

RE-DISEÑO DEL EQUIPO DE SUPERFICIE DE SLICKLINE DISMINUYENDO EL
TIEMPO EN LA TOMA DE REGISTROS ILT POR POZO EN EL CAMPO LA CIRA
– INFANTAS

DIEGO RICARDO MASMELA WILCHES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C
2017

RE-DISEÑO DEL EQUIPO DE SUPERFICIE DE SLICKLINE DISMINUYENDO EL
TIEMPO EN LA TOMA DE REGISTROS ILT POR POZO EN EL CAMPO LA CIRA
– INFANTAS

DIEGO RICARDO MASMELA WILCHES

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO DE PETROLEOS

Asesor

Juan Carlos Castro

Ingeniero de Petróleos

Director

Adrián Carbonell

Ingeniero de Petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BOGOTÁ D.C

2017

Nota de aceptación:

Bogotá D.C. Mayo 2017

DIRECTIVAS UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano General Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CÉSAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería de Petróleos (E)

Dr. EDGAR DAVID CEDEÑO LIGARRETO

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios en primera instancia, por acompañarme y guiarme en el buen camino del estudio, la dedicación, el conocimiento y crecimiento como persona.

A mi familia por acompañarme y apoyarme en este camino de la educación superior ya que se lo importante que este es para mi vida y mi futuro profesional, al ingeniero Juan Carlos Castro por su dedicación y tiempo, por ayudarme a elaborar un trabajo con una excelente calidad, y poderme brindar todo su conocimiento profesional para lograr el objetivo de graduarme.

Agradezco de igual manera a la empresa A.I.P (asesoría de ingeniería de petróleos S.A.S) por permitirme realizar mi trabajo de grado con el material intelectual y humano del ingeniero Adrián Carbonell, que siempre estuvo pendiente de mí y con la mejor disposición a ayudarme en cualquier inquietud.

A todos ellos y a los compañeros de estudio, muchas gracias por haberme acompañado en el largo camino del aprendizaje y en la realización de este proyecto de grado.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado a Dios por su gran misericordia, por guiarme a lo largo de mi camino académico, por llenarme de fortaleza suficiente para cumplir todos mis sueños, de igual manera a mi familia, por su amor, apoyo constante y por su incondicionalidad, por irradiar en mi esa fortaleza que solo tienen los grandes luchadores de la vida.

A mi tía por confiar en mi desde el primer hasta el último momento, por su gran ejemplo y por darme siempre el aliento necesario en los momentos difíciles, por reglarme siempre su cariño, su apoyo y su complicidad, porque sé que cuento con ella incondicionalmente.

A mis hermanos por ser fuente de motivación para alcanzar mis metas, por aconsejarme y guiarme por el buen camino, por brindarme esa voz de aliento que en algunos momentos hace falta, porque siempre estuvieron pendientes de mis pasos por la universidad y por la vida.

A todos mis amigos que a lo largo de la vida han llegado para brindarme apoyo, consejos y amistad incondicional, por siempre acompañarme a lo largo de mi vida académica.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	26
OBJETIVOS	27
1. INFORMACIÓN GENERAL DEL CAMPO LA CIRA – INFANTAS	28
1.1 HISTORIA DEL CAMPO	28
1.2 LOCALIZACIÓN	29
1.3 MARCO GEOLÓGICO	31
1.3.1 Columna estratigráfica.	31
1.3.2 Estratigrafía.	31
1.3.3 Geología estructural.	36
1.4 HISTORIA DE LA PRODUCCION DEL CAMPO	38
1.5 PROSPECTIVA DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS	39
2. SISTEMA DE SLICKLINE UTILIZADO ACTUALMENTE EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS	41
2.1 OPERACIONES DE UNA UNIDAD SLICKLINE AIP	41
2.2 EQUIPO DE SUPERFICIE UTILIZADO ACTUALMENTE	41
2.3 UNIDAD DE POTENCIA	42
2.4 SISTEMA HIDRAULICO	42
2.4.1 Tanque hidráulico.	43
2.4.2 Bomba hidráulica.	44
2.4.3 Motor hidráulico.	45
2.4.4 Carrete.	45
2.5 SISTEMA DE CONTROL DE PRESION (SCP)	46
2.5.1 Stuffing box.	46
2.5.2 Polea.	47
2.5.3 Lubricador.	48
2.5.4 Preventora de reventones (B.O.P).	49

2.5.5Hay pulley.	51
2.6 INDICADOR DE PESO	51
2.7 ODÓMETRO	52
2.8 WIRELINE CLAMP	53
3. PARTES Y PIEZAS DEL SISTEMA SLICKLINE CONVENCIONAL Y PRUPUESTA DE INVESTIGACION	54
3.1 HISTORIA	54
3.2 OPERACIONES CON CABLE DE ACERO NO CONDUCTOR SLICKLINE	55
3.3 APLICACIONES DEL SLICKLINE	56
3.4 EQUIPO DE SUPERFICIE	56
3.5 UNIDAD DE POTENCIA	57
3.6 SISTEMA HIDRAULICO	57
3.6.1Tanque hidráulico.	57
3.6.2Bomba hidráulica.	58
3.6.3Motor hidráulico.	58
3.6.4Válvula remota.	58
3.6.5Válvula de cuatro vías.	58
3.6.6Carrete.	58
3.7 SISTEMA DE CONTROL DE PRESION (SCP)	59
3.7.1Stuffing box.	59
3.7.2Polea.	60
3.7.3Lubricadores.	61
3.7.4Preventora de reventones (B.O.P).	62
3.7.5Tree conection o botella.	63
3.7.6Hay pulley.	64
3.8 INDICADOR DE PESO	65
3.8.1Pulmón.	66
3.8.2Manguera.	66
3.8.3Dial o manómetro.	67
3.9 ODÓMETRO	67
3.10WIRELINE CLAMP O RANA	68

3.11 PROPUESTA PARA LA INVESTIGACION	68
4. ALTERNATIVA DE DISEÑO A LA UNIDAD DE SLICKLINE CONVENCIONAL	72
4.1 CAMION	72
4.1.1 Cabina.	74
4.1.2 Plataforma.	78
4.2 MÁSTIL	79
4.3 ARRASTRE	84
4.4 SISTEMA HIDRÁULICO	85
4.5 MATRIZ UNIDAD TSS-003	89
5. RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 EN EL CAMPO LA CIRA- INFANTAS	96
5.1 AREA DE ESTUDIO	96
5.2 FORMULA DE VARIACIÓN PORCENTUAL	98
5.3 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL TIEMPO	99
5.3.1 Tiempo de instalación de la unidad.	99
5.3.2 Tiempo de toma de registros de inyección.	100
5.3.3 Tiempo de desmonte de la unidad.	101
5.3.4 Rendimiento de la unidad TSS003 contra la unidad de slickline convencional según el tiempo.	102
5.4 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL PESO	104
5.5 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL TAMAÑO	105
5.6 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL COSTO	106
6. ANÁLISIS FINANCIERO	109
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSION (CAPEX)	109
6.1.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional.	110
6.1.2 Escenario 2 unidad TSS003.	110
6.2 ANALISIS COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)	110
6.2.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional.	111
6.2.2 Escenario 2 unidad TSS003.	112

6.3 ANÁLISIS DE INGRESOS	114
6.3.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional.	114
6.3.2 Escenario 2 unidad TSS003.	115
6.4 EVALUACIÓN FINANCIERA	115
6.4.1 Valor presente neto (VPN).	116
6.4.2 Flujo de efectivo	117
7. CONCLUSIONES	120
8. RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFIA	125

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca del Valle del Magdalena Medio y Campo La Cira-Infantas.	30
Figura 2. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Valle Medio del Magdalena en donde se encuentra el Campo La Cira-Infantas	32
Figura 3. Sección transversal esquemática de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.	37
Figura 5. Diagrama de sistema hidráulico	43
Figura 6. Bomba hidráulica	45
Figura 8. Unidad de potencia operaciones de slickline.	57
Figura 9. Esquema sistema hidráulico y carrete.	59
Figura 10. Esquema Stuffing Box.	60
Figura 11. Esquema de la polea.	61
Figura 12. Esquema del lubricador.	62
Figura 13. Esquema BOP.	63
Figura 14. Esquema diferentes tipos de botellas.	64
Figura 15. Esquema Hay Pulley.	65
Figura 16. Esquema Indicador de Peso.	66
Figura 17. Esquema odómetro.	67
Figura 18. Esquema Wireline Clamp.	68
Figura 19. Esquema del nuevo diseño de la unidad TSS003.	69
Figura 20. Camión DuraStar 4300.	73
Figura 21. Base de Mástil Unidad TSS003.	79
Figura 22. Mástil trapezoidal de la unidad TSS003.	80
Figura 23. Soporte y mástil trapezoidal de la unidad TSS003.	80
Figura 24. Boom del mástil de la unidad TSS003.	81
Figura 25. Esquema del Alcance del Mástil.	83
Figura 26. Esquema de engranajes y cadenas entre el carrete y el reductor mecánico.	88
Figura 27. Comparación de áreas antiguas y nuevas	97
Figura 28. Localización de los pozos	98
Figura 29. Flujo de efectivo unidad de slickline convencional	117
Figura 30. Flujo de caja neto unidad slickline convencional	118
Figura 31. Flujo de efectivo unidad TSS003	118
Figura 32. Flujo de caja neto unidad TSS033	119

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Variación porcentual	99
Ecuación 2. Valor Presente Neto	116
Ecuación 3. Ecuación de tasa compuesta	117

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Grafica 1. Historial de producción de petróleo.	40
Grafica 2. Carga máxima admisible	83

LISTA DE FOTOS

	pág.
Foto 1. Unidad de potencia	42
Foto 2. Carrete Slickline	46
Foto 3. Stuffing Box AIP S.A.S.	47
Foto 4. Polea AIP	48
Foto 5. Lubricador AIP	49
Foto 6. Válvula BOP AIP	50
Foto 7. Hay Pulley AIP	51
Foto 8. Indicador de peso AIP	52
Foto 9. Odómetro	53
Foto 10. Wireline Clamp.	53
Foto 11. Cabina camión DuraStar 4300.	75
Foto 12. Palancas sensibles de la consola de mando en el interior de la cabina.	77
Foto 13. Consola de mando en el interior de la cabina.	77
Foto 14. Plataforma de la unidad TSS003.	78
Foto 15. Polea unida al Boom del mástil de la unidad TSS003.	81
Foto 16. Corona con juego de poleas.	82
Foto 17. Carrete Doble.	84
Foto 18. PTO de la unidad TSS003.	85
Foto 19. Diferentes brazos hidráulicos.	87
Foto 20. Motor hidráulico SAUER-DANFOSS.	88
Foto 21. Consola de operación del mástil.	89

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Flujos BOP AIP	50
Tabla 2. Clasificación de slickline en base a la presión.	56
Tabla 3. Selección diámetro de la Hay Pulley.	64
Tabla 4. Dimensiones del camión DuraStar 4300.	73
Tabla 5. Configuraciones en ángulo del mástil.	82
Tabla 6. Tipos y funciones de los brazos hidráulicos.	86
Tabla 7. Matriz TSS-003	89
Tabla 8. Comparación unidad TSS-003 vs Unidad convencional	95
Tabla 9. Tiempos de Instalación de cada Unidad en Diferente Pozo	100
Tabla 10. Tiempo de toma de registros	101
Tabla 11. Tiempos de desmonte de las unidades	102
Tabla 12. Tiempos de mantenimiento	103
Tabla 13. Tiempos de unidad slickline convencional	103
Tabla 14. Tiempos de unidad TSS003	103
Tabla 15. Pesos de herramientas	105
Tabla 16. Dimensiones de las unidades.	105
Tabla 17. Costos de alquiler y compra de unidades de slickline convencional	107
Tabla 18. Costos de la unidad TSS003	108
Tabla 19. Costo de Inversión (CAPEX)	110
Tabla 20. Costo de Inversión	110
Tabla 21. Costo estimado por servicio para la unidad convencional de slickline.	111
Tabla 22. Costos de operación unidad de slickline convencional.	112
Tabla 23. Costo estimado por servicio para la Unidad TSS003	113
Tabla 24. Costo de operación unidad TSS003	114
Tabla 25. Valor estimado por servicio prestado a Occidental Andina	114
Tabla 26. Ingresos totales unidad slickline convencional	115
Tabla 27. Ingresos totales unidad TSS003	115

ABREVIATURAS

AIP: asesoría en Ingeniería de Petróleos (Empresa prestadora de servicios).

ANH: agencia Nacional de Hidrocarburos.

BOEPD: barril de petróleo equivalente por día (Barrels of oil equivalent per day).

B.O.P: preventor de reventones (blow-out preventer).

BOPD: barril de petróleo por día (Barrels of oil per day)

BWPD: barril de agua por día (Barrels of water per day).

cc/rev: centímetros cúbicos por revoluciones.

ft: pies (*feet*).

gal: galones.

Hp: caballos de fuerza (Horse Power).

ILT: injection Login Test

in: pulgadas (Inches).

kg: kilogramos.

km: kilómetros.

Lb: libras.

lt: litros.

m: metros.

MBbls: miles de barriles.

min: minutos.

Mm: milímetros.

MMBbls: millones de barriles

MMscf: millones de pies cúbicos estándar (Million standard cubic feet)

OOIP: petróleo original Insitu (Original Oil in Place)

OXY: Occidental Petroleum Corporation (Empresa operadora)

psi: libra-fuerza por pulgada cuadrada (*pounds-force per square inch*)

rpm: revoluciones por minuto

SCP: sistema de control de presión

SP: potencial Espontaneo (Spontaneous Potential)

V: voltios

VDC voltios en corriente directa (Volt direct current)

VPN: valor presente neto

W: watts o vatios

°: grados

°F: grados Fahrenheit

GLOSARIO

AMBIENTE CONTINENTAL: sitio geográfico donde se depositan sedimentos asociados a las corrientes, donde además predomina la erosión. Estos pueden ser de tipo fluvial, glaciario, eólico y lacustre.

AMBIENTE MARINO: lugar geográfico donde se da la acumulación de sedimentos que provienen principalmente de los ambientes de transición, ya sea por re-movilización o por erosión. Pueden ser de tipo talud, plataforma, y abismal.

ANTICLINAL: pliegue en forma de arco, producido en las rocas, en el que las capas de roca son convexas hacia arriba. Las capas de roca de edades más antiguas forman el núcleo del pliegue, y, a partir del núcleo, se encuentran rocas más recientes.

ÁRBOL DE NAVIDAD: llamado también cabezal de pozo, es el sistema de bridas dobles, válvulas y adaptadores diversos que proporcionan el control de la presión de un pozo de producción.

ARCILLA: partícula mineral de origen clástico con granos cuyo tamaño es menor a 0.0039 mm.

ARCILLOLITA: roca sedimentaria compacta compuesta por minerales de silicato, sin fisilidad y formada por partículas del tamaño de la arcilla, cuyo diámetro es menor a 0.0039 mm.

ARENISCA: roca sedimentaria, compuesta de granos minerales de tamaño arena, cuyo diámetro de grano es de 0.0625 a 2 mm, posee textura detrítica. Puede estar compuesta por Cuarzo, Feldespato o fragmentos líticos, material cementante que mantiene los granos unidos.

CALIPERS: es una herramienta que registra el diámetro de un pozo a lo largo de su profundidad, es un dispositivo mecánico que está en contacto con las paredes del pozo, son importantes para conocer la integridad del pozo estudiado después de su perforación, determina de igual manera el volumen del mismo para planeaciones en operaciones de cementación.

CALIZA: roca sedimentaria carbonatada de origen orgánico, químico o detrítico, compuesta predominantemente de calcita.

CAMISAS DE CIRCULACIÓN: es un dispositivo de terminación de pozos que puede ser operado para proporcionar un trayecto de flujo entre el conducto de producción y el espacio anular, están previstas de un sistema de orificios que

pueden abrirse o cerrarse con un componente deslizante que es controlado y operado generalmente con una sarta de herramientas operadas con línea de acero.

CAMPO: acumulación o grupo de acumulaciones de petróleo en el subsuelo. Está formado por un yacimiento que posee una forma ideal para el entrapamiento de hidrocarburos, que se encuentra cubierto por una roca impermeable o un sello.

CHERT: roca sedimentaria rica en sílice de grano fino microcristalina, criptocristalina o microfibrosa que pueden contener pequeños fósiles.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA: representación utilizada en geología y demás subcampos de estratigrafía la cual permite describir la ubicación vertical de unidades de roca en un área específica.

