

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **EVALUACIÓN DEL DESGASTE Y SU IMPACTO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO DE 9 5/8" DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN DE POZOS HORIZONTALES Y DIRECCIONALES**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
PETRÓLEOS**

**GERARDO JAVIER DUQUE URQUIZO**  
[gerardojavierduque@gmail.com](mailto:gerardojavierduque@gmail.com)

**DIRECTOR: ING. JORGE DUEÑAS MEJIA**  
[jlduenasm@gmail.com](mailto:jlduenasm@gmail.com)

**Quito, Septiembre 2013**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Gerardo Javier Duque Urquizo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y normativa institucional vigente.

---

GERARDO JAVIER DUQUE URQUIZO

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gerardo Javier Duque Urquiza bajo mi supervisión.

---

Ing. JORGE DUEÑAS MEJÍA  
DIRECTOR DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTOS

*El primer agradecimiento a DIOS por haberme bendecido durante toda mi vida., por darme las pruebas y la oportunidad de superarlas*

*Agradezco: a mi familia y amigos que siempre estuvieron ahí, en especial aquellos que nos acompañaron a mi Mami y a mí en el momento más difícil de nuestras vidas, de todo corazón ¡gracias a ustedes! A mis Papis, de los cuales considero un lujo el poder ser su hijo. A mi familia la que me acompañado desde siempre y de la cual me siento orgulloso de ser parte. A mi tío Sergio que me dio un segundo hogar y me lo hizo sentir como propio, mi segundo padre, a mis abuelitos Carlos y Rosario que me han dado lecciones de vida, a mi tía Margarita que me enseñó la fortaleza del ser humano, a mi tía Rosario que me demostró la importancia de estar cerca de Dios, a mi tío Iván que me enseñó a saber reír en la vida, a mi tío Rodrigo que me motivo a siempre hacer lo que te apasione, a mi tía Eugenia que me demostró lo que es la dedicación y a mi tío Juan que me enseñó el espíritu de superación. A mis tíos Gustavo e Hildita quienes me han querido como a un hijo. A mis primos que son como mis hermanos.*

*A Huguito, ¡gracias ñaño! por siempre creer en mí, por tu gran amistad. Gracias Jenny por brindarme tu amor y paciencia, por estar junto a mí en cada momento.*

*Gracias a todas las personas que me han permitido aprender de ellas, a todo el equipo de IPM y Schlumberger por haber confiado en mí, por haberme brindado ¡la gran oportunidad!*

*Gracias en especial a los ingenieros: Jorge Dueñas, Eduardo Aguirre, Diego Patiño, Gerardo Barros y al equipo IPM-Río Napo, que han permitido que éste proyecto sea posible, por compartirme sus consejos y brindarme su amistad.*

*¡Gracias Infinitamente a TODOS! Gerardo.*



## DEDICATORIA

*A mis Héroes: mis Padres.*

*Aún recuerdo cuando mi mami y mi papi me enseñaron a escribir y cuando me enseñaron a sumar, cuando me tuvieron paciencia explicándome algo, cuando me dieron libertad de empezar a tomar mis decisiones y no sin antes darme su punto de vista muy convincente; cuando entre peleas, gritos y los zapatos voladores de mi mami, su amor en abrazos, besos y acciones me demostraban. Aún recuerdo la primera vez que me dejaron solo un fin de semana en la casa y también la primera ocasión que tomé con mi Papi y que de paso era mi primera vez tomando; recuerdo las conversaciones largas con ambos; recuerdo como nunca dejaron de confiar en mí y aún después de haber fallado seguían dándome una nueva oportunidad; recuerdo las veces que al llegar ebrio a la casa en vez de ser regañado, mi Papi me interrogaba como mi amigo y al mismo tiempo mi Mami llenaba una taza de café; recuerdo los llantos y todas las sonrisas – que sin duda fueron muchísimas más-. Vivo con recuerdos en el corazón, pero más que eso viví, vivo y viviré con los mejores ejemplos de vida, los mejores amigos y los mejores maestros, mis Papis. Porque siempre dieron lo mejor de ellos para que yo pudiera dar un paso más lejos. Por ello y por razones de sobra, les dedicó mi proyecto de titulación y todo lo que éste significa:*

*A mi Mami, la mujer que más amo en este mundo, la que ha cuidado de mis días y noches con devoción, por la cual siempre lucharé para seguir adelante, mi eterna Novia.*

*Y a mi Papi, al ser que más amo, aquellas manos que me guían paso a paso y el Ángel que me protege desde el Cielo, por el cuál siempre seré lo que soy, mi ejemplo de vida, de hecho mi vida entera, mi mejor Amigo.*

*Javier*

## TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
TABLA DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XX
ÍNDICE DE ANEXOS .....	XXV
RESUMEN .....	XXVIII
PRESENTACIÓN.....	XXX
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES DE LOS DISTINTOS PERFILES DE POZOS: HORIZONTALES Y DIRECCIONALES</b> .....	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 RESEÑA HISTÓRICA.....	1
1.3 APLICACIONES.....	2
1.4 OBJETIVOS EN EL SUBSUELO .....	3
1.4.1 COORDENADAS RECTANGULARES - UTM.....	4
1.4.2 COORDENADAS POLARES.....	4
1.4.3 MEDIDAS DE NAVEGACIÓN.....	5
1.4.3.1 <i>Definición de Términos</i> .....	5
1.4.3.2 <i>Método de la curvatura mínima</i> .....	6
1.4.3.3 <i>Severidad pata de perro - dog leg severity</i> .....	8
1.5 PLANEACIÓN DEL POZO .....	8
1.5.1 LOCACIÓN.....	9
1.5.2 TAMAÑO DEL OBJETIVO.....	9
1.5.3 PERFIL DEL HOYO.....	9
1.5.4 KICK-OFF POINT .....	10
1.5.5 TASAS DE CONSTRUCCIÓN Y DECLINACIÓN .....	10
1.5.6 CÁLCULO DE LA TRAYECTORIA.....	11
1.6 POZOS DIRECCIONALES .....	11
1.6.1 DIRECCIONAL TIPO “J”.....	12
1.6.2 DIRECCIONAL TIPO “S” .....	13
1.6.3 DIRECCIONAL TIPO “J” MODIFICADO .....	14
1.7 POZOS HORIZONTALES.....	15
1.7.1 APLICACIONES .....	15
1.7.2 CLASIFICACIÓN .....	15

1.7.2.1	<i>Horizontales de radio largo</i> .....	16
1.7.2.2	<i>Horizontales de radio medio</i> .....	16
1.7.2.3	<i>Horizontales de radio corto</i> .....	16
1.8	CASOS HISTÓRICOS .....	17
1.8.1	PACHE 23 .....	17
1.8.2	JACINTO 1002 .....	19
1.8.3	ARCABUZ 321.....	23
<b>CAPÍTULO II</b> .....		27
<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MECANISMOS DE DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO GENERADO DURANTE LA PERFORACIÓN</b> ..		27
2.1	GENERALIDADES.....	27
2.2	TUBERÍA DE REVESTIMIENTO .....	28
2.2.1	TIPOS.....	28
2.2.1.1	<i>Anclado</i> .....	29
2.2.1.2	<i>Conductor</i> .....	29
2.2.1.3	<i>Superficial</i> .....	29
2.2.1.4	<i>Intermedio</i> .....	30
2.2.1.5	<i>Producción</i> .....	30
2.2.1.6	<i>Colgadores</i> .....	30
2.3	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO .....	31
2.4	PROPIEDADES FÍSICAS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	34
2.4.1	GRADO .....	34
2.4.2	PESO.....	35
2.4.3	RANGO .....	36
2.4.4	DIÁMETRO.....	36
2.4.5	ESTALLIDO .....	37
2.4.6	COLAPSO .....	38
2.4.7	FUERZA DE FALLA DE LA TUBERÍA.....	39
2.5	FUNCIONES .....	39
2.5.1	FUERZAS LATERALES .....	40
2.5.2	FACTORES DE IMPACTO .....	41
2.5.2.1	<i>Corrosión</i> .....	41
2.5.2.2	<i>Desgaste</i> .....	42
2.6	DESGASTE EN LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO.....	43
2.6.1	ANTECEDENTES.....	43
2.6.2	TIPOS DE DESGASTE .....	44
2.6.3	CAUSAS PRODUCTENTES DEL DESGASTE .....	46
2.6.3.1	<i>Fuerzas de Contacto sobre la tubería</i> .....	46
2.6.3.2	<i>Banda dura de la junta de unión - "Tool Joint"</i> .....	48
2.6.3.3	<i>Geometría del hoyo - Severidad de Patas de Perro "Dog Leg Severity"</i> .....	50
2.6.3.4	<i>Composición del fluido de perforación</i> .....	51

2.6.3.5	<i>Parámetros de perforación</i> .....	52
2.7	MECANISMOS DE DESGASTE .....	53
2.7.1	DESGASTE ADHESIVO POR FROTACIÓN .....	53
2.7.2	DESGASTE ABRASIVO POR CORTE MECÁNICO .....	54
2.7.3	DESGASTE ABRASIVO POR PULIMIENTO .....	55
2.7.4	DESGASTE ABRASIVO POR PULVERIZACIÓN .....	55
2.8	ESTIMACIÓN DEL DESGASTE .....	56
2.9	CONSIDERACIÓN DEL DESGASTE.....	58
2.9.1	COEFICIENTE DE EXPLOSIÓN .....	58
2.9.2	COEFICIENTE DE COLAPSO .....	59
2.10	CASOS DE ESTUDIO.....	59
2.10.1	DIRECCIONALES TIPO “S” .....	59
2.10.1.1	<i>Sacha 273 D</i> .....	60
2.10.1.1.1	<i>Información general</i> .....	60
2.10.1.1.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	60
2.10.1.2	<i>Sacha 275 D</i> .....	61
2.10.1.2.1	<i>Información general</i> .....	61
2.10.1.2.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	62
2.10.1.3	<i>Sacha 316 D</i> .....	62
2.10.1.3.1	<i>Información general</i> .....	62
2.10.1.3.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	63
2.10.1.4	<i>Sacha 237 D</i> .....	63
2.10.1.4.1	<i>Información general</i> .....	64
2.10.1.4.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	64
2.10.2	DIRECCIONALES TIPO “J” .....	65
2.10.2.1	<i>Sacha 247 D</i> .....	65
2.10.2.1.1	<i>Información general</i> .....	65
2.10.2.1.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	65
2.10.2.2	<i>Palo Azul B 43 D</i> .....	66
2.10.2.2.1	<i>Información general</i> .....	66
2.10.2.2.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	67
2.10.3	DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO” .....	67
2.10.3.1	<i>Sacha 341D</i> .....	67
2.10.3.1.1	<i>Información general</i> .....	68
2.10.3.1.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	68
2.10.3.2	<i>Yanaquincha Oeste B 16 D</i> .....	69
2.10.3.2.1	<i>Información general</i> .....	69
2.10.3.2.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	70
2.10.4	HORIZONTALES.....	70
2.10.4.1	<i>Sacha 317 H</i> .....	70
2.10.4.1.1	<i>Información general</i> .....	70
2.10.4.1.2	<i>Información operacional sección 8 ½”</i> .....	71
2.10.4.1.3	<i>Información operacional sección 6 1/8”</i> .....	72
2.10.4.2	<i>Palo Azul D 33 H</i> .....	74

2.10.4.2.1	Información general .....	74
2.10.4.2.2	Información operacional sección 8 ½".....	75
2.10.4.2.3	Información operacional sección 6 1/8".....	76
2.10.4.3	Palo Azul D 28 H.....	77
2.10.4.3.1	Información general .....	77
2.10.4.3.2	Información operacional sección 8 ½".....	78
2.10.4.3.3	Información operacional sección 6 1/8".....	80
2.10.4.4	Palo Azul D 34 H.....	81
2.10.4.4.1	Información general .....	81
2.10.4.4.2	Información operacional sección 8 ½".....	82
2.10.4.4.3	Información operacional sección 6 1/8".....	83
<b>CAPÍTULO III</b>	.....	<b>85</b>
<b>MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO INTERMEDIA 9 5/8"</b>	.....	<b>85</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	85
3.2	MÉTODOS TEÓRICOS .....	86
3.2.1	CWEAR .....	86
3.2.1.1	Características generales del programa .....	87
3.2.1.2	Registro direccional.....	88
3.2.1.3	Tortuosidad .....	89
3.2.2	MODELO TEÓRICO BASE .....	90
3.2.2.1	Volumen y profundidad del desgaste .....	93
3.2.2.2	Factores de corrección no lineares .....	95
3.2.2.2.1	Factor de Corrección del MAURER ENGINEERING .....	95
3.2.2.2.2	Modelo de desgaste No Linear de Shell .....	97
3.2.3	MANEJO DE CWEAR .....	100
3.2.3.1	Información de entrada .....	100
3.2.3.1.1	Información del Hoyo .....	102
3.2.3.1.2	Información de la Tortuosidad.....	102
3.2.3.1.3	Información de la Tubería de Perforación .....	103
3.2.3.1.4	Información de la Tubería de Revestimiento.....	103
3.2.3.1.5	Información Operacional.....	103
3.2.3.1.6	Información del Desgaste Histórico.....	104
3.2.3.1.7	Información del Factor de Desgaste .....	104
3.2.3.2	Información de salida .....	106
3.2.3.2.1	Esquema gráfico del desgaste de revestidor .....	109
3.2.3.2.2	Análisis de la sensibilidad .....	110
3.2.3.2.3	Cotejamiento del factor de desgaste con información de campo.....	110
3.2.3.2.4	Comparación entre la información del campo y la del programa.....	110
3.2.4	DISEÑO DEL REVESTIDOR – SOFTWARE TDAS .....	111
3.2.4.1	Introducción al diseño del revestidor.....	112
3.2.4.2	Carga Triaxial.....	113

3.2.4.3	<i>Tolerancia de la Pared del Revestidor</i> .....	116
3.3	<b>MÉTODOS PRÁCTICOS</b> .....	118
3.3.1	<b>RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DURANTE LA ETAPA DE PERFORACIÓN</b> .....	119
3.3.1.1	<i>Procedimiento Operacional</i> .....	119
3.3.2	<b>RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DESPUÉS DE LA ETAPA DE PERFORACIÓN</b> .....	122
3.3.3	<b>REGISTRO DE IMAGEN ULTRASÓNICA – USIT</b> .....	123
<b>CAPÍTULO IV</b>	.....	127
	<b>CUANTIFICACIÓN DEL DESGASTE Y SU AFECTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL REVESTIDOR DE 9 5/8” DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN</b> .....	127
4.1	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	127
4.2	<b>CWEAR</b> .....	127
4.2.1	<b>POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”</b> .....	128
4.2.1.1	<i>Sacha 237D</i> .....	128
4.2.1.2	<i>Sacha 273D</i> .....	131
4.2.1.3	<i>Sacha 275D</i> .....	133
4.2.1.4	<i>Sacha 316D</i> .....	136
4.2.2	<b>POZOS DIRECCIONALES TIPO “J”</b> .....	138
4.2.2.1	<i>Sacha 247D</i> .....	139
4.2.2.2	<i>Palo Azul B 43D</i> .....	141
4.2.3	<b>POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”</b> .....	144
4.2.3.1	<i>Yanaquincha Oeste B 16 D</i> .....	145
4.2.3.2	<i>Sacha 341 D</i> .....	147
4.2.4	<b>POZOS HORIZONTALES</b> .....	151
4.2.4.1	<i>Sacha 317 H</i> .....	152
4.2.4.1.1	<i>Sección de 8 ½”</i> .....	153
4.2.4.1.2	<i>Sección de 6 1/8”</i> .....	155
4.2.4.2	<i>Palo Azul D 33 H</i> .....	158
4.2.4.2.1	<i>Sección de 8 ½”</i> .....	159
4.2.4.2.2	<i>Sección de 6 1/8”</i> .....	161
4.2.4.3	<i>Palo Azul D 28 H</i> .....	164
4.2.4.3.1	<i>Sección de 8 ½”</i> .....	164
4.2.4.3.2	<i>Sección de 6 1/8”</i> .....	167
4.2.4.4	<i>Palo Azul D 34 H</i> .....	170
4.2.4.4.1	<i>Sección de 8 ½”</i> .....	170
4.2.4.4.2	<i>Sección de 6 1/8”</i> .....	172
4.2.5	<b>RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PREDICCIÓN</b> .....	175
4.3	<b>RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DURANTE LA PERFORACIÓN</b> .....	176
4.3.1	<b>POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”</b> .....	176
4.3.1.1	<i>Sacha 273D</i> .....	176
4.3.1.2	<i>Sacha 275D</i> .....	177

4.3.1.3	<i>Sacha 316D</i> .....	177
4.3.1.4	<i>Sacha 237D</i> .....	178
4.3.2	DIRECCIONALES TIPO "J" .....	178
4.3.2.1	<i>Sacha 247D</i> .....	179
4.3.2.2	<i>Palo Azul B 43D</i> .....	179
4.3.3	POZOS DIRECCIONALES TIPO "J MODIFICADO" .....	180
4.3.3.1	<i>Sacha 341D</i> .....	180
4.3.3.2	<i>Yanaquincha Oeste B 16 D</i> .....	180
4.3.4	POZOS HORIZONTALES .....	181
4.3.4.1	<i>Sacha 317 H</i> .....	181
4.3.4.1.1	Sección de 8 ½" .....	181
4.3.4.1.2	Sección de 6 1/8" .....	181
4.3.4.2	<i>Palo Azul D 33 H</i> .....	182
4.3.4.2.1	Sección 8 ½" .....	182
4.3.4.2.2	Sección 6 1/8" .....	183
4.3.4.3	<i>Palo Azul D 28 H</i> .....	184
4.3.4.3.1	Sección 8 ½" .....	184
4.3.4.3.2	Sección 6 1/8" .....	184
4.3.4.4	<i>Palo Azul D 34 H</i> .....	185
4.3.4.4.1	Sección 8 ½" .....	185
4.3.4.4.2	Sección 6 1/8" .....	186
4.4	RECOLECCIÓN DE LIMALLAS EN OPERACIONES DE COMPLETACIÓN .....	187
4.4.1	POZOS DIRECCIONALES TIPO "S" .....	188
4.4.1.1	<i>Sacha 273D</i> .....	188
4.4.1.2	<i>Sacha 237D</i> .....	189
4.4.1.3	<i>Sacha 275D</i> .....	189
4.4.1.4	<i>Sacha 316D</i> .....	190
4.4.2	POZOS DIRECCIONALES TIPO "J" .....	191
4.4.2.1	<i>Sacha 247D</i> .....	191
4.4.2.2	<i>Palo Azul B 43D</i> .....	192
4.4.3	POZOS DIRECCIONALES TIPO "J MODIFICADO" .....	192
4.4.3.1	<i>Sacha 341D</i> .....	192
4.4.3.2	<i>Yanaquincha Oeste B 16D</i> .....	193
4.4.4	POZOS DIRECCIONALES TIPO "HORIZONTALES" .....	193
4.4.4.1	<i>Sacha 317H</i> .....	193
4.4.4.2	<i>Palo Azul D 33H</i> .....	194
4.4.4.3	<i>Palo Azul D 28H</i> .....	194
4.4.4.4	<i>Palo Azul D 34H</i> .....	195
<b>CAPÍTULO V</b> .....		196
<b>AJUSTES AL MODELO TEÓRICO EN BASE A LOS DATOS DE CAMPO Y AL DESGASTE REAL</b> .....		196
5.1	INTRODUCCIÓN .....	196



5.2	COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO IDEAL Y LA AFECTACIÓN ENCONTRADA.....	196
5.2.1	POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”.....	198
5.2.1.1	<i>Sacha 237D</i> .....	198
5.2.1.2	<i>Sacha 273D</i> .....	198
5.2.1.3	<i>Sacha 275D</i> .....	199
5.2.1.4	<i>Sacha 316D</i> .....	200
5.2.2	POZOS DIRECCIONALES TIPO “J”.....	200
5.2.2.1	<i>Sacha 247D</i> .....	200
5.2.2.2	<i>Palo Azul B 43 D</i> .....	201
5.2.3	POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”.....	202
5.2.3.1	<i>Sacha 341D</i> .....	202
5.2.3.2	<i>Yanaquincha Oeste B 16D</i> .....	203
5.2.4	POZOS DIRECCIONALES HORIZONTALES.....	204
5.2.4.1	<i>Sacha 317H</i> .....	205
5.2.4.2	<i>Palo Azul D 33H</i> .....	205
5.2.4.3	<i>Palo Azul D 28H</i> .....	206
5.2.4.4	<i>Palo Azul D 34H</i> .....	207
5.3	DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO 9 5/8” IMPLEMENTADO EN EL DISEÑO DEL REVESTIDOR.....	208
5.4	APLICACIÓN, POZO SACHA 248D.....	210
5.4.1	INFORMACIÓN DE ENTRADA.....	210
5.4.2	INFORMACIÓN DE SALIDA.....	216
5.4.3	DATOS DE CAMPO.....	218
5.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	222
<b>CAPÍTULO VI.....</b>		<b>225</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>225</b>
6.1	CONCLUSIONES.....	225
6.2	RECOMENDACIONES.....	231
<b>GLOSARIO.....</b>		<b>233</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>239</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>241</b>
<b>ANEXO 1.....</b>		<b>242</b>
<b>ANEXO 2.....</b>		<b>255</b>
<b>ANEXO 3.....</b>		<b>268</b>
<b>ANEXO 4.....</b>		<b>279</b>
<b>ANEXO 5.....</b>		<b>286</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Aplicaciones de perforación direccional .....	3
Figura 1.2: Sistema de coordenadas geográficas y coordenadas rectangulares ....	5
Figura 1.3: Definiciones de términos usados en la navegación.....	5
Figura 1.4: Método de la mínima curvatura – pata de perro.....	7
Figura 1.5: Tipos de pozos según sus perfiles .....	10
Figura 1.6: Pozos de perfil “J” radio largo y de radio corto .....	12
Figura 1.7: Pozos de perfil “S” radio largo y de radio corto .....	14
Figura 1.8: Vista Superior de la sección “C” .....	18
Figura 1.9: Desgaste Sección “A” del cabezal, sección de 13 3/8” .....	20
Figura 1.10: Desgaste del Ware Bushing .....	21
Figura 1.11: Desgaste del BOP y revestidor de 13 3/8” .....	22
Figura 1.12: Desgaste del revestidor de 9 5/8” .....	25
Figura 2.1: Esquema de las diferentes tuberías de revestimiento.....	28
Figura 2.2: Comportamiento del acero bajo la aplicación de una carga, Estrés vs. Deformación .....	32
Figura 2.3: Curva S-N, ciclos de desgaste versus estrés.....	33
Figura 2.4: Ejemplo de la relación entre las cargas de explosión, contrapresión y resultante.....	38
Figura 2.5: Elipse del estrés biaxial para la falla de materiales .....	41
Figura 2.6: Categorías del desgaste .....	45
Figura 2.7: Fuerza de contacto entre tubería de revestimiento y de perforación...	47
Figura 2.8: Banda de protección dura con granos de tungsteno (coarse-crushed)49	
Figura 2.9: Desgaste producido por la banda del tool joint .....	49
Figura 2.10: Contacto entre la tubería de perforación y la de revestimiento en doglegs continuos y abruptos.....	50

Figura 2.11: Coeficientes de fricción como función de densidad del lodo y concentraciones de lubricante en lodos densificados con barita.....	51
Figura 2.12: Tasa de desgaste del revestimiento vs. presión de contacto en una prueba de lodo en laboratorio.....	52
Figura 2.13: Tasa de desgaste del revestimiento vs. presión de contacto a bajas presiones.....	52
Figura 2.14: Mecanismo de desgaste adhesivo por frotación .....	54
Figura 2.15: Mecanismo de desgaste por corte mecánico .....	54
Figura 2.16: Mecanismo de desgaste por pulimiento .....	55
Figura 2.17: Mecanismo de desgaste por grinding.....	56
Figura 2.18: Factor de desgaste.....	57
Figura 2.19: Cálculo del volumen desgastado.....	58
Figura 2.20: Porcentaje de desgaste de acuerdo a la profundidad .....	58
Figura 3.1: Geometría del desgaste adhesivo del revestidor por frotación .....	94
Figura 3.2: Volumen desgastado en función de la profundidad de desgaste .....	95
Figura 3.3: Resultados experimentales obtenidos por MEI, entre la relación del WF y el porcentaje del desgaste.....	96
Figura 3.4: Gráfico de los factores de corrección para el porcentaje de desgaste entre 0 – 60% .....	97
Figura 3.5: Modelo no lineal deducido por Shell Oil Co. para el cálculo del desgaste del revestidor por la rotación de los tool joints .....	99
Figura 3.6: Información de entrada en CWear 6.1 .....	101
Figura 3.7: Ventanas con información de salida del Software CWear 6.1.....	107
Figura 3.8 Continuación: Información de Salida del Software Cwear.....	109
Figura 3.9: Software TDAS, diseño de tubulares y análisis de sistemas.....	111
Figura 3.10: Gráfica del estrés triaxial sobre una tubería .....	114
Figura 3.11: Línea de carga axial equivalente en función de la profundidad.....	115
Figura 3.12: Gráfica de las capacidades de carga triaxial .....	116
Figura 3.13: Tolerancia preestablecida del - 12.5% de la capacidad nominal del revestidor.....	117

Figura 3.14: Valor del desgaste ingresado en TDAS 7.4, para cálculos y análisis de la tubería de revestimiento .....	118
Figura 3.15: Magneto usado antes y después de la recolección de limallas .....	119
Figura 3.16: Limallas recolectadas por el uso del magneto en la etapa de perforación .....	122
Figura 3.17: Magneto del BHA de limpieza, antes y después de la recolección – limalla recolectada.....	123
Figura 3.18: USIT .....	125
Figura 3.19: Formato de presentación Registro USIT .....	126
Figura 4.1: Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional “S” .....	128
Figura 4.2: Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 237D.....	128
Figura 4.3: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 237D .....	130
Figura 4.4: Comparación entre la resistencia al colapso - estallido y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 237D.....	130
Figura 4.5: Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 273D.....	131
Figura 4.6: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 273D .....	132
Figura 4.7: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 273D.....	133
Figura 4.8: Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 275D.....	134
Figura 4.9: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 275D .....	135
Figura 4.10: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 275D.....	135
Figura 4.11: Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 316D.....	136
Figura 4.12: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 316D .....	137
Figura 4.13: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 316D.....	138
Figura 4.14: Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional “J” .....	138
Figura 4.15: Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 247D.....	139
Figura 4.16: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 247D .....	140

Figura 4.17: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 247D .....	141
Figura 4.18: Fuerzas normales y "dog leg severity" – Palo Azul B 43D .....	142
Figura 4.19: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – Palo Azul B 43D	143
Figura 4.20: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Palo Azul B 43D .....	144
Figura 4.21: Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional "J Modificado" .....	144
Figura 4.22: Fuerzas normales y "dog leg severity" – YNOB 16 D.....	145
Figura 4.23: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – YNOB 16 D .....	146
Figura 4.24: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – YNOB 16 D.....	147
Figura 4.25: Fuerzas normales y "dog leg severity" – Sacha 341 D.....	148
Figura 4.26: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – Sacha 341 D .....	149
Figura 4.27: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 341 D.....	150
Figura 4.28: Horas de Rotación durante la sección de 8 1/2" de los pozos con perfil Horizontal .....	152
Figura 4.29: Horas de Rotación durante la sección de 6 1/8" de los pozos con perfil Horizontal .....	152
Figura 4.30: Fuerzas normales y "dog leg severity" – Sacha 317 H.....	153
Figura 4.31: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – Sacha 317 H.....	154
Figura 4.32: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – Sacha 317 H .....	155
Figura 4.33: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – Sacha 317 H.....	157
Figura 4.34: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – Sacha 317 H .....	158
Figura 4.35: Fuerzas normales y "dog leg severity" –PLAD 33 H.....	159

Figura 4.36: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 33 H.....	160
Figura 4.37: Grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2"– PLAD 33 H .....	161
Figura 4.38: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 33 H.....	163
Figura 4.39: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 33 H .....	163
Figura 4.40: Fuerzas normales y "dog leg severity" – PLAD 28 H.....	164
Figura 4.41: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 28 H.....	166
Figura 4.42: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2"– PLAD 28 H .....	166
Figura 4.43: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 28 H.....	169
Figura 4.44: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 28 H .....	169
Figura 4.45: Fuerzas normales y "dog leg severity" – PLAD 34 H.....	170
Figura 4.46: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 34 H.....	171
Figura 4.47: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2"– PLAD 34 H .....	172
Figura 4.48: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 34 H.....	174
Figura 4.49: Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 34 H .....	174
Figura 4.50: Magnostar , herramienta especializada en recolección de limallas en la etapa de completación .....	187
Figura 5.1: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 237D.....	198

Figura 5.2: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 273D.....	199
Figura 5.3: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 275D.....	199
Figura 5.4: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 316D.....	200
Figura 5.5: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 247D.....	201
Figura 5.6: Porcentaje de recolección de limallas – PLAB 43D.....	202
Figura 5.7: Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 341D.....	202
Figura 5.8: Porcentaje de recolección de limallas – YNOB 16D.....	203
Figura 5.9: Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 317H.....	205
Figura 5.10: Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½”– PLAD 33H .....	206
Figura 5.11: Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 28H .....	207
Figura 5.12: Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34H .....	208
Figura 5.13: Ingreso del valor de desgaste en la tubería de revestimiento .....	209
Figura 5.14: Esquema mecánico – Sacha 248D .....	211
Figura 5.15: Información Cwear 6.1 – Sacha 248D.....	212
Figura 5.15 Continuación: Información Cwear 6.1 – Sacha 248D.....	213
Figura 5.16: Información direccional – Sacha 248D.....	214
Figura 5.17: Ensamblaje direccional – Sacha 248D.....	215
Figura 5.18: Fuerzas normales y severidad de patas de perro - Sacha 248D ....	216
Figura 5.19: Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” debido a la perforación de la sección de 8 ½”- Sacha 248D.....	217
Figura 5.20: Variación de las propiedades mecánicas y grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” después de la perforación de la sección de 8 ½”- Sacha 248D.....	218
Figura 5.21: Recolección Diaria y Acumulada de Limallas del pozo Sacha 248D, durante la perforación de la sección de 8 ½” .....	220

Figura 5.22: Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34H .....	223
Figura 5.23: Porcentaje de limallas recolectadas .....	224

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Coordenadas rectangulares de la posición del objetivo .....	4
Tabla 1.2: Clasificación de los pozos horizontales .....	16
Tabla 2.1: Clasificación de la tubería de revestimiento según API .....	35
Tabla 2.2: Diámetros de la tubería externo y su tolerancia .....	36
Tabla 2.3: Efectos específicos de la tensión o compresión en el revestidor .....	41
Tabla 2.4: Coeficientes de desgaste según tool joint y fluido de perforación .....	57
Tabla 2.5: Información general Sacha 273D .....	60
Tabla 2.6: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 273D .....	61
Tabla 2.7: Información general Sacha 275D .....	61
Tabla 2.8: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 275D .....	62
Tabla 2.9: Información general Sacha 316D .....	63
Tabla 2.10: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 316D .....	63
Tabla 2.11: Información general Sacha 237D .....	64
Tabla 2.12: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 237D .....	64
Tabla 2.13: Información general Sacha 247D .....	65
Tabla 2.14: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 247D .....	66
Tabla 2.15: Información general Palo Azul B 43 .....	66
Tabla 2.16: Información operacional sección 8 ½" – Palo Azul B 43.....	67
Tabla 2.17: Información general Sacha 341D .....	68
Tabla 2.18: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 341D .....	68
Tabla 2.19: Información general Yanaquincha Oeste B 16D .....	69
Tabla 2.20: Información operacional sección 8 ½" - Yanaquincha Oeste B 16D...	70
Tabla 2.21: Información general Sacha 317H .....	71
Tabla 2.22: Información operacional sección 8 ½" - Sacha 317D .....	71
Tabla 2.23: Información operacional sección 6 1/8" - Sacha 317D .....	73



Tabla 2.24: Información general Palo Azul D 33H.....	74
Tabla 2.25: Información operacional sección 8 ½” - Palo Azul D 33H.....	76
Tabla 2.26: Información operacional sección 6 1/8” - Palo Azul D 33H.....	77
Tabla 2.27: Información general Palo Azul D 28H.....	78
Tabla 2.28: Información operacional sección 8 ½” - Palo Azul D 28H.....	79
Tabla 2.29: Información operacional sección 6 1/8” - Palo Azul D 28H.....	80
Tabla 2.30: Información general Palo Azul D 34H.....	81
Tabla 2.31: Información operacional sección 8 ½” - Palo Azul D 34H.....	82
Tabla 2.32: Información operacional sección 6 1/8”- Palo Azul D 34H.....	83
Tabla 3.1: Lista experimental de determinados factores de desgaste.....	93
Tabla 3.2: Valores de las constantes utilizadas en el modelo no lineal de Shell Oil Co. para varias condiciones .....	99
Tabla 3.3: Factores de diseño mínimo recomendados.....	113
Tabla 3.4: Formato de Control de la Recolección de Limallas .....	121
Tabla 3.5: Especificaciones Técnicas de la herramienta de imagen ultrasónica USIT .....	125
Tabla 4.1: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 237D ..	129
Tabla 4.2: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 237D.....	129
Tabla 4.3: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 273D ..	131
Tabla 4.4: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 273D.....	132
Tabla 4.5: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 275D ..	134
Tabla 4.6: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 273D.....	134
Tabla 4.7: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 316D ..	136
Tabla 4.8: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 316D.....	137
Tabla 4.9: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 247D ..	139
Tabla 4.10: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 247D.....	140
Tabla 4.11: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Palo Azul B 43D .....	142

Tabla 4.12: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Palo Azul B 43D .....	143
Tabla 4.13: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – YNOB 16 D..	145
Tabla 4.14: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – YNOB 16 D.....	146
Tabla 4.15: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 341 D	148
Tabla 4.16: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 341 D....	149
Tabla 4.17: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 317 H	153
Tabla 4.18: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 317 H....	154
Tabla 4.19: Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8” – Sacha 317 H .....	156
Tabla 4.20: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8” – Sacha 317 H.....	156
Tabla 4.21: Volumen y peso desgastado total– Sacha 317 H.....	157
Tabla 4.22: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 33 H ..	159
Tabla 4.23: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 33 H .....	160
Tabla 4.24: Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8” – PLAD 33 H	162
Tabla 4.25: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8” – PLAD 33 H .....	162
Tabla 4.26: Volumen y peso desgastado total – PLAD 33 H.....	162
Tabla 4.27: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 28 H ..	165
Tabla 4.28: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 33 H .....	165
Tabla 4.29: Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8” – PLAD 28 H	167
Tabla 4.30: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8” – PLAD 28 H .....	167
Tabla 4.31: Volumen y peso desgastado total – PLAD 28 H.....	168
Tabla 4.32: Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34 H ..	170
Tabla 4.33: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 34 H .....	171
Tabla 4.34: Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8” – PLAD 34 H	172

Tabla 4.35: Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8" – PLAD 34 H .....	173
Tabla 4.36: Volumen y peso desgastado total – PLAD 34 H.....	173
Tabla 4.37: Resumen de selección de factores de desgaste de acuerdo a horas de rotación, fuerzas normales y desplazamiento horizontal.....	175
Tabla 4.38: Recolección de limallas del pozo Sacha 273D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	177
Tabla 4.39: Recolección de limallas del pozo Sacha 275D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	177
Tabla 4.40: Recolección de limallas del pozo Sacha 316D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	178
Tabla 4.41: Recolección de limallas del pozo Sacha 237D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	178
Tabla 4.42: Recolección de limallas del pozo Sacha 247D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	179
Tabla 4.43: Recolección de limallas del pozo Palo Azul B 43D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	179
Tabla 4.44: Recolección de limallas del pozo Sacha 341D, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	180
Tabla 4.45: Recolección de limallas del pozo Yanaquincha Oeste B 16D, durante la perforación de la sección de 8 1/2".....	181
Tabla 4.46: Recolección de limallas del pozo Sacha 317H, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	182
Tabla 4.47: Recolección de limallas del pozo Sacha 317H, durante la perforación de la sección de 6 1/8" .....	182
Tabla 4.48: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 33H, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	183
Tabla 4.49: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 33H, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	184
Tabla 4.50: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 28H, durante la perforación de la sección de 8 1/2" .....	185
Tabla 4.51: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 28H, durante la perforación de la sección de 6 1/8" .....	185

Tabla 4.52: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 34H, durante la perforación de la sección de 8 ½” .....	186
Tabla 4.53: Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 34H, durante la perforación de la sección de 6 1/8” .....	186
Tabla 4.54: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 273D.....	188
Tabla 4.55: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 237D.....	189
Tabla 4.56: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 275D.....	190
Tabla 4.57: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 316D.....	191
Tabla 4.58: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 247D.....	192
Tabla 4.59: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 341D.....	193
Tabla 4.60: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 341H.....	194
Tabla 4.61: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – PLAD 33H .....	194
Tabla 4.62: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – PLAD 28 H .....	195
Tabla 4.63: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – PLAD 34 H .....	195
Tabla 5.1: Distribución de perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 248D .....	215
Tabla 5.2: Factor de desgaste, volumen y peso total desgastado – Sacha 248D216	
Tabla 5.3: Datos medidos de campo obtenidos de la recolección de limallas durante la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 248D .....	219
Tabla 5.4: Recolección de limallas del pozo Sacha 248D, durante la perforación de la sección de 8 ½” .....	220
Tabla 5.5: Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 248D.....	221
Tabla 5.6: Porcentajes de recolección de limallas.....	223

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.1: Esquema Mecánico Sacha 273D .....	243
Anexo 1.2: Esquema Mecánico Sacha 237D .....	244
Anexo 1.3: Esquema Mecánico Sacha 275D .....	245
Anexo 1.4: Esquema Mecánico Sacha 316D .....	246
Anexo 1.5: Esquema Mecánico Sacha 247D .....	247
Anexo 1.6: Esquema Mecánico Palo Azul B 43D.....	248
Anexo 1.7: Esquema Mecánico Sacha 341D .....	249
Anexo 1.8: Esquema Mecánico Yanaquincha Oeste B 16D .....	250
Anexo 1.9: Esquema Mecánico Sacha 317H .....	251
Anexo 1.10: Esquema Mecánico Palo Azul D 33H.....	252
Anexo 1.11: Esquema Mecánico Palo Azul D 28H.....	253
Anexo 1.12: Esquema Mecánico Palo Azul D 34H.....	254
Anexo 2.1: Trayectoria Direccional Sacha 273D .....	256
Anexo 2.2: Trayectoria Direccional Sacha 237D .....	257
Anexo 2.3: Trayectoria Direccional Sacha 275D .....	258
Anexo 2.4: Trayectoria Direccional Sacha 316D .....	259
Anexo 2.5: Trayectoria Direccional Sacha 247D .....	260
Anexo 2.6: Trayectoria Direccional Palo Azul B 43D.....	261
Anexo 2.7: Trayectoria Direccional Sacha 341D .....	262
Anexo 2.8: Trayectoria Direccional Yanaquincha Oeste B 16D .....	263
Anexo 2.9: Trayectoria Direccional Sacha 317H .....	264
Anexo 2.10: Trayectoria Direccional Palo Azul D 33H .....	265
Anexo 2.11: Trayectoria Direccional Palo Azul D 28H .....	266
Anexo 2.12: Trayectoria Direccional Palo Azul D 34H .....	267
Anexo 3.1: BHA Direccional #9 Sección 8 ½" Sacha 273D.....	269

Anexo 3.2: BHA Direccional #9 Sección 8 ½" Sacha 237D.....	269
Anexo 3.3: BHA Direccional #6 Sección 8 ½" Sacha 275D.....	270
Anexo 3.4: BHA Direccional #6 Sección 8 ½" Sacha 316D.....	270
Anexo 3.5: BHA Direccional #5 Sección 8 ½" Sacha 247D.....	271
Anexo 3.6: BHA Direccional #9 Sección 8 ½" Palo Azul B 43D .....	271
Anexo 3.7: BHA Limpieza #10 Sección 8 ½" Palo Azul B 43D.....	272
Anexo 3.8: BHA Direccional #5 Sección 8 ½" Sacha 341D.....	272
Anexo 3.9: BHA Direccional #8 Sección 8 ½" Yanaquincha Oeste B 16D .....	273
Anexo 3.10: BHA Direccional #7 Sección 8 ½" Sacha 317H.....	273
Anexo 3.11: BHA Direccional #8 Sección 8 ½" Sacha 317H.....	274
Anexo 3.12: BHA Direccional #9 Sección 8 ½" Sacha 317H.....	274
Anexo 3.13: BHA Direccional #6 Sección 8 ½" Palo Azul D 33H .....	275
Anexo 3.14: BHA Direccional #7 Sección 8 ½" Palo Azul D 33H .....	275
Anexo 3.15: BHA Direccional #10 Sección 8 ½" Palo Azul D 33H .....	276
Anexo 3.16: BHA Direccional #11 Sección 8 ½" Palo Azul D 33H .....	276
Anexo 3.17: BHA Direccional #6 Sección 8 ½" Palo Azul D 28H .....	277
Anexo 3.18: BHA Direccional #7 Sección 8 ½" Palo Azul D 28H .....	277
Anexo 3.19: BHA Direccional #7 Sección 8 ½" Palo Azul D 34H .....	278
Anexo 4.1: BHA Direccional #10 Sección 6 1/8" Sacha 317H.....	280
Anexo 4.2: BHA Direccional #11 Sección 6 1/8" Sacha 317H.....	280
Anexo 4.3: BHA Direccional #12 Sección 6 1/8" Sacha 317H.....	281
Anexo 4.4: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Sacha 317H.....	281
Anexo 4.5: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Sacha 317H.....	282
Anexo 4.6: BHA Direccional #12 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H .....	282
Anexo 4.7: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H .....	283
Anexo 4.8: BHA Direccional #14 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H .....	283
Anexo 4.9: BHA Direccional Sección #9 6 1/8" Palo Azul D 28H .....	284

Anexo 4.10: BHA Direccional Sección #10 6 1/8" Palo Azul D 28H .....	284
Anexo 4.11: BHA Direccional #9 Sección 6 1/8" Palo Azul D 34H .....	285
Anexo 4.12: BHA Direccional #10 Sección 6 1/8" Palo Azul D 34H .....	285
Anexo 5.1: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 273D .....	287
Anexo 5.2: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 237D .....	288
Anexo 5.3: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 275D .....	289
Anexo 5.4: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 316D .....	290
Anexo 5.5: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 247D .....	291
Anexo 5.6: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul B 43D....	292
Anexo 5.7: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 341D .....	293
Anexo 5.8: Información de Ingreso en programa CWEAR - Yanaquincha Oeste B 16D.....	294
Anexo 5.9: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 317H .....	295
Anexo 5.10: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 33H...	296
Anexo 5.11: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 28H...	297
Anexo 5.12: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 34H..	298

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación se ha desarrollado debido a la necesidad de evaluar y cuantificar el desgaste que sufre el revestidor de 9 5/8" después de ser sometido a la rotación de la tubería de perforación durante las actividades de perforación de secciones posteriores.

Este proyecto comprende seis capítulos que han sido desarrollados de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se presenta las generalidades de los diferentes perfiles direccionales y horizontales, donde se detalla el origen de la necesidad de perforar este tipo de pozos, breves rasgos de su diseño, al final del capítulo se presentan tres casos catastróficos históricos producto del desgaste de la tubería de revestimiento.

En el segundo capítulo, se realiza la presentación teórica de las clases, propiedades físicas y mecánicas, funciones y mecanismos de desgaste a los que está sujeto la tubería de revestimiento, y se detallan los 12 casos que son sujeto de análisis en este proyecto.

En el tercer capítulo, se enumeran y detallan los métodos disponibles para poder cuantificar el desgaste que sufre la tubería de revestimiento y se brindan los lineamientos operacionales adecuados para realizar una cuantificación apropiada.

En el capítulo cuatro se aplica el modelo teórico - detallado en el capítulo tres - para los 12 casos de estudio en este proyecto en función de lo expuesto anteriormente en el capítulo dos.



En el quinto capítulo se realiza la cuantificación del desgaste en base a la información disponible de campo y se compara la misma con el modelo teórico presentado en el capítulo anterior. En el mismo capítulo se realiza el análisis de un caso de aplicación de las recomendaciones operacionales mencionadas en el tercer capítulo.

En el capítulo sexto, se presentan las conclusiones y recomendaciones elaboradas de acuerdo a los resultados obtenidos del presente Proyecto de Titulación en donde se especifican los principales lineamientos al momento de evaluar el desgaste sufrido por la tubería de revestimiento debido a operaciones de perforación de pozos.

## PRESENTACIÓN

La tubería de revestimiento es un medio de aislamiento y soporte que genera estabilidad en el hoyo durante la perforación de pozos, como tal se encuentra compuesto en su mayoría de acero y está expuesto a agentes abrasivos durante las actividades de perforación, estos agentes generan una variación en las propiedades físicas y mecánicas de éste material. Debido a la condición que presentan los pozos perforados en nuestro País, el desgaste que sufre el revestidor ha sido considerado como un factor secundario al momento de realizar el diseño del mismo.

Considerando los precedentes, lo que se busca con éste proyecto de titulación es generar un estudio técnico sobre el desgaste que sufre la tubería de revestimiento intermedia de 9 5/8" en distintos perfiles direccionales representativos en el Oriente Ecuatoriano.

Para el desarrollo de este estudio fue necesario la recolección de información disponible en el campo sobre el desgaste del revestidor y conjuntamente con el levantamiento de los detalles del diseño y ejecución del pozo se generó un modelo base.

Gracias al modelo creado se pudo determinar los lineamientos adecuados para el tratamiento y prevención del desgaste en el revestidor durante actividades de perforación.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES DE LOS DISTINTOS PERFILES DE POZOS: HORIZONTALES Y DIRECCIONALES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La perforación direccional controlada es la ciencia de desviar el hoyo de un pozo a lo largo de un curso planeado a la superficie de un objetivo cuya localización es una distancia lateral y dirección dada desde la vertical. En una profundidad vertical específica, esta definición es el concepto fundamental de la perforación direccional controlada aún en un hoyo donde se mantiene la verticalidad lo mayormente posible así como hoyos con amplias desviaciones planeadas de la vertical.

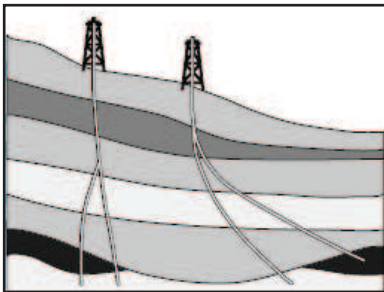
### **1.2 RESEÑA HISTÓRICA**

Antiguamente la perforación era usada como una operación remedial, sea ésta para realizar side tracks a lado de herramientas pegadas, para llevar el hoyo de vuelta a la verticalidad ó en pozos de alivio para matar reventones. El interés en la perforación direccional controlada comenzó alrededor de 1929 después que nuevas y apropiadas maneras de medir los ángulos de los hoyos fue introducida durante el desarrollo del campo Oklahoma en Estados Unidos. A lo largo de los años y demostrando la eficiencia de sus aplicaciones, la perforación direccional controlada ha permitido a desarrollar campos que de manera convencional no hubiera sido posible.

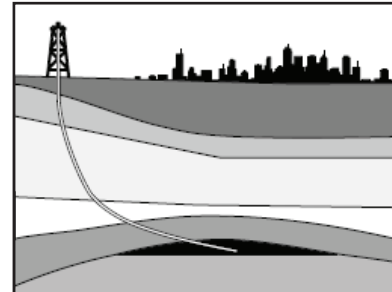
Principalmente el desarrollo de motores de fondo, herramientas de geo navegación y de medición (MWD, measured while drilling – midiendo mientras se perfora o Gyro non magnetic measurement tool) han permitido el avance en la tecnología de perforación direccional.

### 1.3 APLICACIONES

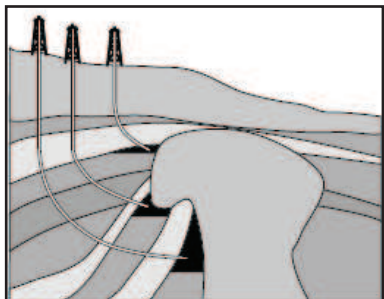
Entre las diferentes aplicaciones de la perforación direccional aplicada podemos mencionar aquellas que se muestran en la figura 1.1.



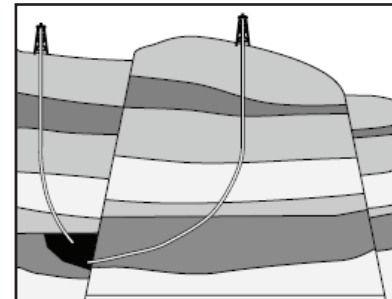
Side tracks



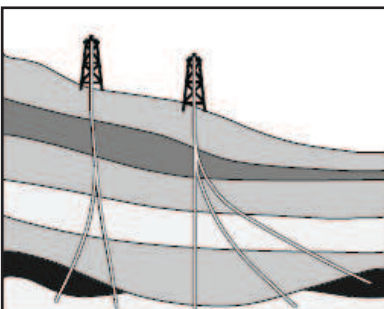
Locaciones de difícil acceso



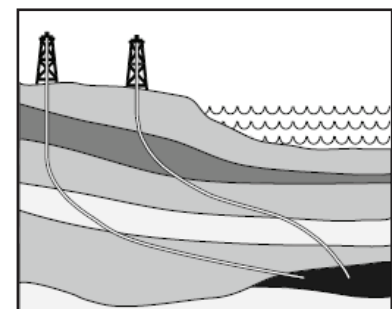
Perforación de domos de sal



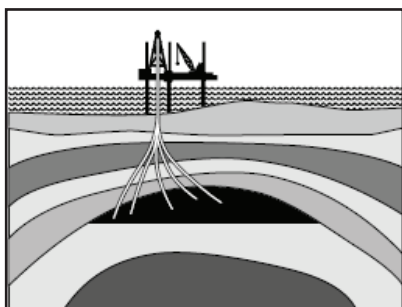
Control de fallas



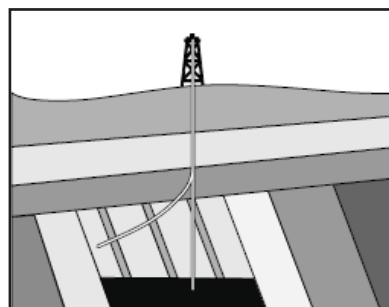
Pozos multi exploratorios



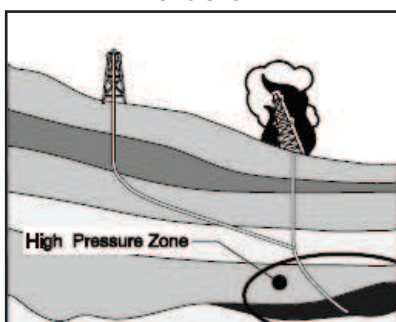
Perforación costas adentro



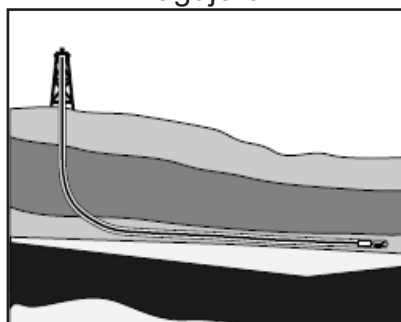
Perforación de varios pozos costados afuera



Acceder a varias arenas desde un solo agujero



Pozo de alivio



Pozos horizontales

**Figura 1.1:** Aplicaciones de perforación direccional

**Fuente:** Directional Drilling Training Manual<sup>1</sup>

## 1.4 OBJETIVOS EN EL SUBSUELO

El primer objetivo en la planeación de cualquier pozo es definir los objetivos. Un pozo direccional puede poseer uno o más objetivos, dichos objetivos son estructuras geológicas, características geológicas como fallas o trampas estratigráficas, otros pozos como pozos de alivio o una combinación de estos.

Existen varias maneras de referirse a la locación en superficie y de la misma manera para los objetivos, con la adición de una profundidad vertical para cada objetivo definido. Por este motivo es necesario definir las coordenadas locales en superficie, las mismas pueden ser expresadas principalmente en unidades UTM ó en coordenadas polares.

---

<sup>1</sup> Directional Drilling Training Manual, Schlumberger Anadrill Inc. - 1997

### 1.4.1 COORDENADAS RECTANGULARES - UTM

Este tipo de coordenadas se encuentran expreadas en unidades de longitud, usualmente en pies ó metros, Norte/Sur y Este/Oeste de un punto local de referencia. Los valores que definen el objetivo pueden ser encontrados al sustraer las coordenadas en superficie de las coordenadas del objetivo, un ejemplo de ello se presenta en la tabla 1.1.

Un valor positivo denotará una la ubicación al norte ó este, mientras que un valor negativo denota una posición sur ú oeste.

<b>Coordenadas</b>	<b>Norte/Sur</b>	<b>Este/Oeste</b>
<b>Objetivo</b>	9354500.00 N	262744.00 E
<b>Superficie</b>	9355000.00 N	262544.00 E
<b>Parcial</b>	- 500.00	200.00

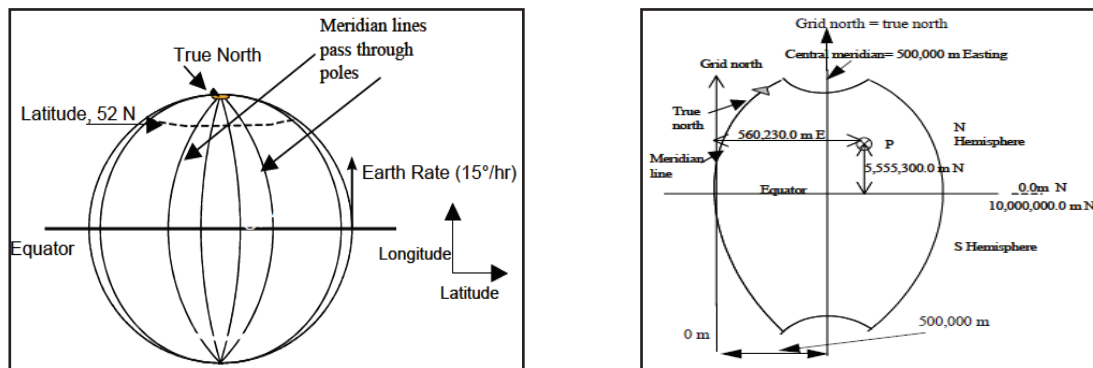
**Tabla 1.1:** Coordenadas rectangulares de la posición del objetivo  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 1.4.2 COORDENADAS POLARES

Estas coordenadas pueden ser derivadas de las coordenadas rectangulares, como se observa en la figura 1.2, además éstas son expresadas en distancia (salida) y en una dirección (azimut o cuadrante). La ecuación 1.1 expresa la forma que el azimut es calculado a partir de las coordenadas parciales expresadas en el sistema rectangular, mientras que la ecuación 1.2 expresa el cálculo de la distancia del punto del a ser referido.

$$Azimuth = \tan^{-1} \left( \frac{Coordenadas\ Parciales\ E/W}{Coordenadas\ Parciales\ N/S} \right) \quad (1.1)$$

$$Distancia = [(Coord. Parci. E/W)^2 + (Coord. Parci. N/S)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (1.2)$$



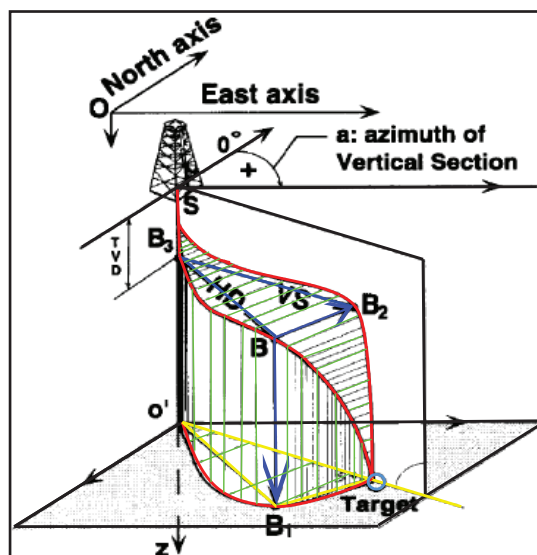
**Figura 1.2:** Sistema de coordenadas geográficas y coordenadas rectangulares  
**Fuente:** Well Engineering and Constrution, Hussain Rabia - 2002

### 1.4.3 MEDIDAS DE NAVEGACIÓN

La navegación durante la perforación de un pozo direccional debe registrar medidas de inclinación, azimut y profundidad de la trayectoria que esta siguiendo el mismo.

#### 1.4.3.1 Definición de Términos

La figura 1.3 muestra la trayectoria de un pozo direccional en 3 dimensiones.



**Figura 1.3:** Definiciones de términos usados en la navegación  
**Fuente:** Directional Drilling Training Manual

- “O”, es el punto de referencia para el pozo. Desde O, hay tres ejes; al norte, al este y la vertical hacia abajo “z”.
- “S” es el punto de referencia en superficie y “B” es un punto de medida.
- “a” es el azimut en grados del plano de la sección vertical. Este es medido en el plano horizontal desde la dirección norte (geográfica), empezando a 0 grados y continuando hasta los 360 en sentido de las manecillas del reloj.
- “TVD” es la proyección de SB (profundidad medida a lo largo de la trayectoria del hoyo) dentro del eje vertical “z”. La distancia es  $SB_3$ .
- “ $B_3$ ” es el punto de desviación del hoyo o kick-off point, es el punto donde la trayectoria original del hoyo empieza a cambiar.
- “B” es el punto donde empieza a declinar la tangente, es el start of drop.
- “HD” es el desplazamiento horizontal, medido en el plano horizontal pasando a través del punto de medida. La distancia es  $BB_3$ , entre el punto de medida y el eje “z”.
- “VS” es la sección vertical, es la longitud de la proyección del desplazamiento horizontal (HD) en el plano de la sección vertical definido por su azimut. La distancia es  $B_3B_2$ .
- El plano de la sección vertical está definido por su azimut y su punto de origen, a menudo la sección vertical que atraviesa el centro del objetivo es usado para proyectar el perfil del pozo.

#### ***1.4.3.2 Método de la curvatura mínima***

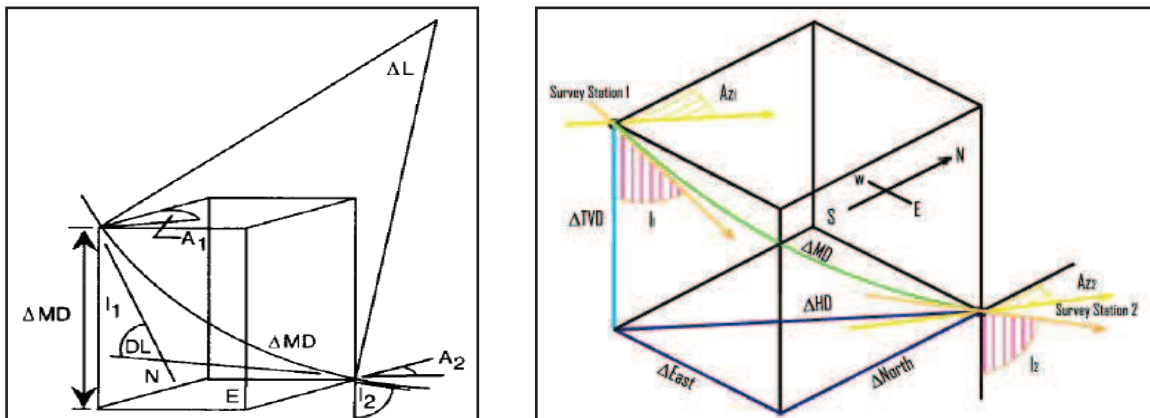
Este método es el más apropiado en el cálculo de la trayectoria de un pozo. Sin importar la herramienta que sea usada (single-shot, multishot, steering



tool, surface readout gyro, MWD) la siguiente información (figura 1.4) se conoce al final de un survey o toma de medidas:

- Profundidad medida, MD.
- Inclinación del hoyo.
- Azimut del hoyo, corregida relevantemente al norte.

Con este método se trata de ajustar un arco esférico entre dos puntos de medida, se toma los vectores en el espacio definidos por su inclinación y azimut en cada punto de survey y se suaviza estos dos vectores en el hoyo por medio de un factor de radio, el cual es definido por la curvatura de la sección del pozo. Esta curvatura se denomina como Dog-leg o pata de perro.



**Figura 1.4:** Método de la mínima curvatura – pata de perro

**Fuente:** Directional Drilling Training Manual

$$DL = \cos^{-1}[\cos(I_2 - I_1) - (\sin I_1 \sin I_2 (1 - \cos(A_2 - A_1)))] \quad (1.3)$$

La longitud del curso MD es medido a lo largo de la curva, donde “I” y “A” definen direcciones rectas en el espacio, es necesario suavizar dichos segmentos rectos a una curva usando un factor de radio, “RF”.

$$RF = \frac{360}{DL \times \pi} \tan \frac{DL}{2} \quad (1.4)$$

Donde DL se encuentra en grados, y para ángulos pequeños ( $DL < 0.0001$ ) se usa un  $RF = 1$ .

### 1.4.3.3 Severidad pata de perro - dog leg severity

La severidad de la pata de perro es una medida de la magnitud de cambios de la inclinación y/o dirección del hoyo.

Se encuentra expresada en grados por cada 100 pies o en grados por cada 10 o 30 metros de la medida de la trayectoria.

$$DLS = \frac{100}{\Delta MD} \cos^{-1} [\cos \Delta I - (\sin I_1 \sin I_2)(1 - \cos \Delta A)] \quad (1.5)$$

Donde:

D = Intervalo del DLS

$I_1$  = Inclinación en la estación de medida 1

$A_1$  = Azimut en la estación de medida 1

$I_2$  = Inclinación en la estación de medida 1

$A_2$  = Azimut en la estación de medida 1

## 1.5 PLANEACIÓN DEL POZO

La planeación de un proyecto direccional consiste en establecer los objetivos específicos del pozo. Perforar un pozo direccional envuelve perforar un hoyo desde un punto en superficie a otro punto en el subsuelo, de tal manera que el hoyo pueda ser usado para su propósito planeado. Para ello es necesario definir las locaciones en superficie y el objetivo.

### **1.5.1 LOCACIÓN**

Lo primero es definir el sistema de coordenadas local originando un punto en superficie. En nuestro país se utiliza el sistema UTM para localizar locación en superficie y objetivo.

### **1.5.2 TAMAÑO DEL OBJETIVO**

Se refiere a la precisión con la que el objetivo planificado del pozo sea alcanzado, existe un rango definido o radio de tolerancia centro-centro de un +/- 50 pies para hoyos de alta complejidad direccional y +/- 45 ft para pozos horizontales.

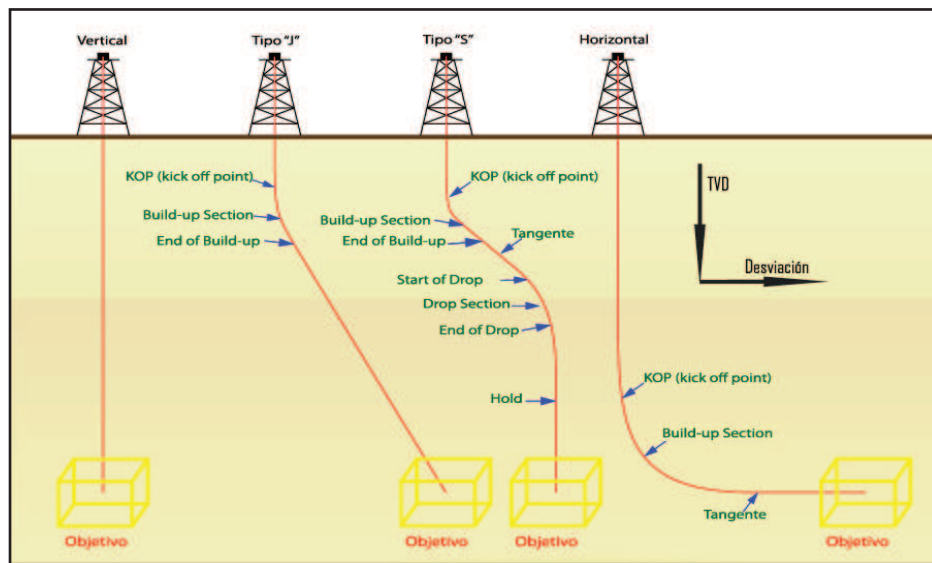
### **1.5.3 PERFIL DEL HOYO**

Conociendo la posición de la locación en superficie y el objetivo en el subsuelo, sus coordenadas rectangulares y profundidad real vertical, es posible determinar la mejor geometría (perfil) que el pozo tendrá. Como lo indica la figura 1.5, en general los pozos pueden ser:

- Verticales
- Tipo "J"
- Tipo "S"
- Horizontal

La geometría de estos pozos puede ser modificada dando lugar a perfiles híbridos, con altos ángulos de inclinación, por ejemplo:

- Tipo "J" modificado
- Alto ángulo
- Multilaterales



**Figura 1.5:** Tipos de pozos según sus perfiles

**Fuente:** Well Engineering and Constrution, Hussain Rabia

El tipo de perfil seleccionado dependerá del objetivo geológico y el método de producción del pozo. Una vez que el perfil haya sido seleccionado, el pozo puede ser planificado.

#### 1.5.4 KICK-OFF POINT

El “kick-off point” se define como un punto en el hoyo del pozo a una profundidad vertical dada debajo de la locación en superficie donde el pozo se empezará a desviar de la vertical en una dirección determinada con una inclinación y tasa de construcción establecida. La selección de este punto de desviación es hecha en base a la geometría de la trayectoria del hoyo y las características geológicas. La inclinación óptima del pozo se encuentra en función de la máxima tasa permisible de construcción (y tasa de declinación – drop- si es aplicable) y la ubicación del objetivo.

#### 1.5.5 TASAS DE CONSTRUCCIÓN Y DECLINACIÓN

La tasa máxima de construcción/ declinación del ángulo es determinada por una o más de las siguientes:

- Profundidad total del pozo.
- Limitaciones de torque y arrastre máximo.
- Gran severidad en las patas de perro en la sección de construcción de los pozos resultan en un alto torque y arrastre mientras se perfora secciones continuas del pozo.
- Las formaciones que se atraviesan durante la perforación de la sección de construcción. Altas tasas de construcción a menudo no son posibles de alcanzar en formaciones suaves.
- Limitaciones mecánicas de la tubería de perforación, la de revestimiento de producción y de las herramientas de registros.
- Las tasas óptimas de construcción/declinación en hoyos convencionales se encuentran en un rango de 1.5° a 3.0° por cada 100 pies, llegando hasta un rango de 2.5 ° a 5.0° por cada 100 pies en hoyos de alto grado de dificultad.

### **1.5.6 CÁLCULO DE LA TRAYECTORIA**

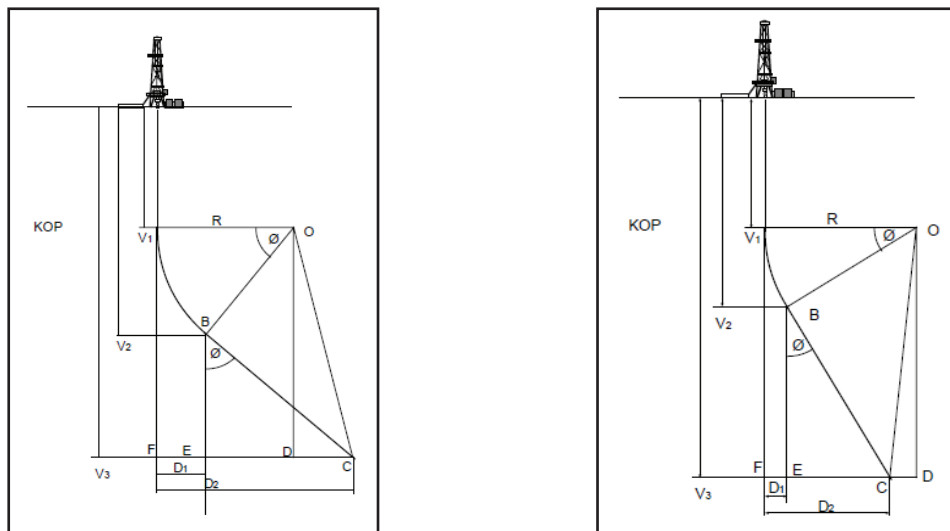
Una vez que se haya establecido las tasas de construcción y declinación, el kick-off point puede ser determinado. Existe algún tipo de flexibilidad en orden de poder definir los puntos de asentamiento de la tubería de revestimiento. Desde un punto de vista matemático se debe definir dos tipos de pozos, aquellos en que el radio de construcción o la suma de los radios de construcción sean mayores o menores que el desplazamiento total del pozo.

### **1.6 POZOS DIRECCIONALES**

Se considera a un pozo como direccional cuando este posee un grado de desviación superior a los 10 grados

### 1.6.1 DIRECCIONAL TIPO “J”

Construir y sostener, este es el perfil más simple y común para un pozo direccional. El hoyo es perforado verticalmente hasta el punto de KOP (punto de desvío), donde el pozo es desviado hasta la inclinación requerida. Esta inclinación es mantenida sobre la sección tangencial hasta intersectar con el objetivo.



**Figura 1.6:** Pozos de perfil “J” radio largo y de radio corto  
**Fuente:** Well Engineering and Constrution, Hussain Rabia

Generalmente, un KOP superficiales seleccionado debido a que esto reduce la medida del ángulo de inclinación necesario para llegar al objetivo. Este tipo de perfil es a menudo aplicado cuando un desplazamiento horizontal largo es necesario a profundidades del objetivo relativamente superficiales. Gracias a que no se presentan cambios mayores en la inclinación o azimut después de la sección de construcción, hay pocos problemas direccionales con este perfil. Bajo condiciones normales la inclinación debería encontrarse en el rango de 15 a 55 grados, aunque pozos con mayores inclinaciones se han perforado con este perfil.

En orden de diseñar un pozo de perfil “J”, la información requerida incluirá:

- Coordenadas de superficie.
- Coordenadas del objetivo.
- Profundidad vertical verdadera del objetivo.
- Profundidad vertical verdadera del punto de desviación (KOP).
- Rata de la sección de construcción.
- Ángulo final de inclinación al atravesar el objetivo.

### 1.6.2 DIRECCIONAL TIPO “S”

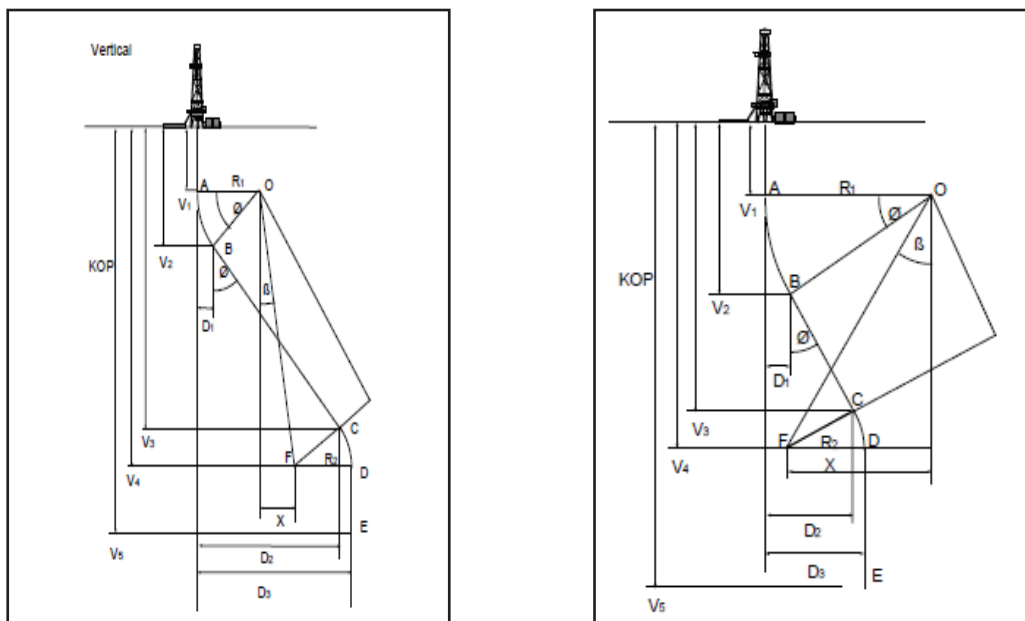
Construir, sostener y caer, este tipo de perfil es similar al perfil tipo “J” a diferencia que en la parte inferior de la tangente, en donde el perfil entra en una sección de caída donde la inclinación es reducida, y en algunos casos se convierte vertical mientras alcanza el objetivo. Este es un perfil más difícil de perforar que un tipo “J”, debido a los problemas del control de la sección de declinación del ángulo o la sección de caída justo por encima del objetivo. Torque y arrastre obsesivo puede ser esperado debido al doblamiento adicional de la sarta de perforación. Este tipo de perfil es usado cuando el objetivo es profundo pero el desplazamiento horizontal es relativamente corto, bajo este caso un pozo con perfil tipo “J” podría producir un ángulo de inclinación pequeño el cuál sería difícil de controlar. Además un perfil tipo “S” nos ayuda en la completación del pozo cuando éste atraviesa múltiples zonas productoras o en pozos de alivio cuando es necesario.

En la figura 1.7 podemos observar en la parte izquierda un pozo direccional “S” con radio largo y a la derecha un tipo “S” radio corto.

En orden de diseñar un pozo de perfil “S”, la información requerida incluirá:

- Coordenadas de superficie.

- Coordenadas del objetivo.
- Profundidad vertical verdadera del objetivo.
- Profundidad vertical verdadera del punto de desviación (KOP).
- Rata de la sección de construcción.
- Rata de la sección de declinación.
- Profundidad vertical verdadera al final de la construcción.
- Ángulo final de inclinación al atravesar el objetivo.



**Figura 1.7:** Pozos de perfil “S” radio largo y de radio corto  
**Fuente:** Well Engineering and Constrution, Hussain Rabia

### 1.6.3 DIRECCIONAL TIPO “J” MODIFICADO

Es una aplicación combinada de un perfil tipo “S” y un tipo “J” debido a que con este tipo de perfil se espera tener los beneficios de ambos perfiles. Este perfil puede llegar a tener secciones de desplazamiento horizontal relativamente extensas y atravesando varias zonas productoras con la facilidad de realizar



una completación múltiple. La planeación del perfil consiste principalmente en diseñar un pozo tipo “J” y considerar que al final de la tangente dejar de mantener y esperar que la sarta empiece a caer con la tendencia natural de la formación por la que está atravesando, así se llegará a tener una sección de declinación muy corta y llegará al objetivo de manera vertical.

## **1.7 POZOS HORIZONTALES**

Los pozos horizontales son pozos perforados con altos ángulos (con inclinaciones generalmente mayores a 85 grados) para mejorar el rendimiento del reservorio a lo largo de la sección del hoyo dentro del reservorio.

### **1.7.1 APLICACIONES**

Este tipo de pozos presentan beneficios como los siguientes:

- Reducir la conificación de agua y gas debido a una caída de presión en el reservorio
- Incrementar producción debido a la gran área de contacto con la zona de pago
- Presentar bajas caídas de presión alrededor del pozo

### **1.7.2 CLASIFICACIÓN**

Pozos horizontales son normalmente caracterizados por sus tasas de construcción, la tasa de construcción es la el cambio positivo en la inclinación sobre una longitud normalizada, por ejemplo 3 grados por cada 100 pies, un cambio negativo en la inclinación vendría a ser la tasa de declinación, así los pozos horizontales vienen clasificados por la longitud del radio que se genera en la sección de construcción desde el KOP hasta llegar al ángulo requerido. La tabla 1.2 muestra la clasificación de este tipo de pozos por tasa de construcción.

Tipo de Pozo Horizontal	Tasa de Construcción	Radio (pies)
Radio Largo	$\frac{(1 \text{ a } 6)^\circ}{100 \text{ ft}}$	6000 a 1000
Radio Medio	$\frac{(6 \text{ a } 20)^\circ}{100 \text{ ft}}$	1000 a 300
Radio Corto	$\frac{(20 \text{ a } 150)^\circ}{100 \text{ ft}}$	300 a 30

**Tabla 1.2:** Clasificación de los pozos horizontales

**Fuente:** An Introduction to Directional Drilling, Nejad Tabatabaei - 2002

### 1.7.2.1 Horizontales de radio largo

Un pozo horizontal de radio largo está caracterizado por su tasa de construcción de 1 hasta 6 grados por cada 100 pies, el cual resulta en un radio de 6000 a 1000 pies. Este perfil es perforado con herramientas direccionales convencionales, y secciones laterales de hasta 8000 pies han sido perforadas.

### 1.7.2.2 Horizontales de radio medio

Pozos horizontales con radios medios han sido construidos con tasas desde 6 a 20 grados por cada 100 pies, los cuales resultan en radios de 1000 a 300 pies y secciones laterales de hasta 8000 pies. En términos prácticos, un pozo es clasificado como uno de radio medio si su ensamblaje de fondo no puede ser rotado a través de la sección de construcción en todo momento.

### 1.7.2.3 Horizontales de radio corto

Y por último un pozo horizontal de radio corto es construido con tasas de entre 20 a 150 grados por cada 100 pies, lo cual produce radios entre 40 a 20 pies. La longitud de la sección lateral varía entre 200 y 900 pies. Este

tipo de pozo es mayormente perforado como una re –entrada de un pozo ya existente.

## **1.8 CASOS HISTÓRICOS**

Los casos que serán presentados a continuación son aquellos pozos que han presentado complicaciones de desgaste del revestidor durante las actividades de perforación de los mismos, dichos casos son un preámbulo para el desarrollo de este proyecto. En cada caso se presentará las actividades realizadas en el pozo previo a la presentación del problema y se describirán por último las acciones tomadas como solución inmediata que se dio en cada locación.

### **1.8.1 PACHE 23**

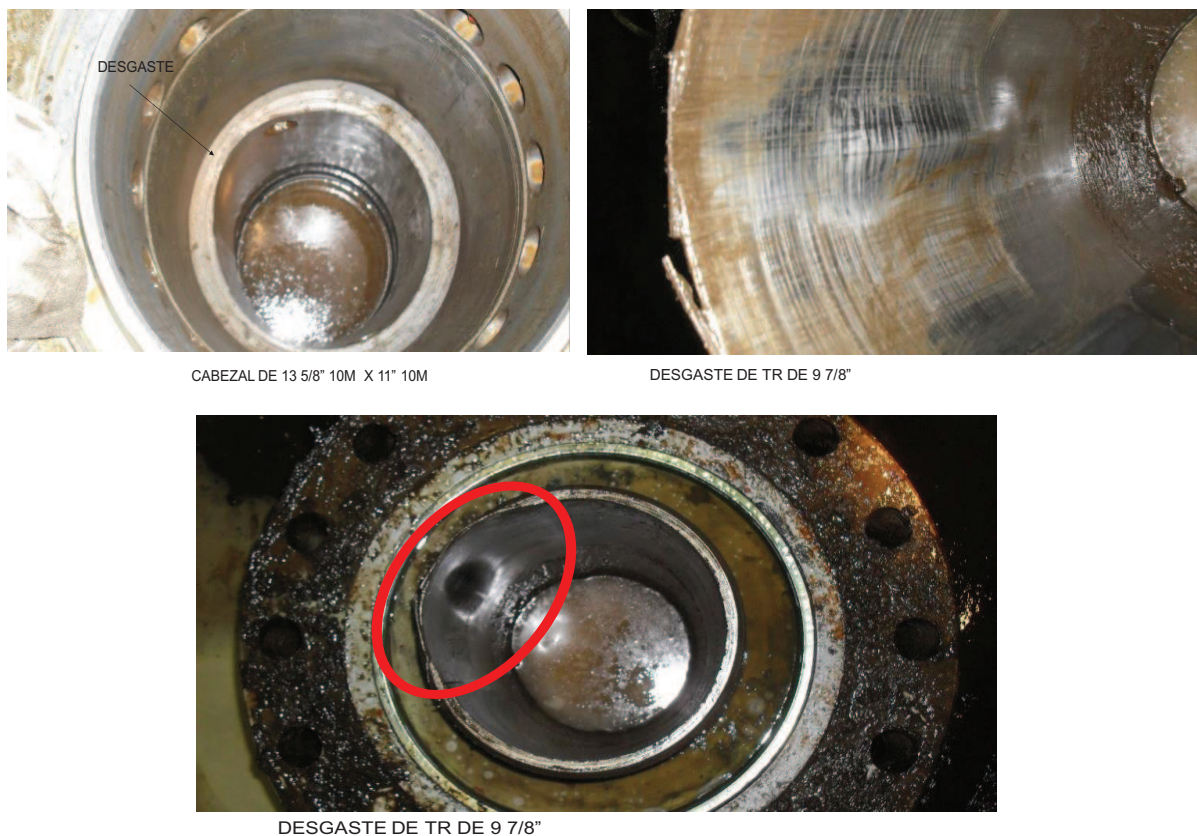
En México el pozo Pache 23, fue perforado con el taladro Parker 165, en el proyecto Mesozoico, campo Cárdenas a cargo de la operadora nacional de México. Después de terminar las operaciones de perforación de la sección de producción de 8 ½”, se procedió a probar el cabezal con el fin de simular las presiones de estimulación experimentadas durante las operaciones de completación, en las cuales se aplicaría de 7000 a 8000 psi como contra presión por el tubing. Se corrió un probador de copa y se aplicó 8000 psi progresivamente y observó una caída de presión repentina hasta 0 psi.

Se levantó el ensamblaje BOP y observó un desgaste severo en el revestidor de 9 7/8” (figura 1.8) y una sección fisurada de 7”. Se instaló un doble sello de 13 5/8” 5M x 13 5/8” 5M (Sección “C”). Se instaló y se probó la sección “D” del cabezal (13 5/8” 5M x 11” 10M). Se instaló y probó ensamblaje de las BOP. Se corrió y cementó el liner de 7” de contingencia hasta superficie. Total de horas del evento de NPT 54.5 hrs.

Con la investigación se identificó que existió un procedimiento en sitio para verificar y asegurar el alineamiento adecuado entre el cabezal y la mesa rotaria. Este es un factor crítico en pozos profundos con altas horas de rotación.

Algunas de las condiciones usadas fueron las siguientes:

Se utilizó un revestidor de 9 7/8", 62.8 libras /pie, TRC 95 (con 10520 psi de resistencia a la explosión – 80% 8422 psi). La presión aplicada al momento de la prueba fue de 8000 psi.



**Figura 1.8:** Vista Superior de la sección "C"  
**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Mezosoico IPM

La sección de 8 ½" fue perforada con un motor direccional para minimizar el desgaste de la tubería, usando un RPM promedio entre 30 y 40 rev/min.

El revestidor usado fue uno de los recomendados por el fabricante (FMC). Especificaciones: 12" de longitud, 13.437" OD, y 8.5" ID

En cada corrida a superficie el wear bushing fue revisado y rotado 180 grados. Desgaste fue evidenciado en la dirección Nor-Este mientras perforaban el pozo.

El proceso de desgaste del revestidor fue monitoreado en la fase de 8 ½" mediante la recolección de limallas metálicas remanentes y recuperadas en las zarandas.

En el inicio del pozo, un revestidor conductor de 30" fue corrido por el cliente el que poseía una desviación de 1.5 grados. El revestidor tenía un grosor de 0.5 pulgadas.

Se corrió el liner de 7" con una longitud de total de 6160 pies (con 9870 pies de 5 ½" DP) con el wear bushing instalado.

Se comprobó que la sección "A" del cabezal (instalada a 20 m en el revestidor superficial) no se encontraba alineada con la mesa rotaria del taladro. La mala alineación se encontraba en el orden de 2 ¾". Esto fue confirmado con un equipo laser.

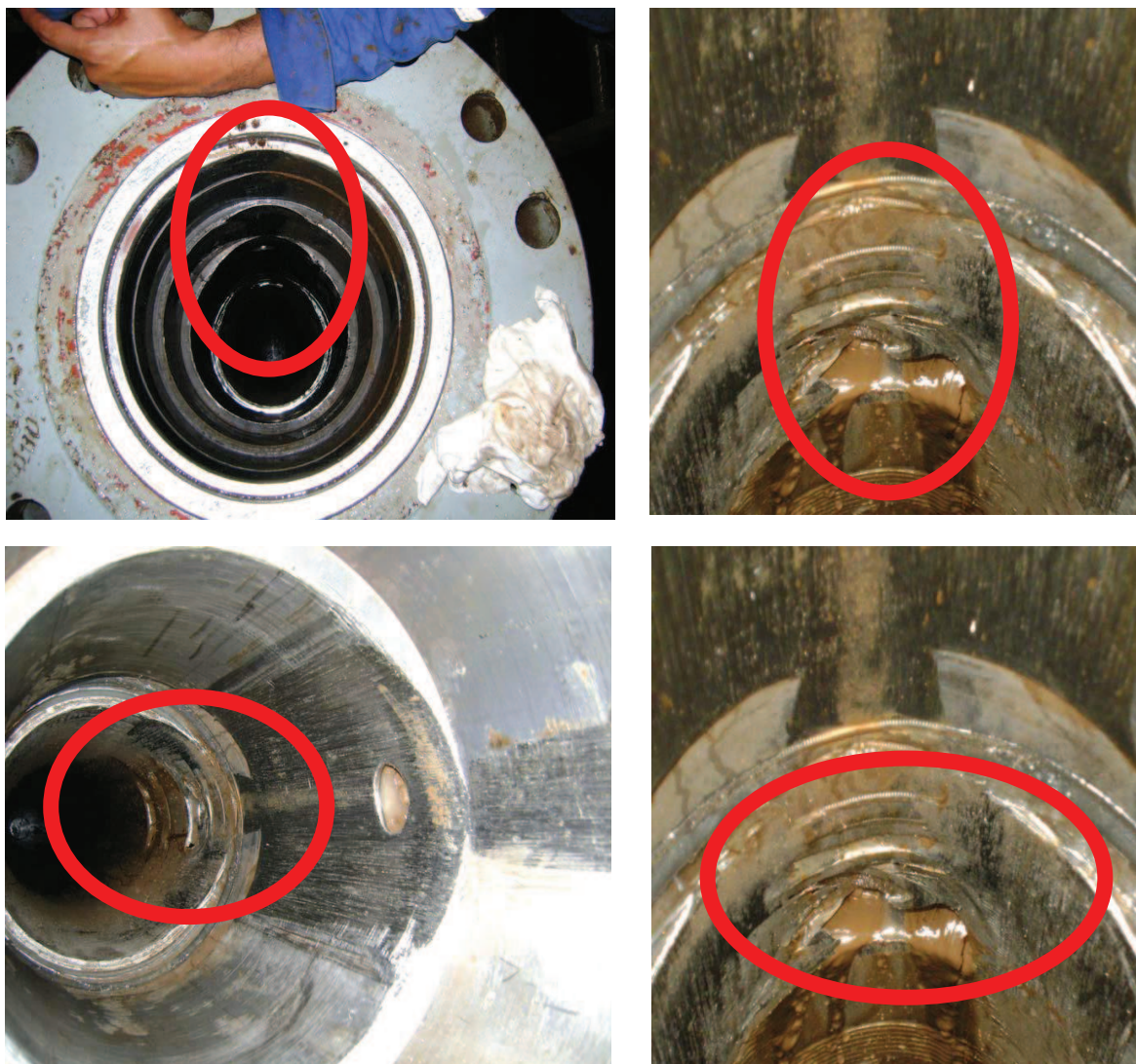
El costo del evento significó una pérdida de alrededor de \$1.3 MM para las partes afectadas.

### **1.8.2 JACINTO 1002**

El pozo Jacinto 1002 fue perforado en Mexico con el taladro Parker 165 en el proyecto Mesozoico. El mismo fue corrido con un revestidor de producción de 9 5/8" – 9 7/8", y el revestidor fue asentado (las últimas dos juntas 9 5/8") a 13815.4 pies. El tope de cemento se registró aproximadamente a 1640 pies. La sección de producción de 8 ½" fue perforada hasta 18903 pies, con un total de 254 hrs de rotación.



Los BHA usados estuvieron conformados por motores convencionales y sistemas rotatorios y el wear bushing fue cambiado en dos ocasiones. Durante el procedimiento de perforación de la sección de 8 ½” a 17918.2 pies se tuvo pérdidas totales. Se continuó perforando con pérdidas parciales después de haber bombeado LCM.



**Figura 1.9:** Desgaste Sección “A” del cabezal, sección de 13 3/8”  
**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Mezosoico IPM

Se procedió con la corrida de registros, donde se observó problemas de arrastre en la primera ocasión. Después de la primera corrida, se intentó realizar un viaje de acondicionamiento con una broca de 8 ½”, y una restricción

se observó al nivel del cabezal. Se corrió un “taper mill” a 35.24 pies y un molió 10 cm en 2 horas.

Corrió el “taper mill” a 35.24 pies y reparó el tope del revestidor de 9 5/8” antes de correr el liner de 7 5/8”, para evadir el daño del tope del packer. Se corrió y cementó el liner 7 5/8”.

Se corrió la broca de 8 1/2”, se limpió cemento desde 12923 hasta 13149 pies (tope del liner). Se realizó una prueba de presión con 1500 psi, pasándola exitosamente. Sacó la broca a superficie y corrió una broca de 6 1/2” hasta 18871 pies. Volvió a probar con 1500 psi exitosamente. Limpió cemento y el landing collar hasta los 18873 pies (zapato del revestidor de 7 5/8” a 18902 pies).

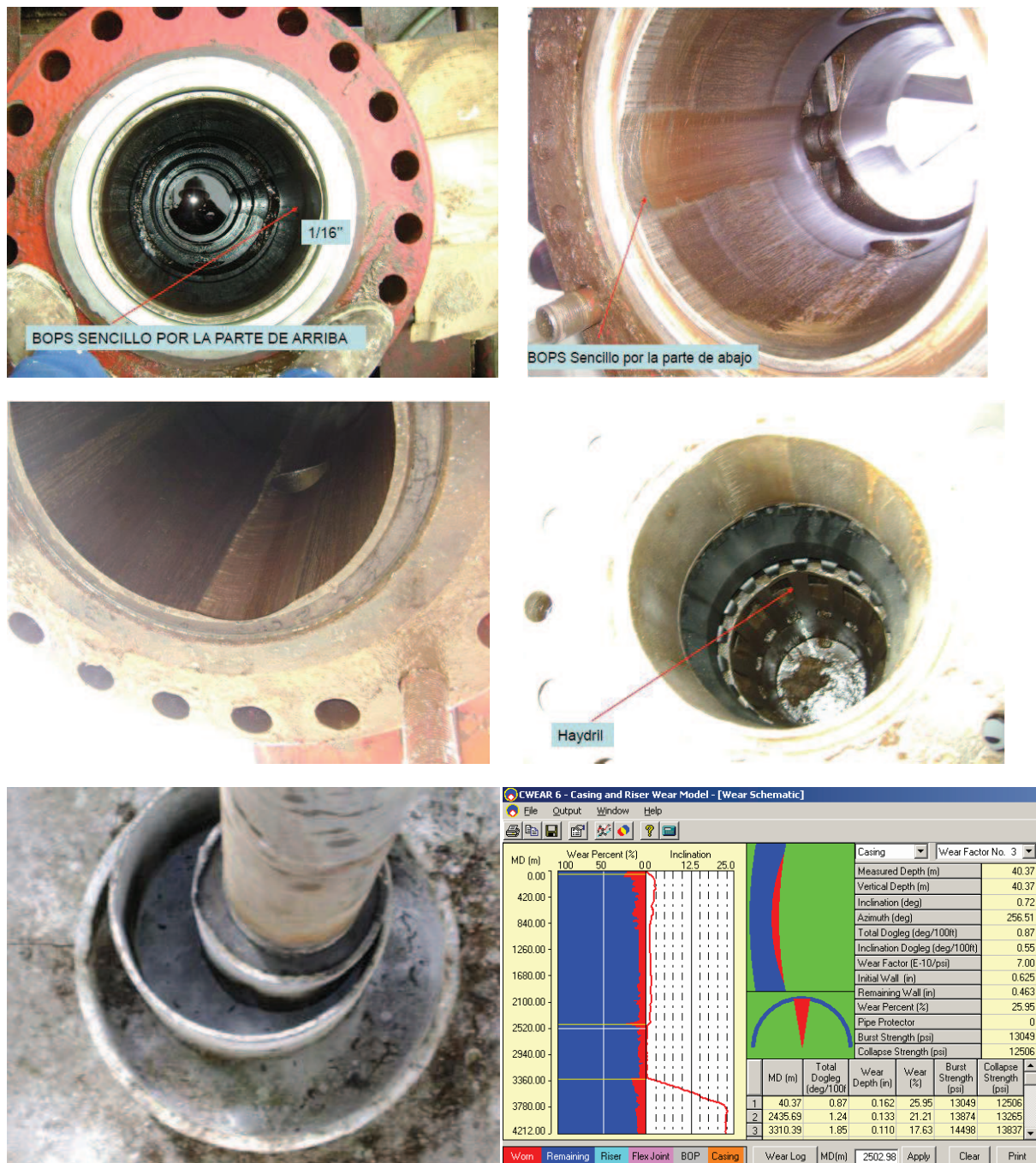


**Figura 1.10:** Desgaste del Ware Bushing

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Mezosoico IPM

Desasentó el BOP, revisó las secciones “C” y “B” del cabezal encontrando daño en ambas (figura 1.9, 1.10 y 1.11). Volvió a montar el BOP y lo probó con 1500 psi exitosamente. Corrió una broca de 6 1/2” hasta los 6560 pies y desplazó fluido de 15 lpg por fluido de 8.33 lpg. Se efectuó la prueba de presión con 3000 psi con éxito. Se repitió la prueba con la sección “A” (con las válvulas laterales abiertas) sin éxito.





