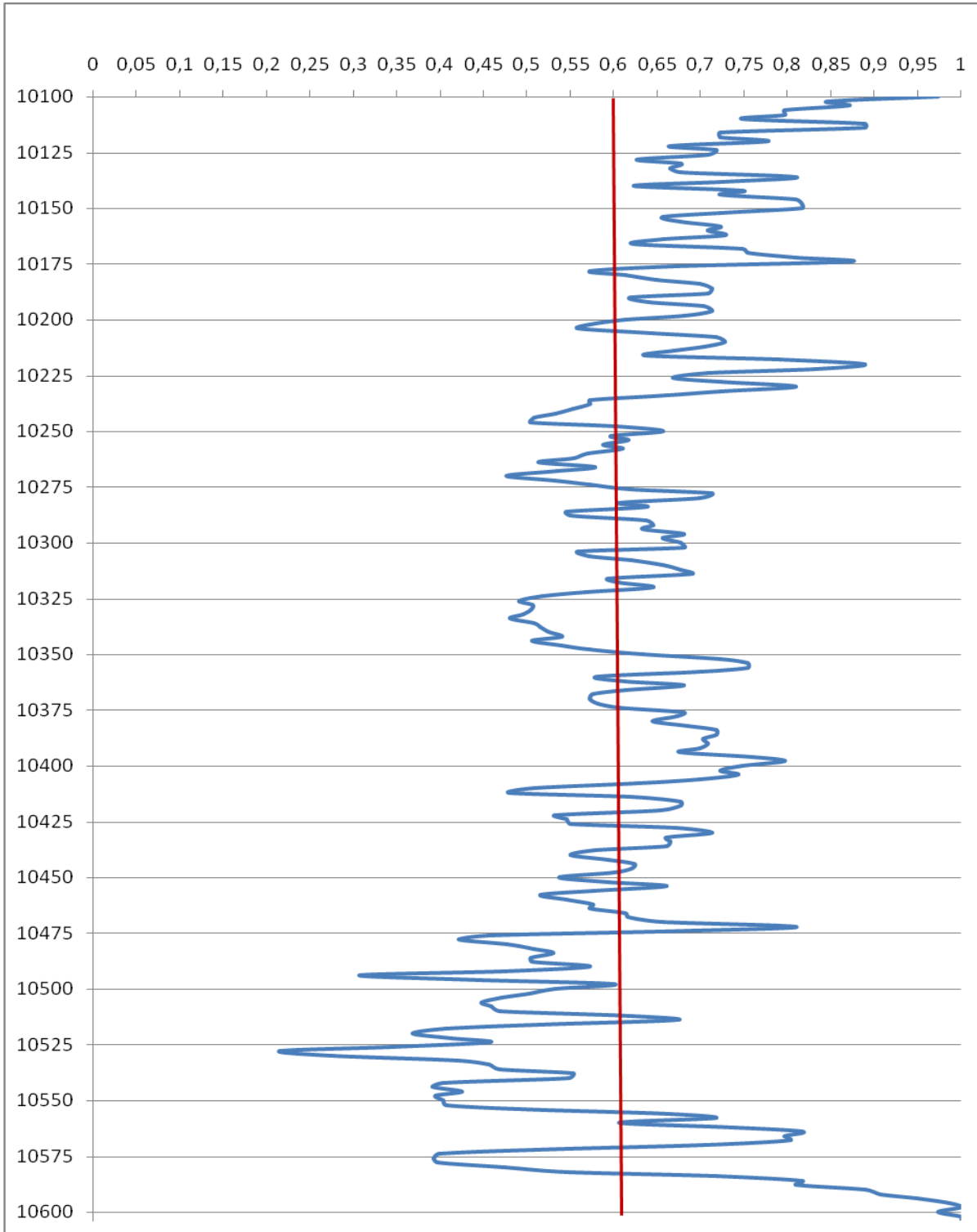
PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10468	8,1	6,427268784	720,3472405	0,616370916	0,6488154
10470	7	6,844696974	868,3148527	0,656402009	0,690953647
10472	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10474	6,2	7,191789025	1014,241457	0,689687912	0,725991651
10476	14,6	4,742278428	338,8683949	0,454781432	0,478720181
10478	16,5	4,392389311	289,7498851	0,421227292	0,443399821
10480	13,5	4,9663075	374,6066626	0,476265674	0,50133531
10482	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364
10484	11,1	5,52613699	481,2705734	0,52995296	0,557848583
10486	12,2	5,255893178	426,444127	0,504036754	0,530568201
10488	12,1	5,279432406	430,9604807	0,50629415	0,532944422
10490	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136
10492	13,8	4,903447826	364,2147169	0,470237473	0,494989796
10494	25	3,204015141	170,2313369	0,307262978	0,323436663
10496	15	4,664976425	327,345149	0,447368219	0,470916753
10498	8,6	6,255960099	667,1825876	0,599942524	0,631522252
10500	11	5,55201952	486,8779248	0,532435078	0,560461354
10502	12,3	5,23254611	422,0113955	0,501797785	0,528211378
10504	13,8	4,903447826	364,2147169	0,470237473	0,494989796
10506	15	4,664976425	327,345149	0,447368219	0,470916753
10508	14,4	4,781727329	344,9043971	0,458564556	0,482702441
10510	13,9	4,882797917	360,8641811	0,46825716	0,492905244
10512	8	6,462797191	731,8929059	0,619778067	0,652401897
10514	6,6	7,012980804	936,2384726	0,67254032	0,707941445
10516	11,8	5,35123534	445,0345737	0,513180005	0,540192734
10518	17,5	4,224105481	268,7286799	0,405088981	0,426412024
10520	20	3,842205698	226,5084074	0,368465039	0,387860273
10522	17	4,307009836	278,8868915	0,413039455	0,434780994
10524	14,5	4,761934863	341,8626684	0,456666471	0,480704445
10526	22	3,569618583	200,4941427	0,342324112	0,360343341
10528	35	2,241704544	110,6612634	0,214978015	0,226294011
10530	28	2,879895101	147,2449608	0,276180076	0,290717621
10532	16,5	4,392389311	289,7498851	0,421227292	0,443399821
10534	14,5	4,761934863	341,8626684	0,456666471	0,480704445
10536	13,9	4,882797917	360,8641811	0,46825716	0,492905244
10538	10,2	5,76797112	536,2835815	0,553144697	0,582261084
10540	10,4	5,712435394	523,118461	0,547818857	0,576654903