CONTACTO CONCORDANTE: secuencia formada generalmente en forma paralela, donde la unidad superior es depositada de forma casi continua, sin interrupción sobre la unidad inferior.

CONTACTO DISCORDANTE: secuencia que presenta interrupción en la depositación y existe un hiato (tiempo geológico durante el cual no hay sedimentos o estratos) entre las dos unidades en contacto.

CRETÁCEO: tercer y último periodo de la era Mesozoica, que se extiende desde 135 millones de años hasta 65 millones de años

DATUM: conjunto de puntos o datos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas, modelos de referencia.

DELTAICO: relativo a un área de depositación o el deposito formado por un flujo de corriente cargada con sedimentos a medida que ingresa en un cuerpo de agua libre o estancada, tal como un río que vierte sus aguas en un golfo.

DEPOSITACIÓN: proceso geológico por el cual un material se agrega a un accidente geográfico o masa de tierra.

DESPRESURIZADO: es el verbo en pasado que indica la acción de disminuir la presión atmosférica en un sistema, recipiente o habitación entre otras.

DRYWALL: el sistema consiste en formar una estructura en perfiles de acero galvanizado que va fijada a las placas o muros de concreto de las edificaciones y sobre la cual se atornillan placas de yeso o fibrocemento.

ECOPETROL: primera empresa colombiana de petróleos, de economía mixta y carácter comercial posicionada como la segunda más grande de Latinoamérica.

EOCENO: segunda época del periodo Paleógeno, que inicia hace 53 millones de años hasta 33,7 millones de años.

ESPESOR: distancia perpendicular de un estrato comprendido entre su base y el tope.

ESTRATIGRAFÍA: rama de la geología que estudia la historia, la composición, las edades relativas, distribución de los estratos, y la interpretación de los mismos, en relación con el espacio y su sucesión en el tiempo.

ESTRATO: grosor de roca de yacimiento acotada por arriba y por debajo por otro estrato en comunicación hidráulica vertical.

EVAPORITAS: rocas sedimentarias que se forman por cristalización de sales disueltas en lagos y mares costeros.

FACIES: características generales de una unidad de roca, las cuales reflejan el origen de la misma y las diferencias respecto a otras unidades adyacentes.

FALLA: superficie laminar existente en una roca a lo largo de la cual existe un desplazamiento observable.

FLUVIAL: se refiere a todo aquello que tenga relación con los ríos o cuerpos de agua.

FORMACIÓN: es la unidad fundamental de la litoestratigrafía. Es un cuerpo de roca suficientemente continuo y característico que permite ser mapeado. En términos de estratigrafía, una formación es un cuerpo de estratos de un tipo predominante o una combinación de diversos tipos.

GASTERÓPODOS: moluscos con cuerpo asimétrico, protegido casi siempre por concha dorsal que presenta una torsión espiral característica que hace que la masa visceral se enrolle sobre sí misma.

GAS LIFT: es un tipo de levantamiento artificial el cual básicamente proporciona un volumen adicional de gas a los fluidos de pozo para disminuir la densidad de la mezcla bifásica, y de este modo reducir las pérdidas de presión en la tubería de producción.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL: rama de la geología que estudia la corteza terrestre, estructuras y la relación de las rocas que las forman.

GRUPO: unidad litoestratigráfica formal de rango inmediatamente superior al de una formación, conformada principalmente por una sucesión de dos o más formaciones asociadas contiguas.

INFRAYACENTE: estrato que se encuentra ubicado por debajo de otro, en contacto permanente con este.

LUTITA: roca sedimentaria detrítica, de granos finos, su tamaño es menor a 0.0039 mm. Está formada por las consolidaciones de arcilla y limo en capas relativamente impermeables de poco espesor.

MARGA: tipo de roca sedimentare compuesta principalmente de calcita y arcillas, con predominio por lo general, de la calcita, lo que confiere un color blanquecino.

MEANDRO: es cada una de las curvas que presentan algunas corrientes fluviales a lo largo de su recorrido.

MIOCENO: primera época del periodo Neógeno, abarca desde 23,5 millones de años hasta hace 5,3 millones de años

NERÍTICAS: describe el ambiente y las condiciones de la zona marina existente entre la marea baja y el borde de la plataforma continental, una profundidad de aproximadamente 256 ft. Dichos ambientes sustentan la presencia de organismos marinos, que sobreviven en aguas someras con un grado moderado de exposición de luz solar.

PARAFINAS: un compuesto de hidrocarburo que a menudo precipita en los componentes de producción como resultado de temperaturas y presiones producidos en el sistema de producción, las parafinas pesadas se encuentran presentes como una sustancia cerosa que puede acumularse en los componentes de la terminación del pozo.

PERMEABILIDAD: capacidad, o medición de la misma de una roca, para transmitir fluidos, medida determinada en darcies o milidarcies.

PLIEGUE: inflexiones considerables, que forman capas sedimentarias al ser modificadas en su posición natural por agentes orogénicos.

PIRITA: mineral constituido de sulfuro de hierro, de brillo metálico y color amarillo, que constituye una de las principales menas del hierro y se emplea en la fabricación de ácido sulfúrico.

POROSIDAD: volumen de roca o porcentaje de espacio poroso que puede contener fluidos.

POZO: perforación vertical la cual se realiza hasta una profundidad suficiente para alcanzar un objetivo determinado, ya sea reservas de agua subterránea o hidrocarburos como el petróleo.

POZO INYECTOR: es un pozo en el que los fluidos se inyectan en vez de producirse, siendo el objetivo principal mantener la presión de yacimiento, existen dos principales tipos de inyección; gas y agua.

ROCA ALMACENADORA: roca cuyas características principales (porosidad y permeabilidad) permiten almacenar y transmitir fluidos tales como agua, petróleo o gas.

SARTA DE HERRAMIENTAS: es el hardware de fondo de pozo necesario para generar un registro, en donde se han incorporado los sensores y componentes electrónicos necesarios para la adquisición de registros, posee diferentes tipos de configuraciones según la necesidad de información que se desee adquirir del pozo a trabajar.

SEDIMENTO: granos no consolidados de minerales, materia orgánica o rocas preexistentes, que pueden ser transportados por el agua, el hielo o el viento, para posteriormente ser depositados.

SHALE: roca sedimentaria clástica de grano fino compuesta de lodo, la cual se considera una mezcla de minerales arcillosos y pequeños fragmentos de otros minerales como cuarzo y calcita.

SLICKLINE: es el término utilizado para referirse a operaciones realizadas con una guaya fina o cable de acero liso en la industria petrolera, el cual contiene herramientas que se introducen en pozos de petróleo o gas para realizar diferentes trabajos

SINCLINAL: pliegue en la roca, con forma de cuenca o cubeta, en el que las capas de roca son convexas hacia abajo. Las rocas más recientes forman el núcleo del pliegue y fuera del núcleo las rocas son progresivamente más antiguas.

SISTEMA PETROLÍFERO: es un sistema geológico que abarca las rocas generadoras de hidrocarburos relacionadas e incluye a todos los elementos y procesos geológicos esenciales para la generación de acumulaciones de hidrocarburo.

SUPRAYACENTE: estrato que se encuentra ubicado por encima de otro estrato, en permanente contacto con este.

TAPONES: es un tapón de caucho utilizado para separar la lechada de cemento de otros fluidos, reduciendo la contaminación y manteniendo un rendimiento predecible de la lechada.

WIRELIN: relativo a cualquier aspecto del proceso de adquisición de un registro que emplea un cable eléctrico para bajar las herramientas en el pozo y transmitir los

datos a tiempo real, es decir que los datos son transmitidos al operador de la herramienta al mismo tiempo que la sarta de herramientas circula por el pozo.

RESUMEN

Actualmente el Campo La Cira – Infantas posee un área de 160 km² y contiene 1703 pozos perforados en la actualidad, se encuentra ubicado en el corregimiento el Centro de Barrancabermeja, en el departamento de Santander, siendo este el segundo campo más importante de la infraestructura petrolífera de Colombia.

En el primer capítulo del proyecto de grado se describe las generalidades geológicas de la cuenca del valle medio del Magdalena, la historia y ubicación geográfica del campo La Cira – Infantas, las formaciones por las cuales atraviesan los pozos del campo y su historial de producción.

En los siguientes dos capítulos se explican las características de los sistemas de Slickline convencionales que se estaban utilizando en el campo por parte de la empresa operadora Occidental Andina y la empresa prestadora de servicios AIP S.A.S, y de igual manera se realiza una introducción de la nueva unidad de Slickline planteada en el trabajo de grado como solución a los inconvenientes e incumplimientos en el contrato entre la empresa del estado colombiano Ecopetrol y Occidental Andina.

En el capítulo número cuatro se explica en su totalidad la nueva unidad de Slickline acorde con las condiciones del campo La Cira – Infantas tales como presión y profundidad, de igual manera en el capítulo número cinco se expone el rendimiento de la máquina con la implementación de la misma en dos pozos del campo, de tal forma se confirma la viabilidad en la implementación de la nueva unidad en el campo La Cira – Infantas para tomar registros ILT del total de los pozos en el tiempo acordado en el contrato.

Posteriormente en el capítulo número seis se evalúa la viabilidad financiera en la implementación de la nueva unidad de Slickline en el proyecto mediante el indicador financiero de valor presente neto (VPN), donde se comparan los costos de la elaboración de la unidad nueva contra los costos y la ineffectividad de contratar un número mayor de unidades convencionales de Slickline con el fin de cumplir con la totalidad de lecturas establecida en el contrato entre las dos empresas.

Finalmente se presentan las correspondientes conclusiones y recomendaciones respecto al trabajo realizado.

INTRODUCCION

El siguiente trabajo de grado se realizó basado en la necesidad de la empresa prestadora de servicios AIP S.A.S. de cumplir con el contrato establecido con Occidental Andina, de realizar la lectura de 1400 pozos aproximados en un periodo de tiempo de un año en el campo La Cira – Infantas, con lo anterior la empresa prestadora solo contaba con una unidad convencional de Slickline para este proyecto.

Dicha unidad requería ocho horas por cada pozo registrado, con lo cual al día solo se realizaban la lectura de dos pozos del campo, ocasionando que la empresa no pudiera completar la lectura total de pozos establecidas en el contrato, por este motivo se propone realizar un rediseño de una unidad de Slickline convencional, creando así la unidad TSS003.

La unidad TSS003 es producto de un trabajo de ingeniería en conjunto con los ingenieros a cargo del proyecto en la empresa y el estudiante director del trabajo de grado. Dicha unidad cuenta con una serie de características importantes que suplen en un cien por ciento las necesidades de la empresa AIP S.A.S. para el proyecto.

El desarrollo e implementación de este trabajo permitirá evaluar la eficiencia de la unidad TSS003 a comparación de las unidades de Slickline convencionales utilizadas por la empresa teniendo en cuenta variables como tiempo de instalación y lectura de los registros, peso, tamaño y costos, permitiendo de esta manera determinar la viabilidad de la unidad para cumplir con el contrato vigente en la Cira – Infantas y de igual manera en futuros trabajos que requiera AIP S.A.S.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Re-diseñar el equipo de superficie de Slickline disminuyendo el tiempo en la toma de registros ILT por pozo en el campo la Cira – Infantas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las generalidades del Campo la Cira Infantas.
2. Describir el sistema de Slickline utilizado actualmente en el Campo la Cira– Infantas.
3. Describir las partes, piezas y funcionamiento de una unidad de Slickline convencional y la propuesta para la investigación.
4. Formular una alternativa de diseño a la unidad de Slickline convencional acorde con las condiciones de profundidad y presión de los pozos inyectoros del Campo la Cira-Infantas y el contrato vigente.
5. Verificar el rendimiento del nuevo diseño mediante la implementación en dos (2) de los pozos inyectoros del campo la Cira-Infantas teniendo en cuenta las variables de tiempo, peso, tamaño y costo.
6. Evaluar la viabilidad financiera de la implementación del equipo de Slickline propuesto mediante la metodología del indicador de valor presente neto (VPN).

1. INFORMACIÓN GENERAL DEL CAMPO LA CIRA – INFANTAS

En el capítulo presentado a continuación se describen las características principales del campo La Cira Infantas en el cual se está desarrollando el proyecto en el cual se va a desarrollar la propuesta de investigación; aquí se presentaran características y datos como la historia, localización, geología, estratigrafía y las propiedades del yacimiento y de los fluidos presentes en éste.

1.1 HISTORIA DEL CAMPO

Roberto De Mares, en 1905 firmó el contrato de concesión con el Gobierno Colombiano, para Exploración y Explotación, en terrenos ubicados en el Departamento de Santander, de este contrato nació la tan conocida “Concesión De Mares” la cual años después pasó a manos de la compañía Estadounidense Tropical Oil Company, propiedad de la Standard Oil Company. Bajo este contrato de concesión fue descubierto el Campo La Cira-Infantas, siendo producido por la Tropical Oil Company hasta el 25 de Agosto de 1951, donde el contrato revirtió al Estado, a través de la Empresa colombiana de Petróleos (Ecopetrol).

El 14 de Junio de 1916 se perforó el primer pozo productor llamado Infantas 1, ubicado cerca a la falla de Infantas, simultáneamente se inició la perforación de Infantas 2, el 12 de Diciembre de 1917, localizado a solo 2 km de su antecesor. El Infantas 2 se completó primero, el 27 de Abril de 1918, éste fue el pozo que descubrió el campo, con un intervalo de interés de 1531 - 1580 ft. Unos meses después, el 11 de Noviembre de 1918, fue completado el pozo Infantas I, perforado hasta una profundidad de 2285 ft.

Según Vásquez¹ el Campo La Cira, fue descubierto por Amec Foster Wheeler, pues en la construcción de una ruta de ferrocarril se topó con una falla que cortaba la carretera, posteriormente se definieron como prospectivas las formaciones Colorado y Mugrosa las cuales se evaluaron para determinar el potencial de hidrocarburos que tenían.

En el año 2003 la empresa del estado Colombiano Ecopetrol realizó un concurso para compañías de alto perfil con el fin de implementar proyectos para aumentar el factor de recobro en el los campos La Cira – Infantas. La empresa Occidental Andina (OXY) reconocida por operar con campos maduros, fue quien finalmente accedió al contrato para la explotación del campo, que se firmó con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) el 6 de septiembre de 2005. Según Solano² Occidental Andina

¹ Vásquez, C. Hernán (La historia del petróleo en Colombia”, revista universidad EAFIT, p.104

² Solano, D. Álvaro (“Análisis de información obtenida de los registros y del modelo petrofísico y su integración la geología del yacimiento para soportar el plan de desarrollo en el campo la Cira Infantas”, p 22

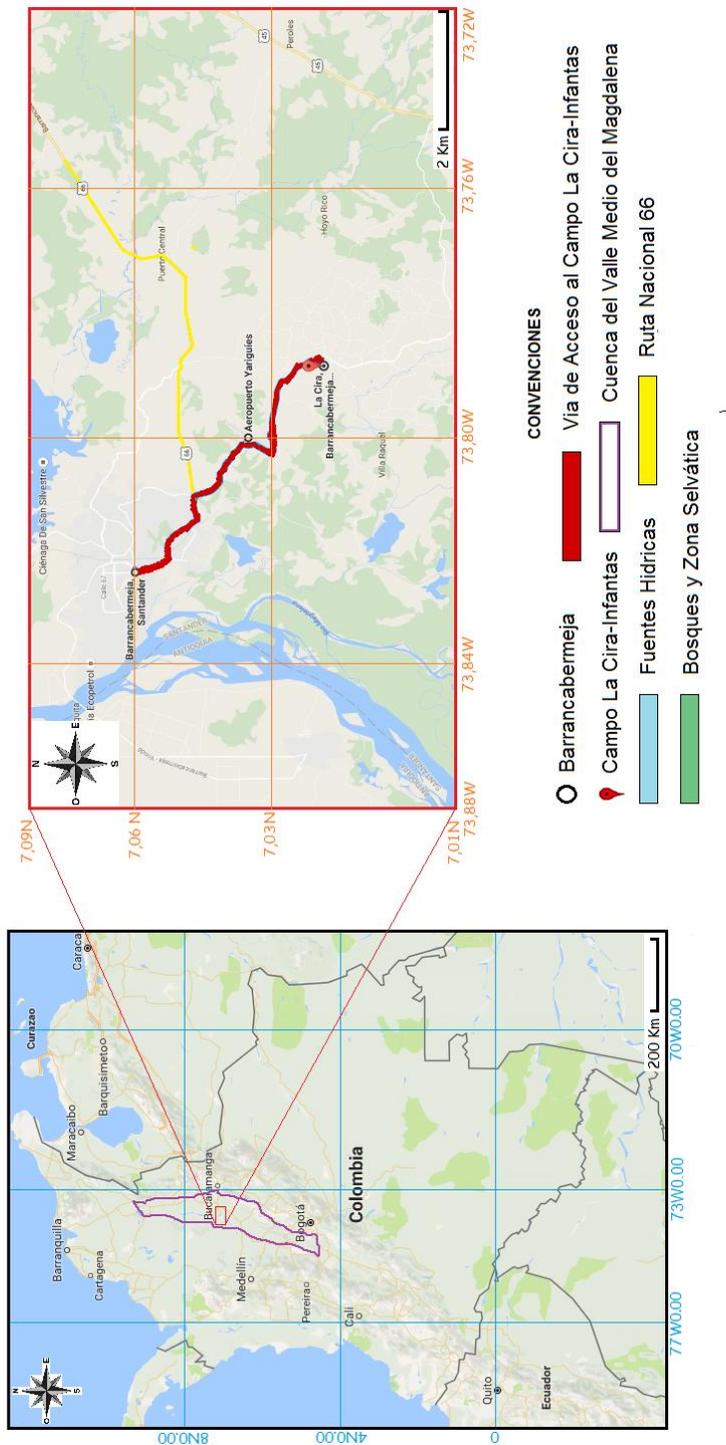
se ha encargado desde entonces hasta Agosto de 2016 en realizar una planeación detallada de las áreas de producción, ingeniería y mantenimiento para minimizar las fallas que presentan los pozos, teniendo así una producción superior a los 5000 BOEPD.