**Figura 1.11:** Desgaste del BOP y revestidor de 13 3/8"

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Mezosoico IPM

El registro de corrosión USIT se corrió desde los 6560 pies hasta los 35.24 pies para evaluar la condición del cemento y del revestidor, se encontró un máximo desgaste del revestidor del 25% a los 197 pies desde superficie.



Se desmontó el BOP, la sección "C" y "B"; se pudo visualizar el revestidor de 13 3/8" fuera de posición (figura 1.9 y 1.11). Se retrajo el DSA y la sección "A" del BOP, y las "slips" se atoraron en la misma. Se cortó el revestidor de 20", 13 3/8" y 9 5/8" para eliminar el tope de la sección dañada. Una extensión del revestidor de 9 5/8" y 13 3/8" fueron soldadas e inspeccionadas. Por último se volvió a instalar y probar las secciones "A", "B" y "C" del BOP, exitosamente; corriendo 2 viajes de acondicionamiento para limpiar el revestidor y retirando la basura hasta superficie

El evento tuvo una duración de 243.36 horas de NPT, con un costo de USD 918,000 para la prestadora de servicios.

### **1.8.3 ARCABUZ 321**

El pozo Arcabuz 321 fue perforado en Mexico en el proyecto de Burgos IV, bajo la administración de la operadora estatal Mexicana. El evento se suscitó de la siguiente manera:

Para la perforación de la sección de 6 1/8" el BHA utilizado incluyó una herramienta "Power V" que se utilizó para poder mantener la verticalidad. La sección del intervalo comenzó a los 6135 pies y terminó a los 8200 pies, un solo survey fue tomado en orden de confirmar la verticalidad, con una lectura de 0.88 grados de inclinación. Por lo tanto, la sección remanente se ejecutó sin tomar adicionales medidas de verticalidad. Sin embargo, cuando se tomó el registró de inclinación éste leyó una desviación de 42 grados, lo que significó que la tolerancia del objetivo había sido perdido por más de 246 pies de radio. Como consecuencia, un side track de 6 1/8" fue realizado para poder mantener la verticalidad debajo de los 8200 pies. Luego de perforar los 10253 pies con problemas del motor de fondo se decidió sacar el BHA a superficie. Un nuevo BHA fue armado y corrido hasta los 10197 pies, donde se estableció circulación con 80 spm y con un fluido e 15.2 lpg (como el plan indicaba). Después de circular por dos minutos, pérdidas totales se observaron.

Después de intentar controlar las pérdidas se decidió sacar del fondo del hoyo hasta 5845 pies y bombear una píldora establecida para control de pérdidas, sin obtener resultado positivo. Se observó por flujo; pozo estático. Y se sacó a superficie.

Se corrió registros eléctricos para determinar las zonas de pérdida de circulación. Se corrió la herramienta hasta 5691 pies donde se encontró una gran restricción. Se intentó sacar la herramienta sin éxito. La herramienta de Wireline se atascó dentro del revestidor de 7". Después de varios intentos en pescar la herramienta, un ensamblaje lavador fue corrido y la herramienta de Wireline fue recuperada lavando un "Form-A-Set".

Se corrió una herramienta raspadora de 7" hasta el zapato del revestidor. Se circuló con pérdidas parciales. Cantidades considerables de "Form-A-Set" se observaron en las zarandas. Se sacó la herramienta raspadora a superficie.

Se armó y corrió un sello hasta 6052 pies para probar la integridad del revestidor. La fuga fue encontrada dentro del revestidor de 7". Se realizó varias pruebas del revestidor para determinar las zonas de pérdidas y se decidió realizar un trabajo remedial de cementación "squeeze". Se armó y corrió un retenedor de cemento a 6039 pies. La lechada no pudo ser esquizada. Se armó y corrió un segundo retenedor de cemento a 4428 pies y se intentó realizar una cementación forzada por debajo del sello, sin éxito. La pérdida fue encontrada por encima del retenedor de cemento en vez de por la parte de abajo.

Se armó un ensamblaje de sellos y se realizó varias pruebas dentro del revestidor para poder determinar la profundidad de la pérdida. La pérdida fue encontrada alrededor de los 1804 pies. Se asentó un tercer retenedor de cemento a los 1150 pies y se probó el espacio anular, sin éxito. Se encontró más de un solo punto de fuga. Se sacó el ensamblaje a superficie. Se intentó correr un registro CBL-VDL, nuevamente sin éxito. La herramienta encontró restricción franca a los 280 pies, nuevamente se sacó la herramienta a

superficie. Se corrió un nuevo ensamblaje con una broca y canasta de basura. Se molió el retenedor de cemento y se limpió el revestidor hasta los 4428 pies. Se corrió un registro CBL-VDL conjuntamente con el registro USIT y se sacó las herramientas de registros a superficie.



**Figura 1.12:** Desgaste del revestidor de 9 5/8"  
**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Burgos IV IPM

Una vez retomadas las operaciones, se determinó el punto libre mediante una herramienta del mismo nombre y se procedió a utilizar una herramienta de corte para recuperar aproximadamente 1444 pies de tubería de revestidor. Sin embargo el revestidor se separó a los 630 pies y al recuperarse se confirmó visualmente una falla del revestidor (figura 1.12). Desgaste notorio era visible y

grandes agujeros se encontraron en el revestidor. Una herramienta cortadora mecánica fue corrida para recuperar el revestidor remanente en el hoyo.

Por lo tanto, se decidió abandonar el antiguo hoyo y realizar la perforación de un sidetrack en el hoyo abierto del revestidor de 9 5/8". Un tapón de abandono/sidetrack fue asentada y el sidetrack de 8 1/2" fue realizada exitosamente

## **CAPÍTULO II**

# **FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LOS MECANISMOS DE DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO GENERADO DURANTE LA PERFORACIÓN**

### **2.1 GENERALIDADES**

La tubería de revestimiento se encuentra sometida a diferentes formas de desgaste durante las operaciones de perforación de secciones posteriores al asentamiento del casing. El desgaste de la tubería de revestimiento puede ocurrir en cualquier pozo en el cual se tiene doglegs o “patas de perro” sea el pozo direccional o no direccional. El desgaste puede ocurrir principalmente de la acción mecánica de herramientas de wireline o de las juntas de la tubería de perforación en contacto del diámetro interno de la tubería de revestimiento en secciones con dogleg.

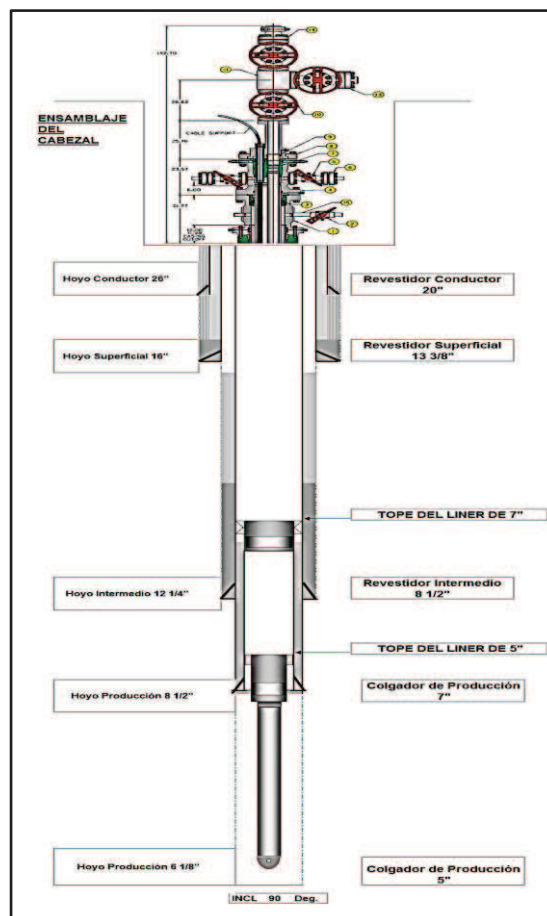
El desgaste adversamente afecta la capacidad de la tubería de revestimiento a resistir la explosión y colapso.

El desgaste de la tubería de revestimiento o es un problema en varios pozos, en hoyos con perfiles direccionales, horizontales y multilaterales, hoyos con grandes profundidades y pozos con medianas profundidades con presiones de poro anormales, el desgaste puede convertirse en un problema crítico, puede ser la causa de abandono de un pozo antes de alcanzar la profundidad total o en ciertos casos el desgaste puede llevar a un reventón de pozo o “blowout”.

## 2.2 TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

### 2.2.1 TIPOS

Existen diferentes tipos de tubería de revestimiento clasificados según su secuencia de asentamiento. Esta se debe a que a diferentes profundidades existen zonas con presiones altas, formaciones débiles u no consolidadas o zonas de producción, que necesitan ser aisladas para evitar acarrear estos problemas a lo largo de todo el hoyo hasta la profundidad total. Por ende diferentes medidas de revestidores son utilizados y el arreglo final se presenta de manera escalonada como se visualiza en la figura 2.1.



**Figura 2.1:** Esquema de las diferentes tuberías de revestimiento  
**Fuente:** Schlumberger IPM Operaciones Petroamazonas

### ***2.2.1.1 Anclado***

Este revestidor es utilizado principalmente en pozos de perforación costa afuera, es corrido para prever lavados o creación de cavernas en formaciones no consolidadas cerca de superficie, además está destinado a proveer un sistema de circulación para el fluido de perforación y asegurar la estabilidad de la superficie del suelo sobre el cual el taladro será posicionado. Esta tubería no carga ningún tipo de peso desde el equipo de superficie y puede ser anclado con un corredor de tubería. El diámetro de esta tubería va desde las 26 a 42 pulgadas.

### ***2.2.1.2 Conductor***

El revestidor conductor es corrido desde superficie hasta una profundidad somera para proteger formaciones no consolidadas, aislar zonas de acuíferos superficiales, dar protección de influjos superficiales de gas, proveer un medio de conducción para el fluido de perforación. Uno o más BOp's pueden ser colocados sobre este revestidor o un sistema de válvulas de prevención en caso que la profundidad de asentamiento es muy somera. La tubería de esta sección es cementada hasta superficie y es usado para soportar la carga de las siguientes tuberías o del equipo de cabeza. A veces esta tubería es cortada luego que el revestidor superficial es asentado. El diámetro externo promedio para esta tubería varía entre 20 y 26 pulgadas.

### ***2.2.1.3 Superficial***

Tiene como objetivo proteger a formaciones débiles someras de la posible creación de cavernas, por ende se busca una litología de asentamiento compacta como calizas para este revestidor. Esto asegurará que las formaciones de asentamiento no serán fracturadas por las grandes presiones hidrostáticas que pueden ser causadas en un futuro. Además

esta tubería permite mantener el control sobre posibles reventones superficiales debido a que el BOP se conecta al tope de esta tubería. La profundidad de asentamiento de este revestidor es escogido de tal manera que formaciones problemáticas, zonas de filtrado, y secciones de construcción en pozos direccionales puedan ser protegidas. El diámetro externo típico para esta tubería es de 13 3/8 pulgadas.

#### **2.2.1.4 Intermedio**

La profundidad de asentamiento de este revestidor está usualmente en la zona de transición por debajo o sobre una zona sobre presurizada, el objetivo es sellar zonas de gran filtrado o para proteger la zona de posibles problemas lavado y derrumbes de lutitas. La buena calidad de cementación de este revestidor debe ser asegurado para evitar la comunicación de fluidos de diferentes formaciones entre el hoyo y el revestidor. La cementación en varias etapas puede ser usada para cementar este revestidor para evitar que formaciones débiles estén expuestas a presiones hidrostáticas altas producto de una columna continua de cemento. El típico diámetro externo de esta tubería es de 9 5/8 pulgadas.

#### **2.2.1.5 Producción**

La tubería de producción es la última tubería en ser corrida y su función primordial es aislar zonas productoras para dar un control sobre el fluido del reservorio y permitir la selección de múltiples zonas de producción, este es la tubería a través de la cual el pozo será completado. EL típico diámetro externo de esta tubería es de 7 pulgadas.

#### **2.2.1.6 Colgadores**

Un colgador es una tubería de revestimiento de producción que no llega hasta superficie, y son colgados en el revestidor intermedio por medio de



un colgador expansible. En completaciones con colgadores, el revestidor intermedio y el colgador actúan como tubería de producción. Debido a que un colgador se asienta al fondo de la sección y se encuentra suspendido desde el revestidor intermedio, el mayor criterio de diseño para un colgador es la habilidad de éste a resistir la máxima presión esperada de colapso y estallido. Su diámetro externo típico es de 7 pulgadas y en pozos con secciones horizontales posee dos colgadores de 7 y 5 pulgadas para la zona de producción.

## 2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

El acero es un material elástico, hasta cierto límite. Si una carga tensional es aplicada al acero (estrés), el acero se estirará (deformación).

El estrés es definido como la carga sobre la sección transversal del área, se puede expresar como libras sobre pulgada cuadrada.

$$S = \frac{F}{A} = \left[ \frac{lbs}{inch^2} \right] \quad (2.1)$$

La deformación es definida como la cantidad de estiramiento sobre la longitud original, esta medida es adimensional y se expresa como un factor. La deformación puede ser producida debido a la aplicación de estrés o una expansión térmica.

$$e = \frac{L + \Delta L}{L} \quad (2.2)$$

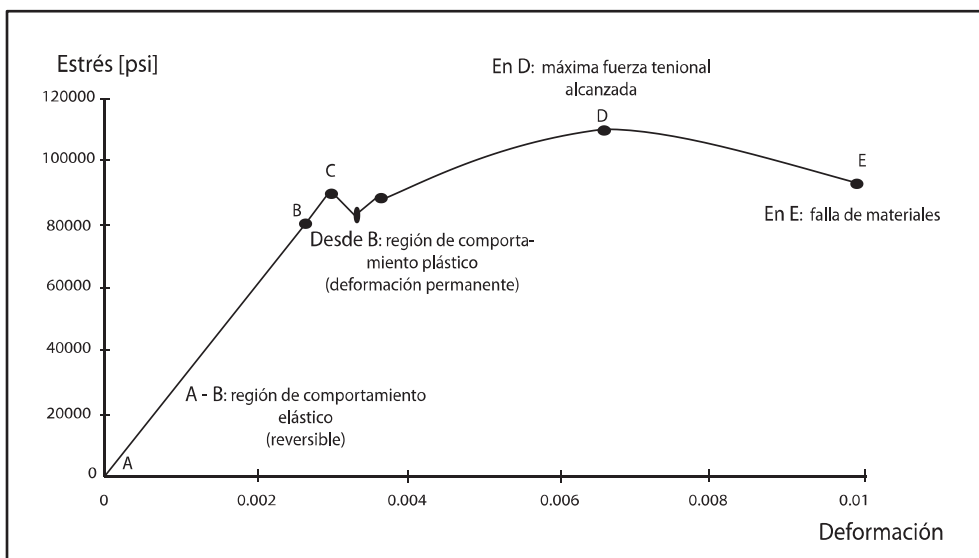
La ley de Hooke<sup>2</sup> establece que, hasta el límite elástico, el estrés es proporcional a la deformación, entonces en este caso la relación estrés/deformación es una constante. Esta constante es definida como el Módulo elástico de Young - [E] y para el acero es aproximadamente igual a  $30 \times 10^6$ . Dentro del límite elástico, una

---

<sup>2</sup> Ley de elasticidad de Robert Hooke, 1660

carga deformará el acero en una distancia. Al remover la carga el acero retomará sus dimensiones originales. Una vez que el límite elástico es sobrepasado, la estructura del acero cambiará y no regresará a sus dimensiones originales una vez que la carga sea removida. Su comportamiento se denomina plástico, si mayor carga es aplicada el acero se deformará aún más y eventualmente fallará.

La Figura 2.2 representa el comportamiento del acero bajo la aplicación de cargas, con la variación de su comportamiento según las condiciones de estrés vs. deformación.



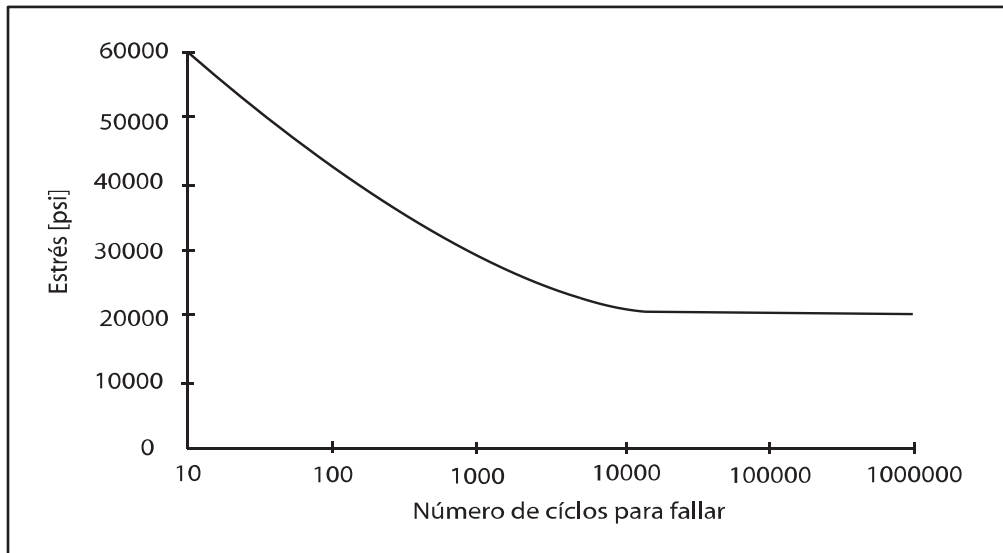
**Figura 2.2:** Comportamiento del acero bajo la aplicación de una carga, Estrés vs. Deformación

**Fuente:** Practical Well Planning and Drilling Manual, Devereux S.- 1998

Si una sección de acero es estresada, esta sufrirá una elongación en la dirección que se produce el estrés. Además se hará más delgada perpendicularmente a la dirección del estrés. La razón de proporción entre la deformación en la dirección del estrés y la deformación perpendicular al estrés se denomina coeficiente de Poisson, se denomina por la letra  $\nu$  y su valor para el acero es alrededor de 0.3.

El acero falla debido a la tensión si suficiente estrés es puesto sobre éste. Si el límite elástico es excedido, el comportamiento de éste se convierte en plástico y a

su vez sufre elongación y ruptura. Sin embargo, el acero puede fallar en condiciones de estrés dentro del límite elástico debido a la fatiga.



**Figura 2.3:** Curva S-N, ciclos de desgaste versus estrés

**Fuente:** Practical Well Planning and Drilling Manual<sup>3</sup>

La falla por fatiga puede ser observada cuando los componentes de la sarta se rompen. El mecanismo de fatiga se produce cuando se somete al acero a un ciclo de estrés en el cuál se produce la carga – descarga – carga – descarga, etc. de la fuerza tensional. Este evento produce que cambios eventuales en la estructura cristalina del acero, un endurecimiento en su estructura y facilidad a que el acero sufra de fracturas. A mayor el rango de estrés observado en el ciclo de fatiga, menor el número de ciclos que causarían que el acero falle especialmente si los ciclos se alternan entre tensión y compresión. Existe un límite de estrés debajo del cual un número infinito de ciclos no causarían falla, esto se representa en la figura 2.3.

Si existe una muesca en el acero el estrés se concentra al final de la muesca y puede ser mucho mayor al valor calculado por simple observación de la carga y la

---

<sup>3</sup> Devereux S., et al

sección transversal remanente transversal. Este corte es denominado como un elevador de estrés y es muy importante en las fallas por fatiga debido a que el estrés real es por mucho mayor al estrés promedio. La concentración de estrés al final se da por el incremento de la longitud del corte y reducción en su diámetro. Mientras se examina la falla en la tubería, una fractura o un defecto inicial pueden ser reconocidos debido a la superficie áspera que se presenta. El acero tiende a soportar por algunos ciclos mientras que el estrés causa un trabajo localizado de endurecimiento, por lo que la fractura se extenderá un poco y se detendrá, este proceso se repetirá hasta que finalmente el acero remanente no podrá soportar la carga. Este tipo de fractura conllevará a una falla final de tensión, la que se presentará como bordes muy ásperos en el punto de falla.

Por último la deformación térmica es otro factor relevante debido a su importancia en el efecto de “buckling” o doblamiento de la tubería de revestimiento. El coeficiente termal de expansión ( $\alpha$ ) define la deformación en un cuerpo uniforme sometido a un calentamiento uniforme. Por cada incremento en un grado Celsius en la temperatura, el acero se expandirá en 0.0000124 de su longitud original.

$$\text{Deformación } e = \frac{6.9 \times 10^{-6}}{^{\circ}\text{F}} \left( \frac{1.24 \times 10^{-5}}{^{\circ}\text{C}} \right) \quad (2.3)$$

## 2.4 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO

Las propiedades físicas de una tubería de revestimiento incluyen el grado, la resistencia a la presión, el diámetro del cono y el peso. Estas propiedades están relacionadas a la habilidad de la tubería a satisfacer las demandas impositivas de las condiciones de perforación. Las limitaciones de las propiedades deben ser consideradas antes de realizar la selección final de la tubería.

### 2.4.1 GRADO

El grado de la tubería es la designación que define el límite elástico y ciertas propiedades características. El grado se expresa de manera típica con una letra

y 2 o 3 dígitos. Según el orden en el que se encuentre la letra en el alfabeto, el límite elástico de la tubería incrementa. Por ejemplo, una tubería grado “N” posee un mayor límite elástico que una tubería grado “H”. El código numérico indica el mínimo límite elástico en miles de psi. El límite elástico promedio usualmente es 10000 psi mayor que el límite menor requerido, por ejemplo para la tubería N-80 se da una resistencia promedio de hasta 90000 psi. El mínimo valor es usado en cálculos de resistencia a la explosión y al colapso.

La tabla 2.1 muestra los grados de la tubería de revestimiento según la norma API.

GRADO SEGÚN API	
H-40	L-80
J-55	C-95
K-55	P-105
C-75	P-110
N-80	V-150

**Tabla 2.1:** Clasificación de la tubería de revestimiento según API

**Fuente:** Drilling Data Handbook, Instituto Frances del Petróleo, GABOLDE G. - NGUYEN J.

Todo revestidor es fabricado bajo diferentes condiciones de temperatura a la cual el acero es sometido, y dependiendo del ajuste de esta variable el acero adquiere las propiedades que se desean.

#### 2.4.2 PESO

El peso de la tubería es normalmente definido en libras por pie. Los pesos calculados, son determinados por la siguiente fórmula:

$$W_L = (w_{pc}L) + e_w \quad (2.4)$$

Donde  $W_L$  es el peso calculado de la tubería de longitud  $L$ , en libras.  $w_{pe}$  es el peso lineal final en libras por pie.  $L$  es la longitud de la tubería considerando su

extremo final en pies.  $e_w$  es el peso ganado o perdido debido a la parte final, expresada en libras; para una tubería con extremo final plano,  $e_w$  es igual a cero.

### 2.4.3 RANGO

El rango de la tubería es un valor aproximado para la longitud de una sección de esta. Tamaños de rangos normales son 1, 2 o 3.

### 2.4.4 DIÁMETRO

Existen tres tipos de diámetro que se deben considerar, diámetro externo, interno y el drift. Cada uno posee diferentes niveles de tolerancia como se especifica en el API 5a. Las siguientes tolerancias aplican al diámetro externo del cuerpo de la tubería de revestimiento inmediatamente sobre o bajo una distancia aproximada de 5 pulgadas para tamaños de 5 ½ pulgadas.

Como se indica en la tabla 2.2, el diámetro interno es controlado por el diámetro externo y la tolerancia del peso. Los pesos son ajustados hasta una variación de + 6.5 a – 3.5%. El grosor de la pared de la tubería,  $t$ , tiene hasta menos un 12.5 % de tolerancia. Esta tolerancia del grosor es usado en los cálculos de resistencia a la explosión. Según la especificación API 5a se establece que la excentricidad del diámetro externo, medido con una distancia de 5 a 6 pulgadas del final superior no debe exceder 0.093 pulgadas.

Tamaño de la Tubería, diámetro externo [pulgadas]	Tolerancia, [pulgadas]	
	1.05 – 3.5	+ 3/32
4.0 – 5.0	+ 7/64	- 0.75% OD
5.5 – 8.625	+ 1/8	- 0.75% OD
9.625 o mayor	+ 5/32	- 0.75% OD

**Tabla 2.2:** Diámetros de la tubería externo y su tolerancia

**Fuente:** Drilling Data Handbook, GABOLDE G. - NGUYEN J

El diámetro del drift de la tubería de revestimiento relaciona el diámetro de un mandril que puede atravesar el agujero de la tubería de revestimiento sin provocar fuerzas irrazonables. El diámetro del drift es menor que el diámetro interno de la tubería debido a la excentricidad y la tolerancia no lineal del agujero. Para las consideraciones de perforación, el diámetro del drift es asumido como el diámetro de la broca que puede ser corrido seguramente a través del revestidor.

#### 2.4.5 ESTALLIDO

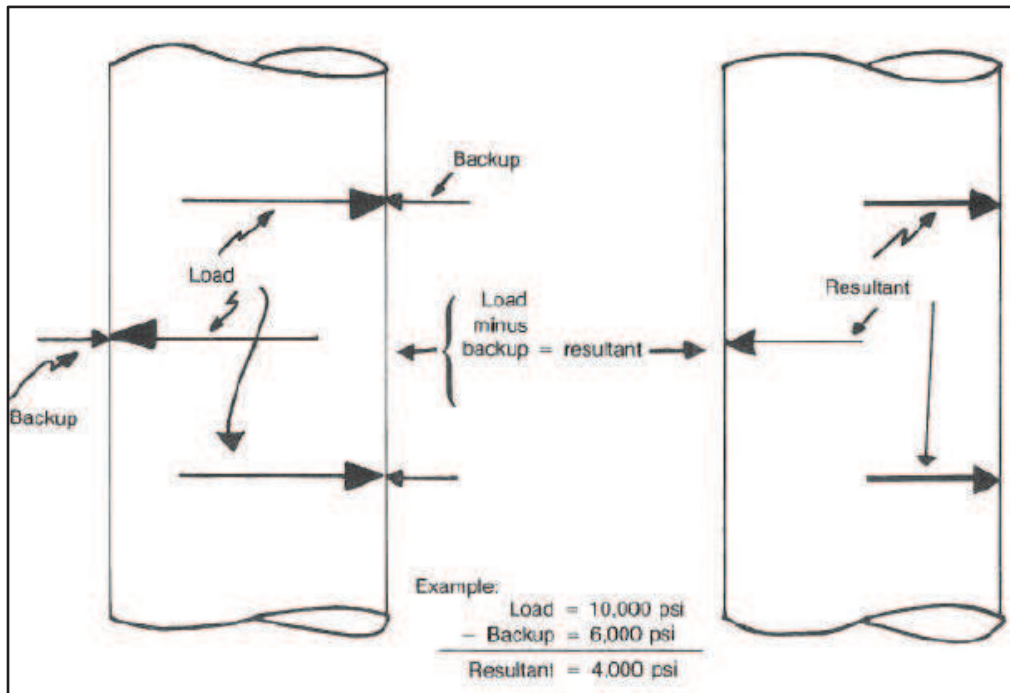
Las cargas de estallido en la tubería de revestimiento deben ser estimadas para asegurar que la resistencia interior de la tubería no sea excedida. Las cargas son normalmente causadas por la carga interna de la columna hidro estática generada por el lodo y por algo de presiones en superficie. Los fluidos afuera del revestidor, llamados fluidos de contención, suplen una columna hidrostática que ayuda a resistir la explosión del revestidor. La presión efectiva de explosión resultante es la carga interna de la tubería menos cualquier presión externa, esta presión neta de explosión es llamada resultante.

La calificación de la resistencia a la explosión en la tubería de revestimiento es la cantidad de presión interna que la tubería puede soportar antes de fallar. La presión de falla interna de la tubería es calculada considerando un factor de 0.875, que es el valor mínimo del grosor de las paredes que debe poseer la tubería.

$$P_B = 0.875 \frac{2Y_p t}{OD} \quad (2.5)$$

Donde  $P_B$  es la presión de explosión con un error de máximo de 10 psi,  $Y_p$  es la fuerza específica mínima de falla expresada en psi;  $t$  es el grosor nominal de la pared de revestimiento y  $OD$  el diámetro externo nominal de la tubería expresado ambos en pulgadas.

La figura 2.4 ilustra la relación entre las cargas de explosión, contrapresión y resultante.



**Figura 2.4:** Ejemplo de la relación entre las cargas de explosión, contrapresión y resultante

**Fuente:** Practical Well Planning and Drilling Manual, Devereux S

#### 2.4.6 COLAPSO

La resistencia al colapso varía en dependencia de la relación diámetro espesor de la tubería. La resistencia al colapso ha sido separada en cuatro categorías:

- Colapso debido a la presión del fluido de falla
- Colapso plástico
- Colapso en transición
- Colapso elástico



El colapso puede ocurrir cuando existe una columna hidrostática del fluido de perforación o de cemento fuera de la tubería de revestimiento, cuando existe flujo desde zonas inferiores migrando hacia arriba afuera del revestidor, generando presión adicional a la cabeza hidrostática de los fluidos en el anular, y por caídas de presión mientras se produce el pozo del colgador o revestidor de producción.

#### **2.4.7 FUERZA DE FALLA DE LA TUBERÍA**

La fuerza requerida para que la tubería falle es el producto del área de la sección transversal y la fuerza mínima requerida para que ésta falle.

$$P_y = 0.7854(OB^2 - ID^2)Y_p \quad (2.6)$$

### **2.5 FUNCIONES**

La tubería de revestimiento o revestidor es una medida de protección para el hoyo. Generalmente y en la mayoría de los casos esta tubería se compone de acero. El revestidor cumple diferentes funciones:

- Da soporte a las formaciones débiles, vulnerables o fracturadas
- Ayuda a aislar el medio poroso de la zona de producción de los diferentes regímenes de flujo y presión, esto se logra a través de la combinación entre la tubería de revestimiento y cemento, por ende la producción de una zona específica puede ser lograda
- Prevenir la contaminación de zonas freáticas con fluidos de perforación
- Proveer el canal para producción de hidrocarburos, la mayoría de operaciones de producción son llevadas a cabo a través de tuberías especiales que son corridas dentro del revestidor

- Dar la conexión segura para el equipo en cabeza del pozo y para el acople del cabezal posteriormente. También la tubería de revestimiento sirve para acoplar la ensamble de prevención de reventones o BOP, que sirve para controlar el pozo durante las operaciones de perforación
- Establecer el diámetro y profundidad conocido del agujero para facilitar la corrida y pruebas del equipo de completación

### **2.5.1 FUERZAS LATERALES**

Las tuberías de revestimiento son diseñadas generalmente para las siguientes condiciones de carga:

- Tensión
- Compresión

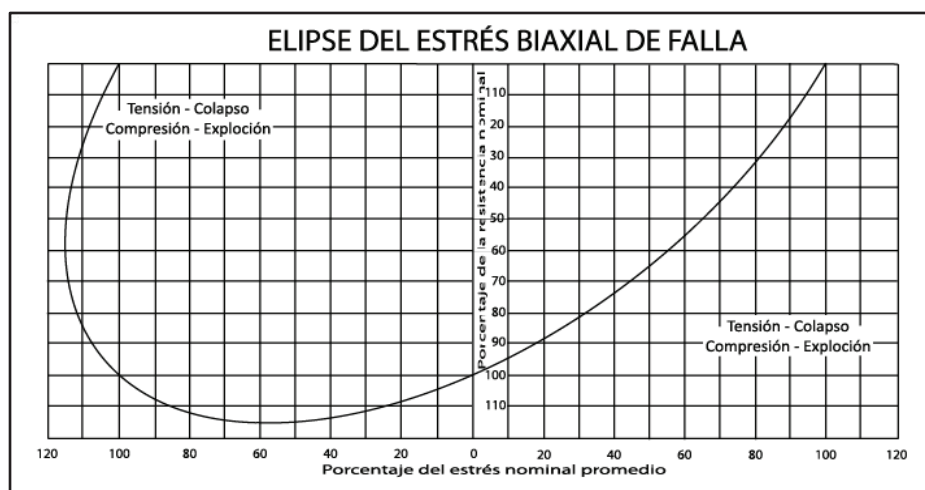
Los puntos de explosión colapso de la tubería de revestimiento son alteradas debido a las cargas de tensión o compresión. Estos efectos son denominados efectos biaxiales. Las condiciones de explosión son establecidas a un inicio, subsecuentemente las cargas de colapso y se determina las fuerzas biaxiales a las cuales el revestidor va a estar sujeto.

En la tabla 2.3 se puede observar rápidamente los efectos específicos de la tensión o compresión en el revestidor, en esta tabla se visualiza que la resistencia de la tubería de revestimiento a sufrir una explosión o colapso se encuentra alterada cuando la tubería está bajo cargas de tensión o colapso. Estas alteraciones pueden encontrarse principalmente en los conectores. Además dichas alteraciones deben ser consideradas debido a que la reducción en la resistencia de la tubería a la presión requiere remplazar algunas secciones y que al aumento en la resistencia a la presión debe permitir el uso de una tubería de menor grado o peso.

Tipos de Carga	Resultado
Tensión	Incremento en la explosión
Tensión	Reducción en el colapso
Compresión	Reducción en la explosión
Compresión	Incremento en el colapso

**Tabla 2.3:** Efectos específicos de la tensión o compresión en el revestidor  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La manera más común de determinar el efecto biaxial de la tensión se da por el método gráfico, figura 2.5.



**Figura 2.5:** Elipse del estrés biaxial para la falla de materiales  
**Fuente:** Practical Well Planning and Drilling Manual, Devereux S

## 2.5.2 FACTORES DE IMPACTO

Existen diferentes factores que afectan la capacidad de la tubería de revestimiento a soportar diferentes tipos de carga, entre dichos factores se encuentran:

### 2.5.2.1 Corrosión

La corrosión puede ocurrir durante la producción debido a una reacción electromecánica con agentes corrosivos. También puede ocurrir como una

reducción uniforme en el grosor de las paredes, patrones localizados de pérdida de metal o picaduras en la tubería, siendo la última la más problemática. La corrosión incrementa a mayores temperaturas, mayores velocidades de flujo y/o sólidos abrasivos, y mayores concentraciones de agentes corrosivos como oxígeno, dióxido de carbono y ácido sulfúrico. Las presiones de colapso y explosión son determinadas por el menor grosor de la tubería de revestimiento, mientras que la capacidad a resistir la tensión está determinada por la sección transversal remanente. La corrosión es medida en libras pérdidas por el metal por pies cuadrados expuestos por año.

#### **2.5.2.2 *Desgaste***

El desgaste de la tubería de revestimiento se encuentra influenciado por las fuerzas laterales (tensión, inclinación y dogleg severity), número de horas de rotación, aspereza y dureza de la superficie rotada, y el número de viajes realizados.

Las medidas a tomar para reducir el desgaste en la tubería incluyen protectores en la tubería de perforación, usar equipos con motores de fondo, asegurar superficies no abrasivas en los protectores duros y restringir severidades de los dogleg e inclinaciones.

Por otro lado las medidas a tomar para mitigar el desgaste en la tubería incluyen el uso paredes con secciones más gruesas y/o tubería con mayores grados en el área de un desgaste potencial. La experiencia nos muestra que es más recomendable utilizar paredes con secciones más gruesas a utilizar mayores grados en el acero.

## **2.6 DESGASTE EN LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO**

En este apartado especificaremos sobre el desgaste que sufre la tubería de revestimiento.

### **2.6.1 ANTECEDENTES**

Durante las operaciones de perforación de pozos la tubería de revestimiento está sujeta a alteraciones o desgaste en el grosor de las paredes del mismo. El desgaste que sufre causa fatiga sobre el material del revestidor y por lo tanto cambia las propiedades relacionadas a su capacidad de soportar las diferentes cargas que soporta.

Considerando que la tubería de revestimiento se encuentra expuesta a diferentes formas de desgaste, el diseño del revestidor debe ser realizado en función de la carga que se va a aplicar sobre el revestidor y el desgaste del que estuviera sujeto durante las operaciones de perforación de secciones continuas a su asentamiento.

Entre los factores que producen el desgaste de la tubería de revestimiento pueden estar incluidos la geometría del pozo, la temperatura, el tipo de fluido de perforación, el porcentaje de abrasividad del lodo, la banda dura de protección de la junta de unión "tool joint" y el diámetro externo de la junta en la tubería de perforación, las revoluciones por minuto aplicadas sobre el BHA (rpm) y la carga producida por el contacto entre la tubería de revestimiento y la de perforación.

Uno de los mayores factores que afecta el desgaste de revestidor es la magnitud de la carga entre la tubería de perforación y el revestidor. El desgaste sufrido por el revestidor puede resultar en pérdidas significantes si los indicadores son ignorados y se continúa con las operaciones. Mientras los hoyos alcanzan mayores profundidades, el transcurso del tiempo disponible

para que se realice el desgaste incrementa. De igual manera mientras la sarta de perforación usada posee mayor longitud, su carga tensional incrementa y por lo tanto la fuerza de contacto entre el revestidor y la sarta de perforación. Lo mismo sucede en pozos de perfiles direccionales con gran desviación.

El desgaste interno del revestidor durante las operaciones de perforación es una preocupación muy grande, esto se debe a que la capacidad de la tubería de revestimiento a resistir la presión significa un factor de riesgo en la seguridad y puede llevar a problemas de control de pozo e inclusive reventones, si son se realiza un control adecuado al revestidor. Además el costo de reparar revestidores desgastados es muy alto.

La tubería de perforación tensionada es la principal causa del desgaste en el revestidor, porque se da cuando la sarta de perforación es sacada firmemente rozando los doglegs del pozo mientras se rota para controlar la broca. La junta de la tubería de perforación está en contacto con la tubería de revestimiento y soporta las fuerzas laterales. A menudo la penetración del desgaste en el revestidor es aceptable, pero en ocasiones existen casos que generan extremo desgaste. Este desgaste de la tubería de revestimiento es causado en mayor manera por la cobertura dura de la junta en la tubería de perforación que se encuentra fabricada de carburo de tungsteno y frecuentemente con una calidad de soldadura pobre. El problema surge de la dureza de la superficie dura de la junta de unión. El desgaste de la tubería de revestimiento puede ser controlado bajo parámetros controlados de perforación.

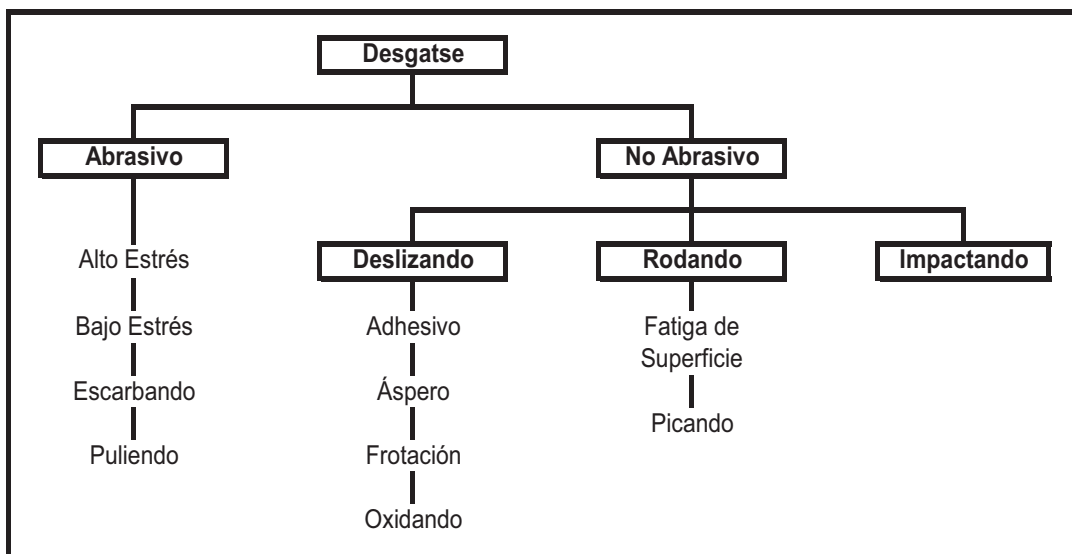
### **2.6.2 TIPOS DE DESGASTE**

Existen diferentes tipos de desgaste. Fundamentalmente el material puede ser removido de la superficie por tres procesos:

- Puede ser fracturado
- Puede ser disuelto

- Puede ser derretido, evaporizado

Básicamente el desgaste puede ocurrir por estos tres procesos y algunos tipos de desgaste incluyen los tres. Sin embargo, el proceso de desgaste no entra simplemente en tres categorías. Según el comité ASTM G02 (Figura 2.6), las categorías del desgaste y la erosión entran en abrasivos y en no-abrasivos. La erosión puede generarse por partículas, gotas, fluidos y cavitación.



**Figura 2.6:** Categorías del desgaste

**Fuente:** Identifications of Different Types of Wear<sup>4</sup>

Para consideración del desgaste en la tubería de revestimiento se consideran cuatro tipos de mecanismos de desgaste principales.

- Machining
- Galling
- Polishing
- Grinding

<sup>4</sup> Identifications of Different Types of Wear, ASTM, 2007

### 2.6.3 CAUSAS PRODUCENTES DEL DESGASTE

Para predecir la tasa de desgaste de la tubería de revestimiento producido por la rotación de la sarta de perforación, es necesario expresar la rata de desgaste en términos de campo medibles. Tales parámetros incluyen el tiempo y velocidad de rotación, condición del fluido de perforación (abrasividad), capacidad de desgaste de la tubería de perforación, resistencia de la tubería de revestimiento al desgaste, severidad del dog leg y la tensión en la sarta de perforación en el punto de desgaste. Las principales causas que producen desgaste en la tubería de revestimiento se detallan a continuación.

#### 2.6.3.1 *Fuerzas de Contacto sobre la tubería*

La fuerza de contacto entre la tubería de revestimiento y la tubería de perforación produce un desgaste significativo sobre la tubería de revestimiento solo cuando la carga del contacto es grande. Esto ocurre en presencia de doglegs, en tubería de revestimiento doblados y en hoyos direccionales. Lubinsky<sup>5</sup> ha determinado que en con doglegs severos la fuerza de contacto permisible es de 2000 lbf (8.9 k-N) por cada tool joint. Este límite fue basado en registros direccionales y en reportes de falla en campo, por otro lado Nicholson<sup>6</sup> usando una aproximación similar decidió un límite permisible de 3000 lbf (13 kN).

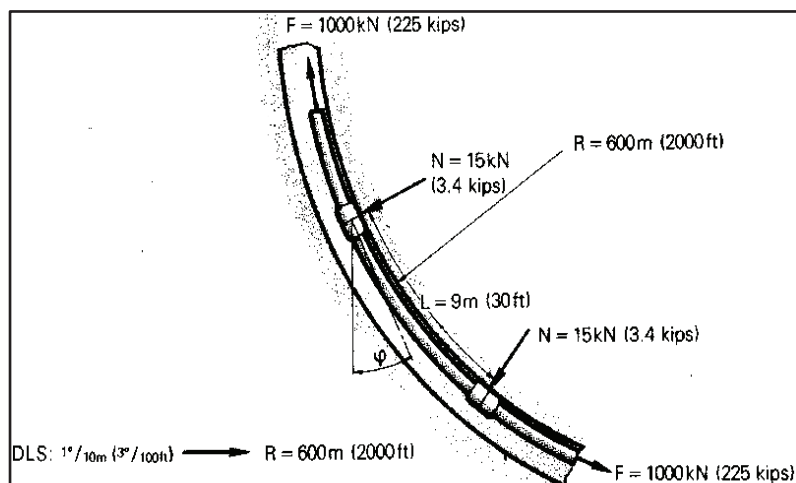
Las limitaciones de estos modelos son que ambos autores no consideraron factores como días de rotados, tasa de penetración y grosor de la tubería de revestimiento.

---

<sup>5</sup> Lubinsky, Arthur: "Maximun Permissible Dog Legs in rotary Bore Holes," Trans., AIME (1961) 222.

<sup>6</sup> Nicholson, R.W.: "Minimize Casing Wear in Dog Legs," Oil and Gas J.(Dec. 6, 1976) 130-137





**Figura 2.7:** Fuerza de contacto entre tubería de revestimiento y de perforación  
**Fuente:** Casing Wear Caused by Tooljoint hardfacing<sup>7</sup>

Conceptualmente, la tasa de desgaste puede ser descrita como función de la condición de desgaste y la fuerza de contacto. Fontenot y Bradley<sup>8</sup> demostraron que con “dog leg severity” menores a 6°/100 ft, la fuerza de contacto entre la tubería de perforación y la tubería de revestimiento está principalmente restringida a los tool joints, y ninguna de fuerza de contacto significativa se presenta entre los dos tipos de tubería.

Para DLS superiores a 6°/100 ft, además de la fuerza de contacto producida por el tooljoint, una mayor fuerza de contacto entre las tuberías de perforación y de revestimiento se genera.

Para una sección de construcción de ángulo con un DLS de 3°/100 ft y una tensión de 225 kLbsf sobre la sarta de 5 pulgadas de diámetro externo una fuerza de contacto de 3,4 kLbsf es esperada entre el tool joint y la tubería de revestimiento, como se observa en la figura 2.7

<sup>7</sup> Casing Wear Caused by Tooljoint hardfacing, Best Bruno, 1986

<sup>8</sup> Bradley et al

### 2.6.3.2 *Banda dura de la junta de unión - “Tool Joint”*

Williamson<sup>9</sup> ha demostrado que el desgaste de la tubería de revestimiento está relacionado a las presiones debido al contacto entre la junta de unión de la tubería de perforación y la tubería de revestimiento más que a las fuerzas de contacto. Una reducción en la presión de contacto resulta en una reducida tasa de desgaste en la tubería de revestimiento. Sin embargo para un mínimo desgaste del revestidor, la cobertura dura del tool joint debería estar al mismo diámetro que el diámetro externo del tool joint y no sobreponerse sobre este.

Protecciones suaves del tool joint poseen un menor efecto de desgaste sobre las paredes del revestidor. Las bandas de protección duras del tool joint están compuestas de acero y carburo de tungsteno que son soldadas en nuevas o usadas cajas del tooljoint cerca al hombro del elevador. El pin no posee banda dura de protección debido a la protección de las tenazas.

La rotación de un tool joint en contacto con la tubería de revestimiento resulta en un intermitente contacto de la superficie del tool joint y por ende en una carga cíclica. Debido a la fricción del área en contacto, la superficie del tool joint está sujeta a ambas fuerzas de normales y de corte. La fatiga de una banda inferior puede resultar en la ruptura de los materiales de la protección dura. Protecciones en mal estado dañaran a la tubería de revestimiento como resultado de cortes y abrasión severa.

Los tipos de carburo de tungsteno utilizados en la soldadura son: Cast-crushed (con bordes afilados), sintered - pelletized (aproximadas a esferas) y sintered-crushed (con bordes afilados), el tamaño de las partículas de tungsteno van desde ásperas a finas. La abrasividad de la banda dura de protección dependerá del tamaño del tamaño y de la forma

---

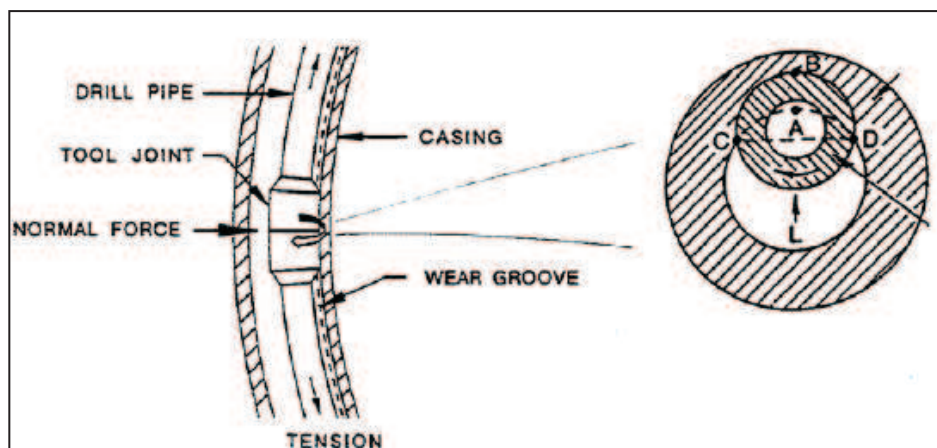
<sup>9</sup> Williamson et al

de los granos, el método de aplicación y la experiencia del soldador. La Figura 2.8 muestra un ejemplo de un tool joint con una protección dura del tool joint con granos de tungsteno.



**Figura 2.8:** Banda de protección dura con granos de tungsteno (coarse-crushed)  
**Fuente:** Casing Wear Caused by Tooljoint Hardfacing - Bruno Best, 1985

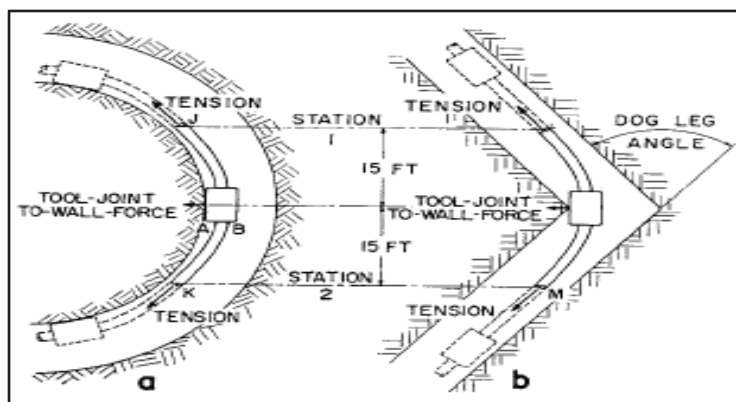
El proceso de desgaste determina la condición de la tubería de revestimiento y de la superficie de los tool joint, lo cual afectará la fricción entre los dos. La figura 2.9 muestra de mejor manera el mecanismo que produce la banda dura de protección del tool joint mientras rota en contra de la tubería de revestimiento.



**Figura 2.9:** Desgaste producido por la banda del tool joint  
**Fuente:** Casing Burts strength after casing wear, Wu, J., Zhang, M. 2005

### 2.6.3.3 Geometría del hoyo - Severidad de Patas de Perro “Dog Leg Severity”

La geometría del hoyo juega un papel primordial en el desgaste de la tubería de revestimiento esto se debe principalmente a los dog legs o a la severidad de las patas de perro, que ayuda a que la tubería de revestimiento se vea en contacto con la tubería de perforación, esto se puede observar en la figura 2.10. Dichas cargas de contacto generan fuerzas de mayor impacto en el desgaste.



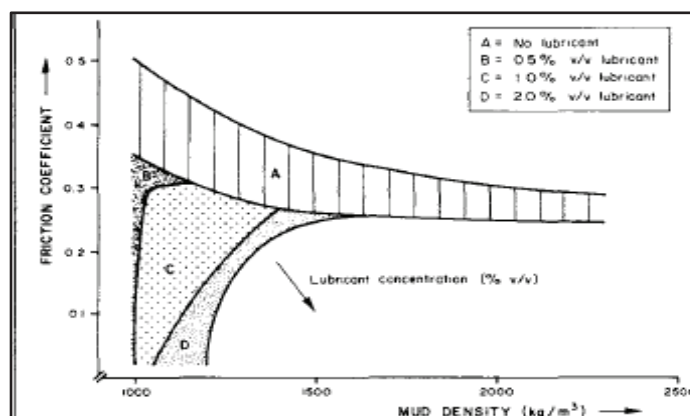
**Figura 2.10:** Contacto entre la tubería de perforación y la de revestimiento en doglegs continuos y abruptos

**Fuente:** Maximun Permissible Dog Legs in rotary Bore Holes

La figura 2.10 (a) nos presenta el caso donde se tiene una severidad de curvatura progresiva o continua. Si la distancia entre los tool joint o entre la tensión se vuelve mayor, entonces la tubería de perforación puede tener contacto con las paredes del revestidor. Sin embargo en el caso que se use protectores en la tubería de perforación se reduce en gran parte la posibilidad que se dé un contacto. Existen casos en los que la severidad se da de manera abrupta como en la figura 2.10 (b). En estos casos el contacto entre las tuberías de perforación y de revestimiento depende mayormente de la distancia que existe entre los protectores de la tubería.

### 2.6.3.4 Composición del fluido de perforación

El fluido de perforación representa un papel fundamental en el análisis del desgaste en la tubería de revestimiento, debido a que la bentonita, barita y sólidos no abrasivos demuestran que son capaces de reducir el desgaste. Best<sup>10</sup> demostró que una fina capa de sólidos en el área de contacto puede tener un gran efecto de protección. White and Dawson<sup>11</sup> (Figura 2.11) estudiaron el desgaste y la fricción simultáneamente con cargas reales y lodos pesados y no pesados, el modelo que presentaron muestra una relación lineal entre el desgaste de la tubería y la fricción. Según este estudio se demostró que al utilizar una capa protectora de barita el desgaste por adhesión se reduce a casi cero.



**Figura 2.11:** Coeficientes de fricción como función de densidad del lodo y concentraciones de lubricante en lodos densificados con barita

**Fuente:** Effect of Mud Composition on Wear and Friction of Casing and Tool Joints

12

Con respecto a los lubricantes se demostró que el diesel no posee ningún efecto en el desgaste así como la adición de sales reduce el desgaste

<sup>10</sup> Best, et al.

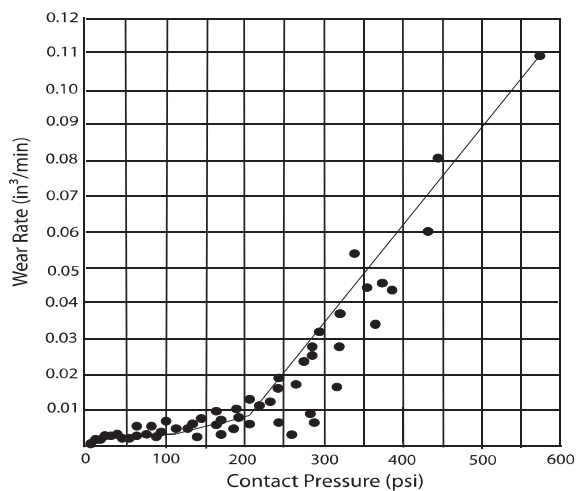
<sup>11</sup> White and Dawson et al.

<sup>12</sup> Effect of Mud Composition on Wear and Friction of Casing and Tool Joints - G.M. Bol, 1985

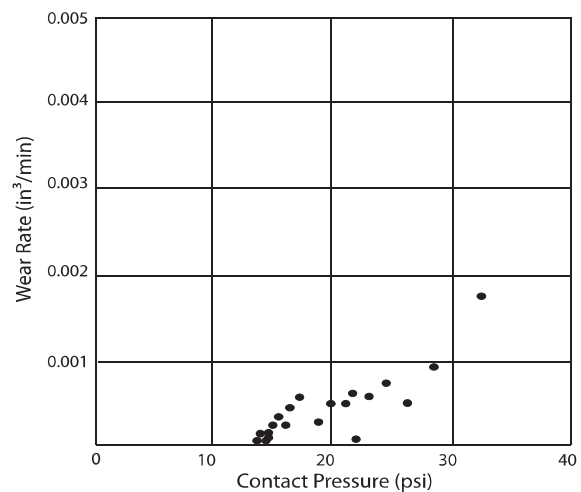
adhesivo en la tubería de revestimiento. En general, los coeficientes de fricción se relacionaron como dependientes del tiempo. Durante el contacto inicial de la tubería de revestimiento y el tool joint el área de contacto es muy pequeña, las presiones de contacto son muy altas, y las tasas de desgaste son altas, EL efecto de lubricantes en la fricción depende realmente de las condiciones de superficie actual que se ven en contacto.

### 2.6.3.5 *Parámetros de perforación*

Fontenot y Bradley<sup>13</sup> demostraron que la rotación de la sarta de perforación (rpm) es por bastante la mayor la causa principal del desgaste de la tubería, además con esto se puede despreciar el desgaste producido por el viaje de limpieza.



**Figura 2.12:** Tasa de desgaste del revestimiento vs. presión de contacto en una prueba de lodo en laboratorio  
**Fuente:** Williamson, J. "Casing Wear: the Effect of Contact Pressure"



**Figura 2.13:** Tasa de desgaste del revestimiento vs. presión de contacto a bajas presiones  
**Fuente:** Williamson, J. "Casing Wear: the Effect of Contact Pressure"

<sup>13</sup> Fontenot, J.E. et al 1975 – Bradley, W.B. et al 1974

Con la medición del desgaste de penetración vs. tiempo con distintas constantes de cargas se puede observar que la rata de penetración dentro de la tubería de revestimiento decrece con el tiempo y que la rata de penetración a cualquier tiempo de desgaste no muestra un comportamiento lineal con la carga. Lo que se puede llegar a concluir de este análisis es que la rata de desgaste de la tubería de revestimiento esta mejor relacionada con la presión de contacto (fuerza/área) que con la magnitud de la carga de contacto.

La figura 2.12 hace referencia al resultado de laboratorio que llegó Williamson después de ejecutar varias combinaciones de cargas y surcos de desgaste. Como se puede observar la correlación del desgaste es buena. La figura 2.13 muestra la tasa de desgaste a bajas presiones, como se puede observar alrededor de los 13 psi, la tasa de desgaste se vuelve muy pequeña.

## **2.7 MECANISMOS DE DESGASTE**

Los mecanismos de desgaste de la tubería de revestimiento debido a los efectos antes mencionados en el apartado 2.6 <sup>14</sup> de este trabajo son descritos a continuación.

### **2.7.1 DESGASTE ADHESIVO POR FROTACIÓN**

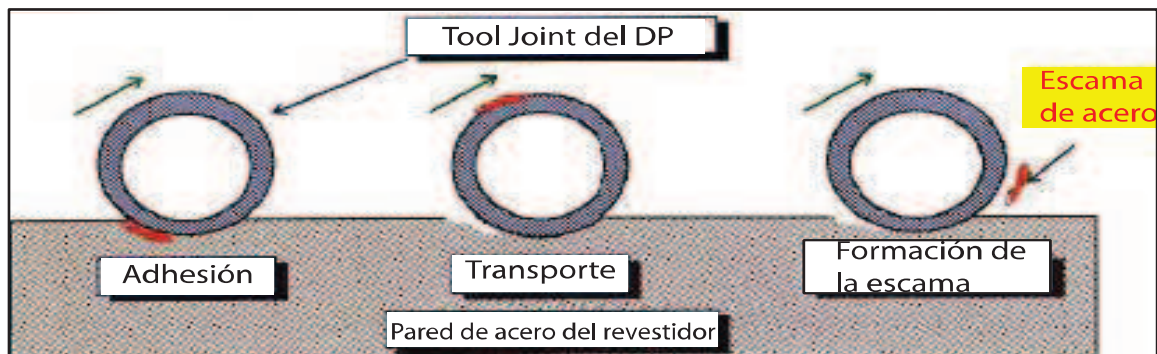
Este desgaste se produce cuando existe una transferencia de acero en un proceso de soldadura entre fase sólida desde la tubería de revestimiento a la junta de unión debido a las altas fuerzas de este último. Según el trabajo realizado por J. Pinzón<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Desgaste en la Tubería de revestimiento , Duque G . -2013

<sup>15</sup> Alternatives to prevent casing wear in Thaipō – Pinzon J., 1996





**Figura 2.14:** Mecanismo de desgaste adhesivo por fricción

**Fuente:** Alternatives to prevent casing wear in Thaipo – Pinzon J., 1996

En orden para que este proceso sea efectivo debe existir cargas laterales muy altas (mayores a los 2000 psi), similaridad entre la dureza de la tubería de revestimiento y la junta de unión, y no debe existir sólidos en el fluido de perforación. La figura 2.14 muestra el mecanismo de desgaste adhesivo por fricción.

### 2.7.2 DESGASTE ABRASIVO POR CORTE MECÁNICO

Este fenómeno ocurre cuando las partículas duras de carburo de tungsteno presentes en la cobertura dura de la junta de la tubería de perforación actúan como cuchillas cortadoras arrancando largas tiras de metal de la tubería de revestimiento.



**Figura 2.15:** Mecanismo de desgaste por corte mecánico

**Fuente:** Alternatives to prevent casing wear in Thaipo – Pinzon J., 1996



La figura 2.15 muestra el mecanismo de desgaste adhesivo por corte mecánico, donde la superficie de carburo de tungsteno corta acero del revestidor.

### 2.7.3 DESGASTE ABRASIVO POR PULIMIENTO

Este fenómeno ocurre cuando partículas finas tales como granos de arena, recortes, barita, material atrapado en elementos suaves, por ejemplo las gomas de protección de la tubería de perforación, producen una superficie muy suave y pulida, la que se desgasta a una baja tasa. Este material suave se deforma, actuando como un medio de amortiguación la que evita que la carga de contacto de las partículas grandes que es requerida para remover las partículas de acero de la tubería de revestimiento se dé.

La figura 2.16 muestra el mecanismo de desgaste adhesivo por pulimiento, donde granos de arena pulen la superficie del acero, generando partículas de acero.



**Figura 2.16:** Mecanismo de desgaste por pulimiento

**Fuente:** Alternatives to prevent casing wear in Thaipo – Pinzon J., 1996

### 2.7.4 DESGASTE ABRASIVO POR PULVERIZACIÓN

Este evento se produce cuando granos sólidos tales como recortes, barita o arena ruedan entre la tubería de revestimiento y la junta de unión de la tubería de perforación.

En estos procesos, grandes cargas de contacto son producidas sobre las partículas abrasivas debido a la superficie dura del tool joint, permitiendo que estas partículas alcancen una fuerza suficientemente grande para producir el desgaste sobre el revestidor. Más allá de esto, la dureza del tool joint debe ser mucho mayor que la del revestidor para permitir que se de grandes cargas sobre los granos sólidos, como se observa en la figura 2.17.



**Figura 2.17:** Mecanismo de desgaste por grinding

**Fuente:** Alternatives to prevent casing wear in Thaipo – Pinzon J., 1996

## 2.8 ESTIMACIÓN DEL DESGASTE

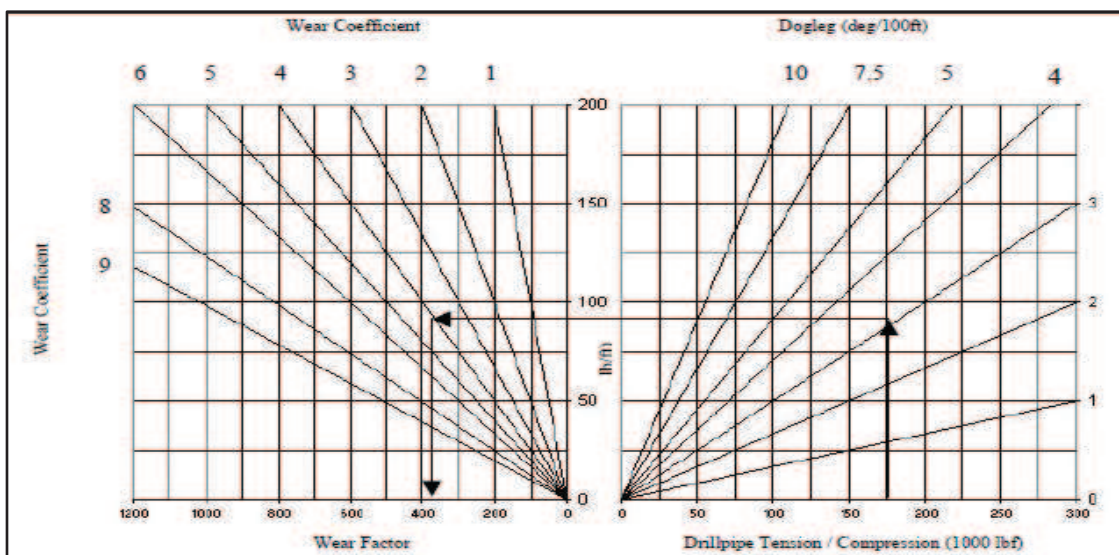
Para poder determinar el desgaste se ha determinado un procedimiento estándar:

- Determinar la tensión o compresión sobre la tubería.
- Determinar la severidad de curvatura o pata de perro. Valores promedios para la sección del hoyo son suficientes.
- Conociendo el tipo del tool joint y tipo de lodo, se puede determinar el coeficiente de desgaste de la superficie dura del tooljoint, esto es visualizado en la tabla 2.4.
- Estimar las horas de rotación total esperadas al interior de la tubería de revestimiento y velocidad de rotación planeada.

Coeficiente de desgaste de la protección dura del tool joint		
Tool-Joint	Lodo base Agua	Lodo Base Aceite
TC suave	10	5
Acero plano	6	3
M Armacor	2	2
Arncó 200 XT	2	2

**Tabla 2.4:** Coeficientes de desgaste según tool joint y fluido de perforación  
**Fuente:** Alternatives to prevent casing wear in Thaipó – Pinzon J., 1996

- De la figura 2.18<sup>16</sup>, usando el valor estimado de tensión/compresión, la severidad de pata de perro y el coeficiente de desgaste encontrar el valor la carga lateral y posteriormente del factor de desgaste.
- De acuerdo al tamaño del tool joint, y con las figura 2.19, usando el factor de desgaste y las horas rotadas estimadas, encontrar el volumen desgastado de la tubería.

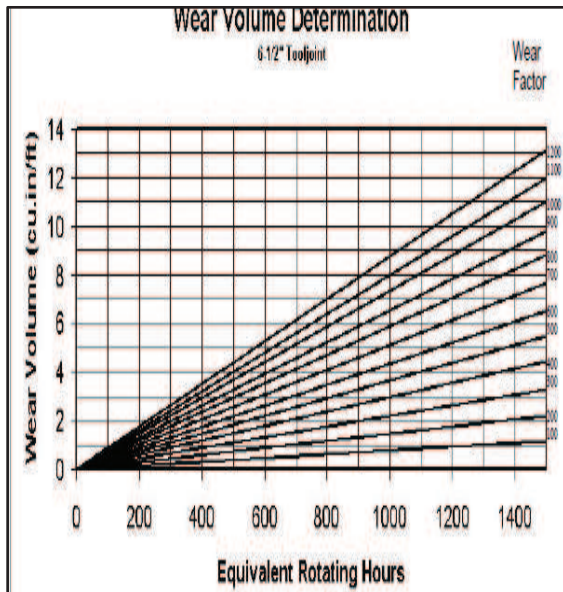


**Figura 2.18:** Factor de desgaste

**Fuente:** Casing Design Manual – IPM Schlumberger

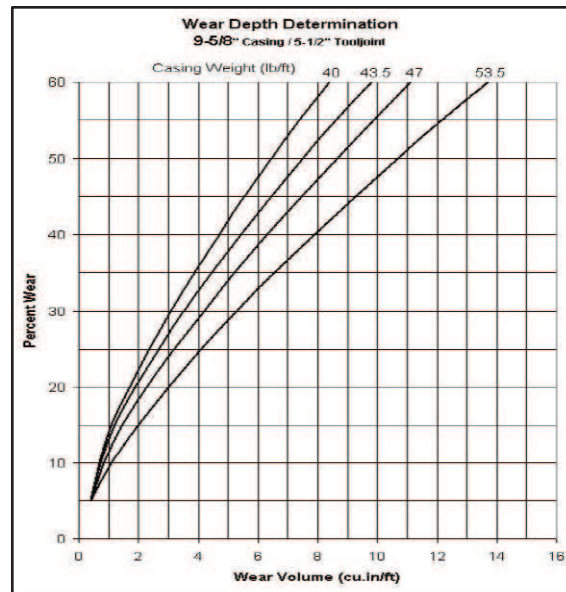
<sup>16</sup> Casing design manual, Schlumberger IPM Inc

- Con el diámetro OD de la tubería de revestimiento y con el tamaño del tool joint de acuerdo con las figura 2.20, y usando el volumen de desgaste y el peso apropiado del revestidor encontrar el porcentaje aproximado del desgaste de acuerdo a la profundidad.



**Figura 2.19:** Cálculo del volumen desgastado

**Fuente:** Casing Design Manual – IPM Schlumberger



**Figura 2.20:** Porcentaje de desgaste de acuerdo a la profundidad

**Fuente:** Casing Design Manual – IPM Schlumberger

## 2.9 CONSIDERACIÓN DEL DESGASTE

Para definir el desgaste se debe entrar en consideración de los diferentes coeficientes que afectan de manera directa la resistencia de los revestidores.

### 2.9.1 COEFICIENTE DE EXPLOSIÓN

Para que el desgaste de la tubería de revestimiento se dé, el rating de explosión API debe ser reducido por el valor del porcentaje estimado del desgaste. Si existen medidas detalladas del grosor de las paredes, se debe revisar la

capacidad a la explosión que define el API para un revestidor desgastado para poder calcular usando las actuales medidas.

$$F_{wear} = 1 - \frac{\%Wear}{100} \quad (2.7)$$

### 2.9.2 COEFICIENTE DE COLAPSO

Para revestidores sujetos a presiones externas, para un desgaste del revestidor de forma ascendente sobre una pequeña parte de la circunferencia, los análisis indican que es razonable asumir que la capacidad de soportar el colapso está en directa proporción al grosor remanente de las paredes del revestidor. Por ejemplo, si existe un 10% de pared desgastada en el área de contacto, entonces la capacidad es del 90% de la tubería en condiciones de nueva.

## 2.10 CASOS DE ESTUDIO

Para realizar el presente proyecto de titulación se ha procedido a tomar 12 pozos de estudio, los mismos que han sido perforados en los campos Palo Azul y Sacha dentro del oriente ecuatoriano. La perforación de los mismos estuvo a cargo de la compañía operadora de cada campo y la parte del diseño, planeación y ejecución estuvo bajo la supervisión de la compañía de prestación de servicios Schlumberger –IPM.<sup>17</sup>

### 2.10.1 DIRECCIONALES TIPO “S”

Se ha tomado información de 4 pozos direccionales tipo “S”, dentro del campo Sacha

---

<sup>17</sup> Schlumberger del Ecuador, IPM – Well Construction and Intervention®



### 2.10.1.1 Sacha 273 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 16 de Abril de 2012 a la 14h00 y concluyen el día 14 de Mayo del 2012 a las 06h00 con un total de 27.67 días.

#### 2.10.1.1.1 Información general

El pozo SAC-273D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Plataforma Sacha 63. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo "S", el objetivo Principal fue "Hollín Inferior". La tabla 2.5 indica las características generales de dicho pozo.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	6332	5537	11.52	155	0 - 6332	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso	
							8.5	11
12 1/4"	9496	8693	1.37	143.24	0 - 9486	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop	
							9.7	11
8 1/2"	10910	10107	0.5	230.3	9347 - 10908	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Klastop	
							9.7	10.2

**Tabla 2.5:** Información general Sacha 273D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.1.1.2 Información operacional sección 8 1/2"

Para la perforación de esta sección se utilizó el **BHA direccional # 9** con broca PDC de 8 1/2" MDI616MPX + Motor A675M7850XP Slick Sleeve/ BH 1.5 + Float Sub + Pony Monel + 8 3/8" Stabilizer + Pony Monel + Telescope 675 + Monel + 25x5" HWDP + Hydraulic Jar + 10x5" HWDP.

BHA	BROCA-IADC-BOQUILLAS	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
9	PDC -M223 - 2X11+4X12	29.5	54.59	46.3	50-85	105 -125	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
106 -126	26	1650 -2200	380-450	3.0%	17%	B.T., NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T"	1-1- WT- A- X- I- NO-TD

**Tabla 2.6:** Información operacional sección 8 ½” - Sacha 273D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.1.2 Sacha 275 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 30 de Mayo del 2012 a la 00h30 y concluyen el día 22 de Junio del 2012 a las 09h30 con un total de 23.38 días.

#### 2.10.1.2.1 Información general

El pozo SACHA 275D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Plataforma Sacha 63. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo “S”, el objetivo Principal fue la Arenisca “U” Inferior.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [ppg]	Final [ppg]
16"	4006	3933	21.52	273.64	0 - 4006	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso 8.4 10.5	
12 1/4"	9080	8693	0.85	273	0 - 9070	9 5/8"; 47 lpp, N-80 -BTC	Klastop 10 11.3	
8 1/2"	10492	10102	0.7	202.76	8958 - 10046	7"; 26 lpp, N-80- BTC	Klastop 9.7 10.2	

**Tabla 2.7:** Información general Sacha 275D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.1.2.2 Información operacional sección 8 ½”

Esta sección se perforó con el **BHA # 6 direccional** con broca PDC de 8 ½” (TFA: 0.663) + Motor A675M7850XP camisa 8 3/8”, BH 1.5 + Float Sub + 8 3/8" Stabilizer + Pony Monel + Telescope + Monel + 20 x 5" HWDP + Hydraulic Jar + 15 x 5" HWDP.

BHA	BROCA-IADC-BOQUILLAS	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
6	PDC -M223 - 6X12	25.6	55.16	46.3	50 - 80	109 -118	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESILIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
159 -198	4 -26	1400 - 1900	390 - 420	3.0%	17%	B.T., NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf, "CB", "T" Sup, "T"	0-1- WT- SG- X- I- SP-TD

**Tabla 2.8:** Información operacional sección 8 ½” - Sacha 275D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.1.3 Sacha 316 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 06 de Junio de 2012 a la 02h00 y concluyen el día 28 de Junio del 2012 a las 23h30 con un total de 22.90 días.

#### 2.10.1.3.1 Información general

El pozo SAC-316D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Cellaar “SAC-316”. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo “S”, el objetivo Principal fue “Hollín Inferior”.



SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	4029	3845	28	294.8	0 - 4029	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso 8.6 10.6	
12 1/4"	9090	8325	21	219.66	0 - 9086	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop 9.5 11.2	
8 1/2"	10830	10039	1.3	315	8990 - 10830	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Klastop 9.7 10.1	

**Tabla 2.9:** Información general Sacha 316D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.1.3.2 Información operacional sección 8 1/2"

Para la perforación de esta sección se utilizó el **BHA direccional # 6** con broca PDC de 8 1/2" + Motor A675M (BH:1.5) / Stab. 8 1/4" + 6 3/4" Float Sub + 8 3/8" Stabilizer + 6 3/4" Pony Monel + Telescope 675 NF + 6 3/4" Monel + 20 x 5" HWDP + 6 1/2" Hydraulic Jar + 9 x 5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
6	PDC -M223 - 6X12	50.1	34.75	18.76		100	117
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESILIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
217	10 -25	2200	420	84.0%	16%	NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf),HOLLIN	1-2- WT-S/G- X- BT-TD

**Tabla 2.10:** Información operacional sección 8 1/2" - Sacha 316D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.1.4 Sacha 237 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 5 de Julio del 2012 a la 15h00 y concluye el día 1 de Agosto del 2012 a las 07h30 con un total de 23.69 días.

#### 2.10.1.4.1 Información general

El pozo SAC-237D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Plataforma Sacha 65. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo "S", el objetivo Principal fue la Arenisca "T" Inferior.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	4007	3813	22.29	44.56	0 - 4007	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso 8.4	10.8
12 1/4"	9239	8694	22.3	46.98	0 - 8624	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop 10 11.3	
8 1/2"	10620	10048	2.6	48.5	8498 - 10617	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Klastop 9.8 10.2	

**Tabla 2.11:** Información general Sacha 237D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.1.4.2 Información operacional sección 8 1/2”.

Para perforar esta sección se utilizó el **BHA # 6 direccional** con broca PDC de 8 1/2” (TFA: 0.627) + Motor A675M7850XP camisa 8 1/4”, BH 1.5 + Float Sub + 8 3/8" Stabilizer + Pony Monel + Slimpulse + Monel + 23 x 5" HWDP + Hydraulic Jar + 12 x 5" HWDP.

- **Back reaming** : Realizó viaje de calibración desde 10620 pies hasta 8570 pies; observó arrastre a 10140', 9600' y 9100' y repasó con bomba y rotaria en dos ocasiones hasta pasar libre.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
6	PDC -M223 - 4X14+3x13	72.5	19	13.9	80 - 95	126	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
206 - 221	5 -35	1500 - 2700	450	10%	45%	B.T. 'NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf),HOLLIN	1-3- WT-G- X- I- BT-TD

**Tabla 2.12:** Información operacional sección 8 1/2” - Sacha 237D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

## 2.10.2 DIRECCIONALES TIPO “J”

Se ha tomado información de 2 pozos direccionales tipo “J”.

### 2.10.2.1 Sacha 247 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 2 de Febrero del 2013 a las 00h00 y concluye el día 11 de Marzo del 2013 a las 08h00 con un total de 37.33 días.

#### 2.10.2.1.1 Información general

El pozo SAC-247D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Plataforma Sacha 60. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo “J”, el objetivo principal fue “Hollín” Superior”.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	4057	3842	31.1	82.8	4057	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso	
							8.5	10.5
12 1/4"	8738	7922	30.62	80.1	8307	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop	
							9.6	11.4
8 1/2"	11210	10049	26	77.2	3022	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Klastop	
							9.6	10.4

**Tabla 2.13:** Información general Sacha 247D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.2.1.2 Información operacional sección 8 ½”

Para perforar esta sección se el **BHA # 5 direccional** con broca PDC de 8 ½” (TFA: 0.61) + Motor A675M7850XP w/Stab 8 ¼”, BH 1.5 + Float Sub + 8 3/8" Stabilizer + Pony Monel + MWD Telescope + Monel + 18 x 5" HWDP + Hydraulic Jar + 9 x 5" HWDP

BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
PDC -M323 - 3X11 + 3x12	71	37.82	26.02		60	115
WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
			Pies	Tiempo		
20-oct	2000	400	15%	63%	NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf),HOLLIN	0-1- WT-S- X- I- NO-TD

**Tabla 2.14:** Información operacional sección 8 ½" - Sacha 247D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.2.2 Palo Azul B 43 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 21 de Abril del 2012 a las 15h00 y concluyen el día 21 de Mayo del 2012 a las 13h30 con un total de 28.94 días.

#### 2.10.2.2.1 Información general

El pozo PLAB-043 fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque 18, Campo Palo Azul, Locación B, Cellar "B-043". Este pozo fue planeado como un pozo Direccional "J", el objetivo Principal fue la Arenisca Hollín.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado-Conección	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	5750	5615	0.18	115.7	0 - 1800	13 3/8"; 54.5 lpp, K-55-BTC	Aqua Gel	
					1800 - 5750	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	8.4	10.4
12 1/4"	10405	9667	57.79	118.58	0 - 9200	9 5/8"; 47 lpp, N - 80 -BTC	Maxdrill G+	
					9200 - 10405	9 5/8"; 53.5 lpp, N - 80 -BTC	9.2	10.4
8 1/2"	11380	10027	78	122.42	10239 - 11380	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Maxdrill G+	
							9.6	9.8

**Tabla 2.15:** Información general Palo Azul B 43

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

### 2.10.2.2.2 Información operacional sección 8 ½”

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
9	PDC -M223 - 6X13	27.7	48.03	30.95		85 - 115	n/a
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESILIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
85 - 115	10-25	1700 - 1900	485 - 500	0%	0%	NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf), HOLLIN	1-1- WT-A- X- I- NO-TD

**Tabla 2.16:** Información operacional sección 8 ½” – Palo Azul B 43

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

Para esta sección se utilizó el **BHA direccional # 9** con broca PDC de 8 ½” + Xceed 675 con 8 3/8” Estabilizadores + EcoScope con 8 ¼” Estabilizador + MWD Telescope + 6 5/8” DC Monel + 32 x 5” HWDP + 6 ½” Martillo Hidráulico + 3 x 5” HWDP.

- **Back reaming:** Observó intento de pega a 10710 pies, puntos apretados de hasta 40 klbs a intervalos 11294, 11100 y 11790 pies donde sacó con circulación y rotación.

### 2.10.3 DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”

Se ha tomado información de 2 pozos direccionales tipo “J Modificado”.

#### 2.10.3.1 Sacha 341D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 01 de Septiembre de 2012 a las 10h00 y concluyen el día 27 de Septiembre del 2012 a las 11h00 con un total de 26.04 días.

### 2.10.3.1.1 Información general

El pozo SAC-341D fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Cella "SAC-341". Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo "J modificado", el objetivo Principal fue la Arenisca "Hollín Inferior".

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conección	Inicial [pg]	Final [pg]
16"	4000	3805	31.04	86	0 - 4000	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso 8.4    10.2	
12 1/4"	8703	7919	28	86	0 - 8693	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop 10.2    11	
8 1/2"	11000	10101	8.7	83	8549 - 11068	7"; 26 lpp, C-95-BTC	Klastop 9.8    10.2	

**Tabla 2.17:** Información general Sacha 341D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.3.1.2 Información operacional sección 8 1/2"

Para la perforación de esta sección se utilizó el **BHA direccional # 5** con broca PDC de 8 1/2" + Motor A675M7850XP / camisa de 8 1/4" + Float Sub +8 1/4" Stabilizer + Pony Monel + Telescope + Monel + 17 x 5" HWDP + 6 1/2" Hydraulic Jar + 18x5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
5	PDC -M223 - 3X12 + 3x11	51.1	46.91	32.17		40 - 80	126 -156
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
166 - 196	2 - 30	1780 -2850	450 -550	16%	40%	NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf),HOLLIN	1-1- WT-A- X- I-CT TD

**Tabla 2.18:** Información operacional sección 8 1/2" - Sacha 341D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

- **Reaming:** Baja BHA # 5 desde 8693' hasta 8887' repasando 2 veces con bomba y rotaria, libre hasta 9112', con bomba y rotaria hasta 9168'. Libre hasta 9261', con bomba y rotaria hasta 9254', libre hasta 9914', con bomba y rotaria hasta 10008'.

### 2.10.3.2 Yanaquincha Oeste B 16 D

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 21 de Abril del 2011, a las 17h30 y concluyen el día 14 de Mayo de 2011 a las 05H00 con un total de 22.48 días de operaciones de perforación.

#### 2.10.3.2.1 Información general

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conección	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	6092	5455	32.6	266.75	0 - 1800	13 3/8"; 54.5 lpp, K-55-BTC	Nativo Disperso	
					1800 - 6092	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	8.4	
12 1/4"	10602	9283	23.94	267.94	0 - 10602	9 5/8"; 47 lpp, N -80 -BTC	Klastop	
							9.2	10.4
8 1/2"	11340	9989	11.06	264.35	10317 - 11340	7"; 26 lpp, P- 110-BTC	Klastop	
							9.6	9.8

**Tabla 2.19:** Información general Yanaquincha Oeste B 16D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

El pozo Yanaquincha Oeste B16 fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque 15, Campo Yanaquincha Oeste, Locación Yanaquincha Oeste, Cellar (N 9,962,445.90m; E 304,800.228 m). Este pozo ha sido perforado como un pozo tipo J modificado, el objetivo primario es la arenisca "U" Inferior

### 2.10.3.2.2 Información operacional sección 8 ½”

Para esta sección se utilizó el **BHA direccional # 8** con broca PDC de 8 ½” + Motor de fondo A675M7850 con camisa lisa + 6 ¾” Float Sub + 8 ¼” estabilizador + 6 ¾” Pony monel + Power Pulse 675 + 6 ¾” Monel + 28 x 5” HWDP + 6 ½” Martillo hidráulico + 2 x 5” HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
8	PDC -M223 - 6X12	10.22	72.21	47.61		70	148
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESGLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
218	2-18	2400	530	n/a	n/a	NAPO ("CA", "U" Sup, "U" Inf,"CB", "T" Sup, "T" Inf)	0-1- WT-N- X- I-BT TD

**Tabla 2.20:** Información operacional sección 8 ½” - Yanaquincha Oeste B 16D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

## 2.10.4 HORIZONTALES

Se ha tomado información de 4 pozos horizontales.

### 2.10.4.1 Sacha 317 H

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 10 de Julio de 2012 a las 20h00 y concluyen el día 23 de Agosto del 2012 a las 11h30 con un total de 43.65 días.

#### 2.10.4.1.1 Información general

El pozo SAC-317H fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque Sacha, Campo Sacha, Cellar “SAC-317”. Este pozo fue planeado como un pozo direccional tipo Horizontal, diseñado con 4 secciones: 16”, 12 ¼”, 8 ½” y 6 1/8”, con 4 revestidores:



Superficial de 13 3/8", Intermedio 9 5/8", un Liner de producción de 7" y un liner de producción de 5". El objetivo Principal fue la Arenisca "U Inferior".

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conección	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	6408	6270	14.7	125	0 - 6408	13 3/8"; 72 lpp, C-95-BTC	Nativo Disperso 8.5    11.1	
12 1/4"	10160	9327.9	66	125	0 - 10154	9 5/8"; 47 lpp, C-95-BTC	Klastop 9.7    13.5	
8 1/2"	10760	9467.1	86	114	9850 - 10760	7"; 26 lpp, P-110-BTC	Klastop 12    12	
6 1/8"	11540	9506.3	95.91	120	10583 - 11405	5"; 18 lpp, P-110 -BTC	Flopro 8.9    8.9	

**Tabla 2.21:** Información general Sacha 317H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

#### 2.10.4.1.2 Información operacional sección 8 1/2"

Para esta sección se utilizó el **BHA direccional # 7** con broca PDC de 8 1/2" + Motor A675M (BH:1.83) / Stab. 8 3/8" + Float Sub + GVR 6" + Telescope 675 NF + Monel + 20 x 5" HWDP + 6 1/2" Hydraulic Jar + 9 x 5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
7	PDC -M223 - 6X13	22.92	10.38	10.65	40	126	
8	Tricónica -537 - 3X18	13.59	11.33	10.62	25	126	
9	Tricónica -537 - 3X18	14.74	13.7	13.03	40	126	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESlizANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
166	10 - 30	2500	450	55%	84%	NAPO ("CA", "U" Sup)	0-1- CT-S/G- X- I- NO-BHA
151	20 - 45	2200 - 2600	400 - 450	62%	60%	NAPO ("U" Sup)	0-0- NO-A- E- I- NO-BHA
166	30 -50	2700	450	26%	28%	NAPO ("U" Inf)	1-1- WT-A- E- I- ER-TD

**Tabla 2.22:** Información operacional sección 8 1/2" - Sacha 317D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

Además se utilizó el **BHA direccional # 8** con broca tricónica de 8 ½" + Motor A675M (BH: 2.12) + Float Sub + Telescope 675 NF + Monel + 20 x 5" HWDP + 6 1/2" Hydraulic Jar + 9 x 5" HWDP.

Continuó perforando sección de 8 ½" con el **BHA direccional # 9** con broca tricónica de 8 ½" + Motor A675M (BH: 1.83) + Float Sub + Periscope 675 + Telescope 675 + Monel + 20 x 5" HWDP + 6 1/2" Hydraulic Jar + 9 x 5" HWDP.

#### 2.10.4.1.3 Información operacional sección 6 1/8"

Para esta sección se utilizaron 5 BHA:direccionales además de 1 BHA de pesca debido a la pérdida de dos conos de la broca tricónica del BHA # 13. La configuración de los ensamblajes de fondo fue el siguiente:

**BHA direccional # 10** con broca tricónica de 6 1/8" + Motor A475M + 27 x 3 ½" HWDP + 48 x 3 ½" DP + 9 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Hydraulic Jar + 14 x 3 ½" HWDP + 87 x 3 ½" DP + x-over + 45 x 5" HWDP.

**BHA direccional # 11** con broca PDC + Power Drive 475 + Receiver + 5 7/8" Sleeve Stab + x-over + periscope 475 + ShortPulse HF + ADN-4 + 6 1/8" Stab + Monel + 27 x 3 ½" HWDP + 49 x 3 ½" DP + 9 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Hydraulic Jar + 14 x 3 ½" HWDP + 87 x 3 ½" DP + x-over + 44 x 5" HWDP.

**BHA direccional # 12** con broca tricónica de 6 1/8" + A475M (BH: 1.5 deg) + float sub + estabilizador de 4 3/4" + x-over + periscope 475 + ShortPulse HF + ADN-4 + Monel + 27 x 3 ½" HWDP + 48 x 3 ½" DP + 9 x 3 ½" HWDP + Hydraulic Jar + 14 x 3 ½" HWDP + 87 x 3 ½" DP + x-over + 44 x 5" HWDP.

**BHA direccional # 13** direccional con broca tricónica de 6 1/8" + A475M (BH: 1.5 deg) + float sub + 4 3/4" x 5 7/8" Stab + Pony Monel + Impulse + Saver sub + Monel + 24 x 3 1/2" HWDP + 30 x 3 1/2" DP + 9 x 3 1/2" HWDP + 4 3/4" Hydraulic Jar + 38 x 3 1/2" HWDP + 3 1/2" DP + x-over + 44 x 5" HWDP.

**BHA de pesca** con herramienta VACS de Cia Baker + 15 x 3 1/2" HWDP + bumper sub + fishing jar.

Y el **BHA direccional # 14** con broca PDC de 6 1/8" + A475M (BH: 1.5 DEG) + float sub + estabilizador de 4 3/4" + Pony monel + Impulse + Saver sub + Monel + 24 x 3 1/2" HWDP + 30 x 3 1/2" DP + 9 x 3 1/2" HWDP + 4 3/4" Hydraulic Jar + 38 x 3 1/2" + 3 1/2" DP + x-over + 45 x 5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
				Pies	Tiempo		
10	Tricónica -517 - 3X18	0.33	15.15	10		40	148
11	PDC - M123- 5X11	6.08	26.48	21.47		80 - 120	NA
12	Tricónica - 517 - 3X13	9.77	5.94	5.52		40	145
13	Tricónica - 517 - 3X13	18.4	9.35	8.39		40	145
14	PDC-M123 - 5X11	21.35	17.99	16.34		40	145
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESILIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
188	18 - 21	2500	250	0%	0%	NAPO ("U" Inferior)	1-1- BT-M- E- I-CT- BHA
80 - 120	10 - 21	2400	250 - 290	0%	0%	NAPO ("U" Inferior)	0-1- WT- N- X - I- NO- BHA
185	20 - 30	2250	360	62%	54%	NAPO ("U" Inferior)	4-1- BT- M- E- I- LT- DSF
185	20 - 30	2300	250	34%	28%	NAPO ("U" Inferior)	8-8- LC -A -F -NO - BT- HP
185	8 - 12	2650	250	25%	62%	NAPO ("U" Inferior)	0-0 -NO -A - X - I- NO -TD

**Tabla 2.23:** Información operacional sección 6 1/8" - Sacha 317D

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Río Napo IPM

### 2.10.4.2 Palo Azul D 33 H

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 29 de Septiembre del 2011 a las 12h00 y concluyen el 08 de Noviembre del 2011 a las 20h30 con un total de 35.69 días.

#### 2.10.4.2.1 Información general

El pozo PLAD-033H fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque 18, Campo Palo Azul, Locación D, Cellar "D-033". Este pozo fue planeado como un pozo Horizontal, diseñado con 4 secciones: 16", 12 ¼", 8 ½" y 6 1/8", con 4 revestidores: Superficial de 13 3/8", revestidor Intermedio de producción 9 5/8", un Liner de producción de 7" y un Liner ranurado de producción de 5". El objetivo principal fue Hollín Principal.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conección	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	5600	5600	0.6	28.86	0 -1574	13 3/8"; 54.5 lpp, K -55-BTC	Aqua Gel	
					1574 - 5600	13 3/8"; 68 lpp, K- 55-BTC	8.4	10.5
12 1/4"	9260	9091	33.74	3.93	0 - 9255	9 5/8"; 47 lpp, N- 80 -BTC	Maxdrill G+	
							9.2	10.8
8 1/2"	11143	9985	90.07	9.43	8988 - 10940	7"; 26 lpp, P-110- BTC	Maxdrill	
							9.8	11.5
6 1/8"	12000	9988	90	11.68	10857 - 12000	5"; 18 lpp, P-110 -HDL	Drill In	
							9	9.2

**Tabla 2.24:** Información general Palo Azul D 33H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.2.2 Información operacional sección 8 ½"

Armó **BHA direccional # 6** con broca PDC de 8 ½" + Xceed 675 con 8 3/8" Estabilizador + Periscope 675 con 8 ¼" Estabilizador + MWD Telescope + ADN-6 con 8 ¼" Estabilizador + 6 ½" Monel + 6 x 5" HWDP + 45 x 5" DP + 27 x 5" HWDP + 6 ½" Martillo hidráulico + 2 x 5" HWDP.

**-Back reaming:** Continuó sacando BHA con back reaming con dificultad, perdió circulación y rotación varias veces. Trabajó sarta con martillo y torque hasta recuperar parámetros normales con un máximo over pull de 70 klbs desde 10283 hasta 9255 pies. Continuó sacando BHA desde 9255 hasta 4500 pies; sacó dos paradas con bomba dentro del revestidor, luego salió libre.