PROFUNDIDAD	AMP EN MNV	ATENUACIÓN	COMPRESIBILIDAD	INDICE DE ADHERENCIA	ÍNDICE CON TABLA
10542	17,6	4,20780914	266,7758462	0,403526173	0,424766952
10544	18,4	4,080677099	252,0205224	0,391334292	0,411933316
10546	16,3	4,427267792	294,3083523	0,424572115	0,446920709
10548	18,2	4,111934241	255,5708659	0,394331832	0,41508864
10550	17,6	4,20780914	266,7758462	0,403526173	0,424766952
10552	17,4	4,24049521	270,7071229	0,406660746	0,428066522
10554	12,7	5,141018299	405,0736172	0,493020327	0,518971893
10556	6,8	6,927601329	901,1380185	0,664352483	0,699322618
10558	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10560	8,4	6,323257321	687,5831651	0,606396284	0,638315724
10562	5,2	7,694836331	1270,335519	0,737929823	0,776772916
10564	3,9	8,517607058	1835,861964	0,816833003	0,859829395
10566	4,2	8,305658258	1669,719923	0,796507251	0,838433737
10568	4,1	8,374577255	1722,024731	0,803116538	0,845390924
10570	5,9	7,333636276	1080,717406	0,703290972	0,740310747
10572	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364
10574	17,9	4,159469961	261,0663164	0,398890477	0,419887243
10576	18,3	4,096262969	253,7846357	0,392828967	0,413506668
10578	18	4,143536772	259,2112906	0,397362494	0,41827883
10580	13,6	4,945200393	371,0845887	0,474241517	0,499204605
10582	10,4	5,712435394	523,118461	0,547818857	0,576654903
10584	5,6	7,48288753	1155,372553	0,71760407	0,755377258
10586	3,9	8,517607058	1835,861964	0,816833003	0,859829395
10588	4	8,445198127	1777,321244	0,809889034	0,85251991
10590	3	9,267968854	2568,546988	0,888792214	0,935576389
10592	2,8	9,465288467	2805,694888	0,907715037	0,955495271
10594	2,4	9,906159411	3417,687355	0,949994275	1
10596	2,1	10,28805919	4054,730779	0,986618217	1,03855175
10598	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923
10600	2,2	10,15501195	3820,337131	0,973859073	1,025120991
10602	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923
10604	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923