1.2 LOCALIZACIÓN

El campo La Cira - Infantas se encuentra ubicado en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena la cual limita con la cordillera Central y se extiende desde las poblaciones del Banco (Magdalena) en el norte hasta Honda (Tolima) en el Sur, en el departamento de Santander, al interior del corregimiento El Centro. Este campo hace parte de la antigua Concesión de Mares, al este del Rio Magdalena y al sur del Rio Sogamoso, cubriendo un área de 160 Km² aproximadamente y a una longitud aproximada de 22 Km al Sureste de la ciudad de Barrancabermeja. (Ver Figura 1).

Para acceder al campo por vía aérea se debe tomar un vuelo desde Bogotá hasta Barrancabermeja el cual dura un tiempo estimado de 21 min, para una distancia recorrida en línea recta de 276 Km, ya que esta ciudad es la más cercana al campo con aeropuerto. Partiendo del aeropuerto de la ciudad de Barrancabermeja se debe tomar la ruta 66 la cual se encuentra ubicada al sur-occidente de la ciudad, se recorre una distancia de 4.4 Km en un tiempo estimado de 8 min para tomar la troncal Magdalena – Barrancabermeja hacia el sur-occidente; accediendo por esta troncal se deben avanzar 8,7 Km con un estimado de 13 min para acceder al ingreso del campo La Cira-Infantas (Trayecto total aéreo 276 Km, trayecto total terrestre 13,1 Km).

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca del Valle del Magdalena Medio y Campo La Cira-Infantas.



Fuente: Google Maps. Mapa de Colombia y La Cira. Disponible en maps.google.com; modificada por el autor.

1.3 MARCO GEOLÓGICO

El campo La Cira-Infantas está ubicado en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, por lo anterior se puede relacionar la historia geológica del campo, de esta manera la siguiente sección se desarrolla basada en la presente en la cuenca

La Cuenca del Valle Medio del Magdalena fue una zona de deposición de sedimentos no marinos y agua salobre durante el periodo Terciario. Los sedimentos terciarios se depositaron de manera discordante sobre los sedimentos del Cretáceo y en algunos momentos de la historia sobre las rocas del basamento Pre-Cretáceo.

1.3.1 Columna estratigráfica. En la **Figura 2**, se presenta la columna estratigráfica generalizada para la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, en donde se encuentra el Campo La Cira-Infanta, en el cual los pozos alcanzaron la edad del paleozoico en sus perforaciones.

1.3.2 Estratigrafía. Según lo citado por De Porta³ la descripción de las formaciones presentes en el campo la Cira-Infantas, se encuentran comprendidas entre los periodos Paleozoico hasta el Neógeno. A continuación, se describirán las formaciones de la más antigua a la más reciente.

1.3.2.1 Formación Girón. Según Garner⁴ se establece en el Jurásico superior y Cretáceo Inferior, está compuesto principalmente de areniscas de grano medio a grueso y limonitas ligeramente conglomeradas de color rojo, grisáceo y gris verdoso, con un espesor que varía entre 10824 y 16925 ft. En cuanto a su ambiente de deposición es continental fluvial o lacustre. Esta formación es discordante con las formaciones Jordan y Bocas que la infrayacen y posee un contacto concordante con la formación Los Santos que la suprayace.

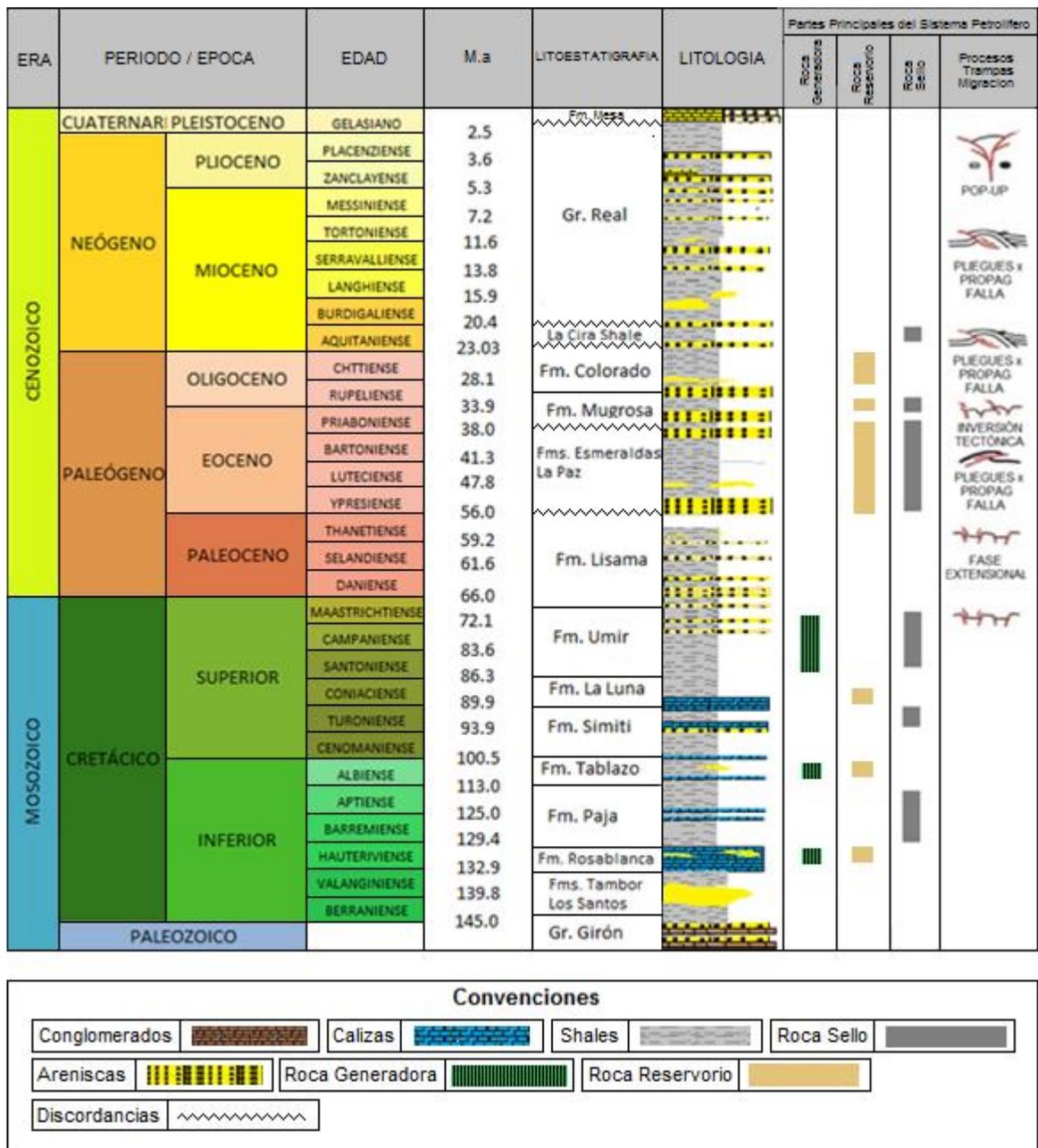
1.3.2.2 Formación los Santos. Según Mojica⁵ los sedimentos depositados datan de la época del Barresiano, compuesta por areniscas y conglomerados intercalados con limonitas de color rojo oscuro. Tiene un espesor variable de 715 ft. La deposición fue en facies de ambientes meandricos, e intramareales. Esta formación posee un contacto concordante con la formación Girón que la infrayace y establece una relación estratigráfica concordante con la formación Rosa Blanca que la suprayace.

³ De Porta, J. Léxico Estratigráfico Volumen V, Paris, Centre National de la Recherche Scientifique, 1994

⁴ Garner (A. H), 1926 citado por Julivert, M. Léxico estratigráfico Internacional V5, fascículo 4 a. 1968. P. 302

⁵ Mojica, Jairo. Estructura y evolución Tectónica del Valle Medio y superior del Magdalena. Bogotá. Escala, 1990. P 120

Figura 2. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca del Valle Medio del Magdalena en donde se encuentra el Campo La Cira-Infantas



Fuente: BARRERO, Darío, PARDO, Andrés, VARGAS, Carlos A. and MARTÍNEZ, Juan F. Colombian Sedimentary Basins. 2009

1.3.2.3 Formación Rosa Blanca. Según Mojica⁶ los depósitos datan del Valanginiano-Hauteriviano inferior. Compuesta por margas, calizas y evaporitas, correspondientes a una plataforma de carbonatos. Su variación de espesor esta entre 492 a 1395 pies. Establece una relación estratigráfica concordante con la formación Infrayacente Los Santos y la suprayace la formación Paja concordantemente.

1.3.2.4 Formación Paja. Los depósitos datan del Barresiano. Compuesta de lutitas negras ligeramente calcáreas y laminadas, anormalmente se encuentran en forma de micácea y limosa; en la base se encuentran concentraciones de calizas y canales de calcita. La variación de espesor esta entre 410 y 2050 ft. Se depositó en ambiente marino profundo. Establece una relación concordante con la formación infrayacente de Rosa Blanca al igual que con la formación Tablazo que la suprayace.

1.3.2.5 Formación Tablazo. Los depósitos datan del Aptiano, está compuesta por lutitas de tipo calcáreo, calizas masivas y margas. Se presenta una mayor presencia de calizas en el tope de la formación, estas a su vez se componen de gran cantidad de pirita, lo cual las caracteriza por ser densas, duras y oscuras. La variación de su espesor esta entre 490 y 1380 ft, el ambiente de depositación es de condiciones neríticas. La importancia principal de esta formación recae en que es un excelente tipo de roca fuente, ya que su potencial de roca almacenadora está limitado a la permeabilidad generada por las fracturas presentes en la roca. Se establecen contactos de tipo concordantes con las formaciones infrayacentes y suprayacentes de Paja y Simití, respectivamente.

1.3.2.6 Formación Simití. Los depósitos datan del Albiano, compuesta principalmente de lutitas, de color gris claro hacia al tope y color pardo hacia la base, ocasionalmente se encuentran presencias de calizas y areniscas. La variación de su espesor esta entre 820 y 2130 ft, las condiciones de sedimentación fueron neríticas de aguas medianas a profundas. Se establece un contacto de tipo concordante con la formación infrayacente Tablazo, se encuentra otro contacto de tipo concordante con la formación suprayacente Salto.

1.3.2.7 Formación La Luna. Su edad data de entre el Turoniano a Campaniano Inferior. Es la sección más importante de la Cuenca por su capacidad superior de generación de Hidrocarburos, esto se debe a su gran concentración de materia orgánica. Su compone principalmente por capas de roca lodosas, intercaladas por Capas Shales negros, Calizas y algunas de Chert. El espesor varía entre 820 – 2132 ft, los valores registrados de Gamma-Ray y SP, sugieren un cambio de litologías de lodosas a litológicas con alto contenido de Calcáreos y Calizas, por esto se indica que la base se depositó en facies de ambientes más

⁶ MOJICA, Jairo. FRANCO, Ricardo.: Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Bogotá. Escala, 1990. 120p. 8 Ibid., p.58.

profundos que el tope. Establece contactos con las formaciones infrayacentes concordantemente y suprayacentes discordantemente de Simití y Umir, respectivamente.

1.3.2.8 Formación Umir. Su edad data de entre el Campaniano y el Maestrichtiano. Se compone casi en su totalidad de Lodolitas Grises depositadas en su gran mayoría en frentes de playa y bahías intercaladas con carbones y con algunas areniscas arcillosas con bajo potencial de almacenamiento. El Espesor de la formación varía en dirección Sur- Norte de entre 2850 – 4400 ft. Hacia el Este de la cuenca, se encuentra su mayor espesor de 5250 ft. La formación Umir se depositó en relación concordante con la formación La Luna que la infrayace y un contacto concordante con la formación Lisama que la suprayace.

1.3.2.9 Formación Lisama. Su edad es cretáceo superior, terciario-inferior, esta unidad consta de shales de color rojo, gris y pardo, con intercalaciones de areniscas masivas grisáceas. El espesor de la formación puede llegar a ser de 4019 ft, los sedimentos se depositaron en condiciones lagunares deltaicos, el contacto es concordante con la formación Umir que la infrayace, mientras que con la formación la paz que la suprayace es marcada con una discordancia regional bien marcada.

1.3.2.10 Formación La Paz. La edad de esta formación es Paleoceno-Eoceno medio. La arenisca revela estructura discordante. En el corte fresco, su color es gris amarillo y en el banco más grueso llega a tener 60 m de espesor. Hacia el respaldo superior se distinguen en alteración variada, arcillas grises azules y areniscas duras, amarillas, micáceas, a veces también areniscas micáceas esquistas. La Paz varía considerablemente su espesor, siendo en su sección tipo de unos 3280 ft. El depósito ocurrió en un ambiente continental deltaico. Esta formación posee un contacto discordante infrayacente con la formación Lisama y tiene un contacto concordante suprayacente con la formación Mugrosa.

1.3.2.11 Formación Esmeralda (Zona D). Es del Eoceno superior, el nombre de esta formación proviene del Caserío Esmeraldas donde se encuentra su sección tipo; se compone de lutitas de color gris claro o verdoso, con intercalaciones escasas de arenisca y capas delgadas de limolitas, todas estas depositadas en el eoceno tardío. El espesor varía entre los 300 y 700 ft. En el tope de esta formación una existe una capa delgada de tipo fósil, compuesta principalmente por moluscos de procedencia no marina, y otros de agua ligeramente salobre, a esta capa se le denota con el nombre de “Horizonte Fosilífero de los Corros” determinado por PILSBRY & OLSSON (1935). Estas formaciones junto con La Paz pertenecen al Grupo Chorro, los depósitos infrayacentes están marcados por la llamada Discordancia del Valle Medio del Magdalena, mientras que el contacto de la unidad suprayacente está marcado por una para conformidad.

1.3.2.12 Formación Mugrosa. Los depósitos datan del Oligoceno, contiene los yacimientos de hidrocarburos más importantes de la Cuenca del Valle medio

Magdalena además de esto pertenece al grupo de la Chuspas. Está compuesta por intercalaciones de Cuarzo- Arenitas, muy arcillosas, Micáceas, Feldespáticas con estratificaciones cruzadas. Principalmente se puede encontrar en su base areniscas de grano fino a medio, con intercalaciones de shales de color azul a gris, tiene un espesor de 1800 ft; a facies de depositación predominante está definida por Continental-Deltaico, estas fueron depositadas en régimen de flujo alto. Está relacionada discordantemente con las formaciones infrayacentes de Esmeraldas y La Paz y suprayacente con la formación Colorado.

J DE PORTA⁷ afirma que la peculiaridad más importante de esta formación se caracteriza por estar presente en las zonas con mayor producción del campo, la Zona B (superior) y la zona C (inferior).