Armó **BHA direccional # 7** con broca PDC de 8 ½" + Xceed 675 con 8 3/8" Estabilizador + Periscope 675 con 8 ¼" Estabilizador + MWD Telescope + 6 ½" Monel + 6 x 5" HWDP + 45 x 5" DP + 27 x 5" HWDP + 6 ½" Martillo hidráulico + 2 x 5" HWDP.

**-Back reaming:** Sacó ensamblaje direccional desde 10827 hasta 10789 pies con rotación y circulación. Sacó BHA desde 10789 hasta 9225 pies con rotación y circulación.

**-Limpieza:** Armó **BHA limpieza # 8** con broca tricónica de 8 ½" y roller reamer. Bajó BHA de limpieza desde superficie hasta 9810 pies, donde observó apoyo de 20 klbs. Bajó desde 9810 hasta 11143 pies con rotación y circulación. Bombeo tren de píldoras y circuló hasta tener retornos limpios en las zarandas. Durante la circulación sacó una parada cada hora y media con rotación y circulación desde 11143 hasta 10925 pies.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
6	PDC -M223 - 3X13+3x14	28.2	46.28	33.5	80	n/a	
7	PDC -M223 - 3X13+3x14	13.3	43.46	29.6	80	n/a	
8	Tricónica -447x - 3X20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESlizANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
80	18 - 30	1800	500	n/a	n/a	NAPO(LSS:M1, A,B; SS: M2,"U","T")	0-0- NO-A- X- I-NO BHA
80	18 - 30	2100	500	n/a	n/a	NAPO BASAL, HOLLIN (Caliza C)	1-2- WT-S/G- X- I- BT-TD
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 2.25:** Información operacional sección 8 ½" - Palo Azul D 33H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.2.3 Información operacional sección 6 1/8"

Para la presente sección se utilizó 3 BHA direccionales con la siguiente configuración:

**BHA direccional # 12** con broca tricónica de 6 1/8" + Motor A475M7838XP con 5 7/8" Estabilizador, BH: 1.5° + Float sub + MWD Impulse + 4 ¾" Monel + 12 x 3 ½" HWDP + 27 x 3 ½" DP + 42 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Martillo hidráulico + 6 x 3 ½" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

Armó **BHA direccional # 13** con broca tricónica de 6 1/8" + Motor A475M7838XP con 5 7/8" Estabilizador, BH: 1.5° + Float sub + MWD Impulse + 4 ¾" Monel + 12 x 3 ½" HWDP + 27 x 3 ½" DP + 42 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Martillo hidráulico + 6 x 3 ½" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

**BHA direccional # 14** con broca PDC de 6 1/8" + Power Drive + PD Receiver con 5 7/8" Estabilizador + Periscope + MWD Shortpulse +

ADN-4 + 4 ¾" Monel + 12 x 3 ½" HWDP + 45 x 3 ½" DP + 42 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Martillo hidráulico + 6 x 3 ½" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]		RPM ROTARIA	RPM MOTOR
12	Tricónica - 115 - 3X12	11.9	17.14	5.1		50	110
13	Tricónica - 517 - 3X12	3.5	30.29	7.5		40	130
14	PDC - M223 - 5X11	19.7	38.07	20.8		120	NA
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESILIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
150	20 -30	1700	220	63.7	84.6	REPASA HOYO	1-1 - WT- A -E- I- CT
170	20 -30	1850	240	34	48.6	HOLLIN PRINCIPAL	1 - 2- WT -A- E- 1/16 -CT
120	8- 10	2500	250	n/a	n/a	HOLLIN PRINCIPAL	0 -0- NO -A -X- I- NO

**Tabla 2.26:** Información operacional sección 6 1/8" - Palo Azul D 33H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.3 Palo Azul D 28 H

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 17 de Noviembre del 2011 a las 06h00 y concluyen el día 19 de Diciembre del 2011 a las 04h00 hrs con un total de 31.92 días.

##### 2.10.4.3.1 Información general

El pozo PLAD-028H fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque 18, Campo Palo Azul, Locación D, Cella "D-028". Este pozo fue planeado como un pozo Horizontal, diseñado con 4 secciones: 16", 12 ¼", 8 ½" y 6 1/8", con 4 revestidores: Superficial de 13 3/8", revestidor Intermedio de producción 9 5/8", un

Liner de producción de 7" y un Liner ranurado de producción de 5". El objetivo Principal fue la Arenisca Hollín Principal.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [pg]	Final [pg]
16"	6040	5644.3	3.02	168.55	0- 1763	13 3/8"; 54.5 lpp, K -55-BTC	Aqua Gel	
					1763 - 6040	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	8.4	
12 1/4"	10080	9429.2	50.3	338.46	0 - 10079	9 5/8"; 47 lpp, N-80 -BTC	Maxdrill G+	
							9.2	10.5
8 1/2"	11930	9996	86.99	338.18	9874 - 11928	7"; 26 lpp, P-110-BTC	Maxdrill	
							9.8	10.6
6 1/8"	12450	9996.4	88.4	337	806 - 1244	5"; 18 lpp, P-110 -BTC	Maxdrill	
							9	

**Tabla 2.27:** Información general Palo Azul D 28H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.3.2 Información operacional sección 8 ½"

Armó **BHA direccional # 6** con broca PDC de 8 ½" + Xceed 675 con 8 3/8" Estabilizador + EcoScope con 8 ¼" Estabilizador + Telescope 675 NF + 6 5/8" Monel + 6 x 5" HWDP + 45 x 5" DP + 27 x 5" HWDP + 6 ½" Martillo hidráulico + 2 x 5" HWDP.

Armó **BHA direccional # 7** con broca PDC de 8 ½" + Motor A675M7850XP con 8 3/8" Estabilizador, BH: 1.83° + Float Sub + 6 ¾" Flex Collar + ARC-6 + Telescope 675 NF + 6 5/8" Monel + 6 x 5" HWDP + 45 x 5" DP + 27 x 5" HWDP + 6 ½" Martillo hidráulico + 2 x 5" HWDP.

**-Back reaming:** Observó arrastres con hasta 40 klbs de overpull en 10840 y 10724 pies, sacó con rotación y circulación los siguientes



intervalos: 10844 - 10830 pies, 10730 - 10715 pies, 10830 - 10750 pies y 10715 – 10653 pies.

**-Reaming:** Bajó BHA # 7 desde 10065 hasta 11712 pies, observó apoyo de hasta 30 klbs a 11148 pies. Bajó con rotación y circulación por precaución desde 11148 hasta 11712 pies.

**-Limpieza:** Armó **BHA limpieza # 8** con broca PDC de 8 ½". Bajó BHA de limpieza desde superficie hasta 10930 pies, bajó con rotación y circulación desde 10700 hasta 11250 pies y desde 11727 hasta 11930 pies. Bombeo 50 bbls de píldora viscosa pesada y circuló hasta tener retornos limpios en las zarandas. Bombeó 130 bbls de píldora lubricante y desplazó al fondo. Sacó BHA # 8 de limpieza desde 11930 pies hasta superficie. Observó arrastres de 25 klbs de overpull en 10758 pies.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
6	PDC -M222 - 3X13+3X12	16.6	45.2	29.4	70 - 120	n/a	
7	PDC -M223 - 3X13+3X12	30.9	35.6	25.3	40 - 50	120 - 137	
8	Tricónica -117 - Sin boquillas	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESlizANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
70 -120	15 - 30	1200 - 2200	390 - 480	n/a	n/a	NAPO (Lss "A", "U" Lss "B", "T" )	1-1- CT-C- X- I-SP- BHA
120 - 187	6 - 16	1800 - 2600	430 - 490	37%	65%	NAPO ("T"), HOLLIN ( Lss "C")	0-2- WT-S/G- E-1- NO-BHA
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 2.28:** Información operacional sección 8 ½" - Palo Azul D 28H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

### 2.10.4.3.3 Información operacional sección 6 1/8"

Para perforar la siguiente sección se utilizó 2 BHA direccionales y 1 de acondicionamiento - limpieza, los mismos tuvieron la siguiente configuración:

**BHA direccional # 9** con broca Tricónica de 6 1/8" + Motor A475M7838XP con 5 7/8" Estabilizador, BH: 1.5° + Float sub + MWD Shortpulse + 4 3/4" Monel + 12 x 3 1/2" HWDP + 27 x 3 1/2" DP + 41 x 3 1/2" HWDP + 4 3/4" Martillo hidráulico + 6 x 3 1/2" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

**BHA direccional # 10** con broca PDC de 6 1/8" + Power Drive + PD Receiver con 5 7/8" Estabilizador + Periscope 475 + MWD Impulse + ADN-4 + 4 3/4" Monel + 12 x 3 1/2" HWDP + 30 x 3 1/2" DP + 41 x 3 1/2" HWDP + 4 3/4" Martillo hidráulico + 6 x 3 1/2" HWDP + X-Over + 24 x 5".

**BHA de limpieza # 11** con broca tricónica de 6 1/8" + 4 3/4" DC + Watermelon.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
9	Tricónica- 517X - 3X12	3.4	18.5	11.5	40 - 50	119 - 134	
10	PDC -M223 - 5X10	8.2	55.7	32.6	80 - 100	n/a	
11	Tricónica -117 - Sin boquillas	0	n/a	n/a	n/a	n/a	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
119 - 184	10 -22	1300 - 1650	220 -245	32%	47%	HOLLIN PRINCIPAL	0-1- WT- G -E- 1/16- BT- BHA
80 - 100	6 - 14	1650 - 2100	245	0%	0%	HOLLIN PRINCIPAL	0-1 -BT- G- X- I- NO- TD
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 2.29:** Información operacional sección 6 1/8" - Palo Azul D 28H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.4 Palo Azul D 34 H

Las operaciones de perforación de este pozo inician el día 24 de Diciembre del 2011 a las 00h00 y concluyen el día 28 de Enero del 2012 a las 03h00 con un total de 30.50 días.

##### 2.10.4.4.1 Información general

El pozo PLAD-034H fue diseñado como un pozo de desarrollo para ser perforado en el Bloque 18, Campo Palo Azul, Locación D, Cellar "D-034". Este pozo fue planeado como un pozo Horizontal, diseñado con 4 secciones: 16", 12 ¼", 8 ½" y 6 1/8", con 4 revestidores: Superficial de 13 3/8", revestidor Intermedio de producción 9 5/8", un Liner de producción de 7" y un Liner ranurado de producción de 5". El objetivo Principal fue la Arenisca Hollín Principal.

SECCIÓN	PROFUNDIDAD				REVESTIDOR		FLUIDO	
	MD [pies]	TVD [pies]	Inclinación [grados]	Azimuth [grados]	Longitud [pies]	OD ; Piesaje , Grado- Conexión	Inicial [lpg]	Final [lpg]
16"	5880	5617	1.6	180.72	0 - 2100	13 3/8"; 54.5 lpp, K -55-BTC	Aqua Gel	
					2100 - 5880	13 3/8"; 68 lpp, K-55-BTC	8.4	10.5
12 1/4"	9915	9451	46.54	48.96	0 - 9915	9 5/8"; 47 lpp, N-80 -BTC	Maxdrill G+	
							9.2	10.5
8 1/2"	11366	9991.13	87.54	49.55	9729 - 11365	7"; 26 lpp, P- 110-BTC	Maxdrill	
							9.8	10.8
6 1/8"	12063	9982.65	92.2	46.5	11243 - 12063	5"; 18 lpp, P- 110 -HDL	Drill In	
							8.8	9

**Tabla 2.30:** Información general Palo Azul D 34H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

#### 2.10.4.4.2 Información operacional sección 8 ½"

Armó **BHA direccional # 7** con broca PDC de 8 ½" + Xceed 675 con 8 3/8" Estabilizador + EcoScope con 8 ¼" Estabilizador + MWD Telescope + 6 5/8" Monel + 6 x 5" HWDP + 45 x 5" DP + 28 x 5" HWDP + 6 ½" Martillo Hidráulico + 3 x 5" HWDP.

- **Back reaming:** Observó puntos apretados con máximo overpull de 50 klbs a 10926, 10916, 10780 y 10680 pies. Intervalo apretado con 40 klbs de overpull en 10300-10100 pies. Saco tubería con circulación en los intervalos 10680-10300 pies y 10100-9950 pies.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
7	PDC -M223 - 6X13	30.8	47.11	30.23	90 - 110	n/a	
8	Tricónica -117 - 3X20	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
90 - 110	18 - 22	2400	500	n/a	n/a	NAPO("CA","U", "CB","T")HOLLÍN	0-1- WT-S- X- I- NO-TD
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 2.31:** Información operacional sección 8 ½" - Palo Azul D 34H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

-**Limpieza:** Armó **BHA limpieza # 8** con broca tricónica de 8 ½" y roller reamer. Bajó BHA de limpieza desde superficie hasta 10880 pies. Observó apoyo de hasta 15 klbs, bajó con circulación y rotación hasta 10885 pies. Bajó BHA de limpieza con rotación y circulación desde 10860 hasta 11366 pies. Sacó tubería desde 11366 hasta 9845 pies. Observó arrastres de hasta 40 klbs en los puntos 11165, 10890, 10794, 10690, 10628, 10414 y 10265 pies. Bajó BHA # 8 de limpieza desde 9845 hasta 11366 pies. Observó apoyo a 10300, 10420, 10575 y 10738 pies. Repasó los intervalos 10290-10316 pies, 10410-10500

pies, 10567-10598 pies, 10735-10788 pies, 10788-10975 pies y 11165 -11366 pies. Sacó BHA # 8 de limpieza, observó arrastres de hasta 40 klbs a 10420 y 10270 pies.

#### 2.10.4.4.3 Información operacional sección 6 1/8"

Para perforar la siguiente sección se utilizó 2 BHA direccionales y 1 de acondicionamiento - limpieza, los mismos tuvieron la siguiente configuración:

**BHA direccional # 9** con broca tricónica de 6 1/8" + Motor A475M7838XP con 5 7/8" Estabilizador, BH: 1.5° + Float Sub + ZINC + MWD Impulse + 4 3/4" Monel + 12 x 3 1/2" HWDP + 27 x 3 1/2" DP + 23 x 3 1/2" HWDP + 4 3/4" Martillo Hidráulico + 3 x 3 1/2" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

BHA	BROCA- IADC- BOQUILLAS (/32")	HORAS NETAS	ROP EFECTIVA [pies/hr]	ROP PROMEDIO [pies/hr]	RPM ROTARIA	RPM MOTOR	
9	Tricónica- 517 - 3X12	5.1	18.43	13.43	50	135	
10	PDC -M223 - 5X10	8.8	68.52	44.67	110	n/a	
11	Tricónica -117 - 3X20	0	n/a	n/a	n/a	n/a	
RPM TOTAL	WOB [klbs]	PRESIÓN [psi]	CAUDAL [gpm]	DESLIZANDO		FORMACIÓN	CALIFICACIÓN BROCA
				Pies	Tiempo		
185	15 - 20	2200	250	31%	47%	HOLLIN PRINCIPAL	1-2- BT- M/G -E- I- WT- BHA
110	10 -15	2200	250	0%	0%	HOLLIN PRINCIPAL	0-1 -BT- S- X- I- NO- TD
n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

**Tabla 2.32:** Información operacional sección 6 1/8"- Palo Azul D 34H

**Fuente:** Schlumberger – Proyecto Petroamazonas IPM

**BHA direccional # 10** con broca PDC de 6 1/8" + Power Drive con 5 7/8" Estabilizador + PD Receiver + Periscope + MWD Shortpulse +

ADN-4 + 4 ¾" Monel + 12 x 3 ½" HWDP + 27 x 3 ½" DP + 43 x 3 ½" HWDP + 4 ¾" Martillo Hidráulico + 3 x 3 ½" HWDP + X-Over + 24 x 5" HWDP.

Y el **BHA limpieza # 11** con broca tricónica de 6 1/8" y DC 4 ¾" + Watermellon 6".

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO INTERMEDIA 9 5/8”**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad se está perforando pozos con complejidades que hace 5 años eran considerados imposibles de hacerlos, en este ambiente, el diseño de la tubería de revestimiento se convierte en crítica para la seguridad y el éxito de la perforación y producción del pozo, sin lugar a dudas un desgaste en la tubería de revestimiento resultará en costos significantes o aún peor en la pérdida del pozo.

Como parte de una estrategia exitosa de diseño del revestidor, se debe evaluar el máximo desgaste del revestidor permisible para mantener la integridad del mismo.

Los métodos de los que se puede valer para encontrar el desgaste del revestidor se dividen por etapas teóricas y prácticas. Los modelos teóricos son aquellos que se valdrán de información de pozos anteriores y/o modelos matemáticos para predecir la cantidad de desgaste que podría sufrir la tubería de revestimiento durante la operación de perforación de secciones sub siguientes al asentamiento del revestidor de 9 5/8”.

Por otra parte un modelo práctico dará validez a un modelo teórico, siendo éste el que corrobora si la predicción fue adecuada y si se acerca al valor real del desgaste del revestidor.

## 3.2 MÉTODOS TEÓRICOS

Los métodos teóricos del desgaste de la tubería de revestimiento se basan en el número de revoluciones de la tubería y la fuerza de contacto entre la tubería de perforación y la de revestimiento para calcular el desgaste. La fuerza de contacto es calculada usando la severidad de la “pata de perro” dentro del hoyo, con la máxima severidad de los “dog legs” a menudo se determina la locación y extensión del desgaste más severo en el revestidor.

Existe una gran discrepancia entre el desgaste del revestidor predicho y real, debido a la calidad e interpretación del registro direccional de la severidad en las patas de perro y el total de revoluciones. Estas discrepancias resultan en predicciones de las fuerzas de contacto y revoluciones de la tubería de perforación que se encuentren en alrededor de un 50% de error.

Dentro de los métodos teóricos que proporcionan una aproximación del desgaste, el que calcula al valor más cercano y correcto del desgaste real es el software CWEAR. Una vez que el software ha calculado el desgaste teórico la información es primordial para la elaboración del diseño de la tubería de revestimiento CASIGN DESIGN para poder determinar y predecir las posibilidades que el revestidor pueda fallar como consecuencia del desgaste al que pueda estar sujeto durante las operaciones de perforación.

### 3.2.1 CWEAR

CWEAR es un software desarrollado por MAURER ENGINEERING<sup>18</sup> que predice de manera adecuada la locación y la magnitud del desgaste la tubería de revestimiento. Este software determina el desgaste volumétrico del revestidor, eso se logra mediante el cálculo de la energía impartida por la junta de unión “tool joint” al revestidor en múltiples posiciones a lo largo de éste y

---

<sup>18</sup> Maurer Engineering INC., Houston Texas



dividiendo el desgaste del revestidor por la cantidad de energía requerida para desgastar una unidad de volumen de la tubería de revestimiento.

Las fuerzas laterales, que presionan al “tool joint” en contra del revestidor, son una combinación de la gravedad, el factor de flotación, la tensión en la tubería de perforación, y la geometría de la trayectoria del pozo. La profundidad del desgaste en cada punto del revestidor es calculado de su desgaste volumétrico.

Un elemento crítico en el modelo que es envuelto desde el análisis teórico de desgaste del revestidor es un factor de desgaste empírico. Este factor empírico cuantifica la energía requerida para remover una unidad de volumen del material del revestidor para un juego de condiciones dadas (geometría del revestidor/tool joint, fluidos de perforación, contenido de sólidos, revoluciones por minuto, rata de penetración, etc.).

La información del factor de desgaste es incorporada en el programa de un extensivo rango de pruebas de laboratorio conducidas para la elaboración del software. La evaluación y aplicación de dicho factor de desgaste es un elemento crucial en la transición del modelo teórico a una herramienta práctica de ingeniería.

El desarrollo de un modelo de desgaste para la tubería de revestimiento, evoluciona a raíz de la falla del riser (tubería que conecta un BOP submarino con una plataforma offshore) experimentada por “Phillips Petroleum Company” en el golfo de México. La investigación del incidente resultó en el desarrollo de un modelo computacional para la predicción del desgaste preciso del riser en el fondo para los pozos de Phillips.

### ***3.2.1.1 Características generales del programa***

Entre las características generales que ofrece el programa se incluyen:

- Cálculo del desgaste del revestidor para cualquier pozo, costa afuera o adentro.
- Manejo de cualquier cantidad de estaciones de registro direccional para una trayectoria específica.
- Permite utilizar diferentes rangos de tubería de perforación (hasta 10).
- Simula el desgaste del revestidor mediante la demostración del efecto del movimiento de la broca de perforación y los cambios simultáneos en el revestidor por desgaste.
- Calcula y muestra gráficos y tablas de desgaste, presión de explosión y colapso, fuerzas normales y ángulos de pata de perro.
- Realiza un análisis de sensibilidad del ángulo del flex joint para determinar el máximo ángulo de inclinación permisible.
- Incluye los modelos no lineales de Shell y Mei para el cálculo del desgaste.

### ***3.2.1.2 Registro direccional***

El software usa el registro direccional para determinar las fuerzas laterales o de contacto entre la tubería de perforación y la cara del pozo. Estos puntos dentro del registro direccional pueden ser una representación de la trayectoria planeada del pozo, o pueden ser puntos tomados directamente de las medidas reales de los equipos de fondo.

Los puntos del registro son conectados en una sola línea que representan la mejor aproximación entre la trayectoria del hoyo y la formación. Para los modelos de desgaste de la tubería de revestimiento, las fuerzas laterales o de contacto entre la tubería de perforación y el revestidor tienen un efecto

directo en la tasa de desgaste. Lubinski<sup>19</sup> ha demostrado que la severidad de la curvatura del hoyo se encuentra relacionada con la fuerza de contacto. La severidad de la curvatura en el pozo se encuentra representada por la severidad de la pata de perro “DLS”.

### **3.2.1.3 Tortuosidad**

Para el modelamiento del pozo usando la trayectoria planeada del hoyo, una cantidad de “tortuosidad”, o curvatura artificial, es corregida a otra trayectoria perfectamente lisa para representar de mejor manera la cantidad y magnitud de la curvatura que será inherente en la trayectoria real del pozo.

La tortuosidad puede tomar diferentes, incluyendo sinusoidal, helicoidal, o desviaciones generadas aleatoriamente. Al modelar la forma del hoyo usando registros direccionales reales, la distancia entre los puntos del registro, también llamados la frecuencia de la estación de registro y la precisión de la herramienta al tomar las medidas, influyen de gran manera la exactitud entre la trayectoria calculada y la real del pozo.

La manera que la tortuosidad es usada es importante debido a que el efecto de torque y arrastre son acumulativos a lo largo de toda la sarta de perforación, el efecto de la severidad de las patas de perro y la fuerza de contacto resultante en cualquier punto no son tan importantes como el nivel promedio total de la fuerza de contacto sobre todo el pozo.

En contraste, cuando se modela el desgaste del revestidor, la meta es calcular las presiones mínimas de colapso y estallido para la tubería de revestimiento resultantes de la mayor cantidad del desgaste del revestidor.

---

<sup>19</sup> Lubinski et al 1961 -1984

En este caso el factor más importante será el valor máximo de DLS y no el valor promedio, esto se debe a que un DL grave sobre una distancia pequeña puede generar fuerzas de contacto severas y resultar en falla del revestidor en ese lugar.

### 3.2.2 MODELO TEÓRICO BASE

Según estudios<sup>20</sup> se ha podido concluir que la mayor parte del desgaste es causado por la rotación de la tubería de perforación más que por la reciprocación de esta. La rotación del tool joint sobre el interior de la tubería de revestimiento lo desgasta adhesivamente por frotación, generando escamas.

Para predecir la rata de desgaste del revestidor por la rotación del tool joint, es necesario expresar la rata de desgaste en términos de parámetros medibles en campo, los que incluyen el sistema de lodo, el material del tool joint, material del revestidor, severidad de las patas de perro, velocidad de la rotaria y rata de penetración, y la tensión a lo largo de la tubería de perforación (torque y arrastre).

El modelo usado por el software CWEAR calcula el volumen de material desgastado debido a la rotación de los tool joints y que producen un desgaste en forma de semi luna y de estos se calcula la profundidad con el desgaste respectivo. El volumen del revestidor desgastado por unidad de longitud en el revestidor en cierto tiempo t, producido por la rotación del tool joint es,

$$V = \frac{E}{e} \left[ \frac{\text{pulg}^3}{\text{pies}} \right] \quad (3.1)$$

Donde,

E = la energía inicial por cada unidad de longitud [pulg-lb/pies]

---

<sup>20</sup> Bradley y Fontenot (1975), Bol (1986), Williamson (1985), Hall (1993-1994-2005)

$e$  = energía específica [lb/pulg<sup>2</sup>]

La energía específica es definida como la cantidad de energía requerida para remover una unidad de volumen del metal. La energía de la fricción  $E$ , impartida al revestidor es,

$$E = f F_{lat} D \left[ \frac{\text{pulg-lb}}{\text{pies}} \right] \quad (3.2)$$

Donde,

$f$  = el factor de fricción [adimensional]

$F_{lat}$  = la carga lateral sobre el tool joint por unidad de volumen [lb/ft]

$D$  = distancia deslizada, entre el tool joint y el revestidor [pulgadas]

$$V = \frac{f F_{lat} D}{e} \left[ \frac{\text{pulg.}^3}{\text{pies}} \right] ; D = \pi N d t \text{ [pulgadas]} \quad (3.3)$$

Donde,

$N$  = velocidad de rotación [rpm]

$d$  = diámetro del tool – joint [pulgadas]

$t$  = tiempo de contacto [min]

$$t = \frac{S L_{TJ}}{ROP L_{DP}} \text{ [min]} \quad (3.4)$$

Donde,

$S$  = la distancia perforada [pies]

$L_{TJ}$  = longitud del tool joint [pies]

$ROP$  = rata de penetración [pies/hr]

$L_{DP}$  = longitud de una junta de tubería de perforación [pies]

$$F_{lat} = \frac{F_{DP} L_{DP}}{L_{TJ}} \left[ \frac{lb}{pies} \right] \quad (3.5)$$

Donde,

$F_{DP}$  = es la carga lateral promedio en la tubería de perforación [lb/pies]

El factor de desgaste WF controla la eficiencia de desgaste y se define como la proporción del factor de fricción a una energía específica requerida para remover una unidad de acero.

$$WF = \frac{f}{e} \left[ \frac{pulgadas^2}{libras} \right] \quad (3.6)$$

El software calcula el volumen total desgastado, mediante la división de la distancia total perforada entre intervalos discretos, y estimando el desgaste en cada intervalo mediante:  $V = \sum_{i=1}^n \Delta V_i$ , donde  $\Delta V_i$  es el incremento del volumen desgastado por cada incremento en la distancia perforada.

El volumen de pared removido del revestidor por pie en el tiempo “t-horas” es matemáticamente expresado por la siguiente ecuación:

$$V = WF \times F_{lat} \times \pi \times d \times 60 \times N \times t \quad (3.7)$$

La ecuación anterior ha sido encontrada de aplicar el concepto en que el volumen de desgaste es igual al factor de desgaste del revestidor multiplicado por la distancia viajada por el tool joint al deslizarse y por la fuerza lateral por tool joint.

En la tabla 3.1 se muestra los valores aproximados del factor de desgaste tomando en consideración factores que influencia el comportamiento del mismo, dichos factores incluyen al tipo de lodo que se usa durante la etapa de

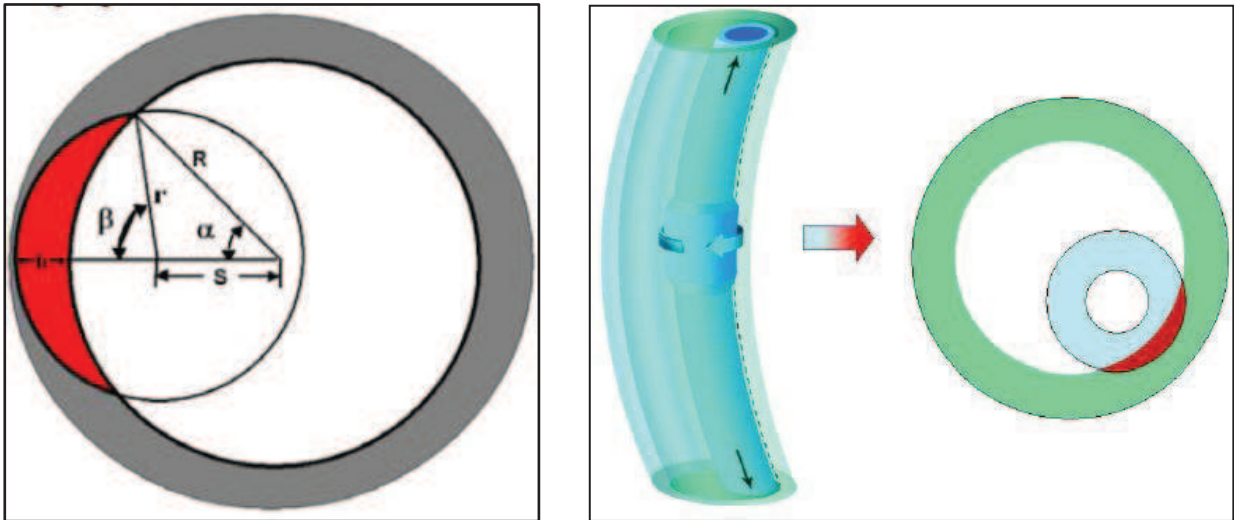
perforación, el material del tool joint y el uso de protectores rotatorios sobre la tubería de perforación.

Selecciones		Factor de desgaste (E-10 psi <sup>-1</sup> )
Tipo de lodo	Agua o a base agua, tool joint de acero	0.5 a 4.0
	A base de aceite, tool joint de acero	0.3 a 5
Material del tool joint	Carburo de tungsteno suave	8.5
	Carburo de tungsteno duro	1625
	Otro material de la banda dura amigable con el revestidor	1 a 6
Protectores rotatorios de la tubería de perforación	Protectores de la tubería nuevos con un revestidor oxidado	4.1
	Protectores de la tubería con el interior del revestidor promedio	2.1
	Protectores de la tubería después de haber pulido un revestidor	0.06

**Tabla 3.1:** Lista experimental de determinados factores de desgaste  
**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

### 3.2.2.1 Volumen y profundidad del desgaste

En la figura 3.1 se muestra la geometría del desgaste en semi lun, la misma que es una función del revestidor - el tool joint (OD) y la profundidad de desgaste de la pared del revestidor (h).



**Figura 3.1:** Geometría del desgaste adhesivo del revestidor por frotación

**Fuente:** Improving Casing Wear Prediction and Mitigation using a Statically Based Model<sup>21</sup>

La relación entre la profundidad del desgaste y el volumen desgastado del revestidor se encuentra dada por:

$$WV = 12 \left( \beta r^2 + 2\sqrt{P(P-R)(P-r)(P-S)} - \alpha R^2 \right) \quad (3.8)$$

Donde,

$$S = R - (r - h) [\text{pulgadas}] \quad (3.9)$$

$$P = \frac{R+r+S}{2} [\text{pulgadas}] \quad (3.10)$$

$$\cos \alpha = \frac{R^2 + S^2 - r^2}{2RS} [\text{pulgadas}] \quad (3.11)$$

$$\beta = \arctg \left( \frac{R \times \sin \alpha}{R \times \cos \alpha - S} \right) \quad (3.12)$$

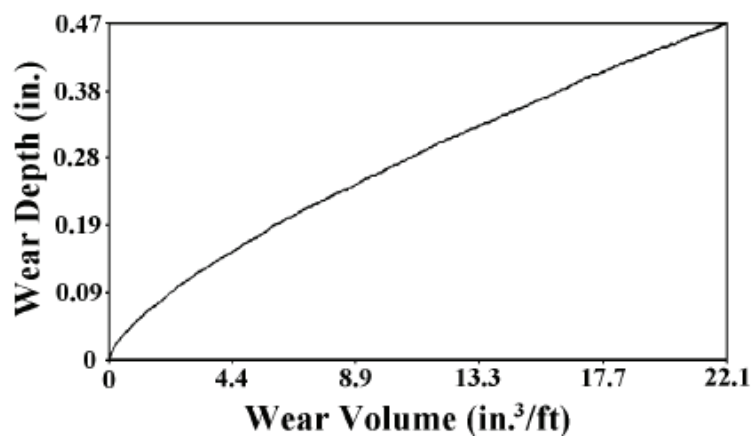
---

<sup>21</sup> Mitchell S., Xiang Y, 2012



Geométricamente se puede obtener el volumen que está siendo removido del revestidor en los puntos donde existe contacto entre el revestidor y el tool joint, y completa el modelo anterior usando en el software.

El volumen del desgaste semi lunar incrementa de manera no lineal con la profundidad debido a que este desgaste en particular se incrementa a medida que la profundidad del desgaste incrementa.



**Figura 3.2:** Volumen desgastado en función de la profundidad de desgaste  
**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

La figura 3.2 representa la relación entre la profundidad y el desgaste de un revestidor de OD 9 5/8" - 47 lb/pie realizado con un tool joint OD 6 1/2". La pared del revestidor de 0.47 pulgadas se encuentra totalmente desgastado cuando el volumen del desgaste alcanza los 22.13 pulg<sup>3</sup>/pie.

### 3.2.2.2 Factores de corrección no lineales

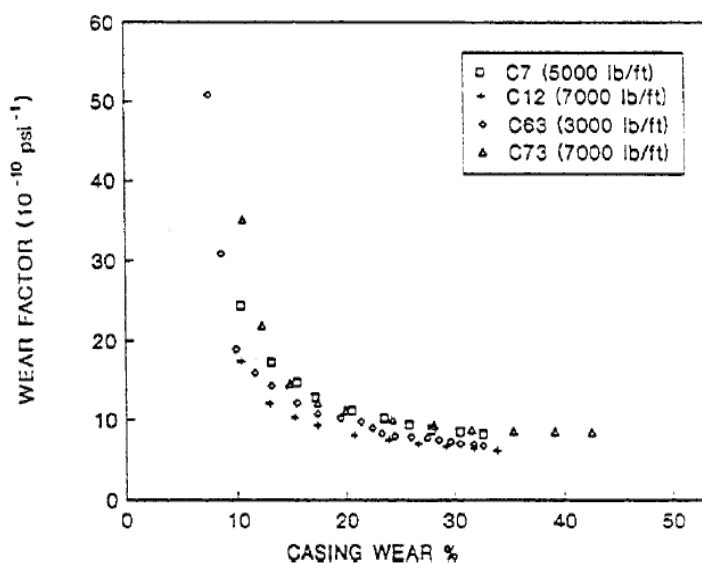
#### 3.2.2.2.1 Factor de Corrección del MAURER ENGINEERING<sup>22</sup>

Factores experimentales del laboratorio han mostrado que los factores de desgaste no son constantes para cierta combinación de

---

<sup>22</sup> Maurer Engineering INC., Houston Texas

condiciones, pero si se puede observar que el desgaste decrece con el incremento de la profundidad de desgaste y se aproxima un valor asintótico cuando se aprecia que el porcentaje de desgaste se aproxima a un 40%. Los factores de desgaste reportados en estos ensayos y los que son utilizados generalmente se acercan a los valores asintóticos, como se muestra en la figura 3.3.



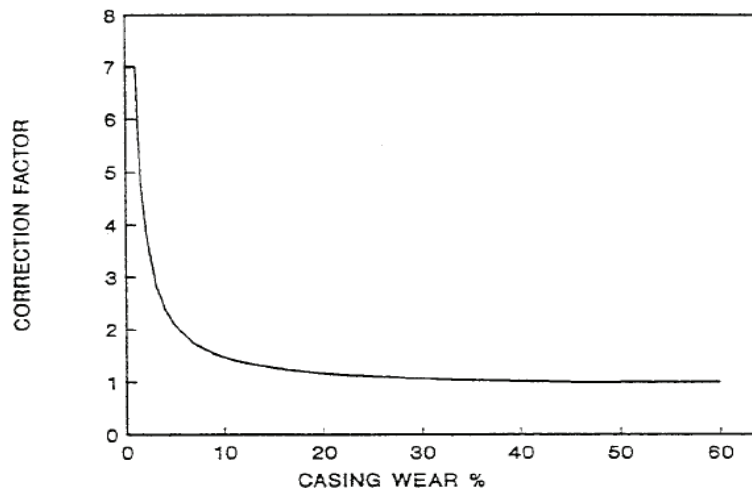
**Figura 3.3:** Resultados experimentales obtenidos por MEI<sup>23</sup>, entre la relación del WF y el porcentaje del desgaste

**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

MEI encontró valores de correcciones para un desgaste del revestidor entre 0%-60%.

Para obtener valores corregidos o ajustados de porcentaje de desgaste en el revestidor, el porcentaje calculado usando la figura 3 debe ser multiplicado por el factor de corrección obtenido de la figura 3.4.

<sup>23</sup> Pruebas realizadas bajo DEA-42 en condiciones estándares con un revestidor N-80, tool joints de acero y fluido base agua con un 7% de arena



**Figura 3.4:** Gráfico de los factores de corrección para el porcentaje de desgaste entre 0 – 60%

**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

#### 3.2.2.2.2 *Modelo de desgaste No Linear de Shell*

La Shell Oil Co. condujo su propio estudio de laboratorio que concluyo en resultados similares al estudio realizado por el MEI ya descrito anteriormente. El proceso de desgaste volumétrico es no lineal a la carga de contacto, y un modelo de desgaste no lineal es necesario para representar el comportamiento del desgaste.

Shell encontró que tres factores de no linealidad necesitan ser modelados, la gran mayoría de la información indica que el área del volumen desgastado depende de la presión de contacto entre el tool joint y el revestidor. Por ello el volumen desgastado adicional del revestidor dependerá de la fuerza de contacto por volumen de desgaste actual y esta fuerza de contacto no será exhibirá un comportamiento lineal.

El modelo de Shell demuestra que existen dos mecanismos de desgaste: un desgaste inicial de ruptura seguido de un proceso estacionario de desgaste. El desgaste inicial de ruptura ocurre

rápidamente, con una rata, mucho mayor a la normal. Sin embargo, se determinó que el desgaste de ruptura debe ser incluido en el modelo debido a que su magnitud no es legible. Para ello el modelo de Shell usa tres constantes ( $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ ) para el factor de desgaste, con esto buscan compensar el comportamiento no lineal en la tasa de desgaste.

$C_1$  establece un volumen inicial de desgaste,  $V_o$ . El volumen desgastado removido toma lugar en incrementos,  $\Delta V_i$ . Después de “n” de estos incrementos han ocurrido, un volumen  $V_n$ , ha sido desgastado del revestidor,

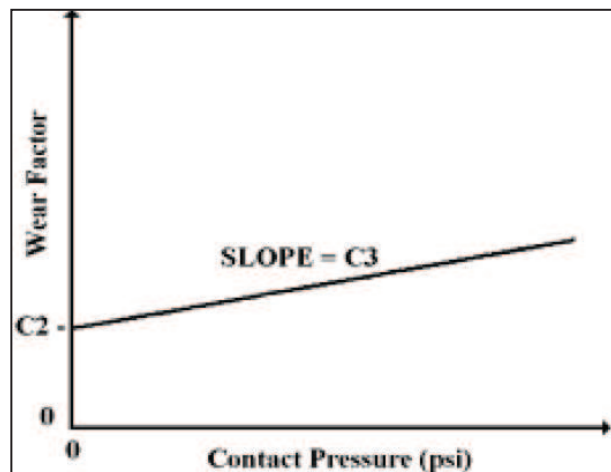
$$V_n = V_o + \sum_{i=1}^n \Delta V_i \quad (3.13)$$

$V_o$  es determinado por la extrapolación lineal de las medidas del laboratorio de incremento de volumen desgastado versus la distancia deslizada o el tiempo tomado para deslizar dicha distancia ó en el tiempo igual a cero.

$$V_o = F_{DP} C_1 \quad (3.14)$$

El factor de desgaste  $C_1$ , es la constante de desgaste para un volumen desgastado instantáneamente por pie a lo largo del revestidor ( $\text{pulg}^3/\text{lb-ft}$ ). El incremento de desgaste volumétrico  $\Delta V_i$ , es proporcional al factor de desgaste  $WF$  (función de  $p_i$ , presión de contacto del área desgastada -  $\text{psi}$ ), la cuál es determinada por las constantes  $C_2$  y  $C_3$  y la presión de contacto durante el enésimo incremento de  $p_i$ . La figura 3.5 muestra el modelo no lineal deducido por la Shell Oil Co.

$$WF(p_i) = C_2 \left[ \frac{1}{\text{psi}} \right] + C_3 \left[ \frac{1}{\text{psi}^2} \right] p_i [\text{psi}] \quad (3.15)$$



**Figura 3.5:** Modelo no lineal deducido por Shell Oil Co. para el cálculo del desgaste del revestidor por la rotación de los tool joints

**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

La tabla 3.2 nos indica las constantes  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  que fueron utilizadas durante la implementación del modelo no lineal de Shell.

	Conditions	$C_1$ (in. <sup>3</sup> /lb)	$C_2$ (10 <sup>-10</sup> /psi)	$C_3$ (10 <sup>-10</sup> /psi <sup>2</sup> )
1	Light WB Mud, P110 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.205E-3	6.6	0.00533
2	Light WB Mud, K55 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.310E-3	7.6	0.0
3	Light WB Mud, N80 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.95E-4	5.7	0.00959
4	Barite Mud 4%, N80 Csg, Low Sand 0.5%, Plain Steel TJ	0.153E-4	0.0	0.00210
5	Barite Mud 3%, N80 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.286E-4	0.4	0.0
6	Light WB Mud, N80 Csg, Sand 7%, Smooth-X TJ	0.167E-3	6.2	0.0
7	Barite Mud 18%, P110 Csg, Sand 1%, Smooth-X TJ	0.540E-4	0.0	0.050
8	Barite Mud 18%, P110 Csg, Sand 1%, Plain Steel TJ	0.0	1.3	0.0
9	Light WB Mud, N80 Csg, Sand 7%, Armacor TJ	0.590E-4	0.7	0.0
10	OB Mud, N80 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.250E-3	2.5	0.0
11	OB Mud, P110 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.187E-3	0.9	0.0
12	OB Mud, K55 Csg, Sand 7%, Plain Steel TJ	0.367E-3	0.7	0.0

**Tabla 3.2:** Valores de las constantes utilizadas en el modelo no lineal de Shell Oil Co. para varias condiciones

**Fuente:** Cwear 6 User manual, Maurer Engineering Inc

### 3.2.3 MANEJO DE CWEAR

Para poder ejecutar el programa de una mejor manera se describirá su uso detallado describiendo la información de entrada necesaria así como la de salida.

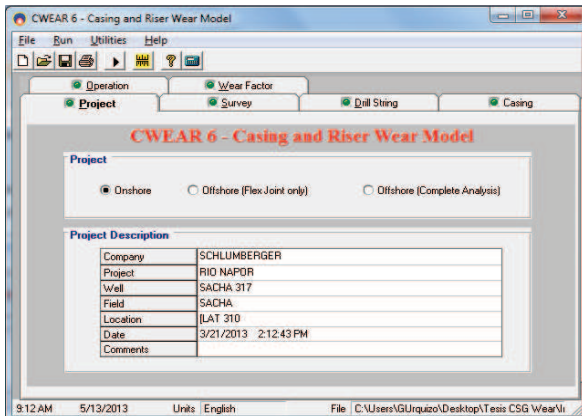
#### 3.2.3.1 *Información de entrada*

La información requerida para realizar el modelamiento en CWEAR incluye la geometría del hoyo, la descripción operacional y el ambiente de desgaste. El software nos permite incluir el nombre de la compañía, nombre del proyecto, localización del pozo y demás información adicional, figura 3.6 a.

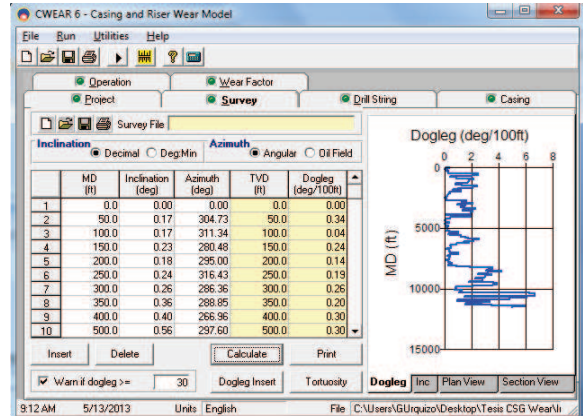
La información al menos mínima o necesaria para que el software pueda realizar los cálculos sobre el desgaste del revestidor son:

- Medidas del hoyo, profundidad medida y real de cada estación, inclinación y azimut, figura 3.6 b
- Información de la tubería de perforación, peso – longitud, piesaje, diámetro externo y diámetro interno, figura 3.6 c.
- Características del “tool joint”, diámetro externo, longitud de contacto, carga lateral máxima, figura 3.6 c.
- Características, longitudes y protectores de la tubería de revestimiento, límite de desgaste, máxima carga lateral por cada protector, figura 3.6 d.
- Velocidad de la tubería de perforación, longitud medida, rata de penetración, y revoluciones por minuto, figura 3.6 e.

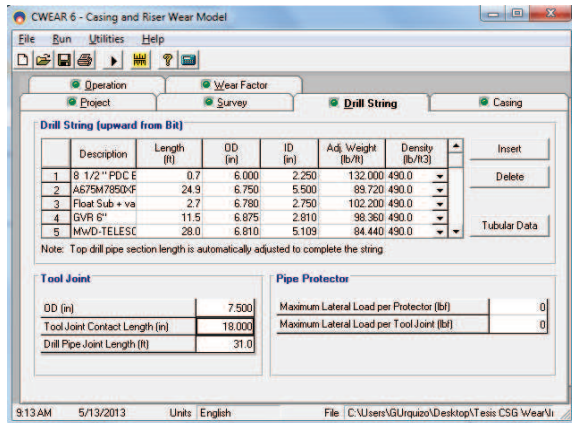




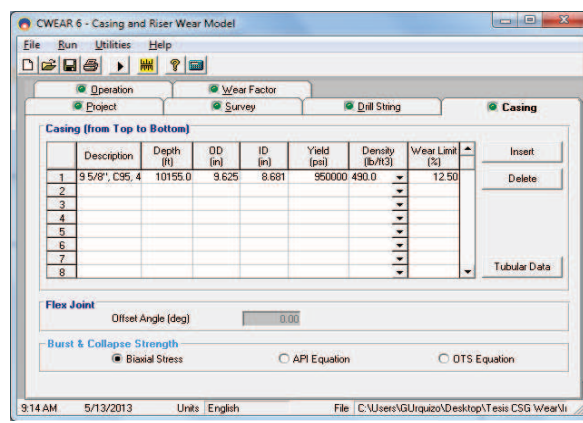
a) Información del Proyecto.



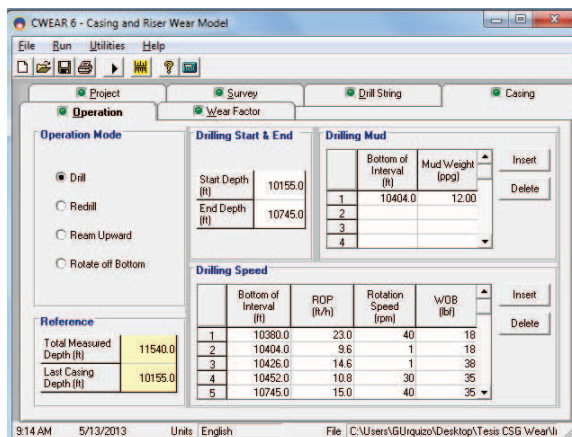
b) Información de la Trayectoria.



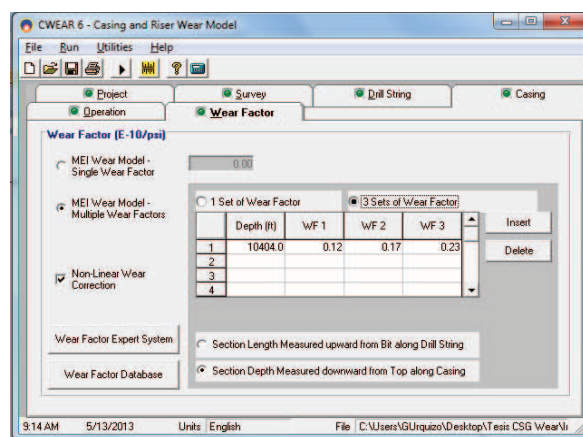
c) Información del Ensamblaje de Perforación, junta de unión.



d) Información de la Tubería de Revestimiento.



e) Información de la Operación de Perforación.



f) Información del Factor de Desgaste.

Figura 3.6: Información de entrada en CWear 6.1  
Fuente: Cwear 6.1 – Maurer Engineering Inc

- Rotación fuera de fondo, tiempo operacional, velocidad de rotación, posición en MD de la broca, reciprocación de la tubería, figura 3.6 e.
- Parámetros de perforación y de rotación con circulación, profundidad inicial en MD, peso sobre la broca, profundidad final de reaming y arrastre del BHA, figura 3.6 e.
- Parámetros del fluido de perforación, densidad del lodo y la profundidad final del intervalo, figura 3.6 e.
- Factor de desgaste, incluyendo valores y la cantidad de factores que se desea incluir con la respectiva profundidad para cada uno de ellos figura 3.6 f.

#### *3.2.3.1.1 Información del Hoyo*

En esta ventana es necesario ingresar la información sobre la geometría del hoyo, para poder describir la inclinación del hoyo y su posicionamiento (azimut), el programa posee la opción de poder calcular la profundidad real TVD correspondiente a cada MD, así como el dogleg.

#### *3.2.3.1.2 Información de la Tortuosidad*

Cuando se realiza la planeación del hoyo, las medidas son generadas solamente en base de consideraciones geométricas como el punto inicial de desvío “kick off point”, tasa de construcción, forma de la trayectoria requerida, etc., y por ende se generan curvas suaves o trayectorias sin irregularidades. Los pozos reales contienen doglegs y otras irregularidades que incrementan el arrastre y el desgaste. Cuando esta información es ingresada a CWEAR, el modelo predice valores de desgaste menores a los reales, para ajustar nuestro modelo a la realidad se pone en consideración un factor adicional



denominado como tortuosidad, este factor describe la irregularidad del camino seguido por la sarta de perforación es decir el máximo valor en grados de la variación de una curva sinusoidal. Este valor según aproximaciones generadas por EXXON<sup>24</sup> varían en el valor de 0.7\* a 1\*.

#### *3.2.3.1.3 Información de la Tubería de Perforación*

La configuración de la tubería de perforación es requerida como siguiente paso por el software para poder adquirir información sobre las características del Drill Pipe o el Heavy Wate Drill Pipe que se encuentra inmediatamente sobre la broca

Además la información sobre los parámetros del tool joint es necesaria para que el software considere el desgaste causado por la protección dura que estos poseen – el hard facing banding.

#### *3.2.3.1.4 Información de la Tubería de Revestimiento*

En esta opción debe de especificarse la geometría del revestidor empezando desde la superficie y en orden hasta el fondo. La columna correspondiente al peso “Weight (ft/lb) es tan solo de referencia puesto que los cálculos serán basados en la información de la columna de densidad.

#### *3.2.3.1.5 Información Operacional*

Se debe seleccionar el modo apropiado de operación de las cuatro opciones provistas, la información de los parámetros requeridos cambiará dependiendo de la opción seleccionada.

---

<sup>24</sup> Exxon Mobile Oil Company

- Drill, en este caso el desgaste inicial del revestidor será 0. El desgaste se acumulará mientras que el intervalo específico es perforado.
- Redrill, este caso incluye un previo desgaste del revestidor debido a operaciones anteriores de perforación o side tracks.
- Ream Upward, para esta selección el desgaste inicia; es el desgaste acumulado durante operaciones anteriores o de perforación. Prácticamente “reaming upward” es re perforar la sección con un peso negativo sobre la broca.
- Rotate off bottom, esta selección hace referencia a la reciprocación de la sarta de perforación sobre una corrida de longitud específica sin peso en la broca.

Para cada una de las selecciones disponibles las profundidades específicas de inicio y fin son necesarias, los pesos de los lodos deben ser enlistados con las correspondientes profundidades de la broca. La tabla de velocidad específica en rpm, y el fondo de cada sección en la cual la velocidad de rotación es aplicada.

#### *3.2.3.1.6 Información del Desgaste Histórico*

Esta opción es brindada por el software para poder cargar datos anteriores de desgaste y que sirvan de base en operaciones de “Redrill” y “Drilling”

#### *3.2.3.1.7 Información del Factor de Desgaste*

La información requerida en este campo corresponde a factores que afectan en el análisis del desgaste, el programa permite ingresar hasta una cantidad de tres factores diferentes para cada sección del pozo,

que pueden ser definidos como un valor mínimo, el valor esperado y un máximo valor, de esta manera se puede visualizar de manera gráfica el valor del desgaste para los tres valores asignados.

Este factor de desgaste puede ser seleccionado de una de las cuatro opciones disponibles:

- Asignar un solo factor de desgaste único para el pozo entero.
- Asignar un solo factor de desgaste que varía a lo largo del pozo. Para ello se debe definir la longitud de cada sección para cada factor de desgaste. El punto de referencia para definir estas secciones puede ser empezando desde la broca o desde la superficie.
- Asignar tres factores de desgaste para el pozo entero. En esta opción se podrá signar un juego de tres factores diferente de desgaste para el pozo entero.
- Asignar tres factores de desgaste que varían a lo largo del pozo. Para que el programa ejecute esta opción es necesario establecer la longitud de cada sección para cada juego de factores de desgaste.

El programa como opción adicional permite seleccionar otros modelos de predicción en el desgaste de la tubería de revestimiento.

- Modelo de desgaste de Shell: Shell Oil Company desarrollo un modelo de desgaste específico para calcular el comportamiento no lineal del desgaste del revestidor con la profundidad del desgaste. Este modelo está basado en tres constantes, C1, C2 y C3, que deben ser ingresadas en la tabla del factor de desgaste.
- Sistema experto del factor de desgaste: Como una ayuda para la selección en los factores de desgaste se incorpora un sistema que

posee una gran muestra de resultados de pruebas en laboratorio, en el cual se puede obtener factores de desgaste considerando el material del tool joint, el fluido de perforación, aditivos, lubricantes y otros parámetros pertinentes.

- Base de datos sobre el factor de desgaste: Esta opción provee resultados extensos sobre y más profundos sobre resultados de ensayos en laboratorios y proveen un catálogo extenso sobre las posibles consideraciones del tool joint.

Los modelos de resistencia a la explosión y colapso, pueden ser seleccionados en ésta ventana, el programa provee tres modelos (el biaxial, OTS y API) para calcular la resistencia a la explosión y al colapso del revestidor desgastado.

### ***3.2.3.2 Información de salida***

Los resultados de los cálculos para la información de entrada son mostradas gráficamente, se observa nueve representaciones entre gráficos y tablas como se observa en la figura 3.7.

En la ventana principal de salida de datos se muestra:

- Un gráfico representativo sobre la información sobre el desgaste a lo largo de las secciones de pozo.
- Resistencia al estallido y al colapso, se demuestra en un gráfico X-Y, las resistencias al estallido y colapso en función de la profundidad.
- Total del volumen/peso desgastado, se demuestra en un gráfico X-Y el peso/volumen versus la profundidad de perforación. Esta información es útil para correlacionar el acero que es recuperado de los magnetos.

- Fuerza normal, que se representa a lo largo de las secciones del revestidor, las áreas con fuerzas normales altas se asocian con doglegs.

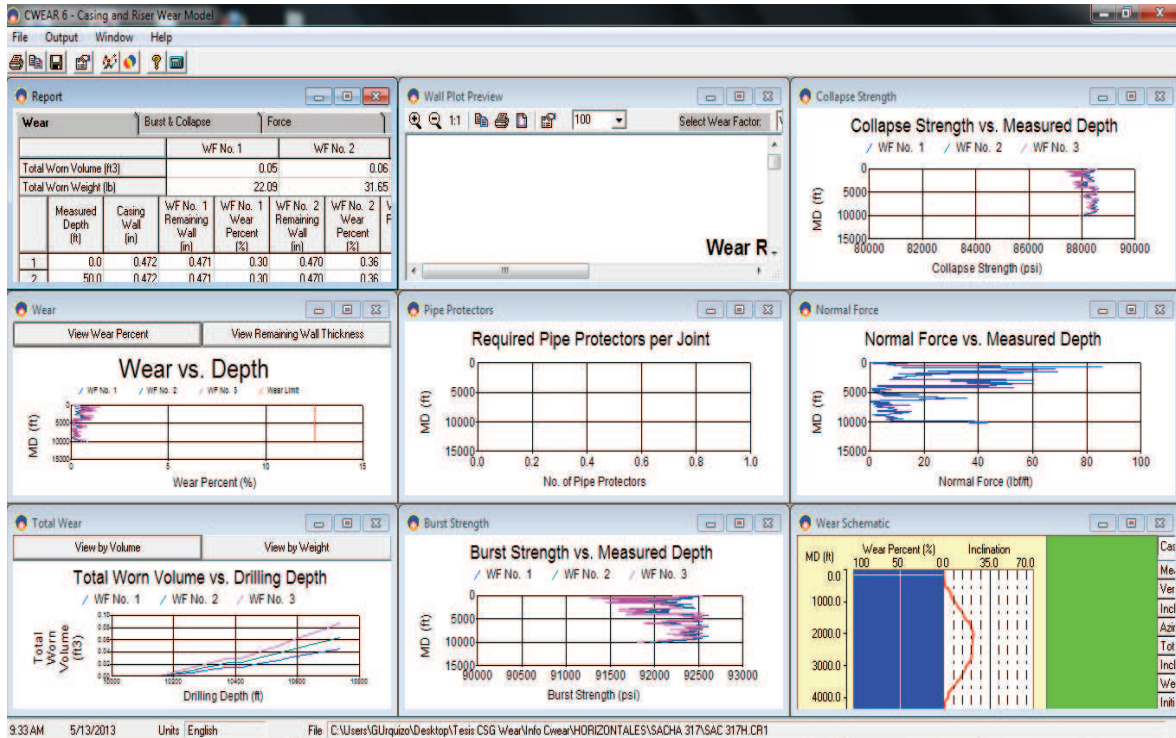
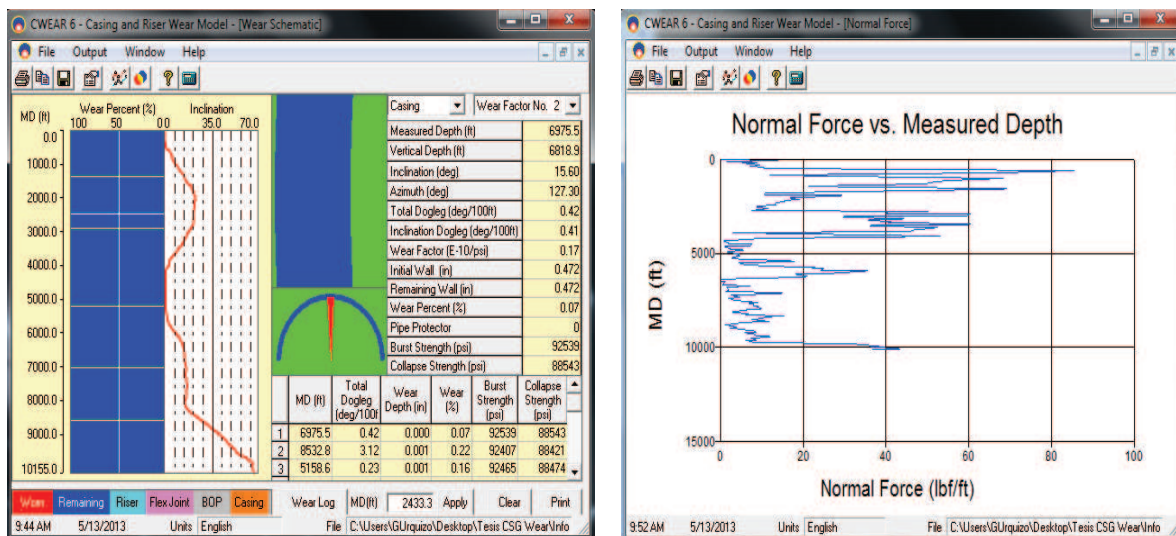


Figura 3.7: Ventanas con información de salida del Software CWear 6.1

Fuente: Cwear 6.1 User manual, Maurer Engineering Inc

Figura 3.8: Información de Salida del Software Cwear



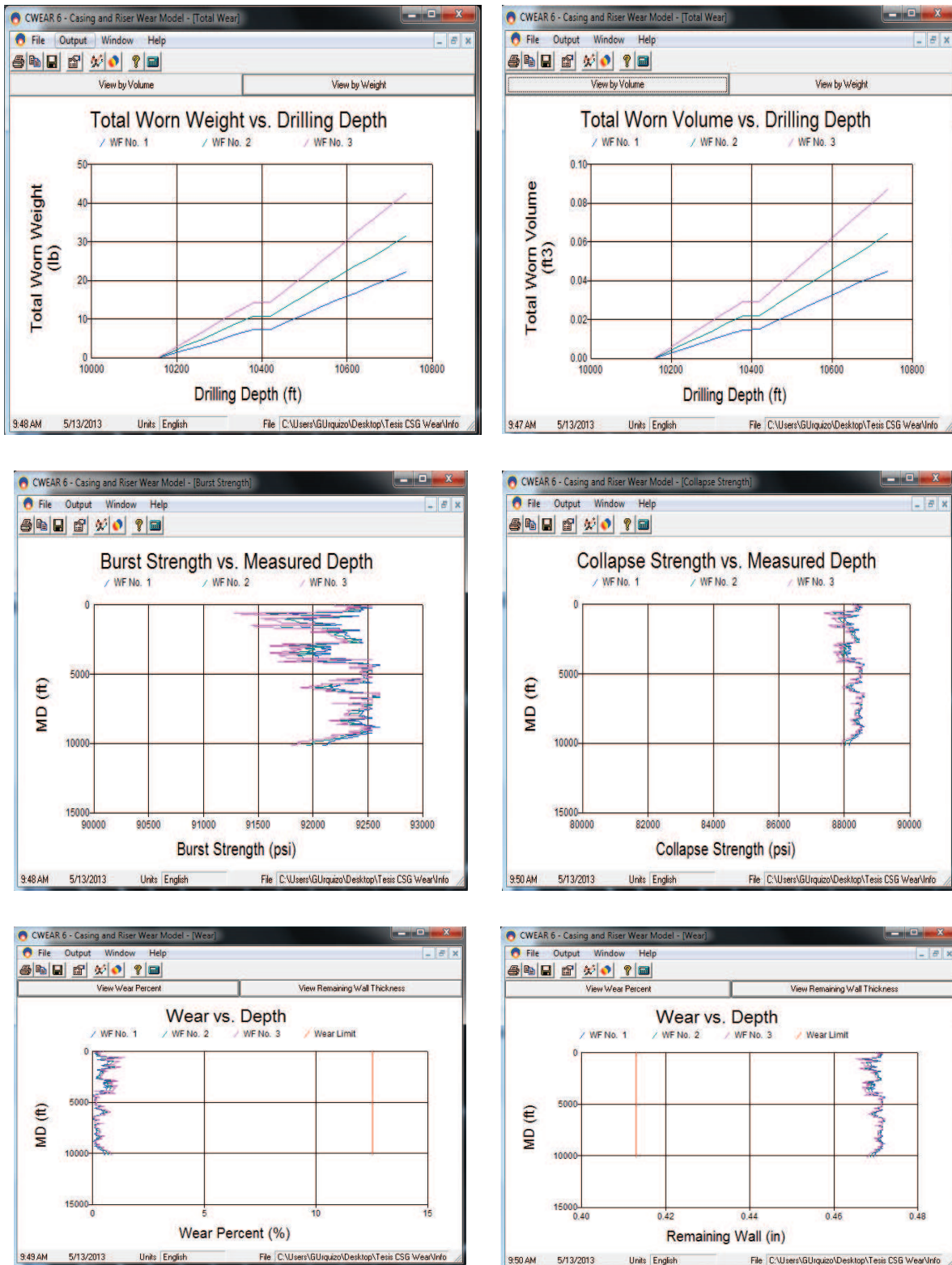
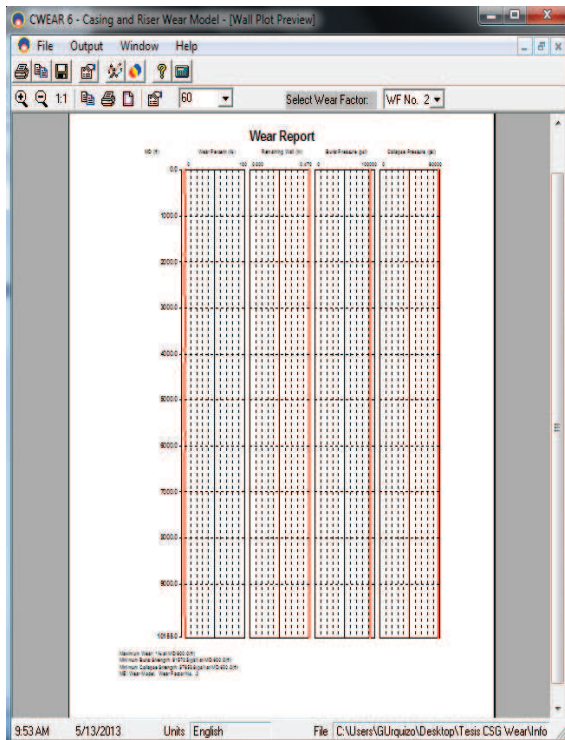


Figura 3.8 Continuación: Información de Salida del Software Cwear





Measured Depth (ft)	Casing Wall (in)	WF No. 1		WF No. 2		WF No. 3	
		Wear Remaining Wall (in)	Wear Percent (%)	Wear Remaining Wall (in)	Wear Percent (%)	Wear Remaining Wall (in)	Wear Percent (%)
1	0.0	0.472	0.471	0.30	0.470	0.36	0.470
2	50.0	0.472	0.471	0.30	0.470	0.36	0.470
3	100.0	0.472	0.472	0.07	0.472	0.07	0.472
4	150.0	0.472	0.471	0.18	0.471	0.29	0.470
5	200.0	0.472	0.472	0.07	0.471	0.16	0.471
6	250.0	0.472	0.471	0.16	0.471	0.19	0.471
7	300.0	0.472	0.471	0.19	0.471	0.30	0.470
8	350.0	0.472	0.471	0.16	0.471	0.19	0.471
9	400.0	0.472	0.471	0.20	0.471	0.31	0.470
10	500.0	0.472	0.471	0.20	0.471	0.31	0.470
11	600.0	0.472	0.468	0.90	0.467	1.13	0.465
12	700.0	0.472	0.468	0.78	0.467	0.97	0.466
13	800.0	0.472	0.471	0.21	0.470	0.33	0.470
14	900.0	0.472	0.470	0.47	0.469	0.53	0.469
15	1000.0	0.472	0.468	0.78	0.467	0.98	0.466

Measured Depth (ft)	WF No. 1 Burst Strength (psi)	WF No. 1 Collapse Strength (psi)	WF No. 2 Burst Strength (psi)	WF No. 2 Collapse Strength (psi)	WF No. 3 Burst Strength (psi)	WF No. 3 Collapse Strength (psi)
1	92332	89352	92280	89304	92200	89230
2	92332	89352	92280	89304	92200	89230
3	92529	89543	92529	89543	92529	89543
4	92441	89453	92341	89360	92308	89330
5	92529	89543	92456	89466	92430	89442
6	92461	89470	92431	89443	92334	89354
7	92436	89448	92334	89354	92297	89320
8	92461	89470	92431	89443	92334	89354
9	92425	89438	92323	89343	92271	89296
10	92427	89439	92324	89345	92274	89298
11	91780	87845	91572	87654	91277	87382
12	91898	87953	91719	87788	91528	87613
13	92414	89428	92310	89331	92241	89268
14	92180	89212	92120	89198	91995	89042
15	91892	87948	91712	87782	91519	87605
16	91985	88033	91827	87888	91658	87733
17	92007	88054	91895	87914	91693	87765
18	92029	88073	91881	87938	91725	87794

Measured Depth (ft)	Total Dogleg (deg/100ft)	Inclination Dogleg (deg/100ft)	Normal Force (lb/ft)	Axial Force (lb)	Pipe Protectors
1	0.0	0.00	0.00	209775	0
2	50.0	0.34	13.72	206700	0
3	100.0	0.04	11.42	207625	0
4	150.0	0.24	8.85	205474	0
5	200.0	0.14	5.23	205474	0
6	250.0	0.20	7.00	204389	0
7	300.0	0.26	9.41	203223	0
8	350.0	0.20	7.01	202249	0
9	400.0	0.30	10.54	201173	0
10	500.0	0.30	10.41	199022	0
11	600.0	2.48	85.52	196873	0
12	700.0	2.03	67.50	194727	0
13	800.0	0.41	11.83	192586	0
14	900.0	0.91	28.07	190445	0
15	1000.0	2.16	68.25	188314	0
16	1100.0	1.81	55.17	186192	0
17	1200.0	1.75	52.06	184083	0
18	1300.0	1.70	49.27	181986	0

**Figura 3.8 Continuación:** Información de Salida del Software Cwear  
**Fuente:** Cwear 6.1 User manual, Maurer Engineering Inc

3.2.3.2.1 *Esquema gráfico del desgaste de revestidor*

La representación gráfica del grosor de la pared remanente del revestidor desgastado en función de la profundidad se observa en la

figura 3.8, además se tiene la representación gráfica de la sección transversal del grosor de la pared del revestidor, el diagrama completo de la representación del desgaste y tabla con el resumen del desgaste.

#### *3.2.3.2.2 Análisis de la sensibilidad*

Esta ventana auxiliar permite visualizar los efectos de cambios en parámetros críticos sobre el revestidor. Permite visualizar la sensibilidad del revestidor al dogleg y al ángulo offset.

#### *3.2.3.2.3 Cotejamiento del factor de desgaste con información de campo*

Esta ventana es usada para calcular factores de desgaste basados en medidas directas realizadas en el campo. Para esta ventana se puede introducir la profundidad de interés en el cual se tiene información de desgaste obtenida en el campo y su factor de desgaste real. Con estos datos el programa puede calcular el factor de desgaste efectivo. Si la profundidad de desgaste es igual al grosor de la pared del revestidor, entonces el factor de desgaste calculado es el mínimo valor requerido para desgastar el todo el revestidor durante el tiempo de operación. Consecuentemente, el factor de desgaste actual del campo será mayor que el valor de desgaste predicho.

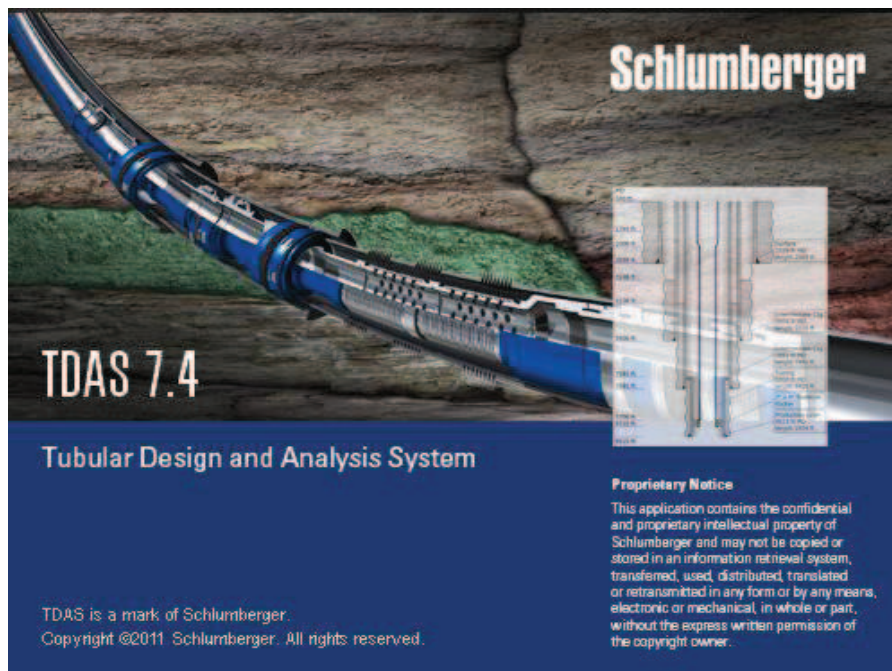
#### *3.2.3.2.4 Comparación entre la información del campo y la del programa*

En esta opción se puede comparar la información de los resultados obtenido por CWear y resultados de registros reales de desgaste corridos en campo. En esta opción se puede ingresar la información de la profundidad del desgaste provista por el registro y la profundidad MD a la que el desgaste se realizó.



### 3.2.4 DISEÑO DEL REVESTIDOR – SOFTWARE TDAS

El análisis y diseño del sistema tubular o revestidor es de crucial importancia para la vida operativa de un pozo, con el correcto diseño del revestidor podemos obtener el mejor performance para operaciones complementarias dentro del pozo. El desgaste y la variación sobre las propiedades mecánicas del revestidor influyen directamente en su vida funcional. Por ende el diseño de la tubería de revestidor es parte primordial dentro del programa de perforación de cualquier pozo, dicho diseño y análisis se puede realizar gracias al uso del software TDAS (Figura 3.9) y que a su vez incluye la opción de ingresar el porcentaje esperado de desgaste antes calculado en CWEAR, es por este motivo que para comprobar si el revestidor se encuentra en riesgo de sufrir algún tipo de variación de propiedades mecánicas y por ende puede ser susceptible a estallar o colapsar es necesario ingresar la data en TDAS y predecir su comportamiento.



**Figura 3.9:** Software TDAS, diseño de tubulares y análisis de sistemas  
**Fuente:** TDAS 7.4, Tubular Design and Analysis Systems - Schlumberger

### 3.2.4.1 Introducción al diseño del revestidor

Cuando se diseña la tubería de revestimiento, la práctica convencional es la lograr adecuar factores de diseño para el estallido, colapso y tensión. Las cargas son generadas del peso que cuelga de la tubería, las presiones en la superficie interna y externa, y las densidades de los fluidos. El modelo que el software TDAS utiliza se basa en una condición original (condición de instalación) que es especificada y subsecuentemente eventos (casos de cargas) son sobrepuestos. Factores de diseño, estrés, y fuerzas son determinadas para una condición de instalación y cada caso de carga. El factor de diseño está basado en calificación del material más aún que en sus propiedades, se define como:

$$DF = \frac{\text{Capacidad de la tubería}}{\text{Carga máxima anticipada}} \quad (3.16)$$

Cuando se realiza el cálculo de un factor de diseño y este es ligeramente menor que la carga máxima anticipada de servicio, la tubería no debería fallar, esto se debe a que la propiedad de rendimiento real de la tubería es típicamente mayor que su calificación y las cargas reales que se anticipan a menudo son menos severas que las máximas cargas anticipadas. Sin embargo, una falla puede ser esperada si la capacidad esperada de carga es significativamente excedida. El software de diseño TDAS emplea 5 factores de diseño para evaluar la idoneidad de la tubería de revestimiento, estos incluyen:

$$DF_{MIYP} = \frac{\text{Presión interna de falla mínima}}{\text{Presión diferencial interna}} \quad (3.17)$$

$$DF_C = \frac{\text{Resistencia al colapso de la tubería}}{\text{Presión equivalente de colapso}} \quad (3.18)$$

$$DF_t = \frac{\text{Resistencia de la junta}}{\text{Carga tensional estática máxima}}^{25} \quad (3.19)$$

$$DF_{comp} = \frac{\text{Resistencia de la junta a la compresión}}{\text{Carga compresiva estática máxima}} \quad (3.20)$$

$$DF_{VME} = \frac{\text{Mínima resistencia de la falla, API}^{26}}{\text{Intensidad del estrés, VME}} \quad (3.21)$$

El término de “factor de diseño” y “factor de seguridad” son a menudo intercambiados, el factor de seguridad se define como:

$$SF = \frac{\text{Carga de falla}}{\text{Carga real aplicada}} \quad (3.22)$$

Cuando la carga real aplicada es igual a la carga de falla, una falla es inminente, por lo tanto una falla ocurrirá si un factor de seguridad es menor que 1.0

Tipo	Factores de diseño mínimos recomendados
Explosión	1.1
Colapso	1.0
Tensión	1.6
Compresión	1.2
VME	1.25

**Tabla 3.3:** Factores de diseño mínimo recomendados

**Fuente:** IPM - Schlumberger

#### 3.2.4.2 Carga Triaxial

La capacidad del diseño de la tubería de revestimiento, especialmente en la zona de mayor debilidad, es difícil de obtener por solo la determinación del factor de diseño. Por ello un método gráfico ha sido desarrollado para

<sup>25</sup> La resistencia de la junta se refiere a la máxima carga tensional que puede ser soportada por la conexión y por el cuerpo de la tubería.

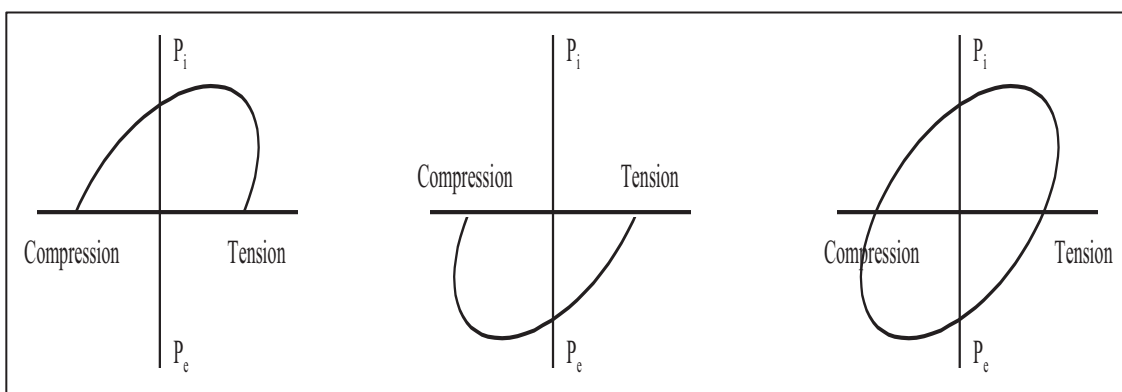
<sup>26</sup> El servicio normal es definido cuando la presión parcial de H<sub>2</sub>S es menor a 0.05 psia.

representar la capacidad triaxial del cuerpo de la tubería de revestimiento, este método se ha desarrollado a partir de la capacidad de carga definida por API, y de la carga anticipada representados en un gráfico bi dimensional.

Debido a que el estrés triaxial es definido por tres variables independientes (estrés axial, presión interna y presión externa) un proceso de normalización es necesario para crear una representación en dos dimensiones de información encontrada en las tres dimensiones. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma_{VME} = \sigma_a^2 + (c_1 p_i + c_2 p_e) \sigma_a + c_3 p_i^2 + c_4 p_e^2 + c_5 p_i p_e \quad (3.23)$$

Donde,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  y  $c_5$  son constantes basadas en la proporción entre el diámetro externo y el grosor del cuerpo de la tubería.



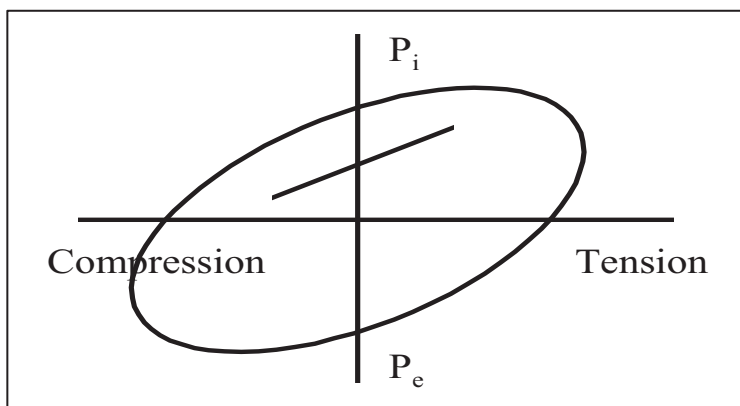
**Figura 3.10:** Gráfica del estrés triaxial sobre una tubería

**Fuente:** TDAS 7.4, Manual - Schlumberger

La mitad superior de la elipse es creada al establecer  $\sigma_{VME}$  igual a la fuerza de falla del material,  $p_e$  (presión de colapso) a cero, seleccionar una presión interna, y resolver la ecuación cuadrática resultante para  $\sigma_a$ . El estrés axial es entonces graficado como una fuerza (debido a que el área del cuerpo de la tubería es conocida) junto con la correspondiente presión interna.

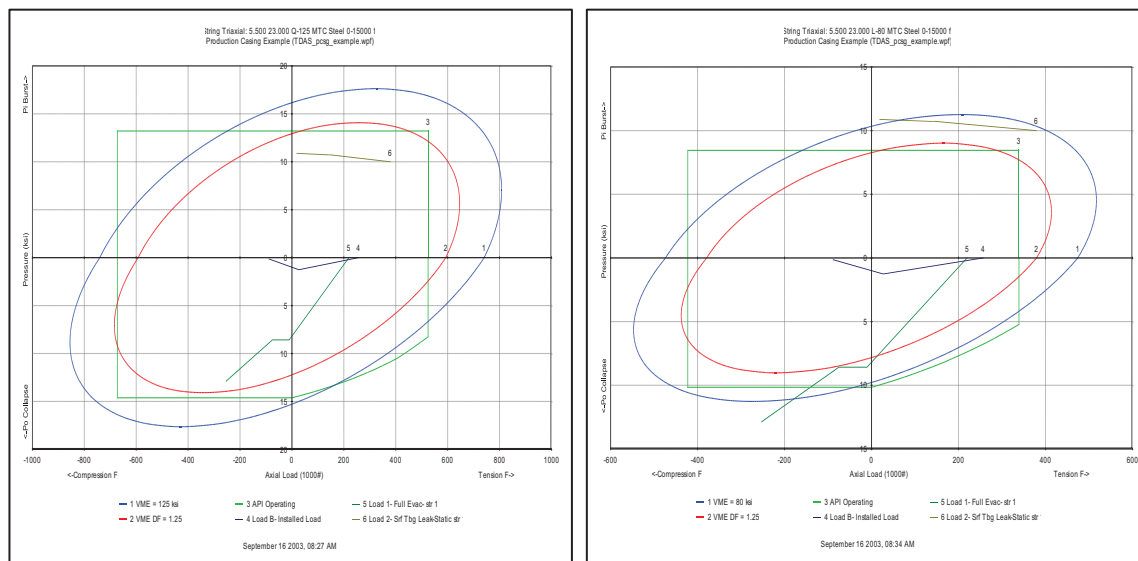
La parte inferior de la elipse es creada de manera similar a la superior, el estrés VME se iguala a la fuerza de falla del material, la  $p_i$  (presión de estallido) es igualada a cero y una presión externa es seleccionada, y la ecuación cuadrática resultante es resuelta para  $\sigma_a$ . Si la presión y/o cargas axiales ocurren fuera de la elipse triaxial, la cara interior de la tubería sufrirá una deformación plástica.

Al definir valores específicos para la carga axial, la presión interna y la presión externa como funciones de la profundidad se logra obtener una línea en el gráfico del efecto de las cargas. Esta línea de carga representa la presión (interna o externa) equivalente que resulta en el mismo estrés triaxial para una carga axial dada.



**Figura 3.11:** Línea de carga axial equivalente en función de la profundidad  
**Fuente:** TDAS 7.4, Manual - Schlumberger

Al usar el software de diseño de revestidor TDAS, se puede obtener un gráfico de representación de la capacidad de carga según API ajustada con los factores de diseño apropiados, consecuentemente una comparación visual directa puede ser realizada entre la carga anticipada, la capacidad de carga según el API y la intensidad del estrés VME sobre los factores de diseño.



a) Diseño seguro.

b) Diseño inseguro – falla.

**Figura 3.12:** Gráfica de las capacidades de carga triaxial**Fuente:** TDAS 7.4, Manual - Schlumberger

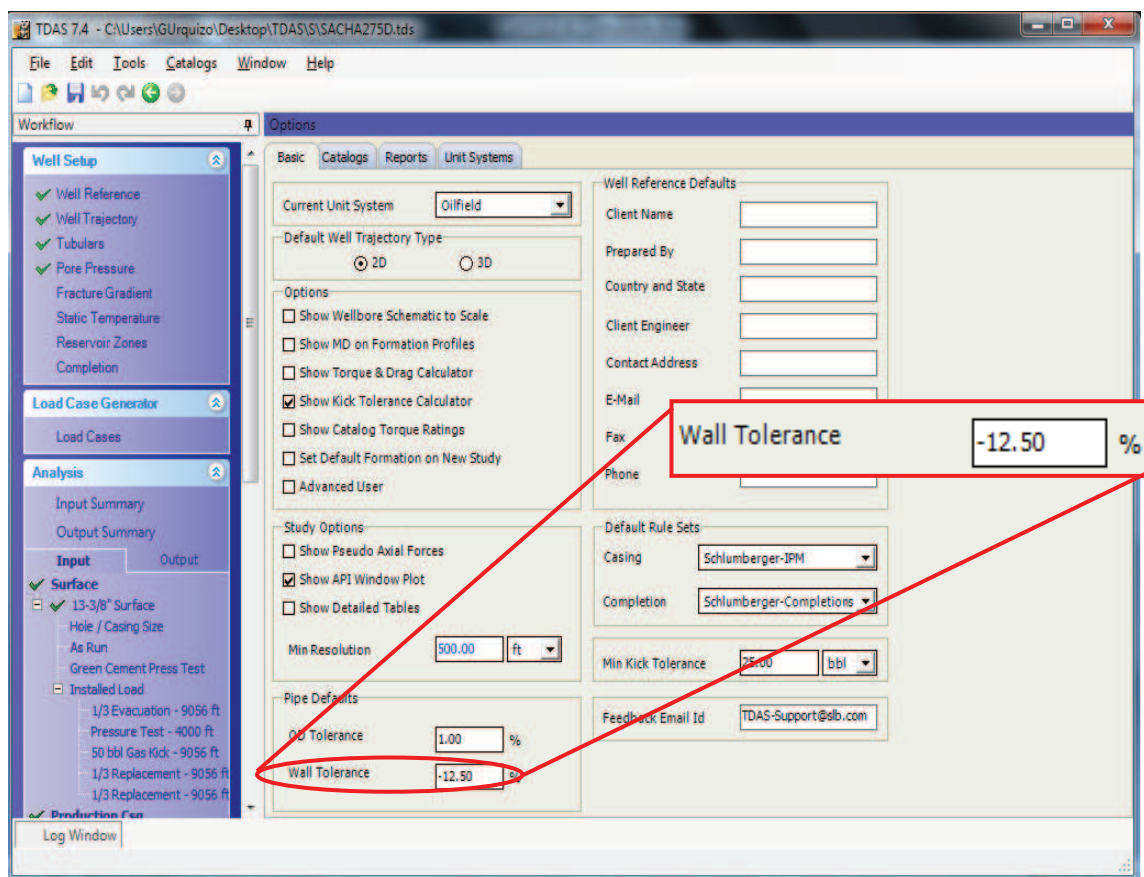
### 3.2.4.3 Tolerancia de la Pared del Revestidor

El programa TDAS 7.4, tiene la opción de ingresar un parámetro de tolerancia de la pared del revestidor, que se encuentra determinado por defecto (predeterminado) en el 12.5% menos de la capacidad nominal de la tubería, como se observa en la figura 3.13.

Este valor nos indica que el revestidor estará sujeto a la disminución de hasta un 12.5% en el grosor nominal por ende la tubería presentará una reducción en la tolerancia nominal de sus propiedades mecánicas de resistencia al extallido y colapso.

Según el estándar de IPM-Schlumberger para diseño de revestidores, este valor será de uso obligatorio como base de estudio en los casos que se presume que existiría algún tipo de desgaste; si mediante el uso de programas de predicción del desgaste sobre la tubería se presume que el revestidor se verá afectado en un valor mayor al pre establecido (-12.5%),

será la diferencia, la que deba ser asumida para cálculos de resistencia al estallido - colapso, VME y cálculos posteriores.



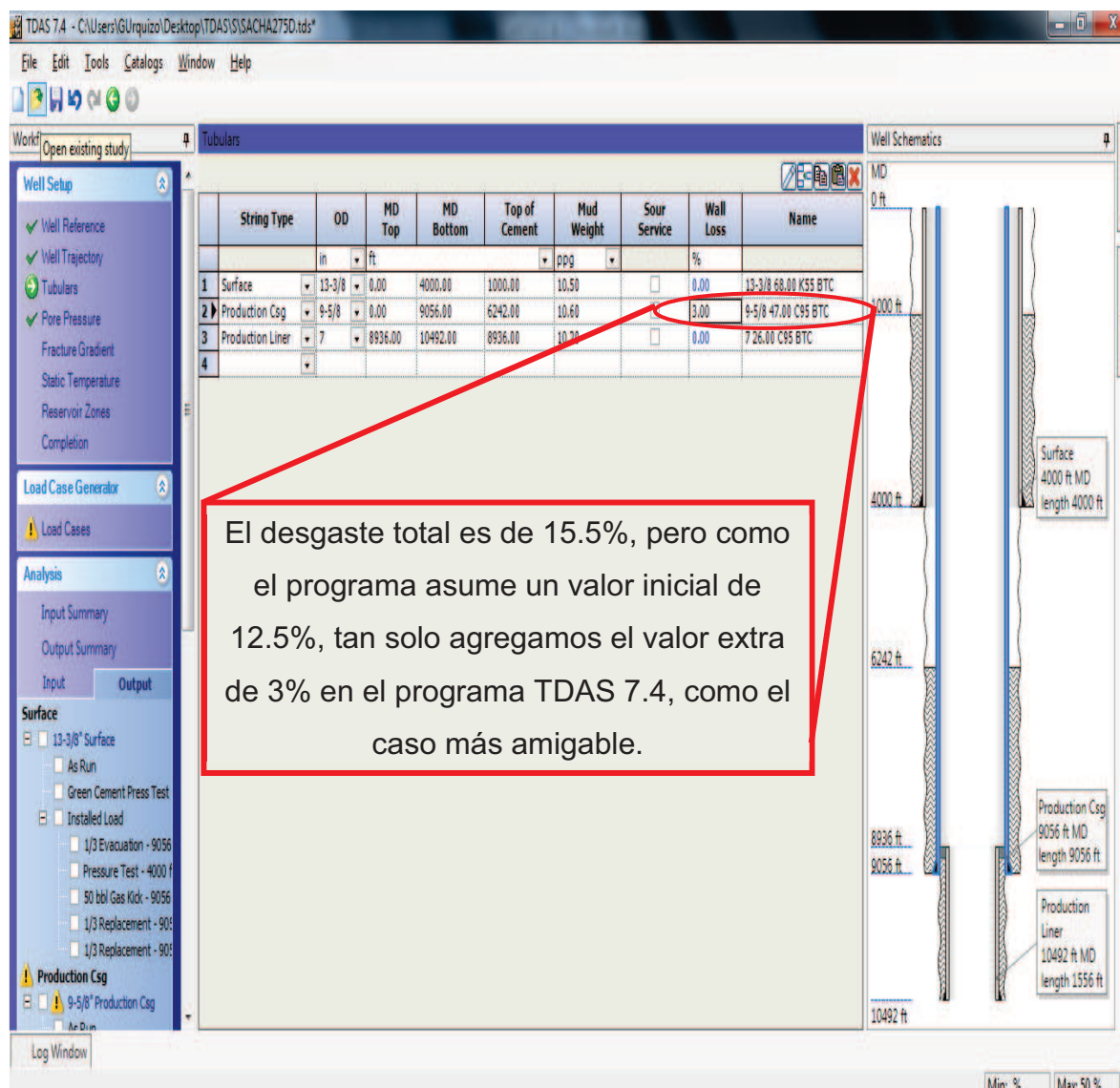
**Figura 3.13:** Tolerancia preestablecida del - 12.5% de la capacidad nominal del revestidor

**Fuente:** TDAS 7.4, Tubular Design and Analysis Systems – Schlumberger

Como se observa en la figura 3.14, para este ejemplo asumimos que el revestidor de 9 5/8" se encuentra sometido a un desgaste del 15.5%, y por ende se ingresará un valor de 3% para la pérdida del grosor de la pared de la tubería como el caso más amigable, debe colocarse el valor de 15.5% considerando que el caso es el de mayor desgaste en el revestidor.

El valor de 12.5% se puede considerar con un rango máximo de desviación del grosor nominal de una tubería de revestimiento debido a procesos sufridos durante la manufactura del mismo





**Figura 3.14:** Valor del desgaste ingresado en TDAS 7.4, para cálculos y análisis de la tubería de revestimiento

**Fuente:** TDAS 7.4, Tubular Design and Analysis Systems - Schlumberger

### 3.3 MÉTODOS PRÁCTICOS

Después de haber analizado y modelado el desgaste con CWEAR previsto con parámetros operacionales planeados y haberlo cotejado con TDAS, la información del desgaste es solo aplicable si se comprueba el desgaste del revestidor, para ello es necesario aplicar métodos prácticos de medición del desgaste del revestidor. Dos métodos principales son aplicados, la evaluación mediante el uso



de un registro eléctrico de imagen ultrasónica –USIT- y la recolección de limallas en superficie.

### 3.3.1 RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DURANTE LA ETAPA DE PERFORACIÓN

La recolección de limallas nos permite obtener una medida de alerta inmediata sobre el desgaste del revestidor, debido a que las limallas son acarreadas por el fluido de perforación hasta superficie. Las limallas sin duda proveen información física sobre el peso/volumen desgastado durante la rotación del tool joint en contra del revestidor. La detección oportuna del peso anormal de retorno de limallas podrá dar indicativos de qué tipo de desgaste está siendo sujeto el revestidor y a su vez podrá establecer medidas preventivas oportunas para este efecto.