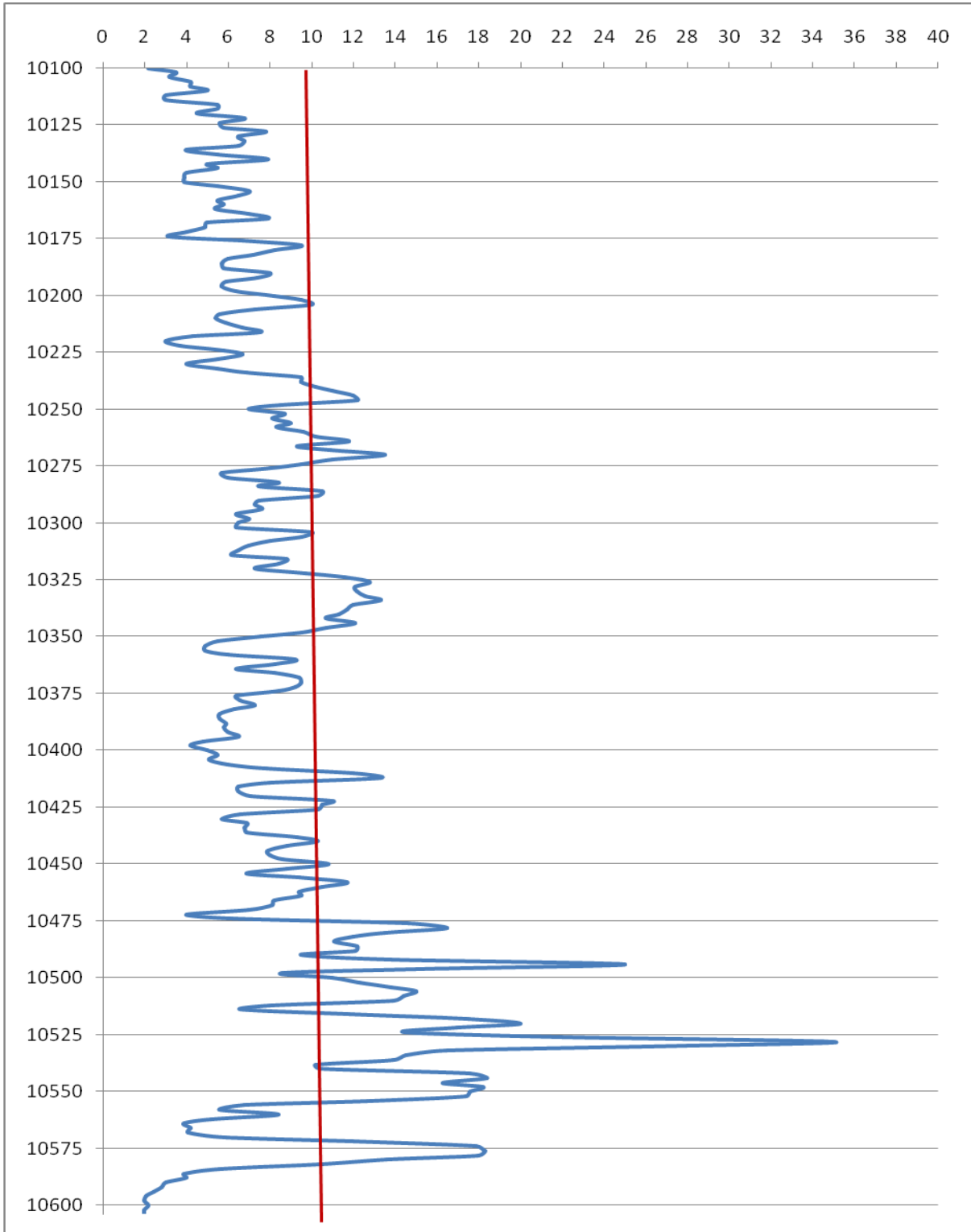


PROFUNDIDAD VS INDICE DE ADHERENCIA



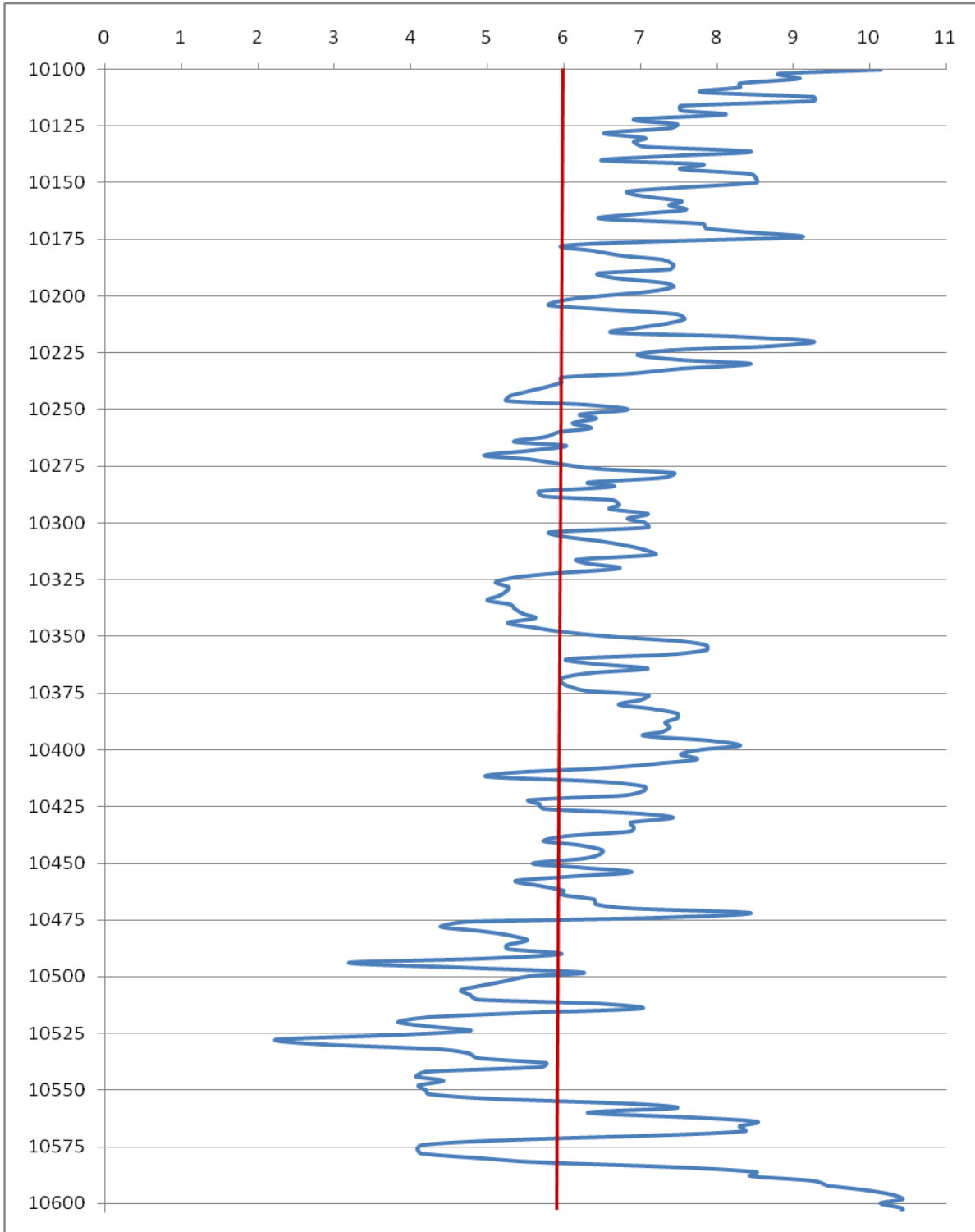


PROFUNDIDAD VS AMPLITUD



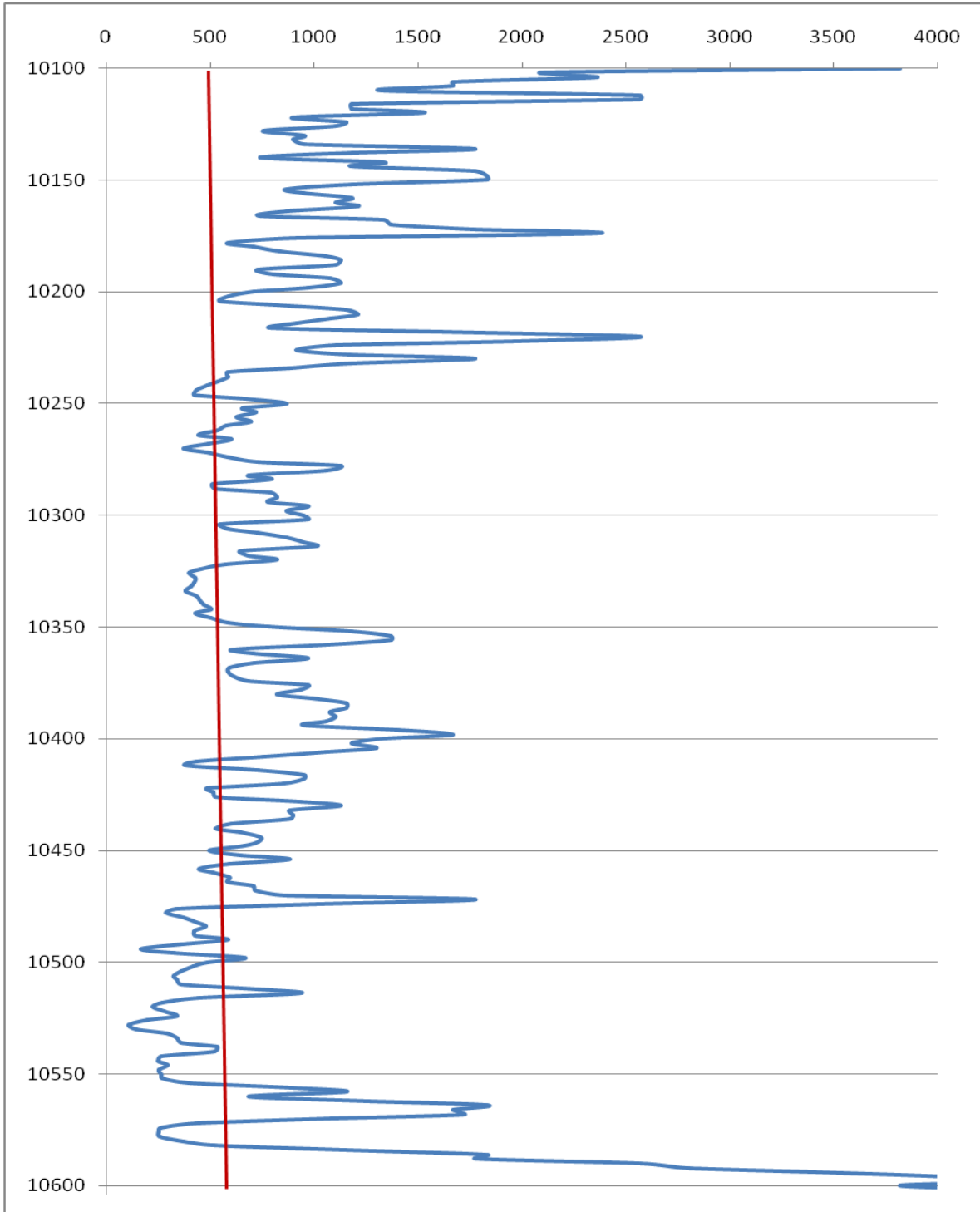


PROFUNDIDAD VS ATENUACION





PROFUNDIDAD VS ESFUERZO COMPRESIVO





Análisis del sello hidráulico por encima y por debajo de los intervalos cañoneados, el revestimiento o liner de producción que se está utilizando es de 7 pulgadas y de 29 lbs/ft, el intervalo en pies para garantizar un buen sello hidráulico es de 11 ft con un índice de adherencia mayor o igual al 0.6.

INTERVALOS CAÑONEADOS

10490-10508

10519-10524

10526-10531

10550-10560

10590-10604

Dentro de esta zona no se cañonearon los intervalos 10508-10519 , 10524-10526, ,10531-10550 , 10560-10590 porque en la traza que registra el Gamma Ray presenta un valor mayor a 75 GAMMA API lo cual indica que estos intervalos presentan una permeabilidad baja.