- **Zona C.** Compuesta principalmente por areniscas. esta zona se conoce como el reservorio más importante del campo, con un espesor variable entre 630 y 2050 ft. Las areniscas fueron depositadas por canales fluviales de sistema de ríos meandriiformes, con intercalaciones de lodolitas, que tuvieron un ambiente de deposición en llanuras fluviales y paleólogos.
- **Zona B.** Esta zona se compone en su gran mayoría de arcillas coloreadas intercalada con capas finas de limolitas, su espesor varía entre 630 y 2050 ft. Tiene en su tope el horizonte fosilífero “Fósiles de mugrosa”, compuesto por fragmentos calcificados gasterópodos de agua dulce, que ayuda como datum estratigráfico.

1.3.2.13 Formación Colorado. Los depósitos datan de entre el Oligoceno Superior al Mioceno Inferior; compuesta mayormente por lodolitas en diferentes tonalidades de rojo, gris y purpura, interestratificadas con areniscas de grano fino y facies con ambientes fluviales de denostación. Posee un espesor que varía entre los 3937 – 4921 ft, establece un contacto de tipo concordante con la formación infrayacente Mugrosa y lo suprayace la formación La Cira Shale.

1.3.2.14 Formación Real. Compuesta principalmente por conglomerados, areniscas conglomeraticas y arcillolitas de tonalidades grises a negras. Los espesores sufren cambios considerables ya que en la sección del Rio Opón esta unidad tiene un espesor aproximado de 12795 a 16490 ft en el anticlinal de la Cira. El ambiente de sedimentación predominante es continental de tipo fluvial, este depositó sedimentos de tipo Molasa del Antepais del Valle Medio del Magdalena. Posee de igual forma tres tipos de sub formaciones conformados por Peligrosa, Viscania y Nutria.

⁷ De Porta, J. Léxico Estratigráfico Volumen V, Paris, Centre Nacional de la Recherche Scientifique, 1994

- **Formación Peligrosa y Viscania.** Se le atribuye una edad de Mioceno. Según lo planteado en DE PORTA⁸ no señala detalles acerca de estas formaciones a excepción que tienen un espesor de 1400 ft, adicionalmente añade que no figuran datos paleontológicos de las mismas, pero por pertenecer a la Formación Real, estas formaciones están actualmente en desuso.
- **Formación Nutria.** De acuerdo con DE PORTA⁹ su edad corresponde al Mioceno superior compuesta por shales de color verdoso-marrón con areniscas limosas que contienen gran cantidad de magnetita. La formación nutria descansa sobre la formación Viscania e infra yace a la unidad denominada “Lower Marranos”, actualmente esta formación se encuentra en desuso.

1.3.2.15 Formación Mesa. Las edades de los sedimentos son muy variadas, entre ellas oscilan desde el Mioceno al Plioceno. Probablemente esta unidad incluya depósitos cuaternarios pertenecientes a terrazas del río Magdalena, consta de una alteración de gravas de roca efusiva con arenas y algunos bancos de arcillas blancas, su espesor esta entre 984 – 1788 ft y es considerada como una formación de depositación fluvial. Presenta un contacto concordante con el infrayacente Grupo Real.

Geología estructural. El campo la Cira - Infantas se encuentra geológicamente ubicado en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, por lo tanto, su historia geológica se asocia con la de esta cuenca, según Pérez y Valencia¹⁰. La cual en su desarrollo ha sufrido una serie de eventos tecno-sedimentarios que le han impreso su morfología actual. Durante el Cretáceo según Mojica¹¹ se inició en la cuenca una deformación por compresión de la cordillera occidental al cratón suramericano, lo que originó un plegamiento y la erosión de la secuencia cretácea del campo; tanto en La Cira como en Infantas hay presencia de la discordancia del Eoceno. En La Cira y en Infantas, se tiene presencia de discordancia regional la cual es llamada “Discordancia del Eoceno” o más conocida como “Discordancia del Valle Medio del Magdalena” como se puede observar en la **Figura 3**.

- **La Cira.** La estructura de La Cira tiene una longitud cercana a los 9 Km y un ancho de 6 km, dicha estructura es un anticlinal con forma de domo, con dirección norte-sur al noroeste del anticlinal de Infantas. Posee cabeceo hacia el norte y hacia el sur. Presenta un corte al este del eje del anticlinal, a causa de la falla La Cira, la cual es de tipo inverso, con alto ángulo que oscila

⁸ De Porta, J. Léxico Estratigráfico 1994. 79.

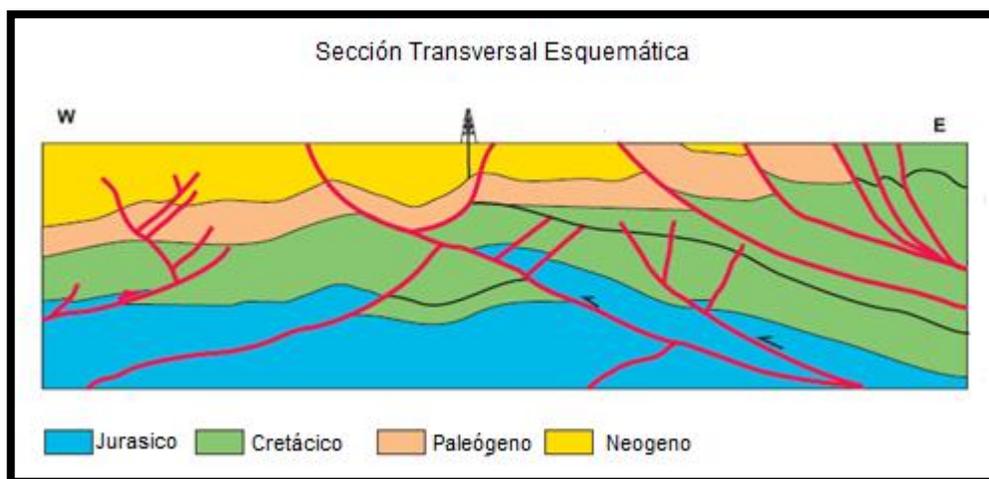
⁹ De Porta, J. Léxico Estratigráfico 1994. 92.

¹⁰ MOJICA, Jairo. FRANCO, Ricardo.: Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Bogotá. Escala, 1990. 120p.

¹¹ MOJICA, Jairo, FRANCO, Ricardo. Estructura y Evolución Tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. 58

entre los 70° y 80°, con buzamiento hacia el occidente y con desplazamiento entre los 200 y 300 Pies sobre el tope estructural. Al este de dicha falla, la estructura presenta un hundimiento levemente en forma de “U”, formando así con la falla Infantas una especie de pliegue sinclinal. Además de la Falla La Cira, existen otras transversales al eje de la estructura. Estas son de tipo normal, con buzamientos entre los 80° y 90° y desplazamiento de hasta 250 ft, los cuales dividen el campo en varios bloques. Con base en datos de producción del campo, se ha concluido que la Falla La Cira hace el papel de barrera efectiva entre ambos flancos de la estructura.

Figura 3. Sección transversal esquemática de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena.



Fuente: BARRERO, Darío, PARDO, Andrés, VARGAS, Carlos A. and MARTÍNEZ, Juan F. Colombian Sedimentary Basins. 2009.

- **Infantas.** La estructura Infantas es un anticlinal alargado y asimétrico, cerrado en ambas puntas y cortado a lo largo de la cresta por la gran Falla inversa de Infantas. La dirección predominante del eje del pliegue es norte-sur a 10° hacia el noreste. La Longitud de la estructura es cercana a los 12 km y el ancho a los 2 km. La Falla de Infantas en general, posee un desplazamiento entre los 1000 y 1200 ft, a excepción de la zona norte donde el pliegue anticlinal se hunde. En la superficie aparece en forma de filtraciones de aceite, algo relevante de este pliegue, es la presencia de una serie de fallas de cabalgamiento, que poseen buzamiento hacia el oriente con ángulos en el rango de 40° y 70°, y que conforman el “Sistema de Fallas de Infantas”. Además de esta serie de fallas principales, existen varias de tipo normal, con dirección este-oeste, con buzamientos entre 80° y 90° y desplazamiento entre 50 y 150 Pies, algunas de estas fallas ejercen desplazamiento sobre la falla de Infantas. Paleógeno

1.4 HISTORIA DE LA PRODUCCION DEL CAMPO

Según Vásquez¹² en 1928, se inició la inyección de gas en la Cira en una parte conocida como la Zona “B”, es decir la parte superior de la Formación Mugrosa y consiste en una intercalación de arenas muy finas; tuvo una duración inicial de un año, para luego ser reactivada en 1931 hasta 1936. El proyecto se detuvo debido a una alta presión y resultados desalentadores. Posteriormente, en 1929, se inició la inyección de gas en la Zona “A” la cual es la Formación Colorado y está compuesta de areniscas de grano muy fino y en 1930 para la Zona “C” que hace parte inferior de la Formación Mugrosa¹³. En estas dos últimas áreas, la inyección se extendió hasta los inicios de la década de los 70’s.

Inicialmente, en el campo los pozos producían por flujo natural, pero con el paso de los años fue necesario el uso de un sistema de levantamiento artificial, por lo cual se implementó el sistema de Gas Lift, totalizando 113870 MMscf de gas inyectado. Posteriormente este sistema se reemplazó por aquel que prevalece en el campo hasta el día de hoy: Bombeo Mecánico. A principios de la década de los 40’s, el campo alcanzó su pico de producción, el cual fue 60000 BOPD. Por esa época la cantidad de pozos perforados era de 1145, de los cuales 470 estaban en infantas y 5675 en la Cira. En esta última área la campaña de perforación era de 857, con un espaciamiento promedio de pozos de 14 acres. Entre 1946 y 1949, se inició el primer proyecto de inyección de agua, el cual se centró en el área 3W. Este desarrolló a través de siete pozos ubicados en el área, en la cual había presencia de un acuífero. Años más tarde, se amplió el desarrollo del área, el cual consistió en inyección para la Zona “C”, en un terreno de 280 acres en el centro de la misma. En la Zona “A”, se inyectó en las arenas denominadas “58”, entre febrero de 1973 a mayo de 1977. En este lapso de tiempo, se inyectaron 2.4 MMBbbls de agua, los cuales recuperaron 56 MBbbls de aceite. En noviembre de 1978, el proyecto se reactivó, dejando como resultado para esta fase de inyección 6.3 MMBbbls, ayudando en la recuperación de 317 MBbbls. Esta segunda fase se prolongó hasta 1988. En lo que concierne a la Zona “B” se realizó inyección para tres arenas: “La Cira”, “13” y “244”. Para esta zona, se usaron los pozos LC.762, LC-853 y LC.892, como pozos centrales de producción, Esta zona tuvo su pico de producción en 1939, alcanzando los 53000 BOPD. Años más tarde en 1974 alcanzo su segundo pico, el cual fue de 11780 BOPD, con una tasa de inyección de 120300 BWPD. La producción de crudo durante la Concesión de Mares tuvo fluctuaciones considerables, dentro de las cuales se destaca el pico de producción de crudo por año, ocurrido en 1930. En las décadas de los 50’s y 60’s, cuando el campo ya estaba

¹² Vásquez, C. H. La historia del petróleo en Colombia.

¹³ SILVA ARIAS, Cristhian Eladio. Desarrollo y manejo de información de pozos nuevos a perforar en el Campo de La Cira - Infantas. Universidad Industrial de Santander, 2009. p. 148.

bajo operación de Ecopetrol, se perforaron pozos adicionales en La Cira y en Infantas, de la siguiente manera:

- **La Cira:** 19 pozos para desarrollar el área Cira Norte. El pozo LC.1753 fue el descubridor esta área.
- **Infantas:** 64 pozos con espaciamiento promedio de 11 acres.

En 1974, Ecopetrol realizo en el pozo Infantas 152 una prueba piloto de inyección de vapor, el cual arrojó resultados no favorables.

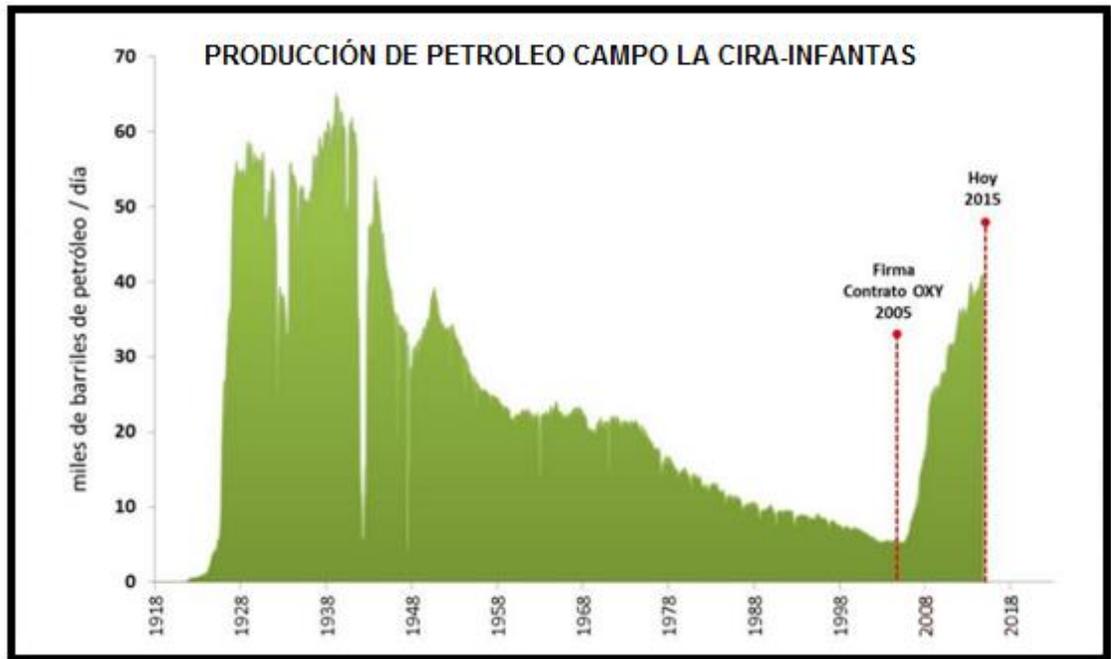
Es historial de producción de petróleo e inyección de agua desde el año 1918 hasta la actualidad se muestra en el **Grafico 1**, allí se puede ver la trayectoria a lo largo de los años en el campo, donde su pico más alto fue alcanzado en el año 1939 con la producción de casi 65 barriles promedio por día, con el tiempo fue necesario utilizar diferentes métodos de recobro debido a la caída de su producción, usando así métodos de levantamiento artificial e inyección de agua.

Actualmente el campo La Cira-Infantas incremento su producción acumulada de 5 MBbls en 2005 a 50 MBbls promedio por día para el año 2016.

1.5 PROSPECTIVA DEL CAMPO LA CIRA-INFANTAS

Según el proyecto de redesarrollo firmado por Ecopetrol y Occidental de Colombia (OXY) en el 2005 consistía en implementar inyección de agua para el Campo la Cira-Infantas, a partir de ese momento se llevó a cabo la redefinición de áreas de inyección y del mismo modo se inició la inyección de nuevas áreas. La zona C está siendo desarrollada nuevamente, cuenta con un OOIP aproximado de 28 MMBbls. Se pretende aumentar el factor de recobro para esta zona en un 8 %, además posee una alta heterogeneidad lo que permite redefinir los patrones de inyección en zonas con patronamiento antiguo.

Grafica 1. Historial de producción de petróleo.



Fuentes: ECOPETROL. Carta petrolera N° 108. Abril-Mayo. El regreso a la Cira

2. SISTEMA DE SLICKLINE UTILIZADO ACTUALMENTE EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS

Actualmente la empresa AIP posee una unidad convencional de Slickline trabajando en el campo la Cira-Infantas, con el fin de poder cumplir con el contrato entre OXY y Ecopetrol para la lectura de 1400 pozos inyectoras al año. Para poder explicar en qué consiste una unidad convencional de Slickline, a continuación, se expondrán brevemente la historia y funciones de dicha unidad en la industria petrolera.

2.1 OPERACIONES DE UNA UNIDAD SLICKLINE AIP

Son operaciones realizadas con cable de acero liso, actualmente la unidad de la empresa AIP S.A.S. posee cables de diferentes longitudes lo cual les permite realizar trabajos en diferentes pozos que tengan variación en sus profundidades, igualmente el cable tiene un diámetros 0.108 in, el cual soporta el peso de la sarta completa de herramientas que en el caso de la empresa prestadora de servicios, posee un conjunto de sensores que captan la información de los pozos inyectoras de la Cira-Infantas.