**Figura 3.15:** Magneto usado antes y después de la recolección de limallas  
**Fuente:** IPM - Schlumberger

En la figura 3.15, se puede observar la posición de los magnetos en el bolsillo del flow line.

#### 3.3.1.1 Procedimiento Operacional

El procedimiento operacional para realizar la recolección de limallas se estructura de la siguiente manera:

- Limpiar y asegurarse que el magneto esté libre de cualquier residuo metálico, producto de pozos o secciones anteriores.
- Colocar el magneto en posición horizontal a la salida del flowline<sup>27</sup>. Centrarlo en el orificio de salida del flowline para poder abarcar la mayor área posible. La posición del magneto debe ser la misma cada vez que vuelva a ser colocado en el bolsillo.
- Retirar las limallas del magneto cada 2 horas desde que BHA alcanza el tope del cemento, a fin de poder limpiar todo el metal proveniente del collar y zapato del revestidor cuando éstos son perforados.
- Luego de las primeras 12 horas y una vez que se ha comprobado la reducción significativa en la cantidad de limallas recolectadas, se podrá incrementar el intervalo de tiempo en la recolección de metales a cada 5 horas. (Si el magneto está saturado y existe algún cambio en las condiciones específicas de las operaciones como aumento en el galonaje, se deberá reducir el intervalo de recolección para asegurar que el magneto siempre tenga área libre para poder retener limallas)
- Solicitar al personal de taladro que retire el magneto mientras la circulación es detenida para limpiar el bolsillo, puesto que al limpiarlo se podría desprender limallas del magneto.
- Registrar el peso del metal recolectado, la fecha, hora y profundidad a fin de poder mantener información diaria que muestre la relación entre el peso de limallas recolectadas y el intervalo de tiempo de dichas mediciones; así como el efecto de los reductores de torque.

---

<sup>27</sup> Flowline, línea de flujo de retorno.

ANEXO 1		RÍONAPCO Schlumberger			
FORMATO DE RECOLECCIÓN DE LIMALLAS					
Taladro	CPV -23	Dimensiones del Magneto			
Pozo	SACHA 248D				
Ing. Control Limallas	DIEGO VALENZUELA - GEOSERVICES				
Fecha Inicio Operaciones	25-mar-13				
<b>SECCIÓN</b>		8 1/2"			
BHA#	6	HORA BROCA TOPA CEMENTO		11:00 PM	
FECHA:	13-abr-13	TOPE CEMENTO [pies]		8155	
Fecha	Hora	Profundidad [pies]	Peso[gramos]	Acumulado [gramos]	Observaciones
14/04/2013	1:00 AM	8216	145	145	Perforando
14/04/2013	3:00 AM	8235	323	468	Perforando
14/04/2013	5:00 AM	8345	338	806	Perforando
15/04/2013	7:00 AM	8492	187	993	Perforando
15/04/2013	9:00 AM	8645	203	1196	Perforando
15/04/2013	2:00 PM	8635	525	1721	Perforando
15/04/2013	7:00 PM	9160	123	1844	Perforando
15/04/2013	12:00 AM	9359	159	2003	Perforando
15/04/2013	5:00 AM	9602	102	2105	Perforando
15/04/2013	10:00 AM	9740	135	2240	Perforando
15/04/2013	3:00 PM	9940	118	2358	Perforando
15/04/2013	8:00 PM	10094	240	2598	Perforando
16/04/2013	1:00 AM	10144	193	2791	Circulando
16/04/2013	6:00 AM	10241	105	2896	Perforando
16/04/2013	11:00 AM	10417	43	2939	Circulando
16/04/2013	1:30 PM				Hora inicio viaje a superficie /Zapato CSG previo
CAMBIO BHA/VIAJE CALIBRACIÓN					
BHA#	6	HORA INICIO PERFORACIÓN		2:00 AM	
FECHA:	14/04/2013	PROFUNDIDAD DE FONDO		10417	
Fecha	Hora	Profundidad [pies]	Peso[gramos]	Acumulado [gramos]	Observaciones
16/04/2013	4:00 PM	10417	30	2969	Sacando tubería
16/04/2013	9:00 PM	10417	22	2991	Bajando tubería
17/04/2013	4:00 AM	10417	50	3041	Sacando tubería
17/04/2013	9:00 AM	10417	50	3091	Sacando tubería

**Tabla 3.4:** Formato de Control de la Recolección de Limallas  
**Realizado por:** Gerardo Duque

La tabla 3.4 indica el formato realizado para el control de limallas producto del proceso de desgaste sufrido durante la perforación de la sección de 8 ½", en la tabla se requiere llevar un control detallado de la información requerida por el procedimiento operacional descrito anteriormente.

La figura 3.16 muestra un ejemplo de limalla recolectada después de haber sido secada y pesada.



**Figura 3.16:** Limallas recolectadas por el uso del magneto en la etapa de perforación

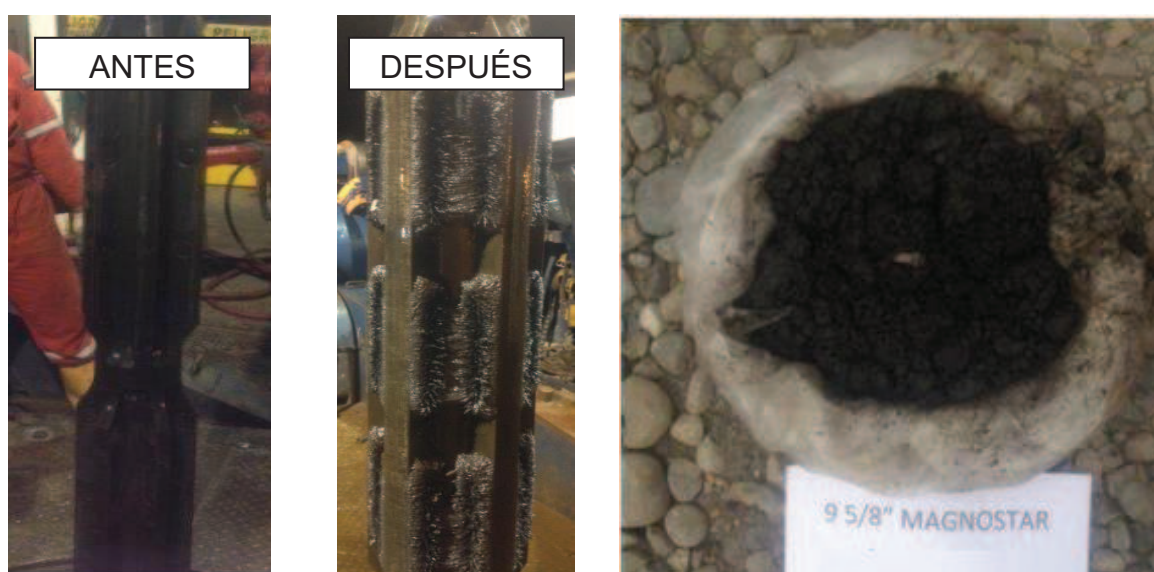
**Fuente:** IPM - Schlumberger

### **3.3.2 RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DESPUÉS DE LA ETAPA DE PERFORACIÓN**

Posterior a la etapa de perforación, un procedimiento de limpieza del revestidor es ejecutado dependiendo de las exigencias de las compañías operadoras para obtener un hoyo entubado de producción en mejores condiciones y que no vayan a afectar las condiciones de operación del tipo de levantamiento que vaya a tener el pozo. Gracias a la corrida de este ensamblaje de fondo especial, se puede recolectar limallas que no pudieron llegar a superficie durante la limpieza del hoyo en la etapa de perforación.

Este ensamblaje especial lleva en su configuración básica una herramienta raspadora del revestidor y un magneto, que en conjunto permiten obtener la mayor cantidad de limallas dejadas en el fondo del hoyo.

Esta información es obtenida por la lectura directa del peso de limallas que salen adheridas en el magneto del BHA de limpieza, como se puede observar en la figura 3.17.



**Figura 3.17:** Magneto del BHA de limpieza, antes y después de la recolección – limalla recolectada

**Fuente:** IPM - Schlumberger

### 3.3.3 REGISTRO DE IMAGEN ULTRASÓNICA – USIT

El registro de imagen ultrasónica utiliza un solo transductor montado en una carcasa rotatoria en el fondo de la herramienta. El transmisor mite pulsos ultrasónicos entre 200 y 700 kHz y mide el retorno de las ondas reflectadas del interior y exterior de las interferencias del revestidor. La tasa de atenuación de las ondas recibidas indica la calidad de la unión del cemento (entre el revestidor y el hueco abierto) y además la frecuencia de resonancia del revestidor, lo que determina el grosor de la pared del revestidor. Debido a que el transductor está

montado en la carcasa rotatoria, la circunferencia entera del revestidor es escaneada. La cobertura de 360 grados permite la evaluación de la calidad de la unión del cemento, así como la determinación de las condiciones externas e internas del revestidor.

La gran resolución angular y vertical puede detectar canalización desde 1.02 pulgadas de longitud.

Para efectos de análisis la información obtenida del registro USIT en modo corrosión sirve para detectar la corrosión y monitorearla, la determinación del daño o deformación interna y externa del revestidor, y para encontrar el grosor de la pared del revestidor y análisis de sus presiones de colapso y explosión.

La tabla 3.5 muestra brevemente las características de la herramienta USIT así como las limitaciones de la misma, y continuo ésta en la figura 3.18 se puede observar el esquema físico que la herramienta posee.

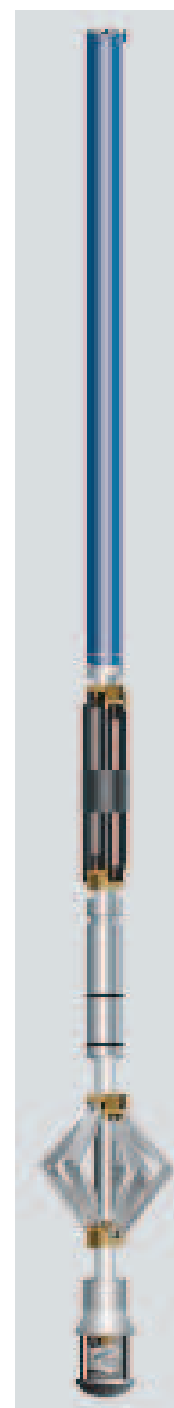
En la figura 3.19 se presenta el registro USIT en modo corrosión para un revestidor que tuvo un evento crítico de desgaste debido a la expansión de un colgador antes del momento de asentamiento a la profundidad planificada, en esta figura podemos apreciar como se muestra un registro de este tipo. Además en la misma figura se presentan nueve columnas, cada una de ellas posee información sobre la condición del revestidor, las columnas 1, 5, 6, 7 y 9 muestran curvas, mientras que las columnas 2, 3, 4 y 8 muestran una representación del revestidor, como si este fuese abierto a la mitad y la cara interna sobre puesta en un plano. La columna número 8 muestra el interior del revestidor desgastado, claramente se puede apreciar en color rojo el desgaste abrasivo causado por la apertura y arrastre del colgador de la siguiente sección antes de la profundidad de asentamiento. Además en la misma carrera se puede evindciar en color anaranjado el desgaste por corte mecánico producido por la rotación de la tubería de perforación durante las actividades de perforación de la siguiente sección.



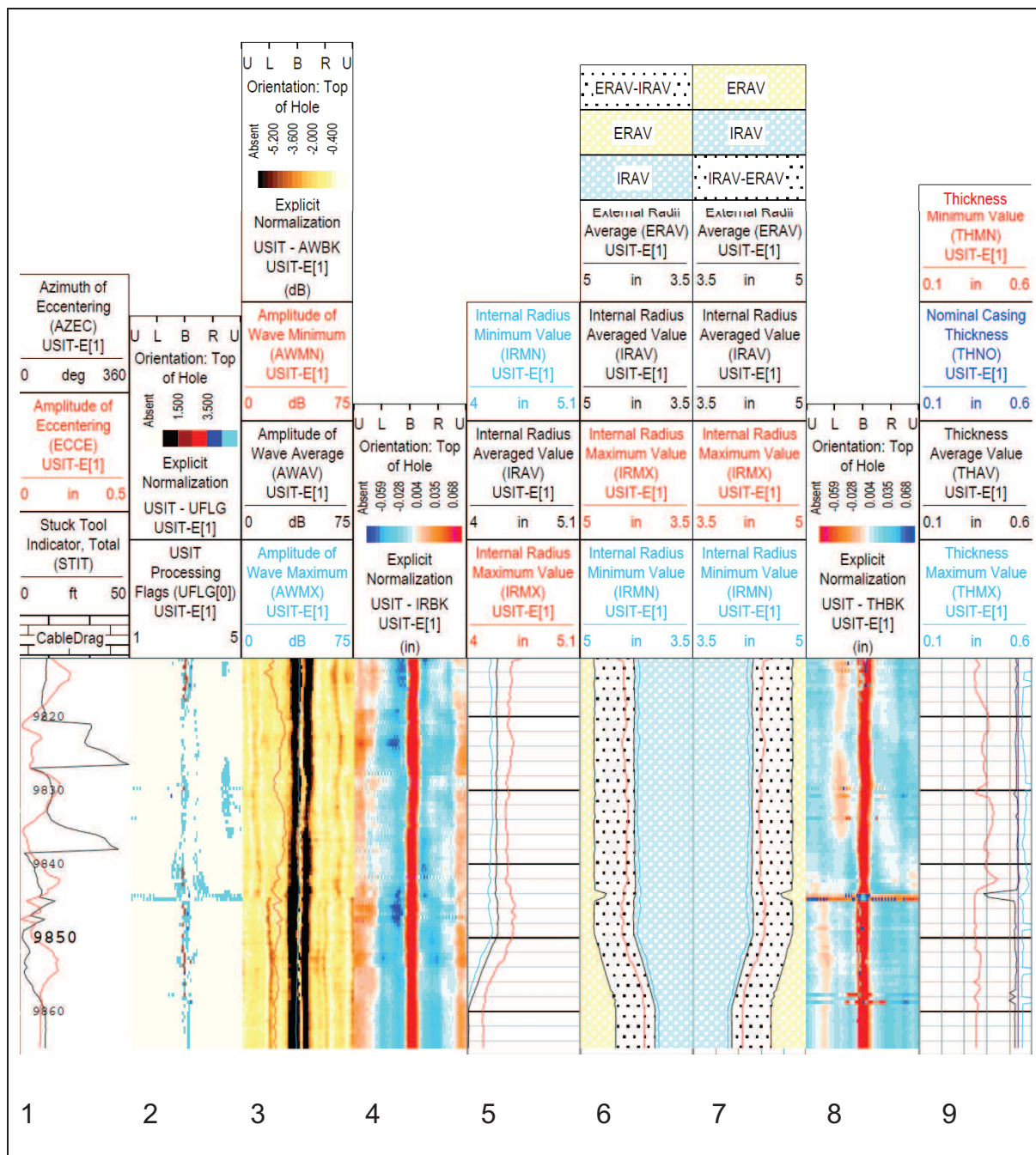
<b>Especificaciones de Medición</b>	
Salida	Impedancia acústica, calidad de unión cemento/revestidor, radio interno, grosor de la pared del revestidor
Velocidad de registro	1800 pies/hora
Rango de medidas	Impedancia acústica: 0 a 10 Mray [0 a 10 Mpa.s/m]
Resolución Vertical	Estándar; 6 pulgadas
Precisión	Menor de 3.3 MRayl:±0.5MRayl
Profundidad de investigación	Interface cemento-revestidor
Limitaciones por peso o tipo de lodo	Lodo base agua: Hasta 15.9 lbm/gal. Lodo base aceite: Hasta 11.2 lbm/gal
Combinabilidad	Herramienta solo de fondo, combinable con la mayoría de herramientas
Aplicaciones Especiales	Identificación y orientación de canalización
<b>Especificaciones Mecánicas</b>	
Rango de Temperatura	350 F
Rango de Presión	20000 psi
Diámetro del Revestidor - min.	4 1/2 pulgadas
Diámetro del Revestidor - máx.	13 3/8 pulgadas
Diámetro Externo	3.375 pulgadas
Longitud	19.75 pulgadas
Peso	333 lbm
Tensión	40000 lbf
Compresión	4000 lbf

**Tabla 3.5:** Especificaciones Técnicas de la herramienta de imagen ultrasónica USIT

**Fuente:** USIT Manual - Schlumberger



**Figura 3.18:** USIT



**Figura 3.19:** Formato de presentación Registro USIT

**Fuente:** Schlumberger - IPM

En la figura 3.19, se puede evindciar como este tipo de registros ultrasónicos brindan información precisa y directa sobre la condición interna del revestidor, de aquí la necesidad de correr los registros ultrasónicos para poder generar un ajuste a nuestro modelo teórico.



## **CAPÍTULO IV**

# **CUANTIFICACIÓN DEL DESGASTE Y SU AFECTACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL REVESTIDOR DE 9 5/8” DURANTE LAS OPERACIONES DE PERFORACIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

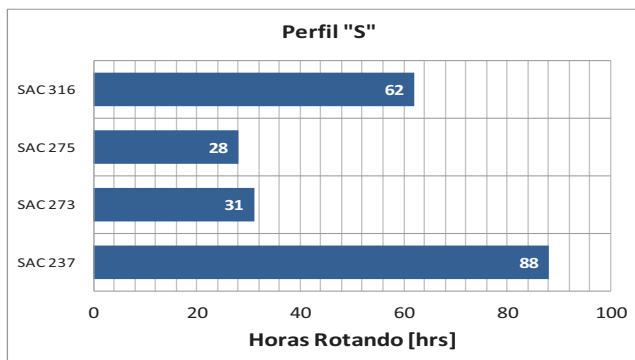
Esta sección está enfocada a la cuantificación del desgaste del revestidos de 9 5/8” que podría ocasionarse durante las operaciones de perforaciones y las actividades implícitas. Para el cálculo del desgaste del revestidor de 9 5/8” se aplicará el software CWEAR versión 6.2 previamente descrito en el capítulo anterior. Adicionalmente, se utilizará el método basado en la recolección de limallas mediante el uso de magnetos ubicados en el bolsillo de las zarandas.

### **4.2 CWEAR**

Se analizará el desgaste proveniente de la información real de cada caso de estudio establecido en el Capítulo 3 de este proyecto. Dentro de la consideración que hace en cuenta CWEAR están las fuerzas normales y las horas de rotación. En cada caso se establecerá las fuerzas normales y encontrará las horas de rotación de la cual fueron sujeto y en base a estas consideraciones se establecerá valores apropiados de factores de desgaste para establecer la correcta predicción.

#### 4.2.1 POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”

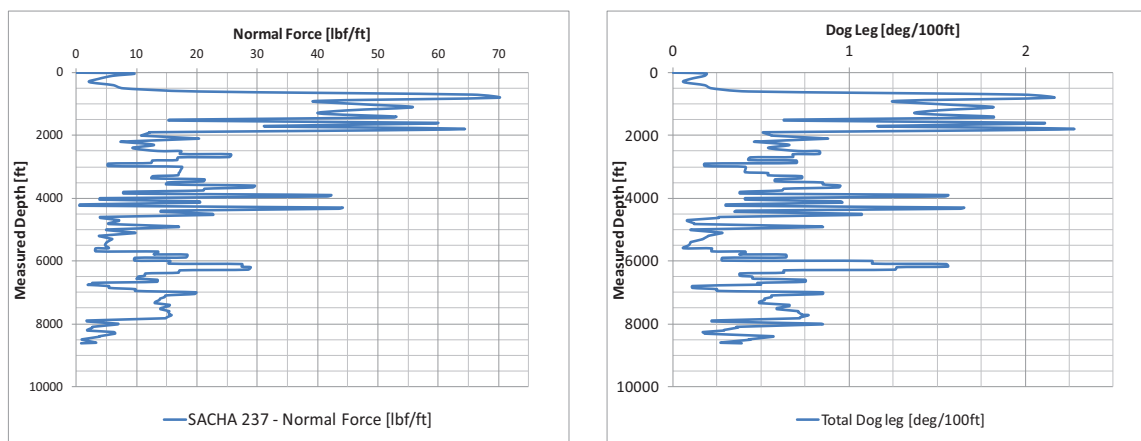
La figura 4.1 hace referencia a las horas de rotación de los pozos analizados con este tipo de perfil. En la misma se puede observar que el pozo Sacha 237D fue el que tuvo un mayor número de horas de perforación en modo rotación.



**Figura 4.1:** Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional “S”  
Elaborado por: Gerardo Duque

##### 4.2.1.1 Sacha 237D

La figura 4.2 hace referencia a las fuerzas normales y al “dog leg” presentes en el SACHA 237 (hasta la sección perforada de 12 ¼”). Como se puede relacionar el mayor “dog leg severity” se presenta en la zona que posee una mayor fuerza normal.



**Figura 4.2:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 237D  
Elaborado por: Gerardo Duque

La tabla 4.1 muestra un resumen de los parámetros de perforación de la sección de 8 ½” de este pozo, esta sección empezó a ser perforada desde los 8582 pies MD.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
42	8624	84	40	10
746	9370	35	60	25
98	9468	7	70	23
97	9565	30	65	21
168	9733	12	80	21
300	10033	40	80	26
327	10360	20	85	26
260	10620	25	85	17

**Tabla 4.1:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 237D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque.

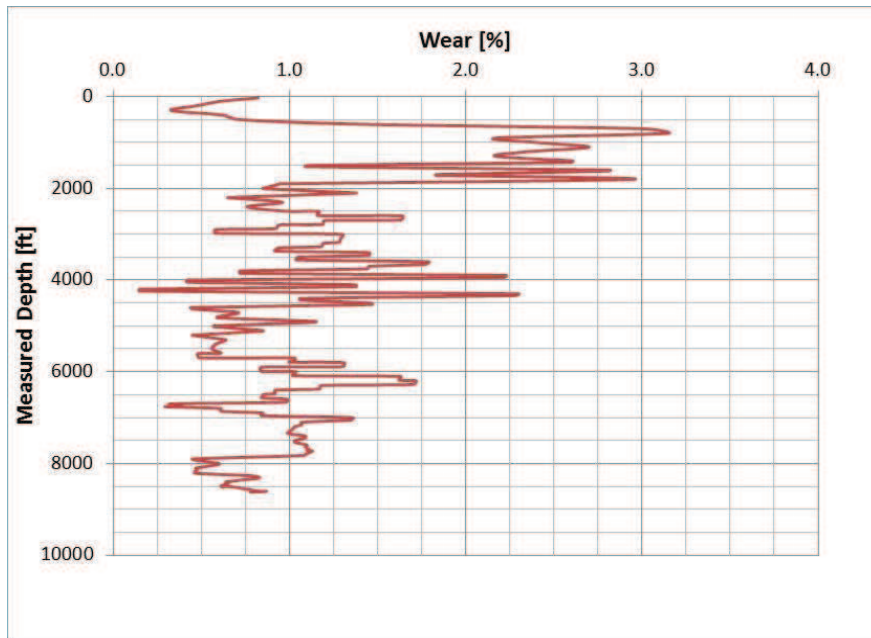
En base a los parámetros antes mencionados (fuerzas normales y horas de rotación) se asignará un valor de 0.16 al factor de desgaste, con este valor podrá calcularse el volumen y peso total desgastado del revestidor. La tabla 4.2 muestra el peso y volumen desgastado calculado en el software.

Factor de Desgaste	0.16
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.19
Peso Total Desgastado(libras)	93.15

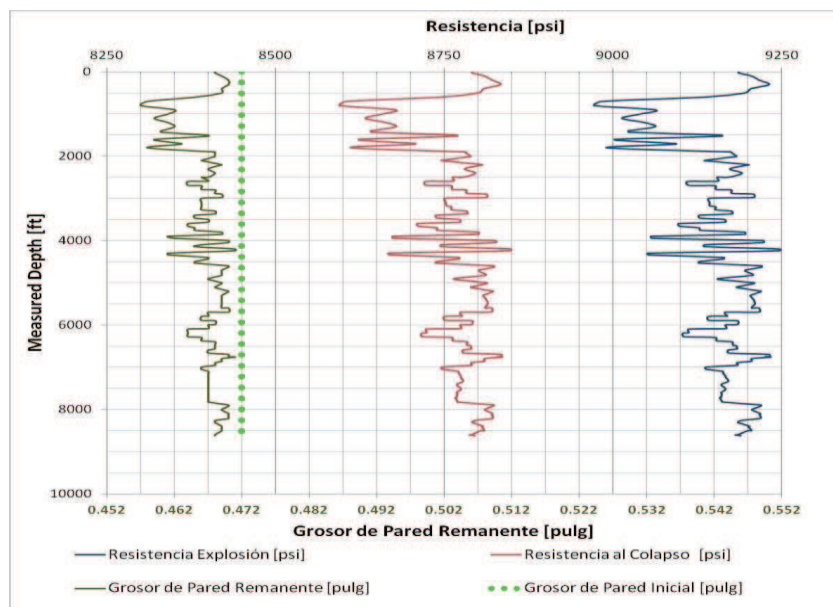
**Tabla 4.2:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 237D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la figura 4.3 se puede visualizar el porcentaje del desgaste que ha sufrido el revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la etapa de 8 ½”.

Y por último la figura 4.4 ilustra la variación de las propiedades mecánicas del revestidor en comparación de la variación del grosor del mismo.



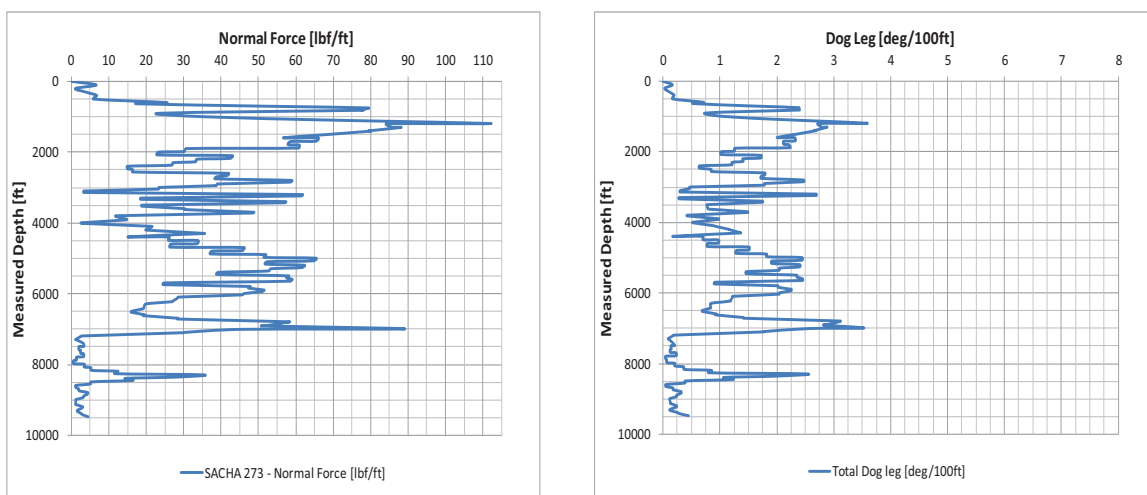
**Figura 4.3:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – Sacha 237D  
Elaborado por: Gerardo Duque



**Figura 4.4:** Comparación entre la resistencia al colapso - estallido y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 237D  
Elaborado por: Gerardo Duque

#### 4.2.1.2 Sacha 273D

Como se presenta en la figura 4.5 las fuerzas normales del Sacha 273D alcanzan un valor de 112 lbf/pie a la profundidad de 1191 pies MD siendo el pozo en su categoría direccional el que alcanza un mayor valor. Es normal observar además que tiene una DLS alta llegando a ser de 3.6 [grados/100 pies] a la misma profundidad y también posee casi el mismo valor a los 7000 pies MD. La sección de 8 ½” se perforó con los siguientes parámetros (Tabla 4.3).



**Figura 4.5:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 273D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
229	9725	41.6	45	19
425	10150	42.5	85	19
690	10840	49.5	80	19
70	10910	49.5	80	19

**Tabla 4.3:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 273D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

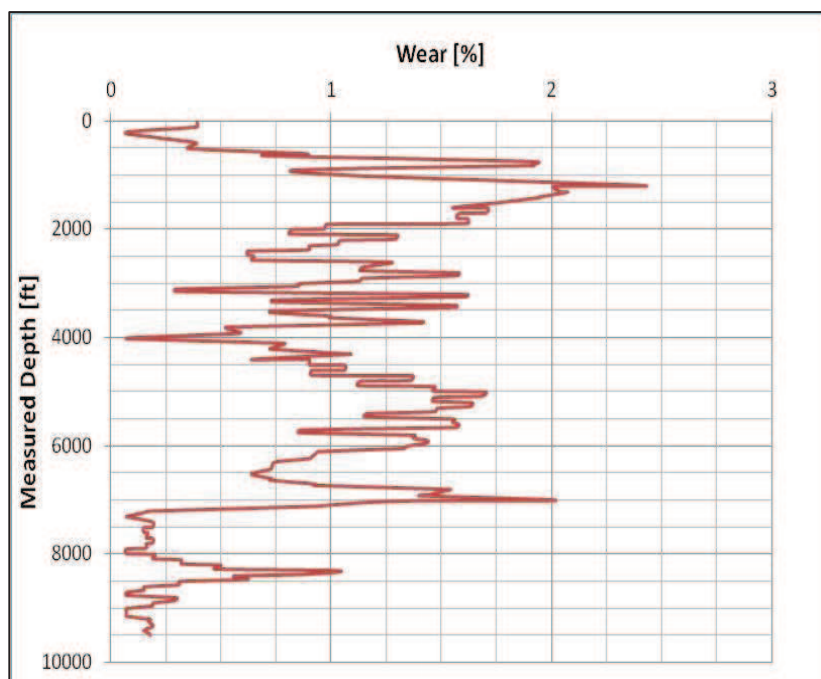
Con un total de 30.86 horas de rotación y fuerzas normales altas pudimos

establecer un coeficiente de desgaste de 0.18 y con ello determinar el volumen – peso desgastado; referirse tabla 4.4.

Factor de Desgaste	0.18
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.15
Peso Total Desgastado(libras)	72.35

**Tabla 4.4:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 273D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

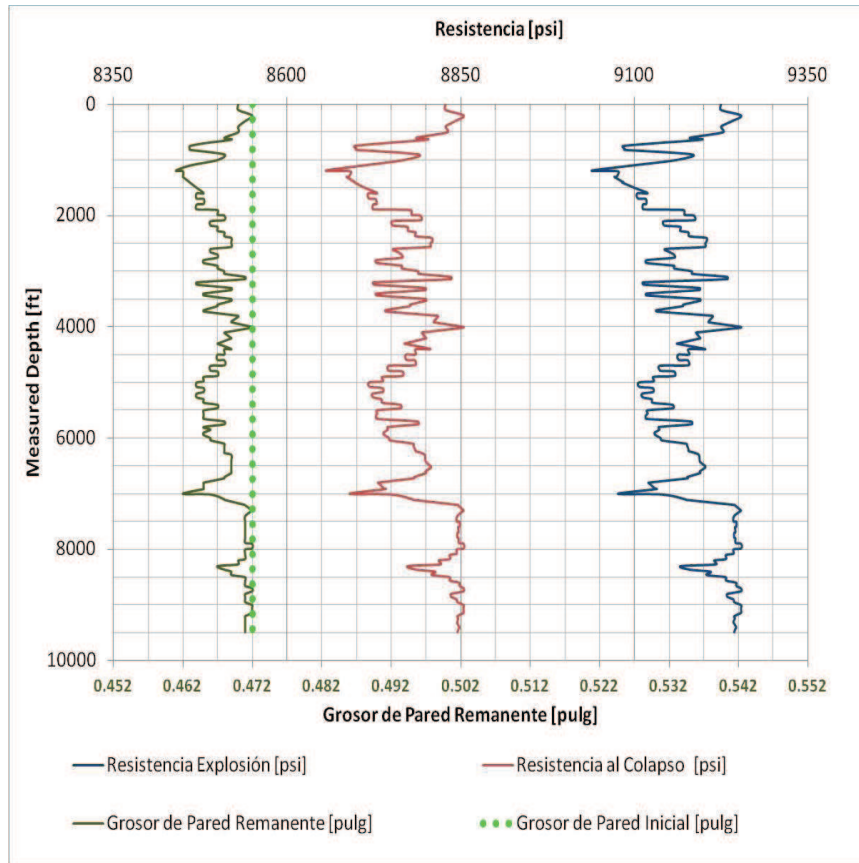
Con el factor de desgaste definido y el BHA establecido se puede determinar mediante el uso de CWear que el pozo Sacha 273 presenta un desgaste de hasta 2.43% (a la profundidad de mayor fuerza normal) lo mismo se puede visualizar en la figura 4.6.



**Figura 4.6:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8”– Sacha 273D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Así de igual manera la figura 4.7 representa la afectación del desgaste del revestidor sobre las propiedades mecánicas y físicas del revestidor de 9

5/8" en el Sacha 273D.

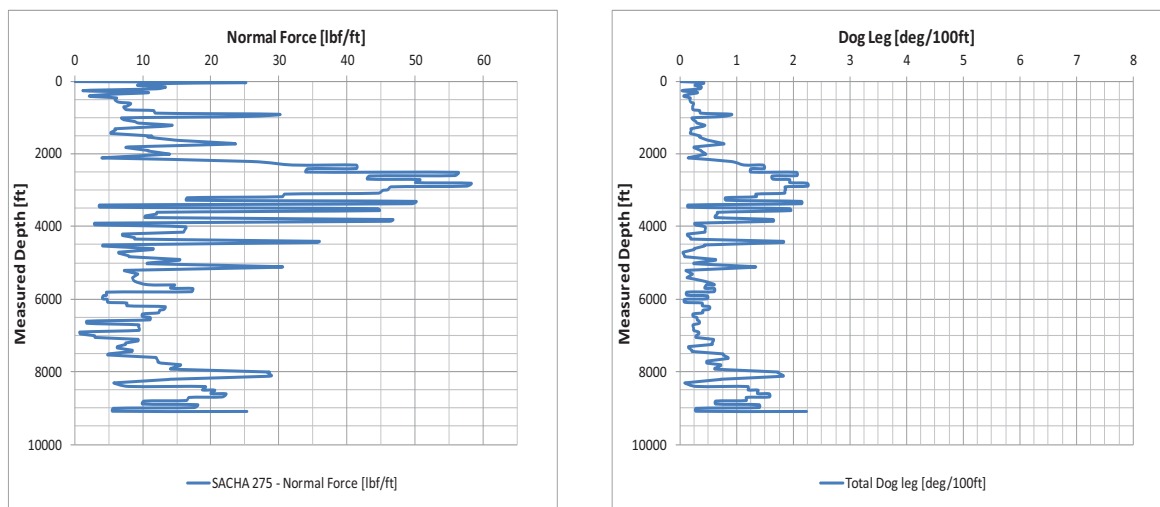


**Figura 4.7:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 273D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.1.3 Sacha 275D

La figura 4.8 representa la relación entre las fuerzas normales y la severidad dog leg del Sacha 275D. En el perfil perforado de este pozo podemos observar que las fuerzas normales fueron relativamente bajas (Figura 4.8) así como el número de horas rotando (Tabla 4.5). Tomando en cuenta estas consideraciones se determinó un factor de desgaste de 0.12 (Tabla 4.6).



**Figura 4.8:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 275D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
198	9278	28.3	50	19
422	9700	53.6	80	23
792	10492	58.7	80	15

**Tabla 4.5:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 275D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

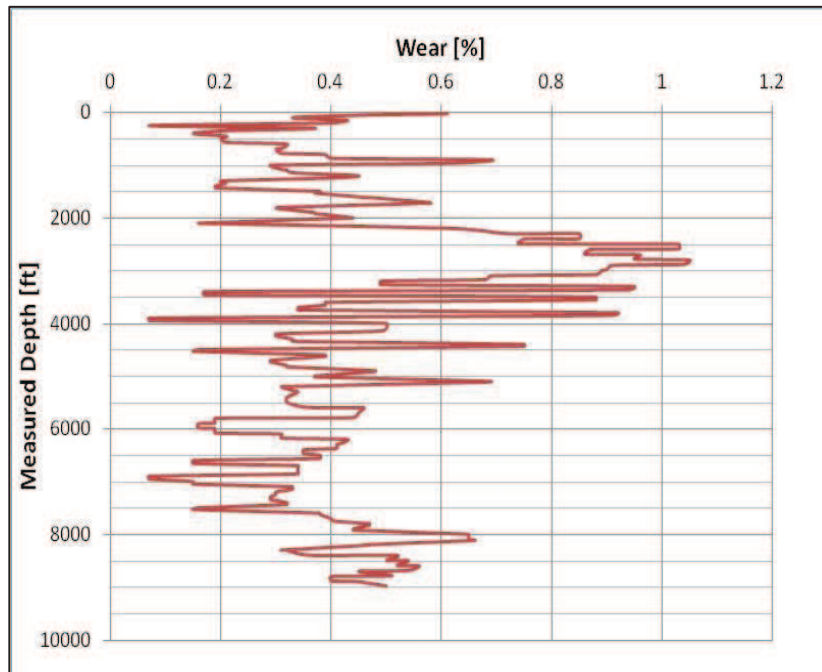
Factor de Desgaste	0.12
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.05
Peso Total Desgastado(libras)	22.25

**Tabla 4.6:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 273D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

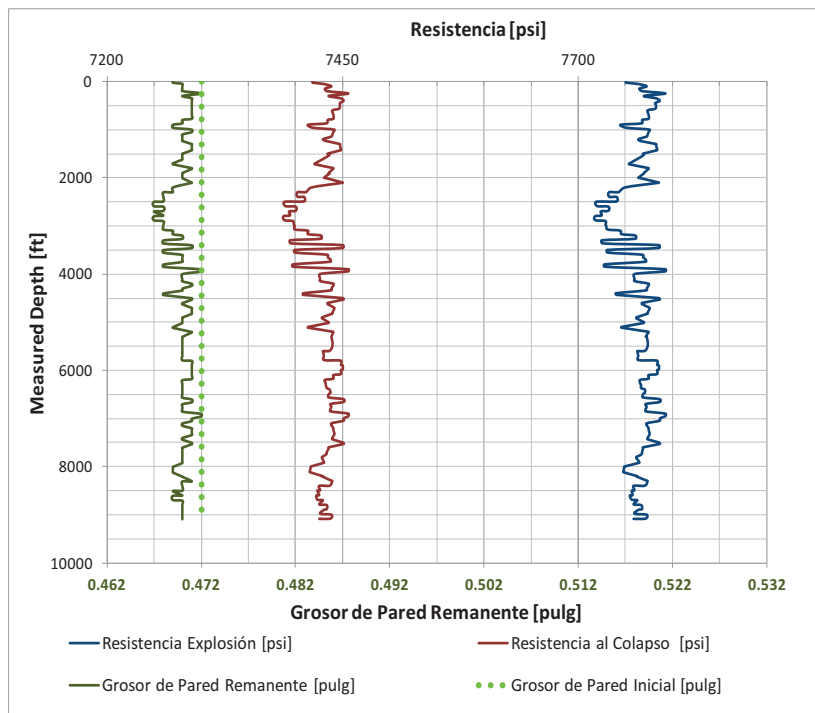
De un factor de desgaste de 0.12 se calcula el desgaste en un máximo de 1.03% como se observa en la figura 4.9.

La figura 4.10 indica la comparación de las propiedades mecánicas y físicas del revestidor debido al desgaste presente del revestidor de 9 5/8”.



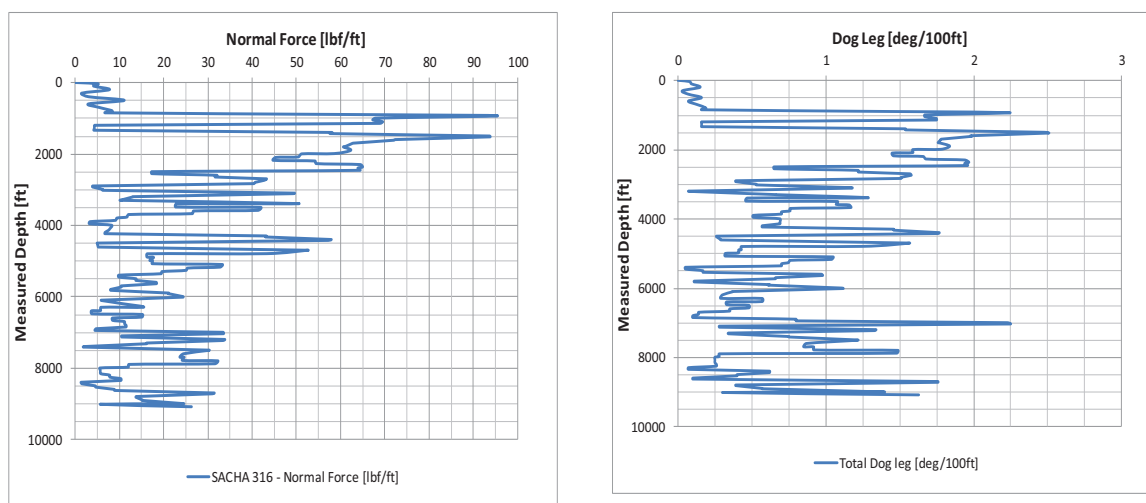


**Figura 4.9:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 275D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.10:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 275D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.1.4 Sacha 316D



**Figura 4.11:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.11 indica que las fuerzas normales del Sacha 326 alcanzaron un valor de 95.6 lbf/pie a los 944 pies, y dog legs altos entre 2.2 - 2.5 [grados/100 pies] a las profundidades de 934, 1500 y 1524 pies MD.

Las operación de perforación de la sección de producción tomó un total de 61.72 horas rotando que estuvieron distribuidas como se especifica en la tabla 4.7.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
284	9370	15.1	19	13
705	10075	29.4	80	12
20	10095	22.6	100	13
735	10830	42	100	13

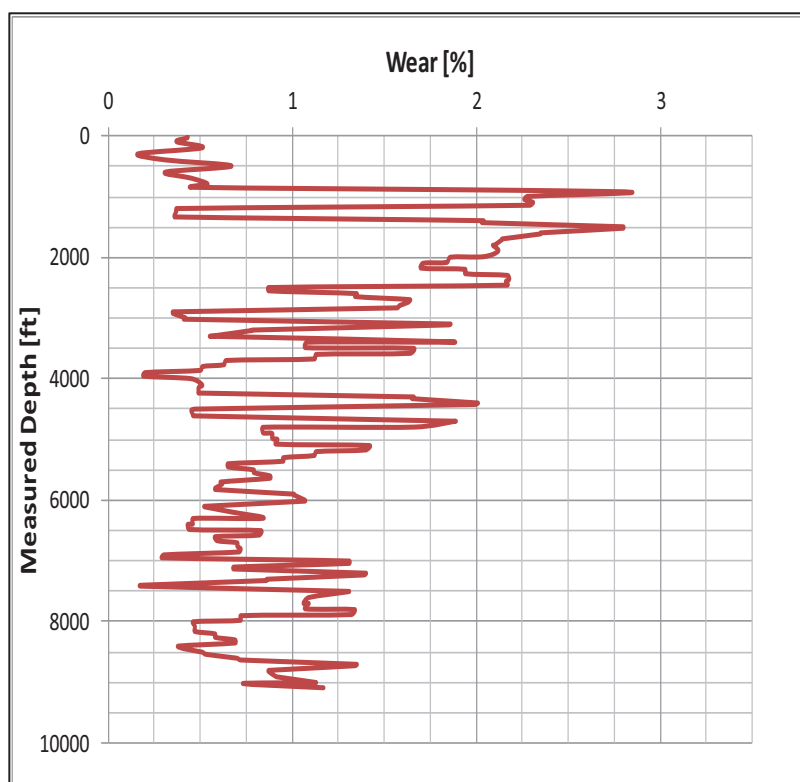
**Tabla 4.7:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Considerando las variables podemos definir un factor de desgaste de 0.19 para este pozo y con su correspondiente volumen y peso desgastado como se indica en la tabla 4.8.

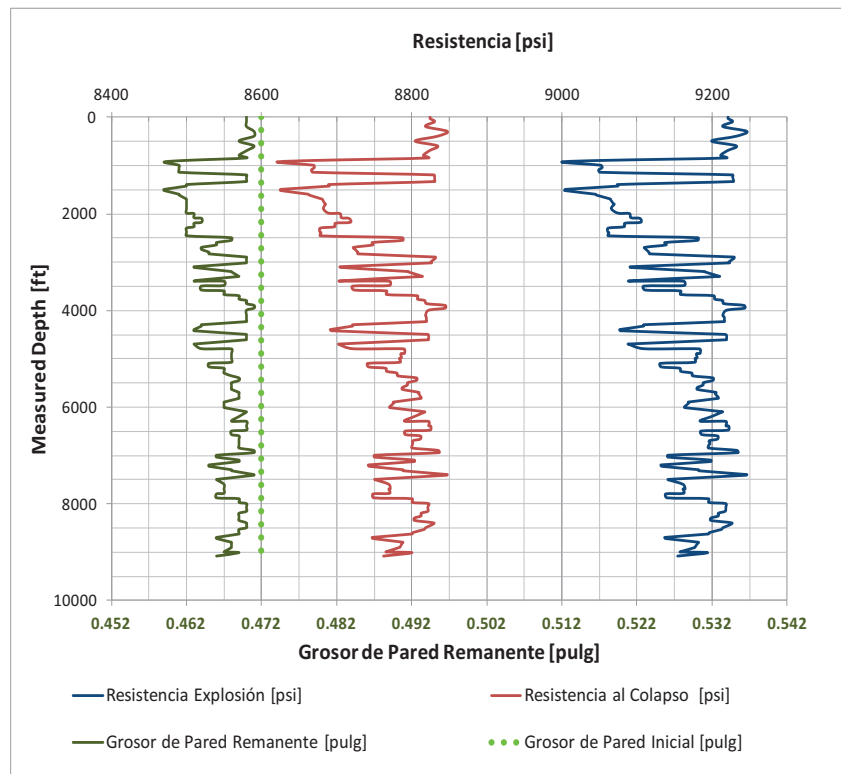
Factor de Desgaste	0.19
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.24
Peso Total Desgastado(libras)	117.41

**Tabla 4.8:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Con el número de horas rotadas y de las fuerzas normales en esta sección estableceremos el porcentaje de desgaste máximo de 2.8%, referirse a la figura 4.12. Y la figura 4.13 establece la variación de las propiedades mecánicas y físicas del revestidor de 9 5/8” para este pozo



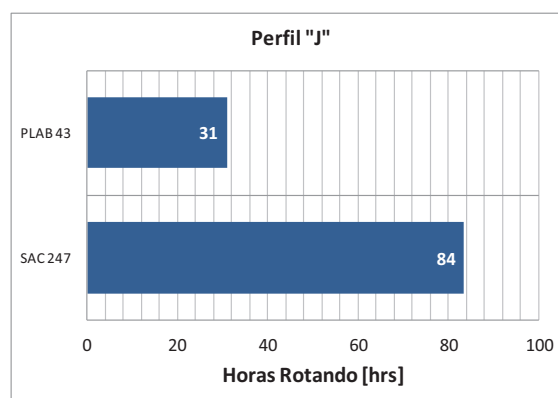
**Figura 4.12:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.13:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

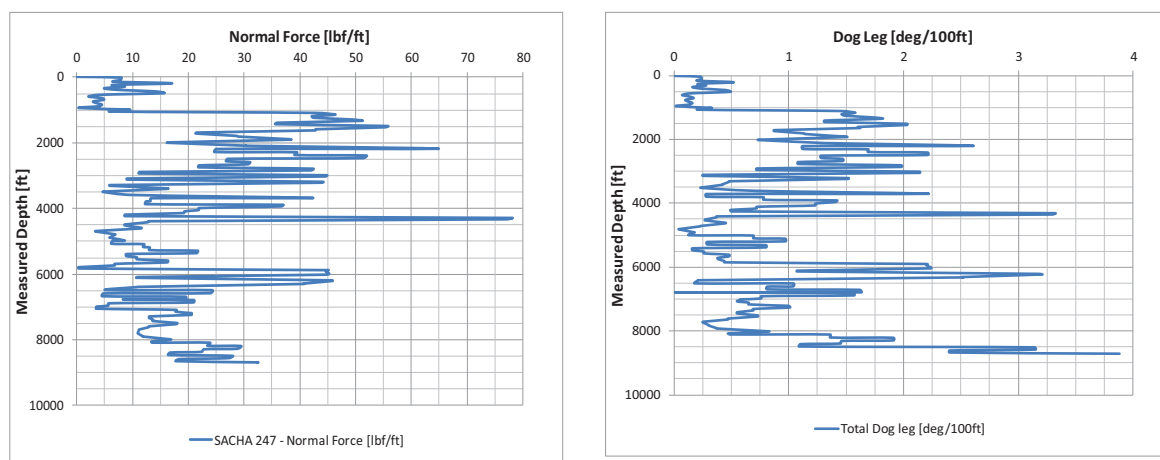
#### 4.2.2 POZOS DIRECCIONALES TIPO "J"

La figura 4.14 hace referencia a las horas de rotación de los pozos analizados con este tipo de perfil "J".



**Figura 4.14:** Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional "J"  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.2.1 Sacha 247D



**Figura 4.15:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.15 representa la comparación entre el DLS y la fuerza normal en el pozo Sacha 247, en la gráfica se aprecia que el pozo presenta picos de fuerza normal de hasta 77 [lbs/ft] a los 4300 y 4342 pies, donde se establece que el pozo presentará mayor desgaste.

La operación de perforación fue realizada como se establece en la tabla 4.9, en ella se visualiza que toda la sección de 8 ½” fue perforada con un RPM promedio de 53 rev/min.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
64	8802	32	65	20
798	9600	40	45	18
460	10060	35	50	18
400	10460	17	50	18
320	10780	27	40	13
430	11210	33	70	14

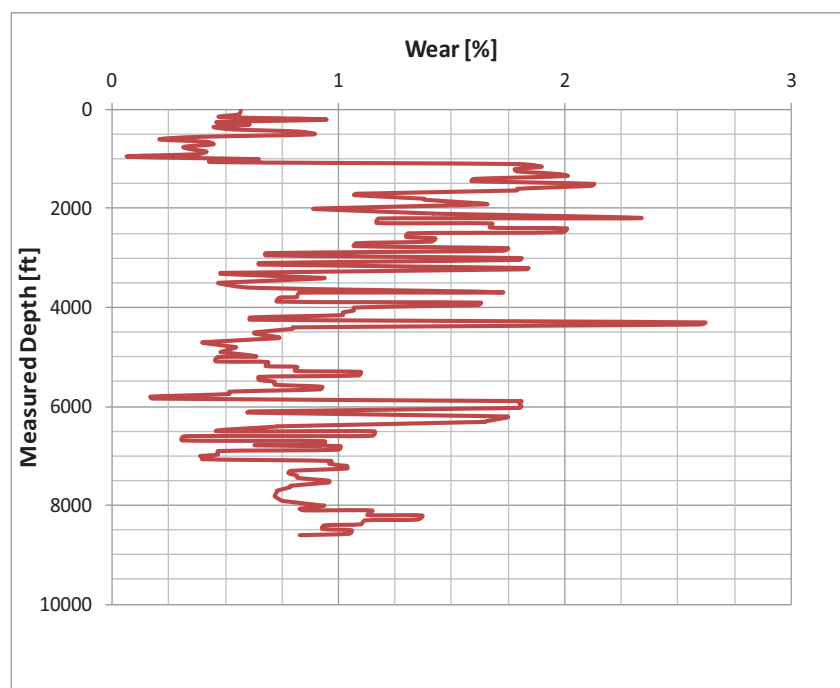
**Tabla 4.9:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La tabla 4.10 hace referencia a la correcta de selección del factor de desgaste considerado en base a las horas de rotación y las fuerzas normales presentes para el presente Pozo. Se seleccionó un valor de 0.17 para el factor de desgaste, lo que produce un desgaste de alrededor 77 lb de limallas.

Factor de Desgaste	0.17
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.16
Peso Total Desgastado(libras)	77.16

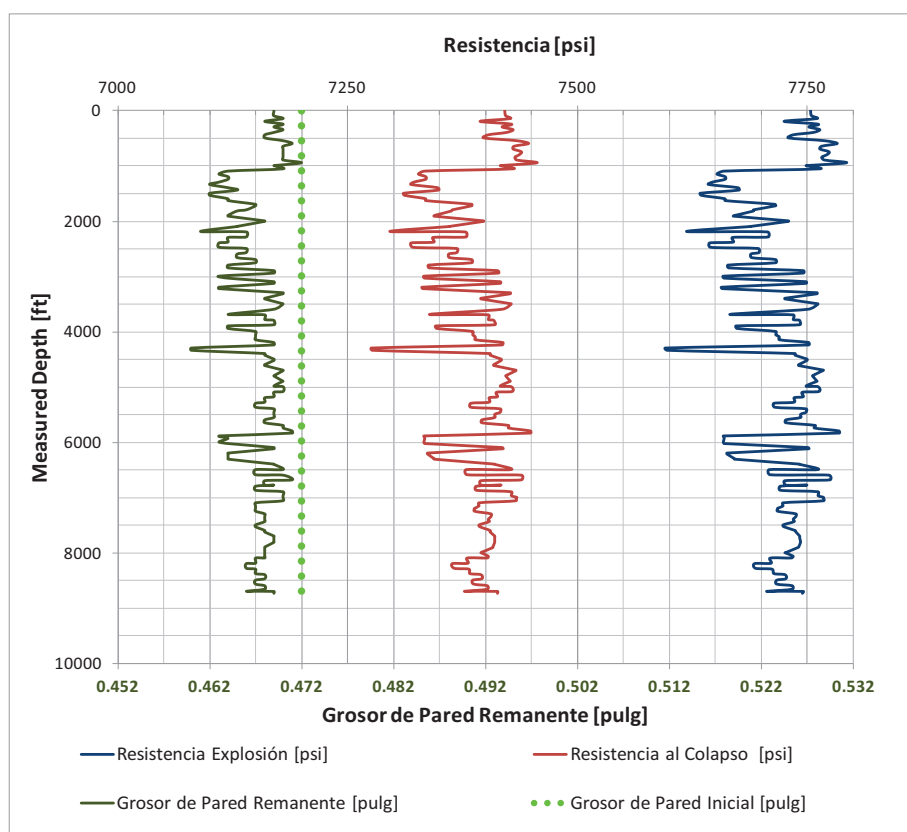
**Tabla 4.10:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

El desgaste máximo alcanza un valor de 2.62% en la zona correspondiente a la mayor fuerza normal, y además se tiene un valor relativamente bajo de desgaste a lo largo de toda la sección de estudio, lo mismo es representado en la figura 4.16.



**Figura 4.16:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.17 representa la variación de las propiedades mecánicas y físicas del revestidor debido a las operaciones de perforación de la fase de 8 ½” en el Sacha 247D. En ella se puede apreciar que en la zona con una fuerza normal mayor el desgaste del grosor de la pared del revestidor llega a estar en el orden de 0.012 pulgadas. Además se concluye que la resistencia a la explosión y colapso se empieza a ver afectada en mayor magnitud a partir de los 1100 pies que es el lugar donde inicia el punto de desviación del pozo (KOP).



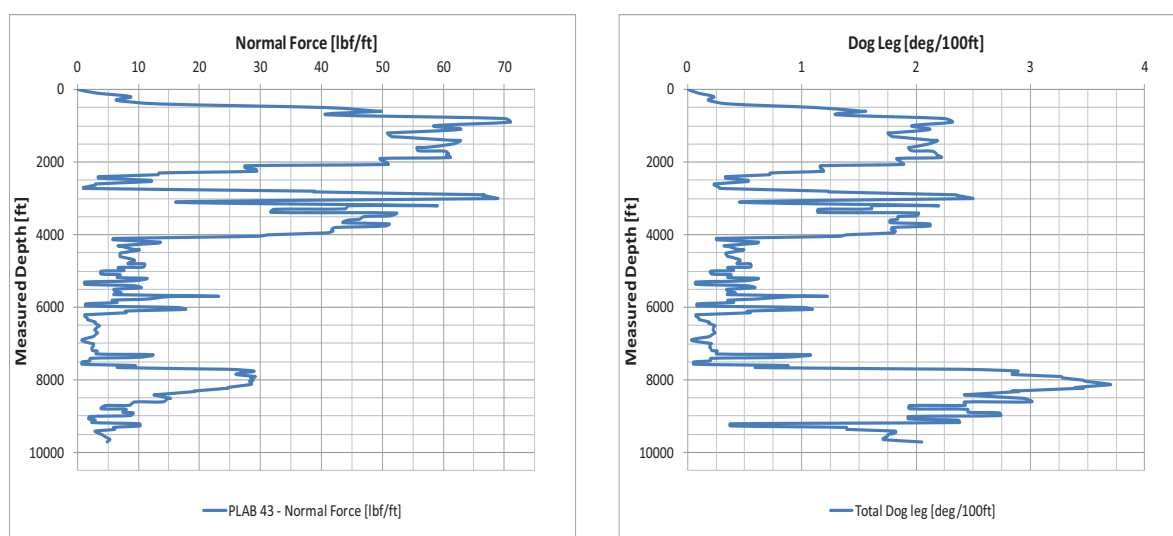
**Figura 4.17:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.2.2 Palo Azul B 43D

En la Figura 4.18 se observa que las fuerzas normales alcanzan valores de hasta 70 lbf/pie en las zonas que empieza el KOP del pozo así como

en la zona superficial desde los 2500 hasta los 3500 y en la parte de la tangente se mantienen fuerzas normales de máximo hasta 30 lbf/pie a los 8000 pies.

Además, los parámetros de perforación se presentan en la tabla 4.11, de ella se puede deducir que en la sección de 8 ½” se rotó 1001 pies en alrededor de 31.2 horas con alta rotación de alrededor de 100 rev/min.



**Figura 4.18:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Palo Azul B 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
361	10740	40	95	20
346	11086	24.7	100	22
294	11380	36	100	22

**Tabla 4.11:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Palo Azul B 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

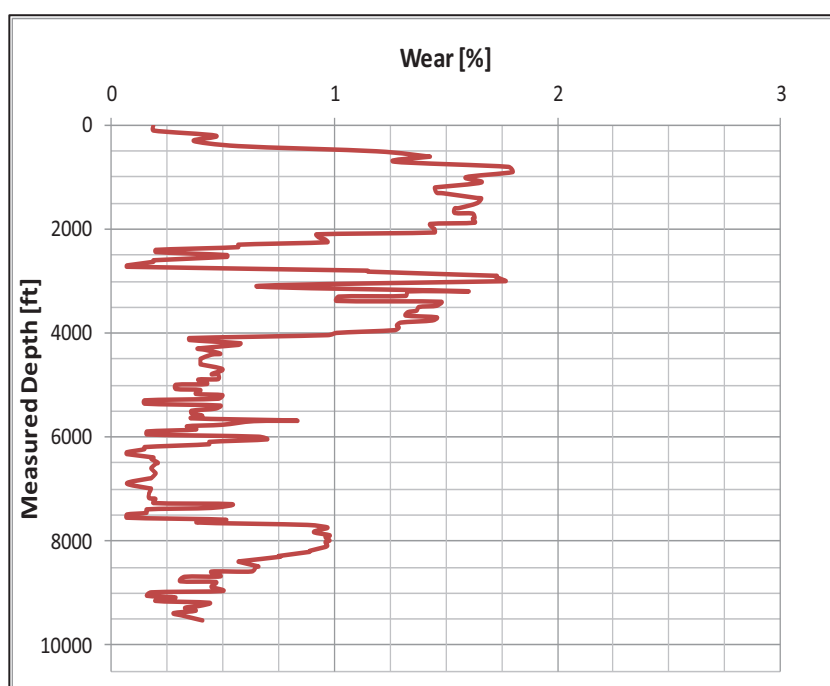
Basados en los 31 horas de rotación y en las fuerzas normales, se estableció un factor de desgaste de 0.13 con un gasto de limallas de



recolección del revestidor desgastado de 61.4 lb, lo que se puede observar en la tabla 4.12.

Factor de Desgaste	0.13
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.12
Peso Total Desgastado(libras)	61.04

**Tabla 4.12:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Palo Azul B 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

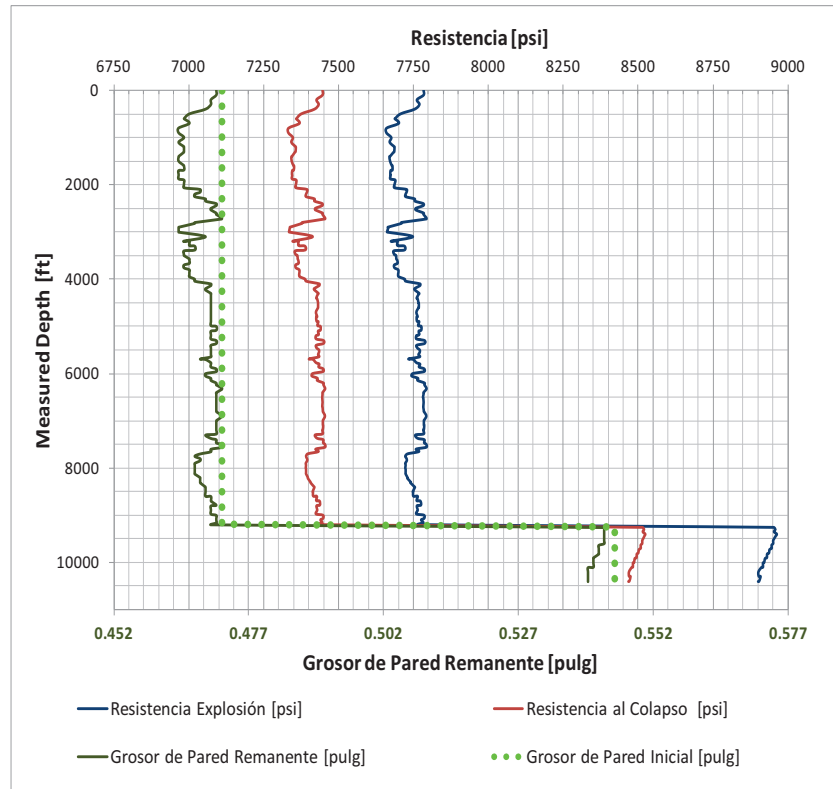


**Figura 4.19:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” – Palo Azul B 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la figura 4.19 se puede apreciar que la predicción del desgaste en el revestidor de este caso llega a estar cerca del valor del 1.8% en los puntos donde las fuerzas normales generan valores de hasta 70 lb por pie.

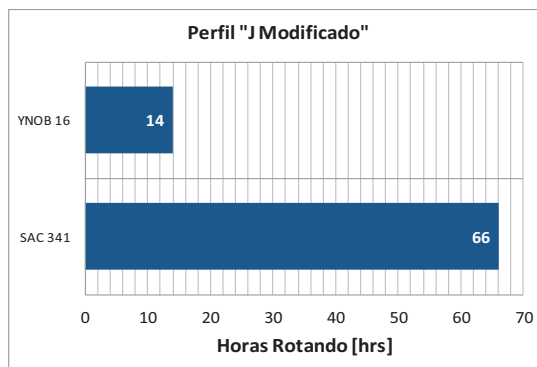
La figura 4.20 demuestra el desgaste de las paredes del revestidor, así como la variación de la resistencia del revestidor de 9 5/8” a la explosión y al colapso. Como se describió en la sección 2.10.2.2 éste pozo fue

revestido con revestidores N80 pero de diferente peso y por ende diferentes propiedades



**Figura 4.20:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” – Palo Azul B 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

**4.2.3 POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”**

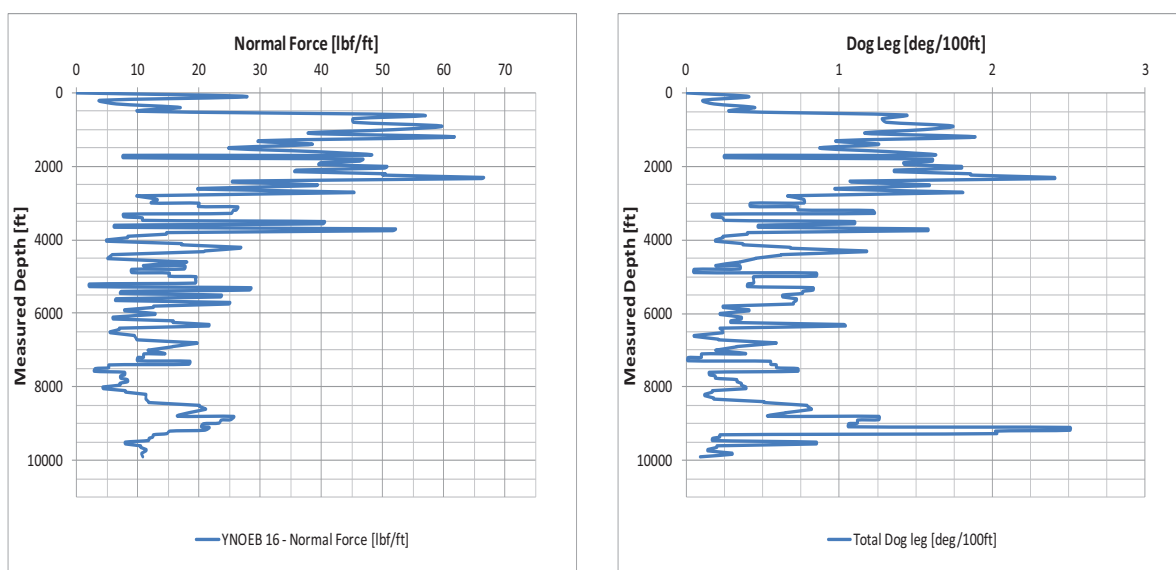


**Figura 4.21:** Horas de Rotación de los pozos con perfil direccional “J Modificado”  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.21 muestra las horas de rotación que tuvieron el Yanaquincha Oeste B 16 D y el Sacha 341 D, en ellos hubo una gran diferencia entre las horas de rotación.

#### 4.2.3.1 Yanaquincha Oeste B 16 D

El pozo YNOB 16 D, como se observa en la figura 4.22 tuvo bajas tasas de dog leg severity así como fuerzas normales máximas entre 45 a 65 lbf/pie, en zonas superficiales. Los puntos de mayor afectación son los que rodean los 2300 a 2330 pies, con valores máximos de 66 lbf/pie. Esta zona tuvo una leve desviación del plan original, lo que dio efectivamente la severidad de pata de perro mayor (alrededor de 2.41 grados/100 pies).



**Figura 4.22:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – YNOB 16 D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
738	11340	53	50	15

**Tabla 4.13:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – YNOB 16 D

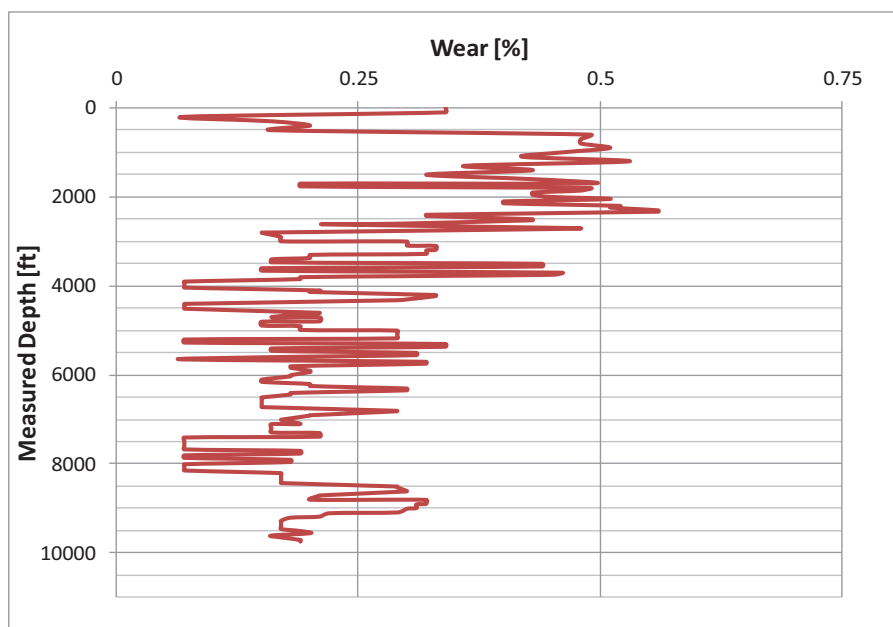
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Como se puede apreciar en la tabla 4.13, la sección de producción en el presente pozo fue perforado en tan solo 14 horas de rotación con un RPM promedio de 50 rev/minuto y tan solo fueron 738 pies de perforación.

Factor de Desgaste	0.12
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.02
Peso Total Desgastado(lb)	12.16

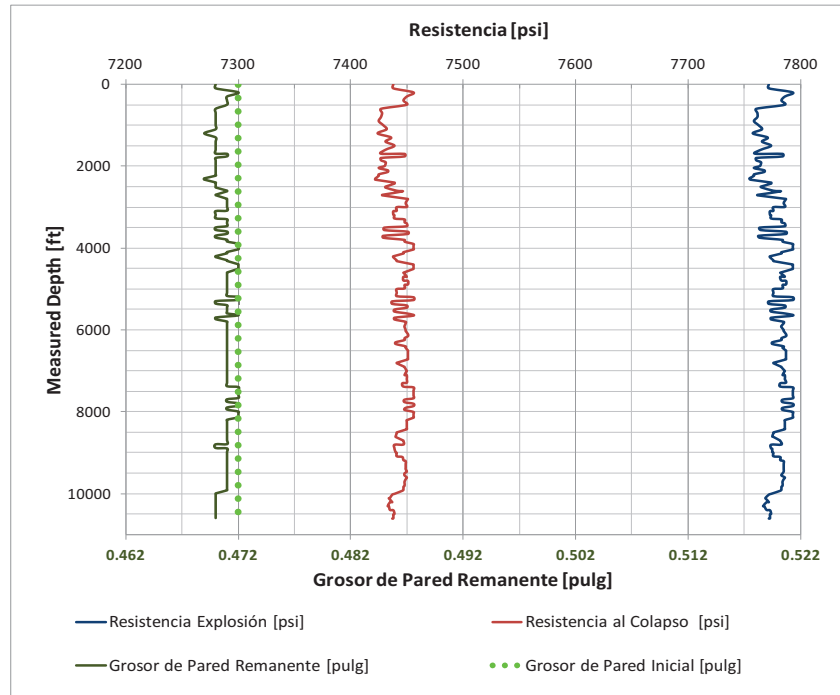
**Tabla 4.14:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – YNOB 16 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Basados en la información de las horas de rotación y de las fuerzas normales a las cuales está sometido el YNOB 16D, se tomó un factor de desgaste de 0.12 para poder calcular el mejor valor de desgaste presente en el revestidor de 9 5/8". Con dicho factor se calculó que 12.16 lbm de limallas debieron ser desgastados del revestidor. De los datos encontrados se obtiene el desgaste del revestidor intermedio, que es el que se presenta en la figura 4.23.



**Figura 4.23:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – YNOB 16 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

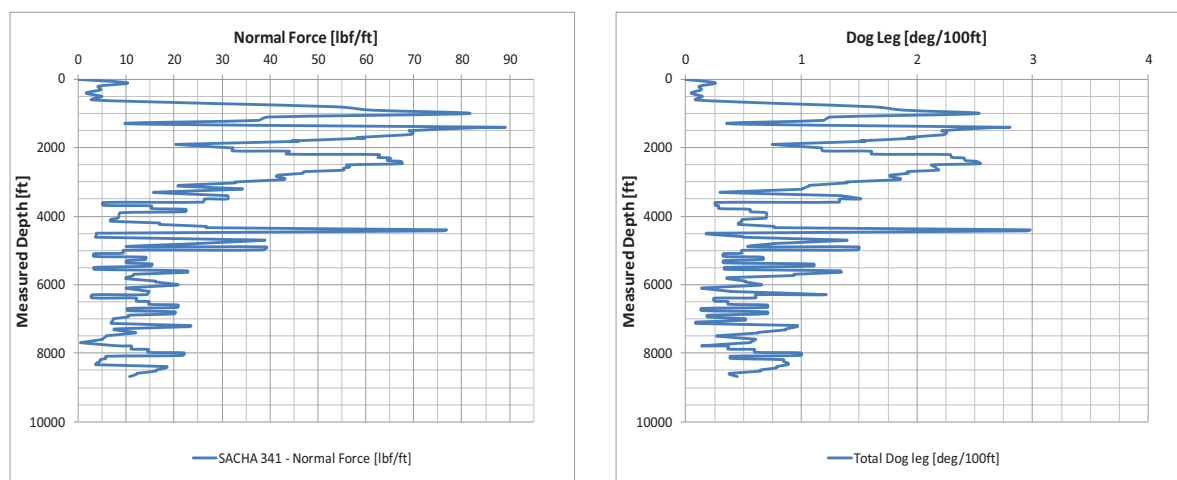
En la figura 4.24 se aprecia que este caso presenta una variación muy baja de sus propiedades físicas y mecánicas. Esto se puede evidenciar claramente en la pequeñísima variación del grosor de la pared del revestidor, la variación se mantiene por debajo de las 3 milésimas de pulgada



**Figura 4.24:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – YNOB 16 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.3.2 Sacha 341 D

La figura 4.25 muestra gráficamente la relación entre las fuerzas normales y la severidad de patas de perro del Sacha 341 D, en la misma Figura se puede evidenciar que las fuerzas normales jugaron un papel de gran importancia en profundidades superficiales desde los 1000 hasta 1400 pies, donde se presenciaron los valores más altos de hasta 90 lbf/pie.



**Figura 4.25:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 341 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

De la tabla 4.15, podemos inferir que el Sacha 341 tuvo un total de 65.9 horas de perforación en modo rotación. Y un promedio general de 43 revoluciones/minuto, para perforar 2407 pies.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
931	9624	38.7	40	15
11	9635	35.3	40	21
281	9916	51.1	40	20
84	10000	12	1	3
477	10477	35.3	50	18
233	10710	66.6	70	13
390	11100	32.5	60	18

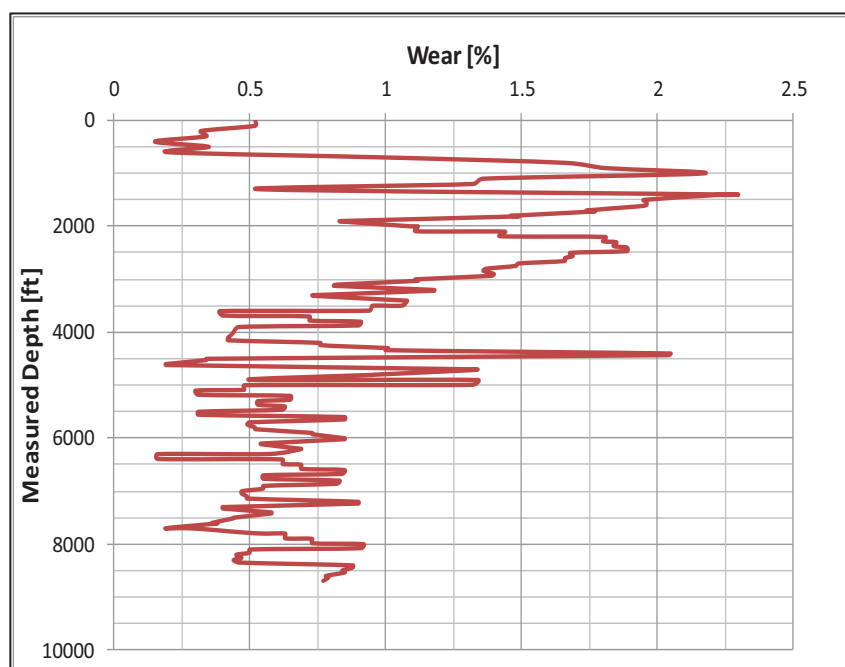
**Tabla 4.15:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 341 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

De la información anterior se establece un factor de desgaste de 0.18 para poder encontrar el desgaste más adecuado a este revestidor, siendo un total de 63.82 lbm desgastadas del grosor original.

Factor de Desgaste	0.18
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.13
Peso Total Desgastado(libras)	63.82

**Tabla 4.16:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 341 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque.

Con el factor de desgaste establecido y la configuración de perforación cargada en el software, se puede calcular el desgaste a lo largo del revestidor de 9 5/8" y presentarlo en la figura 4.26.

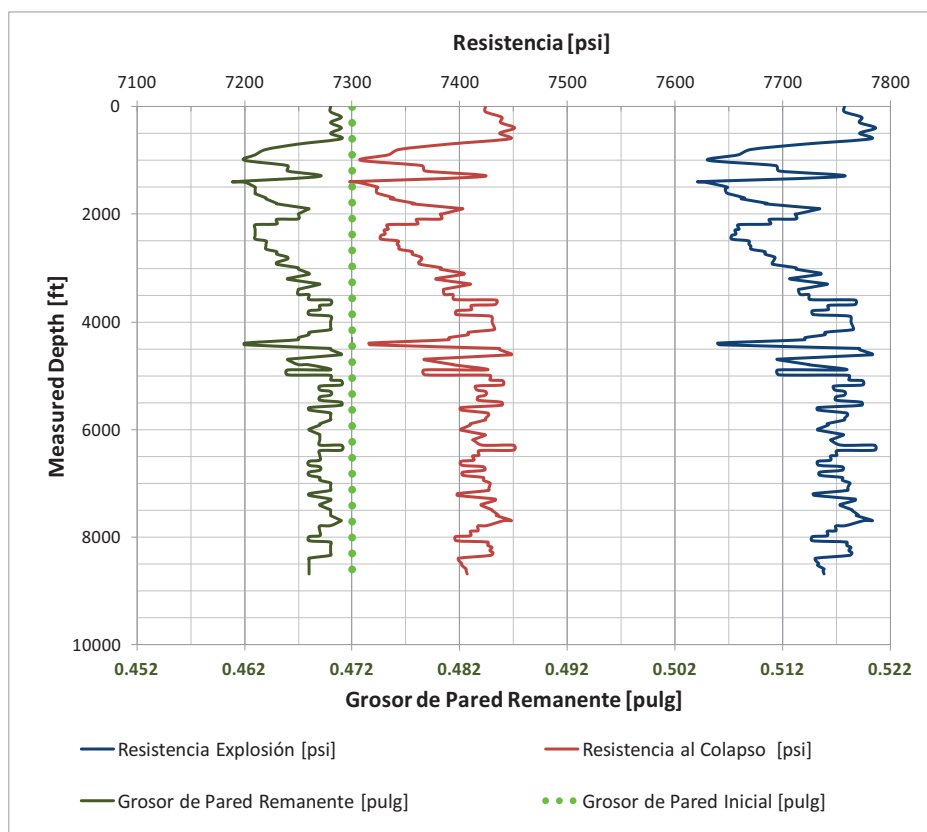


**Figura 4.26:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" – Sacha 341 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

De la figura 4.26 se observa que el revestidor se encuentra sometido a un desgaste de alrededor de 2.25% en la zona que posee mayor afectación de fuerzas normales.

Para concluir en la figura 4.27 se muestra la afectación de las propiedades físicas y mecánicas del revestidor de 9 5/8" debido a las operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" en el Sacha 341 D. Siendo las zonas

más afectadas aquellas bajo la influencia de fuerzas normales mayores. La reducción de las resistencias al colapso y al estallido se ven claramente afectadas en la zona que el desgaste es más agresivo



**Figura 4.27:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" – Sacha 341 D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Para la afectación física de este revestidor se llegó a tener una variación aproximada de más de una centésima de pulgada en la zona más crítica, esto representa alrededor de 180 psi menos en la capacidad de resistencia al colapso del revestidor y así representa una reducción de casi 200 psi en la resistencia al estallido o explosión del mismo. Un punto adicional en este análisis es la consideración que dicho desgaste se presenta en una zona superficial, la que es resultado de la posición del KOP, donde la trayectoria del pozo empieza a tomar direccionalidad.



#### 4.2.4 POZOS HORIZONTALES

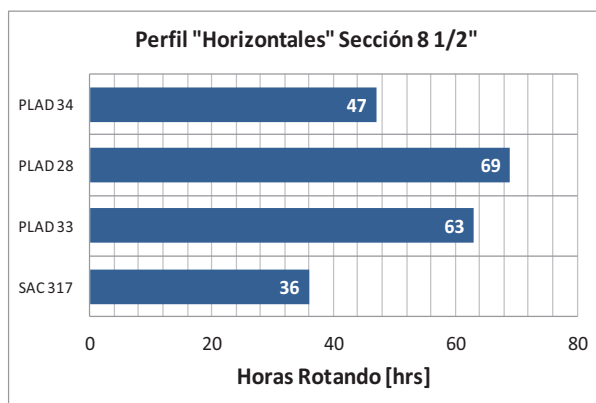
El caso de análisis de los pozos horizontales está basado en el análisis que se ha realizado previamente en los casos direccionales. La ejecución de este tipo de pozos genera tener un factor compuesto de desgaste, puesto este es el resultado de tres factores, el primero tiene que ver con las fuerzas normales a la que es sometido el pozo por acción del diseño direccional hasta la sección de perforación de 8 ½”, el segundo se genera de las horas de rotación de la tubería de perforación para la sección de 8 ½” y el tercer factor es la consideración de las horas de rotación que se mantuvo durante la perforación de la sección de 6 1/8”.

Como particular en este proyecto de titulación se enfoca solo al desgaste que sufre la tubería de revestimiento de 9 5/8” y pese a que el revestidor colgado de 7” también es sujeto de desgaste por a la rotación de la tubería de perforación de 3 ½” durante la perforación de la sección de 6 1/8”, éste desgaste no es relativo a nuestro análisis y por ende no se tomó en cuenta esta información.

En la figura 4.28 se indica de manera resumida las horas de perforación en modo rotación para la sección de 8 ½” de los pozos horizontales tomados para este estudio. En ella se aprecia que dos de ellos tuvieron un considerable número de horas rotando en promedio de 66 horas, y los otros dos presentaron un promedio de 37 horas.

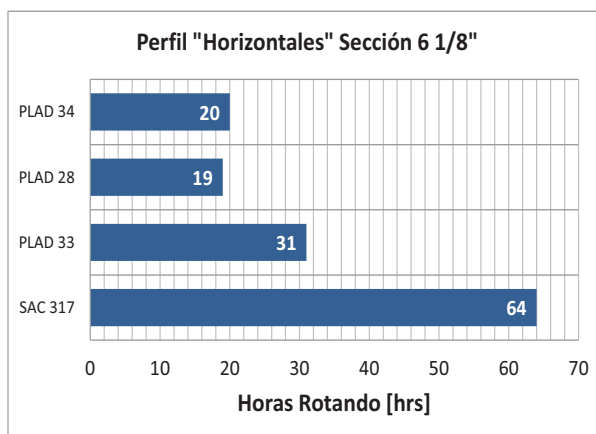
De igual manera la figura 4.29 indica las horas de rotación durante la perforación de la sección de producción de 6 1/8” en los pozos horizontales estudiados. En ella se puede visualizar que el Sacha 317H tuvo una sección horizontal perforada en 64 horas de rotación y el Palo Azul D 28 H tuvo la sección más corta a ser perforada con una duración de 19 horas. En contraste con la figura 4.28 se puede visualizar que los pozos tuvieron horas de rotación complementarias, es decir, pozos con gran número de horas rotando en 8 ½” tuvieron secciones horizontales de 6 1/8” cortas, e igualmente el inverso, a un

bajo número de horas de rotación en la sección de 8 ½” se tuvo el mayor número de horas de rotación en la sección de 6 1/8”.



**Figura 4.28:** Horas de Rotación durante la sección de 8 ½” de los pozos con perfil Horizontal

**Elaborado por:** Gerardo Duque

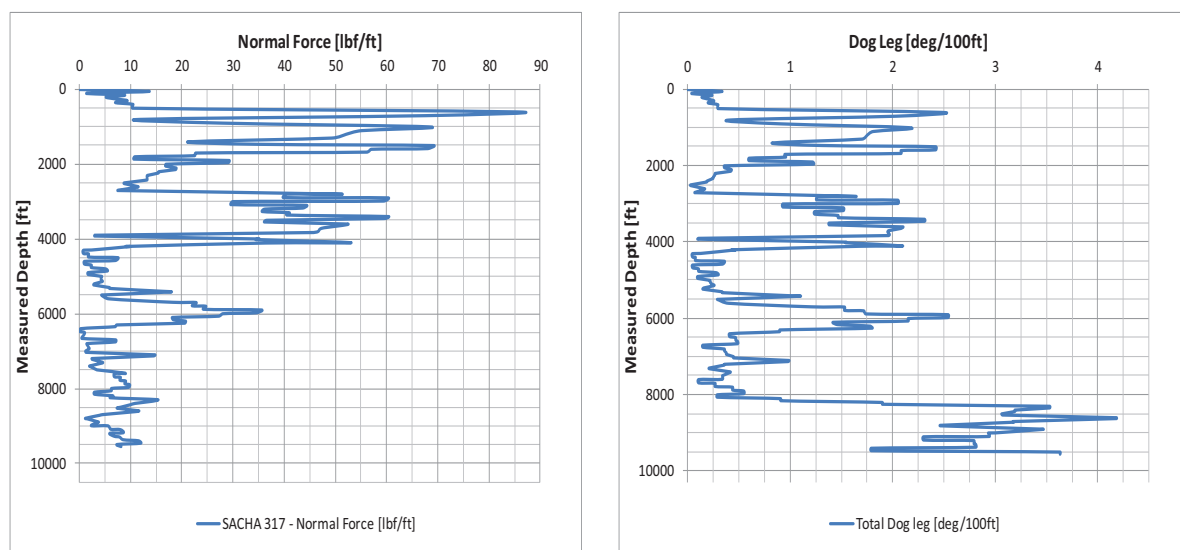


**Figura 4.29:** Horas de Rotación durante la sección de 6 1/8” de los pozos con perfil Horizontal

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.1 Sacha 317 H

Las fuerzas normales y el “dog leg severity” no variará con la sección perforada, puesto que el revestidor que estamos analizando es de 9 5/8” únicamente, esto es representado en la figura 4.30.



**Figura 4.30:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.1.1 Sección de 8 ½”

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
225	10380	23	40	18
24	10404	9.6	1	18
22	10426	14.6	1	38
26	10452	10.8	30	35
293	10745	15	40	35

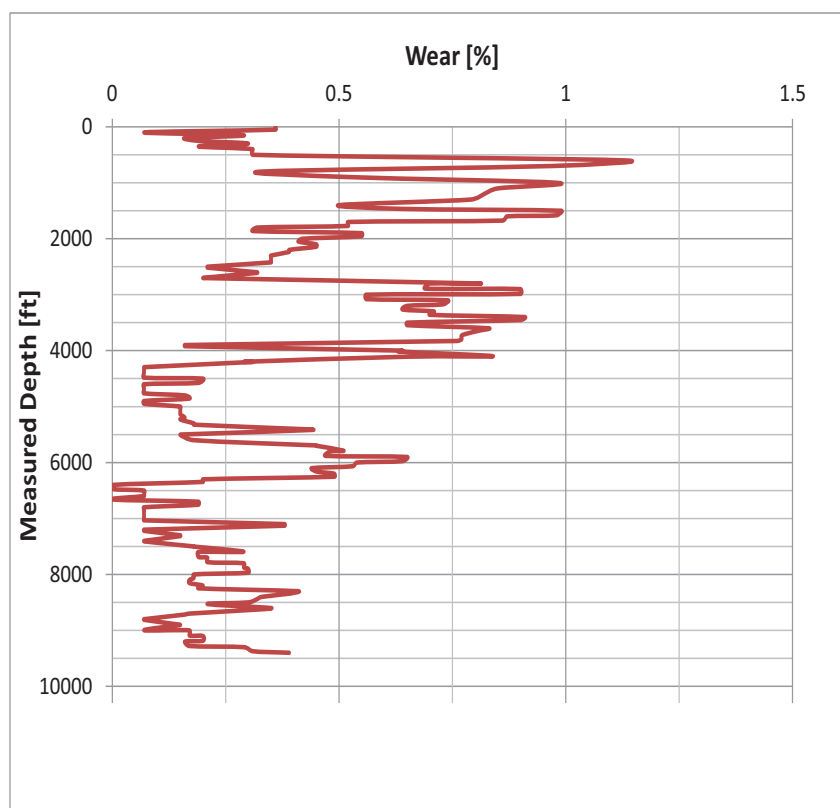
**Tabla 4.17:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la tabla 4.17 se puede apreciar los parámetros de perforación de la sección de 8 ½” con un total de rotación de 35.73 horas, de acuerdo a la información de las horas de rotación y fuerzas normales el factor de desgaste considerado fue de 0.17, como se puede observar en la tabla 4.18.

Con este valor de desgaste, el revestidor debe haber perdido un total de 31.65 lbm de peso a lo largo de su extensión.

Factor de Desgaste	0.17
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.06
Peso Total Desgastado(libras)	31.65

**Tabla 4.18:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

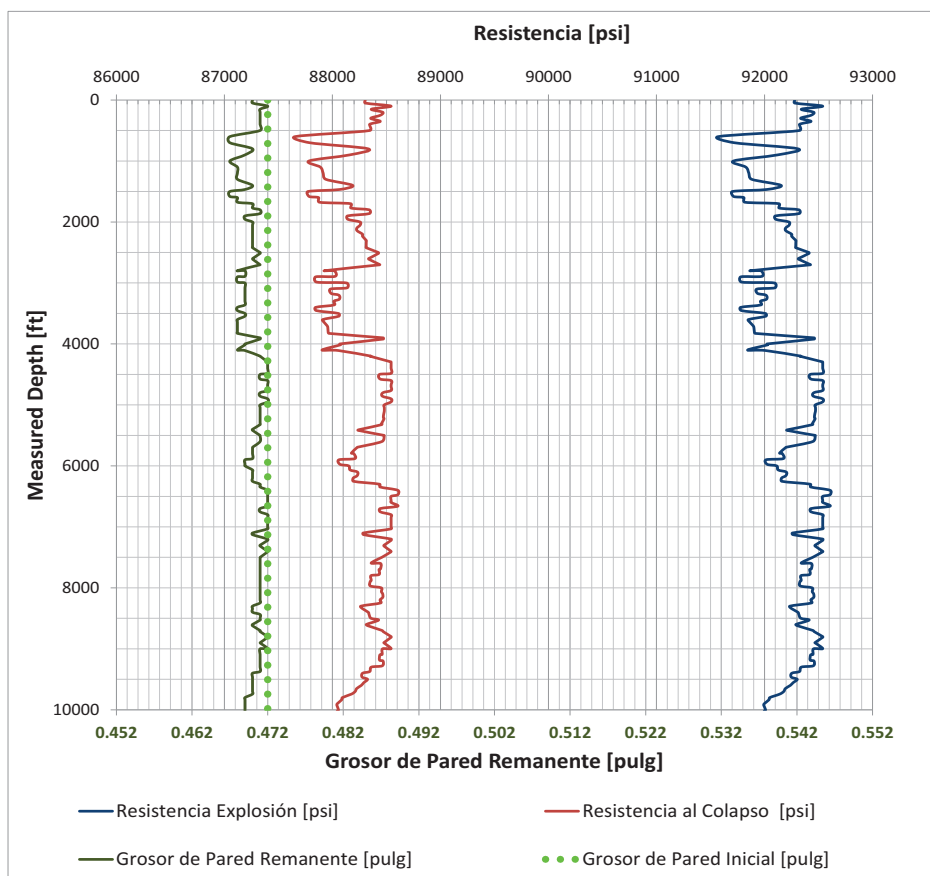


**Figura 4.31:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2” – Sacha 317 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la figura 4.31 se visualiza el desgaste del revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la sección de 8 1/2”, el mismo que llega a tener valores de hasta el 1% lo que no representa un desgaste considerable. En figura 4.32. se evidencia que las propiedades físicas

como el grosor de la pared del revestidor no han sido afectados mayormente llegando a considerarse como un desgaste bajo hasta este momento. Posterior al primer análisis se correrá el análisis considerando las horas de rotación del DP durante la perforación de la sección de producción horizontal.



**Figura 4.32:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" - Sacha 317 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.1.2 Sección de 6 1/8"

Posterior al análisis obtenido en la sección de 8 1/2", se realiza la corrida del programa con un factor de desgaste adicional para la

sección de 6 1/8", para ello tomamos como base el revestidor desgastado calculado en el punto 4.2.4.1.1.

La sección de 6 1/8" en este pozo fue perforada según lo muestra la tabla 4.19.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
20	10765	10	40	15
138	10903	25	100	20
23	10926	11.5	100	15
60	10986	6	60	24
170	11156	8	40	30

**Tabla 4.19:** Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8" – Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Basados en la tabla anterior las horas de rotación de esta sección fueron de 64 hrs, de las horas de rotación y fuerza normal que posee en este caso, se asignó un valor de 0.06 para el factor de desgaste en esta sección, como se detalla en la tabla 4.20.