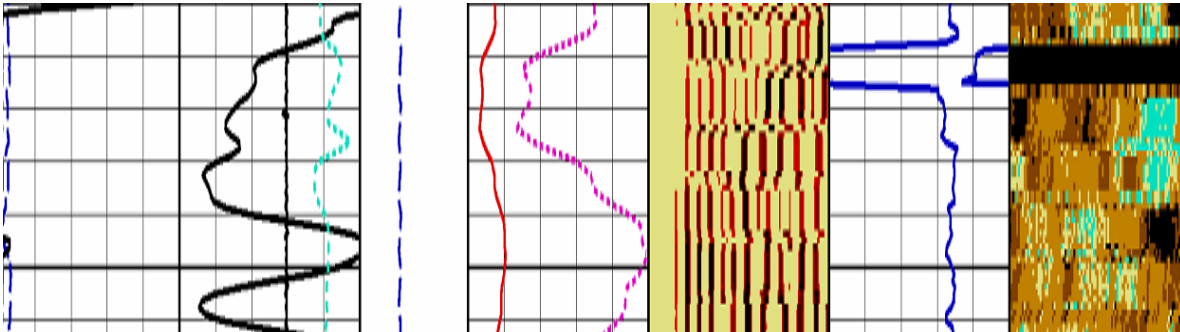
Sello hidráulico por encima de los intervalos cañoneados

profundidad	amp en mnv	atenuación	compresibilidad	índice de adherencia	índice con tabla
10478	16,5	4,392389311	289,7498851	0,421227292	0,443399821
10480	13,5	4,9663075	374,6066626	0,476265674	0,50133531
10482	12	5,303166982	435,5627449	0,508570281	0,535340364
10484	11,1	5,52613699	481,2705734	0,52995296	0,557848583
10486	12,2	5,255893178	426,444127	0,504036754	0,530568201
10488	12,1	5,279432406	430,9604807	0,50629415	0,532944422
10490	9,5	5,971305456	587,3764176	0,572644328	0,602787136

Índice de adherencia promedio =0.52917483



Comentario= el índice de adherencia esta por debajo de la norma, pero se decidió dejar este intervalo como sello hidráulico porque el registro gama ray indica que éste intervalo es impermeable.



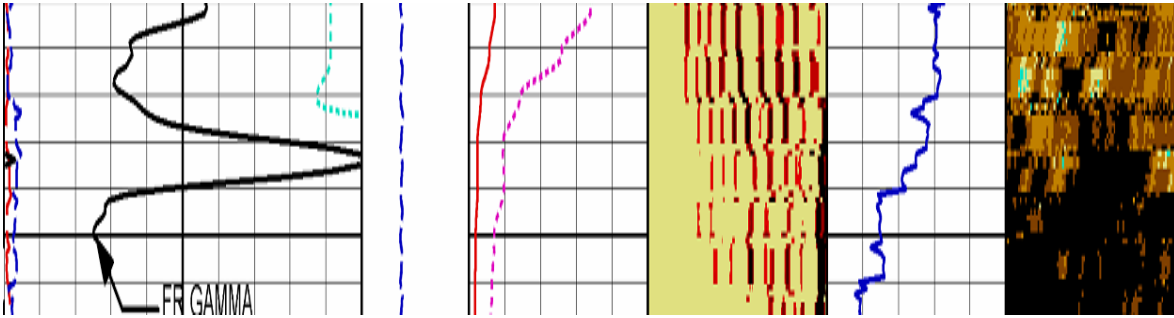
El registro ultrasónico muestra una coloración café oscura, lo cual indica que en ese intervalo se tiene cemento de buena calidad y una coloración azul, lo que indica que es líquido, pero el registro GammaRay indica que es una zona impermeable; por tanto, esta ayuda a generar el sello hidráulico para impedir el flujo de fluidos a otras zonas. Esto es en los 360 grados del espacio anular.

Sello hidráulico por debajo de los intervalos cañoneados

profundidad	amp en mnv	atenuación	compresibilidad	índice de adherencia	índice con tabla
10592	2,8	9,465288467	2805,694888	0,907715037	0,955495271
10594	2,4	9,906159411	3417,687355	0,949994275	1
10596	2,1	10,28805919	4054,730779	0,986618217	1,03855175
10598	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923
10600	2,2	10,15501195	3820,337131	0,973859073	1,025120991
10602	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923
10604	2	10,42759906	4316,028726	1	1,052637923

Índice de adherencia promedio =0.987058

Comentario= el índice de adherencia está por encima de la norma



El registro ultrasónico muestra una coloración oscura, lo cual indica que en ese intervalo se tiene cemento de excelente calidad y una coloración café oscura lo que se traduce en cemento de muy buena calidad. Esto es en los 360 grados del espacio anular.