El funcionamiento del sistema de SLICKLINE depende de un sistema hidráulico (Unidad de Slickline), la cual tiene montado un carrete o tambor en el que se enrolla el cable de acero. Este cable pasa por un juego de poleas y a través de un Lubricador antes de conectarse a la sarta de herramientas por medio del Rope Socket, y así ingresar al fondo del pozo para realizar la operación correspondiente Actualmente la empresa AIP usa una unidad convencional en el campo la Cira Infantas la cual se explicará a continuación.

2.2 EQUIPO DE SUPERFICIE UTILIZADO ACTUALMENTE

Al estar operando en los campos La Cira-Infantas, y rigiéndose por el contrato establecido entre AIP S.A.S. y OXY, el equipo de superficie que dispuso la empresa prestadora de servicios cumple como principal función la lectura de registros eléctricos en pozos inyectoras. Esta operación no requiere un equipo específico para realizar la corrida de dichos registros, por ende, la unidad de Slickline que opera actualmente es convencional. El equipo usado en el Campo La Cira-Infantas es la unidad convencional la cual se describirá en el capítulo tres

Los pozos que se encuentran sujetos en el contrato son netamente inyectoras de agua, los cuales requieren en promedio 1860 BWPD, entre el rango más apreciable de inyección de 1200-2500 BWPD de todos los pozos del campo.

Los pozos tienen profundidades que varían entre los 2900 a los 3800 ft. Por tanto, al ser 3800 ft la profundidad máxima, se concluye que los demás no tienen una profundidad considerable y que en general los pozos son ligeramente someros.

La unidad de Slickline convencional cuenta con un equipo de superficie de baja presión, ya que la presión máxima registrada es de 3400 psi en profundidad. En superficie se presentan temperaturas de 97-120 °F y presiones de 1400-1900 psi, lo cual confirma que la elección de la empresa prestadora con una unidad convencional para llevar a cabo el trabajo cumple con las características del campo.

Para continuar se describirá la Unidad de Potencia el cual suministra la energía necesaria para el funcionamiento de la unidad y el Sistema Hidráulico, esta se encarga de los momentos de tensión que sufre la unidad de Slickline durante su operación:

2.3 UNIDAD DE POTENCIA

La unidad de potencia es un ensamblaje que consiste en un motor diésel, bombas de fluido hidráulico, compresores de aire y tanques para proporcionar la potencia necesaria requerida por cada elemento de la unidad para cumplir con todas las tareas requeridas¹⁴.

Foto 1. Unidad de potencia



Fuente: BRATTH SALGADO, Oscar. Características operacionales y metodología de la perforación y el completamiento de pozos con unidades de Snubbing. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 173.

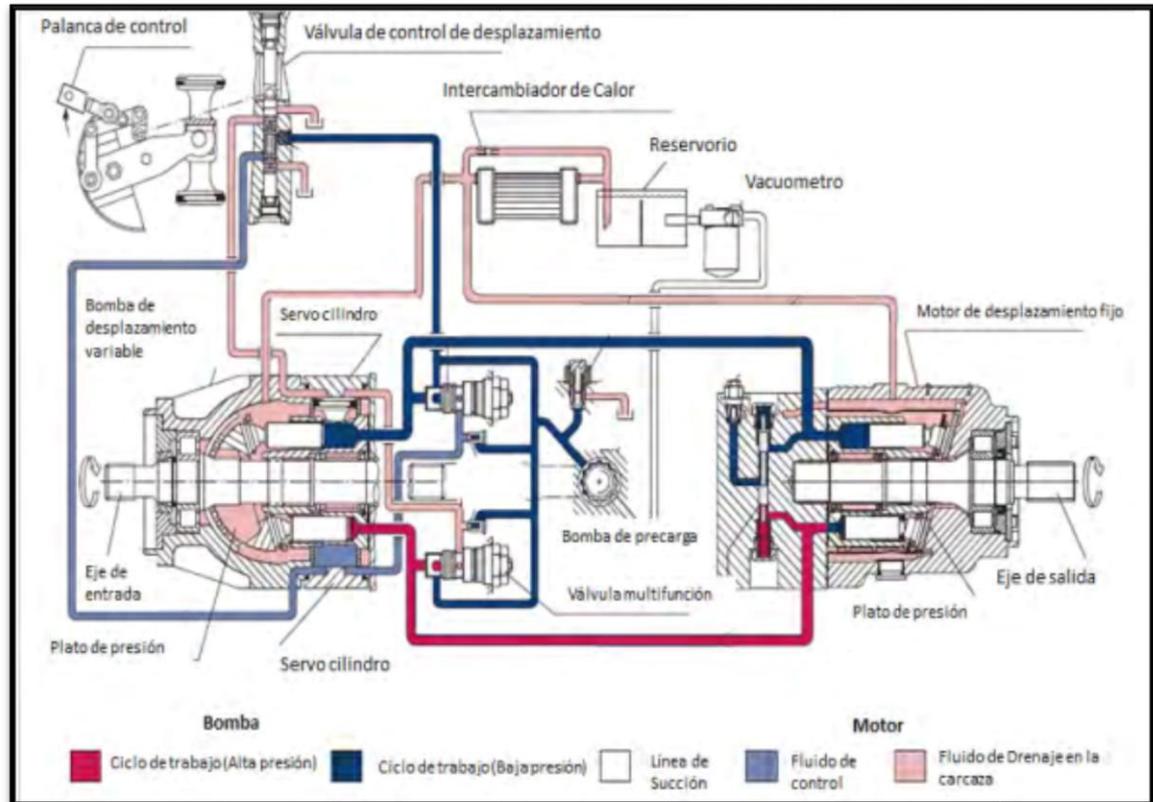
2.4 SISTEMA HIDRAULICO

Tiene como función a transmisión de potencia. Su principal ventaja consiste en que la velocidad del carrete puede ser variada dentro del rango de velocidad permitido por la transmisión. Está conformad por una bomba hidráulica de pistón axial. A

¹⁴ BRATTH SALGADO, Oscar. Características operacionales y metodología de la perforación y el completamiento de pozos con unidades de Snubbing. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 173.

continuación, se presenta un diagrama del sistema hidráulico que permite explicar el proceso de transmisión de potencia¹⁵.

Figura 4. Diagrama de sistema hidráulico



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winche de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91.

A continuación, se describirán las partes principales del sistema hidráulico.

2.4.1 Tanque hidráulico. Consiste en un recipiente en el cual se almacenará el líquido o aceite hidráulico que permite el funcionamiento del equipo.

Algunos tanques poseen un intercambiador de calor que permite el enfriamiento del fluido dentro del circuito hidráulico, usando el refrigerante del camión¹⁶. En otras unidades, como por ejemplo la usada en el Campo la Cira-Infantas no hay un

¹⁵ GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winch de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91.

¹⁶ GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winch de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91

sistema de refrigerado; por tanto el tanque posee el doble de capacidad, permitiendo que el excedente circule y así se produzca el enfriamiento.

Durante el proceso, se desprenden del sistema pequeñas partículas de metal que son capturadas gracias a un imán que se encuentra en el interior del tanque; además, cuenta con un filtro que permite limpiar las impurezas en el líquido o acetite que circula.

2.4.2 Bomba hidráulica. Suministra el fluido al sistema; comúnmente es una bomba de pistón axial. Su nombre es debido a que los pistones que se mueven dentro y fuera del eje de entrada de forma paralela. La mayoría de las bombas poseen las siguientes partes:

- Bloque de Cilindros.
- Sistema de distribución.
- Sistema de control para el desplazamiento variable.
- Bomba de precarga.
- Sistema de control.
- Válvulas de seguridad.

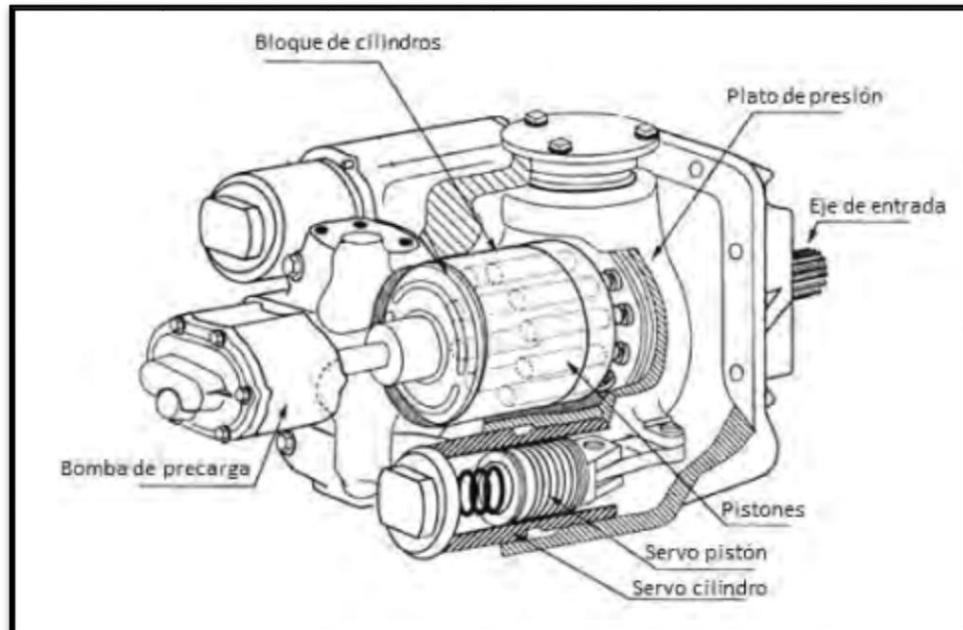
El principio bajo el que funciona este tipo de bomba es basado en la propulsión del eje de entrada por la fuerza de la unidad de tierra. Al rotar el eje de entrada éste guía el giro del bloque de cilindros. El plato de presión ubicado en el bloque, generalmente puede ser inclinado 17° pero este no rota. El trabajo ocurre cuando el aceite entra en los cilindros y los pistones son presionados; la bomba de precarga provee suficiente presión de tal forma que los cilindros estén completamente llenos manteniendo una presión constante durante el funcionamiento de la bomba. A medida que el bloque de cilindros rota, los pistones son empujados hacia los cilindros hasta su máxima medida, determinada por el plato de presión¹⁷, en este punto el proceso de succión ya se ha realizado y el plato de presión comienza a forzar el cilindro aumentando la presión, haciendo que el fluido salga forzado con dirección al motor hidráulico.

La cantidad de fluido bombeado puede ser controlado con el ángulo del plato de presión, o, aumentando o disminuyendo la velocidad del eje de entrada de la misma. Si se inclina en ángulo del plato de presión el sentido de recorrido del aceite en el circuito se invierte, permitiendo que el motor gire en sentido contrario.

A continuación, se presenta una ilustración que muestra una bomba hidráulica.

¹⁷ GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winch de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91

Figura 5. Bomba hidráulica



Fuente: GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winche de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91

2.4.3 Motor hidráulico. Es un dispositivo el cual convierte la energía de un fluido en energía mecánica. Su velocidad depende de la cantidad de aceite proveniente de la bomba en un tiempo determinado. El torque proporcionado es directamente proporcional a la caída de presión entre la entrada y la salida.

El sentido del motor puede ser cambiado revirtiendo el sentido del fluido en el circuito, girando el plato de presión de la bomba en sentido contrario, causando que los puertos de salida y entrada intercambien sus roles.

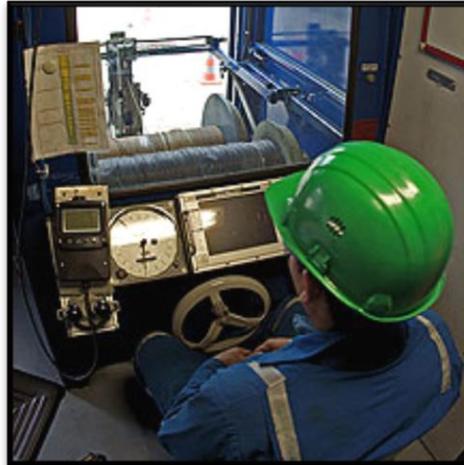
El motor requiere una mantener una presión mínima para su funcionamiento, que es suministrada por la bomba de precarga cuando la bomba está apagada¹⁸.

2.4.4 Carrete. Generalmente el alambre más usado para las operaciones es el fabricado con acero al carbón (carbon steel). Estos se hallan disponibles en longitudes variadas de 10,000 hasta 30,000 pies, en diferentes diámetros tal como 0.066, 0.072, 0.082, 0.092, 0.105 y 0.108 pulgadas con diversos valores de resistencia a la ruptura¹⁹.

¹⁸ GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winche de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91

¹⁹ AGUIRRE PARDO, Ricardo Gustavo. Optimización de la limpieza de parafina en pozos del noroeste peruano utilizando unidad a cable. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú, 2004. p. 66.

Foto 2. Carrete Slickline



Fuente: NEXT Oil & Gas Training and Competency Development. Fundamentals of Slickline Operations. [0]. 2017]. Disponible en: <http://www.nexttraining.net/Courses/Details/PE-TC1-SLB16451/Fundamentals-of-Slickline-Operations.aspx?trainingplan=True>

Las unidades usadas en este tipo de operaciones son generalmente accionadas por sistemas de transmisión a control hidráulico o mecánico. El alambre es instalado sobre un tambor, el cual es normalmente accionado por un motor a diésel. La fuerza motriz es transmitida desde el motor hacia el tambor hidráulicamente o a través de una caja de cambios²⁰.

2.5 SISTEMA DE CONTROL DE PRESION (SCP)

El sistema de control de presión o SCP por sus siglas en inglés, son aquellas herramientas de la unidad que soportan la presión que posee el pozo, durante los trabajos, ya sea con el pozo cerrado o en funcionamiento, garantizando la seguridad del proceso. La empresa AIP S.A.S presenta los siguientes SCP:

2.5.1 Stuffing box. La *Stuffing box* está diseñada específicamente para sellar alrededor del slickline para confinar los fluidos y gases de pozo dentro de los equipos, permitiendo así que las operaciones de trabajo se realicen bajo presión. Está ubicada entre la polea (en la parte superior) y los lubricadores (en la parte

²⁰ AGUIRRE PARDO, Ricardo Gustavo. Optimización de la limpieza de parafina en pozos del noroeste peruano utilizando unidad a cable. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú, 2004. p. 66.

inferior) está diseñado para soportar un rango de presiones que va desde los 5.000 hasta los 15.000 psi. Puede usarse para todo tipo de Slickline.

Foto 3. Stuffing Box AIP S.A.S.



Fuente: Stuffing Box AIP, Bodega AIP.

Entre sus principales características están:

- En caso de ruptura del cable, el Stuffing Box posee un tapón interno que sella el flujo y contiene la presión del pozo.
- Está diseñado para brindar soporte a la polea. Posee un sistema de control manual e hidráulico que pueden accionarse en caso de pérdida de presión sin que se modifique la pieza

2.5.2 Polea. Se adapta en la parte superior del Stuffing Box y a través de esta se colocará el slickline; tiene como función principal reducir el estrés en el cable, causado por la entrada y salida del pozo; evitando así que se rompa o se degaste más rápido.

Foto 4. Polea AIP



Fuente: Polea AIP, Bodega AIP.

Su tamaño varía según el diámetro de cable que se esté usando.

2.5.3 Lubricador. Herramienta que se aplica inicialmente al conjunto del equipo de control de presión que se utiliza en operaciones con línea de acero (Slickline) para alojar la sarta de herramientas en preparación para su introducción en el pozo o para la recuperación de la sarta de herramientas al finalizar la operación. El lubricador se arma a partir de secciones de tubería de pared pesada construidas, generalmente, con sellos y conexiones integrados. Las secciones del lubricador se utilizan de forma rutinaria en el conjunto del equipo de control de presión para otras operaciones de intervención en pozo como las de tuberías flexibles²¹.

²¹Schlumberger. Lubricador. [0]. 2017].
<http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/l/lubricador.aspx>

Disponible en:

Foto 5. Lubricador AIP



Fuente: Lubricador AIP, Bodega de AIP.