Factor de Desgaste	0.06
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.03
Peso Total Desgastado(libras)	11.05

**Tabla 4.20:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8" – Sacha 317 H

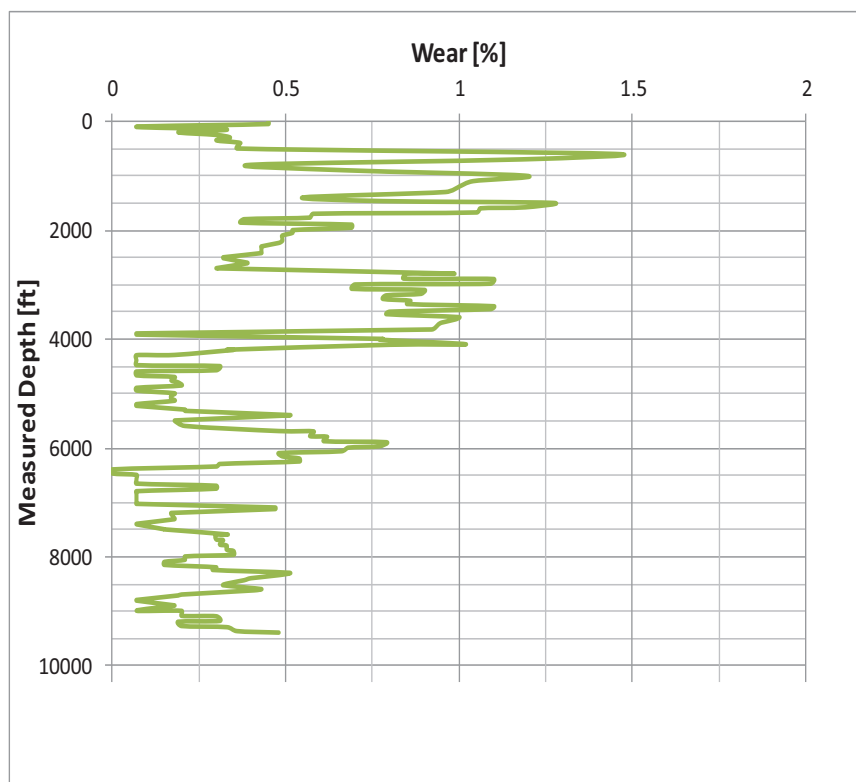
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Cabe recalcar que dichos valores son un factor adicional a los tomados como caso base (desgaste del revestidor de 9 5/8" durante las operaciones de perforación de 8 1/2").

La tabla 4.21 muestra el desgaste total del revestidor de 9 5/8" debido a la perforación de la sección de 8 1/2" y adicional la sección de 6 1/8" (desgaste total esperado en peso y en volumen al final de las actividades de perforación).

Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.09
Peso Total Desgastado(libras)	42.7

**Tabla 4.21:** Volumen y peso desgastado total– Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

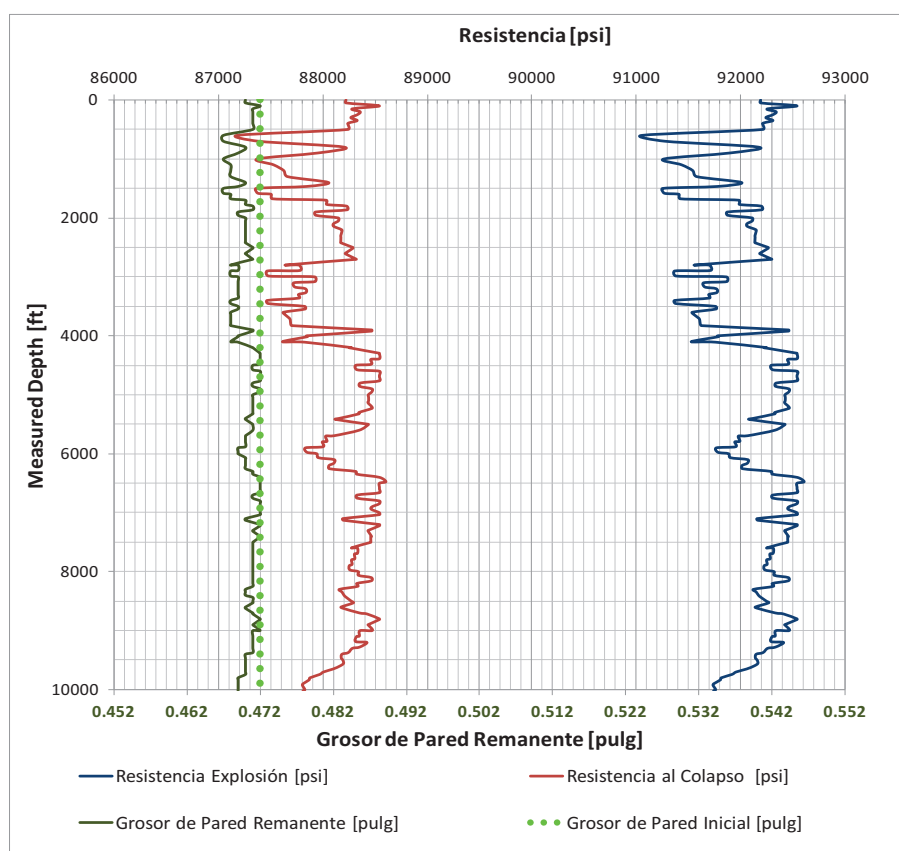


**Figura 4.33:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – Sacha 317 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.33 indica el desgaste porcentual del revestidor al final de la perforación de la sección de 6 1/8" del Sacha 317H, desgaste

porcentual final (desgaste de la sección de 8 ½” y de la sección de 6 1/8”).

Y en la figura 4.34 se muestra la variación de las propiedades mecánicas y el grosor del revestidor de 9 5/8” después de que se perforó la sección de 6 1/8”, estado de las propiedades mecánicas y físicas al final de las actividades de perforación del presente pozo



**Figura 4.34:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” durante operaciones de perforación de la sección de 8 ½” y 6 1/8” – Sacha 317 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

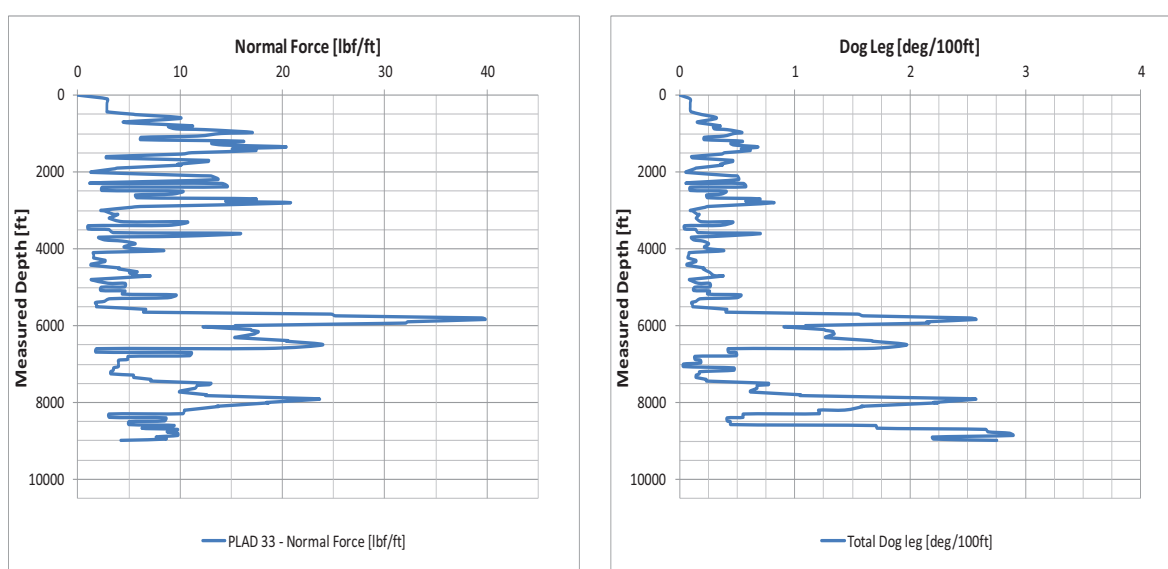
#### 4.2.4.2 Palo Azul D 33 H

El Palo Azul D 33H posee una configuración tipo “mujer embarazada”, con



un desplazamiento inicial negativo para después aterrizar horizontalmente dentro del reservorio con desplazamiento positivo.

La sección de 8 ½” para este pozo fue realizado con 63 horas de rotación y para la sección horizontal de 6 1/8” se tuvo un total de 31 horas, figura 4.28 y figura 4.29. Las fuerzas normales presentes en esta configuración fueron relativamente bajas y tan solo tuvieron una zona de fuerzas altas a 5800 pies (figura 4.35).



**Figura 4.35:** Fuerzas normales y “dog leg severity” –PLAD 33 H  
Elaborado por: Gerardo Duque

#### 4.2.4.2.1 Sección de 8 ½”

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
616	9906	35.3	80	14
659	10565	33.8	80	26
195	10760	30	80	26
383	11143	20	80	23

**Tabla 4.22:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 33 H  
Elaborado por: Gerardo Duque

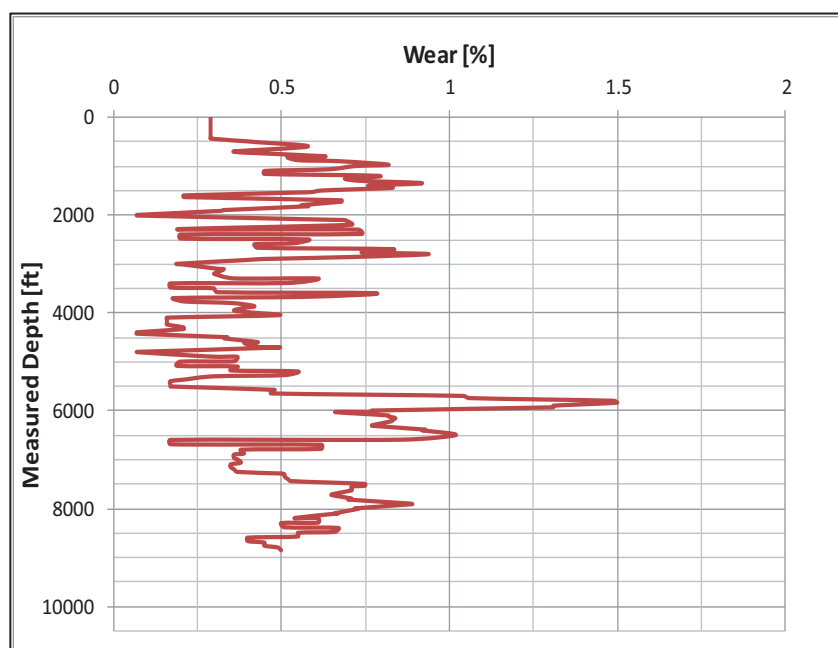
En la tabla 4.22 podemos apreciar la configuración de perforación de la sección de 8 ½” con un total de rotación de 62.6 horas.

De acuerdo a la información de las horas de rotación y fuerzas normales, el factor de desgaste considerado fue de 0.13, como se puede observar en la tabla 4.23.

Factor de Desgaste	0.13
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.08
Peso Total Desgastado(libras)	40.05

**Tabla 4.23:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

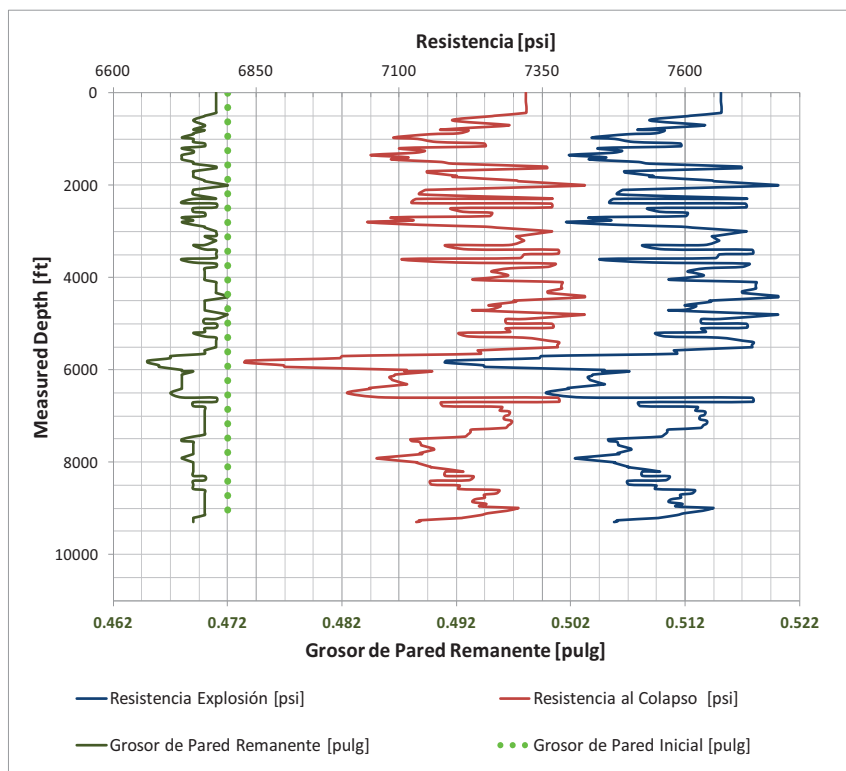
En la figura 4.36 se puede visualizar el desgaste porcentual que sufrió el revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la sección de 8 ½”.



**Figura 4.36:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8” durante operaciones de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 33 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

La afectación de las propiedades mecánicas del revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la sección puede ser observada en la figura 4.37. De ella podemos deducir que la mayor variación se da en la parte donde el “dog leg severity” tiene mayor afectación, desde 5800 pies.



**Figura 4.37:** Grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2”– PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.2.2 Sección de 6 1/8”

Tomando el resultado de la sección de 8 1/2” como base se puede realizar el análisis para la perforación de la sección de 6 1/8””, para el efecto utilizamos el software con un factor de desgaste específico para la sección de producción para ello tomamos como base el revestidor desgastado calculado en el punto 4.2.4.2.1 de este proyecto. La sección de 6 1/8” fue perforada según lo muestra la tabla 4.19.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
107	11250	21.4	40	20
210	11460	32.31	120	12
110	11570	27.5	120	12
430	12000	28.67	120	12

**Tabla 4.24:** Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8" – PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Basados en la tabla 4.24 las horas de rotación de la sección de 6 1/8" fueron de 30.5, por sus horas de rotación y por la fuerza normal de la que el pozo es sujeto se asignó un nuevo valor de 0.03 para el nuevo factor de desgaste de la sección de 6 1/8", como se describe en la tabla 4.25.

Factor de Desgaste	0.03
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.02
Peso Total Desgastado(libras)	8.92

**Tabla 4.25:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8" – PLAD 33 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Cabe recalcar que dichos valores son adicionales a los tomados como el caso base (desgaste del revestidor de 9 5/8" durante las operaciones de perforación de 8 1/2").

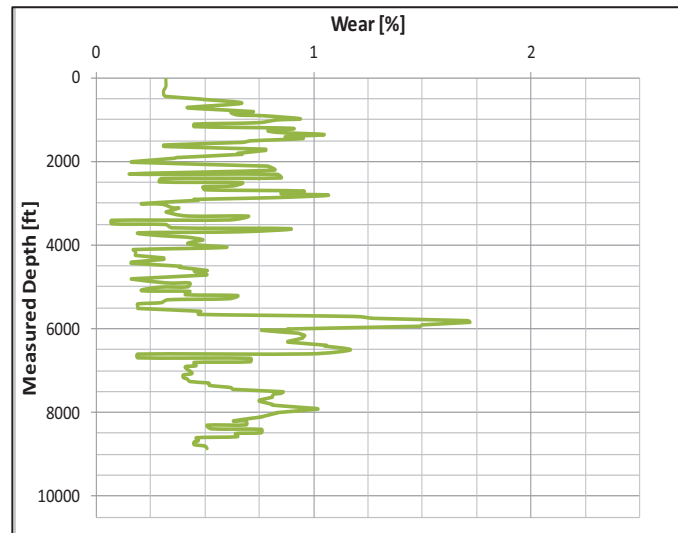
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.1
Peso Total Desgastado(libras)	48.97

**Tabla 4.26:** Volumen y peso desgastado total – PLAD 33 H

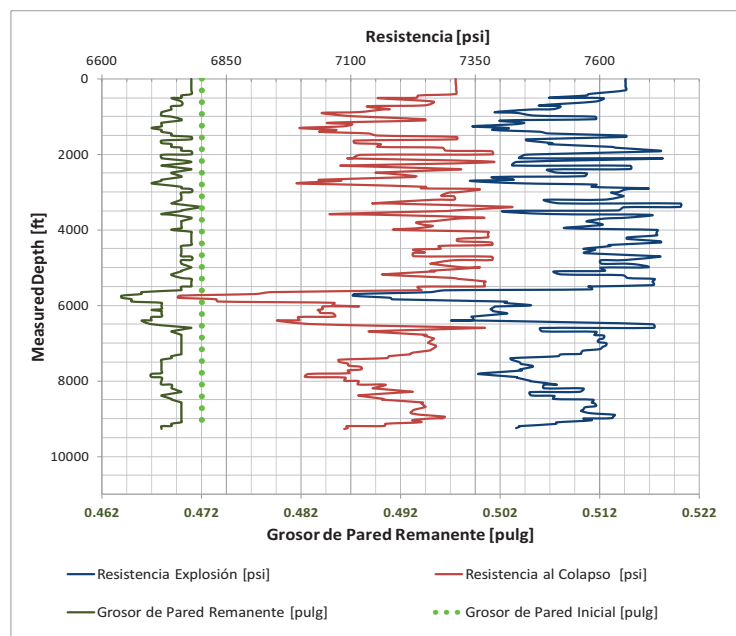
**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la tabla 4.26 muestra el desgaste total del revestidor de 9 5/8" debido a la perforación de la sección de 8 1/2" y adicional la sección

de 6 1/8" (desgaste total esperado en peso y en volumen al final de las actividades de perforación).



**Figura 4.38:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



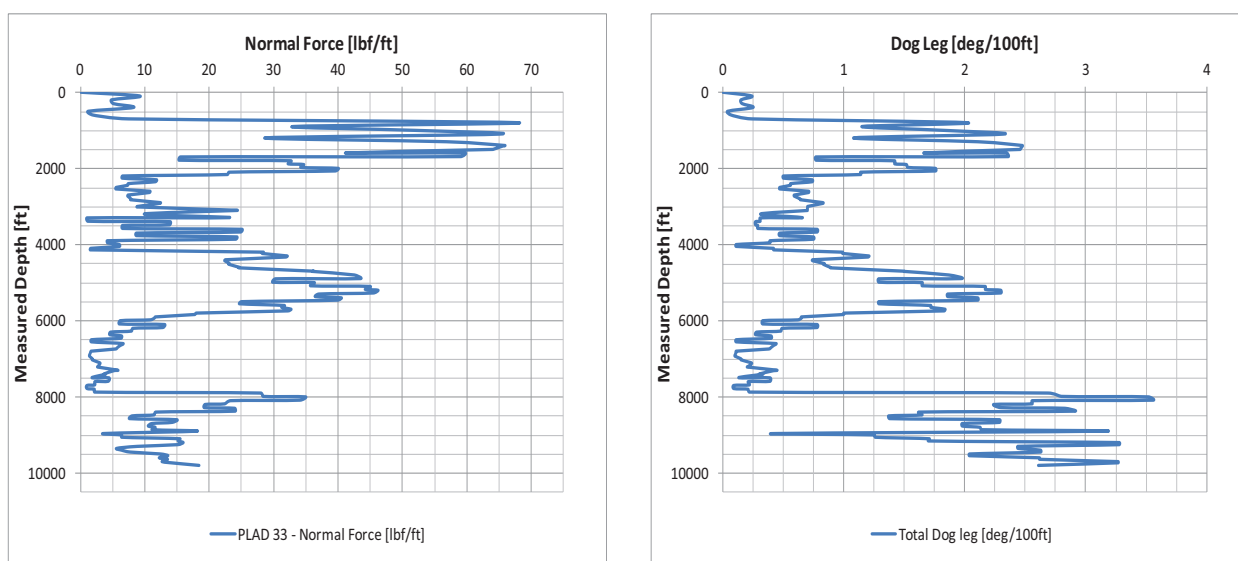
**Figura 4.39:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.38 indica el desgaste porcentual del revestidor al final de la perforación de la sección de 6 1/8" del PLAD 33H, desgaste porcentual final (desgaste de la sección de 8 1/2" y de la sección de 6 1/8").

Y en la figura 4.39 se muestra la variación de las propiedades mecánicas y el grosor del revestidor de 9 5/8" después de que se perforó la sección de 6 1/8", estado de las propiedades mecánicas y físicas al final de las actividades de perforación del presente pozo.

#### 4.2.4.3 Palo Azul D 28 H

Las fuerzas normales y el DLS no variarán con la sección perforada, puesto que el revestidor que estamos analizando es el de 9 5/8" únicamente, esto es representado en la figura 4.40.



**Figura 4.40:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – PLAD 28 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

##### 4.2.4.3.1 Sección de 8 1/2”

En la tabla 4.27 se aprecia la configuración de perforación de la sección de 8 1/2” con un total de rotación de 68.7 horas, de acuerdo a la información de las horas de rotación y fuerzas normales, el factor

de desgaste considerado fue de 0.14, como se puede observar en la tabla 4.28.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
221	10311	27.6	80	25
237	10548	36.4	90	25
244	10792	27.1	100	25
38	10830	25.3	80	20
595	11425	27	40	17
90	11515	36	40	19
75	11590	16.6	40	19
122	11712	34.8	40	19
43	11755	17.2	40	17
175	11930	20.5	40	19
221	10311	27.6	80	25

**Tabla 4.27:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 28 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

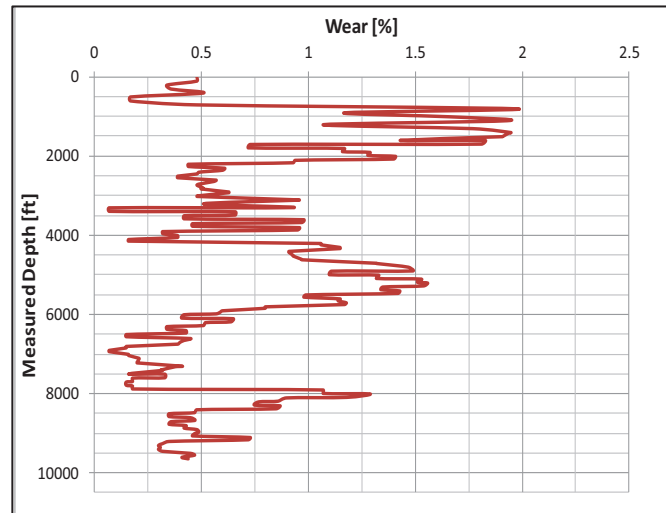
Factor de Desgaste	0.14
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.16
Peso Total Desgastado(libras)	79.4

**Tabla 4.28:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 33 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

En la figura 4.36 se puede visualizar el desgaste porcentual que sufrió el revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la sección de 8 ½”.

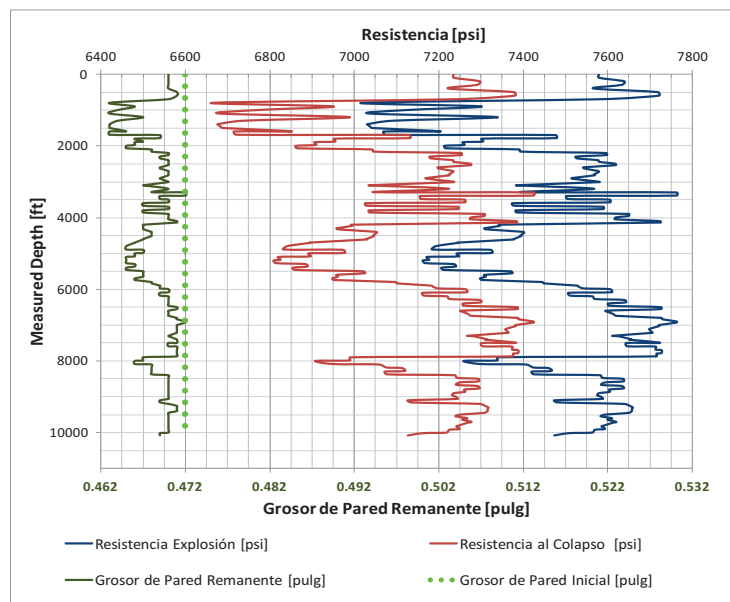
La afectación de las propiedades mecánicas del revestidor de 9 5/8” durante la perforación de la sección puede ser observada en la figura 4.41. De ella podemos deducir que la mayor variación se da en la parte donde el “dog leg severity” tiene mayor afectación, desde en

etapas superficiales alcanzando valores cercanos al 2%, esto se evidencia debido a que el KOP para la sección negativa de construcción empieza cerca de los 500 pies.



**Figura 4.41:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 28 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.42:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 28 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque



Con la misma figura podemos deducir que el desgaste se presenta de manera muy errática con picos de desgaste que llegan a variara entre el 1 y 1.5% que siguen estando en el rango de lo aceptable para este tipo de configuraciones.

#### 4.2.4.3.2 Sección de 6 1/8"

Tomando el resultado de la sección de 8 1/2" como base se puede realizar el análisis para la perforación de la sección de 6 1/8", para el efecto utilizamos el software con un factor de desgaste específico para la sección de producción para ello tomamos como base el revestidor desgastado calculado en el punto 4.2.4.3.1. La sección de 6 1/8" fue perforada según lo muestra la tabla 4.29.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
3	11933	53	50	20
440	12373	31.6	100	12
77	12450	38.5	100	15

**Tabla 4.29:** Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8" – PLAD 28 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Factor de Desgaste	0.02
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.03
Peso Total Desgastado(libras)	11.55

**Tabla 4.30:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8" – PLAD 28 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Basados en la tabla 4.29 las horas de rotación de la sección de 6 1/8" fueron de 18.5, por sus horas de rotación y por la fuerza normal de la que el pozo es sujeto se asignó un nuevo valor de 0.03 para el nuevo

factor de desgaste de la sección de 6 1/8", como se describe en la tabla 4.30.

Cabe recalcar que dichos valores son adicionales a los tomados como el caso base (desgaste del revestidor de 9 5/8" durante las operaciones de perforación de 8 1/2").

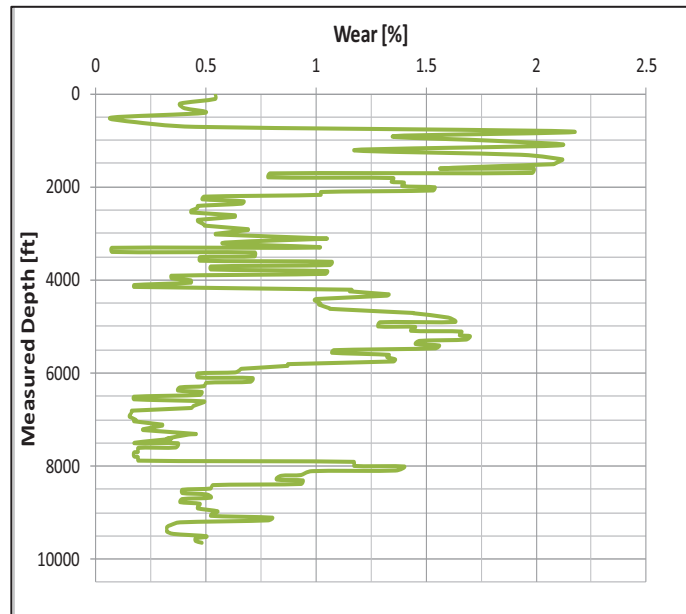
En la tabla 4.31 se muestra el desgaste total del revestidor de 9 5/8" debido a la perforación de la sección de 8 1/2" y adicional la sección de 6 1/8" (desgaste total esperado en peso y en volumen al final de las actividades de perforación).

Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.19
Peso Total Desgastado(libras)	90.95

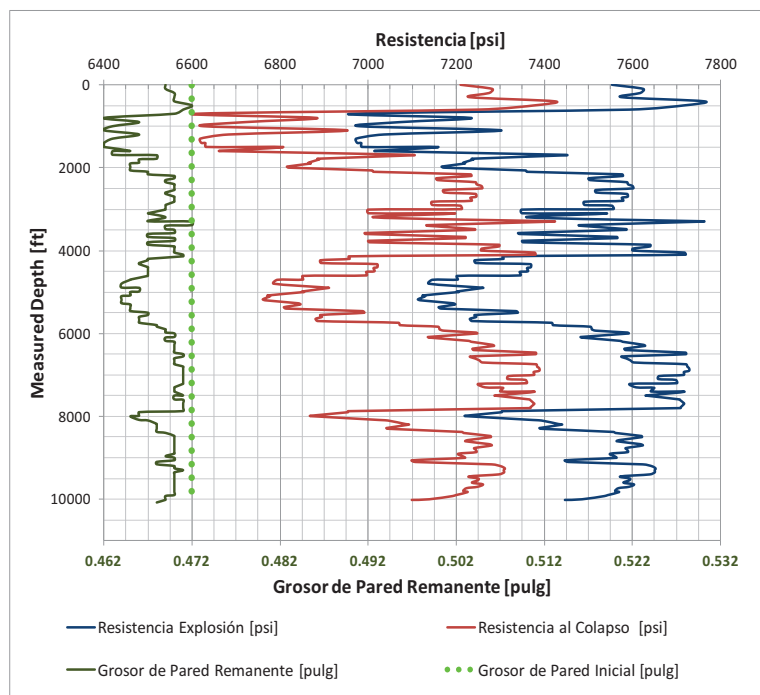
**Tabla 4.31:** Volumen y peso desgastado total – PLAD 28 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.43 indica el desgaste porcentual del revestidor al final de la perforación de la sección de 6 1/8" del PLAD 28 H, desgaste porcentual final (desgaste de la sección de 8 1/2" y de la sección de 6 1/8"), en ella se ve que en la sección crítica superficial se genera un desgaste de 2.2%.

Y en la figura 4.44 se muestra la variación de las propiedades mecánicas y el grosor del revestidor de 9 5/8" después de que se perforó la sección de 6 1/8", estado de las propiedades mecánicas y físicas al final de las actividades de perforación del presente pozo. En ella se observa hasta un desgaste de una décima de grosor de la pared del revestidor lo que pone una gran variación de las propiedades mecánicas del mismo, una reducción de 750 psi en la resistencia al estallido y 850 psi al colapso.



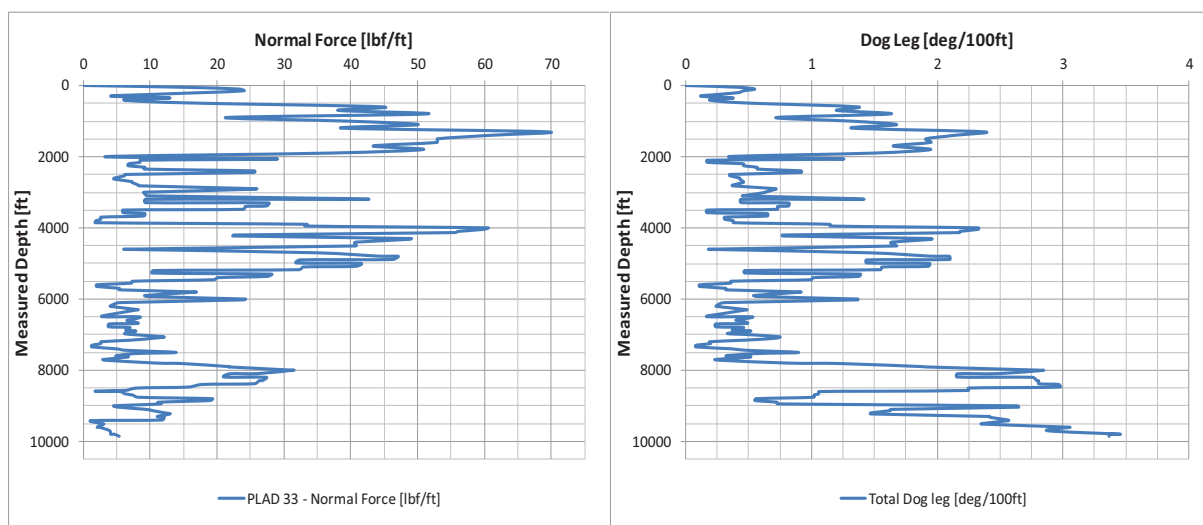
**Figura 4.43:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 28 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.44:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 28 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.4 Palo Azul D 34 H

Las fuerzas normales y el “dog leg severity” no variará con la sección perforada, puesto que el revestidor que estamos analizando es de 9 5/8” únicamente, esto es representado en la figura 4.45.



**Figura 4.45:** Fuerzas normales y “dog leg severity” – PLAD 34 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

##### 4.2.4.4.1 Sección de 8 ½”

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
1135	11050	30	40	20
128	11178	42.67	100	22
188	11366	31.33	100	20

**Tabla 4.32:** Descripción de la perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

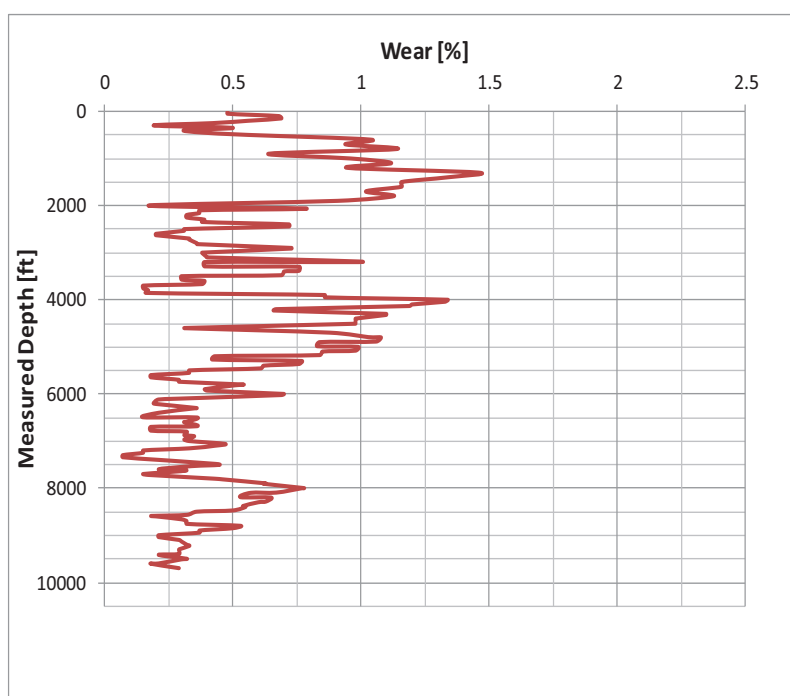
En la tabla 4.32 se aprecia la configuración de perforación de la sección de 8 ½” con un total de rotación de 46.8 horas, de acuerdo a la información de las horas de rotación y fuerzas normales, el factor

de desgaste considerado fue de 0.15, como se puede observar en la tabla 4.33. Y en la figura 4.46 se puede visualizar el desgaste porcentual que sufrió el revestidor de 9 5/8" durante la perforación de la sección de 8 1/2".

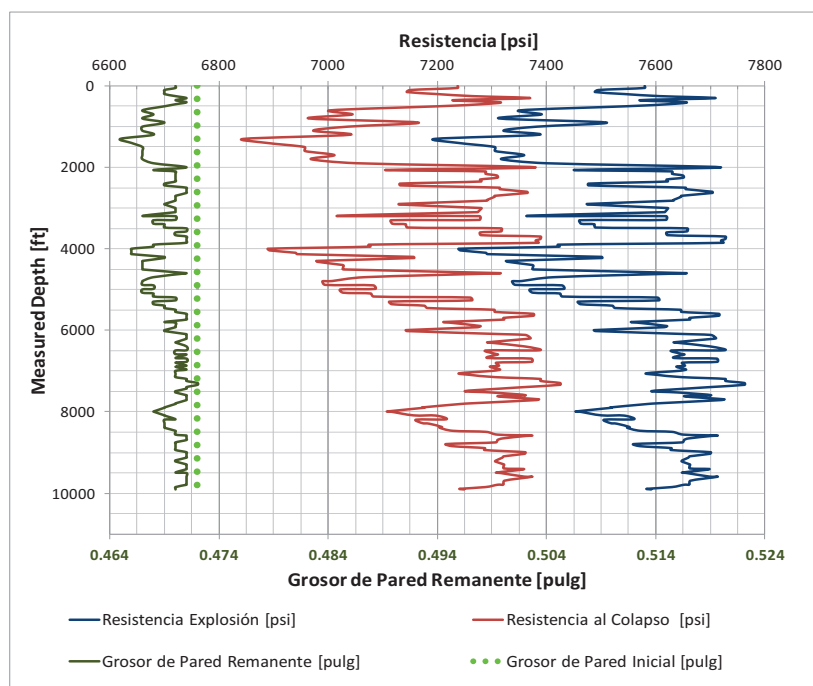
Factor de Desgaste	0.15
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.1
Peso Total Desgastado(libras)	50.87

**Tabla 4.33:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado – PLAD 34 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La afectación de las propiedades mecánicas del revestidor de 9 5/8" durante la perforación de la sección puede ser observada en la figura 4.47. De ella se deduce que la mayor variación se da en la parte donde el "dog leg severity" tiene mayor afectación, a 1350 y 4000 pies.



**Figura 4.46:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" – PLAD 34 H  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.47:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8” durante operaciones de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.2.4.4.2 Sección de 6 1/8”

Tomando el resultado de la sección de 8 ½” como base se puede realizar el análisis para la perforación de la sección de 6 1/8”, para el efecto utilizamos el software con un factor de desgaste específico para la sección de producción para ello tomamos como base el revestidor desgastado calculado en el punto 4.2.4.4.1. La sección de 6 1/8” fue perforada según lo muestra la tabla 4.34.

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
94	11460	15.67	50	20
603	12063	44.67	120	15

**Tabla 4.34:** Descripción de la perforación de la sección de 6 1/8” – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Basados en la tabla 4.34, las horas de rotación de la sección de 6 1/8" fueron de 19.5, por sus horas de rotación y por la fuerza normal de la que el pozo es sujeto se asignó un nuevo valor de 0.02 para el nuevo factor de desgaste de la sección de 6 1/8", como se describe en la tabla 4.35.

Factor de Desgaste	0.02
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.02
Peso Total Desgastado(libras)	7.67

**Tabla 4.35:** Factor de desgaste, volumen y peso desgastado, sección de 6 1/8" – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Cabe recalcar que dichos valores son adicionales a los tomados como el caso base (desgaste del revestidor de 9 5/8" durante las operaciones de perforación de 8 1/2").

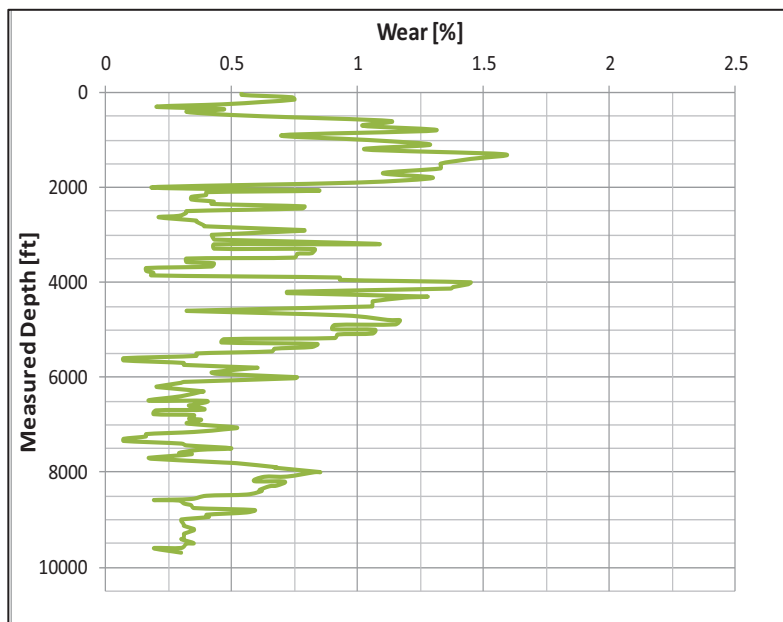
En la tabla 4.36 muestra el desgaste total del revestidor de 9 5/8" debido a la perforación de la sección de 8 1/2" y adicional la sección de 6 1/8" (desgaste total esperado en peso y en volumen al final de las actividades de perforación).

Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.12
Peso Total Desgastado(libras)	58.54

**Tabla 4.36:** Volumen y peso desgastado total – PLAD 34 H

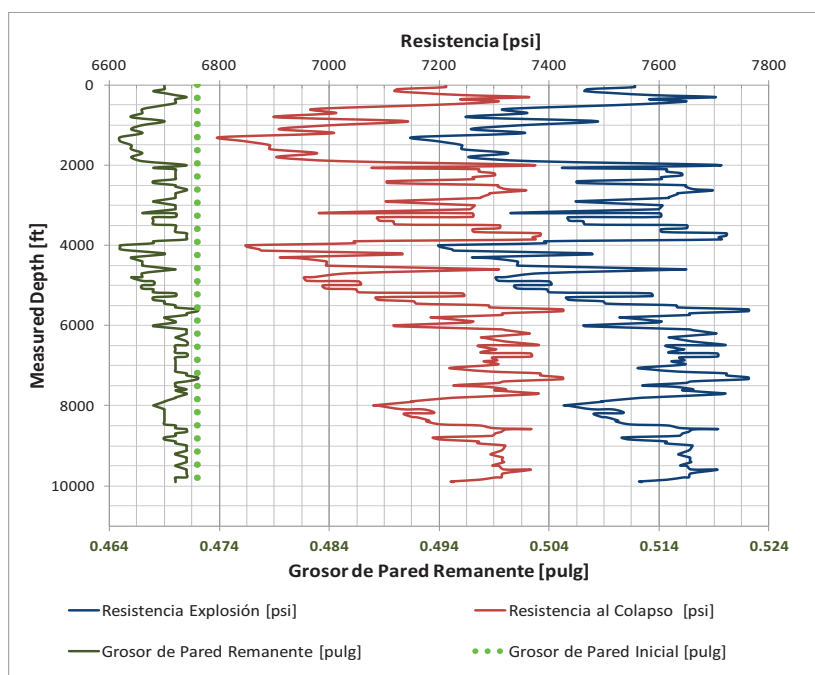
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 4.48 indica el desgaste porcentual del revestidor al final de la perforación de la sección de 6 1/8" del PLAD 33H, desgaste porcentual final (desgaste de la sección de 8 1/2" y de la sección de 6 1/8").



**Figura 4.48:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 4.49:** Comparación entre la resistencia al colapso - explosión y el grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" durante operaciones de perforación de la sección de 8 1/2" y 6 1/8" – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque



Y en la figura 4.49 se muestra la variación de las propiedades mecánicas y el grosor del revestidor de 9 5/8" después de que se perforó la sección de 6 1/8", estado de las propiedades mecánicas y físicas al final de las actividades de perforación del presente pozo. El desgaste al final en la zona de mayor severidad llega a ser de una centésima de pulgada, sin embargo la reducción en la resistencia al colapso se encuentra cerca de 400 psi y la resistencia al estallido esta cerca de los 500 psi.

#### 4.2.5 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA PREDICCIÓN

En los apartados 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 y 4.2.4 se puede observar que para cada configuración direccional el factor de desgaste se encuentra en función de las fuerzas normales que se presentan (esto incluye el valor de la sección de desplazamiento vertical) y a su vez en menor manera de las horas de rotación .

Operadora	Campo	Pozo	Tipo	Desplazamiento [ft]	Horas de Perforación Sección 8 1/2" [hrs]	Horas Rotando 6 1/8" [hrs]	Máximo valor de Fuerzas Normales Alcanzado [lbf/ft]	Wear Factor	Total Worn Weight (lb)
RIO NAPO	SACHA	SAC 237	S	3162	88	n/a	70	0.16	93.15
		SAC 273	S	2727	31	n/a	112	0.18	72.35
		SAC 275	S	2269	28	n/a	57	0.12	22.25
		SAC 341	J MODIFICADO	4058	66	n/a	90	0.18	63.82
		SAC 316	S	3532	62	n/a	95	0.19	117.41
		SAC 317	HORIZONTAL	2486	36	64	87	0.23	54.39
		SAC 247	J	4480	84	n/a	78	0.17	77.16
PETROAMAZONAS	PALO AZUL D	PLAD 33	HORIZONTAL	3371	63	31	40	0.16	48.97
		PLAD 28	HORIZONTAL	1087	69	19	68	0.16	90.95
		PLAD 34	HORIZONTAL	1662	47	20	70	0.17	58.54
	PALO AZUL B	PLAB 43	J	1718	31	n/a	72	0.13	61.04
	YNOB	YNOB 16	J MODIFICADO	4993	14	n/a	67	0.12	12.16

**Tabla 4.37:** Resumen de selección de factores de desgaste de acuerdo a horas de rotación, fuerzas normales y desplazamiento horizontal

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Como se resume en la tabla 4.37 el factor de desgaste depende en un 80% de las fuerzas normales presentes y un 20% corresponde a las horas de rotación a la cuál el revestidor es sujeto, el máximo valor de desgaste se estableció de la consideración del pozo direccional con factores más agresivos (Sacha 316D), de ahí en adelante se realizó una relación entre los factores determinantes del caso más extremo y se continuó asignando valores de desgaste en relación a éste según las condiciones particulares de cada pozo en comparación a nuestro caso más extremo..

### **4.3 RECOLECCIÓN DE LIMALLAS DURANTE LA PERFORACIÓN**

El método de recolección de limallas se lleva a cabo en la locación del taladro y según normas generales de la compañía que presta el servicio de registros de lodo ( Mud Logging ). La recolección de las mismas se ejecuta durante todo el día de perforación y se evalúa en dos horas específicas, siendo la primera a las 5:00 am y la otra a las 3:00 pm.

Este método no asegura una recolección adecuada y no lleva un control estricto del acero desgastado que es realmente producido. Basados en la recolección pobre de limallas en los pozos de estudios, se obtiene la siguiente información que si bien no es un dato próximo a la realidad, en complemento con la información del software CWear pueden arrojar datos aproximados.

#### **4.3.1 POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”**

##### **4.3.1.1 *Sacha 273D***

La sección de 8 ½” empezó a ser perforada el 10 de Mayo del 2012. La misma tuvo una duración de 3 días, en la tabla 4.38 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 273 D	10-May-12	10-May-12	290	916	2.02
		11-May-12	298		
		12-May-12	328		

**Tabla 4.38:** Recolección de limallas del pozo Sacha 273D, durante la perforación de la sección de 8 ½"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.1.2 *Sacha 275D*

La sección de 8 ½" empezó a ser perforada el 16 de Junio del 2012. La misma tuvo una duración de 2 días, en la tabla 4.39 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 275 D	16-Jun-12	16-Jun-12	435	1052	2.32
		17-Jun-12	617		

**Tabla 4.39:** Recolección de limallas del pozo Sacha 275D, durante la perforación de la sección de 8 ½"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.1.3 *Sacha 316D*

La sección de 8 ½" empezó a ser perforada el 24 de Junio del 2012. La misma tuvo una duración de 3 días, en la tabla 4.40 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 316 D	24-Jun-12	24-Jun-12	548	1050	2.31
		25-Jun-12	329		
		26-Jun-12	173		

**Tabla 4.40:** Recolección de limallas del pozo Sacha 316D, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.1.4 Sacha 237D

La sección de 8 1/2" empezó a ser perforada el 22 de Julio del 2012. La misma tuvo una duración de 6 días, en la tabla 4.41 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 237 D	22-Jul-12	22 Julio 2012	0	545	1.20
		23 Julio 2012	360		
		24 Julio 2012	49		
		25 Julio 2012	65		
		26 Julio 2012	39		
		27 Julio 2012	32		

**Tabla 4.41:** Recolección de limallas del pozo Sacha 237D, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.2 DIRECCIONALES TIPO "J"

En los pozos relacionados con este perfil se detalla a continuación el proceso de recolección según los días que duró la actividad de perforación.

#### 4.3.2.1 Sacha 247D

La sección de 8 ½" empezó a ser perforada el 20 de Febrero del 2012. La misma tuvo una duración de 7 días, en la tabla 4.42 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 247 D	20-Feb-12	20-Feb-13	193	1418	3.12
		21-Feb-13	550		
		22-Feb-13	138		
		23-Feb-13	150		
		24-Feb-13	152		
		25-Feb-13	150		
		26-Feb-13	85		

**Tabla 4.42:** Recolección de limallas del pozo Sacha 247D, durante la perforación de la sección de 8 ½"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.2.2 Palo Azul B 43D

La sección de 8 ½" empezó a ser perforada el 16 de Mayo del 2012. La misma tuvo una duración de 6 días, en la tabla 4.43 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
PALO AZUL B 43 D	16-May-12	16-May-12	0	827	1.82
		17-May-12	267		
		18-May-12	360		
		19-May-12	100		
		20-May-12	100		
		21-May-12	0		

**Tabla 4.43:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul B 43D, durante la perforación de la sección de 8 ½"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 4.3.3 POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”

De los dos tipos direccionales J modificados el Yanaquincha Oeste B 16 fue el que tuvo mayor peso de recolección debido a las buenas prácticas de recolección que fueron implementadas para dicho pozo.

#### 4.3.3.1 *Sacha 341D*

La sección de 8 ½” empezó a ser perforada el 19 de Septiembre del 2012. La misma tuvo una duración de 5 días, en la tabla 4.44 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]	Recolección limallas [lbm]	
SACHA 341 D	19-Sep-12	19-Sep-12	210	1063	2.34
		20-Sep-12	317		
		21-Sep-12	241		
		22-Sep-12	145		
		23-Sep-12	150		

**Tabla 4.44:** Recolección de limallas del pozo Sacha 341D, durante la perforación de la sección de 8 ½”

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.3.2 *Yanaquincha Oeste B 16 D*

La sección de 8 ½” empezó a ser perforada el 10 de Mayo del 2011. La misma tuvo una duración de 6 días, en la tabla 4.45 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
YANAQUINCHA OESTE B 16 D	10-May-11	10-May-11	28	2110	4.65
		11-May-11	972		
		12-May-11	960		
		13-May-11	150		

**Tabla 4.45:** Recolección de limallas del pozo Yanaquincha Oeste B 16D, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4 POZOS HORIZONTALES

Los pozos horizontales analizados fueron 4 y en todos ellos se contabiliza el peso de limallas recolectadas en la sección de 8 1/2" y 6 1/8"

##### 4.3.4.1 *Sacha 317 H*

En este apartado se analizara las dos secciones que corresponden a 8 1/2" y 6 1/8" para este pozo.

###### 4.3.4.1.1 *Sección de 8 1/2"*

La sección de 8 1/2" empezó a ser perforada el 5 de Agosto del 2012. La misma tuvo una duración de 5 días, en la tabla 4.46 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

###### 4.3.4.1.2 *Sección de 6 1/8"*

La perforación de la sección de 6 1/8", que empezó el 14 de Agosto del 2012 y tuvo una duración de 8 días con un total de 64 horas de rotación, así el proceso de recolección de limallas se establece en la tabla 4.47.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 317 H	5-Aug-12	5-Aug-12	205	971	2.14
		6-Aug-12	88		
		7-Aug-12	156		
		8-Aug-12	101		
		9-Aug-12	421		

**Tabla 4.46:** Recolección de limallas del pozo Sacha 317H, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 317 H	14-Aug-12	14-ago-12	127	585	1.29
		15-ago-12	123		
		16-ago-12	97		
		17-ago-12	47		
		18-ago-12	63		
		19-ago-12	20		
		20-ago-12	71		
		21-ago-12	37		

**Tabla 4.47:** Recolección de limallas del pozo Sacha 317H, durante la perforación de la sección de 6 1/8"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4.2 Palo Azul D 33 H

En este apartado se analizará las dos secciones que corresponden a 8 1/2" y 6 1/8" para este pozo.

##### 4.3.4.2.1 Sección 8 1/2"

La sección de 8 1/2" empezó a ser perforada el 15 de Octubre del 2012. La misma tuvo una duración de 14 días, en la tabla 4.48 se



visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]	Recolección limallas [lbm]	
PALO AZUL D 33H	15-Oct-12	15-Oct-12	86	4374	9.63
		16-Oct-12	600		
		17-Oct-12	649		
		18-Oct-12	178		
		19-Oct-12	582		
		20-Oct-12	582		
		21-Oct-12	495		
		22-Oct-12	379		
		23-Oct-12	379		
		24-Oct-12	110		
		25-Oct-12	0		
		26-Oct-12	30		
		27-Oct-12	224		
		28-Oct-12	80		

**Tabla 4.48:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 33H, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4.2.2 Sección 6 1/8"

La sección de 8 1/2" empezó a ser perforada el 31 de Octubre del 2012. La misma tuvo una duración de 7 días, con un total de 30.5 horas de rotación. En la tabla 4.49 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]	Recolección limallas [lbm]	
PALO AZUL D 33H	31-Oct-12	31-oct-12	199	1335	2.94
		01-nov-12	142		
		02-nov-12	95		
		03-nov-12	51		
		04-nov-12	231		
		05-nov-12	345		
		06-nov-12	272		

**Tabla 4.49:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 33H, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4.3 Palo Azul D 28 H

En este apartado se analizara las dos secciones que corresponden a 8 1/2" y 6 1/8" en el pozo Palo Azul 28 H.

##### 4.3.4.3.1 Sección 8 1/2"

La sección de 8 1/2" empezó a ser perforada el 6 de Diciembre del 2012. La misma tuvo una duración de 8 días, en la tabla 4.50 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

##### 4.3.4.3.2 Sección 6 1/8"

La sección de 6 1/8" empezó a ser perforada el 15 de Diciembre del 2012. La misma tuvo una duración de 4 días, en la tabla 4.51 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]	Recolección limallas [lbm]	
PALO AZUL D 28 H	6-Dec- 12	6-Dec-12	209	2169	4.78
		7-Dec-12	107		
		8-Dec-12	75		
		9-Dec-12	245		
		10-Dec-12	203		
		11-Dec-12	320		
		12-Dec-12	660		
		13-Dec-12	350		

**Tabla 4.50:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 28H, durante la perforación de la sección de 8 ½"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]	Recolección limallas [lbm]	
PALO AZUL D 28 H	15-Dec- 12	15-Dec-12	135	690	1.52
		16-Dec-12	265		
		17-Dec-12	40		
		18-Dec-12	250		

**Tabla 4.51:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 28H, durante la perforación de la sección de 6 1/8"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4.4 Palo Azul D 34 H

En este apartado se analizara las dos secciones que corresponden a 8 ½" y 6 1/8" en el pozo Palo Azul D 34 H.

##### 4.3.4.4.1 Sección 8 ½"

La sección de 8 ½" empezó a ser perforada el 15 de Enero del 2012. La misma tuvo una duración de 8 días, en la tabla 4.52 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
PALO AZUL D 34 H	15-Jan-12	15-Jan-12	42	642	1.41
		16-Jan-12	70		
		17-Jan-12	157		
		18-Jan-12	86		
		19-Jan-12	55		
		20-Jan-12	90		
		21-Jan-12	94		
		22-Jan-12	48		

**Tabla 4.52:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 34H, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.3.4.4.2 Sección 6 1/8"

La sección de 6 1/8" empezó a ser perforada el 23 de Enero del 2012. La misma tuvo una duración de 8 días, en la tabla 4.53 se visualiza la tasa de recolección diaria así como la recolección total para este pozo.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
PALO AZUL D 34 H	23-Jan-12	23-Jan-12	45	345	0.76
		24-Jan-12	108		
		25-Jan-12	139		
		26-Jan-12	53		

**Tabla 4.53:** Recolección de limallas del pozo Palo Azul D 34H, durante la perforación de la sección de 6 1/8"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4 RECOLECCIÓN DE LIMALLAS EN OPERACIONES DE COMPLETACIÓN

Posterior al asentamiento del revestidor de producción se ha corrido un ensamblaje de limpieza en la mayoría de los pozos de estudio para poder mejorar la recolección de cantidad de limallas que han permanecido en el hoyo, aquellas partículas metálicas que se han adherido al revestidor debido a la magnetización del acero o aquellas que no pudieron ser levantadas a superficie.

La herramienta utilizada para este propósito en la mayoría de los casos fue el magneto Magnostar<sup>28</sup> (figura 4.66), la que posee una capacidad de arrastrar hasta 200 libras de material ferroso.



**Figura 4.50:** Magnostar , herramienta especializada en recolección de limallas en la etapa de completación

**Fuente:** Schlumberger – MI Swaco, Magnostar

---

<sup>28</sup> Magnostar, herramienta comercial perteneciente a MI SWACO- Schlumberger®

#### 4.4.1 POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”

##### 4.4.1.1 *Sacha 273D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 14 de mayo del 2012 a las 06:00, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 ½” + Bit Sub + 9 5/8” Canasta + 9 5/8” Cepillo + 9 5/8” Magneto + 11x 5” HWDP, se bajó el BHA con rotación y circulación continuó bajando BHA de limpieza con rotación y circulación desde 8865' hasta 9337' con 800 GPM, 1950 psi y 70 RPM. Tocó tope de liner a la profundidad de 9347' con 4 Klbs, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios 700 GPM y 2000 psi. Sacó BHA de limpieza desde 9347 hasta superficie.

Posteriormente procedió a armarse BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", se armó broca de 6 1/8" + 3 1/2" bit sub + canasta 7" + cepillo + magneto + 6 x 4 3/4" Drill Collars + 45 tubos de tubería de perforación de 3 1/2" + Crossover + tubería de perforación hasta 10826 pies, se limpió cemento contaminado, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. Y circuló 2 fondos arriba con 680 GPM y 2400 psi. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la Tabla 4.53.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	6
BHA#2 Limpieza	5

**Tabla 4.54:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – Sacha 273D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.1.2 *Sacha 237D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 01 de agosto del 2012 a las 07:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 ½" + Bit Sub + 9 5/8" Canasta + 9 5/8" Cepillo + 9 5/8" Magneto + 11x 5" HWDP, se bajó el BHA con rotación y circulación las últimas 4 paradas con 800 GPM. Tocó tope de liner a la profundidad de 8498 pies, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios. Sacó BHA de limpieza desde 8498 hasta superficie.

Posteriormente procedió a armarse BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", se armó broca de 6 1/8" + 3 1/2" bit sub + 7" canasta + 7" cepillo + magneto + 6 x 4 3/4" Drill Collars + 45 tubos de tubería de perforación de 3 1/2" + Crossover + tubería de perforación hasta 10536 pies, se limpió cemento contaminado y se rotó landing collar, y lo sacó a superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.55.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	7
BHA#2 Limpieza	2

**Tabla 4.55:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 237D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.1.3 *Sacha 275D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 22 de junio del 2012 a las 09:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 ½" + Bit Sub + 9 5/8" Canasta + 9 5/8" Cepillo + 9 5/8" Magneto + 11x 5" HWDP, se bajó el BHA con rotación y circulación

continuó bajando BHA de limpieza con rotación y circulación las últimas 300 pies con 600 GPM y 40 RPM. Tocó tope de liner a la profundidad de 8958 pies, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios. Sacó BHA de limpieza desde 8958 hasta superficie.

Posteriormente procedió a armarse BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", se armó broca de 6 1/8" + 3 1/2" bit sub + 7" canasta + 7" cepillo + 7" magneto + 6 x 4 3/4" Drill Collars + 11 tubos de tubería de perforación de 3 1/2" + Crossover + 5" tubería de perforación hasta 10000 pies, se limpió cemento contaminado, cambió fluido de perforación por Salmuera KCl de 8.4 lpg y se sacó a superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.56.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	3
BHA#2 Limpieza	2

**Tabla 4.56:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 275D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.1.4 *Sacha 316D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 29 de junio del 2012 a las 22:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 1/2" + Bit Sub + 9 5/8" Canasta + 9 5/8" Cepillo + 9 5/8" Magneto, se bajó el BHA con rotación y circulación continuó bajando BHA de limpieza con rotación y circulación los últimos 300 pies con 800 GPM. Tocó tope de liner a la profundidad de 8960 pies, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios. Sacó BHA de limpieza desde 8960 hasta superficie.



Posteriormente procedió a armarse BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", se armó broca de 6 1/8" + 3 1/2" bit sub + 7" canasta + 7" cepillo + magneto + 6 x 4 3/4" Drill Collars + 45 tubos de tubería de perforación de 3 1/2" + Crossover + tubería de perforación hasta 10622 pies, se limpió cemento contaminado y se sacó a superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.57.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	10
BHA#2 Limpieza	33

**Tabla 4.57:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 316D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.2 POZOS DIRECCIONALES TIPO "J"

##### 4.4.2.1 *Sacha 247D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 11 de marzo del 2013 a las 08:00, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 1/2" + Bit Sub + 9 5/8" RBMHD - HEAVY DUTY + 9 5/8" MSTARHD MAGNOSTAR, se bajó el BHA limpiando el hoyo, continuó bajando BHA de limpieza con rotación y circulación hasta 8003 pies, donde tocó tope de liner, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios 700 GPM y 2000 psi. Sacó BHA de limpieza desde 9347 hasta superficie. Posteriormente se armó BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", broca de 6 1/8" + 4 1/2" bit sub + 4 3/4" RAZOR BACK + 7" MSTARHD MAGNOSTAR + 1 x 4 3/4" Spiral Drill Collars + tubería de perforación de 3 1/2" + Crossover + Polish Mill + tubería de perforación hasta 10974 pies, limpió cemento y rotó landing collar, acondicionó hoyo y sacó ensamblaje a superficie. El peso de limalla recolectada se pueden observar en la tabla 4.58.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	13.2
BHA#2 Limpieza	15.4

**Tabla 4.58:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 247D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.2.2 *Palo Azul B 43D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 05 de junio del 2012 a las 06:00, y el pozo no poseyó un BHA de limpieza con un magneto integrado, por lo que en este no se pudo ejecutar la medición de las limallas remanentes en el pozo.

#### 4.4.3 POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”

##### 4.4.3.1 *Sacha 341D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 27 de septiembre del 2012 a las 11:00, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 8 1/2" + Bit Sub + 9 5/8" Canasta + 9 5/8" Cepillo + 9 5/8" Magneto, se bajó el BHA con rotación y circulación continuó bajando BHA de limpieza con rotación y circulación desde 8054 hasta 8521 pies con 800 GPM, 2620 psi y 60 RPM. Tocó tope de liner a la profundidad de 8521 pies, bombeó 50 bbls de píldora viscosa de 110 SEG. y circuló hasta obtener retornos limpios 800 GPM y 2620 psi. Sacó BHA de limpieza desde 8521 hasta superficie.

Posteriormente procedió a armarse BHA#2 de limpieza para limpiar revestidor de 7", se armó broca de 6 1/8" + 3 1/2" bit sub + canasta 7" + cepillo + magneto + 6 x 4 3/4" Drill Collars + tubería de perforación pesante de 3 1/2" + tubería de perforación hasta 10992 pies, se limpió cemento y molió landing collar, circuló y acondicionó el hoyo, sacó

ensamblaje a superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.59.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	8
BHA#2 Limpieza	10

**Tabla 4.59:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 341D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.3.2 *Yanaquincha Oeste B 16D*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 14 de mayo del 2011 a las 07:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 y BHA #2 de limpieza los mismos que no tuvieron en su configuración magnetos para la recolección de limallas del revestidor.

#### 4.4.4 POZOS DIRECCIONALES TIPO “HORIZONTALES”

##### 4.4.4.1 *Sacha 317H*

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 23 de agosto del 2012 a las 11:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca triconica de 6 1/8" + Near bit + 24 x 3 1/2" HWDP + 2 x 3 1/2" tubería de perforación + conjunto raspador + magneto + cepillo de 7" + 28 x 3 1/2" tubería de perforación + 9 x 3 1/2" tubería de perforación pesante + martillo hidráulico + 38 x 3 1/2" tubería de perforación pesante + 60 x 3 1/2" tubería de perforación + crossover + conjunto raspador + magneto + cepillo de 9 5/8", se bajó el BHA de limpieza combinado en Tandem #1 en hueco abierto libre hasta 11540 pies, donde acondicionó el hoyo y posterior sacó a superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.60.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza Magneto de 7"	3.92
BHA#1 Limpieza Magneto de 9 5/8"	5

**Tabla 4.60:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 341H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.4.2 Palo Azul D 33H

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 10 de septiembre del 2012 a las 20:30, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 6 1/8" + Junk Basket + Bit Sub + 7" Cepillo + 4 3/4" Magneto + 7" Raspadores + 60 x 3 1/2" juntas de tubería de perforación pesante + 1 junta de tubería de perforación + 5 3/4" Bit sub + 7" Junk basket + 6 1/2" Bit sub + 9 5/8" Cepillo + 6 1/2" magneto, se bajó el BHA a acondicionar el hoyo hasta 9200 pies. Sacó BHA de limpieza desde 9200 pies hasta superficie. El peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.61.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	6.6

**Tabla 4.61:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – PLAD 33H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.4.3 Palo Azul D 28H

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 19 de diciembre del 2012 a las 06:00, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 6 1/8" + 5" Junk Basket + 4 3/4" Bit Sub + 7" Cepillo + 4 3/4" Magneto + 7" Raspadores + 56 x 3 1/2" juntas de tubería de perforación pesante + 9 x 3 1/2" juntas de tubería de perforación + 5 3/4" Crossover + 7"

Junk basket + 6 ½” Bit sub + 9 5/8” Cepillo + 6 ½” magneto, bajó con BHA y procedió a limpiar el hoyo hasta los 11773 pies. Sacó BHA a superficie y el peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.62.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	2.2

**Tabla 4.62:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – PLAD 28 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 4.4.4.4 Palo Azul D 34H

Las operaciones de completación iniciales iniciaron el 27 de enero del 2012 a las 03:00, para efecto de esto se armó el BHA#1 de limpieza con broca tricónica de 6 1/8” + 5” Junk Basket + 4 ¾” Bit Sub + 7” Cepillo + 4 ¾” Magneto + 7” Raspadores + 49 x 3 ½” juntas de tubería de perforación pesante + 1 x 3 ½” juntas de tubería de perforación + 5 ¾” Crossover + 7” Junk básquet + 6 ½” Bit sub + 9 5/8” Cepillo + 6 ½” magneto + 9 5/8” Raspadores, bajó y procedió a limpiar el hoyo hasta los 9400 pies. Sacó BHA a superficie el peso de las limallas recolectadas se pueden observar en la tabla 4.63.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	10

**Tabla 4.63:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8” y 7” – PLAD 34 H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

## **CAPÍTULO V**

### **AJUSTES AL MODELO TEÓRICO EN BASE A LOS DATOS DE CAMPO Y AL DESGASTE REAL**

#### **5.1 INTRODUCCIÓN**

Para efectuar los ajustes al modelo teórico primero deberá ser realizada la comparación entre la información calculada con CWear y la obtenida de la recolección de limallas (durante y después de la etapa de perforación). Una vez establecida dicha comparación, el valor de desgaste del revestidor de 9 5/8" podrá ser utilizado en el diseño original del mismo (programa TDAS) siempre y cuando este valor se encuentre por encima del valor determinado como pre establecido en el simulador. Definiremos el término "desgaste real" como aquél que estamos obteniendo de los datos de campo, puesto es la única manera de cuantificación del mismo. De esta manera se podrá determinar si existe la posibilidad de que el revestidor se encuentre en riesgo de fallar debido a las condiciones a las cuales está siendo sometido durante la etapa de perforación debido al desgaste del revestidor de 9 5/8".

#### **5.2 COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO IDEAL Y LA AFECTACIÓN ENCONTRADA**

Se analizará los pozos según el perfil direccional, destacando las causas raíz de las posibles diferencias entre los datos de recolección de limallas y el modelo predicho por Cwear.

De los reportes de perforación de pozos<sup>29</sup> se determina que no se ha seguido un procedimiento adecuado para recolectar las limallas, la recolección fue pobre realizándose solamente dos veces durante el día a horas establecidas (06:00 y 16:00 horas), por lo que éste dato es relativamente insignificante en comparación al valor simulado.

Durante la etapa de completación inicial de un pozo, es posible correr un ensamblaje de fondo con un magneto, el mismo que tendrá el fin de recolectar el resto de limallas que no fueron transportadas y atrapadas en superficie durante la etapa de perforación del mismo, de los pozos en los que fue posible ejecutar este procedimiento se obtuvo una recolección de limallas mayor, las limallas recuperadas son consideradas producto del desgaste del revestidor de 9 5/8", estas limallas pueden haber estado adheridas al revestidor debido a la magnetización de las partículas o pueden ser partículas que se encuentran suspendidas en el fluido de perforación o de completación sea el caso correspondiente. Se descarta que las limallas obtenidas sean producto del desgaste del revestidor colgado de producción debido a que éste no se encuentra sujeto a un desgaste significativo y por ende se desprecia el desgaste del que pueda estar sujeto.

Considerando este análisis se puede afirmar que el pobre cotejo entre la información obtenida de mediciones directas disponibles del desgaste y la simulación se debe a la falta de aplicación de prácticas correctas de recolección<sup>30</sup> de limallas.

---

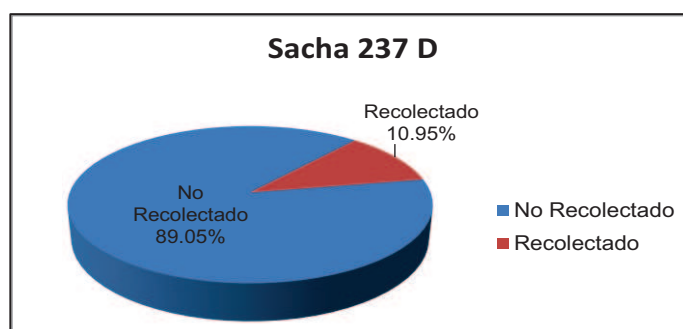
<sup>29</sup> Todos los pozos de estudio, a excepción del Yanaquincha Oeste B 16D

<sup>30</sup> Referirse al punto 3. 3.1.1 que establece el procedimiento operacional adecuado para la recolección de limallas.

## 5.2.1 POZOS DIRECCIONALES TIPO “S”

### 5.2.1.1 Sacha 237D

En el programa Cwear se predijo que el revestidor de 9 5/8” debía ser sujeto a un desgaste de 93.15 lb de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 1/2”. En base al trabajo y monitoreo realizado por la compañía de servicio de Mud Logging se pudo recolectar un total de 1.2 lb y adicionalmente en la etapa de completación con el magneto se pudieron recolectar un total de 9 lb adicionales (7 lb con el primer BHA y 2 lb con el segundo BHA), esto resulta en un peso total recolectado de 10.2 lb de limallas, lo que representa el 10.95% de recolección del total previsto, como se observa en la figura 5.1.

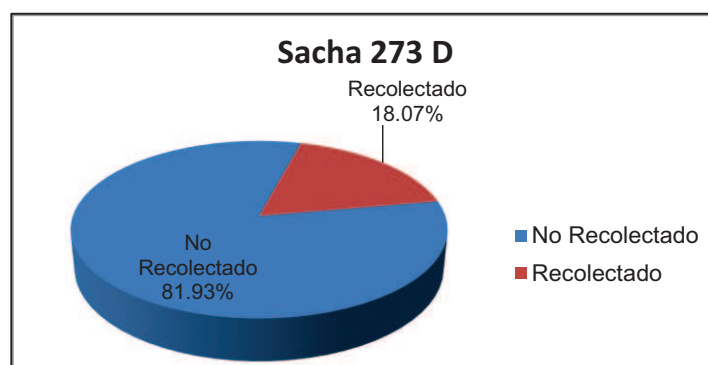


**Figura 5.1:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 237D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.2.1.2 Sacha 273D

Con el uso del programa CWear se predijo un desgaste de 72.35 lb del revestidor de 9 5/8” y durante la perforación de la sección de 8 1/2” del Pozo Sacha 273D la compañía de Mud Logging pudo recolectar un total de 2.07 lb de limalla, y posterior en la corrida del BHA de limpieza #1 y #2 se lograron recolectaron 6 y 5 lb de limalla respectivamente, esto nos da un total de 13.07 libras recolectadas y que representan el 18.07% del total predicho en el programa, como se observa en la figura 5.2.

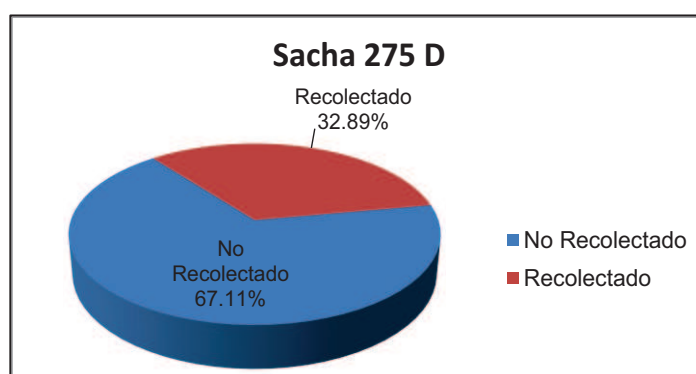




**Figura 5.2:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 273D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.2.1.3 Sacha 275D

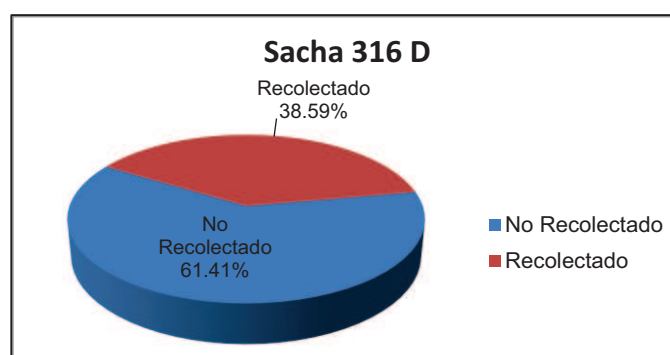
En el programa Cwear se predijo que el revestidor de 9 5/8" debía ser sujeto a un desgaste de 22.25 lb de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 1/2". En base al trabajo y monitoreo realizado por la compañía de servicio de Mud Logging se pudo recolectar un total de 2.32 lb y adicionalmente en la etapa de completación con el magneto se pudieron recolectar un total de 5 lb adicionales (3 lb con el primer BHA y 2 lb con el segundo BHA), esto resulta en un peso total recolectado de 7.32 lb de limallas, lo que representa el 32.89% de recolección del total previsto, como se observa en la figura 5.3.



**Figura 5.3:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 275D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.2.1.4 Sacha 316D

El Sacha 316D fue el pozo del que se obtuvo un mayor porcentaje recolectado en pozos con este perfil llegando a recolectarse 45.31 lb de limallas del total predicho de Cwear de 117.41 lb, como se observa en la figura 5.4. Esto nos representa el 38.59% del total de limallas, la recolección del magneto durante el viaje de limpieza tuvo excelentes resultados al obtener 10 lb en el primer viaje y 33 lb en el segundo. Las 33 lb recolectadas se deben al procedimiento adecuado de bombeo de píldoras viscosas, alcalinas y surfactantes que al ser circuladas levantaron y removieron una mayor cantidad de limallas de la pared del revestidor de 9 5/8" y 7".



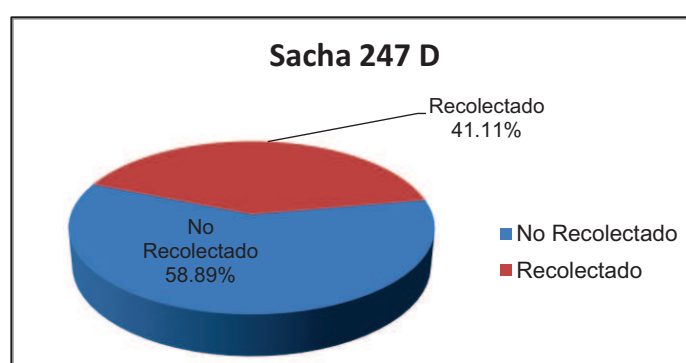
**Figura 5.4:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 316D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque.

## 5.2.2 POZOS DIRECCIONALES TIPO “J”

### 5.2.2.1 Sacha 247D

En la recolección de limallas durante la etapa de perforación de 8 1/2" del Pozo Sacha 247D se tuvo un total de 3.12 lb, y en la limpieza con la configuración de BHAs y magnetos #1 y #2 se obtuvo 13.2 y 15.4 lb respectivamente, lo que arroja un total de 31.72 libras recolectadas y que representan un 41.1% del total de 77.16 libras de limallas predichas a ser desgastadas del revestidor de 9 5/8" con el programa CWear, esto puede

ser observado en la figura 5.5. El gran porcentaje de recolección se debe a la utilización de un ensamblaje limpiador del revestidor, utilizando un magneto de última generación y con raspadores que se acoplan al cuerpo del revestidor para remover la gran parte de limallas adheridas y dejadas en el fondo del hoyo. En este pozo en particular se utilizó el mismo tipo de herramientas para ambos viajes, por lo que se pudieron recuperar en su mayoría las limallas, que se deberían recuperar por este método.

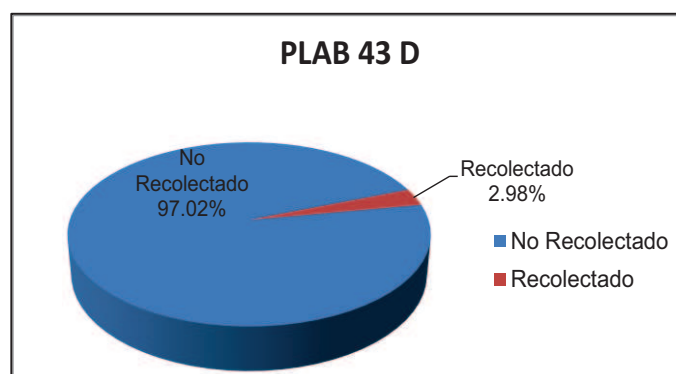


**Figura 5.5:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 247D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 5.2.2.2 Palo Azul B 43 D

En el Pozo Palo Azul B 43D el programa Cwear se predijo que el revestidor de 9 5/8" debía ser sujeto a un desgaste de 61.04 lb de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 1/2".

En el presente pozo, la compañía operadora no consideró necesario realizar viaje de limpieza con magnetos por lo que se posee datos tan solamente de la etapa de perforación de 8 1/2" donde se pudo recolectar 1.82 libras de limallas, por eso el porcentaje de recolección es de tan solo un 2.98%, llegando a ser el menor valor de recolección del grupo de estudio, como se observa en la figura 5.6.

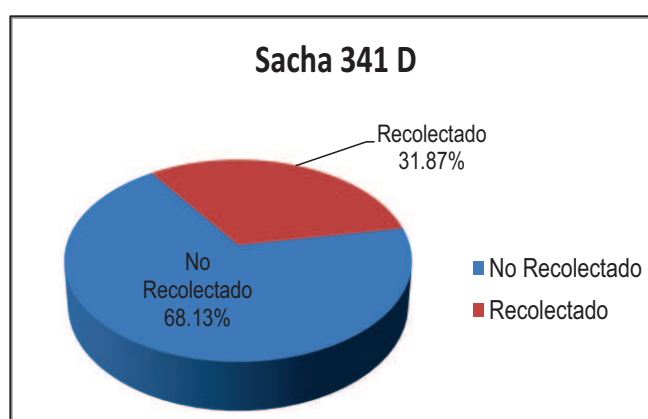


**Figura 5.6:** Porcentaje de recolección de limallas – PLAB 43D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.2.3 POZOS DIRECCIONALES TIPO “J MODIFICADO”

#### 5.2.3.1 Sacha 341D

El Pozo Sacha 341D tuvo 20.34 lb de limallas, - el total predicho por Cwear fue de 63.82 lb - en base al trabajo y monitoreo realizado por la compañía de servicio de Mud Logging se pudo recolectar un total de 2.34 lb y adicionalmente en la etapa de completación con el magneto se pudieron recolectar un total de 18 lb adicionales (8 lb con el primer BHA y 10 lb con el segundo BHA) lo que representa el 31.87% de recolección del total previsto, como se observa en la figura 5.7.

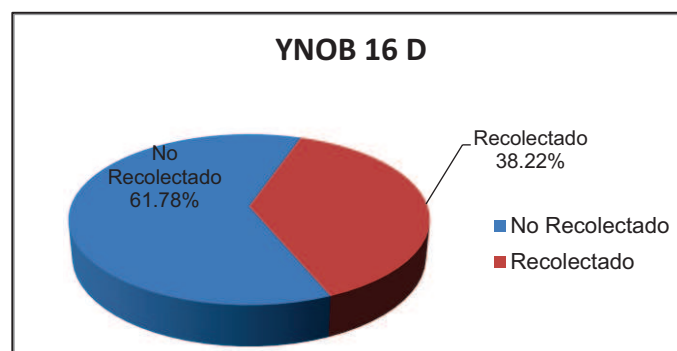


**Figura 5.7:** Porcentaje de recolección de limallas – Sacha 341D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.2.3.2 Yanaquincha Oeste B 16D

El Yanaquincha Oeste B 16D, es un pozo especial de este análisis, puesto en base a sus características de pozo J modificado y a que posee una corta sección de perforación en 8 ½”, presenta una altísima tasa de recolección de limallas que llega a estar en muy por encima de los demás pozos direccionales tipo “S”, “J” y “J Modificado”

La predicción brindada por Cwear pronosticaba obtener 12.16 libras de limallas del revestidor de 9 5/8”, pero en este pozo la compañía operadora no consideró necesario bajar a limpiar el hoyo con magnetos y tan solo lo hizo con cepillos, por lo que la única información disponible es la de la etapa de perforación llegando a ser de 4.65 lb de recolección de limallas durante las 14 horas netas de rotación (4 días de duración de la operación de perforación de esta sección). Esto recolección representa el 38.22% de eficiencia durante la recolección de limallas.



**Figura 5.8:** Porcentaje de recolección de limallas – YNOB 16D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La gran eficiencia en la etapa de recolección durante la perforación, mostrada en la figura 5.8 se debe al correcto procedimiento llevado a cabo en este pozo, siguiendo los alineamientos adecuados que se destacan en el punto 3.3.1.1 del presente estudio.

#### 5.2.4 POZOS DIRECCIONALES HORIZONTALES

Para los pozos horizontales se realiza un tratamiento especial debido a que el hecho que presenten una sección adicional de perforación conlleva a una doble tasa de recolección, durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½" y 6 1/8".

Debido a este hecho tendrá un desgaste del revestidor de 9 5/8" y además el desgaste de la pared del liner de 7".

Durante la perforación de la sección de 8 ½" para este tipo de pozos se realiza el mismo tratamiento que para los pozos direccionales, pero la complicación proviene directamente durante la perforación de la sección horizontal de 6 1/8" puesto que la recolección de limallas provendrá de acero desgastado del revestidor de 9 5/8" y del liner de 7", las limallas estarían proviniendo de ambos revestidores y en superficie van a encontrarse mezcladas lo que hará difícil la identificación de la fuente exacta (revestidor de 9 5/8" ó liner de 7").

A pesar que se tiene los datos de la recolección de limallas después de la etapa de perforación (BHA y magnetos de limpieza), estos datos no podrán ser únicamente considerados como acero desgastado del revestidor de 9 5/8".

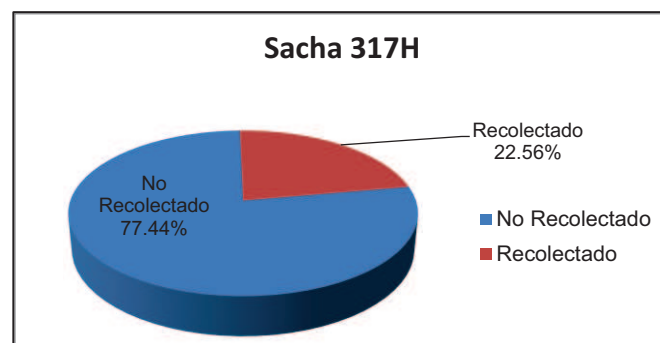
Por este motivo la corroboración real del desgaste que afecta al revestidor de 9 5/8" durante la perforación de la etapa horizontal de 6 1/8" se podrá realizar mediante el uso de un registro de imagen ultrasónica que permita la determinación apropiada del desgaste que afecta el revestidor de 9 5/8".

Otros métodos de determinación podrían llegar a ser difíciles de ejecución y de resultados ambiguos, uno de ellos sería el de separar las limallas mediante su densidad (haciendo flotar las limallas recolectados en un fluido con densidad promedia entre la densidad de las limallas más pesadas y más livianas), y aún así las limallas no se separaran totalmente pues las limallas tienden a ser magnetizadas y permanecer adheridas entre sí.

Por lo expuesto, en esta sección del proyecto se limitará a comparar el desgaste de la tubería de 9 5/8" durante la etapa de perforación de la sección de 8 1/2" y para ello realizaremos la asunción que las limallas recolectadas por el uso del magneto en el BHA de limpieza para el revestidor de 9 5/8" representa acero 100% de esta sección.

#### 5.2.4.1 Sacha 317H

Durante la perforación de la sección intermedia de 8 1/2" recolectaron 2.14 lb de limalla, mientras que en el viaje de limpieza se obtuvo 5 libras proveniente del magneto de 9 5/8", para un total de 7.14 libras lo que representa un 22.56% de recolección (el total previsto para esta sección fue de 31.65 libras) como se indica en la figura 5.9.



**Figura 5.9:** Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 1/2" – Sacha 317H

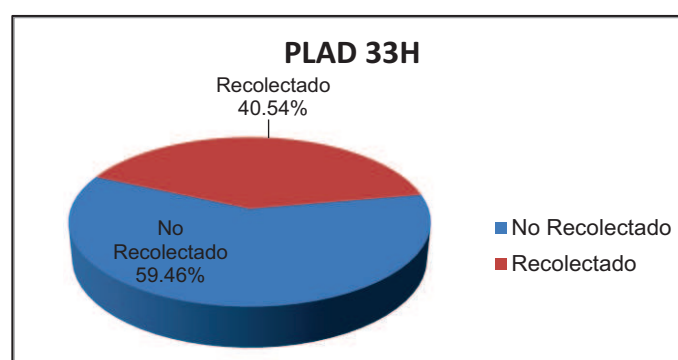
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 5.2.4.2 Palo Azul D 33H

De la perforación de este pozo se obtuvo un 40.54% de recolección de limallas del total predicho de desgaste durante las operaciones de perforación de 8 1/2", esto se logró considerando que la recolección durante la etapa de perforación de esta sección fue de 9.64 libras, siendo la mayor recolección obtenida de los casos de estudio en este proyecto, la causa de poseer una excelente recolección se debe a que en este pozo se tuvieron

dos magnetos disponibles para la recolección de la línea de retorno, además considerando que la perforación de esta sección duró 14 días de operación distribuidos con un total de 63 horas rotando. Estas dos razones son las que primaron para obtener una recolección alta durante la perforación, mientras que del magneto en la etapa de limpieza se pudieron obtener 6.6 libras de limallas lo que nos da un total de 16.23 lb recolectadas.

De este caso podemos concluir claramente que la frecuencia de recolección y el aumento de un magneto adicional nos provee una mayor eficiencia de limpieza.



**Figura 5.10:** Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½”– PLAD 33H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

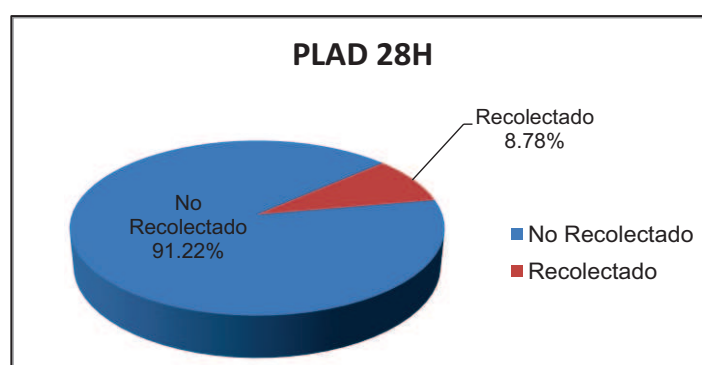
#### **5.2.4.3 Palo Azul D 28H**

Otro pozo que presentó un alto porcentaje de recolección relativamente mayor a la media de 2 libras del resto de pozos durante la etapa de perforación de 8 ½” fue el PLAD 28H que con 4.78 lb de limalla en 69 horas de rotación se convierte en el segundo de tasa de recolección, sin embargo si se hubiera realizado un proceso más frecuente de recolección se hubiera llegado a obtener una tasa representativa en relación al total simulado de 79.4 libras. De la recolección de limallas del magneto del BHA de limpieza se logró recolectar tan solo 2.2 lb y que conjuntamente con las



limallas recolectadas previamente nos dan un total de 6.98 lb y que representan un 8.78% del total, como se muestra en la figura 5.11.

La pobre recolección con el magneto se debió a la mala estrategia de bombeó de píldoras viscosas y alcalinas, habiendo sido esta operación realizada en un tiempo insuficiente para el objetivo de recolectar las limallas.

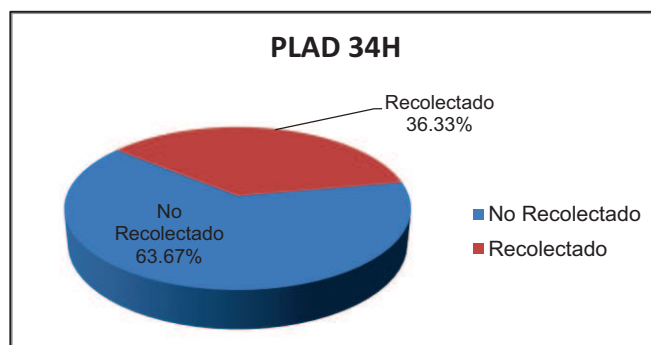


**Figura 5.11:** Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 28H

**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### **5.2.4.4 Palo Azul D 34H**

El pozo PLAD 34 H tuvo un solo magneto recolección que midió las muestras recolectadas durante 8 días de operación de perforación de la sección de 8 ½”, en las que se tuvo 47 horas de rotación, de ellas se pudo obtener apenas 1.41 lb de limallas que nos dieron un total de 11.41 lb, con las 10 recolectadas del magneto de 9 5/8” en la etapa de completación. Esto nos representó un 36.33% de recolección efectiva del total previsto para esta sección, como se indica en la figura 5.12.



**Figura 5.12:** Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½” – PLAD 34H

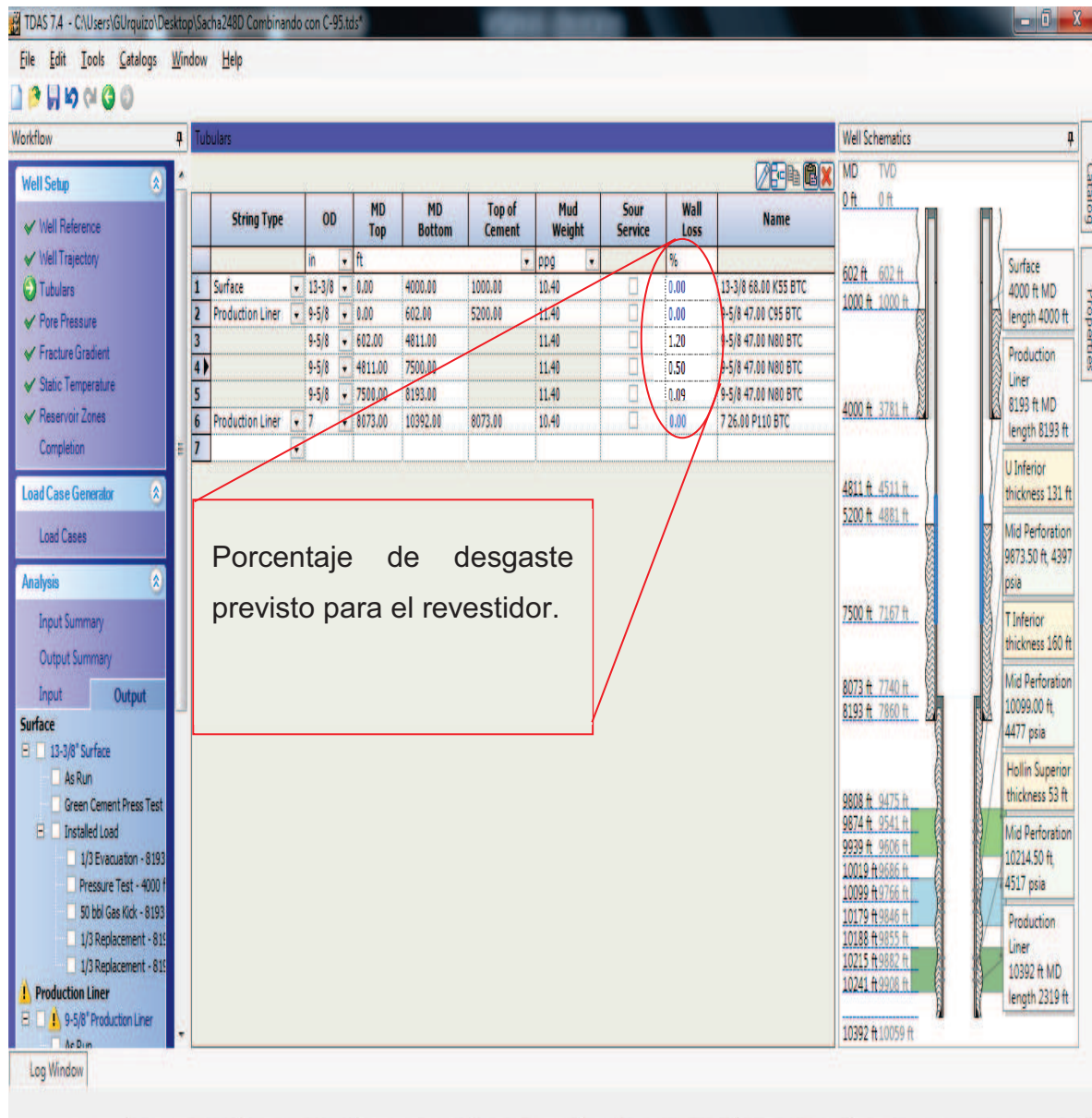
**Elaborado por:** Gerardo Duque

### **5.3 DESGASTE DE LA TUBERÍA DE REVESTIMIENTO 9 5/8” IMPLEMENTADO EN EL DISEÑO DEL REVESTIDOR**

De los casos estudiados en el presente proyecto se puede observar que las zonas donde se presenta el mayor porcentaje de desgaste es aquella donde las fuerzas normales se presentan en mayor magnitud y por ende donde las fuerzas de contacto son mayores.

Como se describió en el Capítulo 3 del presente estudio, el diseño y análisis del revestidor se lo realiza en el programa TDAS 7.4, el mismo tiene la opción de considerar el desgaste de la tubería de revestimiento que se prevé tener, como se ilustra en la figura 5.13

Además, como se describió en el apartado 3.2.4.3 el revestidor 9 5/8” debe estar diseñado con una variación de la tolerancia de su espesor de un – 12.5%, esto significará que se asume el escenario donde las propiedades mecánicas del revestidor se encuentran variando en un 12.5% menos de la capacidad nominal de resistencia al estallido y colapso que poseen originalmente. Estas propiedades se encuentran relacionadas directamente con el espesor del revestidor, y el factor de -12.5% se considera resultado de defectos al momento de fabricación del revestidor.



**Figura 5.13:** Ingreso del valor de desgaste en la tubería de revestimiento

**Fuente:** Programa TDAS 7.4 - Schlumberger

Por ejemplo, si se asume que un revestidor sufrirá un desgaste del 3% del grosor de su pared, este valor podrá ser asumido dentro del valor de la tolerancia considerada previamente. Por supuesto que el peor escenario considera tener un 12.5% de menos de la tolerancia nominal y además sufrir un desgaste de un 3% debido a operaciones de perforación.

## **5.4 APLICACIÓN, POZO SACHA 248D**

Para poder realizar una comparación de los casos estudiados con un pozo en el que se implemente las mejores prácticas operacionales se seleccionó al Sacha 248D como sujeto de análisis.

La razón principal de selección fue la predisposición de los segmentos involucrados para facilitar la implementación de las prácticas ideales para la correcta obtención de la información deseada.

Este pozo fue perforado en el campo Sacha, fue diseñado con un perfil direccional tipo "S" y como objetivo principal fue el de perforar la arenisca Hollín Superior.

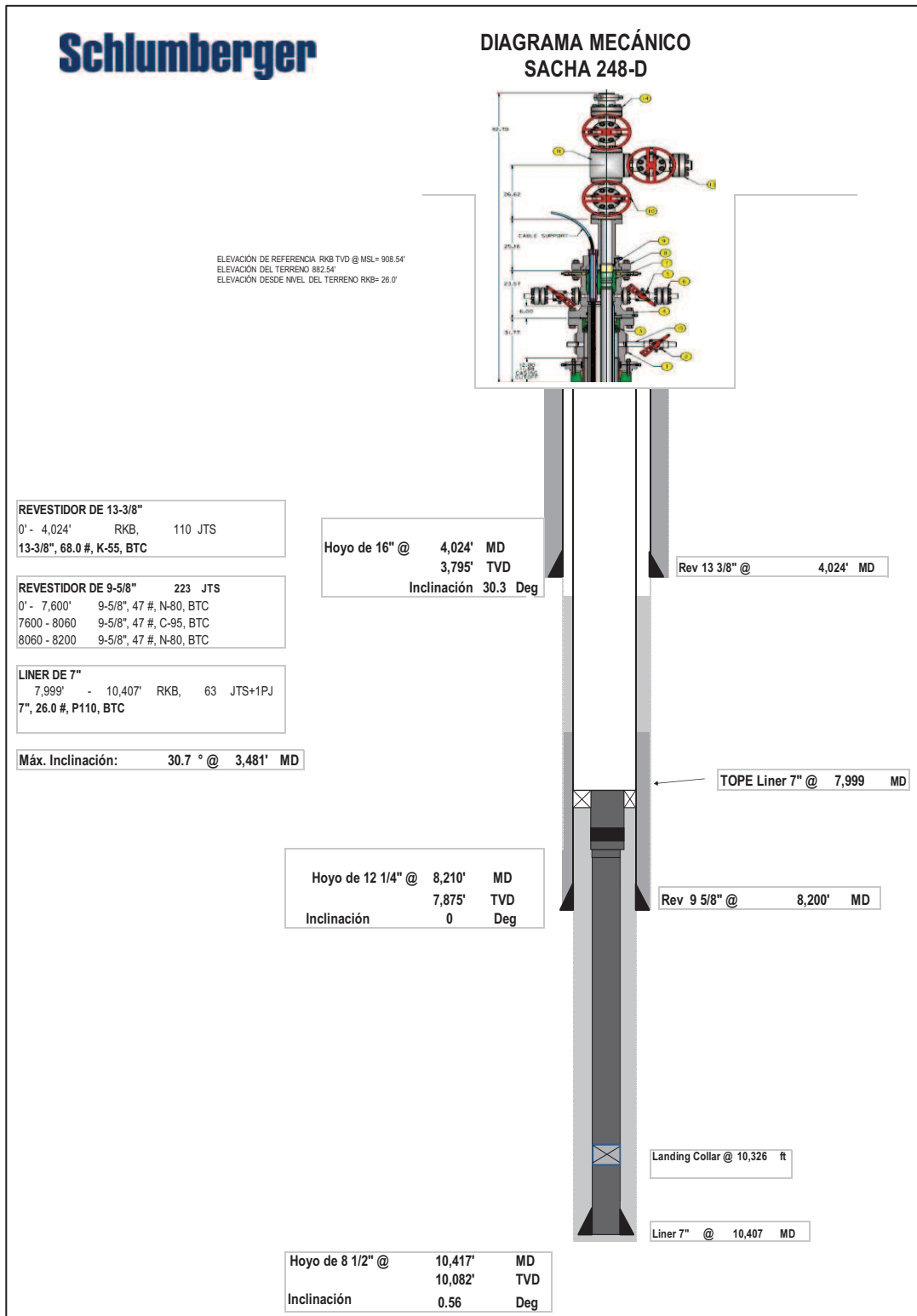
El mismo empezó sus actividades de perforación el 25 de marzo y culminó las mismas el 20 de abril de 2013 con una duración de 25.35 días, el máximo ángulo de desviación fue de 30.46° a los 3668.54 pies en MD.

### **5.4.1 INFORMACIÓN DE ENTRADA.**

En este apartado se podrá visualizar como el ingreso de información fue realizada en general para cada pozo de estudio analizado previamente.

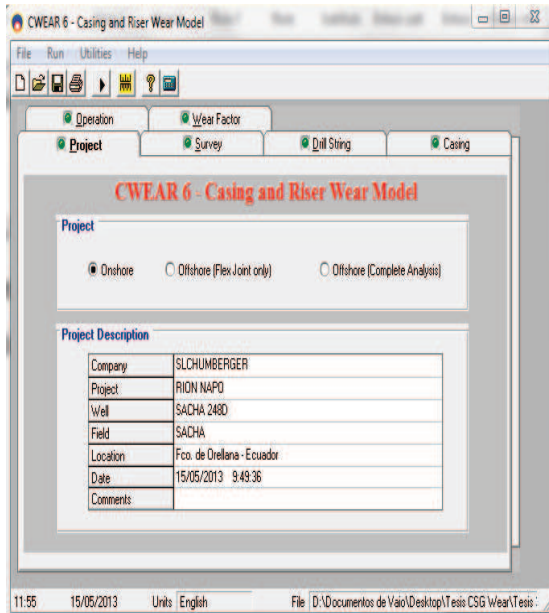
Considerando que el ingreso adecuado de la misma es de vital importancia para el desarrollo de predicción inicial de desgaste.

En la figura 5.14 se puede observar el esquema mecánico para este pozo, en el mismo se puede apreciar las profundidades de asentamiento de los revestidores, siendo 8200 pies la profundidad del revestidor de 9 5/8".

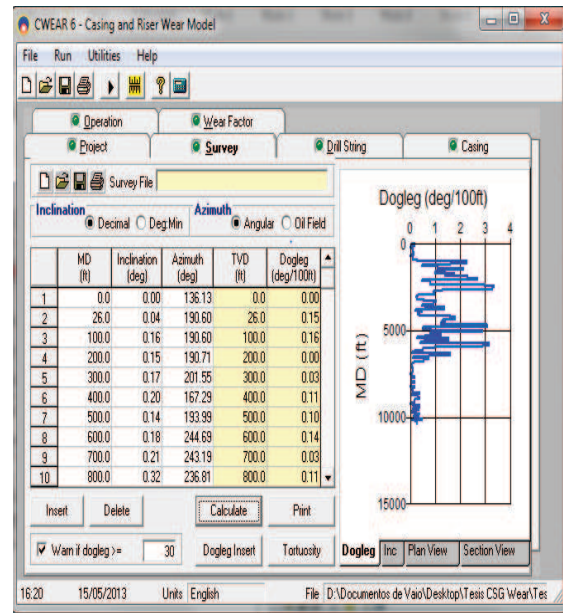


**Figura 5.14:** Esquema mecánico – Sacha 248D  
**Fuente:** Schlumberger – IPM

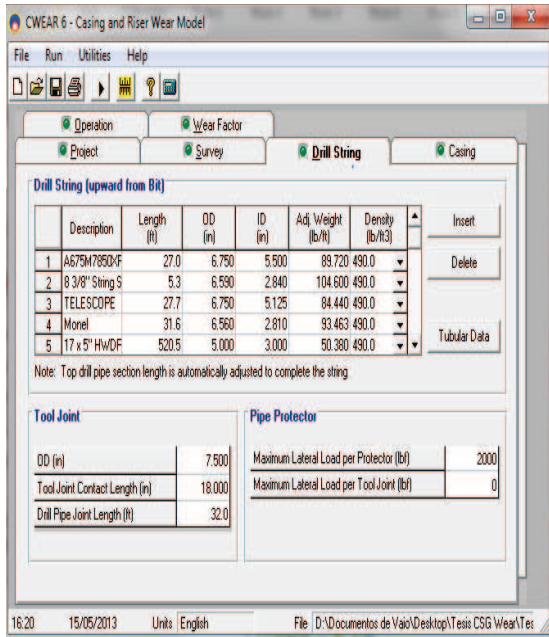
A continuación se mostrará las pantallas del programa CWear 6.1 que necesitan ser llenadas con la información requerida por el mismo.



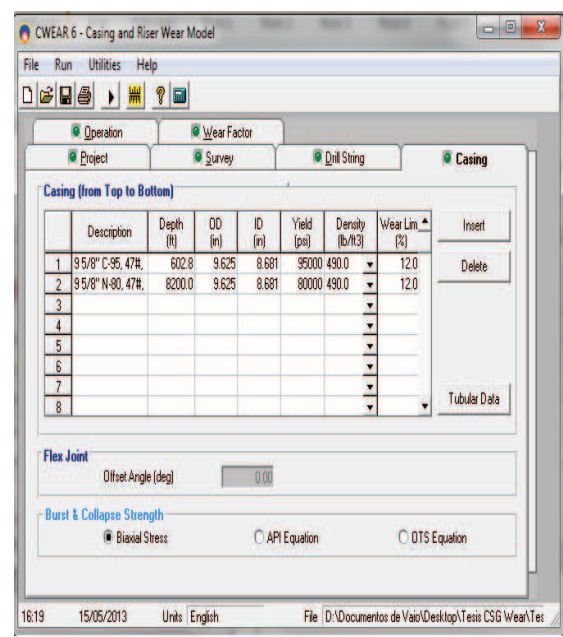
a. Información del Proyecto.



b. Información de la trayectoria.



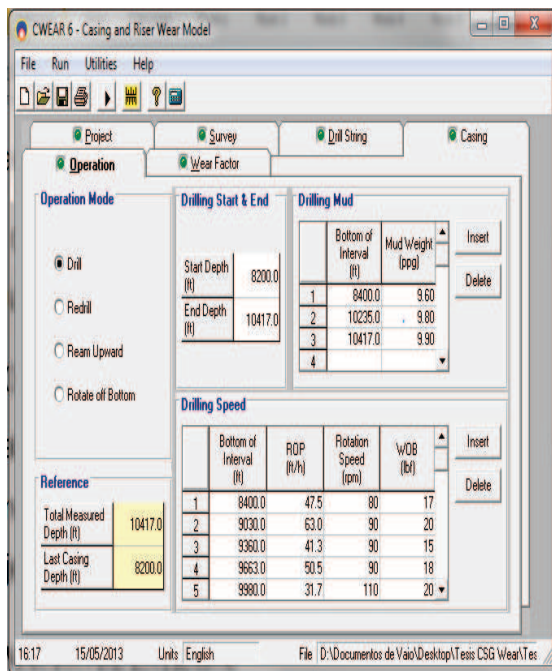
c. Información sobreel DP y BHA.



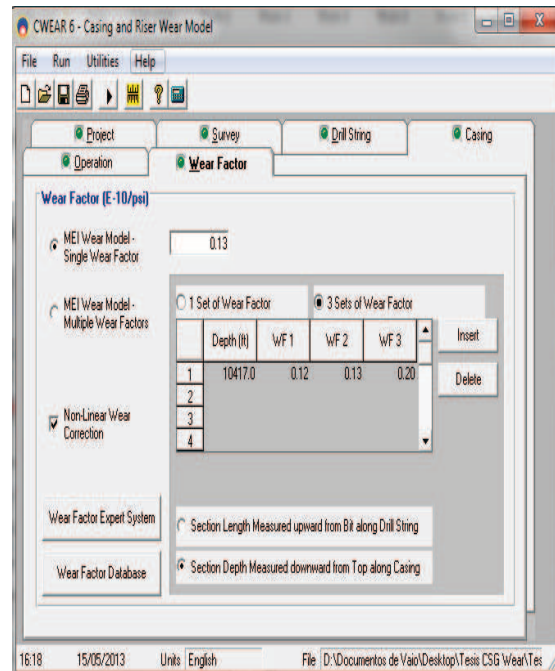
d. Información del revestidor.

**Figura 5.15:** Información Cwear 6.1 – Sacha 248D  
Elaborado por: Gerardo Duque





e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 ½”

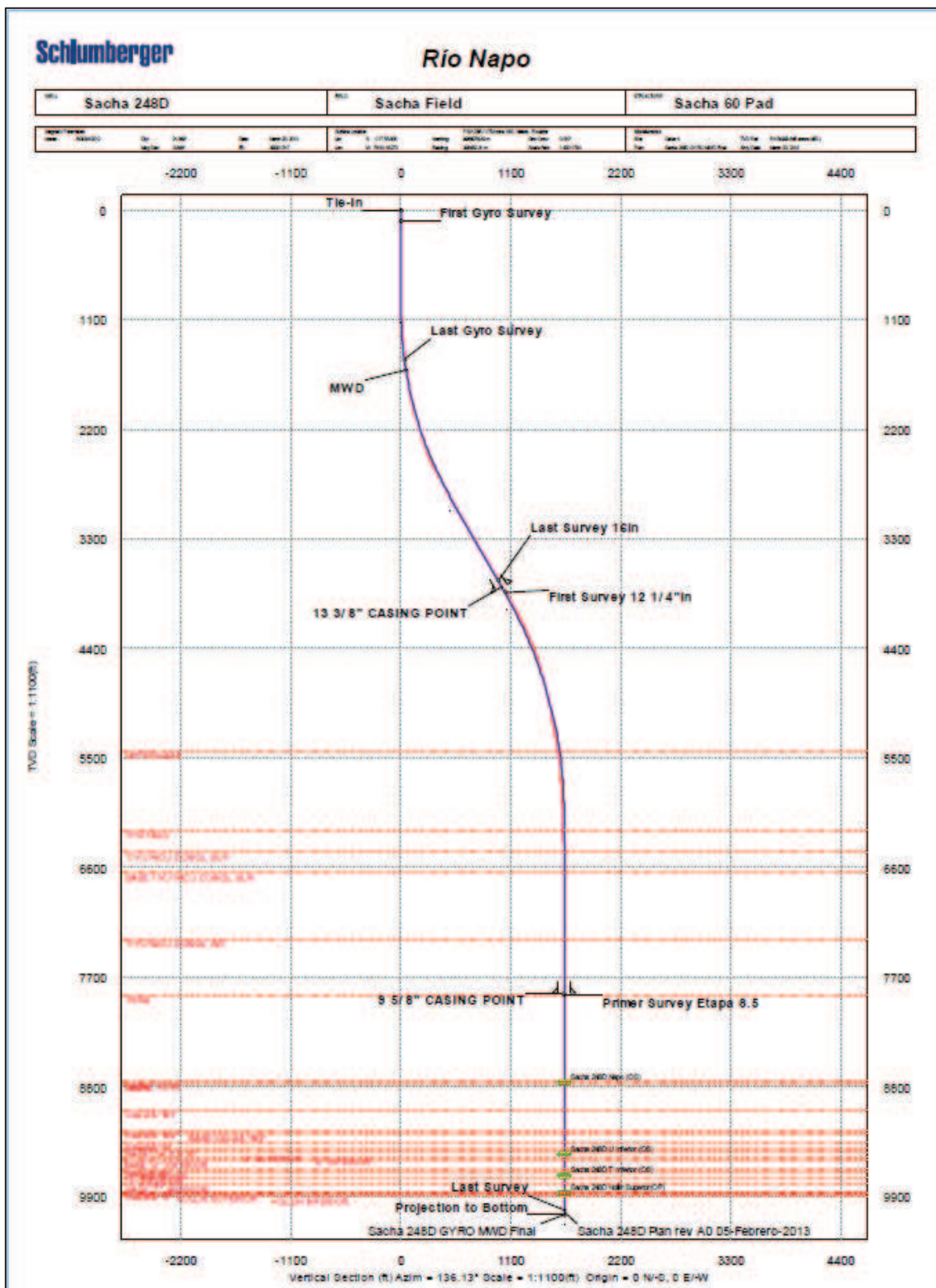


f. Información del factor de desgaste.

**Figura 5.15 Continuación:** Información Cwear 6.1 – Sacha 248D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

Se procedió a cargar toda la información necesaria en el programa Cwear 6.1 para poder calcular el desgaste que se espera obtener durante las operaciones de perforación de la sección de 8 ½”, como se puede visualizar en la figura 5.15 y en la tabla 5.1 se presentan los parámetros de perforación, de la cual se puede observar que hubo un total de 52.5 horas de rotación en los 4 días que duró la operación. En la figura 5.16 podemos observar la configuración direccional del pozo Sacha 248D y en la figura 5.17 se puede observar el ensamblaje de fondo utilizado en la perforación de la sección de 8 ½”.

Se puede observar que el perfil corresponde a un pozo direccional tipo “S” de poco desplazamiento (1630 pies) y valores de DLS de 3.2 grados/ 100 pies como se ilustra en la figura 5.17.



**Figura 5.16:** Información direccional – Sacha 248D  
**Fuente:** Schlumberger – IPM





Field Name	Sacha Field	Borehole Name	Sacha 248D	Hole Size (in)	8.500
Structure Name	Sacha 60 Pad	BHA Name	BHA#06 8.5in_1	Depth In (ft)	8210.00
Well Name	Sacha 248D			Depth Out (ft)	10417.00

Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot Size (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
			ID (in)		Top Size (in)			Top Type			
1 8 1/2" PDC Bit / MSI616UPX	Smith	JG6081	6.000	8.500	4.500	Reg	Pin	0.000	0.60	0.60	0.1
			2.250					0.000			
2 A675M7850XP Stab 8 1/4" BH=1.5 ; 0.28 rev/gal w/float valve	Schlumberger	5695	6.750	8.250	4.500	F	Box	6.750	27.00	27.60	2.5
			5.500					3.08			
3 8 3/8" String Stabilizer	Schlumberger	57275-49	6.590	6.690	4.500	F	Pin	6.250	5.29	32.89	3.1
			2.840					2.08			
4 TELESCOPE	Schlumberger	G2167	6.750	6.890	4.500	F	Box	6.520	27.71	60.60	5.4
			5.125					1.42			
5 Monel	Schlumberger	SD49787	6.580	6.750	4.500	F	Box	0.000	31.58	92.18	8.3
			2.810					0.00			
6 17 x 5" HWDP (17 joints)	CPV-23		5.000	6.500	4.500	F	Pin	0.000	520.51	612.69	34.6
			3.000					0.00			
7 Hydraulic JAR	Smith	88909G	6.500	6.500	4.500	F	Box	6.680	32.42	645.11	36.5
			2.750					2.50			
8 9 x 5" HWDP (9 joints)	CPV-23		5.000	6.500	4.500	F	Box	0.000	273.75	918.86	50.3
			3.000					0.00			
9 5" 19.50 DPG, 10% Wear	CPV-23		4.928	6.625	4.500	NC80 (4 1/2 F)	Pin	0.000	0.00	918.86	50.3
			4.276					0.00			

**Figura 5.17:** Ensamblaje direccional – Sacha 248D

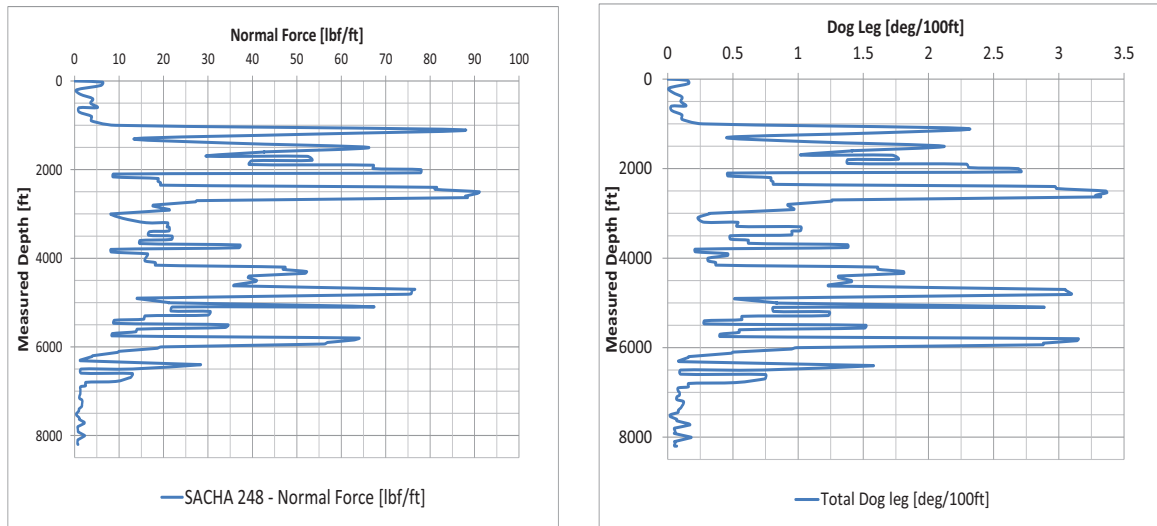
**Fuente:** Schlumberger - IPM

Pies Perforados [ft]	Fin del Intervalo MD [ft]	ROP [ft/hr]	RPM [rev/min]	WOB [klbs]
200	8400	47.5	80	17
630	9030	63	90	20
330	9360	41.25	90	15
303	9663	50.5	90	18
317	9980	31.7	110	20
164	10144	23.43	100	30
91	10235	30.33	90	19
182	10417	40.44	80	17

**Tabla 5.1:** Distribución de perforación de la sección de 8 1/2" – Sacha 248D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Adicionalmente de la figura 5.18 se puede observar que las fuerzas normales para este pozo llegan a tener varios puntos de gran impacto entre 70 y 90 lbf/pie.



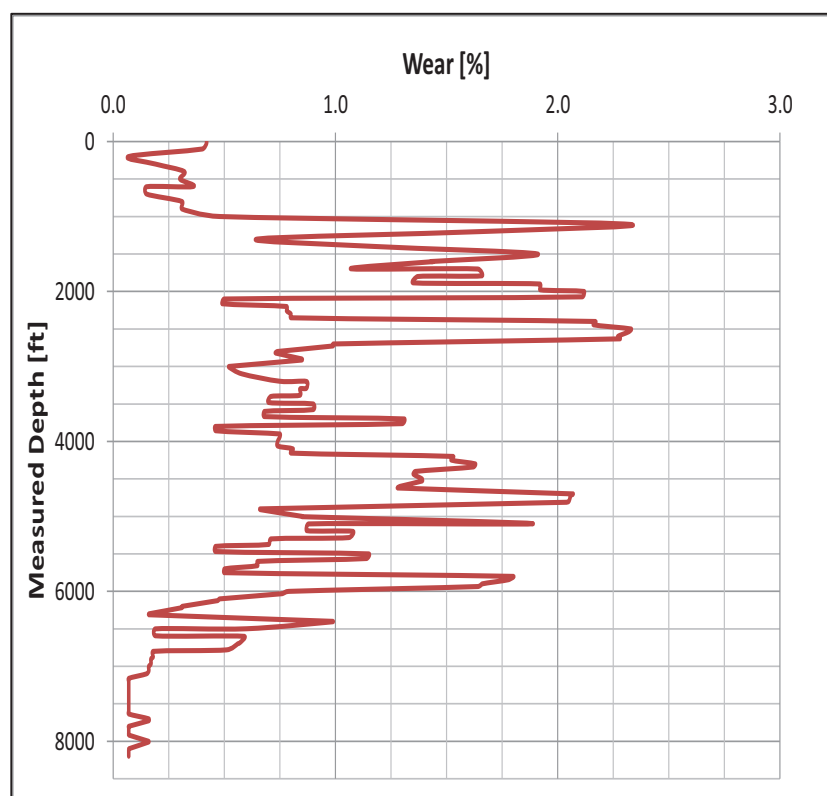
**Figura 5.18:** Fuerzas normales y severidad de patas de perro - Sacha 248D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

#### 5.4.2 INFORMACIÓN DE SALIDA

De las horas de rotación, de las fuerzas normales presentes en el pozo, del material de protección dura del “tool joint” (Armacor M), del fluido de perforación base agua y del análisis de los pozos de estudio se puede determinar un valor de 0.13 para el factor de desgaste, y como resultado del software se obtuvo un total de 70.56 libras desgastadas del revestidor de 9 5/8”, Tabla 5.2.

Factor de Desgaste	0.13
Volumen Total Desgastado (pies <sup>3</sup> )	0.14
Peso Total Desgastado(libras)	70.56

**Tabla 5.2:** Factor de desgaste, volumen y peso total desgastado – Sacha 248D  
**Elaborado por:** Gerardo Duque



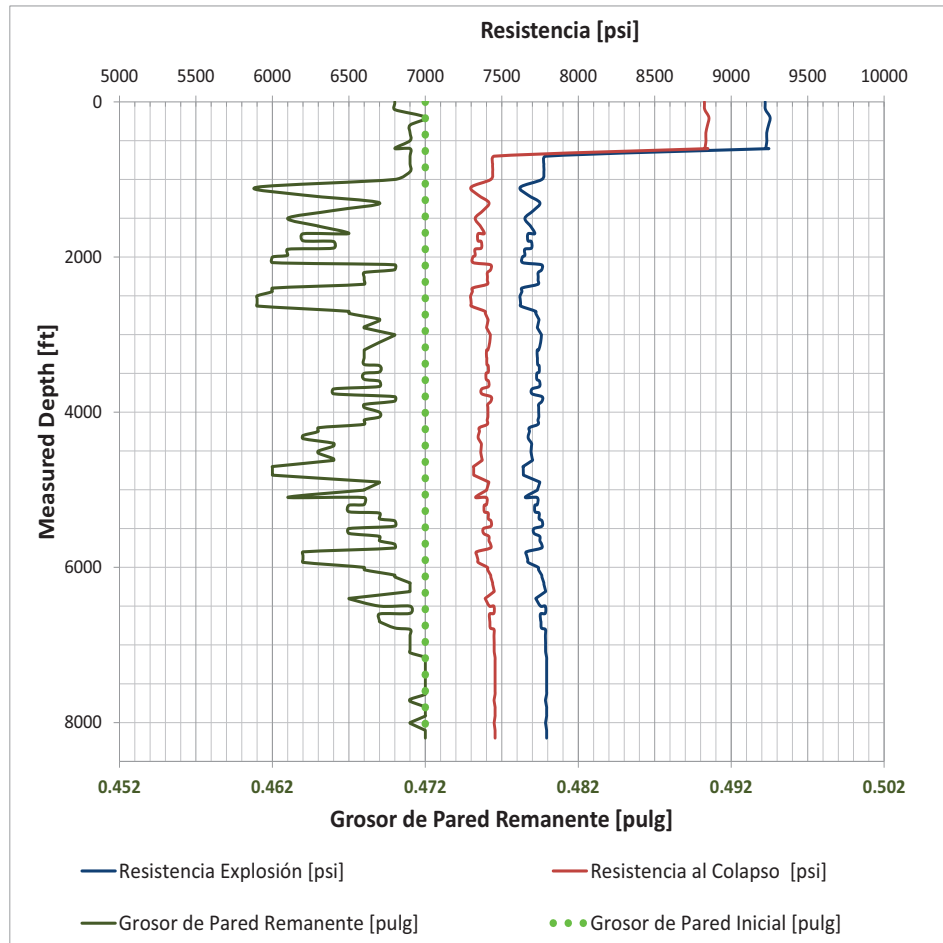
**Figura 5.19:** Porcentaje de desgaste del revestidor de 9 5/8" debido a la perforación de la sección de 8 1/2"- Sacha 248D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Las 70.56 libras desgastadas predichas por  $C_{wear} 6.1$  se encuentran distribuidas a lo largo del revestidor de 9 5/8" como se presenta en la figura 5.19, teniendo un máximo valor de 2.33% a los 2500 pies y varios picos de desgaste en promedio de 2%, los valores restantes se encuentran en un promedio de entre 0.7 al 1.1%.

Con esto podemos considerar que el revestidor se encuentra expuesto a un desgaste bajo considerando que se tuvo un gran número de horas de rotación en la sección vertical para el aterrizaje dentro del objetivo del pozo. La figura 5.20 representa la variación de las propiedades mecánicas del revestidor debido al desgaste producido por las operaciones de perforación de la sección de 8 1/2", además se puede visualizar como el grosor de la pared del revestidor varía en función de la profundidad y de este dependen la resistencia al estallido

y explosión (psi) que posee el revestidor, llegando a ser hasta 200 psi menos que la presión de resistencia nominal a la explosión y 150 psi menos en el caso de la resistencia al colapso.



**Figura 5.20:** Variación de las propiedades mecánicas y grosor de pared remanente del revestidor de 9 5/8" después de la perforación de la sección de 8 1/2"- Sacha 248D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

### 5.4.3 DATOS DE CAMPO

En la tabla 5.3 se observa la hoja de control llevada a cabo por el personal en campo que se encargó de recolectar las limallas según el procedimiento operacional indicado en el numeral 3.3.1.1 de este estudio.

ANEXO 1		RIONAPO Schlumberger			
FORMATO DE RECOLECCIÓN DE LIMALLAS					
Taladro	CPV -23	Dimensiones del Magneto			
Pozo	SACHA 248D				
Ing. Control Limallas	DIEGO VALENZUELA - GEOSERVICES				
Fecha Inicio Operaciones	25-mar-13				
<b>SECCIÓN</b>		8 1/2"			
BHA#	6	HORA BROCA TOPA CEMENTO		11:00 PM	
FECHA:	13-abr-13	TOPE CEMENTO [pies]		8155	
Fecha	Hora	Profundidad [pies]	Peso[gramos]	Acumulado [gr]	Observaciones
14/04/2013	1:00 AM	8216	145	145	Perforando
14/04/2013	3:00 AM	8235	323	468	Perforando
14/04/2013	5:00 AM	8345	338	806	Perforando
15/04/2013	7:00 AM	8492	187	993	Perforando
15/04/2013	9:00 AM	8645	203	1196	Perforando
15/04/2013	2:00 PM	8635	525	1721	Perforando
15/04/2013	7:00 PM	9160	123	1844	Perforando
15/04/2013	12:00 AM	9359	159	2003	Perforando
15/04/2013	5:00 AM	9602	102	2105	Perforando
15/04/2013	10:00 AM	9740	135	2240	Perforando
15/04/2013	3:00 PM	9940	118	2358	Perforando
15/04/2013	8:00 PM	10094	240	2598	Perforando
16/04/2013	1:00 AM	10144	193	2791	Circulando
16/04/2013	6:00 AM	10241	105	2896	Perforando
16/04/2013	11:00 AM	10417	43	2939	Circulando
16/04/2013	1:30 PM				Hora inicio viaje a superficie /Zapato CSG previo
CAMBIO BHA/VIAJE CALIBRACIÓN					
BHA#	6	HORA INICIO PERFORACIÓN		2:00 AM	
FECHA:	14/04/2013	PROFUNDIDAD DE FONDO		10417	
Fecha	Hora	Profundidad [pies]	Peso[gramos]	Acumulado [gr]	Observaciones
16/04/2013	4:00 PM	10417	30	2969	Sacando tubería
16/04/2013	9:00 PM	10417	22	2991	Bajando tubería
17/04/2013	4:00 AM	10417	50	3041	Sacando tubería
17/04/2013	9:00 AM	10417	50	3091	Sacando tubería

**Tabla 5.3:** Datos medidos de campo obtenidos de la recolección de limallas durante la perforación de la sección de 8 1/2" – Sacha 248D

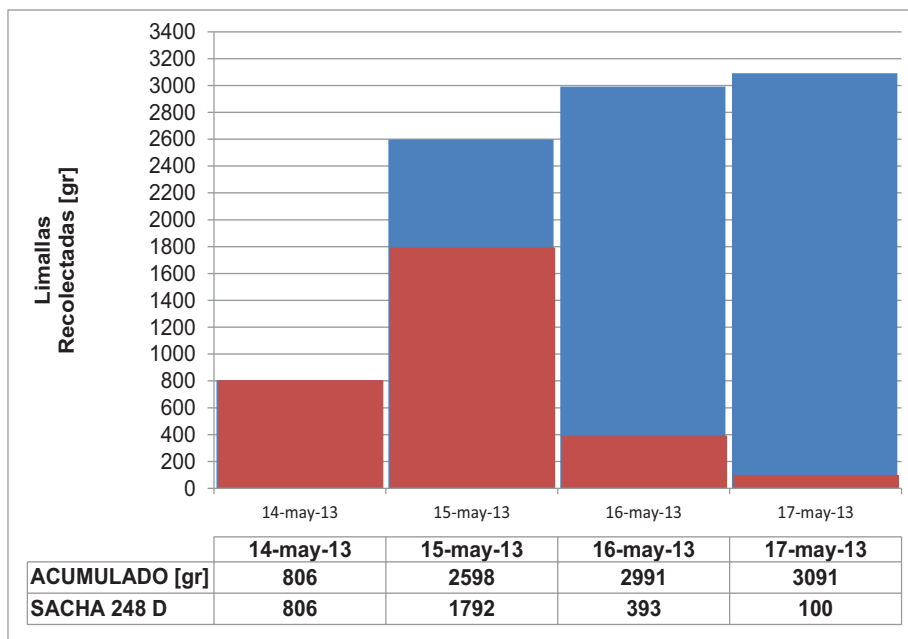
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La tabla 5.3 y la figura 5.21 presentan la recolección diaria y acumulada que se tuvo durante los 4 días que duró la operación de perforación de la etapa de producción. Y tomando las 19 muestras de limallas pesadas en el correcto proceso operacional seguido se logró obtener una buena tasa de recolección de en el proceso de perforación.

Pozo	8 1/2" fecha	Día	Recolección limallas [gr]		Recolección limallas [lbm]
SACHA 248 D	14-May-13	14-May-12	806	3091	6.81
		15-May-12	1792		
		16-May-12	393		
		17-May-12	100		

**Tabla 5.4:** Recolección de limallas del pozo Sacha 248D, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 5.21:** Recolección Diaria y Acumulada de Limallas del pozo Sacha 248D, durante la perforación de la sección de 8 1/2"

**Elaborado por:** Gerardo Duque

Durante la etapa de completación del pozo se armó el BHA de limpieza #1 con broca tricónica de 8 ½" + 8 ½" bit sub + 8 ½" RBMHD (Razor Back - OD para revestidor de 9 5/8") + 8 ½" MSTAR (Magnostar - OD para revestidor de 9 5/8") + 11 x 5" HWDP + 5" tubería de perforación, con este ensamblaje se bajó rotando y circulando desde 7707 hasta 7990 pies donde encontró el tope del liner de 7", continuó bajando con solo circulación hasta los 8000 pies. Una vez a esta profundidad bombeó 50 bbls de píldora viscosa con walnut a 400 GPM y 40 RPM, circuló 3 fondos arriba y sacó BHA de limpieza # 1 a superficie.

El siguiente BHA de limpieza #2 se compuso de broca tricónica de 6 1/8" + 4 ¾" Bit sub + 4 ¾" RBMHD (Razor Back - OD para revestidor de 7") + 4 ¾" MSTAR (Magnostar - OD para revestidor de 7") + 4 ¾" SPDC (raspador) + 70 x 3 ½" tubería de perforación + Polish Mill para liner de 7" + 5" tubería de perforación, se bajó ensamblaje hasta 10325 pies (Polish mil a 7999 pies) con rotación y circulación en tres ocasiones a 9836, 9848 y 9856 pies donde se limpió cemento y se repasó 3 veces con 450 GPM y 40 RPM, bombeó 60 bbls de píldora viscosa con walnut y circuló un fondo arriba. Inició desplazamiento de fluido de perforación por agua filtrada con píldoras viscosas, alcalinas y surfactantes. Circuló al final del desplazamiento con salmuera KCl y procedió a sacar ensamblaje de limpieza a superficie.

El peso de limallas recolectadas se puede observar en la Tabla 5.4.

VIAJE	RECOLECCIÓN LIMALLAS MAGNETO [lbm]
BHA#1 Limpieza	15.4
BHA#2 Limpieza	8.8

**Tabla 5.5:** Recolección de Limallas en BHA de Limpieza, secciones de 9 5/8" y 7" – Sacha 248D

**Elaborado por:** Gerardo Duque

## 5.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Gracias a la implementación los métodos adecuados de recolección de limallas durante la perforación de la sección de 8 ½" del Sac 248D (tabla 5.4, 6.81 libras de limallas recolectadas) y de la recolección de limallas en la sección de completación del pozo Sac 248D (tabla 5.5, 24.2 libras recolectadas) se logró obtener un total de 31.01 libras de limallas desgastadas del revestidor, esta cantidad de limallas equivale a un 44% del peso que se esperaba tener según el modelo teórico (tabla 5.2 y figura 5.19), por lo tanto se obtuvo una eficiencia final muy por encima del promedio obtenido en los casos analizados anteriormente.

En este pozo debido a condiciones exigidas por el operador del campo solo fue posible contar con solo un magneto (capacidad de recolección de 40 libras) en la recolección de la etapa de perforación

Y considerando que dicho magneto generó una recolección de 6.81 libras, se establece que el uso de un segundo magneto hubiera generado una mayor tasa de recolección. La implementación del segundo magneto durante esta etapa hubiera elebado enormemente la eficiencia obtenida anteriormente.

Si asumimos que la tasa de recolección se hubiera duplicado hasta 13.61 libras con el segundo magneto y que en total hubieran sumado 37.82 libras recolectadas, se podría de igual manena afirmar que la eficiencia de recolección llegaría a ser del 54%.

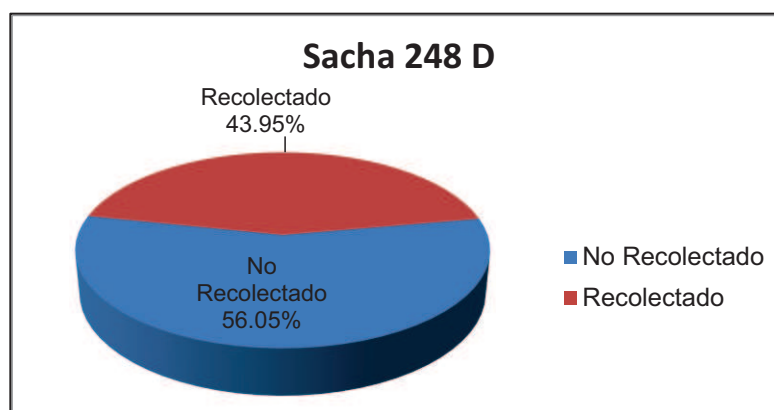
Además otro factor que no pudo ser implementado para este pozo fue el uso de dos magnetos en la configuración del BHA de limpieza #2, en esta oportunidad se dispuso de un solo magneto Magnostar para el revestidor de 7".

Si la configuración del ensamblaje #2 de limpieza se hubiera adecuado con un Magnostar adicional para el revestidor de 9 5 /8" y se lo hubiera corrido en



tándem,;la recolección de limallas hubiera incrementado en un porcentaje aún mayor.

La figura 5.22 muestra que nuestro pozo de análisis obtuvo la mayor tasa de recolección de todos los pozos analizados previamente en este proyecto.



**Figura 5.22:** Porcentaje de recolección de limallas durante la etapa de perforación de la sección de 8 ½" – PLAD 34H

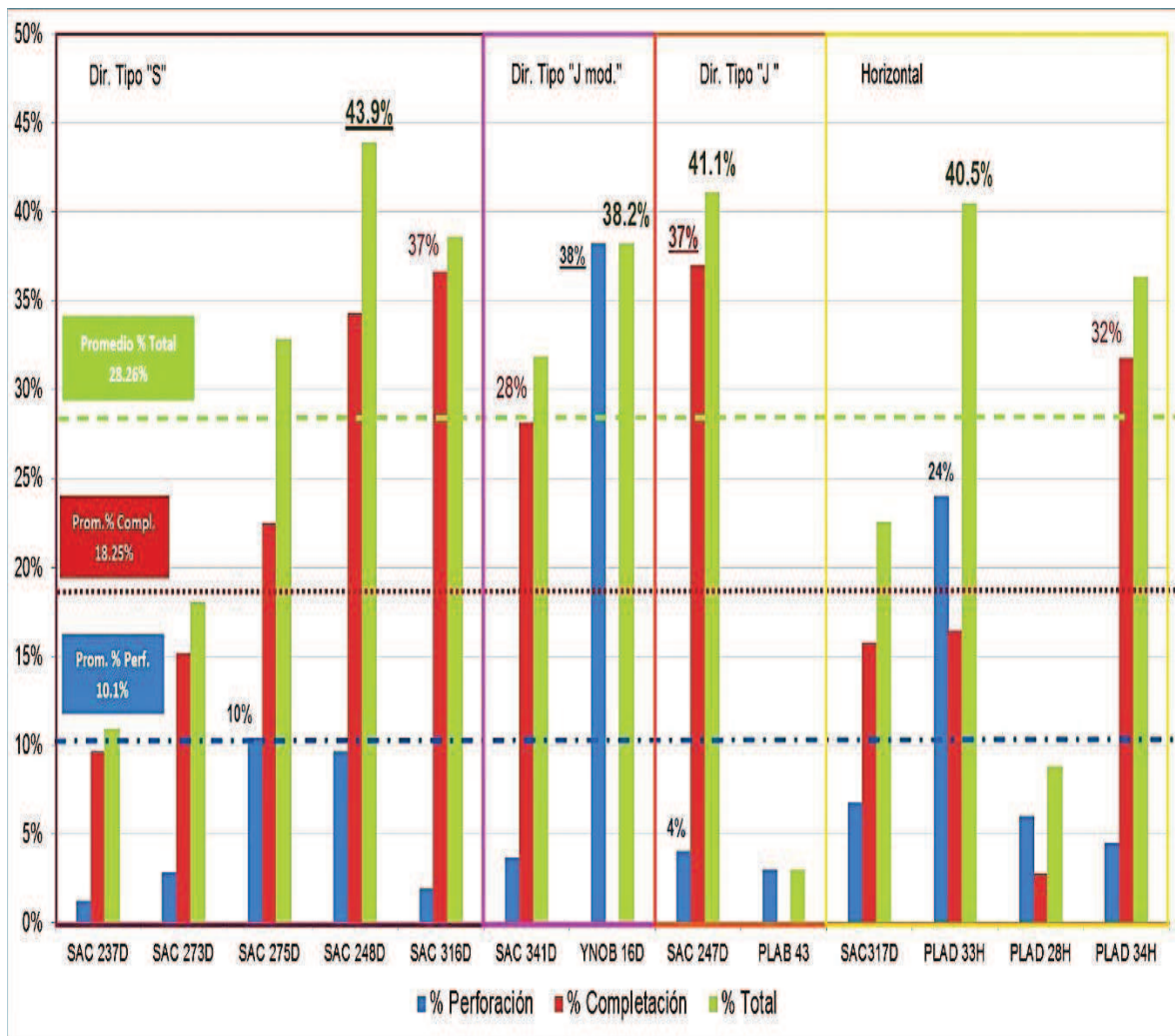
**Elaborado por:** Gerardo Duque

La figura 5.23 y la tabla 5.5 muestran de manera resumida los resultados del análisis realizado a lo largo de éste proyecto.

Perfil	Desgaste Promedio Obtenido		
	Perforando	Completando	Total
Dir. "S"	5.2%	23.7%	28.9%
Dir. "J mod."	20.9%	14.1%	35.1%
Dir. "J "	3.5%	18.5%	22.1%
Horizontal	10.3%	16.7%	27.1%
	10.01%	18.25%	28.26%

**Tabla 5.6:** Porcentajes de recolección de limallas

**Elaborado por:** Gerardo Duque



**Figura 5.23:** Porcentaje de limallas recolectadas  
**Elaborado por:** Gerardo Duque

De la figura anterior y de la tabla anterior es fácil inducir los resultados obtenidos de las mediciones obtenidas en los numerales 5.2, 5.3 y 5.4 de este proyecto.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El principal mecanismo de desgaste para la configuración direccional de los pozos analizados en los campos Sacha y Palo Azul es el abrasivo por corte mecánico. En este tipo de desgaste se produce debido a la protección dura del tool joint la que genera limallas del revestidor, puesto que la tubería de perforación se encuentra rotando contra las paredes de la tubería de revestimiento. Esto puede ser evidenciado por la forma que presentan las limallas al momento de su recolección, estas tienen la forma de hilos, como se observa en la figura .3.16.
- El factor de mayor influencia para considerar el desgaste de la tubería de revestimiento de 9 5/8" son las fuerzas normales, esto se debe a que estas fuerzas representan la carga efectiva que va a sufrir el revestidor a medida que la tubería de perforación rote en contra de esta. Las fuerzas normales dependen exclusivamente del diseño del pozo, considerando como parte del diseño la configuración direccional o el perfil del pozo, así como la tortuosidad y desplazamiento vertical que el pozo tiene, esto se concluye del análisis efectuado .sobre el apartado 4.1 en este trabajo, aquí se presenta caso a caso la influencia de dichas fuerzas sobre los puntos de mayor abrasividad del desgaste.

- Otro factor determinante en el desgaste de la tubería de revestimiento son las horas de rotación de la tubería de perforación en contra de la tubería de revestimiento, sin embargo este factor es secundario y su afectación dependerá exclusivamente de las fuerzas normales aplicadas sobre el pozo. Mediante este estudio en el apartado 4.1 de igual manera se determinó que las horas de rotación representan solo un 20% de la afectación total del desgaste sobre el revestidor como lo muestra la tabla 4.37, mientras que las fuerzas normales influyen en un 80% del desgaste total.
- El tercer factor es la ubicación a cuál las fuerzas normales se presentan, esto se puede observar que a medida que las severidades de pata de perro se encuentran más superficiales el porcentaje de desgaste de la tubería de revestimiento es mayor ( Ver apartado 4.2 ). Este factor es cualitativo y da una breve idea sobre la severidad del desgaste, al encontrarse el KOP a menor profundidad representará un mayor desgaste sobre el revestidor y conforme el KOP se ubique a mayor profundidad, el desgaste será menor.
- Dentro de este estudio se concluyó un rango de valores de factor de desgaste adecuados para los perfiles direccionales y horizontales según la información que se obtuvo del estudio de los pozos en los campos Sacha y Palo Azul como lo muestra la tabla 4.37. Para los pozos direccionales tipo “S” se determinó un rango entre 0.12 y 0.19. En el perfil “J” valores entre 0.13 y 0.17. En “J modificado” valores entre 0.12 y 0.18. Y finalmente para pozos horizontales valores entre 0.16 y 0.23. Cabe recalcar que estos valores dependen únicamente de los dos factores determinantes principales, los cuales son las fuerzas normales y las horas de rotación durante la actividad de perforación.
- La configuración direccional de un pozo genera un riesgo potencial de desgaste sobre tubería de revestimiento de 9 5/8”, mediante este estudio se determinó la agresividad del desgaste según el perfil del pozo, siendo los perfiles direccionales tipo “S” aquellos pozos que poseen un mayor riesgo de

generar desgaste, en segundo lugar los pozos tipo “J modificado”, en tercer lugar los pozos horizontales con configuraciones de “mujer embarazada” (desplazamiento negativo y positivo) como lo muestran el apartado 4.2 y la tabla 4.37, y las configuraciones más amigables son los tipo “J”. Esto se concluyó del análisis de las fuerzas normales y el desgaste sobre el revestidor de 9 5/8” como se lo muestran en las tablas que poseen la información sobre la fuerza normal a lo largo del apartado 4.2.

- Los pozos horizontales son un caso de análisis especial debido a que el revestidor de 9 5/8” es sometido al desgaste durante la perforación de la sección de 8 1/2” y además el desgaste producto de la perforación del hoyo de 6 1/8”. Una vez el hoyo de 8 1/2” es realizado se corre un revestidor colgado (liner de 7” - traslape entre revestidor de 9 5/8” y 7” aprox. 120 pies -), en la siguiente fase de perforación - la sección de producción horizontal de 6 1/8”- se genera el desgaste adicional sobre el revestidor de 9 5/8” y también sobre el liner de 7”. Debido a que los pozos horizontales tienen una fase adicional operativa están sujetos a mayor incidencia de desgaste debido a las horas de rotación adicional. Sin embargo, debido a su configuración direccional (perfil de mujer embarazada) el porcentaje de desgaste que sufre se encuentra en tercer lugar de abrasividad.
- El caso de mayor agresividad en el desgaste del revestidor de 9 5/8” (SAC 273D), posee un valor máximo de desgaste de hasta el 3% (figura 4.3), mientras que el caso más amigable representa menos del 1% como se muestra en la figura 4.23
- El impacto o afectación sobre las propiedades mecánicas del revestidor están bien definidos en función del desgaste del revestidor. La afectación de las presiones de estallido y colapso llegan a ser de la misma magnitud que el desgaste sufrido sobre el grosor del revestidor de 9 5/8” como se muestra en la

figuras correspondientes a la variación de las propiedades mecánicas de cada revestidor a lo largo del apartado 4.2.

- De los métodos disponibles en la industria petrolera para cuantificar el desgaste de revestidores de pozos, el más adecuado sería el registro ultrasónico que realiza lecturas directas sobre el revestidor, indicando el grosor de la pared del mismo, dicho registro es conocido como un registro de imagen ultrasónico "USIT". Además, es el registro corrido para la determinación de la adherencia de cemento en la sección del revestidor colgado de 7". Sin embargo, sus aplicaciones sobre el revestidor de 9 5/8" durante la etapa de perforación no han sido explotadas en toda su capacidad, esto se debe a que en el país no han existido casos representativos de desgaste. Por este motivo el indicador más adecuado sobre el desgaste efectivo que sufre la tubería de revestimiento es la recolección de limallas tanto en la fase de perforación como en la etapa de completación, un claro ejemplo de visualización de los beneficios de este registro se aprecian en la figura 3.19.
- Para mejorar la predicción cuantitativa del desgaste del revestidor de 9 5/8", el mejor método sería correr el programa "CWear", el mismo arroja un registro detallado sobre la magnitud y la posición de desgaste como se demuestra en el apartado 4.2. Sin embargo, este método puede ser ajustado cuando se disponga de un registro de imagen ultrasónica o su equivalente y establecer un modelo más preciso para los diferentes perfiles direccionales. Este estudio ha sido realizado con información de campo y ha permitido obtener un modelo base y podría ser sujeto a ajustes usando la información de registros ultrasónicos.
- Los métodos actuales de recolección de limallas durante la etapa de perforación poseen un índice de eficiencia muy por debajo del mínimo aceptable y por ende no representan un indicador real de la variación del grosor del revestidor. La implementación de un método adecuado de

recolección con un número de magnetos adecuado daría un indicador efectivo de la afectación de la que está sufriendo el revestidor “in situ” y se podría tomar acciones tempranas en caso de detectar un caso de desgaste.

- Durante la etapa de Completacion, el método que utiliza magnetos en el ensamblaje de limpieza genera una mayor aproximación a lo predicho por el Programa CWear. Esto es, alrededor del 40% de dicho valor es recolectado por los magnetos. Esto permitiría deducir dos temas: El método de atrapamiento de limallas es efectivo, o que la cantidad de limallas generadas es mayor a lo predicho por el simulador.
- Durante la etapa de diseño del revestidor mediante del uso del programa TDAS 7.4 se considera un factor de tolerancia de la pared del revestidor, el mismo que es pre establecido en un 12.5% menos de la capacidad nominal de la tubería, este factor se considera como un valor que me cubre una variación del grosor del revestidor en el momento de su fabricación. Sin embargo, este factor cubre un porcentaje de desgaste de hasta un 5% del revestidor. Si con la correcta simulación se determina que el revestidor va a ser sujeto de un desgaste mayor al 5% se debe establecer este valor en la tabla de porcentaje de desgaste del revestidor; esta consideración es necesaria puesto que un valor superior a este genera una reducción de gran afectación sobre las propiedades de resistencia al estallido y colapso del revestidor
- Tomando en cuenta las recomendaciones presentadas en el estudio e implementandolas se recolectó el 44% de limallas producidas por el desgaste del revestidor de 9 5/8” ( Ver tabla 5.5 y figuras 5.22 -5.23), y tan solo hasta el 10% del predicho representará en la etapa de recolección durante la perforación ( con un solo magneto ) esto significaría que sí se dispone de la predicción de desgaste y al momento del monitoreo temprano se posee un porcentaje mayor al 10% se puede suponer que el revestidor está siendo sujeto a un desgaste adicional al simulado. Esto es una medida de alerta

temprana que debe ser tomada en consideración por el Supervisor del pozo tanto sea en locación como en el área de supervisión en las oficinas centrales, ya que de ser el caso se puede evitar casos de pérdida de pozo o eventos que generan dinero rojo para la compañía operadora.

- Mientras se mantenga un control exhaustivo y preciso sobre la recolección de limallas, se podrá ajustar el modelo con mayor precisión y por ende se podría conocer la integridad que el revestidor posee al momento de ser sometido a la perforación de secciones subsiguientes a su asentamiento.
- De los casos históricos presentados y ejecutados México, se puede concluir que el desgaste del revestidor puede llevar a eventos de pérdida de pozos así como dinero rojo para la compañía prestadora de servicios y a la empresa Operadora. En estos casos catastróficos se cometió el gran error de despreciar el desgaste de la tubería de revestimiento durante la etapa de diseño del mismo; este exceso de confianza durante las operaciones de perforación llevó a tener pérdidas significativas.

En el caso del Arcabuz 321 la falla del revestidor fue producto del excesivo número de horas rotando debido a la ejecución de dos side tracks, de aquí concluiríamos que la consideración de del desgaste debe ser realizado como una parte del diseño del pozo y de igual manera llevar el monitoreo adecuado sobre el mismo.

En el caso del pozo Jacinto 1002 el desgaste evidenciado fue producto de una mala alineación por 7 cm de desvío entre el centro de la mesa rotaria y el cabezal de 20", por ende la alineación es un factor crítico para evitar el desgaste.



## 6.2 RECOMENDACIONES

- Cuando las circunstancias operativas, proyección de perforación de futuros pozos, etc; lo permitan, se recomienda diseñar los pozos con KOP a una mayor profundidad posible.
- Cuando las condiciones operacionales lo permitan, usar protectores rotatorios en la tubería de perforación para proteger al revestidor de desgaste ocasionado por los hard banding de las conexiones. Estos protectores están compuestos de goma y una de sus finalidades es la proteger la cobertura dura de la tubería de perforación de entrar en contacto con el revestidor de manera directa.
- En los pozos que dispongan o se planea correr un registro USIT, establecer dentro de los programas de Perforación y Completación ajustar el modelo de predicción de desgaste ( CWear ) que se haya realizado. Esto permitiría obtener la afectación del revestidor más precisa ocasionada por las operaciones mencionadas.
- Todo supervisor de perforación de pozo debe registrar en el reporte diario de Perforación la cantidad de limallas recolectadas. El Supervisor debe mantener contacto y comunicación directa con el personal de Mud Logging para que la recolección de limallas sea efectiva.
- En la etapa inicial del diseño de cada pozo el ingeniero responsable debe realizar la simulación del desgaste de la tubería de revestimiento usando un programa apropiado en combinación con herramientas tecnológicas adicionales.
- En caso de prever que el revestidor va a poseer un desgaste considerable, dentro de lo posible, la principal acción preventiva a establecer es modificar el plan direccional – siendo el perfil tipo “J” el más favorable. La segunda opción

en la lista es aumentar las capacidades de tolerancia de la tubería de revestimiento, esto se logra aumentando el peso y el grado de la tubería, como tercera acción utilizar protectores rotatorios en la tubería de perforación y la cuarta opción es la de cambiar el material de la banda dura del tool joint de la tubería de perforación.

- Sin duda la mejor manera de prevenir un evento de desgaste del revestidor es mantener siempre en cuenta que la tubería de revestimiento es simplemente un elemento utilizado en la actividad de perforación, y por ende puede estar sujeto de fallas, La prevención es la mejor táctica de defensa en este tipo de casos, pensar que un evento de desgaste no se puede suscitar es el primer paso en el camino hacia el desastre.
- Usar simulador “CWear” como método de predicción de desgaste del revestidor por que da como resultado un registro detallado sobre la magnitud y la posición de desgaste como lo muestran la figuras correspondientes a las afectaciones mecánicas del revestidor de cada pozo a lo largo de la sección 4.2.

## GLOSARIO

- **ASTM.**- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
- **AZIMUT.**- Durante la perforación, hace referencia a la dirección de la brújula de un survey direccional, del hoyo como planeado o como la dirección medida por una herramienta direccional. El azimut es usualmente especificado en grados con respecto al polo norte magnético o geográfico.
- **B.H..**-“Bent Housing”, una desviación diseñada para un motor que genera un desplazamiento positivo, que posee una desviación entre 1 y 3 grados
- **BHA.**- “Bottom Hole Assembly”, ensamblaje de fondo , hace referencia a la sección más baja de la tubería de perforación, consiste (desde el fondo hacia arriba) de la broca, bit sub, motor direccional (en ciertos casos), estabilizadores, drill collars, heavy weight drill pipe, dispositivos de martilleo (“martillos”) y crossovers para varios acoples, además puede poseer elementos adicionales de MWD – LWD.
- **BIT SUB.**- Es una herramienta cuya función es enlazar la broca con los demás elementos de perforación que posee el BHA.
- **BLOWOUT.**- Un flujo incontrolado de los fluidos del reservorio hacia el hoyo, y en ciertas ocasiones que llegan a superficie
- **BOP.**- “Blow Out Preventor”, un conjunto de válvulas largas sobre el pozo que pueden ser cerradas si el personal de la cuadrilla pierde control de los fluidos de la formación.
- **BOQUILLAS.**- Son dispositivos diseñados para controlar la presión y caudal (propiedades hidráulicas) del fluido de perforación que viaja a lo largo de la tubería de perforación hasta el fondo del hoyo, al salir por las boquillas ubicadas en la broca.

- **BTC.**- Conexión Buttress.
- **BUCKLING.**- Pandeo de la tubería de perforación o de revestimiento.
- **CBL.**- Registro eléctrico perteneciente a SLB que genera una imagen ultrasónica sobre la condición de unión entre el cemento la pared externa del revestidor y la formación.
- **CEPILLO.**- Herramienta con la que se busca raspar las paredes internas del revestidor para dejar este lo más limpio posible.
- **CÓDIGO IADC.**- Código utilizado para calificar/evaluar una broca después de su utilización en actividades de perforación, ésta consta de 8 características evaluables.
- **CROSSOVER.**- Herramienta especializada usada para unir diferentes conexiones de otras herramientas entre sí.
- **CWEAR.**- Programa especializado a calcular el desgaste de la tubería de revestimiento.
- **DINERO ROJO.**- El dinero que una compañía pierde debido a operaciones que se encuentran bajo su cargo.
- **DOG LEG.**- Un punto particular torcido en la trayectoria dentro del hoyo del pozo, donde la trayectoria del cambia espacialmente en tres dimensiones rápidamente.
- **DOG LEG SEVERITY.**- Variación entre la posición de cada dog leg
- **DRILL COLLAR.**- Tubería especial pesante utilizada durante las operaciones de perforación de pozos, cuya finalidad es la de generar cierta carga sobre la broca.
- **DRILL PIPE.**- Tubería de perforación.

- **DROP.**- Punto dentro de una trayectoria direccional donde se empieza a declinar la inclinación con el fin de llevarla a un menor ángulo.
- **DSA.**- “Drilling spool adapter”, adaptador entre la tubería de revestimiento y el cabezal del pozo.
- **FLOAT SUB.**- Tubería o junta con una válvula interna flotante, cuyo fin es controlar el flujo de fluidos en la dirección deseada.
- **GYRO.**- También como “GWD”, registro direccional no magnético que provee información sobre la inclinación, dirección y profundidad de un punto del hoyo.
- **HARD BANDING.**- También como “Hard Facing Banding”, un tool joint o junta de unión de la tubería de perforación posee una cobertura de un material más duro que el acero, la función de esta protección es la de evitar que la junta de unión sea desgastada
- **HEAVY DUTY RAZOR BACK.**- Herramienta especializada para la limpieza de la tubería de revestimiento.
- **HWDP.**- Tubería pesante de perforación de configuración similar a la tubería de perforación o drill pipe.
- **IADC.**- Asociación Internacional de Contratistas de Perforación.
- **IMPULSE.**- También “MWD Impulse”, herramienta MWD que genera registros direccionales así como registros de resistividad – gamma ray del hoyo en tiempo real durante la actividad de perforación.
- **JUNK BASKET.**- También Canasta, en relación a la actividad de perforación, herramienta cuya función es la de recolectar basura desde el fondo del hoyo y sacarla hasta superficie.
- **KHZ.**- “Kilo Hertz”, unidad de medida de frecuencia.

- **KOP.-** “Kick off Point”, o punto inicial de desvío direccional de la trayectoria vertical o tangencial.
- **LANDING COLLAR.-** Componente instalada cerca del fondo de la tubería de revestimiento, en el cuál los tapones que desplazan el cemento “aterrizan” durante la operación de cementación primaria.
- **LIMALLAS.-** Conjunto de material pulido de un componente duro, sea éste el acero.
- **LPG.-** Libras por galón, unidad de medida de la densidad en fluidos.
- **LPP.-** Libras por pie, unidad de medida de peso por cada pie de tubería.
- **MAGNOSTAR / MSTARHD.-** Magneto utilizado para recolectar limallas en aplicaciones de limpieza del revestidor.
- **MAGNETO.-** Imán que genera la atracción de material metálico como el acero
- **MD.-** Measured Depth o profundidad medida, en relación a la longitud total recorrida a cualquier punto dentro del hoyo.
- **MRAYL.-** Unidad de medida de rayos gamma.
- **MUD LOGGING.-** Registro detallada del hoyo creada a base de la examinación del recortes generados durante la actividad de perforación y llevados hasta a superficie. Refiriendose a la unidad de Mud Logging, personal que realiza la ejecución y elaboración de dicho registro.
- **MWD.-** “Measured While Drilling”, medición de propiedades direccionales en tiempo real mientras se realizan las actividades de perforación.
- **NORMAL FORCES.-** Fuerzas normales, fuerzas que se generan perpendicularmente al interior de las paredes del pozo debido a la variación de la trayectoria direccional.

- **NPT.**- “Non Productive Time”, tiempo no productivo en relación a alguna actividad de perforación que no haya estado planificada.
- **PACKER.**- Un dispositivo que puede ser corrido dentro del hoyo que posee un diámetro inicial menor que es expandido externamente para realizar un sello.
- **PDC Bit.**- “Polycrystalline Diamond Compact Cutter Bit”, broca que posee cortadores compactos policristalinos de diamante cuya función es la de cortar la roca con un movimiento circular continuo.
- **PIESAJE.**-“Footage” se denomina a la cantidad de pies perforados.
- **REDRILL.**- Actividad de repaso del hoyo perforado con un BHA por una segunda ocasión.
- **ROP.**- “Rate of penetration”, rata de penetración durante la actividad de perforación, se lo mide usualmente en pies/hora.
- **RPM.**- “Revolutions per minute”, revoluciones por minuto que se generan durante la actividad de rotación de la sarta de perforación.
- **SIDE TRACK.**- Actividad de perforación de un segundo hoyo con diferente dirección del hoyo original.
- **SQUEEZE.**- “Cement Squeeze”, una operación remedial de cementación diseñada para forzar el cemento dentro de ubicaciones con fuga en los tubulares del pozo.
- **SURVEY.**- En perforación, una medición completa de la inclinación, azimut y locación en un pozo.
- **TAPER MILL.**- Herramienta especializada para limpiar restricciones que posea el revestidor.
- **TARGET.**- Objetivo dentro de la perforación de un pozo.

- **TOOL JOINT.**- Junta de unión, la parte ampliada y roscada al final de la tubería de perforación.
- **TORTUOSIDAD.**- “Tortuosity”, característica que define que tan uniforme es la trayectoria del hoyo perforado.
- **TRICÓNICA.**- Definición para una broca que posea conos como superficie de corte.
- **TVD.**- “True Vertical Depth”, profundidad vertical real.
- **USIT.**-, “Ultrasonic Imaging Tool”, herramienta de modelamiento ultrasónico.
- **UTM.**- “Universal Transverse mercator”, sistema universal de coordenadas basada en la proyección cartográfica transversa de Mercator.
- **VDL.**- “Variable Density log”, registro de densidad variable.
- **VME.**-“Von Misses Factor”, factor de diseño triaxial, considera tres ejes un eje para la capacidad de resistencia al estallido, otro al colapso y el tercero a la tensión.
- **WEAR FACTOR.**- Factor de desgaste utilizado en los cálculos del programa CWear, factor que determina que tan abrasivas son las condiciones del pozo para que se genere un porcentaje de desgaste.
- **WIRELINE.**- Compañía de corrida de registros eléctricos.
- **WOB.**- “Weigh on bit”, peso que es aplicado sobre la broca.
- **ZINC.**- herramienta direccional que proporciona que me genera lecturas de inclinación.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS

- Amoco BP, Casing Design Manual, Texas, 1999.
- DAVIS J., Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance, ASM International, E.E.U.U., 2001
- DEVERUX, Steve, Practical Well Planning and Drilling Manual, Penwell Corporation, Tulsa, Oklahoma, 2003.
- DUEÑAS, Jorge, Perforación Direccional y Control de Desviación,. 2009.
- GABOLDE Gilles, NGUYEN Jean, Drilling Data Handbook, Editions Technip, París 2006.
- HUSSAIN, Rabia, Well Engineering and Constrution,Entrac Consulting, 2002.
- Maurer Engineering, CWear 6.1 Manual., Houston Texas, 1999.
- RAHMAN S., CHILINGARIAN G., Casing Design Theory and Practice, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, 1995.
- Schlumberger, An Introduction to TDAS, Houston,2003.
- Schlumberger, Casing Desing Manual, Francia,2009.
- Schlumberger, Directional Drilling Training Manual, Francia,1997.
- TABATABAEI, Nejad, An Introduction to directional Dilling, 2002.

## DOCUMENTOS TÉCNICOS

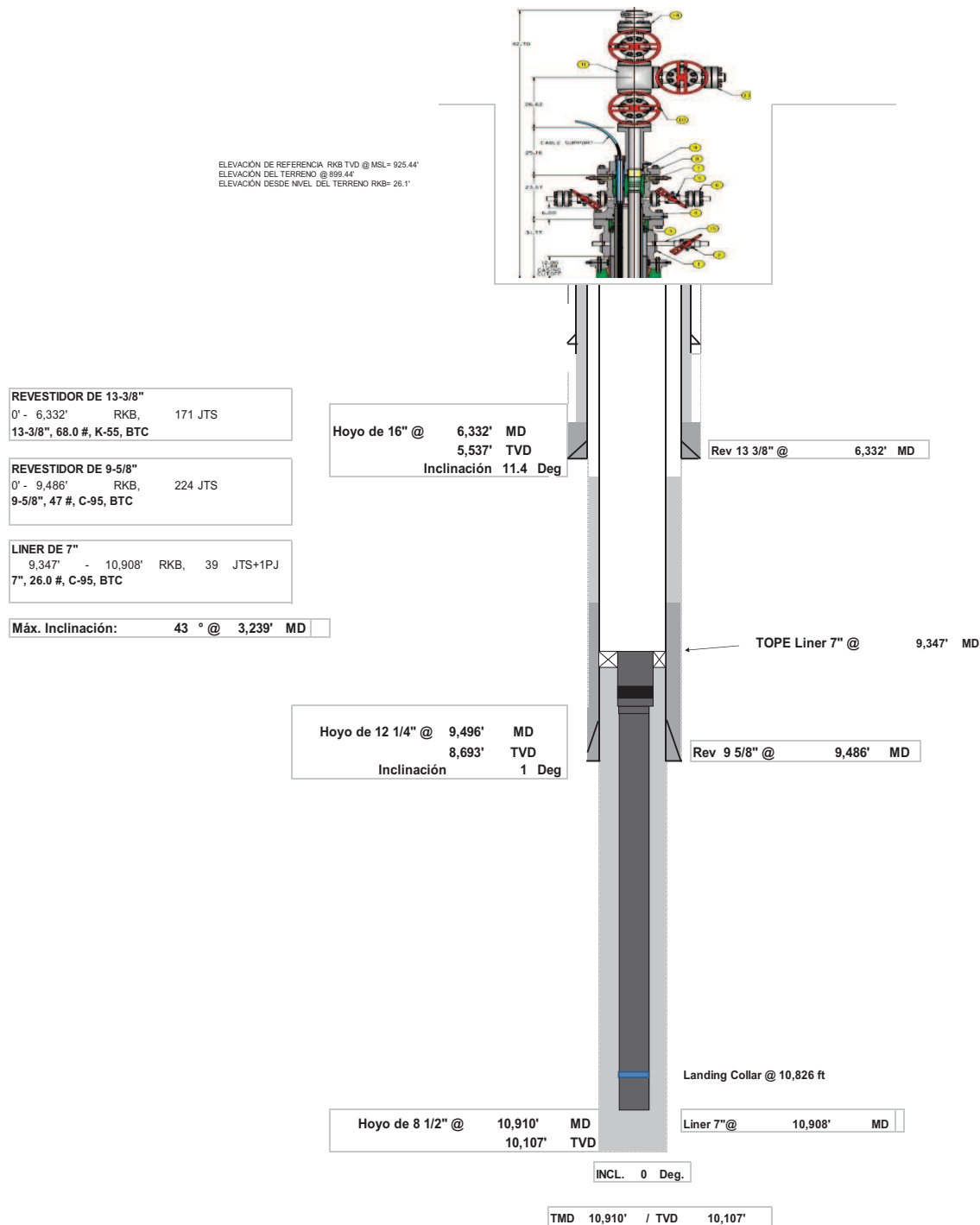
- ASTM, Identifications of Different Types of Wear, 2007
- BEST, Bruno, Casing Wear Caused by Tooljoint Hardfacing, SPE, 1985
- BOL G.M., Effect of Mud Composition on Wear and Friction of Casing and Tool Joints, SPE, 1985
- BRADLEY W., FONTENOT J. The prediction and Control of Casing Wear, SPE, 1975
- HALL R., MALLOY K., Contact Pressure Threshold: An Important New Aspect of Casing Wear, SPE, 2005.
- LUBINSKI A., Maximun Permissible Dog Legs in rotary Bore Holes, SPE, 1961
- MITCHELL S., XIANG Y., Improving Casing Wear Prediction and Mitigation Using a Statically Based Model, SPE- IADC, 2012.
- PINZON J, Alternatives to prevent casing wear in Thaipo, 1996
- SHEN Z., BECK F.E., Intermediate Casing Collapse Induced by Casing Wear in High Tempeture and High Pressure Wells, SPE, 2012.
- WHITE J., DAWSON R., Casing Wear: Laboratory Measurements and Field Predictions, SPE, 1987.
- WILLIAMSON J., Casing Wear: The Effect of Contact Pressure, AIME, 1981.

**ANEXOS**

## **ANEXO 1**

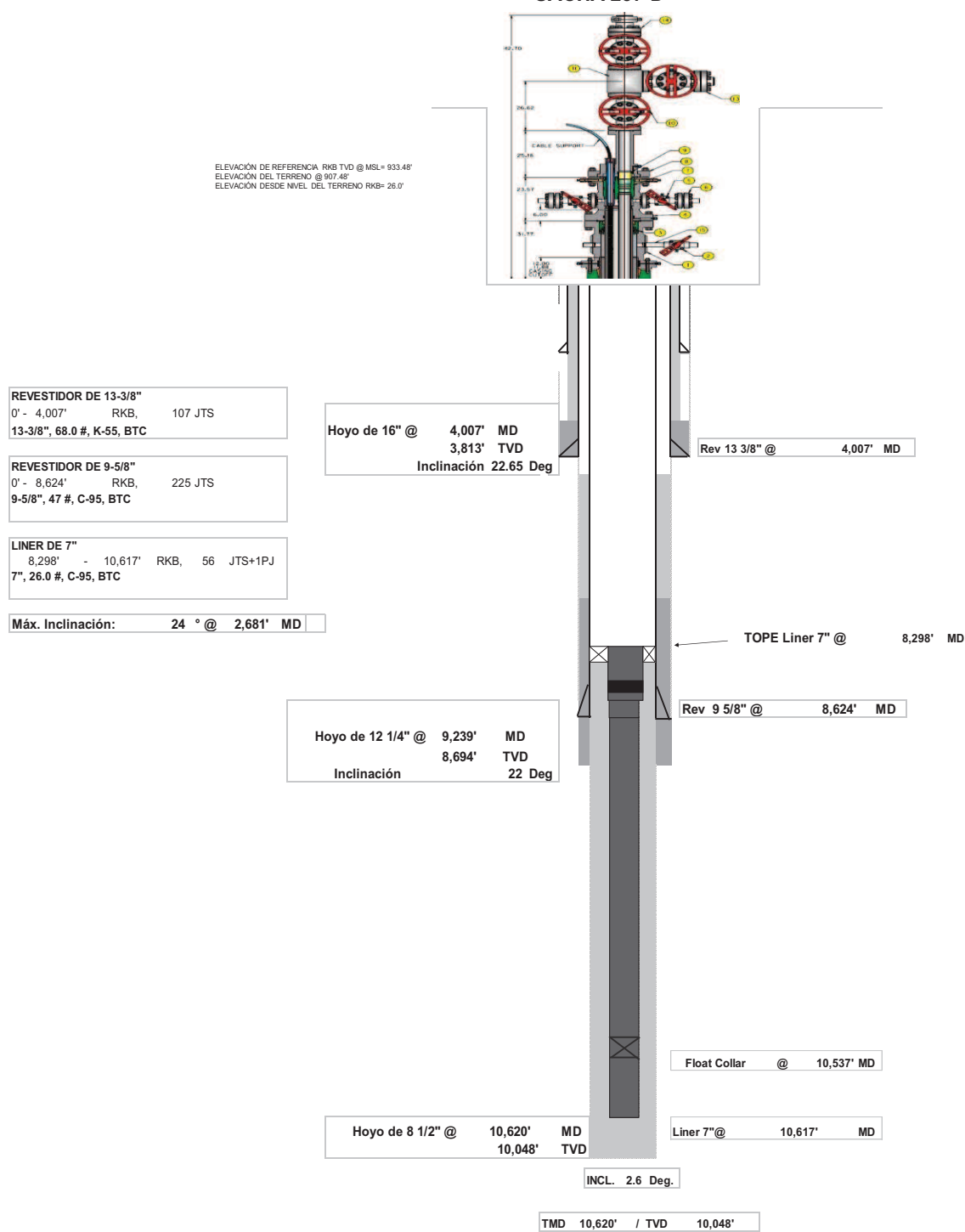
### **ESQUEMAS MECÁNICOS DE LOS POZOS DE ESTUDIO**

**DIAGRAMA MECÁNICO FINAL DIRECCIONAL  
SACHA 273-D**



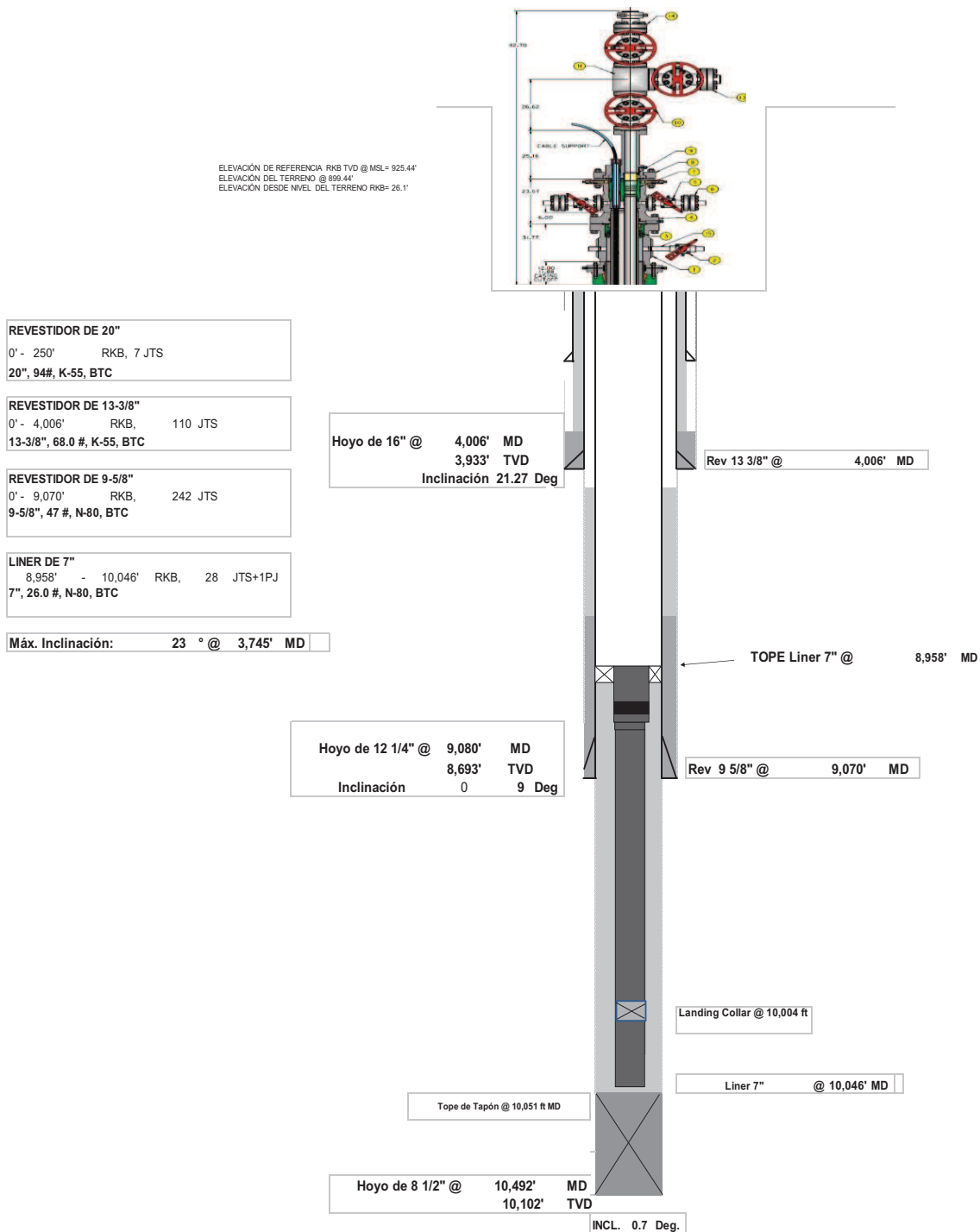
**Anexo 1.1: Esquema Mecánico Sacha 273D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

**DIAGRAMA MECÁNICO DIRECCIONAL  
SACHA 237-D**



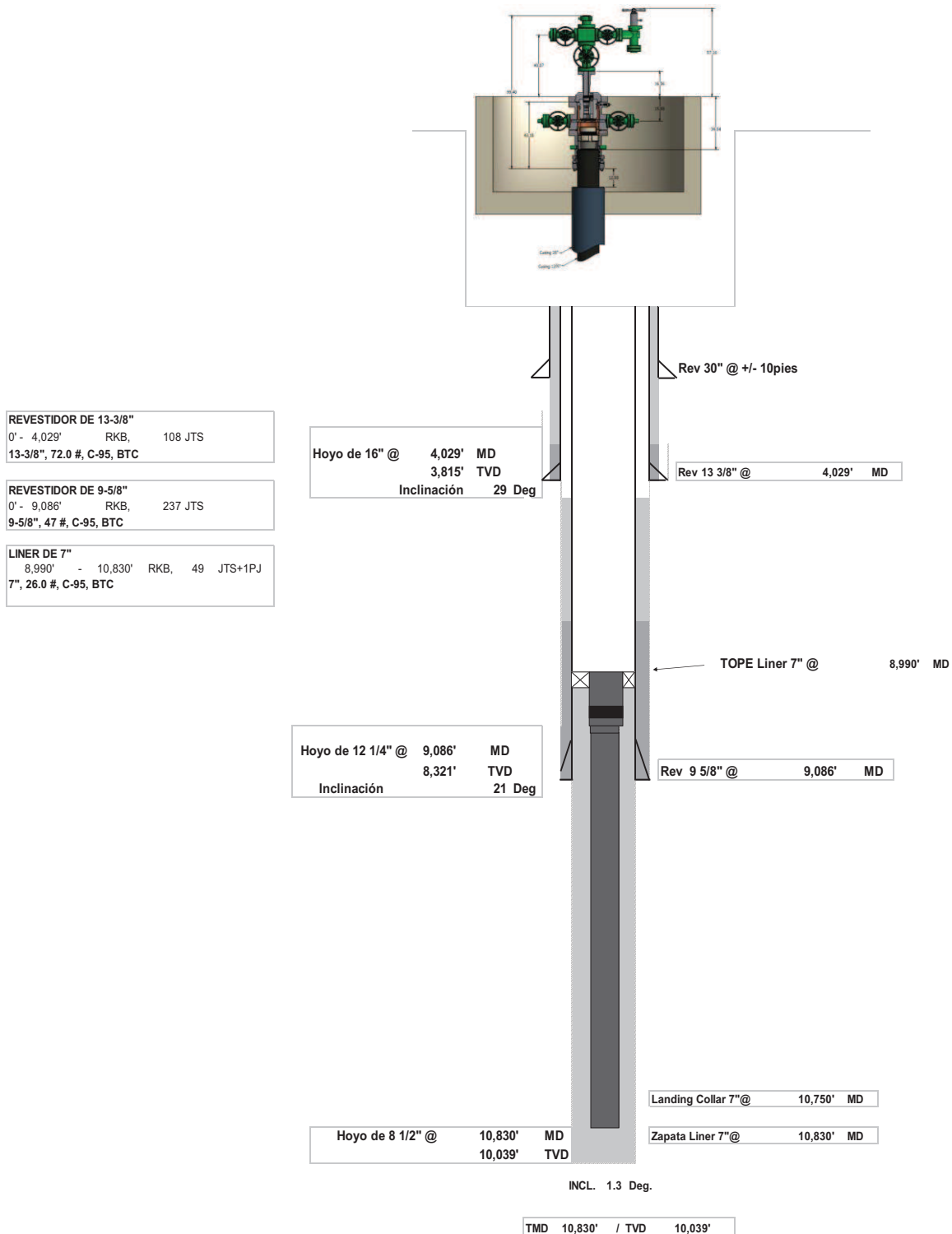
**Anexo 1.2: Esquema Mecánico Sacha 237D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

**DIAGRAMA MECÁNICO FINAL  
SACHA 275-D**



**Anexo 1.3: Esquema Mecánico Sacha 275D**  
Fuente: IPM Schlumberger

DIAGRAMA MECÁNICO FINAL SACHA 316D

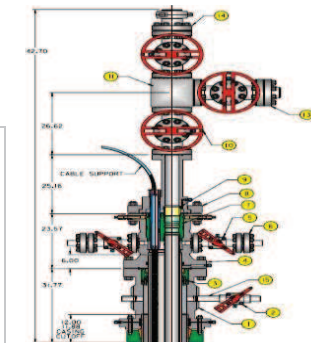


Anexo 1.4: Esquema Mecánico Sacha 316D  
Fuente: IPM Schlumberger



**DIAGRAMA MECÁNICO FINAL  
SACHA 247-D**

ELEVACIÓN DE REFERENCIA RKB TVD @ MSL= 908.54'  
ELEVACIÓN DEL TERRENO 882.54'  
ELEVACIÓN DESDE NIVEL DEL TERRENO RKB= 26.0'



REVESTIDOR DE 13-3/8"  
0' - 4,019' RKB, 109 JTS  
13-3/8", 68.0 #, K-55, BTC

REVESTIDOR DE 9-5/8"  
0' - 8,307' RKB, 229 JTS  
9-5/8", 47 #, C-95, BTC

LINER DE 7"  
8,003' - 11,025' RKB, 81 JTS+1PJ  
7", 26.0 #, P110, BTC

Máx. Inclinación: 29.5 ° @ 3,013' MD

Hoyo de 16" @ 4,019' MD  
3,809' TVD  
Inclinación 31.1 Deg

Rev 13 3/8" @ 4,019' MD

TOPE Liner 7" @ 8,003' MD

Hoyo de 12 1/4" @ 8,738' MD  
7,922' TVD  
Inclinación 30.62 Deg

Rev 9 5/8" @ 8,307' MD

Landing Collar @ 10,943' ft

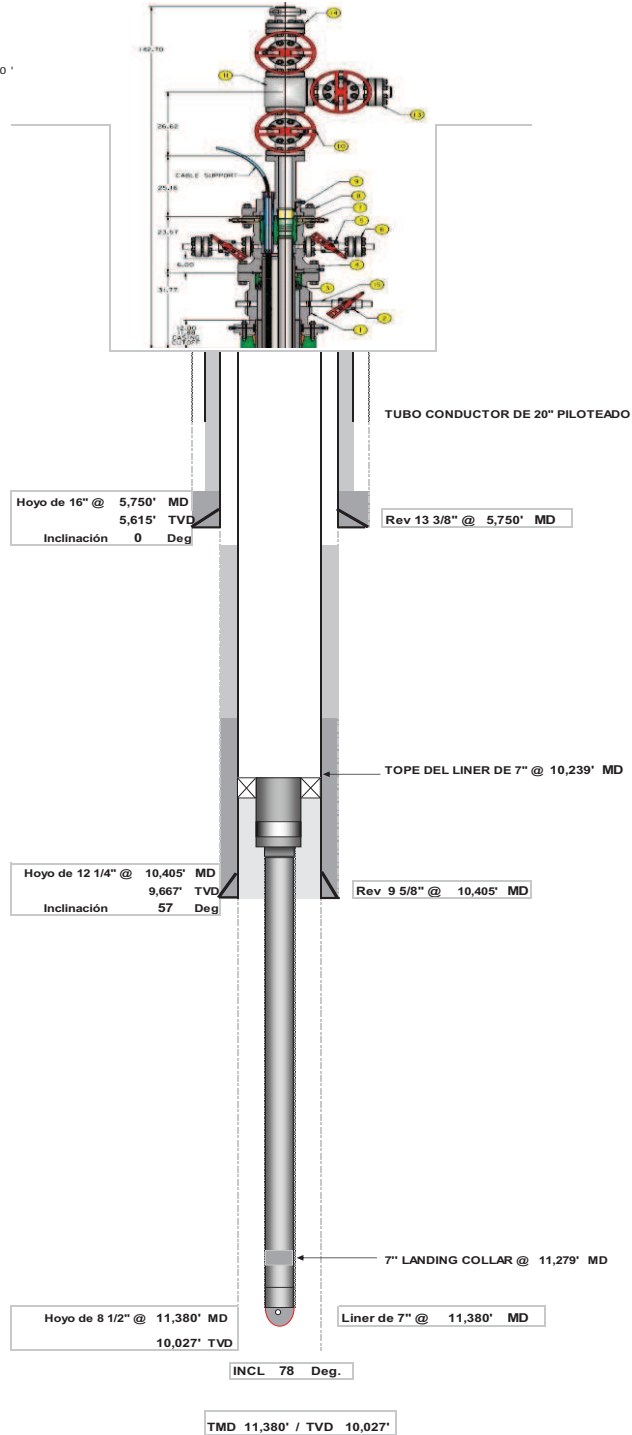
Liner 7" @ 11,025' MD

Hoyo de 8 1/2" @ 11,210' MD  
10,049' TVD  
Inclinación 26 Deg

**Anexo 1.5: Esquema Mecánico Sacha 247D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

**DIAGRAMA MECÁNICO FINALPOZO PALO AZUL B043**

ELEVACIÓN DE REFERENCIA RKB TVD @ MSL= 1049.770 '  
 ELEVACIÓN DEL TERRENO @ MSL= 1012.470 '  
 ELEVACIÓN DESDE NIVEL DEL TERRENO RKB= 37.3



**REV. DE 20" - PILOTEADO**  
 0' - 55' RKB, 3 JTS  
 20", 94#, SCH 60

**REVESTIDOR DE 13-3/8"**  
 0' - 1,800' RKB, 40 JTS  
 13-3/8", 54.5 #, K-55, BTC  
 1,800' - 5,750' RKB, 88 JTS  
 13-3/8", 68.0 #, K-55, BTC

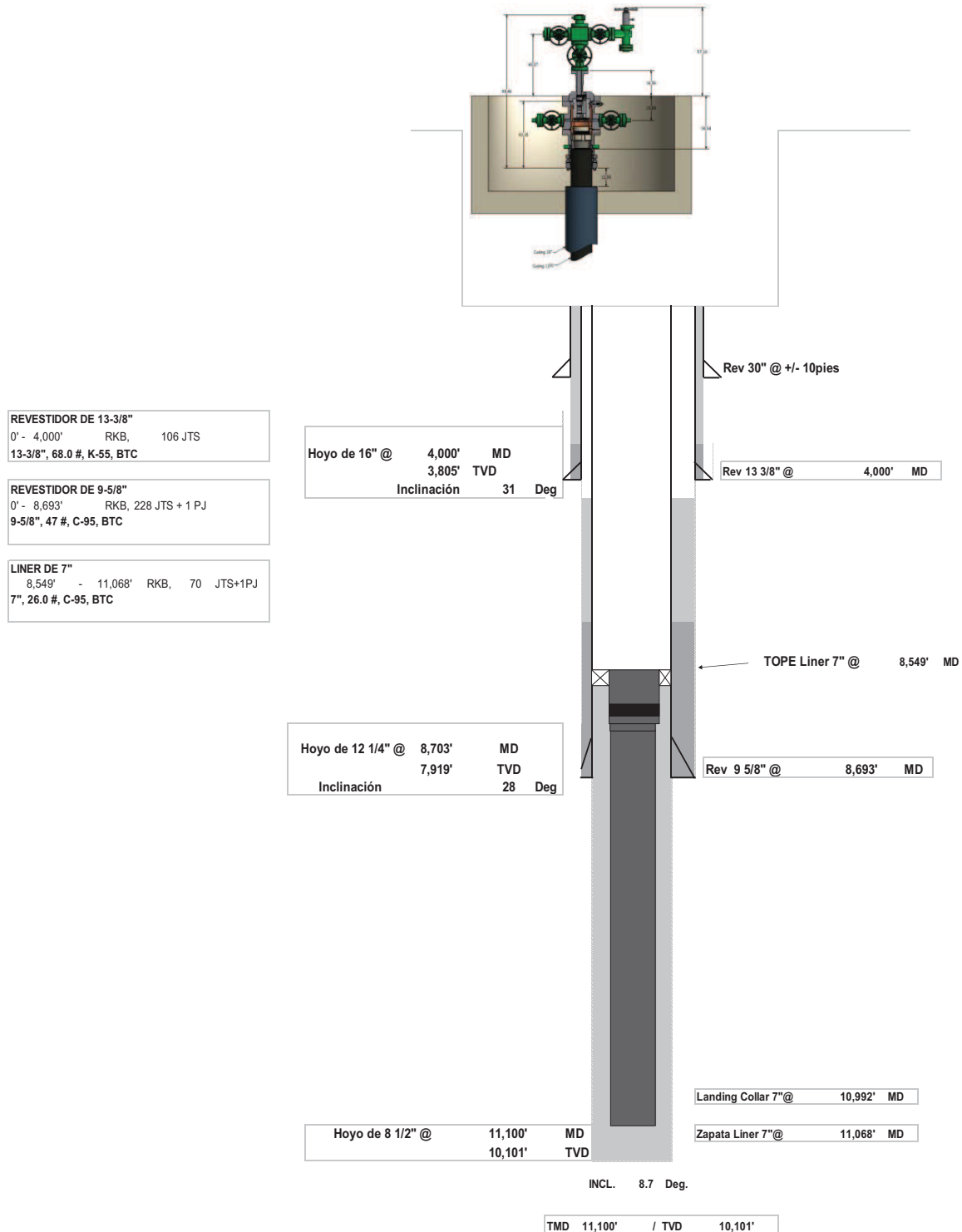
**REVESTIDOR DE 9-5/8"**  
 0' - 9,200' RKB, 204 JTS  
 9-5/8", 47 #, N-80, BTC  
 9,200' - 10,405' RKB, 27 JTS  
 9-5/8", 53.5 #, N-80, BTC