2.5.4 Preventora de reventones (B.O.P) Una válvula grande instalada en el extremo superior de un pozo, que puede cerrarse si la brigada de perforación pierde el control de los fluidos de formación. Mediante el cierre de esta válvula (operada generalmente en forma remota a través de accionadores hidráulicos), la brigada de perforación generalmente retoma el control del yacimiento, y se pueden iniciar los procedimientos para incrementar la densidad del lodo hasta que es posible abrir el BOP y mantener el control de la formación en términos de presión. Algunos pueden cerrar efectivamente un agujero descubierto, otros están diseñados para cerrarse alrededor de los componentes tubulares del pozo (columna de perforación, tubería de revestimiento o tubería de producción), y otros cuentan con superficies de rotura de acero templado que pueden atravesar concretamente la columna de perforación. Dado que los BOPs revisten una importancia crítica para la seguridad de la brigada, el equipo de perforación y el pozo en sí, son inspeccionados, probados y remozados a intervalos regulares determinados por una combinación de procesos de evaluación de riesgos, prácticas locales, y requisitos legales y de tipos de pozos. Las pruebas de los BOPs incluyen desde la verificación diaria de sus funciones en

pozos críticos hasta verificaciones mensuales o menos frecuentes en pozos con bajas probabilidades de problemas de control²².

Foto 6. Válvula BOP AIP



Fuente: Válvula BOP AIP, Catalogo de AIP.

A continuación, se presenta los flujos que presenta la BOP propiedad de AIP, la tabla se presenta en el sistema inglés de medida.

Tabla 1. Flujos BOP AIP

Flujo para Abrir el tubo Rams (gal/seg)	Flujo para Cerrar el tubo Rams (gal/seg)	Peso Sencillo (lb)	Peso Doble (lb)
0.81	0.91	800	1.460

Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

En operaciones de Slickline, sirven para cerrar el pozo alrededor del cable en caso de que alguno de los equipos de control presente fugas.

²²Schlumberger. BOP. [0]. 2017]. Disponible en: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/bop.aspx>

2.5.5 Hay pulley. Se usa para desviar el cable desde la caja de empaques (Stuffing box) hasta el carrete del camión de la unidad de Slickline con el objetivo de reducir la carga del lubricador durante el halado.

El diámetro de la Hay Pulley de este equipo es de 13 in ya que para escoger el diámetro adecuado para este se debe tener como mínimo 120 veces el diámetro del cable de acero, en este caso el cable de acero usado tiene un diámetro de 0.108 in.

Foto 7. Hay Pulley AIP



Fuente: Hay Pulley AIP, Catalogo de AIP.

2.6 INDICADOR DE PESO

Como su nombre lo indica, está diseñado para indicar el peso de la herramienta en subsuelo, este funciona de manera hidráulica, en este caso el indicador de peso que se posee es de 0 a 3000 lb y está compuesto principalmente por 3 piezas, el pulmón, la manguera y el manómetro.

Representa un papel importante en la unidad ya que permite al operario tener un seguimiento de la tensión ejercida en el cable de acero con el fin de evitar que el mismo colapse y se rompa, ya que si esto sucede la operación de toma de registros

se debería interrumpir e iniciar una operación de pesca para recuperar la sarta de registros.

Se instala en el Árbol de Navidad, usando una pequeña cadena, ya en su lugar el sistema de la celda de carga (pulmón), se acciona por medio de la presión presente en el cabezal del pozo, la cual hace expandir un líquido dentro de la celda que se desplaza por la manguera, hacia el registrador de presión (dial), donde el movimiento de la aguja será proporcional a la expansión del líquido en la celda.

Foto 8. Indicador de peso AIP



Fuente: Indicador de Peso de AIP, Catalogo de AIP.

El indicador funciona mediante la expansión y la contracción de un diafragma ubicado en su interior, una vez generada la señal esta es enviada a través de una manguera, la cual sirve de enlace que conduce por medio de un aceite la medida al manómetro el cual se encuentra calibrado bajo requerimientos específicos. Posee un sistema de purga, un calibrador y un regulador de ingreso de fluido para permitir una lectura acertada

2.7 ODÓMETRO

Es llamado Odómetro o Cuenta pies el utilizado por AIP es de marca Lufkin y es el encargado de contabilizar cuanto cable de acero entra o sale del pozo, y de esta forma determina la profundidad a la que se encuentra la herramienta.

Foto 9. Odómetro



Fuente: Odómetro Catalogo de AIP.

2.8 WIRELINE CLAMP

Tiene como función aprisionar el cable, sin causarle ningún daño, se utiliza para sujetar herramientas alojadas en el interior de los lubricadores mientras este es izado, o para cualquier actividad que requiera la sujeción del cable, su dimensión está relacionada directamente con el tipo de cable que se utilizara durante la operación.

Foto 10. Wireline Clamp.



Fuente: *Wireline Clamp*. Catálogo de AIP.

3. PARTES Y PIEZAS DEL SISTEMA SLICKLINE CONVENCIONAL Y PRUPUESTA DE INVESTIGACION

En este capítulo se definirá el sistema de slickline convencional y se expone la propuesta de investigación que permitirá llevar a cabo el contrato entre Oxy y la empresa AIP S.A.S

3.1 HISTORIA

Un sistema de Slickline tiene como función introducir diferentes equipos y herramientas en el interior del pozo²³; consiste básicamente en un hilo de alambre que puede ir trenzado o liso.

En principio este sistema se utilizó como una herramienta que permitía tomar medidas en los pozos de petróleo. Durante el proceso de construcción de los primeros pozos perforados, se usaban barras para determinar la profundidad. El proceso consistía en unir las barras de igual longitud con algún tipo de amarre en el pozo, siendo la medida conjunta de éstas la profundidad. En alguna oportunidad las mediciones de gran importancia se llevarían a cabo utilizando una herramienta llamada “surveyor’s chain”²⁴. Otra forma común de medir la profundidad durante una perforación en el suelo era utilizando un instrumento que consta de una cuerda y un elemento puntiagudo unido al final; la cuerda tenía una longitud conocida y esto permitía tener la medida directa de la profundidad del pozo; La principal desventaja era que la cuerda cambiaba su longitud, ya fuera porqué se enrollaba o se estiraba a medida que el proceso de perforación avanzaba, lo que resultaba en que la cuerda se rompiera seguido. En conclusión, la longitud de la cuerda no se podía tomar como fundamento para realizar una medida exacta.

El problema de la fragilidad de la cuerda fue solucionado a medida que pasó el tiempo y se empezó a utilizar un cable de alambre. Generalmente, el pozo contenía agua dentro de él, causando un ablandamiento en los cortes de rocas como por ejemplo areniscas, calizas y arcillas. En dicho caso si el perforador usaba una cuerda con marcas ésta se mojaría, además al salir del pozo y ser enrollada en el carrete de tambor o cabrestante era muy probable que pudiera por debido al contenido bacteriano del pozo que era arrastrado a superficie; entre otros factores que hicieron que los perforadores empezaran a utilizar el cable, aunque éste presentara algunas desventajas, como por ejemplo su gran volumen además de que podía sufrir un alargamiento en el hoyo debido a los esfuerzos de tensión que se ejercían sobre él. El resultado era que se rompiera por su peso o que las marcas se extendieran llevando a mediciones con alta incertidumbre.

²³ Mayzel, John. Slickline Training Manual

²⁴ Mayzel, John. Slickline Training Manual. 99.

En la misma época de la cuerda y el cable de alambre, algunos perforadores comenzaron a usar una cinta de acero plana con marcas. La cinta permitía una medición más exacta de la profundidad del pozo, aunque en resumen sufrió las mismas dificultades que sufrieron el cable y la cuerda, como que la resistencia de la sección transversal de la cinta no fuera suficiente para el peso que llevaba causando al final el rompimiento de ésta²⁵.

El alambre, que fue usado posteriormente tenía varias ventajas. Era más ligero que el cable, era más versátil que la cuerda y además se podía utilizar a una profundidad mucho mayor. Todo esto gracias a que el alambre se colocó sobre un tambor, que permitía bajar o subir éste debido a la torsión generada por una manivela acoplada.

Con el paso del tiempo, gracias a los avances en la tecnología que se enfocaron principalmente en la perforación de nuevos horizontes productores de hidrocarburos, que serían más profundos, se mejoró el tambor agregando una manivela con mejor transmisión, que permitiría soportar cargas de mayor peso en el cable. Además, se agregó un freno manual al tambor que daba la posibilidad de controlar la velocidad de la línea que entraba al pozo. El vapor era la fuente de energía más usada en ese momento, por lo tanto, contaba con un motor a vapor que se usó para tirar la línea que salía del pozo.

Halliburton empezó a usar la línea de acero conocido como “SLICKLINE” para realizar un tapón de cemento en lo profundo, mientras se cementaba el pozo; fueron los primeros en darle este uso. Estas unidades se montaron en un principio en la plataforma (*Rig* en inglés)²⁶ a pesar que tiempo después hizo parte del equipo del ingeniero de servicios y se empezó a usar el eje de la rueda trasera de un automóvil o camioneta.

3.2 OPERACIONES CON CABLE DE ACERO NO CONDUCTOR SLICKLINE

Las operaciones que se realizan con el cable de acero liso son de diferentes longitudes y diámetros (0.082, 0.092 o 0.0108 in), este cable debe ser capaz de soportar la sarta de soportar el peso de la sarta de herramientas, que varía de longitud y diámetro de acuerdo a la tarea o al tipo de operación que se planeó realizar.

Un sistema hidráulico (Unidad de Slickline) es el encargo del funcionamiento del sistema slickline; dicho sistema cuenta con un carrete o tambor en el que el cable de acero se enrolla. El Rope Socket permite la conexión del cable a la sarta de herramientas, el cable tiene que pasar por un conjunto de poleas y por medio del

²⁵ Mayzel, John. Slickline Training Manual. 46.

²⁶ Mayzel, John. Slickline Training Manual. 47.

lubricador antes de llegar a éste; de esta forma ingresa finalmente al pozo a para realizar la operación correspondiente²⁷.

Además de lo anterior, es importante decir que el responsable directo de que la operación de slickline salga como está planeado es el operador de la unidad, quien preferiblemente debe tener una excelente capacitación y experiencia.

3.3 APLICACIONES DEL SLICKLINE

El Slickline se puede utilizar para diferentes tareas, entre las cuales principalmente se encuentra:

- Chequeo de Tubería y determinación de Profundidad
- Operación de Válvulas de Seguridad
- Operación de válvulas de Gas Lift
- Corrida de CALIPERS
- Limpieza de Parafinas y residuos de Perforación
- Registros de presión y Temperatura (Memory Gauge)
- Sentada y Recuperación de Tapones
- Apertura y Cierre de Camisas de Circulación
- Calibración de tubería de Producción

3.4 EQUIPO DE SUPERFICIE

El equipo que se utiliza en las locaciones mientras se lleva a cabo las operaciones de slickline se usa para introducir y correr herramientas en el interior de los pozos sin necesidad de matarlos. El equipo necesario en superficie para las operaciones de slickline se desarrollen depende en su mayoría, además del trabajo a realizar, de la presión a la que se encuentra el pozo, así como el tamaño de la tubería.

Tabla 2. Clasificación de slickline en base a la presión.

Tipos	Presión
De baja presión	0 a 5000 psi
De alta presión	5000 a 20000 psi
Los especiales para H ₂ S y CO ₂	0 a 20000 psi

Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

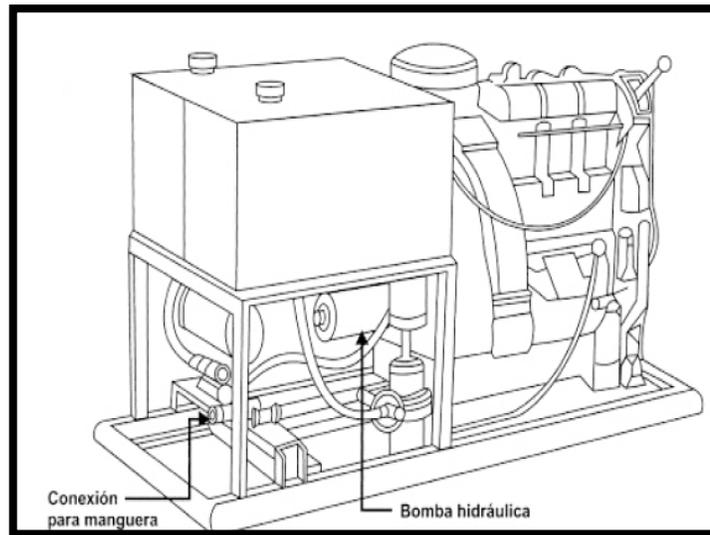
Siguiendo con la unidad de slickline se hablará de la unidad de potencia, la cual es la encargada de suministrar la energía necesaria. También se hablará del sistema hidráulico, el cual se encarga de los momentos de tensión que soporta la unidad de slickline durante la operación que se realice.

²⁷ Mayzel, John. Slickline Training Manual. 50.

3.5 UNIDAD DE POTENCIA

Es la encargada de generar el suministro de energía mecánica que se necesita para que el carrete y la unidad hidráulica funcionen; Sus principales partes en la mayoría de los casos son un motor diésel, que se encuentra fijo, el cual se refrigera con un fluido (aire o agua). Su potencia la determina el sistema hidráulico y el tamaño de carrete que tenga que mover; la potencia mínima necesaria para que un sistema estándar funcione es de 40 Hp, ésta se transmite al sistema hidráulico mediante una bomba hidráulica que se conecta al volante del motor y se activa por rotación⁶.

Figura 6. Unidad de potencia operaciones de slickline.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.6 SISTEMA HIDRAULICO

El sistema hidráulico es el encargado de convertir la energía mecánica de la unidad de potencia en fuerza hidráulica, que permite controlar y mover el carrete, está compuesto por válvulas que permitirán controlar el sentido del flujo y la potencia de éste, sus principales partes son:

- Tanque de almacenamiento de aceite.
- Bomba hidráulica.
- Motor hidráulico.
- Válvula control remoto.
- Válvula de cuatro vías o dos.
- Carrete de almacenamiento.

3.6.1 Tanque hidráulico. Es el lugar donde se almacena el aceite hidráulico. Hay dos factores muy importantes que se tienen que tener en cuenta para determinar la

capacidad de almacenaje: el primero es la capacidad volumétrica requerida para que el equipo funcione, lo segundo es saber si se tiene o no un enfriador de aceite. De no tener un enfriador es necesario almacenar el doble de aceite requerido por el sistema para que el aceite circule y se enfríe. En caso de que se tenga un enfriador, solo se deberá almacenar la cantidad requerida.

El tipo de aceite utilizado en estos sistemas debe ser igual o menor a un grado 68. Posee una capacidad de 4.8 litros.

3.6.2 Bomba hidráulica. Tiene como función suministrar el fluido al sistema, se encuentra conectada al motor de forma directa. Su capacidad volumétrica es seleccionada a partir de la potencia que requiera el sistema. Adicionalmente tiene una válvula reguladora que permite establecer el rango de presión máxima a la cual debe trabajar.

Posee una bomba P20 que brinda entre 2000-5000 psi y un caudal de 12-20 galones.

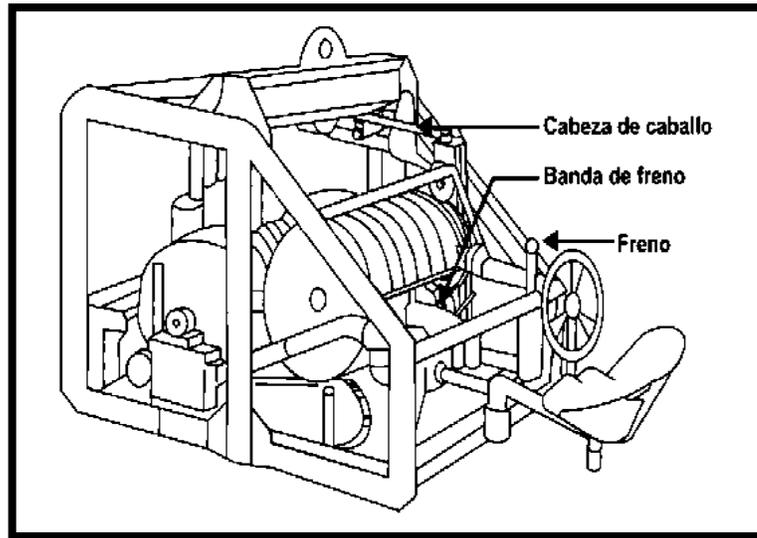
3.6.3 Motor hidráulico. Trabaja en ambas direcciones de tal forma que el movimiento pueda ser ascendente o descendente; tiene como función el dar movimiento a la caja de cambios. Su capacidad y potencia estará dada por el diseño del sistema. Posee un motor M20 de capacidad 2 L y una potencia de 129 Hp.

3.6.4 Válvula remota. Se encuentra en el panel de control de la unidad y tiene como función controlar la entrada de aceite al motor hidráulico, lo que permite que éste funcione o no.