**LINER DE 7"**  
 10,239' - 11,380' RKB, 25 JTS+1PJ  
 7", 26.0 #, N-80, BTC

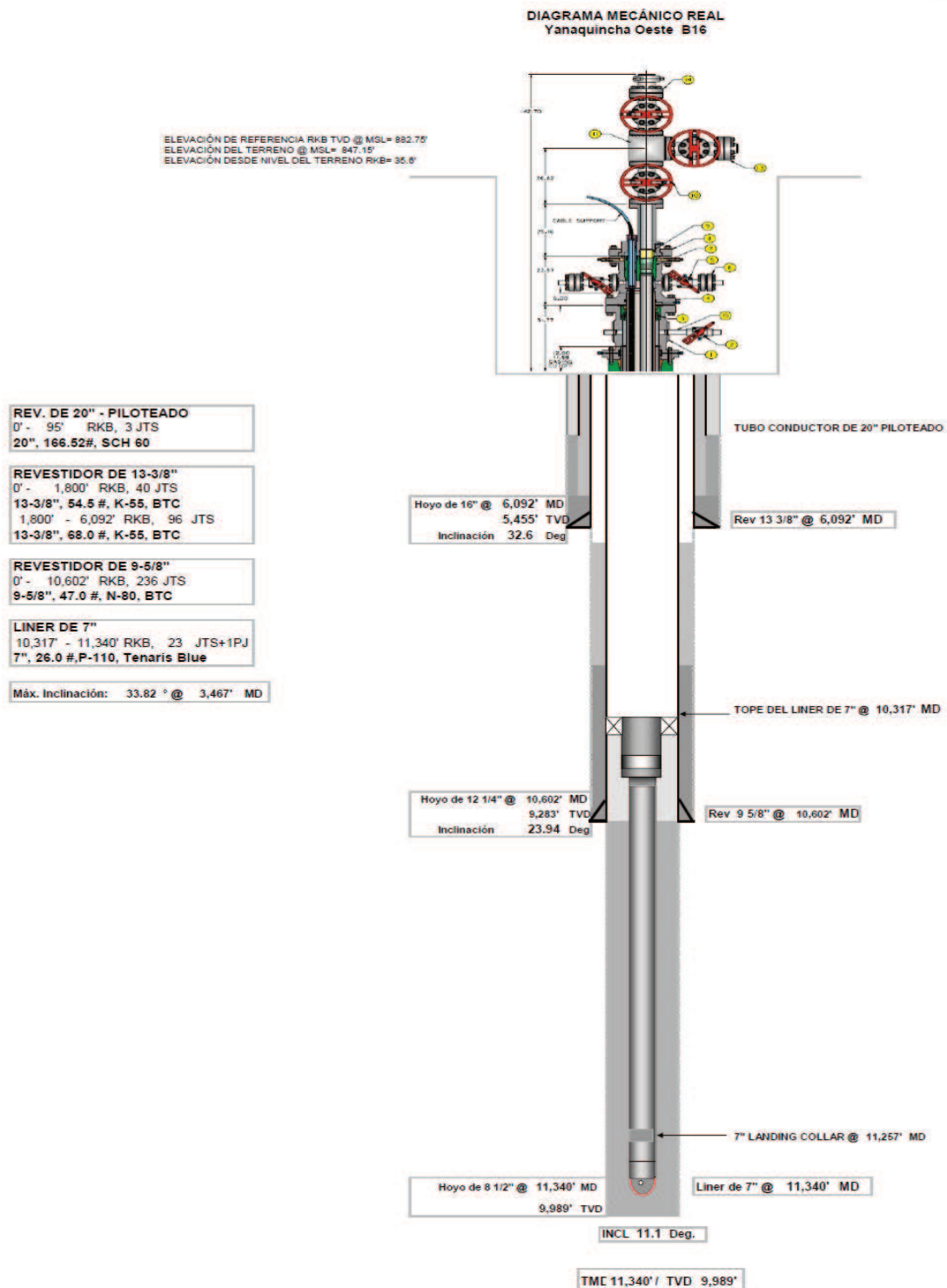
Máx. Inclinación: 78.74 ° @ 11,236' MD

**Anexo 1.6: Esquema Mecánico Palo Azul B 43D**  
 Fuente: IPM Schlumberger

DIAGRAMA MECÁNICO SACHA 341D

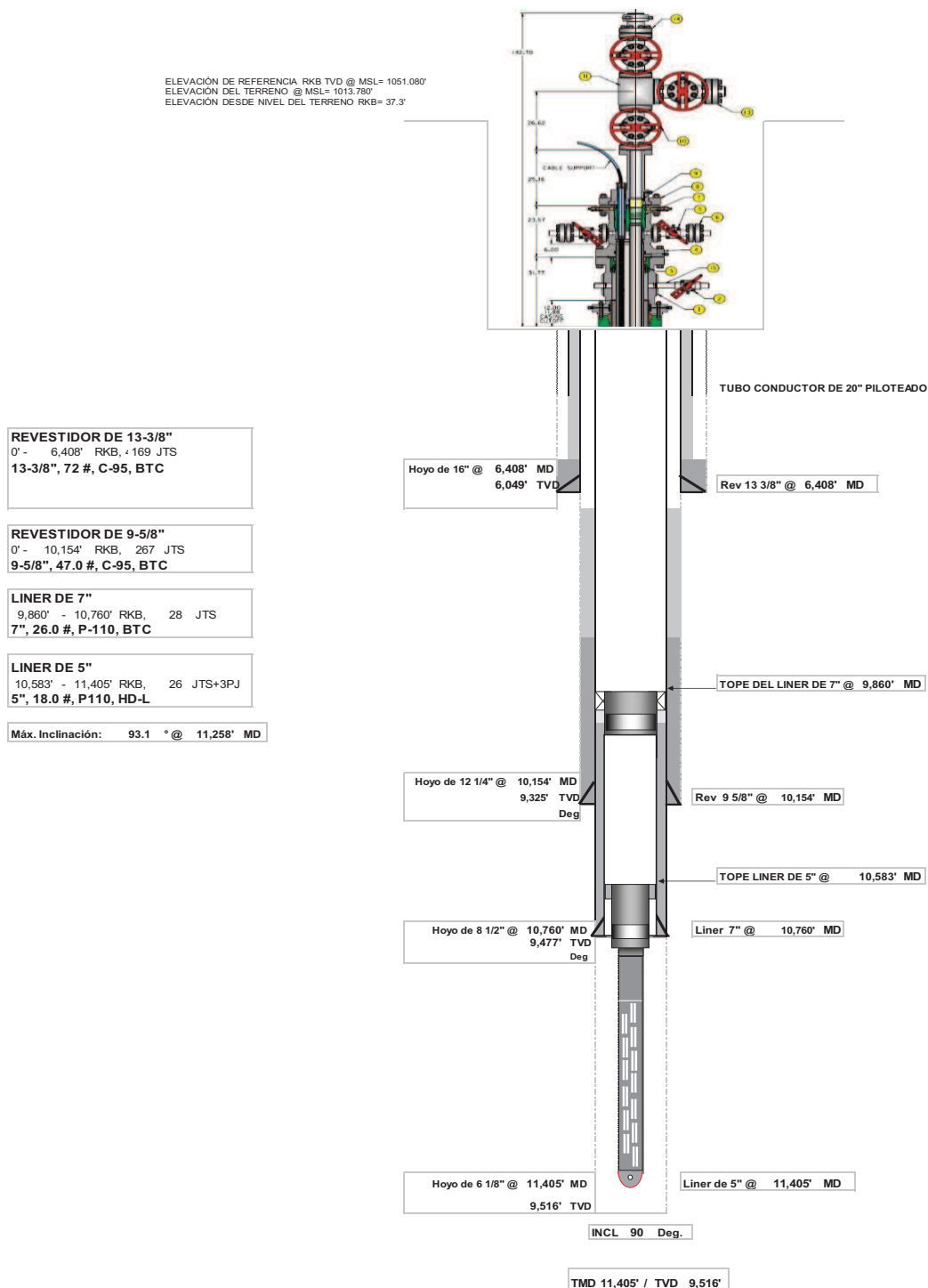


Anexo 1.7: Esquema Mecánico Sacha 341D  
Fuente: IPM Schlumberger



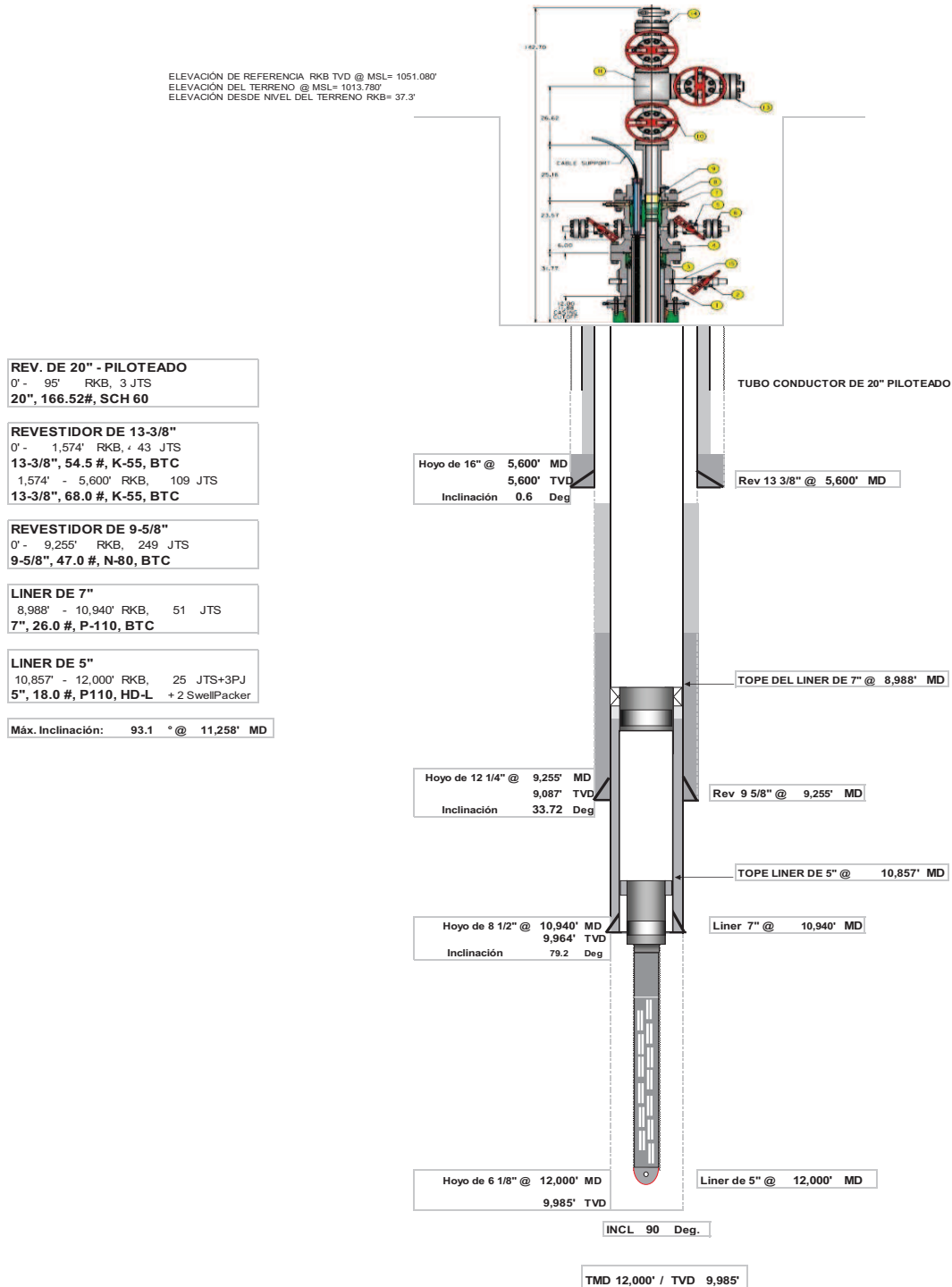
Anexo 1.8: Esquema Mecánico Yanaquincha Oeste B 16D  
Fuente: IPM Schlumberger

DIAGRAMA MECÁNICO SACHA 317 H



Anexo 1.9: Esquema Mecánico Sacha 317H  
 Fuente: IPM Schlumberger

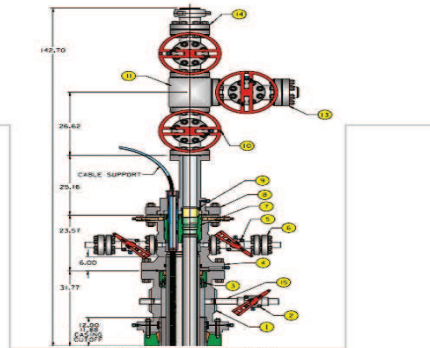
DIAGRAMA MECÁNICO Palo Azul D 033H



Anexo 1.10: Esquema Mecánico Palo Azul D 33H  
 Fuente: IPM Schlumberger

**DIAGRAMA MECÁNICO FINAL**  
Palo Azul D 028H

ELEVACIÓN DE REFERENCIA RKB TVD @ MSL= 1051.080'  
ELEVACIÓN DEL TERRENO @ MSL= 1013.780'  
ELEVACIÓN DESDE NIVEL DEL TERRENO RKB= 37.3'



**REV. DE 20" - PILOTEADO**  
0' - 95' RKB, 3 JTS  
20", 166.52#, SCH 60

**REVESTIDOR DE 13-3/8"**  
0' - 1,763' RKB, 47 JTS  
13-3/8", 54.5 #, K-55, BTC  
1,763' - 6,040' RKB, 112 JTS  
13-3/8", 68.0 #, K-55, BTC

**REVESTIDOR DE 9-5/8"**  
0' - 10,079' RKB, 270 JTS  
9-5/8", 47.0 #, N-80, BTC

**LINER DE 7"**  
9,874' - 11,928' RKB, 54 JTS  
7", 26.0 #, P-110, BTC

**LINER DE 5"**  
11,806' - 12,448' RKB, 14 JTS + 1PJ  
5", 18.0 #, P-110, BTC, Ranurado

Máx. Inclinación: 91.31 ° @ 12,257' MD

TUBO CONDUCTOR DE 20" PILOTEADO

Hoyo de 16" @ 6,040' MD  
5,644' TVD  
Inclinación 3.02 Deg

Rev 13 3/8" @ 6,040' MD

Page 1

TOPE DEL LINER DE 7" @ 9,874' MD

Hoyo de 12 1/4" @ 10,079' MD  
9,429' TVD  
Inclinación 50.27 Deg

Rev 9 5/8" @ 10,079' MD

TOPE LINER DE 5" @ 11,806' MD

Hoyo de 8 1/2" @ 11,928' MD  
9,996' TVD  
Inclinación 87.01 Deg

Liner 7" @ 11,928' MD

Hoyo de 6" @ 12,450' MD  
9,996' TVD

Liner de 5" @ 12,448' MD

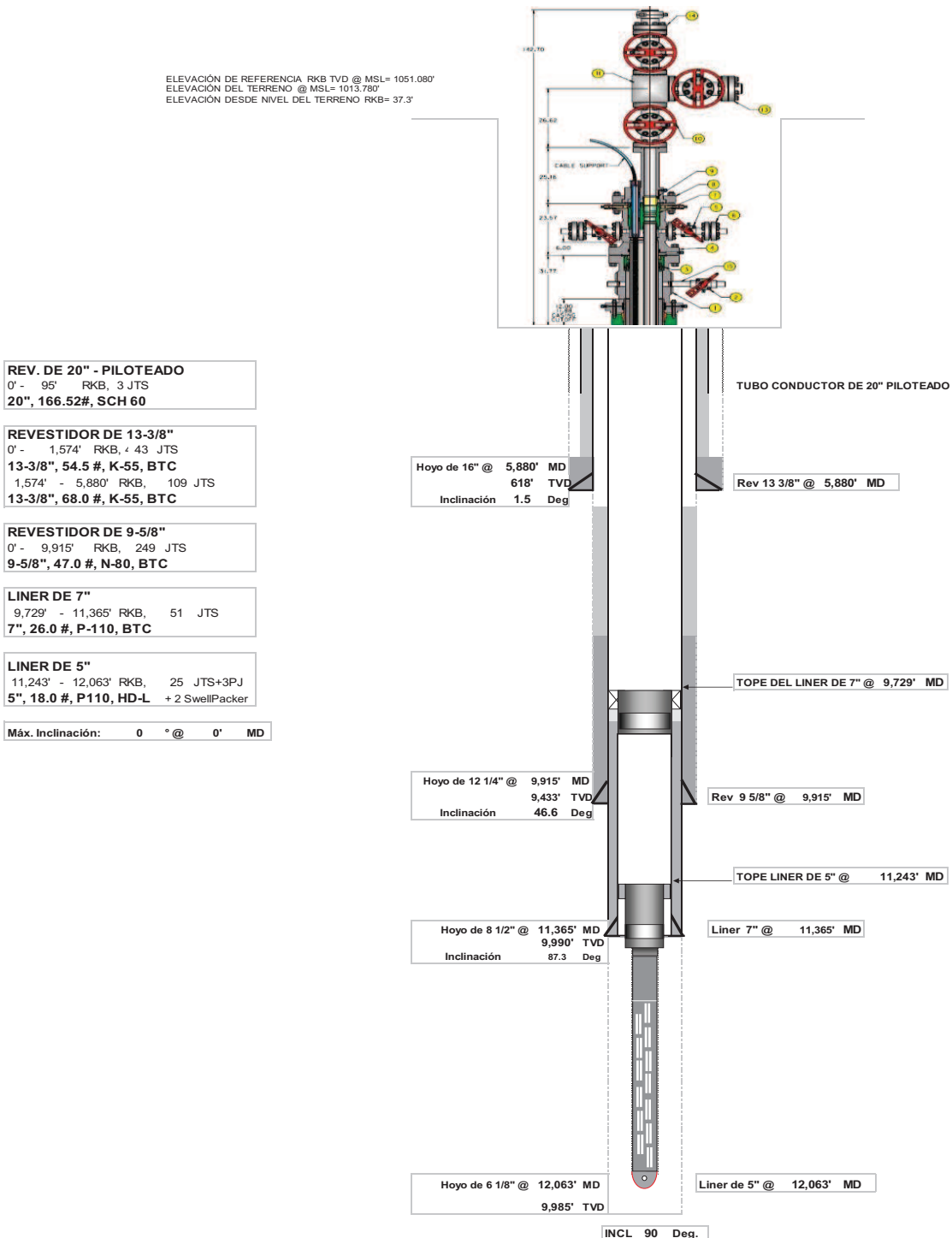
INCL 88.4 Deg.

TMD 12,450' / TVD 9,996'

Anexo 1.11: Esquema Mecánico Palo Azul D 28H  
Fuente: IPM Schlumberger

**DIAGRAMA MECÁNICO**  
**Palo Azul D 034H**

ELEVACIÓN DE REFERENCIA RKB TVD @ MSL= 1051.080'  
ELEVACIÓN DEL TERRENO @ MSL= 1013.780'  
ELEVACIÓN DESDE NIVEL DEL TERRENO RKB= 37.3'



**Anexo 1.12: Esquema Mecánico Palo Azul D 34H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



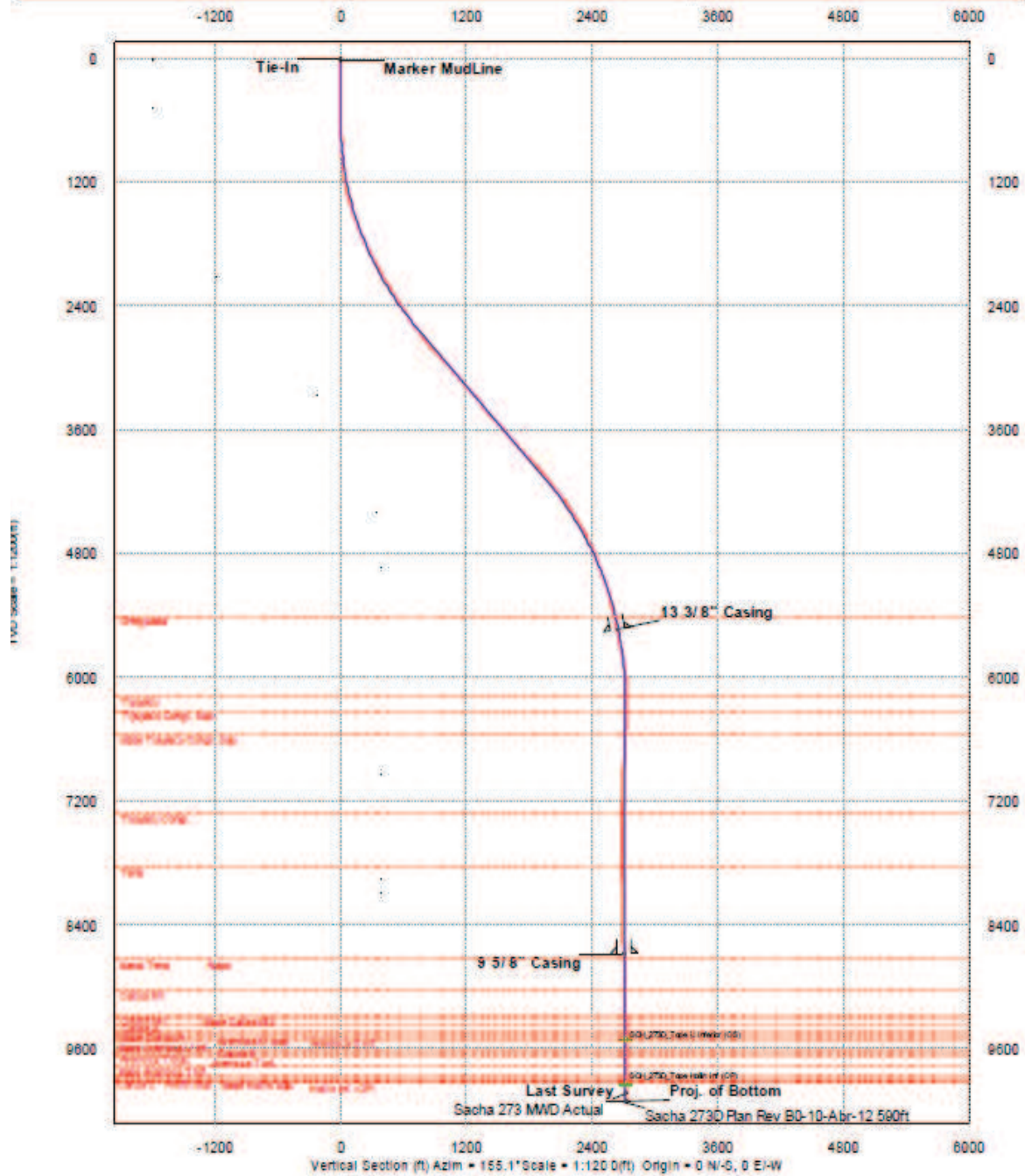
## **ANEXO 2**

### **PERFIL DIRECCIONAL DE LOS POZOS DE ESTUDIO**



### Rio Napo

Sacha 273D			Sacha			Sacha 63		
Well Name	Well Type	Well Status	Well Name	Well Type	Well Status	Well Name	Well Type	Well Status
Sacha 273D	Oil	Active	Sacha	Oil	Active	Sacha 63	Oil	Active
Operator	Company	Country	Operator	Company	Country	Operator	Company	Country
IPM Schlumberger	IPM Schlumberger	Ecuador	IPM Schlumberger	IPM Schlumberger	Ecuador	IPM Schlumberger	IPM Schlumberger	Ecuador

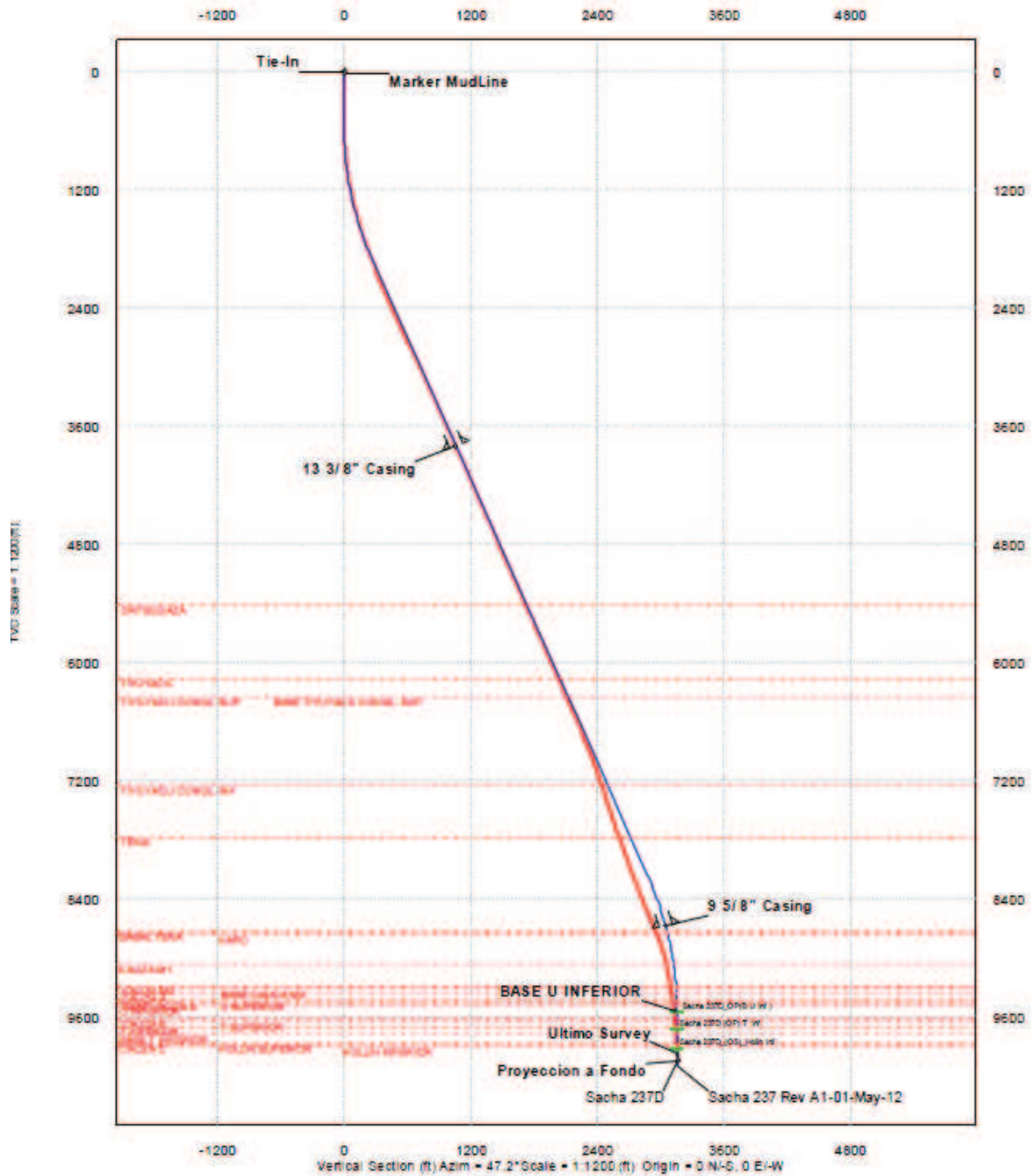


Anexo 2.1: Trayectoria Direccional Sacha 273D  
Fuente: IPM Schlumberger



Rio Napo

Sacha 237D				Sacha				Sacha 65			
Well Name	Well Type	Well Status	Well Depth	Well ID	Well Code	Well Date	Well Operator	Well Name	Well Type	Well Status	Well Depth

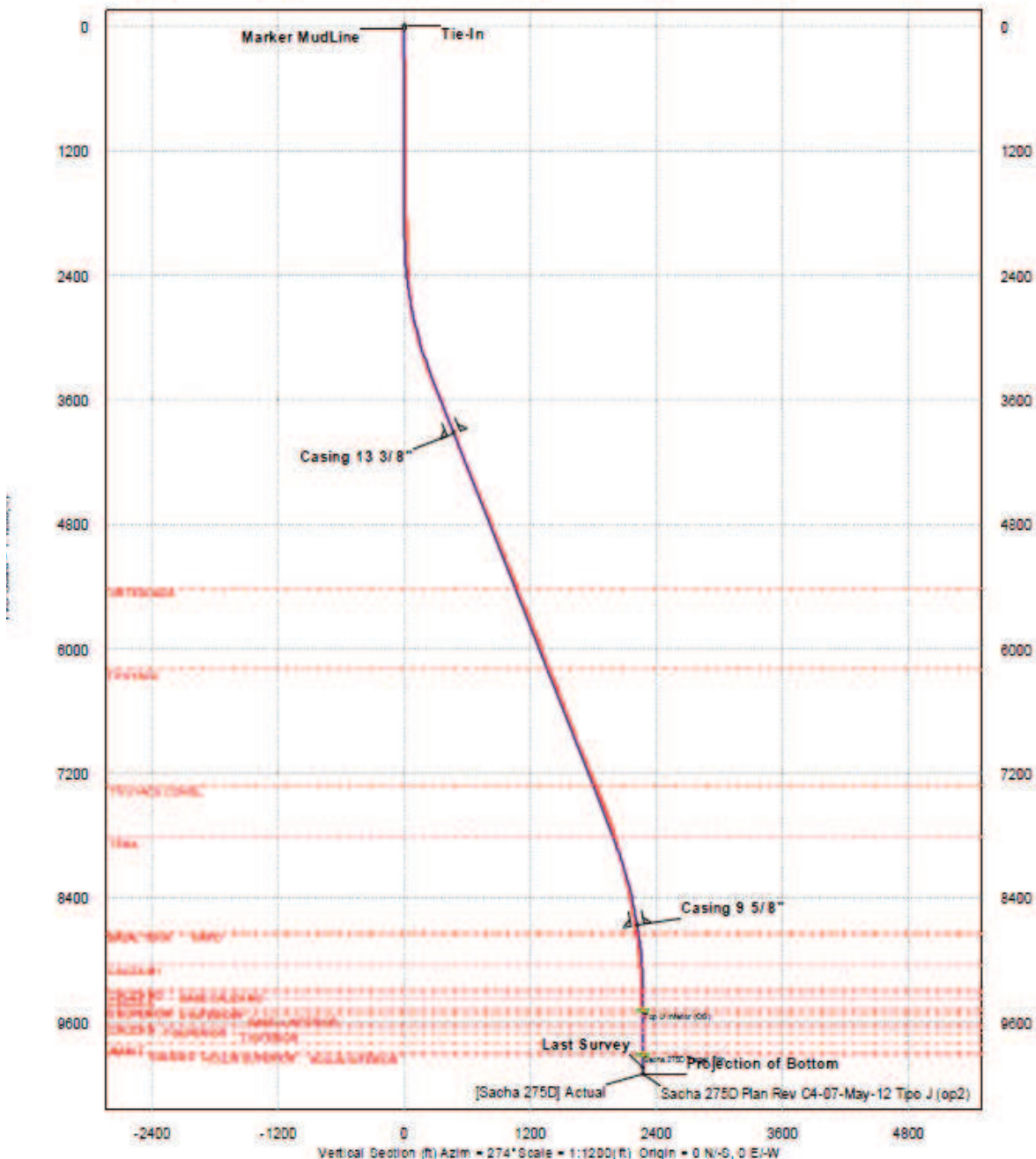


Anexo 2.2: Trayectoria Direccional Sacha 237D  
Fuente: IPM Schlumberger



### Rio Napo

WELL	Sacha 275D	FIELD	Sacha	STRUCTURE	Sacha 63
Magnetic Parameters Model: SOGAM 2011	Dir: 01.0541 Mag Dec: -0.7501	Dev: June 01 2010 Rev: 29483.017	Surface Location Lat: 0 0 45.43207 Lon: W 70.49 59.421	750000 UTM zone 18E Meters - Ecuador Datum: IUGA-CONUSAD/1984 Northing: 987100.00 m Easting: 389207.00 m Scale Factor: 0.999 950	MacWellhead Site: Sacha 275D Plan: [Sacha 275D] Actual TUD Ref: 5005004 000 above MSL Rev: December 01 2010
	-2400	-1200	0	1200	2400
				3600	4800

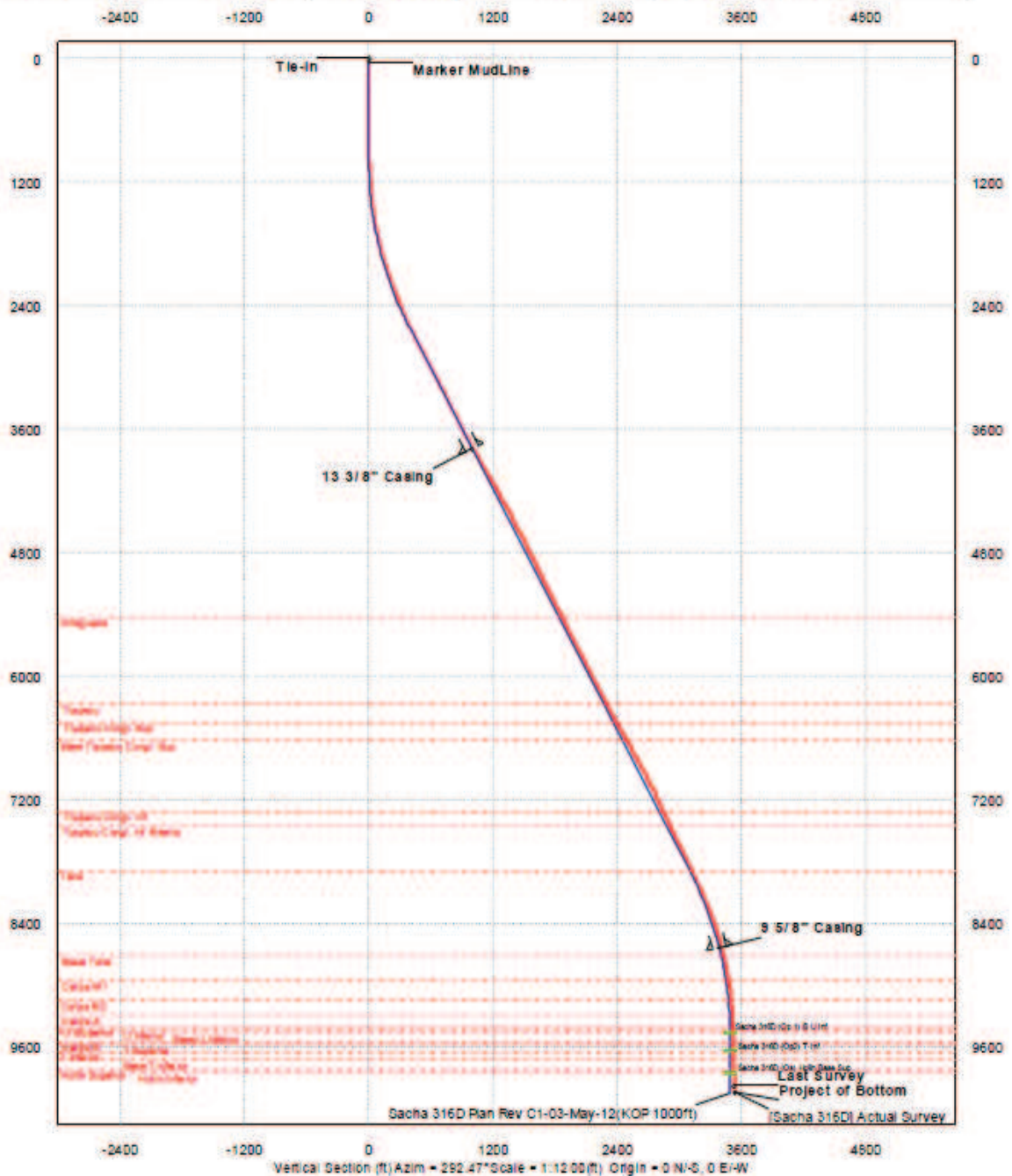


Anexo 2.3: Trayectoria Direccional Sacha 275D  
Fuente: IPM Schlumberger



### Rio Napo

WELL	Sacha 316D	FIELD	Sacha	STRUCTURE	Sacha 310
Maghead/Drawdown MWD	00/04/2011	Dr	21/301	Date	June 07 2012
Mag Dec	13/01	Mag Dec	13/01	CS	28/07/11
Surface Location	Lat	S	0 24 4 10	Long	W 78 53 15 30
ROADS	UTM Zone	982007	43 m	North	28 772 8 m
SS	Meters - Equator	982007	43 m	Scale	Fact 100/3004
Mechanical	Case 9	TVD Ref	RD/1825 Above MSU	Plan	(Sacha 316D) Actual Survey Date June 07 2012



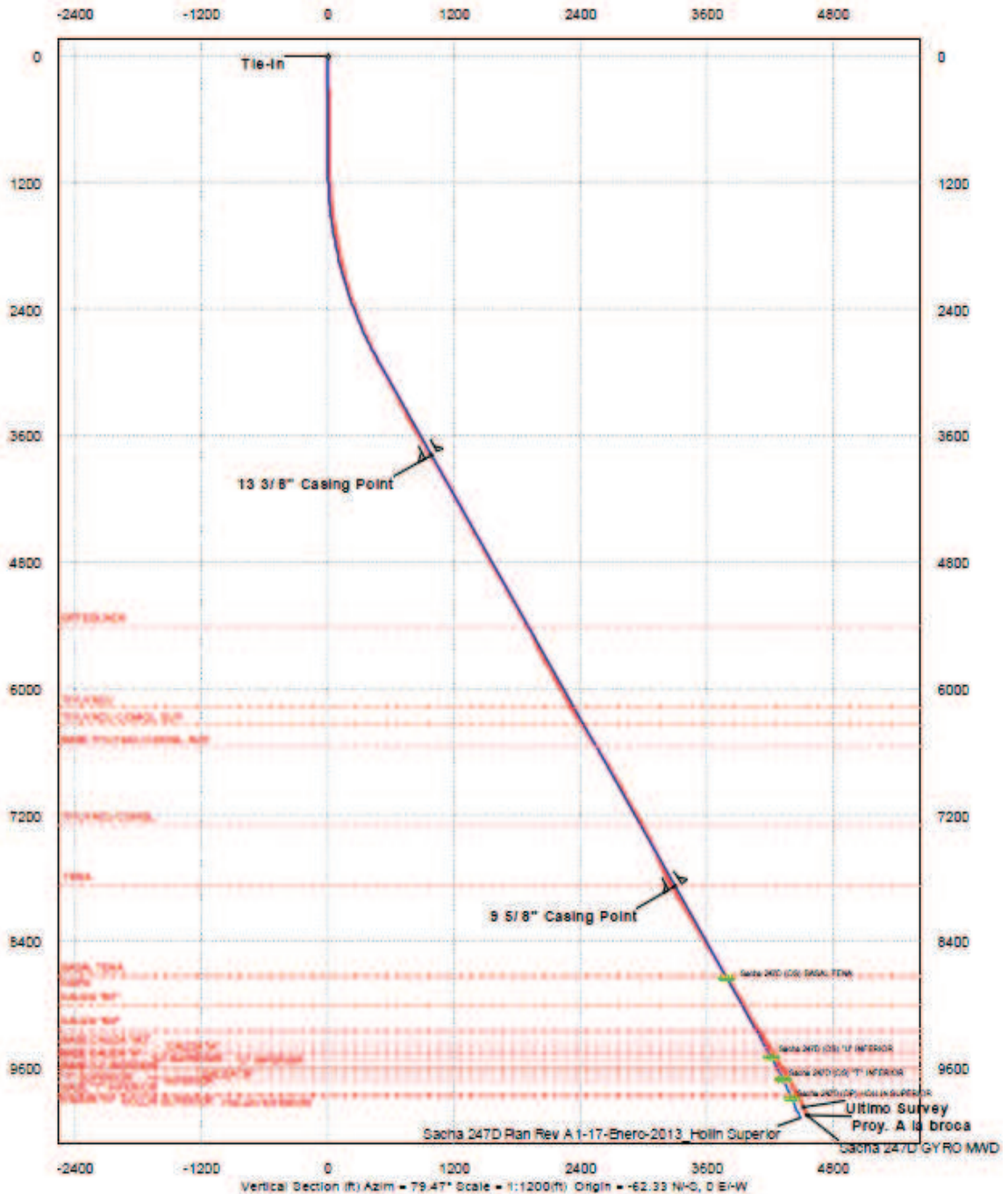
Anexo 2.4: Trayectoria Direccional Sacha 316D  
Fuente: IPM Schlumberger





### Río Napo

Sacha 247D			Sacha Field			Sacha 60 Pad		
Wells	Drill	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log
Wells	Drill	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log

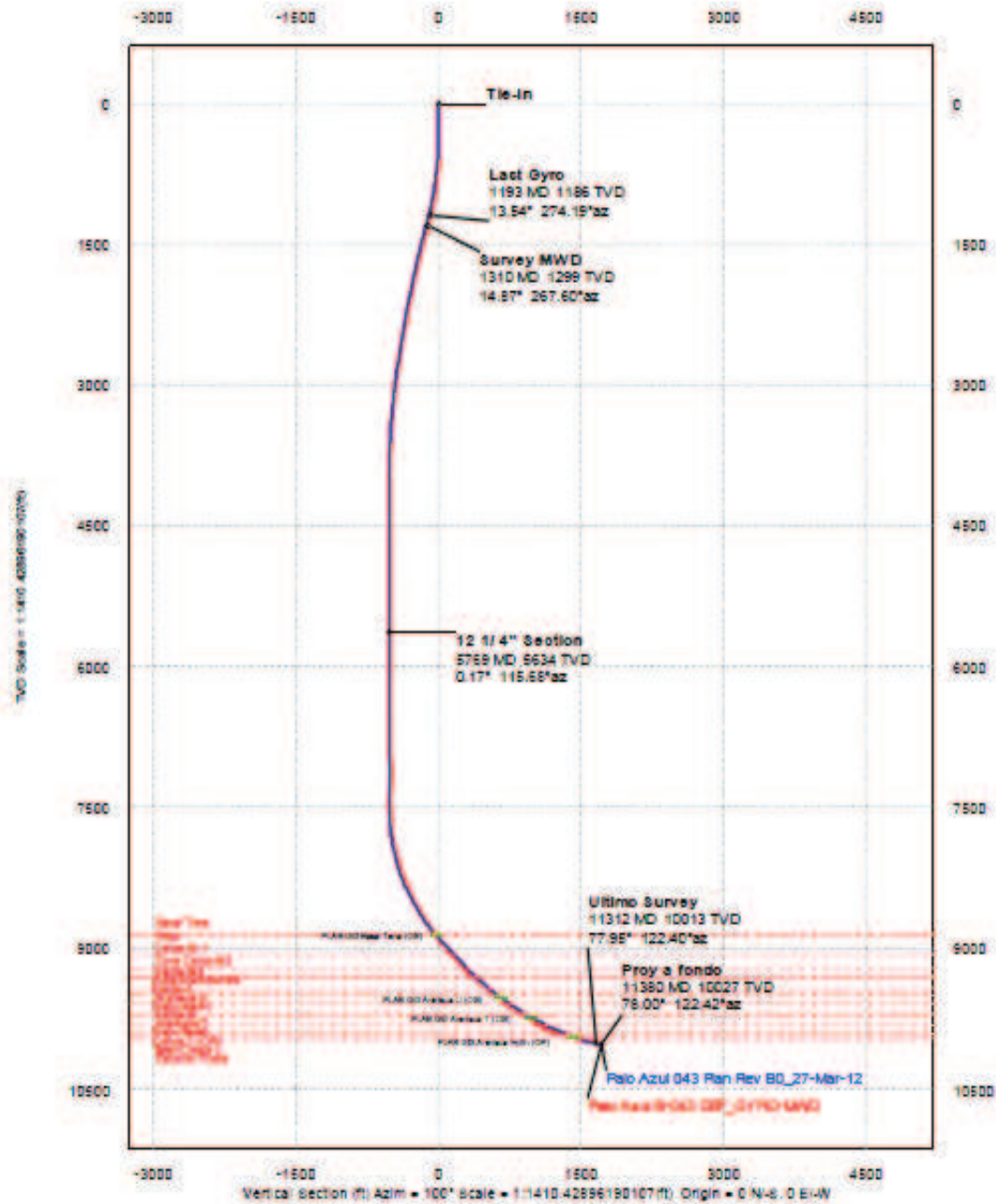


Anexo 2.5: Trayectoria Direccional Sacha 247D  
Fuente: IPM Schlumberger



Petroamazonas SA

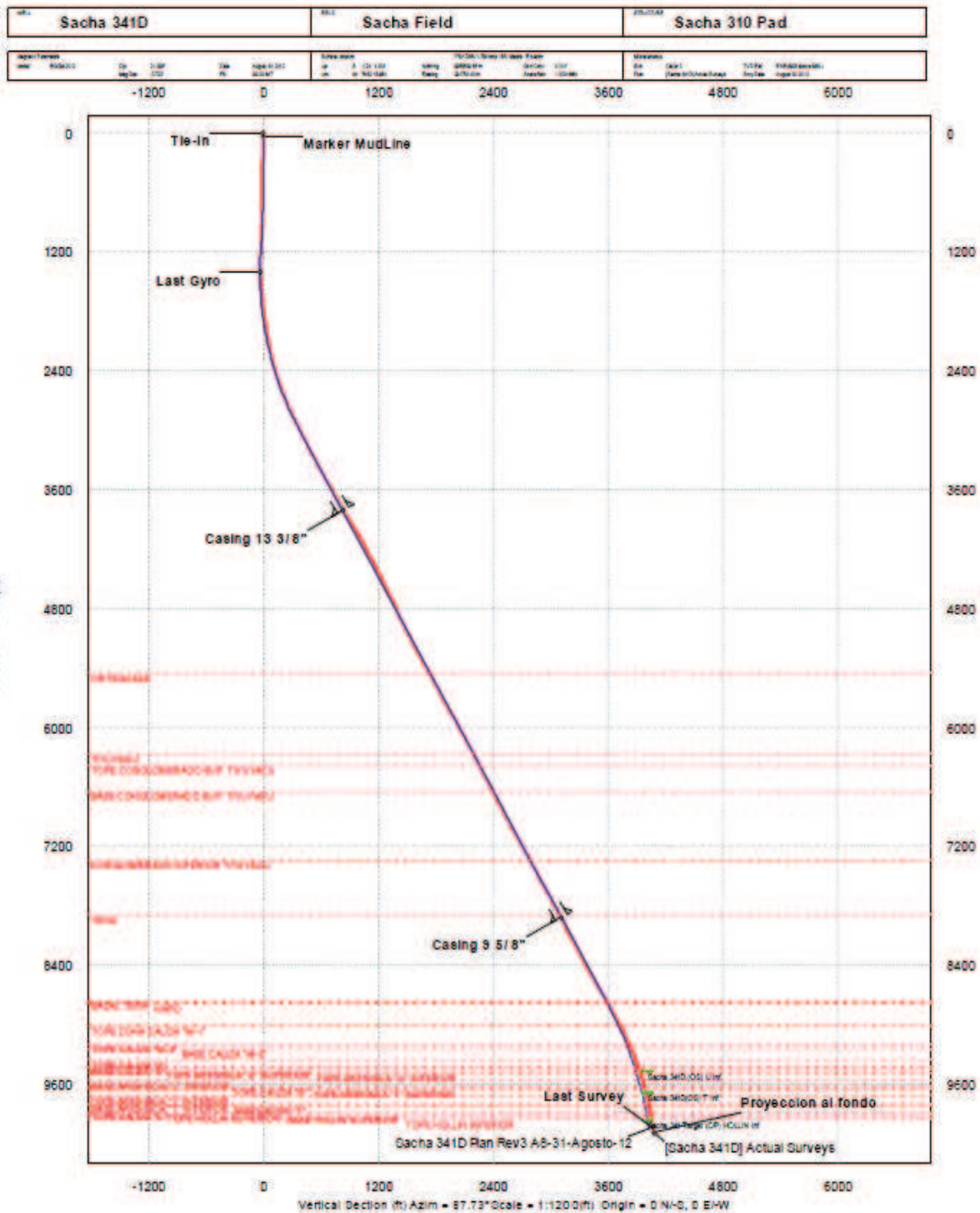
Palo Azul 43				B18_Palo Azul				PAD B			
WELL NUMBER	WELL TYPE	WELL STATUS	WELL DATE	WELL DEPTH	WELL TYPE	WELL STATUS	WELL DATE	WELL DEPTH	WELL TYPE	WELL STATUS	WELL DATE



Anexo 2.6: Trayectoria Direccional Palo Azul B 43D  
Fuente: IPM Schlumberger



### Rio Napo



**Anexo 2.7: Trayectoria Direccional Sacha 341D**  
Fuente: IPM Schlumberger

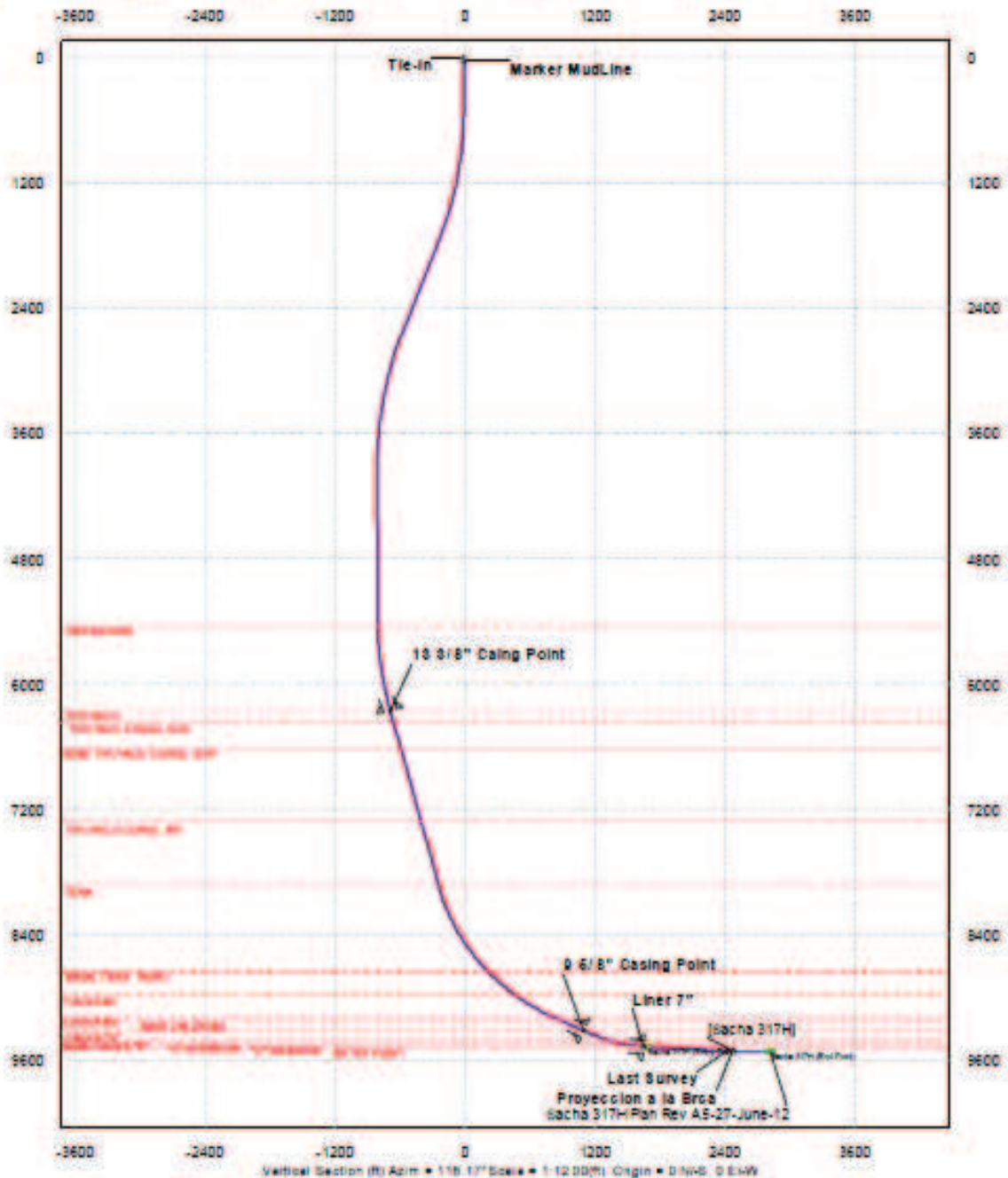






### Rio Napo

Sacha 317H				Sacha				Sacha 310			
DATE	TIME	BY	APP'D	DATE	TIME	BY	APP'D	DATE	TIME	BY	APP'D

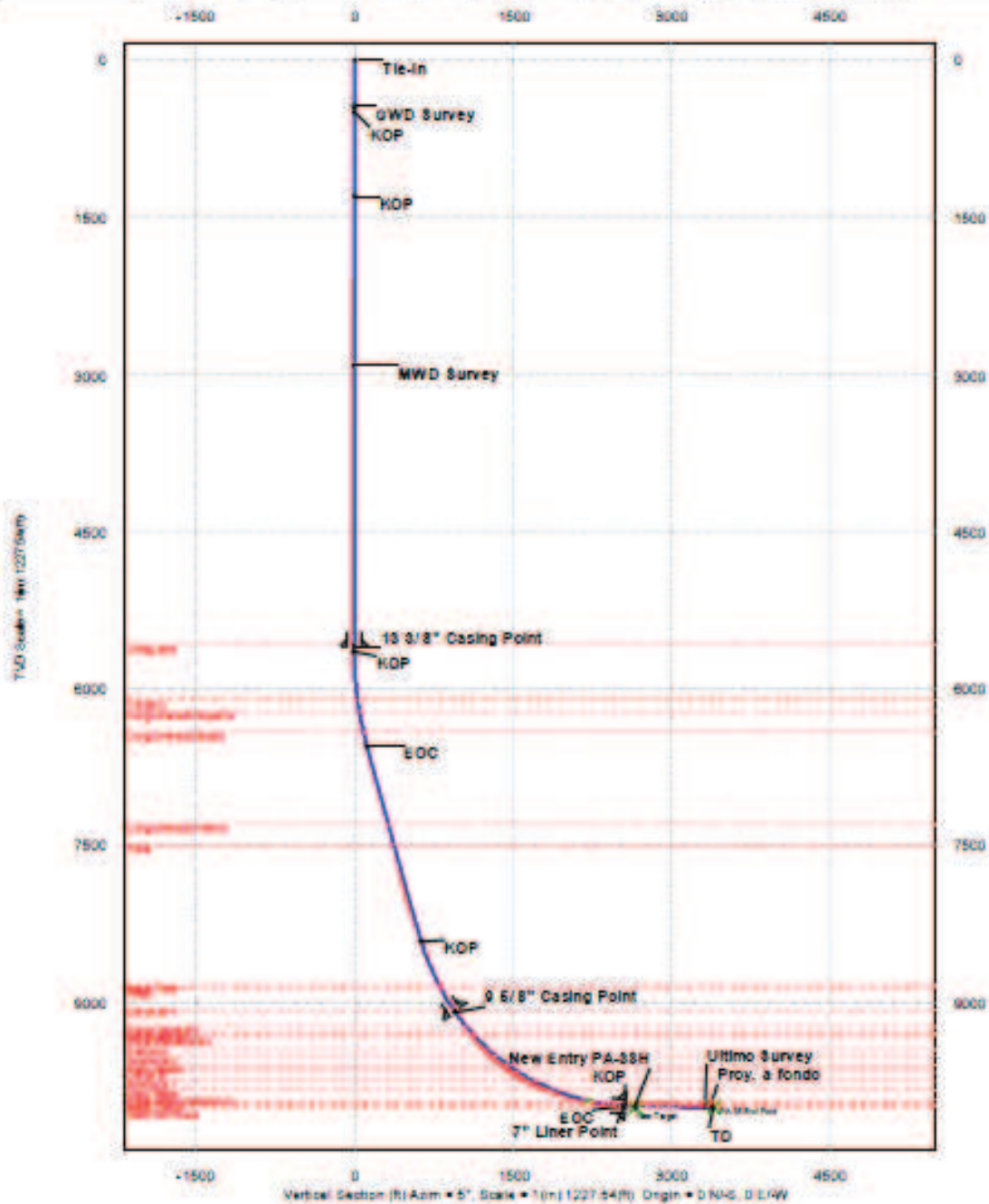


Anexo 2.9: Trayectoria Direccional Sacha 317H  
Fuente: IPM Schlumberger



Petroamazonas SA

Well	Palo Azul 33	Well	B18_Palo Azul	Well	PAD D
Well Name	PA 33	Well Name	B18_PALO AZUL	Well Name	PALO AZUL D
Well No.	4634	Well No.	4634	Well No.	4634
Well Type	Oil	Well Type	Oil	Well Type	Oil
Well Status	Active	Well Status	Active	Well Status	Active
Well Class	Production	Well Class	Production	Well Class	Production
Well Subclass	Production	Well Subclass	Production	Well Subclass	Production
Well Subtype	Production	Well Subtype	Production	Well Subtype	Production
Well Subcategory	Production	Well Subcategory	Production	Well Subcategory	Production
Well Subgroup	Production	Well Subgroup	Production	Well Subgroup	Production
Well Subseries	Production	Well Subseries	Production	Well Subseries	Production
Well Subsegment	Production	Well Subsegment	Production	Well Subsegment	Production
Well Subelement	Production	Well Subelement	Production	Well Subelement	Production
Well Subunit	Production	Well Subunit	Production	Well Subunit	Production
Well Subzone	Production	Well Subzone	Production	Well Subzone	Production
Well Subfield	Production	Well Subfield	Production	Well Subfield	Production
Well Subarea	Production	Well Subarea	Production	Well Subarea	Production
Well Subblock	Production	Well Subblock	Production	Well Subblock	Production
Well Subwell	Production	Well Subwell	Production	Well Subwell	Production
Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production
Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production
Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production
Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production	Well Subwellbore	Production

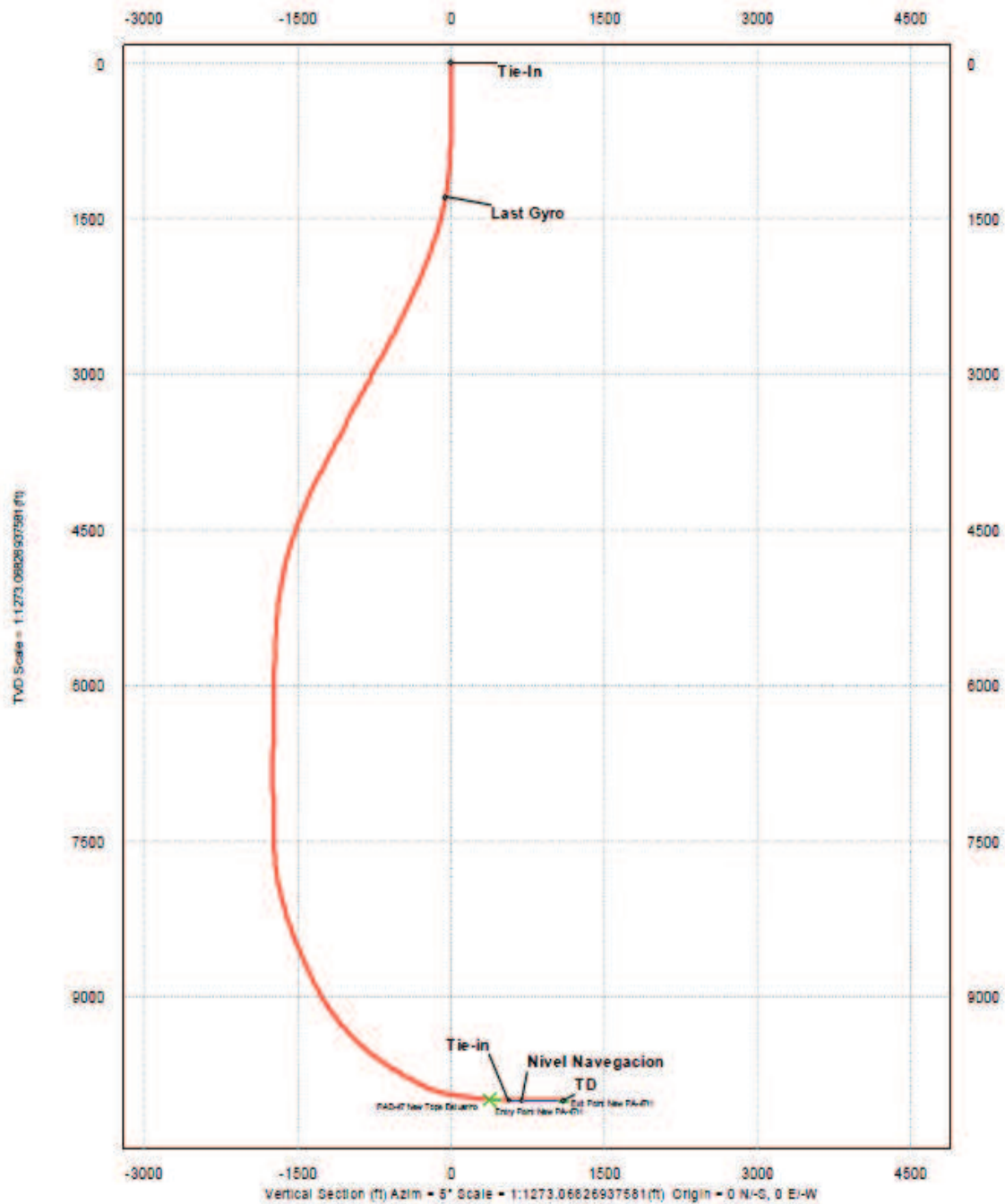


Anexo 2.10: Trayectoria Direccional Palo Azul D 33H  
Fuente: IPM Schlumberger



Petroamazonas SA

Well:	Palo Azul 28	Well:	B18_Palo Azul	Well:	PAD D
Origin:	000000	Origin:	000000	Origin:	000000
Well:	000000	Well:	000000	Well:	000000
Well:	000000	Well:	000000	Well:	000000

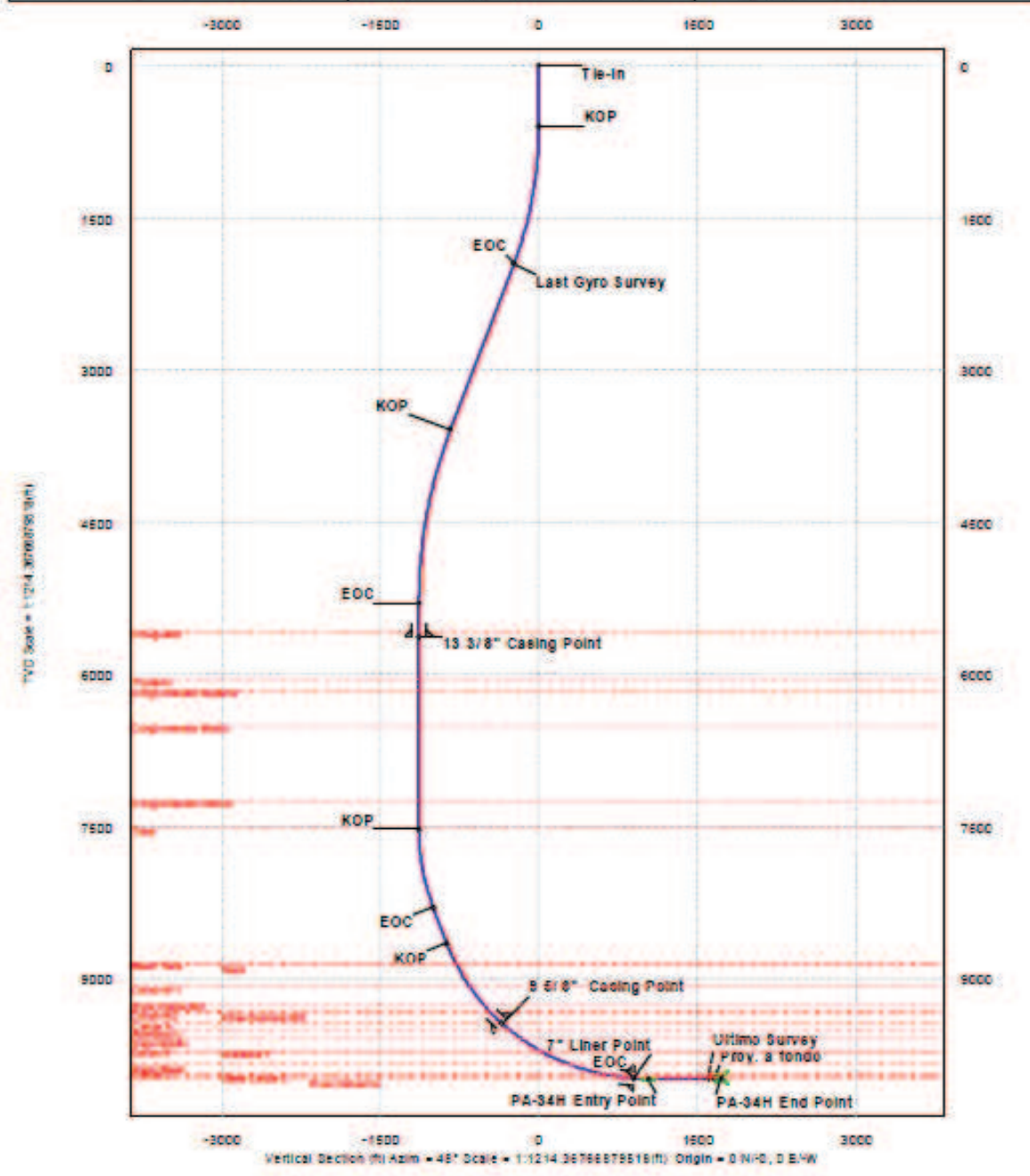


Anexo 2.11: Trayectoria Direccional Palo Azul D 28H  
Fuente: IPM Schlumberger



Petroamazonas SA

Well	Palo Azul 34	Well	B18_Palo Azul	Well	PAD D
Well Number	100	Well Number	100	Well Number	100
Well Name	Palo Azul 34	Well Name	B18_Palo Azul	Well Name	PAD D
Well Type	Oil	Well Type	Oil	Well Type	Oil
Well Status	Active	Well Status	Active	Well Status	Active
Well Depth (ft)	9000	Well Depth (ft)	9000	Well Depth (ft)	9000
Well Depth (m)	2743	Well Depth (m)	2743	Well Depth (m)	2743
Well Diameter (in)	13 3/8	Well Diameter (in)	13 3/8	Well Diameter (in)	13 3/8
Well Diameter (mm)	339.7	Well Diameter (mm)	339.7	Well Diameter (mm)	339.7
Well Completion	Open Hole	Well Completion	Open Hole	Well Completion	Open Hole
Well Completion Date	2014-03-10	Well Completion Date	2014-03-10	Well Completion Date	2014-03-10
Well Completion Type	Open Hole	Well Completion Type	Open Hole	Well Completion Type	Open Hole
Well Completion Status	Open	Well Completion Status	Open	Well Completion Status	Open
Well Completion Location	Block 100	Well Completion Location	Block 100	Well Completion Location	Block 100
Well Completion Coordinates	UTM Zone 18Q	Well Completion Coordinates	UTM Zone 18Q	Well Completion Coordinates	UTM Zone 18Q
Well Completion Easting	1000000	Well Completion Easting	1000000	Well Completion Easting	1000000
Well Completion Northing	1000000	Well Completion Northing	1000000	Well Completion Northing	1000000
Well Completion UTM Easting	1000000	Well Completion UTM Easting	1000000	Well Completion UTM Easting	1000000
Well Completion UTM Northing	1000000	Well Completion UTM Northing	1000000	Well Completion UTM Northing	1000000



Anexo 2.12: Trayectoria Direccional Palo Azul D 34H  
Fuente: IPM Schlumberger

### **ANEXO 3**

## **CONFIGURACIÓN DE LOS BHA USADOS PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 8 ½" DE LOS POZOS DE ESTUDIO**



Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 273D	Hole Size (in)		8.500			
Structure Name		Sacha 63	BHA Name		BHA#9 8 1/2"	Depth In (ft)		9496			
Well Name		Sacha 273D				Depth Out (ft)		10910			
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
			ID (in)		Top. (in)		Top Type	Top Gender			
1 8 1/2" PDC Bit MI616MPX	Smith	JD8763	6.000	8.500	4.500	REG	Pin		0.83	0.83	0.1
			2.250		4.500	REG	Box	6.750			
2 A675M7850XP BH=1.5, CAMISA SLICK, 0.28rpg	Schlumberger	5695	6.750	6.750	4.500	IF	Box	1.33	25.22	26.05	2.4
			5.500		4.500	IF	Pin				
3 Float Sub + valve	Schlumberger	ECC6547	6.750	6.750	4.500	IF	Box		2.62	28.67	2.6
			2.680		4.500	IF	Pin				
4 Pony Monel	Schlumberger	675039-2	6.500	6.500	4.500	IF	Box		10.00	38.67	3.6
			2.810		4.500	IF	Pin				
5 8 3/8" Stabilizer	Schlumberger	24060-3	6.750	8.375	4.500	IF	Box	2.33	6.00	44.67	4.2
			2.225		4.500	IF	Pin				
6 Pony Monel	Schlumberger	11009-01	6.750	6.750	4.500	IF	Box		9.01	53.68	5.1
			2.287		4.500	IF	Pin	6.750			
7 Telescope 675	Schlumberger	E9173	6.750	6.890	4.500	IF	Box	1.66	28.41	82.09	7.5
			5.109		4.500	IF	Pin				
8 Monel	Schlumberger	11076	6.750	6.750	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box		30.04	112.13	10.5
			2.810		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
9 25 x 5" HWDP	CPV 23	PDVSA	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		765.56	877.69	49.0
			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
10 Hydraulic Jar	SMITH	67775H	6.500	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		32.39	910.08	50.9
			2.750		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
11 10 x 5" HWDP	CPV 23	PDVSA	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		306.38	1216.46	66.4
			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
12 5" 19.50 DP, 10% Wear			4.928	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
			4.276		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				

**Anexo 3.1: BHA Direccional #9 Sección 8 1/2" Sacha 273D**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 273D	Hole Size (in)		8.500			
Structure Name		Sacha 63	BHA Name		BHA#9 8 1/2"	Depth In (ft)		9496			
Well Name		Sacha 273D				Depth Out (ft)		10910			
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
			ID (in)		Top. (in)		Top Type	Top Gender			
1 8 1/2" PDC Bit MI616MPX	Smith	JD8763	6.000	8.500	4.500	REG	Pin		0.83	0.83	0.1
			2.250		4.500	REG	Box	6.750			
2 A675M7850XP BH=1.5, CAMISA SLICK, 0.28rpg	Schlumberger	5695	6.750	6.750	4.500	IF	Box	1.33	25.22	26.05	2.4
			5.500		4.500	IF	Pin				
3 Float Sub + valve	Schlumberger	ECC6547	6.750	6.750	4.500	IF	Box		2.62	28.67	2.6
			2.680		4.500	IF	Pin				
4 Pony Monel	Schlumberger	675039-2	6.500	6.500	4.500	IF	Box		10.00	38.67	3.6
			2.810		4.500	IF	Pin	6.750			
5 8 3/8" Stabilizer	Schlumberger	24060-3	6.750	8.375	4.500	IF	Box	2.33	6.00	44.67	4.2
			2.225		4.500	IF	Pin				
6 Pony Monel	Schlumberger	11009-01	6.750	6.750	4.500	IF	Box		9.01	53.68	5.1
			2.287		4.500	IF	Pin	6.750			
7 Telescope 675	Schlumberger	E9173	6.750	6.890	4.500	IF	Box	1.66	28.41	82.09	7.5
			5.109		4.500	IF	Pin				
8 Monel	Schlumberger	11076	6.750	6.750	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box		30.04	112.13	10.5
			2.810		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
9 25 x 5" HWDP	CPV 23	PDVSA	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		765.56	877.69	49.0
			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
10 Hydraulic Jar	SMITH	67775H	6.500	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		32.39	910.08	50.9
			2.750		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
11 10 x 5" HWDP	CPV 23	PDVSA	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin		306.38	1216.46	66.4
			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
12 5" 19.50 DP, 10% Wear			4.928	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
			4.276		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				

**Anexo 3.2: BHA Direccional #9 Sección 8 1/2" Sacha 273D**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name	Sacha	Borehole Name	Sacha 275D	Hole Size (in)	8.500
Structure Name	Sacha 63	BHA Name	BHA#6_8 1/2"	Depth In (ft)	9086
Well Name	Sacha 275D			Depth Out (ft)	10493

1	Desc.	Manu.	Serial Number	OD	Max OD	Bot.	Bot Type	Bot	FN OD	Length	Cum. Length	Cum. Weight
				(in)		(in)		(in)	(in)			
				ID		Top.		Top	FN Length			
				(in)		(in)		Gender	(ft)			
1	8 1/2" PDC Bit MDI616LMPX	Smith	JF 8872	6.000	8.500	4.500	REG	Pin		0.83	0.83	0.1
				2.250		4.500	REG	Box	6.750			
2	A675M7850XP camisa 8 3/8" rpg=0.28, BH 1.5	Schlumberger	2188	6.750	8.375	4.500	IF	Box	1.35	24.91	25.74	2.3
				6.718		4.500	IF	Pin				
3	Float Sub + valve	Schlumberger	ECC 6545	2.810	6.720	4.500	IF	Box		2.62	28.36	2.6
4	8 3/8" Stabilizer	Schlumberger	57275-49	6.300	8.375	4.500	IF	Box	6.300	5.58	33.94	3.2
				2.810		4.500	IF	Pin	2.13			
5	Pony Monel	Schlumberger	11009-02	6.750	6.750	4.500	IF	Box		9.65	43.59	4.2
				2.750		4.500	IF	Pin	6.750			
6	Telescope	Schlumberger	E1867	6.750	6.750	4.500	IF	Box	1.15	27.34	70.93	6.5
				5.109		4.500	IF	Pin				
7	Monel	Schlumberger	43467-1	6.590	6.590	4.500	IF	Box		30.61	101.54	9.4
				2.810		4.500	IF	Pin				
8	20 x 5" HWDP	PDVSA		5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box		612.13	713.67	40.2
				3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
9	Hydraulic Jar	Smith		6.500	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box		32.38	746.05	42.1
				2.750		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
10	15 x 5" HWDP	PDVSA		5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box		459.25	1205.30	65.3
				3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				
11	5" 19.50 DP, 10% Wear			5.000	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box				
				4.276		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin				

### Anexo 3.3: BHA Direccional #6 Sección 8 1/2" Sacha 275D Fuente: IPM Schlumberger

Field Name	Sacha	Borehole Name	Sacha 316D	Hole Size (in)	8.500
Structure Name	Sacha 310	BHA Name	BHA#6_8 1/2" (28-05-1)	Depth In (ft)	9090
Well Name	Sacha 316D			Depth Out (ft)	10330

1	Desc.	Manu.	Serial Number	OD	Max OD	Bot.	Bot Type	Bot	FN OD	Length	Cum. Length	Cum. Weight
				(in)		(in)		(in)	(in)			
				ID		Top.		Top	FN Length			
				(in)		(in)		Gender	(ft)			
1	8 1/2" PDC Bit		JE0519	6.000	8.500	4.500	REG	Pin	0.000	0.65	0.65	0.1
				2.250		4.500	REG	Box	0.00			
2	A675M (BH:1.5)/ Stab. 8 1/4"	Schlumberger	6096742	6.750	8.250	4.500	IF	Box	6.750	3.10	27.65	2.5
				5.500		4.500	IF	Pin	0.000			
3	Float Sub	Schlumberger	ECC6539	6.750	6.750	4.500	IF	Box	0.00	2.83	30.48	2.8
				2.680		4.500	IF	Pin	6.750			
4	8 3/8" Stabilizer	Schlumberger	24000-4	6.750	8.375	4.500	IF	Box	2.25	5.80	36.28	3.4
				2.225		4.500	IF	Pin	0.000			
5	Pony Monel	Schlumberger	11098-01	6.750	6.750	4.500	IF	Box	0.00	9.00	46.28	4.3
				2.287		4.500	IF	Pin	6.750			
6	MWD	Schlumberger	E4504	6.750	6.690	4.500	IF	Box	1.66	27.95	73.23	6.6
				5.109		4.500	IF	Pin	0.000			
7	Monel	Schlumberger	11078	6.750	6.750	4.500	IF	Box	0.00	29.66	102.89	9.6
				2.810		4.500	IF	Pin	6.500			
8	20 x 5" HWDP			5.000	6.500	4.500	IF	Box	1.58	612.39	716.28	40.4
				2.750		4.500	IF	Pin	0.000			
9	Jar		49738	6.500	6.500	4.500	IF	Box	2.54	32.12	747.40	42.3
				2.750		4.500	IF	Pin	6.500			
10	8 x 5" HWDP			5.000	6.500	4.500	IF	Box	1.58	275.92	1023.32	56.2
				2.750		4.500	IF	Pin	0.000			
11	15 x 5" 19.50 DPS, Premium			5.356	7.500	4.500	IF	Box	0.00	4576.01	5899.33	184.6
				4.776		4.500	IF	Pin	0.000			
12	Crossover			5.500	5.500	5.500	PH	Box		2.66	5901.99	184.8
				2.813		5.500	PH	Pin	0.000			
13	5-1/2" 24.70 DPS, Premium			5.334	7.250	5.500	PH	Box		0.00	5901.99	184.8
				4.670		5.500	PH	Pin	0.000			

### Anexo 3.4: BHA Direccional #6 Sección 8 1/2" Sacha 316D Fuente: IPM Schlumberger



Field Name		Sacha Field	Borehole Name		Sacha 247D	Hole Size (in)		8.500				
Structure Name		Sacha 30 Pad	BHA Name		BHA # 5 8.5" Motor & LWD	Depth In (ft)		8735.00				
Well Name		Sacha 247D				Depth Out (ft)		11210.00				
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot Size (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)	
			ID (in)		Top Size (in)		Top Gender	FN Length (ft)				
1	8 1/2" PDC Bit MDSi616UPX A675M7850XP, camisa 8 3/8", BH 1.5, Factor: 0.26 rev/gal	Smith	JG6168	5.750	8.500	4.500	REG	Pin	0.80	0.80	0.1	
				2.500		4.500	Box	8.613				
2	rev/gal	Schlumberger	3212	6.500	8.375	4.500	IF	Box	1.25	26.89	27.69	2.5
				6.750		4.500	IF	Pin	0.000			
3	Float Sub	Schlumberger	ECC6663	2.750	8.750	4.500	IF	Box	0.00	2.67	30.36	2.7
				6.750		4.500	IF	Pin	6.750			
4	GVR-6 8 1/4" Stabilizer	Schlumberger	43934	3.125	8.250	4.500	IF	Box	3.72	11.52	41.88	4.1
				6.750		4.500	IF	Pin	8.750			
5	NeoScope w/ 8 1/4" Stabilizer	Schlumberger	1947	3.125	8.250	4.500	IF	Pin	6.25	28.41	68.29	6.9
				6.875		4.500	IF	Box	6.750			
6	Telescope 675 NF	Schlumberger	G2173	5.109	8.875	4.500	IF	Box	1.83	27.94	96.23	9.3
				6.750		4.500	IF	Pin	0.000			
7	Monel	Schlumberger	SD49764	2.875	8.750	4.500	IF	Pin	0.00	31.51	127.74	12.4
				5.000		4.500	IF	Box	0.000			
8	15 x 5" HWDP	RIG		3.000	8.500	4.500	IF	Box	0.00	457.06	584.86	36.4
				6.313		4.500	IF	Pin	6.563			
9	Hydraulic Jar	Smith	21276J	2.750	6.563	4.500	IF	Box	2.53	32.38	617.18	37.8
				5.000		4.500	IF	Pin	0.000			
10	8 x 5" HWDP	RIG		3.000	8.500	4.500	IF	Box	0.00	273.33	890.51	51.6
				5.000		4.500	IF	Pin	0.000			

**Anexo 3.5: BHA Direccional #5 Sección 8 1/2" Sacha 247D**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		B18 Palo Azul	Borehole Name		Palo Azul 43	Hole Size (in)		8.500				
Structure Name		PAD B	BHA Name		BHA#9_8.5" XCEED675	Depth In (ft)		10405				
Well Name		Palo Azul 43				Depth Out (ft)		11360				
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)	
			ID (in)		Top. (in)		Top Gender	FN Length (ft)				
1	Bit PDC # 7, Tipo MDSi616LBPX, 6 aletas, IADC M223	Smith	JE-1631	5.750	8.500	4.500	REG	Pin	0.80	0.80	0.1	
				2.250		4.500	REG	Box				
2	Xceed 675, 8 3/8" Stabilizers	Slb	364	5.125	8.375	5.500	FH	Box	25.14	25.94	2.7	
				6.875		5.500	FH	Pin				
3	EcoScope w/ 8 1/4" Stabilizer	Slb	1793	5.125	8.250	5.500	FH	Box	26.43	52.37	5.6	
				6.875		5.500	FH	Pin				
4	Telescope 675 NF	Slb	ZB111	3.875	6.890	5.500	4 1/2 IF	Box	27.97	80.34	7.9	
				6.750		5.500	4 1/2 IF	Pin				
5	Monel	Slb	43467-2	2.812	6.500	4.500	4 1/2 IF	Box	30.87	111.21	10.6	
				5.000		4.500	4 1/2 IF	Pin				
6	32 X 5" HWDP	H&P		3.000	6.500	4.500	4 1/2 IF	Box	982.80	1094.01	60.1	
				6.750		4.500	4 1/2 IF	Pin	6.750			
7	Hydraulic Jar	WTF	1760-240	2.750	6.750	4.500	4 1/2 IF	Box	1.48	32.50	1126.51	62.5
				5.000		4.500	4 1/2 IF	Pin				
8	3 X 5" HWDP	H&P		3.000	6.500	4.500	4 1/2 IF	Box	92.07	1218.58	67.1	
				5.000		4.500	4 1/2 IF	Pin				

**Anexo 3.6: BHA Direccional #9 Sección 8 1/2" Palo Azul B 43D**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		BIT, Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 43		Hole Size (in)		5.500		
Structure Name		PAD B		BHA Name		BHA#10_8 1/2" LIMPIEZA		Depth In (ft)		11380		
Well Name		Palo Azul 43				<th colspan="2">Depth Out (ft)</th> <td colspan="2">11380</td>		Depth Out (ft)		11380		
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. Top (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in)	FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbs)
1	Bit PDC # TR Top MDSI618LBPX 6 w/ax ADC M223	Smith	5.750	2.250	5.500	4.500 REG	Pin			0.80	0.80	0.1
2	Bit Sub con valve	H&P	5.250	3.000	5.250	4.500 REG	Box			3.00	3.80	0.5
3	Crossover	H&P	5.500	2.750	5.500	4.500 F	Pin			3.12	6.92	0.6
4	OHF Collar 8 1/2	H&P	5.500	2.813	5.500	4.500 FH	Box			30.52	37.44	3.4
5	Crossover	H&P	5.500	2.250	5.500	4.500 FH	Pin			2.40	39.84	3.7
6	Crossover	WTF	5.250	2.813	5.250	4.500 REG	Box			3.00	42.84	3.9
7	Wiper/Monel	WTF	5.750	2.250	5.750	4.500 REG	Pin	5.750	0.80	3.87	46.71	4.3
8	Crossover	WTF	5.500	2.250	5.500	4.500 REG	Box			1.51	48.22	4.4
9	Crossover	WTF	5.500	2.813	5.500	4.500 REG	Box			2.88	51.10	4.6
10	12 x 5" HWDP	H&P	5.000	3.000	5.000	4.500 F	Pin			96.80	103.96	54.2
11	Hydraulic Jar	WTF	5.750	2.750	5.750	4.500 F	Box	1.48		30.50	106.46	56.6
12	18 x 5" HWDP	H&P	5.000	3.000	5.000	4.500 F	Pin			60.07	1168.54	61.3

Anexo 3.7: BHA Limpieza #10 Sección 8 1/2" Palo Azul B 43D  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		Sacha		Borehole Name		Sacha 341D		Hole Size (in)		5.500		
Structure Name		Sacha 310		BHA Name		BHA#5_8 1/2"		Depth In (ft)		9703.00		
Well Name		Sacha 341D						Depth Out (ft)		11100.00		
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. Top (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in)	FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbs)
1	8 1/2" PDC Bit IADC: M223 3)11+3)12	Smith Mod. MDSI618LBPX	5.000	2.250	5.500	4.500 REG	Pin		0.00	0.72	0.72	0.1
2	A675M7850XP, camisa 8 1/4", BH 1.5	Schlumberger	5.750	5.500	5.250	4.500 REG	Box	6.750	1.25	26.97	27.69	2.5
3	Float Sub + valve	Schlumberger	5.625	2.813	5.625	4.500 F	Box	0.00		2.51	30.20	2.8
4	8 1/4" Stabilizer	Schlumberger	5.719	2.813	5.250	4.500 F	Pin	6.719		5.56	35.76	3.3
5	Pony Monel	Schlumberger	5.750	2.813	5.750	4.500 F	Box	0.00		9.68	45.44	4.3
6	Telescope	Schlumberger	5.688	5.109	5.688	4.500 F	Pin	6.680	1.24	27.39	72.83	6.6
7	Monel	Schlumberger	5.781	2.813	5.781	4.500 F	Box	0.00		31.52	104.35	9.8
8	17 x 5" HWDP (17 joints)		5.000	3.000	5.500	4.500 NCSD (4 1/2 IF)	Pin	0.00		519.25	623.63	36.0
9	Hydraulic Jar		5.500	2.750	5.500	4.500 NCSD (4 1/2 IF)	Box	0.00		32.42	656.05	37.9
10	18 x 5" HWDP (18 joints)		5.000	3.000	5.500	4.500 NCSD (4 1/2 IF)	Box	0.00		550.35	1206.40	65.6
11	6" 19.50 DPX, 10% Wear (100 joints)		5.000	4.276	5.500	4.500 NCSD (4 1/2 IF)	Pin	0.00		0.00	1206.40	65.6

Anexo 3.8: BHA Direccional #5 Sección 8 1/2" Sacha 341D  
Fuente: IPM Schlumberger



Field Name		Yanaquincha		Hole Size (in)		8.500		Depth In (ft)		10602	
Well Name		Yanaquincha Oeste B-16		BHA Name		BHA#8_8.5in_Run1		Depth Out (ft)		11340	
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Lengt (in)/(ft))	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)	
1	8 1/2" PDC Bit HCM506Z	Baker Hughes	7304589	5.750 2.250	8.500	4 1/2 REG	Pin	0	0.98	0.98	0.1
2	A675M7850XP Stb 8 1/4" BH 1.50 deg Rev/gal=0.28	Schlumberger	2188	6.750 5.500	8.250	4 1/2 REG	Box	6.75	25.2	26.18	2.3
3	6 3/4" Float Sub	Schlumberger	604	6.437 3.000	6.437	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.437	2.95	29.13	2.6
4	8 1/4" String Stabilizer	Schlumberger	8269	6.750 2.813	8.250	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.75	5.54	34.67	3.1
5	6 3/4" Pony Monel	Schlumberger	608	6.875 2.813	7.000	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.875	12.04	46.71	4.4
6	PowerPulse 675	Schlumberger	E5980	6.880 5.109	6.890	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.88	28.39	75.10	6.8
7	6 3/4" Monel	Schlumberger	434672	6.500 2.813	6.688	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.5	30.64	105.74	9.6
8	28 x 5" Heavy Weight Drill Pipe (28 joints)	Sinopec	s/n	5.000 3.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	847.22	952.96	52.3
9	6 1/2" Jar	Weatherford	5094	6.500 2.750	6.630	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.5	31.72	984.68	54.5
10	2 x 5" Heavy Weight Drill Pipe (2 joints)	Sinopec	s/n	5.000 3.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	60.64	1,045.32	57.5
11	5" 19.50 DPS, 10% Wear	Sinopec	s/n	4.928 4.276	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0			

**Anexo 3.9: BHA Direccional #8 Sección 8 1/2" Yanaquincha Oeste B 16D**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		Sacha		Borehole Name		Sacha 317H		Hole Size (in)		8.500	
Structure Name		Sacha 310		BHA Name		BHA#7_8 1/2" MDF+GV		Depth In (ft)		10160	
Well Name		Sacha 317H						Depth Out (ft)		10405	
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in) ID (in)	Max OD (in)	Bot. (in) Top. (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in) FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
1	8 1/2" PDC Bit MDS616LBPX	Smith	JF-9807	6.000 2.250	8.500	4.500 REG	Pin		0.73	0.73	0.1
2	A675M7850XP(BH:1.83)/STB: 8 3/8" Fatc:0.28 rev/gal	Schlumberger	5925584	6.750 5.500	8.375	4.500 REG	Box	6.680	24.89	25.62	2.3
3	Float Sub + valvula	Schlumberger	ECC 6548	6.780 2.750	6.780	4.500 IF	Pin		2.73	28.35	2.6
4	GVR 6"	Schlumberger	43934	6.875 2.810	8.375	4.500 IF	Pin	6.875	11.52	39.87	3.7
5	MWD-TELESCOPE 675	Schlumberger	E9173	6.810 5.109	6.810	5.500 FH	Box	6.625	27.99	67.86	6.1
6	Monel	Schlumberger	1100359	6.875 2.810	6.875	4.500 IF	Pin		31.10	98.96	9.4
7	20 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500	610.81	709.77	40.1
8	Hydraulic Jar	Smith	12794J	6.500 2.750	6.500	4.500 NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.37	32.38	742.15	42.1
9	9 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500 NC50 (4 1/2 IF)	Pin		274.89	1017.04	55.9
10	5" 19.50 DPX, 10% Wear	Hilong		4.928 4.276	6.500	4.500 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1017.04	55.9
11	Crossover	Hilong		6.500 3.000	6.500	4.500 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1017.04	55.9
12	5-1/2" 21.90 DPS, Premium	Hilong		5.356 4.778	7.500	5.500 FH	Pin	0.000	0.00	1017.04	55.9

**Anexo 3.10: BHA Direccional #7 Sección 8 1/2" Sacha 317H**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 317H	Hole Size (in)		8.500					
Structure Name		Sacha 310	BHA Name		BHA#8_8 1/2" MDF	Depth In (ft)		0					
Well Name		Sacha 317H				Depth Out (ft)		0					
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in) ID (in)	Max OD (in)	Bot. (in) Top. (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in) FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)		
1	8 1/2" Triconica - MF30BDODPS	Smith	PR-9798	6.000 2.250	8.500	4.500	REG	Pin		0.94	0.94	0.1	
2	A675M7860XP(BH.2.12) Sleek- Fato:0.28 rev/gal	Schlumberger	6096743	6.750 6.500	7.500	4.500	REG IF	Box	6.680 1.02	25.01	25.95	2.4	
3	Float Sub + valvula	Schlumberger	ECC 6548	6.780 2.750	6.780	4.500	IF	Box		2.73	28.68	2.6	
4	MWD-TELESCOPE 675	Schlumberger	E9173	6.810 6.109	6.810	4.500	IF	Box	6.625 1.73	28.98	57.04	5.0	
5	Monel	Schlumberger	1100359	6.875 2.810	6.875	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Box		31.10	88.14	8.3	
6	20 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin			610.81	898.95	39.1
7	Hydraulic Jar	Smith	12794J	6.500 2.750	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	6.500 1.37	32.38	731.33	41.0	
8	9 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin			274.89	1006.22	54.8
9	5" 19.50 DFX, 10% Wear	Hilong		4.928 4.276	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1006.22	54.8	
10	Crossover	Hilong		6.500 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1006.22	54.8	
11	5-1/2" 21.90 DPS, Premium	Hilong		5.356 4.778	7.500	5.500	FH	Box	0.000	0.00	1006.22	54.8	