3.6.5 Válvula de cuatro vías. Tiene como función dirigir el flujo de hidráulico hacia el motor con el fin de mover el carrete en ambos sentidos.

3.6.6 Carrete. Posee una banda de frenado y una catalina que le permite mediante una cadena conectada a la caja de cambios girar. En general es una bobina metálica que se encarga de almacenar el cable. Su tamaño varía dependiendo de la medida de cable que contenga. En este caso el carrete tiene un diámetro inicial de 9.8 in y tiene una capacidad de almacenamiento de 10.000 ft para almacenar cable.

Figura 7. Esquema sistema hidráulico y carrete.



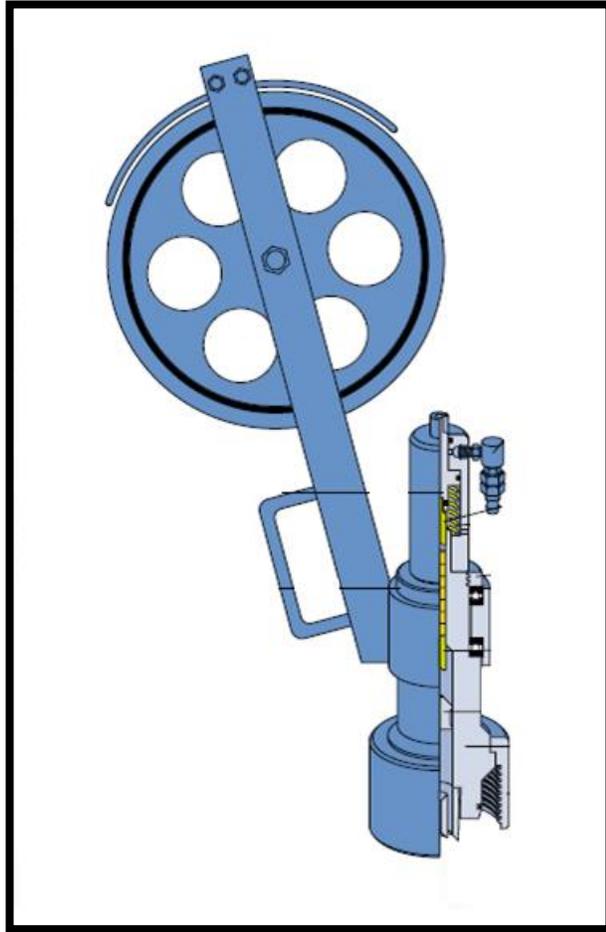
Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.7 SISTEMA DE CONTROL DE PRESION (SCP)

El sistema de control de presión o SCP, es el conjunto de herramientas disponibles en una unidad de Slickline convencional que se encarga de controlar la presión a la cual se encuentra el pozo que se desea intervenir, ya que este tipo de trabajos se realizan sin cerrar la producción o inyección a los pozos, a continuación, se describen las herramientas del SCP en una unidad de Slickline convencional.

3.7.1 Stuffing box. Tiene como función principal crear un sello alrededor del cable, ya sea que se encuentre estático o no, en la parte superior del lubricador. Además, puede mantener la presión durante la operación del Slickline en pozos con presiones en el cabezal de hasta 10000 psi.

Figura 8. Esquema Stuffing Box.

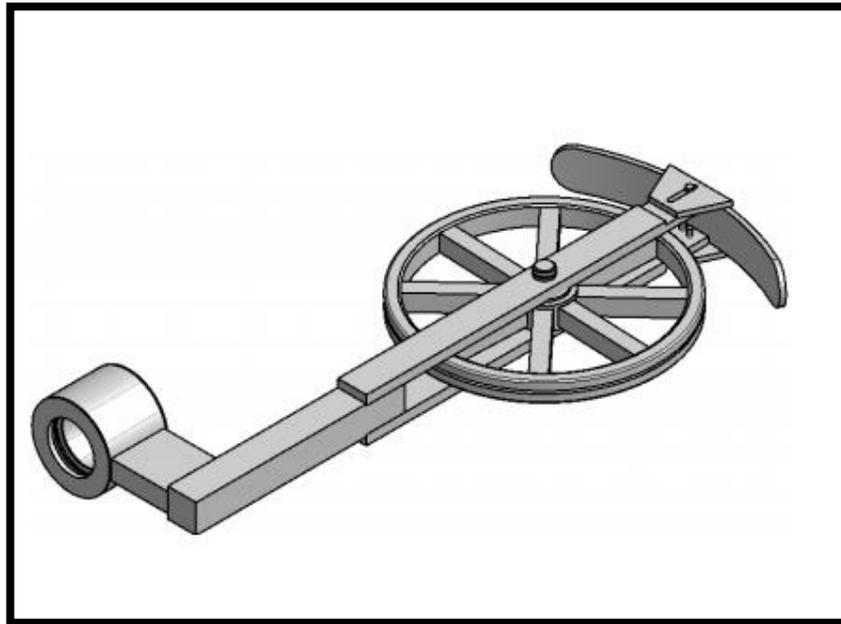


Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

Funciona como soporte para la polea giratoria y le permite una rotación de 360°. La Stuffing Box tiene un embolo preventor de patadas de pozo interior que sella el flujo en caso de que el empaque falle o que el cable se rompa y se salga de la sección de empaquetamiento. Además, en la parte inferior de los elementos del empaque se encuentra una válvula de alivio, permitiendo así, el cambio de cauchos de empaquetamiento en casos de emergencia.

3.7.2 Polea. Se encuentra en la parte superior del SCP (sistema de control de presión), es decir en la Stuffing Box; permite que el cable tenga el ángulo de incidencia correcto para que ingrese en ésta, además facilita la tensión en caso de pega o atasco de la herramienta en el interior del pozo.

Figura 9. Esquema de la polea.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.7.3 Lubricadores. Permiten bajar y remover herramientas de servicio de Slickline a un pozo con presión sin tener que matarlo. Cada sección consiste en un tubo (normalmente de 8 – 10 ft) con Quick Unions (uniones rápidas) en sus extremos que facilitan su rápido armado y desarmado²⁸.

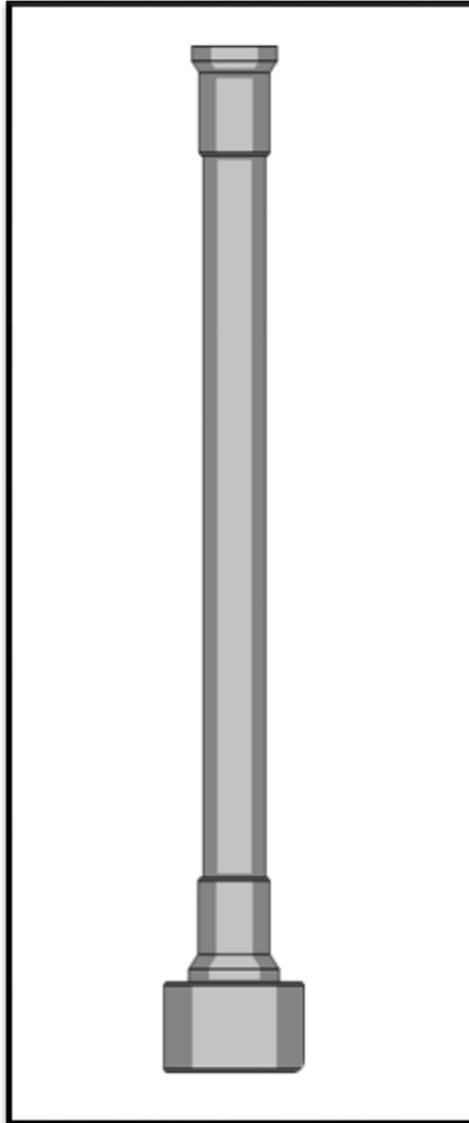
Estas uniones son roscadas en aplicaciones de baja presión (5000 psi); por otro lado las uniones deben ser soldadas en el extremo del tubo para aplicaciones que manejen altas presiones (más de 5000 psi)

El diámetro de las secciones inferiores debe ser mayor y se determina por el diámetro exterior de la sarta de herramientas que se usa en el Slickline Mientras las secciones superiores pueden ser de menor diámetro, con el fin de permitir el mínimo peso del conjunto²⁹. Se encuentra entre la Stuffing box (en la parte superior) y la válvula de alivio o despresurizado (parte inferior) para remover la presión del interior del lubricador cuando se termina la operación.

²⁸ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 65.

²⁹ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009 70.

Figura 10. Esquema del lubricador.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

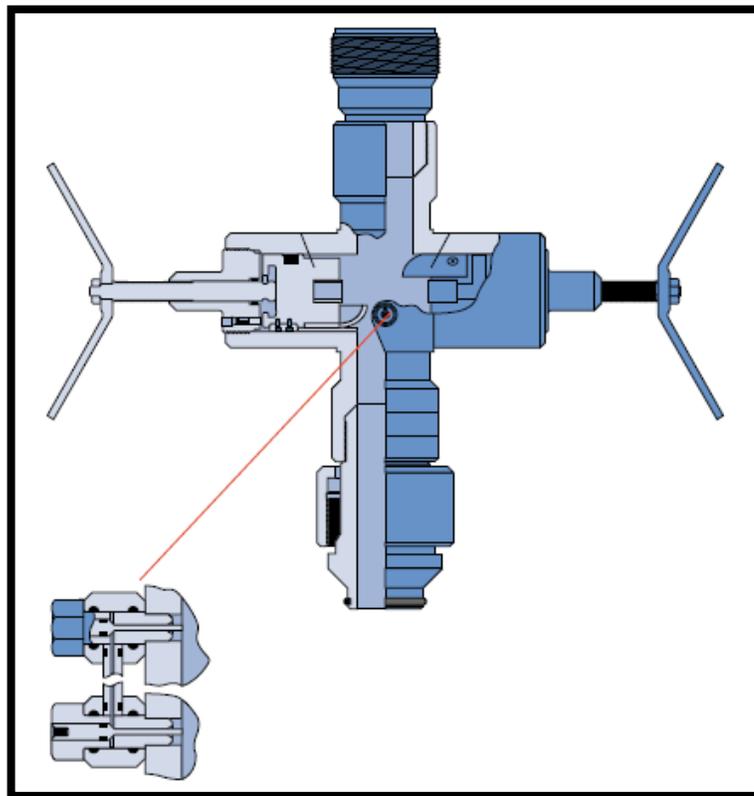
3.7.4 Preventora de reventones (B.O.P). Se usa durante operaciones de Slickline para controlar o prevenir reventones (Blow out) de ahí su nombre válvula preventora o blow out preventer; se encarga de cerrar el pozo alrededor del cable en momentos en los que se presenten fugas en el lubricador o la caja de empaques o en operaciones de pesca.

Se instala en el extremo superior del adaptador que tiene la cabeza de pozo y se debe colocar siempre, incluso si se presume que no es necesaria. La válvula está

compuesta de arietes selladores de alta presión o “Rams” que permiten cerrar rápidamente de forma manual o hidráulicamente³⁰ aislando el pozo sin dañar el cable.

El cable es guiado mediante centralizadores a la parte central de la superficie sellan a medida que se cierran los arietes. Todas las preventoras poseen válvulas para equalizar la presión por arriba y debajo de los arietes (presión de lubricador y presión de pozo) con el fin de abrir estos después de cerrarse.

Figura 11. Esquema BOP.



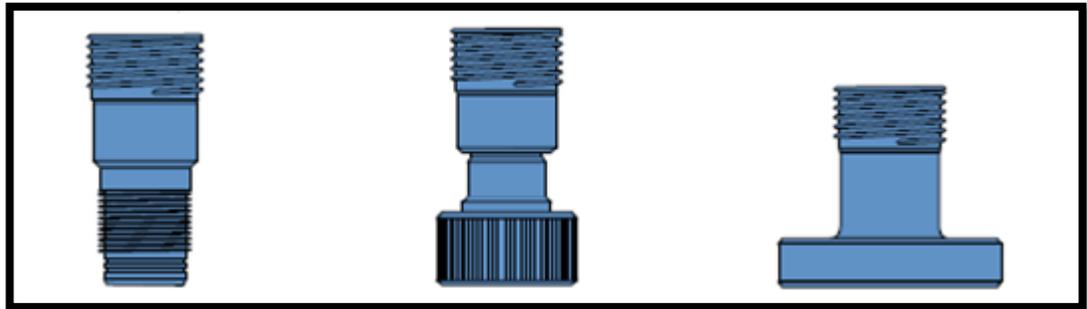
Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.7.4 Tree conection o botella. Accesorio en forma tubular que tiene como función la conexión del equipo de superficie con el cabezal del pozo (se conecta el extremo inferior de la B.O.P. al extremo superior del árbol de navidad). Generalmente son piezas cortas de no más de un metro de longitud, como su función es sostener el peso del equipo de superficie, posee un pin hembra en la parte superior que debe ser del mismo tipo de la conexión del equipo (pueden ser OTIS o BOWEN) y en la

³⁰ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 75.

parte inferior un pin macho (EUE), dependiendo del peso del equipo y de las características del cabezal de pozo, se aconseja tener uno para cada tipo de tubería.

Figura 12. Esquema diferentes tipos de botellas.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.7.5 Hay pulley. Son utilizadas para dar los ángulos que se necesiten durante la operación. La Hay Pulley o polea de tensión se conecta al pulmón de forma directa y recibe la tensión del cable, cuyo ángulo debe ser de 90° con respecto a la unidad y al Stuffing box que se encuentra ubicada en la parte superior de los lubricadores. Posee un sistema de seguridad que evita que el cable se salga durante las operaciones (ascenso, descenso o martilleo).

Se debe tener en cuenta en el momento de escoger el tamaño de la polea que ésta debe ser 120 veces mayor al diámetro exterior del cable que se utilizará. En la siguiente tabla se presentan las medidas más comunes de cables (lisos y guayas) y el tamaño correspondiente de su polea:

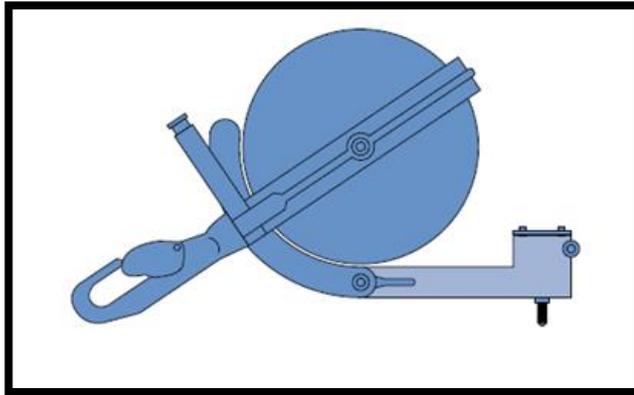
Tabla 3. Selección diámetro de la Hay Pulley.

Dimensión de Cable (in)	Diámetro Recomendado (in)
0.092	11.25
0.108	13.00
0.125	15.00
0.3125	12.00
0.2500	16.00
0.4375	20.00

Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

Se le puede adicionar en la parte frontal un limpiador de cable, que se encarga de eliminar impurezas que se adhieran al cable durante la operación.

Figura 13. Esquema Hay Pulley.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.8 INDICADOR DE PESO

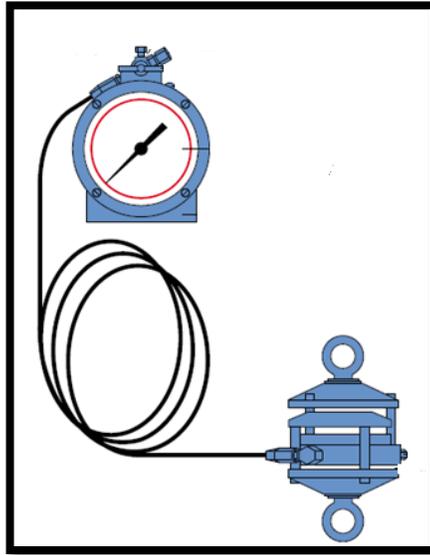
Tiene como función indicar el peso de la herramienta que se encuentra en subsuelo, su funcionamiento es hidráulico y tiene los siguientes componentes:

- Pulmón
- Manguera
- Dial o Manómetro

Dependiendo de las condiciones de operación el indicador de peso se puede conseguir de 0 a 2000 lb, 0 a 3000 lb y de 0 a 5000 lb³¹.

³¹ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 80.