**Anexo 3.11: BHA Direccional #8 Sección 8 1/2" Sacha 317H**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 317H	Hole Size (in)		8.500					
Structure Name		Sacha 310	BHA Name		BHA#9_8 1/2" MDF+Pe	Depth In (ft)		10558					
Well Name		Sacha 317H				Depth Out (ft)		10760					
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in) ID (in)	Max OD (in)	Bot. (in) Top. (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in) FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)		
1	8 1/2" Triconica - MF30BDODPS	Smith	PR-9798	6.000 2.250	8.500	4.500	REG	Pin		0.94	0.94	0.1	
2	A675M7860XP(BH.1.53) Sleek- Fato:0.28 rev/gal	Schlumberger	6096743	6.750 6.500	7.500	4.500	REG IF	Box	6.680 1.02	25.01	25.95	2.4	
3	Float Sub + valvula	Schlumberger	ECC 6548	6.780 2.750	6.780	4.500	IF	Box		2.73	28.68	2.6	
4	Periscope 675	Schlumberger	3402	6.750 2.810	7.500	4.500	IF	Pin	0.000				
5	MWD-TELESCOPE 675	Schlumberger	E9173	6.810 6.109	6.810	4.500	FH IF	Box	0.00 1.73	21.57	50.25	4.8	
6	Monel	Schlumberger	1100359	6.875 2.810	6.875	4.500	IF	Pin	6.625				
7	20 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Box		31.10	109.34	10.4	
8	Hydraulic Jar	Smith	12794J	6.500 2.750	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	6.500 1.37	610.81	720.15	41.2	
9	9 x 5" HWDP	Hilong		5.000 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin			274.89	1027.42	56.9
10	5" 19.50 DFX, 10% Wear	Hilong		4.928 4.276	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1027.42	56.9	
11	Crossover	Hilong		6.500 3.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	0.00	1027.42	56.9	
12	5-1/2" 21.90 DPS, Premium	Hilong		5.356 4.778	7.500	5.500	FH	Box	0.000	0.00	1027.42	56.9	

**Anexo 3.12: BHA Direccional #9 Sección 8 1/2" Sacha 317H**  
Fuente: IPM Schlumberger



Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		8.500		Depth In (ft)		9260	
Well Name		Palo Azul 33		BHA Name		HA#6 8.5" XCEED_LW		Depth Out (ft)		10566	
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Lengt (in)/(ft))	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)	
1 8 1/2" PDC Bit MDI616LBPX	Smith	JE6803	5.750	8.500	4 1/2 REG	Pin	0	0.8	0.80	0.1	
			2.250				0				
2 Xceed 675 8 3/8" STB	Schlumberger	347	6.750	8.375	4 1/2 REG	Box	6.75	25.13	25.93	2.7	
			5.160				1.12				
3 Periscope 675 w/ 8 1/4" STB	Schlumberger	3402	6.750	8.250	5 1/2 FH	Box	0	21.08	47.01	4.8	
			2.810				0				
4 Telescope 675 HF	Schlumberger	E4504	6.750	6.890	5 1/2 FH	Pin	0	27.63	74.64	7.1	
			5.109				0				
5 ADN-6 w/ 8 1/4" STB	Schlumberger	VE01	6.750	8.250	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	0	20.44	95.08	9.0	
			2.250				0				
6 Monel	Schlumberger	43467-2	6.500	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	30.87	125.95	12.0	
			2.250				0				
7 6 X 5" HWDP (6 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	184.08	310.03	21.3	
			3.000				0				
8 45 X 5" 19.50 DPS, (45 joints)	H&P	S/N	4.855	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	1412.23	1,722.26	53.2	
			4.276				0				
9 27 X 5" HWDP (27 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	829.63	2,551.89	95.0	
			3.000				0				
10 Hydraulic Jar	Wheaterford	3519	6.500	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.625	32.48	2,584.37	97.4	
			2.750				2				
11 2 X 5" HWDP (2 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	61.49	2,645.86	100.5	
			3.000				0				

**Anexo 3.13: BHA Direccional #6 Sección 8 1/2" Palo Azul D 33H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		8.500		Depth In (ft)		10566	
Well Name		Palo Azul D-33H		BHA Name		BHA#7 8.5" XCEED		Depth Out (ft)		11140	
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Lengt (in)/(ft))	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)	
1 8 1/2" PDC Bit MDI616LBPX	Smith	JE6803	5.750	8.500	4 1/2 REG	Pin	0	0.8	0.80	0.1	
			2.250				0				
2 Xceed 675 w/ 8 3/8" STB	Schlumberger	347	6.750	8.375	4 1/2 REG	Box	6.75	25.13	25.93	2.7	
			5.160				1.12				
3 Periscope 675 w/ 8 1/4" STB	Schlumberger	3402	6.750	8.250	5 1/2 FH	Box	0	21.08	47.01	4.8	
			2.810				0				
4 Telescope 675 HF	Schlumberger	E4504	6.750	6.890	5 1/2 FH	Pin	0	27.86	74.89	7.2	
			5.109				0				
5 Monel	Schlumberger	43467-2	6.500	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	30.87	105.76	10.2	
			2.250				0				
6 6 X 5" HWDP (6 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	184.08	289.84	19.5	
			3.000				0				
7 45 X 5" 19.50 DPS, (45 joints)	H&P	S/N	4.855	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	1412.23	1,702.07	51.4	
			4.276				0				
8 27 X 5" HWDP (27 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	829.63	2,531.70	93.2	
			3.000				0				
9 Hydraulic Jar	Wheaterford	WTF 50993-11	6.348	6.438	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.348	32.42	2,564.12	95.6	
			2.750				2.4				
10 2 X 5" HWDP (2 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	61.49	2,625.61	98.7	
			3.000				0				

**Anexo 3.14: BHA Direccional #7 Sección 8 1/2" Palo Azul D 33H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		8.500		Depth In (ft)		11143
Well Name		Palo Azul D-33H		BHA Name		BHA#10_8.5'_mwd acond		Depth Out (ft)		11143
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Length) (in)/(ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)
1 8 1/2" Bit triconic Insert GF150DPS	Smith	PR3425	5.750	8.500	4 1/2 REG	Pin	0	0.8	0.80	0.1
			2.250				0			
2 A675M7850XP BH 1.50 deg ,STB 8 3/8" , rev/gal=0.28	Schlumberger	5695	6.688	8.375	4 1/2 REG	Box	1.25	25.23	26.03	2.4
			5.500				6.688			
3 Float Sub	Schlumberger	ECC6541	6.750	6.750	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.75	2.75	28.78	2.7
			2.500				2.1			
4 SlimPulse 675	Schlumberger	6387-5	6.938	6.938	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.938	36.05	64.83	6.3
			3.880				2.52			
5 Roller Reamer-3 Point 8 1/2"	RedBack	1288	6.500	8.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	5.11	69.94	6.8
			2.250				1.2			
6 6 X 5" HWDP (6 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	184.08	254.02	16.1
			3.000				2.5			
7 41 X 5" 19.50 DPS, (41 joints)	H&P	S/N	4.855	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	0	1286.24	1,540.26	45.1
			4.276				0			
8 26 X 5" HWDP (26 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	798.99	2,339.25	85.4
			3.000				2.5			
9 Hydraulic Jar	Wheaterford	4809	6.348	6.438	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.348	31.64	2,370.89	87.7
			2.750				2.4			
10 2 X 5" HWDP (2 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	61.49	2,432.38	90.8
			3.000				2.5			

**Anexo 3.15: BHA Direccional #10 Sección 8 1/2" Palo Azul D 33H**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		8.500		Depth In (ft)		11143
Well Name		Palo Azul 33		BHA Name		BHA#11_8.5'_mwd acond		Depth Out (ft)		11143
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Length) (in)/(ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)
1 8 1/2" Bit triconic Insert GF150DPS	Smith	PR3425	5.750	8.500	4 1/2 REG	Pin	0	0.8	0.80	0.1
			2.250				0			
2 A675M7850XP BH 1.50 deg STB 8 3/8" , rev/gal=0.28	Schlumberger	5695	6.688	8.375	4 1/2 REG	Box	1.25	25.23	26.03	2.4
			5.500				6.688			
3 Float Sub	Schlumberger	ECC6541	6.750	6.750	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.75	2.75	28.78	2.7
			2.500				2.1			
4 SlimPulse 675	Schlumberger	6387-5	6.938	6.938	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.938	36.05	64.83	6.3
			3.880				2.52			
5 6 X 5" HWDP (6 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	184.08	248.91	15.6
			3.000				2.5			
6 41 X 5" 19.50 DPS, (41 joints)	H&P	S/N	4.855	6.625	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	0	1286.24	1,535.15	44.6
			4.276				0			
7 26 X 5" HWDP (26 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	798.99	2,334.14	84.9
			3.000				2.5			
8 Hydraulic Jar	Wheaterford	4809	6.348	6.438	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.348	31.64	2,365.78	87.2
			2.750				2.4			
9 2 X 5" HWDP (2 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 F)	Pin	6.5	61.49	2,427.27	90.3
			3.000				2.5			

**Anexo 3.16: BHA Direccional #11 Sección 8 1/2" Palo Azul D 33H**  
Fuente: IPM Schlumberger



Field Name		B18_Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 28Hz		Hole Size (in)		8.500	
Structure Name		PAD D		BHA Name		BHA#6_8.5_XCEED		Depth In (ft)		10080	
Well Name		Palo Azul 28 H						Depth Out (ft)		10830	
Desc.	Manu.	Serial Number	OD	Max OD	Bot.	Bot Type	Bot	FN OD	Length	Cum. Length	Cum. Weight
			(in)		(in)		(in)				
			ID		Top.		Top				
			(in)	(in)	(in)	Top Type	Gender	FN Length	(ft)	(ft)	(1000 lbm)
1	8 1/2" PDC MDI619LXB	Smith Bits	JE-5798	5.750				0.000			
	Xceed 675 8 3/8"			2.250	8.500	4.500	REG	Pin	0.00	0.78	0.78
2	Stabilizers	Schlumberger	DN-EDM-001	6.750	8.375	4.500	REG	Box	6.750	25.14	25.92
	EcoScope w/ 8 1/4"			5.160		5.500	FH	Box	1.11		2.7
3	Stabilizer	Schlumberger	1793	6.750	8.250	5.500	FH	Pin	6.750	26.44	52.36
	Telescope 675 NF			2.000		5.500	FH	Box	6.26	52.36	5.6
4	Monel	Schlumberger	ZB11/1	6.750	6.890	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.750	28.16	80.52
	6 X 5" HWDP			5.109		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.80	80.52	7.9
5	45 x 5" DP	H&P	n/a	6.625	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	30.80	111.32
	27 X 5" HWDP			2.813		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.00	111.32	10.9
6	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4781	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	183.73	295.05
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.00	295.05	20.1
7	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4781	4.928	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	1415.79	1710.84
	2 X 5" HWDP			4.276		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.00	1710.84	51.2
8	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4781	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	828.95	2539.79
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.00	2539.79	92.9
9	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4781	6.440	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500	31.65	2571.44
	2 X 5" HWDP			2.810		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.50	2571.44	95.1
10	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4781	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0.000	61.03	2632.47
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.00	2632.47	98.2

**Anexo 3.17: BHA Direccional #6 Sección 8 1/2" Palo Azul D 28H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		B18_Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 28Hz		Hole Size (in)		8.500	
Structure Name		PAD D		BHA Name		BHA#7_8.5"_Motor		Depth In (ft)		10830	
Well Name		Palo Azul 28						Depth Out (ft)		11930	
Desc.	Manu.	Serial Number	OD	Max OD	Bot.	Bot Type	Bot	FN OD	Length	Cum. Length	Cum. Weight
			(in)		(in)		(in)				
			ID		Top.		Top				
			(in)	(in)	(in)	Top Type	Gender	FN Length	(ft)	(ft)	(1000 lbm)
1	8 1/2" PDC MDI616LBPX	Smith	JD-9925	5.750				0.000			
	A675M7850XP			2.250	8.500	4.500	REG	Pin	0.00	0.77	0.77
2	8 3/8" Stab/B.H. 1.83 deg	Schlumberger	5696	6.750	8.375	4.500	REG	Box	6.750	25.20	25.97
	Float Sub			5.500		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.32	25.97	2.4
3	Flex Collar 6 3/4"	Schlumberger	ECC6541	6.750	6.750	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.750	2.78	28.75
	ARC-6			2.250		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.50	28.75	2.7
4	Telescope 675 NF	Schlumberger	61479	6.750	6.750	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.750	11.35	40.10
	Monel			3.750		5.500	FH	Box	1.66	40.10	3.3
5	Hydraulic Jar	Weatherford	3992	6.750	7.500	5.500	FH	Pin	6.750	19.45	59.55
	Telescope 675 NF			2.810		5.500	FH	Box	2.40	59.55	5.2
6	Monel	Schlumberger	ZB11/1	6.750	6.890	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.750	28.16	87.71
	6 X 5" HWDP			5.109		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.80	87.71	7.6
7	45 x 5" DP	H&P	n/a	6.625	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.625	30.80	118.51
	27 X 5" HWDP			2.813		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	3.00	118.51	10.5
8	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4890	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500	183.73	302.24
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.50	302.24	19.8
9	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4890	4.928	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	4.928	1415.79	1718.03
	2 X 5" HWDP			4.276		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	0.90	1718.03	50.8
10	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4890	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500	626.95	2546.98
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.50	2546.98	92.6
11	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4890	6.440	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.625	30.77	2577.75
	2 X 5" HWDP			2.810		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.18	2577.75	94.7
12	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF-4890	5.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500	61.03	2638.78
	2 X 5" HWDP			3.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.50	2638.78	97.8

**Anexo 3.18: BHA Direccional #7 Sección 8 1/2" Palo Azul D 28H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		B18_Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 34 Hz		Hole Size (in)		8.500		
Structure Name		PAD D		BHA Name		BHA#7_8.5" _XCEED		Depth In (ft)		9915		
Well Name		Palo Azul 34						Depth Out (ft)		11366		
	Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
				ID (in)		Top. (in)		Top Type	Top Gender			
				5.750					0.000			
1	8 1/2" BH PDC MD#18LEBFX	Smith	JE7528	2.250	8.500	4.500	REG	Pin	0.00	0.80	0.80	0.1
				6.750		4.500	REG	Box	6.750			
2	Xceed675 w/ 8 3/8" Stabilizer	Schlumberger	CRSC-347	5.160	8.375	5.500	FH	Box	1.11	25.14	25.94	2.7
				6.750		5.500	FH	Pin	6.750			
3	EcoScope w/ 6 1/4" Stabilizer	Schlumberger	957-YC74	2.000	8.250	5.500	FH	Box	1.24	26.35	52.29	5.6
				6.750		5.500	FH	Pin	1.560			
4	Telescope 675	Schlumberger	E5990	5.109	6.890	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	6.75	28.00	80.29	7.9
				6.438		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.438			
5	Monel	Schlumberger	78462-2	2.613	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	5.00	30.80	111.09	10.7
				5.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	1.870			
6	6 x 5" HWDP (6 joints)	H&P	S/N	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	6.50	183.73	294.82	19.9
				4.928		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.625			
7	45 x 5" 19.50# Drill Pipe (45 joints)	H&P	S/N	4.276	6.625	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.65	1414.90	1709.72	50.9
				5.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500			
8	28 X 5" HWDP (28 joints)	H&P	S/N	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.87	859.54	2569.26	94.2
				6.500		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500			
9	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF4807	2.875	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.58	31.10	2600.36	96.4
				5.000		4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.500			
10	3 X 5" HWDP (3 joints)	H&P	S/N	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.87	91.55	2691.91	101.0

**Anexo 3.19: BHA Direccional #7 Sección 8 1/2" Palo Azul D 34H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



## **ANEXO 4**

### **CONFIGURACIÓN DE LOS BHA USADOS PARA LA PERFORACIÓN DE LA SECCIÓN DE 6 ½" DE LOS POZOS HORIZONTALES DE ESTUDIO**

Field Name		Sacha	Borehole Name			Sacha 317H	Hole Size (in)		6.125		
Structure Name		Sacha 310	BHA Name			BHA#10_6 1/8" Triconic	Depth In (ft)		10760		
Well Name		Sacha 317H					Depth Out (ft)		10765		
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in) ID (in)	Max OD (in)	Bot. (in) Top (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in) FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
1	6 1/8" Triconica Bit	Smith Bits	3.875								
			1.250	6.125	3.500	Regular	Pin		0.80	0.80	0.0
2	A475M7838XP	Schlumberger	4.750	3.750	5.875	3.500 REG	Box	0.000			
		6511				3.500 IF	Pin	0.000	22.33	23.13	0.9
3	27 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.250	4.750	3.500 NC38 (3 1/2 IF)	Box	0.000	828.44	851.57	20.1
4	49 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear		3.426	2.764	5.000	3.500 IF	Pin	0.000	1530.34	2381.91	42.6
5	9 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.250	4.750	3.500 IF	Box	0.000	276.28	2658.19	49.1
6	Hydraulic Jar		4.750	2.250	4.830	3.500 IF	Pin	0.000	29.52	2687.71	50.2
7	14 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.250	4.750	3.500 IF	Box	0.000	429.25	3116.96	60.2
8	3-1/2" 13.30 DPS, 10%		3.500	2.764	5.000	3.500 IF	Pin	0.000	2781.38	5898.34	101.0
9	Crossover		7.000	2.880	7.000	3.500 IF	Box	7.000			
			5.000	2.880	7.000	4.500 IF	Pin	1.83	2.70	5901.04	101.3
10	44 x 5" HWDP		3.000	6.500	6.500	4.500 IF	Box	0.000	1374.20	7275.24	170.6
11	102 x 5" 19.50 DPE, 10% Wear		4.928	4.276	7.000	4.500 IF	Pin	0.000	3441.82	10717.06	247.2
12	1(junta DP) - 5" (parada # 37)		4.928	4.276	7.000	4.500 IF	Box	0.000	31.84	10748.90	247.7
13	1(junta DP) - 5" (parada # 37)		4.928	4.276	7.000	4.500 IF	Pin	0.000	16.30	10765.20	247.9

**Anexo 4.1: BHA Direccional #10 Sección 6 1/8" Sacha 317H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		Sacha	Borehole Name			Sacha 317H	Hole Size (in)		6.125		
Structure Name		Sacha 310	BHA Name			BHA#11_6 1/8" PD_Peris	Depth In (ft)		10765		
Well Name		Sacha 317H					Depth Out (ft)		10926		
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in) ID (in)	Max OD (in)	Bot. (in) Top (in)	Bot Type Top Type	Bot Gender Top Gender	FN OD (in) FN Length (ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
1	6 1/8" PDC Bit	Smith Bits	3.875								
		JF9590	1.250	6.125	3.500	Regular	Pin		0.69	0.69	0.0
2	PD 475	Schlumberger	4.980	3.640	5.438	3.500 REG	Box	0.000			
3	Receiver w/ 5 7/8" Sleeve Stab	Schlumberger	4.813	2.250	5.875	3.500 IF	Pin	0.000	14.09	14.78	0.7
		50999				3.500 IF	Box	0.000	6.18	20.96	1.0
4	Crossover	Schlumberger	5.875	2.880	5.875	3.500 IF	Pin	7.000			
		52595				3.500 IF	Box	1.83	2.38	23.34	1.2
5	Periscope 475 w/ Zinc Sensor	Schlumberger	4.750	1.430	5.260	3.500 IF	Pin	0.000	25.01	48.35	2.5
6	ShortPulse HF	Schlumberger	4.750	2.250	5.250	3.500 NC38 (3 1/2 IF)	Box	0.000			
		E4514				3.500 IF	Pin	0.000	28.81	77.16	3.9
7	ADN-4	Schlumberger	4.750	2.250	6.125	3.500 IF	Box	0.000	25.80	102.96	5.5
8	Monel	Schlumberger	4.750	2.281	4.750	3.500 IF	Pin	0.000	31.55	134.51	7.0
9	27 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.250	4.750	3.500 IF	Box	0.000			
						3.500 IF	Pin	0.000	828.44	982.95	26.2
10	48 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear		3.426	2.750	5.000	3.500 IF	Pin	0.000	1530.34	2493.29	48.7
11	9 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.063	4.750	3.500 IF	Box	0.000	276.28	2769.57	55.2
12	Hydraulic Jar	Smith Bits	4.750	2.250	4.830	3.500 IF	Pin	0.000	29.52	2799.09	56.3
13	14 x 3 1/2" HWDP		3.500	2.250	4.750	3.500 IF	Box	0.000	429.25	3228.34	66.2
14	3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear		3.426	2.750	5.000	3.500 IF	Pin	0.000	2781.38	6009.72	107.1
15	Crossover		4.750	2.880	4.750	3.500 IF	Box	4.750			
			5.000	2.880	4.750	5.000 IF	Pin	1.83	2.70	6012.42	107.2
16	44 x 5" HWDP		3.000	6.500	6.500	5.000 IF	Box	0.000	1374.20	7386.62	176.4
17	5" 19.50 DPX, 10% Wear		4.928	2.750	6.625	5.000 IF	Pin	0.000	3241.00	10627.62	245.9
18	5-1/2" 21.90 DPS, 10% Wear		5.428	2.750	7.000	5.500 HT56	Pin	0.000	31.00	10658.62	246.7

**Anexo 4.2: BHA Direccional #11 Sección 6 1/8" Sacha 317H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 317H	Hole Size (in)		6.125						
Structure Name		Sacha 310	BHA Name		BHA#12_6 1/8" Triconica	Depth In (ft)		10928						
Well Name		Sacha 317H				Depth Out (ft)		10964						
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)			
												ID (in)	Top (in)	Top Type
1	6 1/8" Triconica Bit	Smith Bits	PX5506	3.875	1.250	6.125	3.500	REG	Pin		0.69	0.69	0.0	
2	A475M7838XP BH:1.5 deg/	Schlumberger	6511	4.750	3.750	5.875	3.500	REG	Box	4.750	22.33	23.02	0.9	
3	Float Sub	Schlumberger	ECC 725	4.500	2.250	4.500	3.500	IF	Pin	4.500	2.16	25.18	1.0	
4	4 3/4" OD Estabilizador	Schlumberger	827-7	4.750	2.250	5.875	3.500	IF	Box	1.00	0.00	5.58	30.76	1.3
5	Pin x Pin NC38 x NC35	Schlumberger	90110	4.750	2.250	5.875	3.500	IF	Pin	0.00	0.00	0.00	30.76	1.3
6	Periscope 475 w/ Zinc Sensor	Schlumberger	42219	4.750	1.430	5.280	3.500	IF	Box	0.00	25.01	57.60	2.6	
7	ShortPulse HF	Schlumberger	E4514	4.750	2.250	5.250	3.500	IF	Pin	0.00	28.81	86.41	4.1	
8	ADN-4	Schlumberger	6276	4.750	2.250	6.125	3.500	IF	Box	0.00	25.80	112.21	5.7	
9	Monel	Schlumberger	57257-33	3.500	2.281	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	31.55	143.76	7.1	
10	27 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Box	0.00	626.44	972.20	26.4	
11	48 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Pin	0.00	1539.34	2502.54	48.8	
12	9 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.063	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	276.28	2778.82	55.3	
13	Hydraulic Jar	Smith Bits		4.750	2.250	4.830	3.500	IF	Box	0.00	29.52	2808.34	56.4	
14	15 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	429.25	3237.59	66.4	
15	3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Pin	0.00	2761.38	6019.97	107.3	
16	Crossover			4.750	2.880	4.750	6.000	IF	Box	1.83	2.70	6021.67	107.4	
17	46 x 5" HWDP			5.000	3.000	6.000	6.000	IF	Pin	0.00	1374.20	7395.87	176.6	
18	5" 19.50 DFX, 10% Wear			4.928	2.750	6.000	6.000	IF	Box	0.00	3241.00	10636.87	246.1	
19	5-1/2" 21.90 DPS, 10% Wear			5.428	2.750	6.000	6.000	IF	Pin	0.00	31.00	10667.87	246.9	

**Anexo 4.3: BHA Direccional #12 Sección 6 1/8" Sacha 317H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 317H	Hole Size (in)		6.125						
Structure Name		Sacha 310	BHA Name		BHA#13_6 1/8" Triconica	Depth In (ft)		10964						
Well Name		Sacha 317H				Depth Out (ft)		11158						
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)			
												ID (in)	Top (in)	Top Type
1	6 1/8" Triconica Bit	Smith Bits	PX5507	3.875	1.250	6.125	3.500	REG	Pin		0.69	0.69	0.0	
2	A475M7838XP BH:1.5 deg/	Schlumberger	6511	4.750	3.750	5.875	3.500	REG	Box	4.750	22.33	23.02	0.9	
3	Float Sub	Schlumberger	ECC 725	4.500	2.250	4.500	3.500	IF	Pin	4.500	2.16	25.18	1.0	
4	4 3/4" x 5 7/8" Estab.	Schlumberger	827-7	4.750	2.250	5.875	3.500	IF	Pin	0.00	0.00	5.58	30.76	1.3
5	4.75" Collar	Schlumberger	57275-37	4.750	2.813	4.750	3.500	IF	Box	0.00	9.98	40.74	1.7	
6	Impulse/MWD/LWD	Schlumberger	E9615	4.750	2.250	5.250	3.500	IF	Pin	0.00	33.87	74.61	3.4	
7	4.75" Saver Sub	Schlumberger	E9615	4.750	2.500	4.750	3.500	IF	Box	0.00	2.75	77.36	3.6	
8	Monel	Schlumberger	57257-33	3.500	2.281	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	31.55	109.91	5.0	
9	24 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Box	0.00	736.40	845.31	22.0	
10	30 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Pin	0.00	956.18	1801.49	36.1	
11	9 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.063	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	276.48	2077.96	42.6	
12	Hydraulic Jar	Smith Bits		4.750	2.250	4.830	3.500	IF	Box	0.00	29.52	2107.47	43.7	
13	38 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Pin	0.00	1165.12	3272.59	70.7	
14	3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Pin	0.00	2589.09	5861.68	105.7	
15	Crossover			4.750	2.880	4.750	6.000	IF	Box	1.83	2.66	5864.34	108.9	
16	46 x 5" HWDP			5.000	3.000	6.000	6.000	IF	Pin	0.00	1374.20	7239.54	176.1	
17	5" 19.50 DFX, 10% Wear			4.928	2.750	6.000	6.000	IF	Box	0.00	3728.54	10967.08	256.0	

**Anexo 4.4: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Sacha 317H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



Field Name		Sacha	Borehole Name		Sacha 317H	Hole Size (in)		6.125				
Structure Name		Sacha 310	BHA Name		BHA#14_6 1/8" PDC_Mr	Depth In (ft)		11156				
Well Name		Sacha 317H				Depth Out (ft)		11540				
Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)	
1	6 1/8" PDC MDSI516WBPX	Smith Bits	JG-0374	3.875	1.250	6.125	3.500	REG	Pin			
2	A475M7838XP BH:1.5 deg/ 0.54 Rev/Gal	Schlumberger	3849	4.750	3.750	5.875	3.500	REG	Box	4.750	0.69	0.69
3	Float Sub	Schlumberger	ECC 725	4.500	2.250	4.500	3.500	IF	Pin	1.50	22.30	22.99
4	4 3/4" x 5 7/8" Estab.	Schlumberger	827-7	4.750	2.250	5.875	3.500	IF	Box	1.00	2.16	25.15
5	4.75" Collar Pony Monel	Schlumberger	57275-37	4.750	2.813	4.750	3.500	IF	Pin	0.000	5.58	30.73
6	Impulse/MWD/LWD	Schlumberger	E9615	4.750	2.250	5.250	3.500	IF	Box	0.000	0.00	1.3
7	4.75" Saver Sub	Schlumberger	E9615	4.750	2.500	4.750	3.500	IF	Pin	0.000	33.87	74.58
8	Collar Monel 4 3/4"	Schlumberger	57257-33	4.750	2.281	4.750	3.500	IF	Box	0.00	0.00	3.4
9	24 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Pin	0.000	2.75	77.33
10	30 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Box	0.00	31.55	108.88
11	9 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.063	4.750	3.500	IF	Pin	0.000	736.40	845.28
12	Hydraulic Jar	Smith Bits		4.750	2.250	4.830	3.500	IF	Box	0.00	956.18	1801.46
13	38 x 3 1/2" HWDP			3.500	2.250	4.750	3.500	IF	Pin	0.000	276.46	2077.92
14	3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear			3.426	2.750	5.000	3.500	IF	Box	0.00	29.52	2107.44
15	Crossover			4.750	2.880	4.750	5.000	IF	Pin	4.750	1165.12	3272.56
16	45 x 5" HWDP			5.000	3.000	6.000	5.000	IF	Box	0.00	2589.09	5861.65
17	5" 19.50 DPX, 10% Wear			4.928	2.750	6.000	5.000	IF	Pin	0.000	2.66	5864.31
												108.8
												178.1
												256.0

#### Anexo 4.5: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Sacha 317H Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		B18_Palo Azul	Hole Size (in)		6.125	Depth In (ft)		11140				
Well Name		Palo Azul 33	BHA Name		BHA#12_6 1/8" Motor	Depth Out (ft)		11144				
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Lengt (in)(ft)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)		
1	Tricone XR20DOD1GVPS	Smith Bits	PN4165	3.750	1.250	6.125	3 1/2 REG	Pin	0	0.65	0.65	0.0
2	A475M7838XP_5 7/8" Stab_ 0.54 rev/gal - BHR 1.5	Schlumberger	3849	4.750	3.750	5.875	3 1/2 REG	Box	4.75	21.97	22.62	0.9
3	Float Sub	Schlumberger	ECC7055	4.750	2.940	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	2.72	25.34	1.0
4	Impulse	Schlumberger	403	4.750	2.250	5.250	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	4.61	36.64	61.98	2.9
5	Monel 4.75	Schlumberger	78462-7	4.750	2.250	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	31.7	93.68	4.3
6	12 x 3 1/2" HWDP (12 joints)	H&P 121	N/A	3.500	2.250	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0	364.86	458.54	12.8
7	27 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear (27 joints)	H&P 121	N/A	3.426	2.764	3.500	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	854.8	1,313.34	25.3
8	42 x 3 1/2" HWDP (42 joints)	H&P 121	N/A	3.500	2.250	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0	1277.79	2,591.13	55.0
9	Hydraulic Jar	Weaterford		4.750	2.250	4.830	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	4.75	30.39	2,621.52	56.1
10	6 x 3 1/2" HWDP (6 joints)	H&P 121	N/A	3.500	2.250	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0	184.34	2,805.86	60.4
11	Crossover	H&P 121		5.000	2.750	5.000	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	0	2.77	2,808.63	60.5
12	24 X 5" HWDP (24 joints)	H&P	S/N	5.000	3.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	6.5	736.31	3,544.94	97.6

#### Anexo 4.6: BHA Direccional #12 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H Fuente: IPM Schlumberger



Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		6.125		Depth In (ft)		11144	
Well Name		Palo Azul 33		BHA Name		BHA#13_6 1/8" Motor		Depth Out (ft)		11250	
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	Gender (Bot/Top)	FishNeck (OD/Length (in)(ft))	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)	
1	Tricone XR20TODPS	Smith Bits	PS6704	3.750	6.125		0	0.65	0.65	0.0	
			1.250				0				
					3 1/2 REG	Pin	0				
2	A475M7838XP_5 7/8" Stab_ 0.54 rev/gal - BHR 1.5	Schlumberger	2292	4.750	5.875	3 1/2 REG	Box	4.75	22	22.65	
			3.750				1.2			0.9	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
3	Float Sub	Schlumberger	ECC7055	4.750	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	2.72	25.37	
			2.940				0			1.0	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
4	Impulse	Schlumberger	403	4.750	5.250	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	4.81	36.64	62.01	
			2.250				2.79			2.9	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
5	Monel 4.75	Schlumberger	78462-7	4.750	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	31.7	93.71	
			2.250				0			4.3	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
6	12 x 3 1/2" HWDP (12 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	364.86	458.57	
			2.250				0			12.8	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
7	27 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear (27 joints)	H&P 121	N/A	3.426	3.500	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	854.8	1,313.37	
			2.764				0			25.4	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
8	42 x 3 1/2" HWDP (42 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	1278.144	2,591.51	
			2.250				0			55.0	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
9	Hydraulic Jar	Weaterford	3503	4.750	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	4.75	29.76	2,621.27	
			2.250				2.49			56.1	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
10	6 x 3 1/2" HWDP (6 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	183.58	2,804.85	
			2.250				0			60.4	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
11	Crossover	H&P 121		5.000	5.000	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	2.77	2,807.62	
			2.750				0			60.5	
					4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	0				
12	24 X 5" HWDP (24 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.5	736.31	3,543.93	
			3.000				2.5			97.6	
					4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	0				

**Anexo 4.7: BHA Direccional #13 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name		B18_Palo Azul		Hole Size (in)		6.125		Depth In (ft)		11250	
Well Name		Palo Azul 33		BHA Name		BHA#14_6 1/8" PD=LWD		Depth Out (ft)		12000	
Description	Vendor	Serial #	OD/ID (in)	Max OD (in)	Connection (Bottom/Top) (in)	(Bot/Top)	FishNeck (OD/Length (in)(ft))	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (klbm)	
1	PDC/MDL516WBPX	Smith Bits	JED377	3.750	6.125		0	0.6	0.60	0.0	
			1.250				0				
					3 1/2 REG	Pin	0				
2	PowerDrive X6_475	Schlumberger	BU 66687/CC50811	5.875	5.875	3 1/2 REG	Box	4.75	14.57	15.17	
			2.500				3.29			1.1	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
3	PD Receiver- 5 7/8" stab.	Schlumberger	50999	4.781	5.875	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	4.625	7.32	22.49	
			2.250				2.39			1.5	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0				
4	Periscope 475	Schlumberger	41424	4.750	5.280	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0	25.03	47.52	
			1.430				0			2.8	
					3 1/2 NC35	Box	0				
5	Short Pulse	Schlumberger	E4514	4.750	5.250	3 1/2 NC35	Pin	4.81	28.88	76.40	
			2.250				2.79			4.2	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0				
6	ADN-4	Schlumberger	127	4.750	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0	25.79	102.19	
			2.250				0			5.7	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
7	Monel 4.75	Schlumberger	78462-7	4.750	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	31.7	133.89	
			2.250				0			7.1	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
8	12 x 3 1/2" HWDP (12 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	364.86	496.75	
			2.250				0			15.6	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
9	45 x 3-1/2" 13.30 DPS, (45 joints)	H&P 121	N/A	3.426	3.500	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	1422.62	1,921.37	
			2.764				0			36.5	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
10	42 x 3 1/2" HWDP (42 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	1278.144	3,199.51	
			2.250				0			66.2	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
11	Hydraulic Jar	Weaterford		4.750	4.830	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	4.75	29.76	3,229.27	
			2.250				2.49			67.3	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
12	6 x 3 1/2" HWDP (6 joints)	H&P 121	N/A	3.500	4.750	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	183.58	3,412.85	
			2.250				0			71.5	
					3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Box	0				
13	Crossover	H&P 121		5.000	5.000	3 1/2 NC38 (3/12 IF)	Pin	0	2.77	3,415.62	
			2.750				0			71.7	
					4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	0				
14	24 X 5" HWDP (24 joints)	H&P	S/N	5.000	6.500	4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Pin	6.5	736.31	4,151.93	
			3.000				2.5			108.8	
					4 1/2 NC50 (4 1/2 IF)	Box	0				

**Anexo 4.8: BHA Direccional #14 Sección 6 1/8" Palo Azul D 33H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



Field Name		B18_Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 28Hz		Hole Size (in)		6.125	
Structure Name		PAD D		BHA Name		BHA#9_6 1/8" Motor		Depth In (ft)		11930	
Well Name		PAG Azul 28						Depth Out (ft)		11993	
Disc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
			ID (in)		Top. (in)		Top Type	Top Gender			
1	6 1/8" Triconic Bit XR20TPS	Smith	3.875	6.125	3.500	REG	Pin	0.00	0.62	0.62	0.0
		PL9480	1.250			3.500	REG	Box			
2	A475M7638XP, Bit 5 7/8" BH: 1.5 D.54 revigal	Schlumberger	4.750	5.875	3.500	IF	Box	1.17	22.07	22.69	0.9
		3292	3.750			3.500	IF	Pin			
3	Float Sub	Schlumberger	4.750	4.750	3.500	IF	Box	2.10	2.81	25.50	1.1
		722	1.750			3.500	IF	Pin			
4	MWD Shortpulse	Schlumberger	4.750	5.250	3.500	IF	Box	1.86	30.83	56.33	2.6
		E4514	2.250			3.500	IF	Pin			
5	Monel	Schlumberger	4.688	4.750	3.500	IF	Box	5.00	30.39	86.72	4.0
		401	2.250			3.500	IF	Pin			
6	12 x 3 1/2" HWDP (12 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	IF	Box	4.75	367.53	454.25	12.5
		S/N	2.250			3.500	IF	Pin			
7	27 x 3-1/2" DP (27 joints)	H&P	3.426	3.500	3.500	IF	Box	3.50	855.63	1309.88	25.1
		S/N	2.764			3.500	IF	Pin			
8	41 x 3 1/2" HWDP (41 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	IF	Box	4.75	1240.90	2550.78	53.9
		S/N	2.250			3.500	IF	Pin			
9	Hydraulic Jar	Weaterford	4.750	5.000	3.500	IF	Box	1.90	30.06	2580.84	55.0
		WTF3505	2.250			3.500	IF	Pin			
10	6 x 3 1/2" HWDP (6 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	IF	Box	4.75	181.52	2762.36	59.2
		S/N	2.250			3.500	IF	Pin			
11	Crossover	H&P	5.000	5.000	4.500	IF	Box	1.86	2.75	2765.11	59.3
		S/N	2.750			4.500	IF	Pin			
12	24 x 5" HWDP (24 joints)	H&P	5.000	6.500	4.500	IF	Box	6.50	736.31	3501.42	97.9
		S/N	3.000			4.500	IF	Pin			

**Anexo 4.9: BHA Direccional Sección #9 6 1/8" Palo Azul D 28H**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name		B18_Palo Azul		Borehole Name		Palo Azul 28Hz		Hole Size (in)		6.125	
Structure Name		PAD D		BHA Name		BHA#10_PD=LWD		Depth In (ft)		11993	
Well Name		Palo Azul 28						Depth Out (ft)		12450	
Description	Manufacture	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)
			ID (in)		Top. (in)		Top Type	Top Gender			
1	6 1/8" PDC Bit Type: MDI516WBPX	Smith	3.875	6.125	3.500	REG	Pin	0.00	0.67	0.67	0.0
		JE0377	1.250			3.500	REG	Box			
2	PD 475 X6 CC: 50811 - BU: 69275	Schlumberger	4.980	4.980	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	2.30	14.85	15.32	0.8
		50811	3.640			3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin			
3	PD Receiver - 5 7/8" Stab	Schlumberger	4.781	5.875	3.500	NC35	Pin	2.39	7.32	22.64	1.1
		50999	2.250			3.500	NC35	Box			
4	Periscope 475	Schlumberger	4.781	5.260	3.500	NC35	Pin	1.50	25.01	47.65	2.4
		42219	3.500			3.500	NC35	Box			
5	IMPulse	Schlumberger	4.750	5.250	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.54	33.89	81.54	2.6
		403	3.469			3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box			
6	ADN-4	Schlumberger	4.750	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	1.80	23.65	105.19	3.9
		127	3.500			3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin			
7	4.75" Monel	Schlumberger	4.688	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	5.00	30.39	135.58	5.3
		401	2.250			3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin			
8	12 x 3 1/2" HWDP (12 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	NC38 (3/12 IF)	Box	4.75	367.53	503.11	13.8
		S/N	2.250			3.500	NC38 (3/12 IF)	Pin			
9	30 x 3-1/2" DP (30 joints)	H&P	3.426	3.500	3.500	NC38 (3/12 IF)	Box	3.50	950.17	1453.26	27.8
		S/N	2.764			3.500	NC38 (3/12 IF)	Pin			
10	41 x 3 1/2" HWDP (41 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	NC38 (3/12 IF)	Box	4.75	1240.90	2694.18	56.5
		S/N	2.250			3.500	NC38 (3/12 IF)	Pin			
11	Hydraulic Jar	Weaterford	4.750	5.000	3.500	NC38 (3/12 IF)	Box	1.90	30.06	2724.24	57.7
		WTF3505	2.250			3.500	NC38 (3/12 IF)	Pin			
12	6 x 3 1/2" HWDP (6 joints)	H&P	3.500	4.750	3.500	NC38 (3/12 IF)	Box	4.75	181.52	2905.76	61.9
		S/N	2.250			3.500	NC38 (3/12 IF)	Pin			
13	Crossover	H&P	5.000	5.000	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Box	1.86	2.75	2908.51	62.0
		S/N	2.750			4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin			
14	24 x 5" HWDP (24 joints)	H&P	5.000	6.500	4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Box	6.50	736.31	3644.82	100.5
		S/N	3.000			4.500	NC80 (4 1/2 IF)	Pin			

**Anexo 4.10: BHA Direccional Sección #10 6 1/8" Palo Azul D 28H**  
Fuente: IPM Schlumberger

Field Name	B18_Palo Azul	Borehole Name	Palo Azul 34 Hz	Hole Size (in)	6.125
Structure Name	PAD D	BHA Name	BHA#9_6 1/8" Motor	Depth In (ft)	11368
Well Name	Palo Azul 34			Depth Out (ft)	11460

ID	Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)		
						Top (in)	Top Type	Top Gender	FN Length (ft)					
1	6 1/8" Tricone Bit XR20DOD19VF	Smith	PT8374	3.875	1.250	6.125	3.500	REG	Pin	0.00	0.70	0.70	0.0	
2	A475M7838XP.Stb 5 7/8" BH: 1.5 0.54 rev/gal	Schlumberger	6511	4.750	3.750	5.875	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.750	22.31	23.01	0.9	
3	4.75" Float Sub	Schlumberger	ECC7056	4.750	1.750	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	1.19	2.46	25.47	1.1	
4	Zinc	Schlumberger	68	5.000	2.750	5.000	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	5.000	1.54	27.01	1.1	
5	IMPulse Medium Flow	Schlumberger	E4514	4.750	2.250	5.250	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	1.86	26.83	55.84	2.6	
6	4.75" Monel	Schlumberger	401	4.688	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	4.688	1.50	58.34	2.6	
7	12 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	3.500	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	1.850	30.39	86.23	3.9	
8	27 x 3-1/2" 13.30 DPS	H&P	S/N	3.426	2.764	3.500	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.100	363.65	449.88	12.4	
9	23 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	3.500	2.764	3.500	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.75	854.81	1304.69	24.9	
10	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF4775	2.250	2.250	5.000	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.830	697.59	2002.28	41.1	
11	3 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	4.750	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	5.000	1.21	2032.08	42.2	
12	Crossover	H&P	121117040	3.500	2.750	5.000	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.830	4.75	91.26	2123.34	44.4
13	24 x 5" HWDP	H&P	S/N	5.000	2.750	5.000	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.86	3.49	2126.83	44.5	
14	24 x 5" HWDP	H&P	S/N	5.000	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	1.200	6.50	735.94	2862.77	83.1

**Anexo 4.11: BHA Direccional #9 Sección 6 1/8" Palo Azul D 34H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

Field Name	B18_Palo Azul	Borehole Name	Palo Azul 34 Hz	Hole Size (in)	6.125
Structure Name	PAD D	BHA Name	BHA#10_6 1/8" Navigation	Depth In (ft)	11460
Well Name	Palo Azul 34			Depth Out (ft)	12263

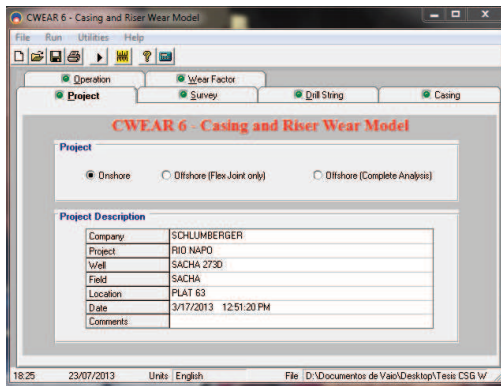
ID	Desc.	Manu.	Serial Number	OD (in)	Max OD (in)	Bot. (in)	Bot Type	Bot Gender	FN OD (in)	Length (ft)	Cum. Length (ft)	Cum. Weight (1000 lbm)	
						Top (in)	Top Type	Top Gender	FN Length (ft)				
1	6 1/8" IDIC Bit MD1616WBPX	Smith	JE0377	3.875	1.250	6.125	3.500	REG	Pin	0.00	0.70	0.70	0.0
2	PD 475 X8 OC 50611/BU 66461 5 7/8" STB	Schlumberger	50611	4.880	3.640	5.875	3.500	REG	Box	4.750	14.64	15.34	0.6
3	PD Receiver - 5 3/8" Slick OC	Schlumberger	50999	4.750	2.250	5.375	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	4.750	1.38	16.72	0.6
4	Periscope 475	Schlumberger	41424	4.750	2.250	5.375	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	4.750	2.37	19.09	1.1
5	Short Pulse	Schlumberger	E5104	4.750	1.430	5.120	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.750	25.01	47.65	2.4
6	ADN-4	Schlumberger	127	4.750	2.250	5.210	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	4.750	1.50	49.15	2.4
7	4.75" Monel	Schlumberger	401	4.688	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.750	1.44	50.59	2.4
8	12 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	3.500	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.850	28.75	76.40	3.6
9	27 x 3-1/2" 13.30 DPS, 10% Wear	H&P	S/N	3.426	2.764	3.500	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.75	25.76	102.18	5.3
10	43 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	3.500	2.764	3.500	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.100	30.39	132.57	6.7
11	Hydraulic Jar	Weatherford	WTF4775	2.250	2.250	5.000	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	4.75	363.65	496.22	15.1
12	3 x 3 1/2" HWDP	H&P	S/N	4.750	2.250	4.750	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Pin	1.100	854.81	1351.03	27.7
13	Crossover	H&P	121117040	3.500	2.750	5.000	3.500	NC38 (3 1/2 IF)	Box	3.50	854.81	1351.03	27.7
14	24 x 5" Heavy Weight Drill Pipe	H&P	S/N	5.000	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Pin	1.830	864.81	1351.03	27.7
				5.000	3.000	6.500	4.500	NC50 (4 1/2 IF)	Box	1.200	735.94	3025.51	100.1

**Anexo 4.12: BHA Direccional #10 Sección 6 1/8" Palo Azul D 34H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

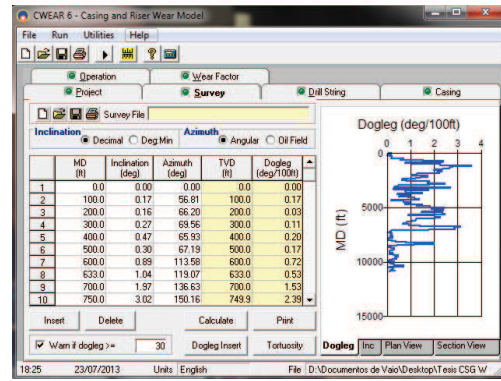
## **ANEXO 5**

### **INFORMACIÓN DE INGRESO EN EL PROGRAMA CWEAR PARA DE LOS POZOS DE ESTUDIO**

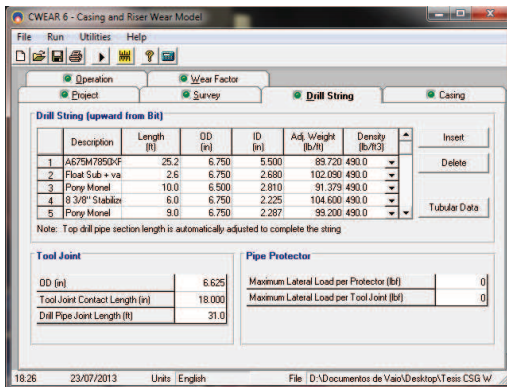




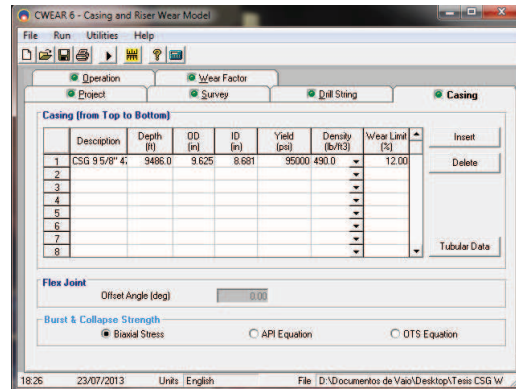
a. Información del Proyecto.



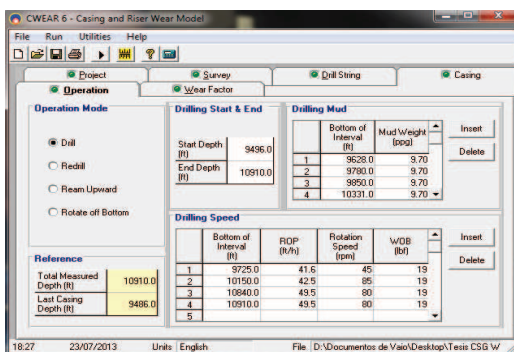
b. Información de la trayectoria.



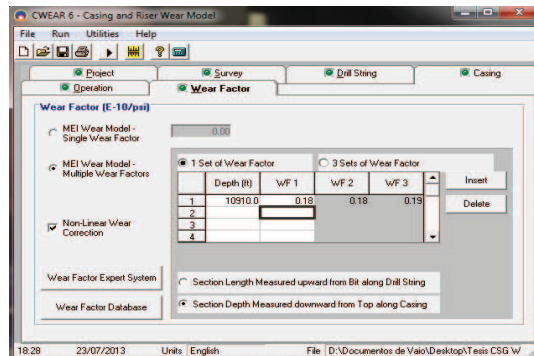
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.

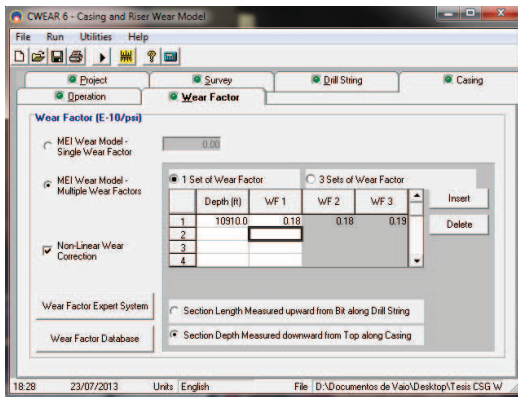


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

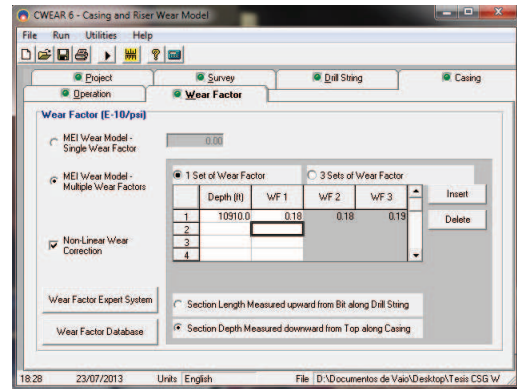


f. Información del factor de desgaste.

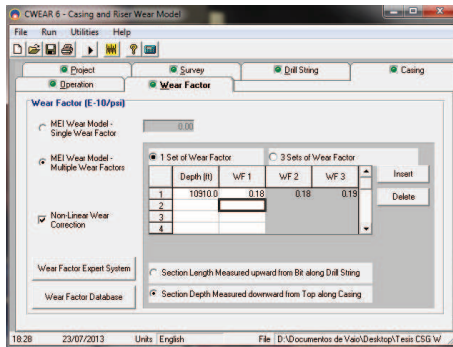
**Anexo 5.1: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 273D**  
Fuente: IPM Schlumberger



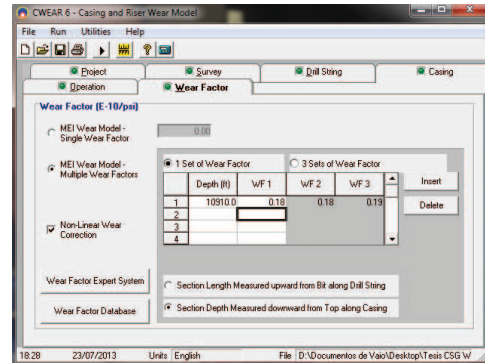
a. Información del Proyecto.



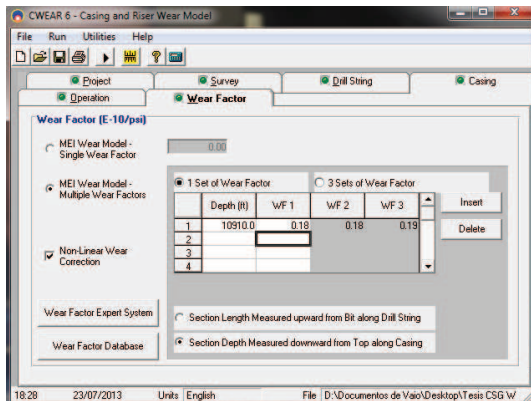
b. Información de la trayectoria.



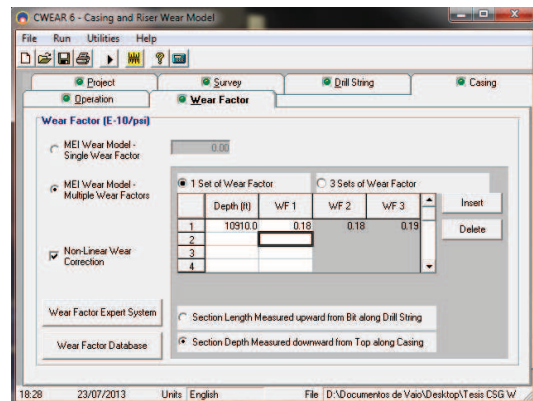
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.

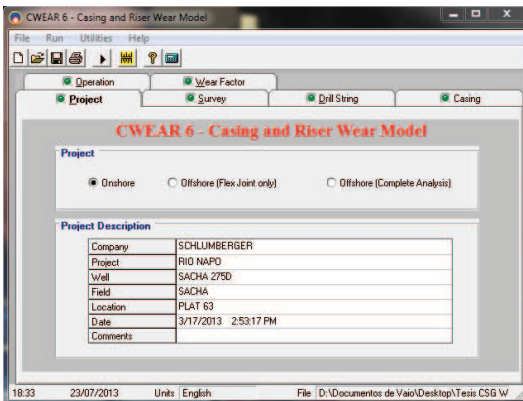


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

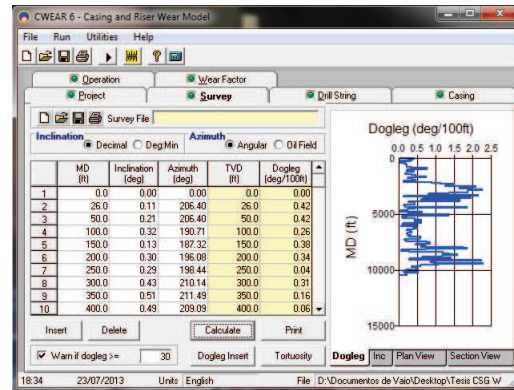


f. Información del factor de desgaste.

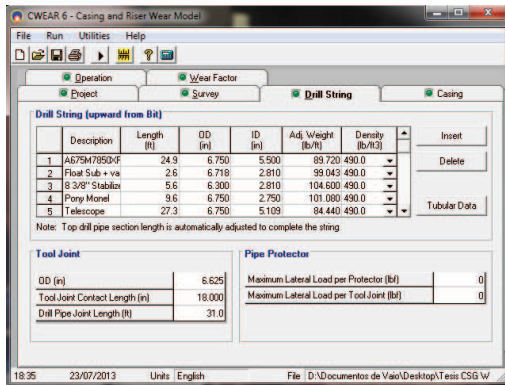
## Anexo 5.2: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 237D Fuente: IPM Schlumberger



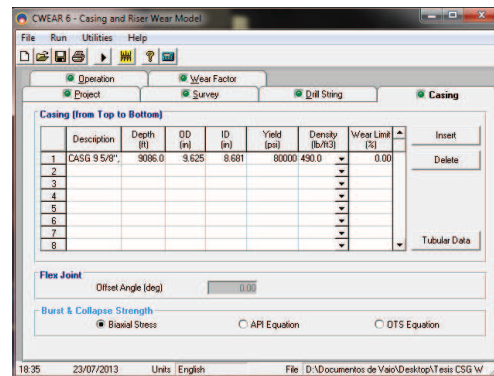
a. Información del Proyecto.



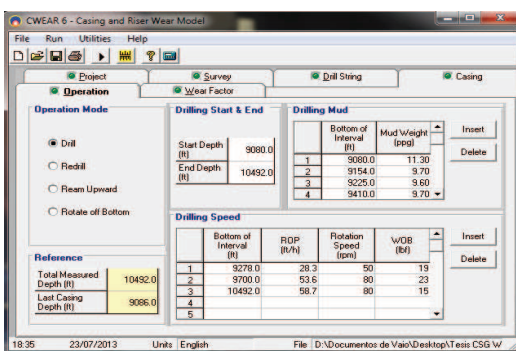
b. Información de la trayectoria.



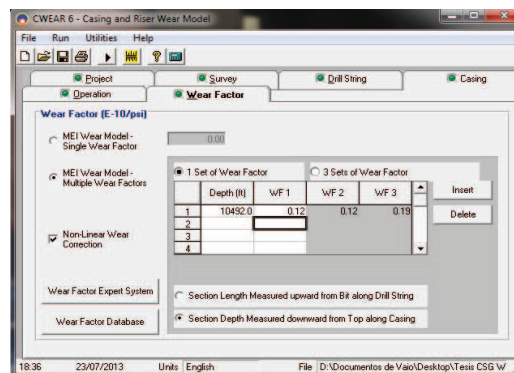
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



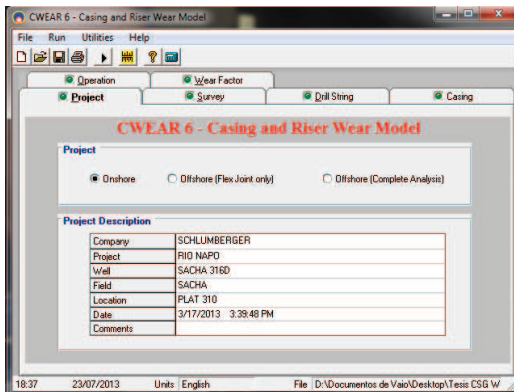
e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



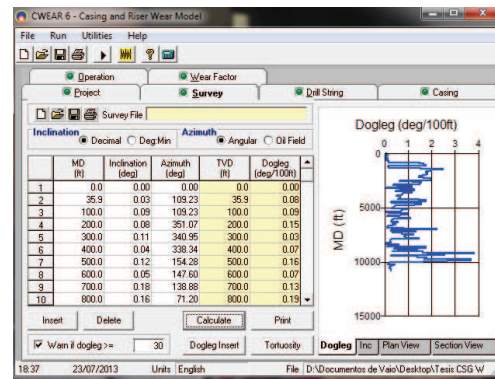
f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.3: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 275D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

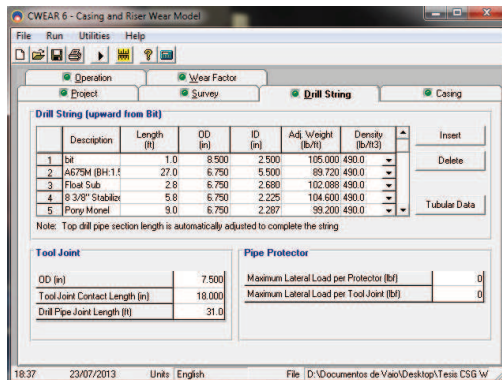




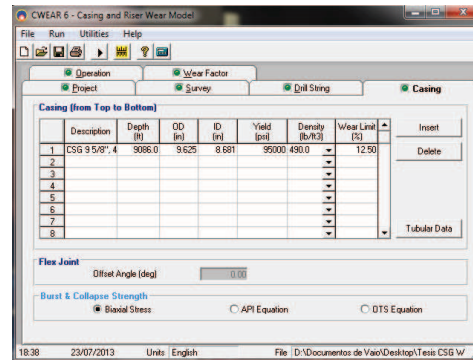
a. Información del Proyecto.



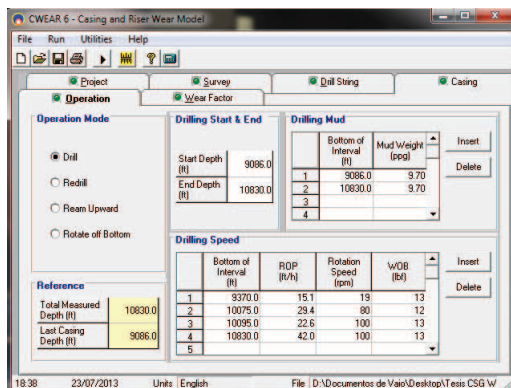
b. Información de la trayectoria.



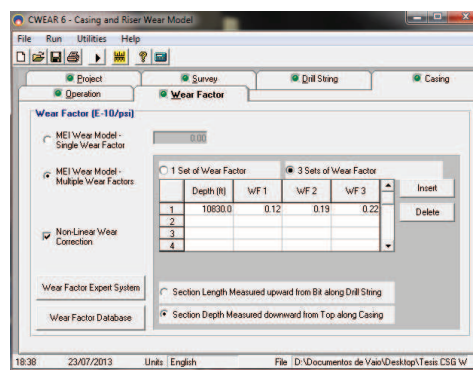
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.

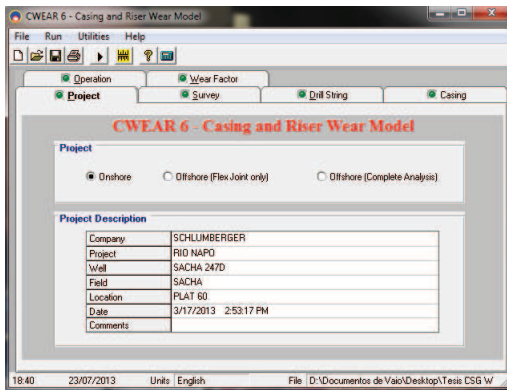


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

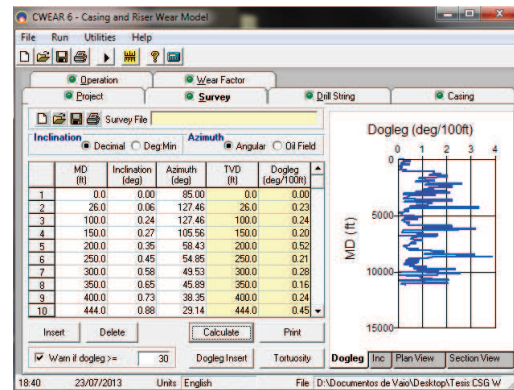


f. Información del factor de desgaste.

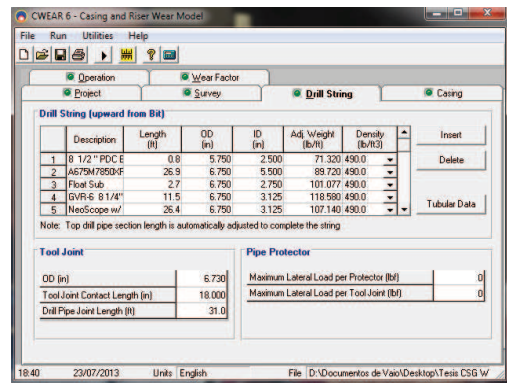
**Anexo 5.4: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 316D**  
 Fuente: IPM Schlumberger



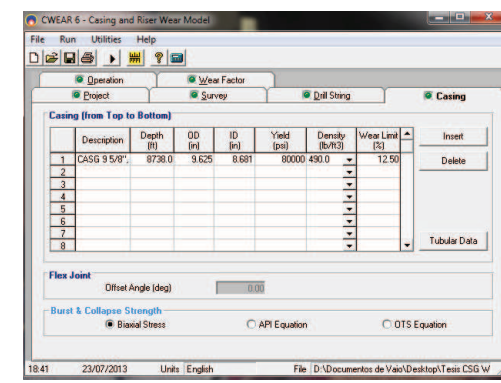
a. Información del Proyecto.



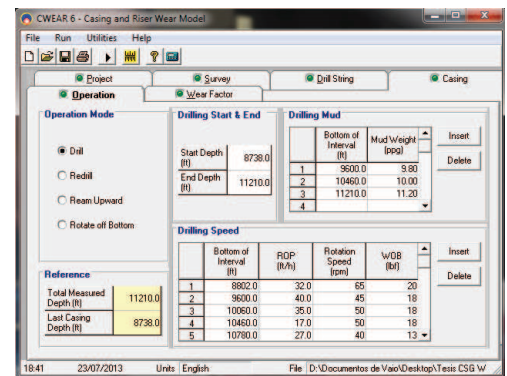
b. Información de la trayectoria.



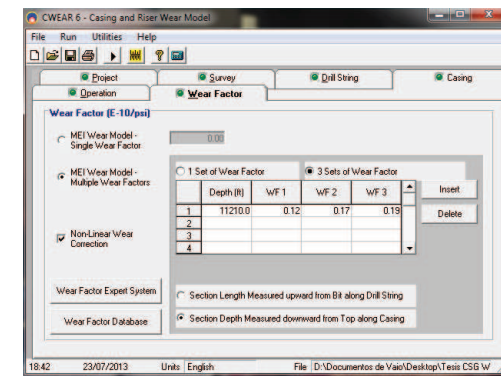
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.

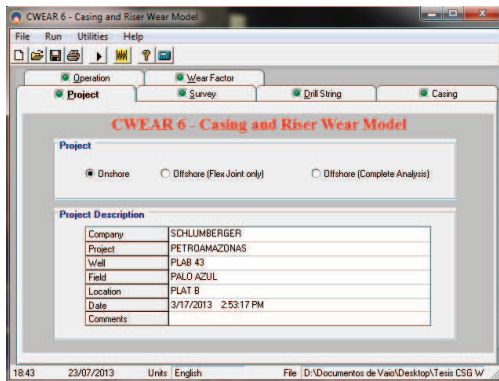


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

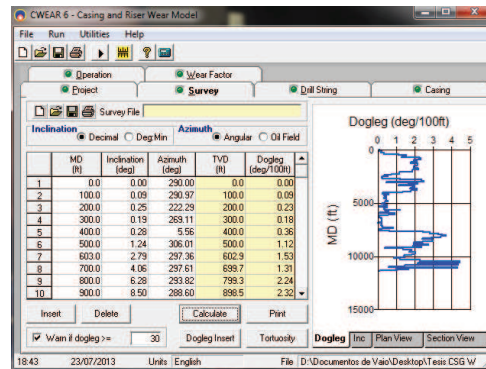


f. Información del factor de desgaste.

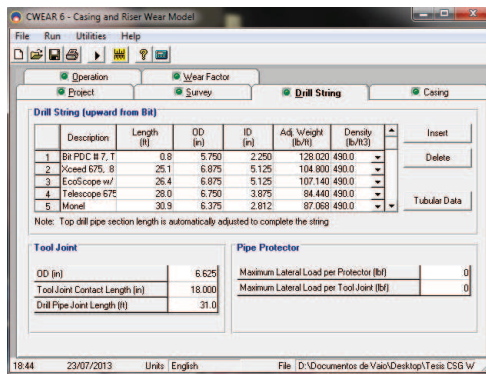
**Anexo 5.5: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 247D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



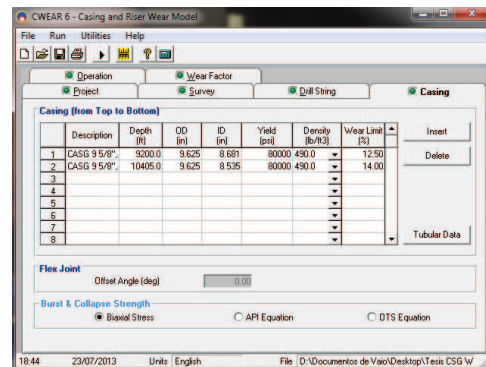
a. Información del Proyecto.



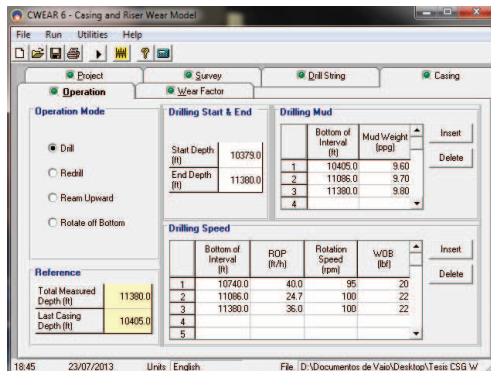
b. Información de la trayectoria.



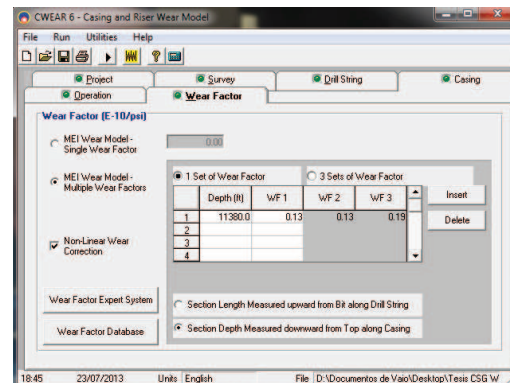
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



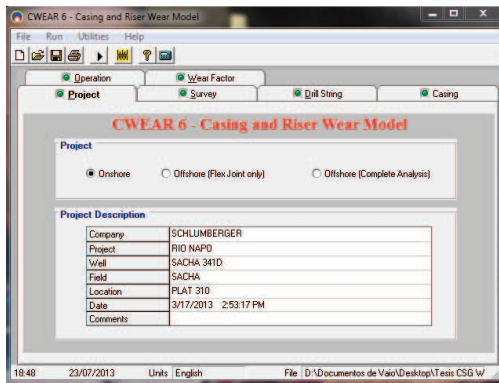
e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



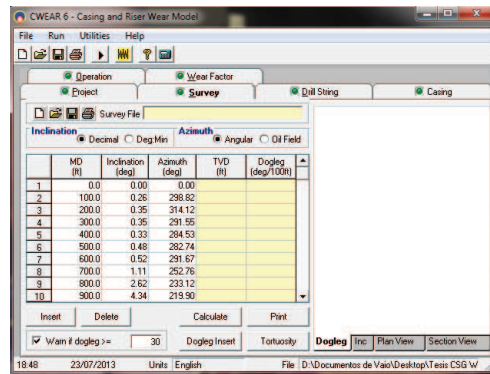
f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.6: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul B 43D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

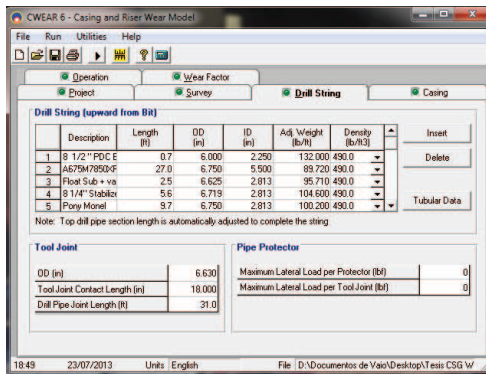




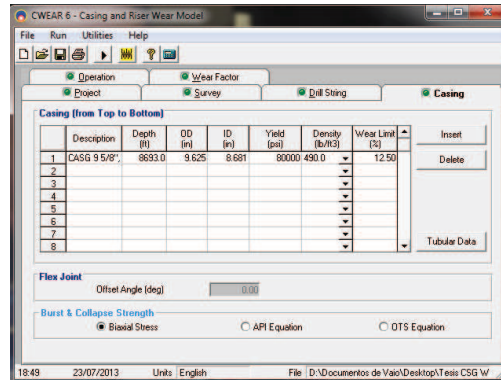
a. Información del Proyecto.



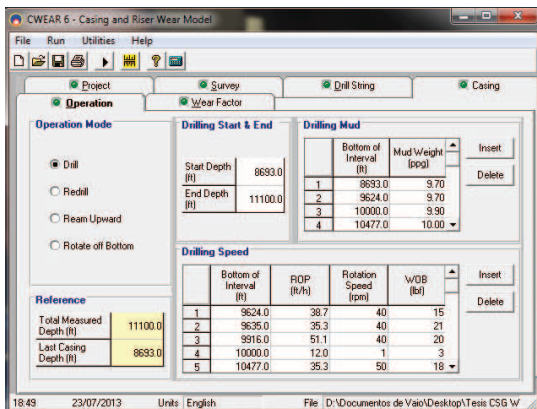
b. Información de la trayectoria.



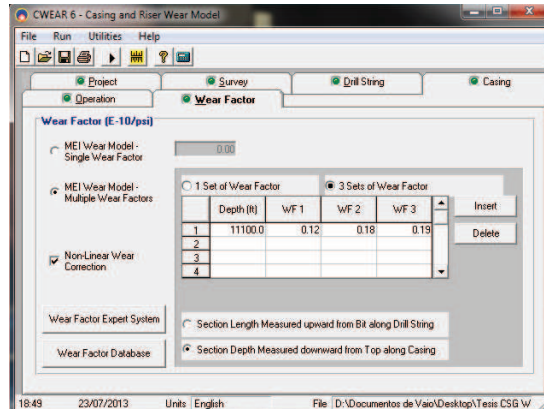
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



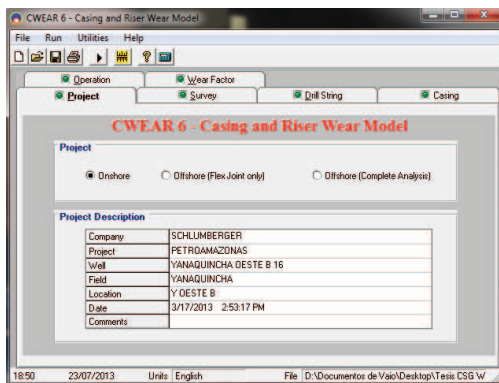
e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



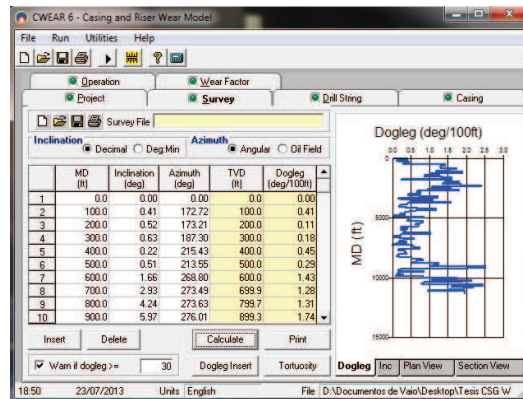
f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.7: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 341D**  
**Fuente: IPM Schlumberger**

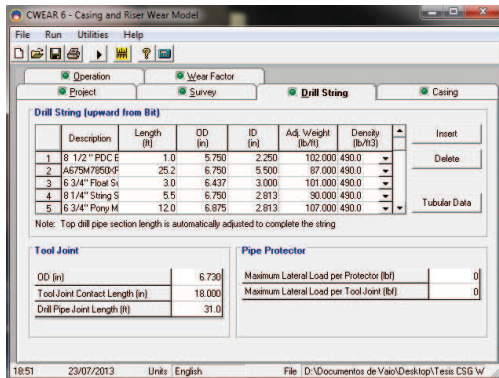




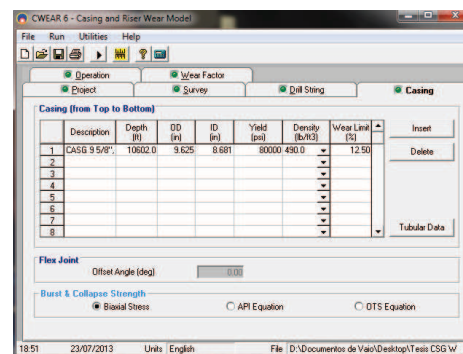
a. Información del Proyecto.



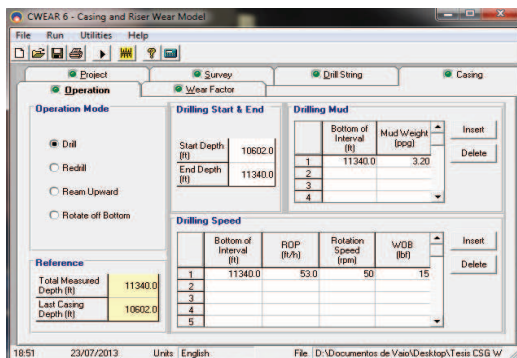
b. Información de la trayectoria.



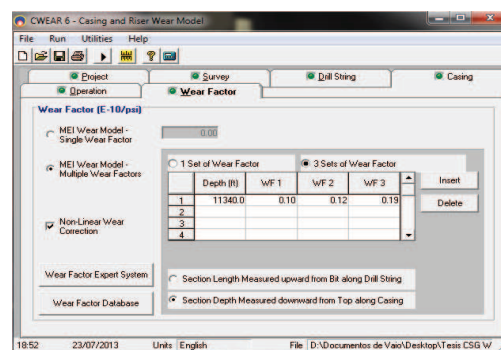
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



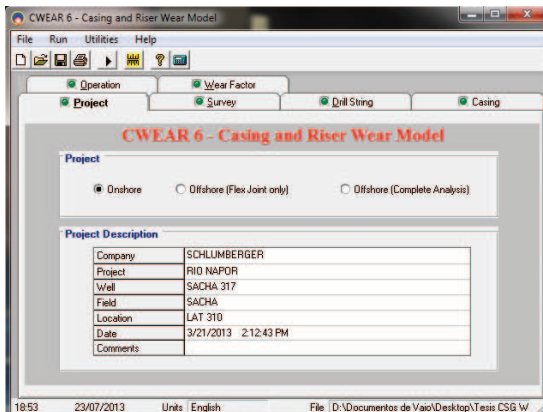
e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



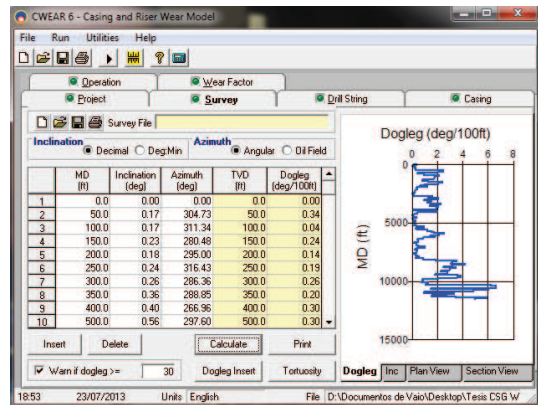
f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.8: Información de Ingreso en programa CWEAR - Yanaquincha Oeste B 16D**

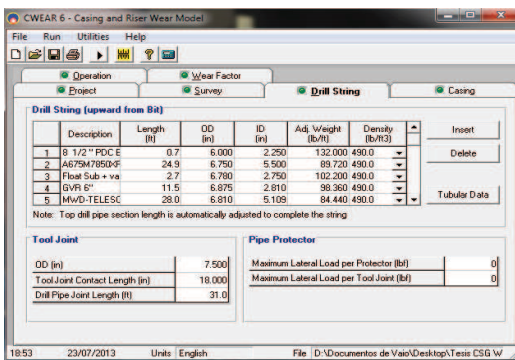
**Fuente: IPM Schlumberger**



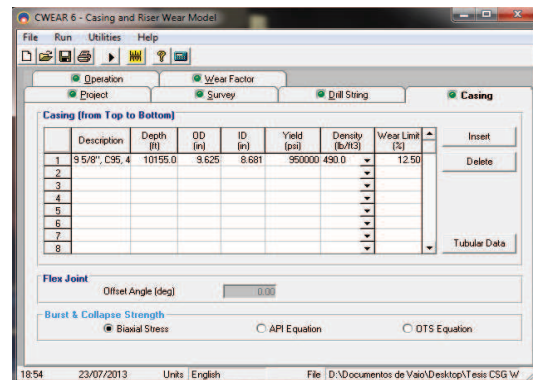
a. Información del Proyecto.



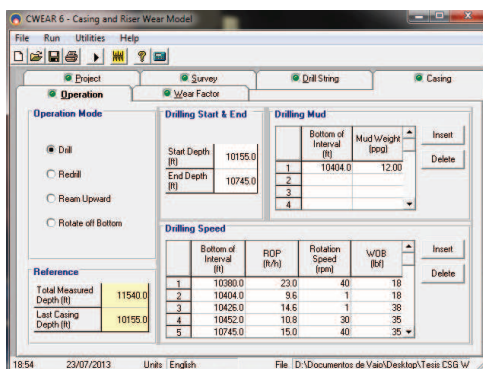
b. Información de la trayectoria.



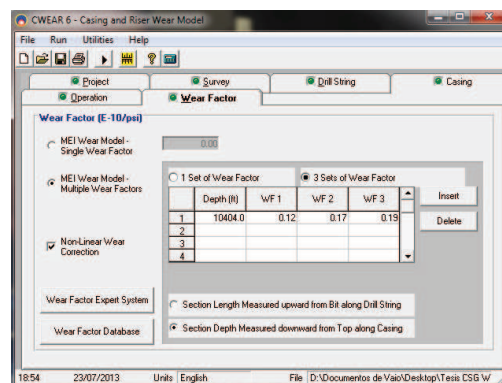
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.

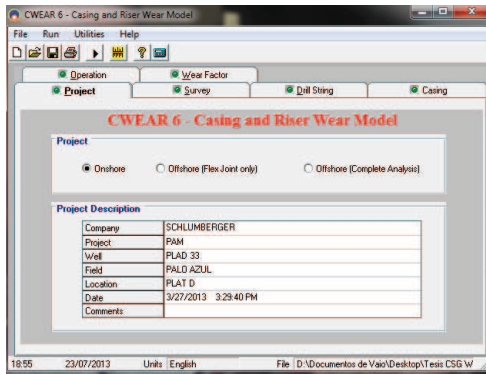


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

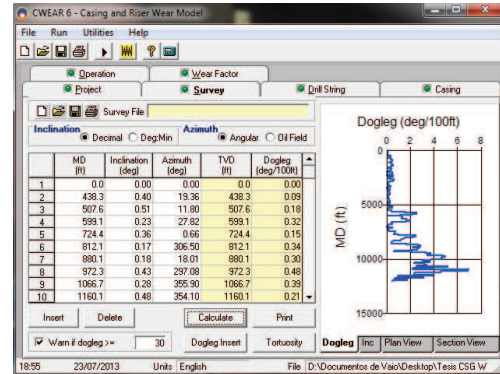


f. Información del factor de desgaste.

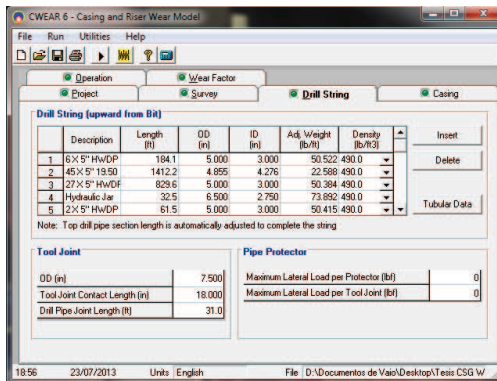
**Anexo 5.9: Información de Ingreso en programa CWEAR - Sacha 317H**  
 Fuente: IPM Schlumberger



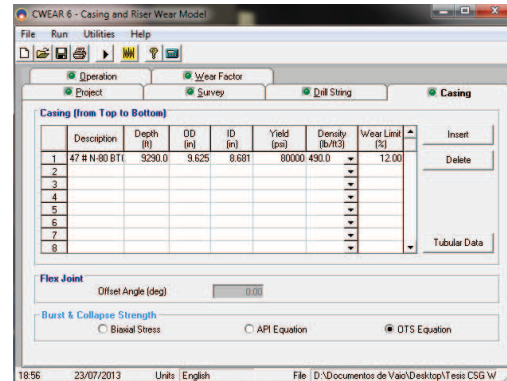
a. Información del Proyecto.



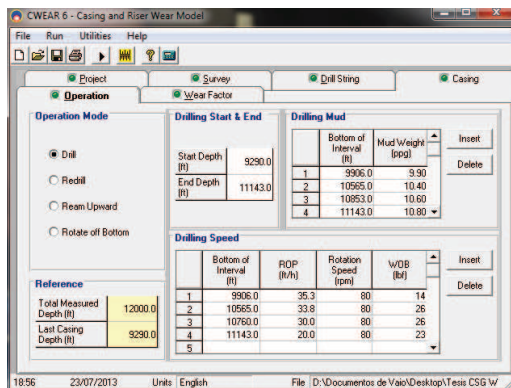
b. Información de la trayectoria.



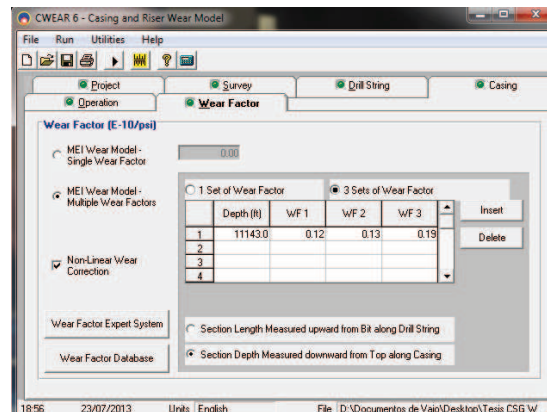
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



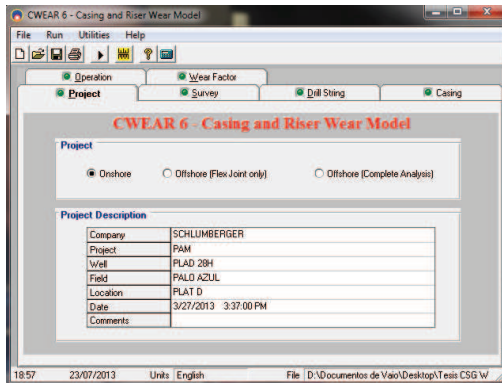
e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



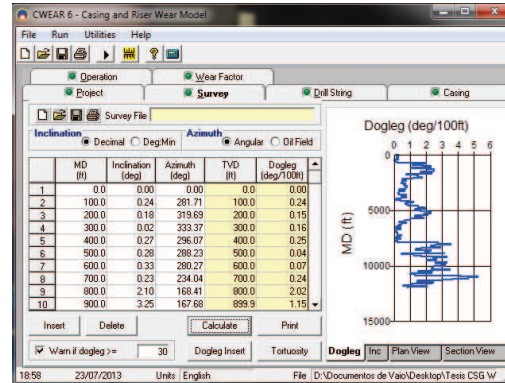
f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.10: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 33H Fuente: IPM Schlumberger**

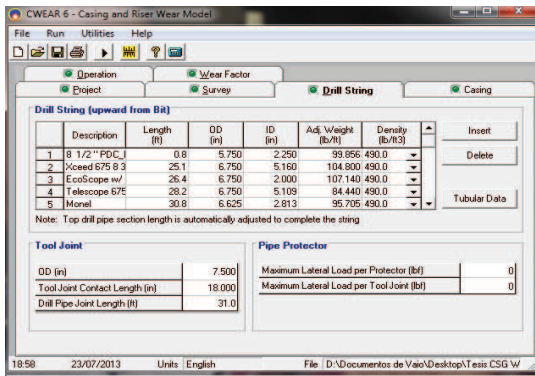




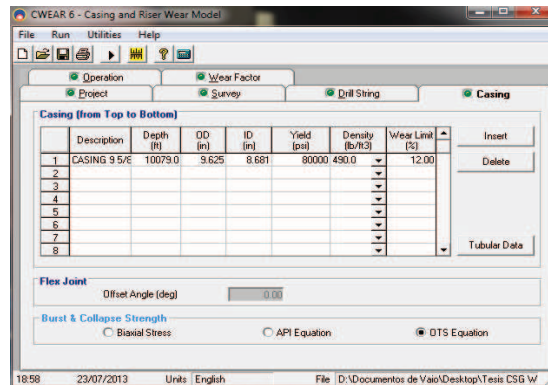
a. Información del Proyecto.



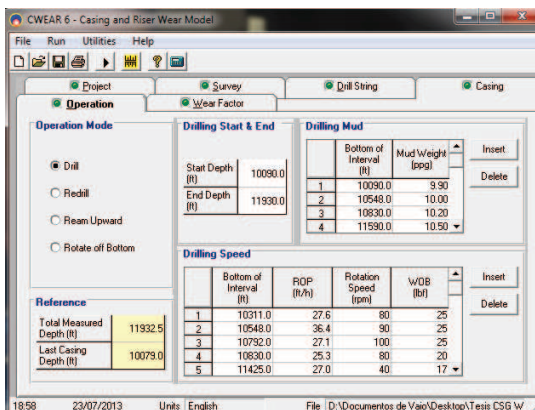
b. Información de la trayectoria.



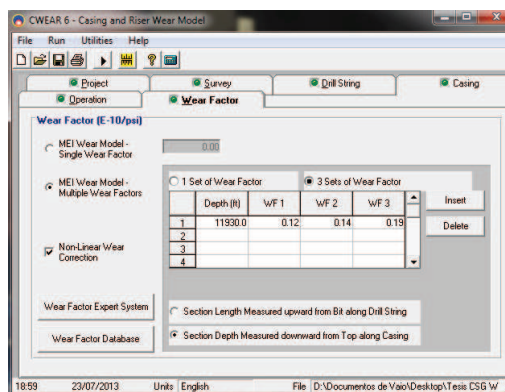
c. Información sobreel DP y BHA.



d. Información del revestidor.

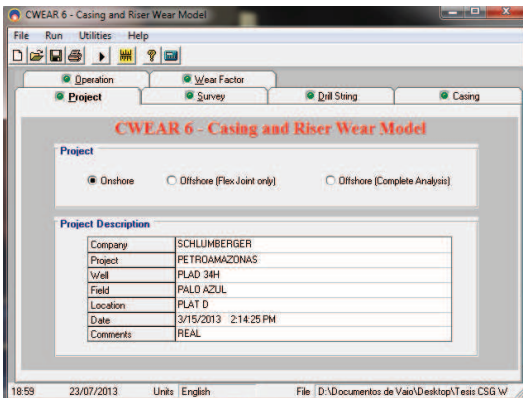


e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"

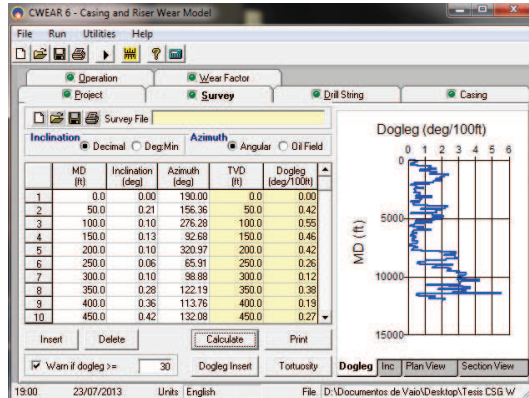


f. Información del factor de desgaste.

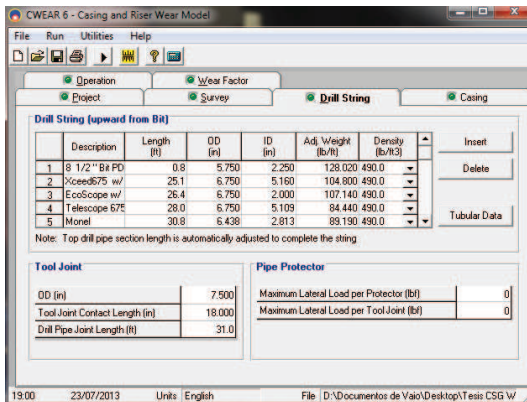
**Anexo 5.11: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 28H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**



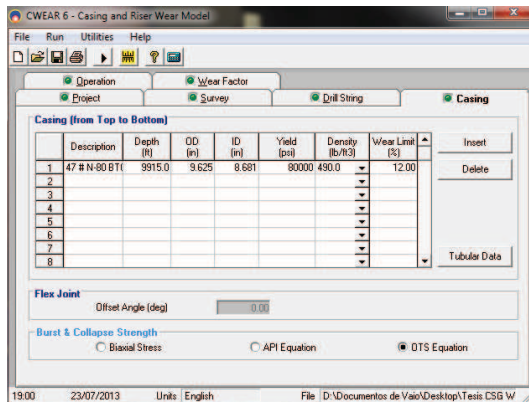
a. Información del Proyecto.



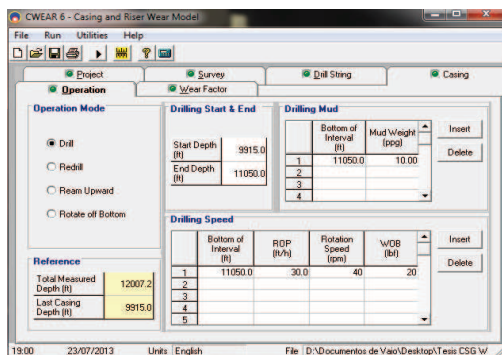
b. Información de la trayectoria.



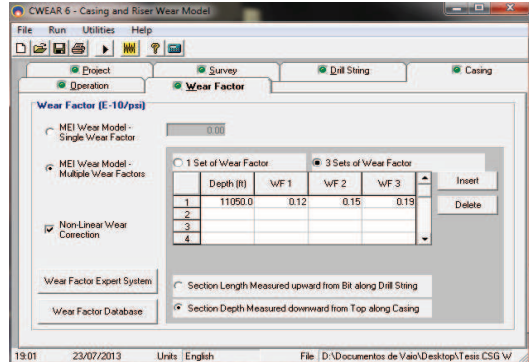
c. Información sobre el DP y BHA.



d. Información del revestidor.



e. Información de la operación de perforación de la sección de 8 1/2"



f. Información del factor de desgaste.

**Anexo 5.12: Información de Ingreso en programa CWEAR - Palo Azul D 34H**  
**Fuente: IPM Schlumberger**