Figura 14. Esquema Indicador de Peso.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

Comúnmente se usa la marca comercial “Martin Decker”. Son muy importantes en operaciones de martilleo de línea, sirven para conocer la tensión que está soportando el cable. Se ubica en el árbol de navidad, utilizando una cadena. Una vez ubicada, el sistema de la celda de carga (pulmón) se acciona por medio de la presión presente en el cabezal del pozo que hace expandir un líquido dentro de la celda que se mueve a través de la manguera en dirección al registrador de presión (dial) donde el movimiento de la aguja será proporcional a la expansión del líquido en la celda.

Durante la operación se debe revisar frecuentemente la abertura de la celda de carga para garantizar su correcto funcionamiento y lectura.

3.8.1 Pulmón. Genera la señal hidráulica que pasa por la manguera al dial, en su interior cuenta con un diafragma que se contrae o expande según la operación que se realice, tiene un sistema de anclaje, que tiene como función asegurarse al pozo por medio de una cadena. Posee además una válvula de drenaje ubicada en la parte inferior que permite calibrar el equipo en caso de que se requiera reemplazar el diafragma. Una vez se calibre, el espacio existente para el alojamiento debe ser igual a 9/16 in para que su lectura sea correcta³².

3.8.2 Manguera. Tiene la función de enlazar el pulmón y el dial, en su interior se encuentra alojado el fluido que es necesario para su operación; el tipo de fluido comúnmente más usado es un aceite de grado 15, el mismo que se utiliza en las

³² Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 35.

cajas de cambios hidráulicas, si se cambiara el aceite utilizado, la lectura sería lenta ya que el desplazamiento del fluido sería lento. Dependiendo el tipo de trabajo la manguera varía su longitud, pero se recomienda para indicadores de 0 a 2000 lb un largo de no más de 20 m y para indicadores de 0 a 5000 lb un máximo de 30 m. Su diámetro interior no debe ser superior a $\frac{1}{2}$ in³³.

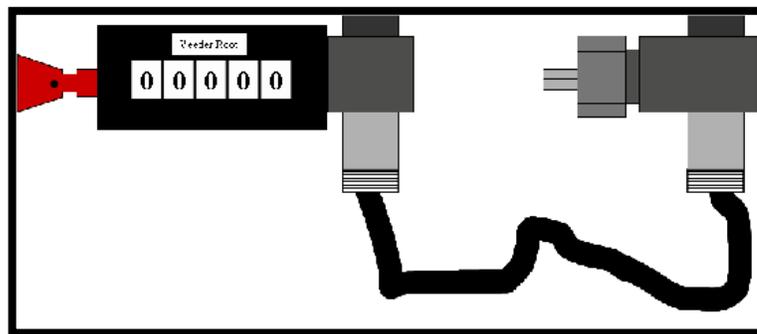
3.8.3 Dial o manómetro. Se encarga de convertir la información enviada por el pulmón a través de la manguera. Está compuesto por un sistema de medición calibrado para las especificaciones del trabajo, sus rangos de lectura varían entre 0 a 2000 lb, 0 a 3000 lb y de 0 a 5000 lb. En su parte superior cuenta con un sistema de purga, un calibrador de caratula y un regulador de ingreso de fluido, el cual tiene como objetivo calibrar la sensibilidad de la lectura³⁴.

3.9 ODÓMETRO

Se encarga de medir la longitud del cable que sale y entra al pozo, determinando así la profundidad a la que se encuentra la herramienta. Funciona por medio de una guaya conectada a la polea contadora, que al girar activa un mecanismo que cuenta el número de vueltas dadas por la polea creando así una relación directa con la profundidad. Los odómetros pueden dar su lectura en pies o metros, dependiendo el lugar de trabajo.

Este juego de poleas permite también la lectura de la cantidad de cable que sale o entra, permite al operador organizar el cable que ingresa en el carrete, por medio de unos guías que ayudan a la distribución del cable en el tambor³⁵.

Figura 15. Esquema odómetro.



Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

Se encarga de dar la profundidad exacta en todo momento de la herramienta a medida que es corrida dentro del pozo, con relación a la cabeza de pozo o punto de referencia (cero). La parte principal del indicador de profundidad es una polea

³³ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 40.

³⁴ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 42

³⁵ Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009. 43

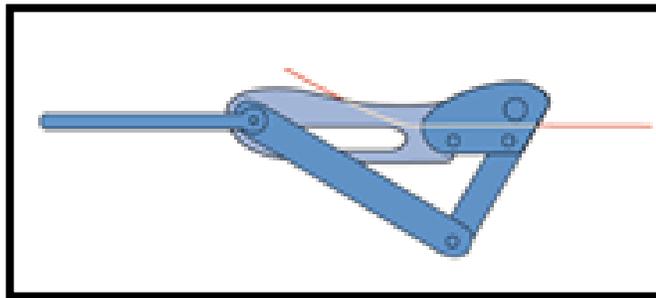
(rueda) acanalada, alrededor de la cual da una vuelta el cable¹⁶. Son normalmente instalados sobre un soporte móvil “*spooler*” que se desplaza libremente en forma horizontal, guiado por el cable que sale del carrete.

Es un instrumento de mucha importancia porque permite al operador saber a qué profundidad se encuentra la herramienta; también se puede controlar la velocidad y se puede frenar antes de la caja de empaques (tope) evitando así daños en ésta.

3.10 WIRELINE CLAMP O RANA

Herramienta mecánica que opera de forma manual, tiene como función para fijar el cable sin dañarlo, se usa para sujetar herramientas alojadas en el interior del lubricador mientras este es izado o cualquier actividad que requiera la sujeción del cable, su dimensión depende del tipo de cable que se utilice durante la operación.

Figura 16. Esquema Wireline Clamp.



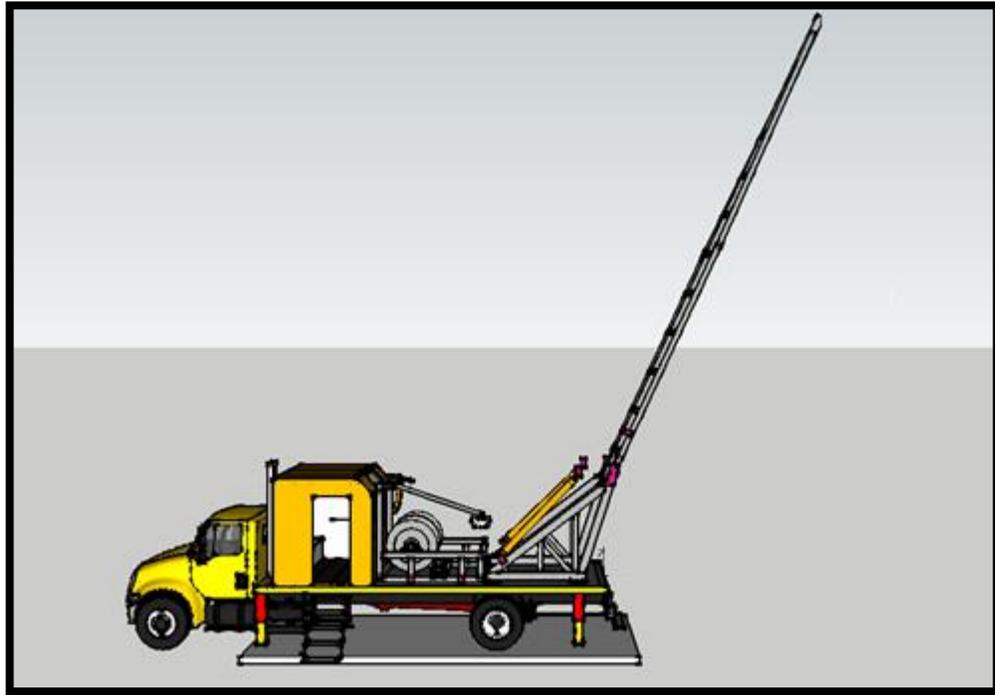
Fuente: Colregistros. Manual de Operaciones de Slickline. 2009.

3.11 PROPUESTA PARA LA INVESTIGACION

La idea para el cambio de la unidad de Slickline convencional utilizada actualmente en la empresa AIP surge con la aparición de varios inconvenientes registrados en las operaciones realizadas en el inicio del contrato en el Campo la Cira–Infantas, la demora y poca practicidad de la unidad convencional presente en la operación obliga a la empresa prestadora de servicios buscar soluciones de corto plazo con el fin de cumplir el contrato con la empresa operadora, y con esto realizar contratos futuros con la misma sin ningún tipo de incumplimiento.

La primera idea para solucionar el problema presente fue aumentar el número de unidades Slickline en el campo La Cira-Infantas, esto para incrementar el número de lecturas diarias de pozos inyectoros, esto resultaría ser una solución factible, pero la disponibilidad de las unidades extras para el contrato presenta un problema financiero para la compañía, ya que las maquinas se encontraban actualmente en uso en diferentes contratos, y el alquiler de unidades ajenas representa un costo excesivo y el contrato con OXY perdería su fin lucrativo.

Figura 17. Esquema del nuevo diseño de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

La propuesta para la investigación propone un rediseño de una unidad de Slickline, en la cual se armara una nueva unidad desde el inicio; con partes y piezas de unidades de Slickline convencionales. Lo anterior propone un reto de diseño ya que la unión y mejora de todas las partes y piezas de una unidad de Slickline mas los equipos auxiliares y de izamiento que requiere la operación actualmente, en una sola robusta unidad presenta dificultad en los sistemas de potencia en el mismo espacio requerido para el ensamble de todos los equipos y sobre todo los costos del proyectos tienen que ser viables para el contrato.

Para solucionar el problema anterior, se implementó como base un camión de 245 Hp en potencia máxima el cual proporciona en su mayoría la potencia y energía de todo el sistema y cada uno de sus componentes, este camión posee una carrosa de 6.7 m de longitud en la cual se encuentra la cabina de control de la unidad, a consideración del autor y los ingenieros asesores se decidió implementar un brazo hidráulico que representa la función de la grúa que para la operación antigua representaba un equipo auxiliar al de Slickline, eliminando así el uso de este equipo extra y aprovechando la capacidad del camión. El carrete doble (tal como lo muestra la foto 17) que se decide implementar facilitando el uso de cable de acero en paralelo con cable de fibra óptica con los cuales la unidad podrá realizar operaciones de Slickline y Wireline; el carrete es uno solo en el que se encuentran

ambas líneas. Se tuvo en cuenta en el diseño del carrete del Wireline que este cumpliera con el diámetro óptimo que permitiera realizar las operaciones sin que se dañara la fibra óptica que este tiene.

El nombre que lleva la unidad TSS-003 debido a que la unidad es la tentativa de Sistema Slickline número tres planteado por el Autor y por los asesores del proyecto, los cuales encontraron en esta alternativa la mejor opción para realizar el cumplimiento del contrato entregado a AIP S.A.S por OXY Colombia.

A la unidad se le disponen sistemas hidráulicos y eléctricos, con la adecuación mecánica al sistema de potencia del camión, con el fin de aprovechar todos los caballos de fuerza del motor, estos sistemas distribuyen la potencia a los diferentes tipos de equipos, como a los brazos hidráulicos y los gatos estabilizadores, el carrete doble y la cabina de control, de esta manera se obtiene la unidad TSS003 con todas las características para cumplir a cabalidad con las operaciones realizadas en el Campo La Cira-Infantas, y para muchas otras actividades en contratos venideros para la empresa.

La unidad propuesta cumple con los parámetros de levantamiento de carga y tiempo de toma de registros permitiendo así realizar actividades de chequeo de tubería, determinación de profundidad, operación de válvulas, corrida de diferentes registros, labores de limpieza (parafinas y residuos de perforación), sentada y recuperación de tampones, apertura de camisas y calibración de tubería de producción. Los datos en los que se van a tomar los registros cumplen con los requisitos de la maquina ya que la maquina puede alcanzar una profundidad superior a los 4500 ft a profundidad máxima en la Cira, debido a que cuenta con un carrete con capacidad para más de 10.000 ft en línea de acero y fibra óptica la además tiene la capacidad de levantar equipos de alta presión (que van desde los 5.000 a los 20.000) gracias a su sistema de izaje; La presión manejada por las BOP es de 10.000 psi. El peso conjunto de la BOP y el lubricador es de 250 Kg por tanto es necesario una grúa auxiliar para la unidad convencional, problema solucionado en la unidad que se propone, ya que puede levantar más de 8000 kg.

A continuación se presentarán las ventajas que trae este nuevo diseño:

- Al ser una sola unidad la que llevará a cabo el servicio y no requerir una grúa auxiliar el costo de servicio será menor.
- Cumple funciones de chequeo de tubería, determinación de profundidad, operación de válvulas, corrida de diferentes registros, labores de limpieza (parafinas y residuos de perforación), sentada y recuperación de tampones, apertura de camisas y calibración de tubería de producción.
- Es un camión que levanta un mayor peso que la unidad convencional y posee un tamaño que no es significativamente mayor, permitiendo que sea versátil,

incluso más que la unidad convencional al realizar la operación de izaje y arrastre en la misma unidad.

- Al ser un vehículo nuevo requiere menor mantenimiento, tiempo importante que será usado en el cumplimiento del contrato.
- La razón de ser del modelo que se rediseñará es cumplir el contrato, por tanto la velocidad de toma de registros deberá ser tan rápida que reemplace a 3 unidades convencionales.

4. ALTERNATIVA DE DISEÑO A LA UNIDAD DE SLICKLINE CONVENCIONAL

En este capítulo se hablará de la alternativa de diseño de la unidad que permitirá cumplir con el contrato establecido entre por OXY Colombia para solucionar los problemas presentes en la actualidad de la empresa AIP en el campo La Cira – Infantas, se plantea una nueva unidad rediseñada de Slickline en la cual se pretende tener mayor rendimiento en tiempos de lectura, y practicidad a la hora de tomar los registros de inyección requeridos en el proyecto. La unidad TSS003 es una unidad creada desde planos para cumplir una serie de trabajos específicos para el proyecto, conforme se empieza a construir se le agregan unas características especiales para crear una maquina robusta y de envergadura que sea capaz de cumplir con bastantes trabajos y con la cantidad de normas y especificaciones requeridas para el caso.

La unidad TSS003 es una unidad de Slickline de nuevo desarrollo pensada para trabajos de registros, pesca, fibra óptica y Slickline, para esto cuenta con una cabina de considerable tamaño para 5 ocupantes, un mástil retráctil recargado en el camión de 40 ft, y con una extensión de 15 ft más de altura para colocarse a una distancia de 4,5 m del cabezal de pozo si es necesario. La estructura principal es un chasis internacional 4300 de capacidad de 10 toneladas, equipada con un carrete doble configurado en secciones para dos tipos de trabajos diferentes, con guayas y/o alambres de diferentes características, todo esto con el fin de que la unidad este en capacidad de cumplir con variedad de trabajos.

El sistema de potencia de la unidad parte de un sistema eléctrico, hidráulico y de seguridad que permite tener una operación eficiente y segura. La unidad se divide en 4 partes principales las cuales son:

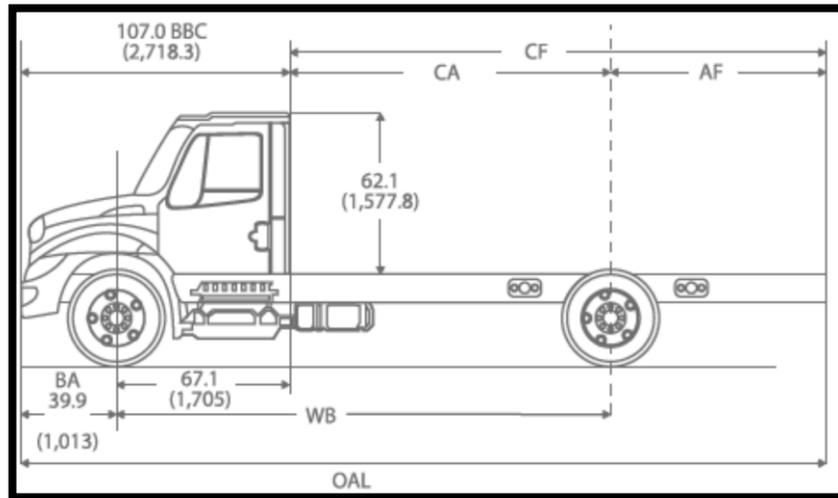
- Camión
- Mástil (grúa)
- Arrastre
- Sistema Hidráulico

4.1 CAMION

El camión empleado para el diseño es un DuraStar 4300 que cumplía con las dimensiones y la potencia para poderle implementar toda la infraestructura necesaria para convertirse en una unidad de Slickline y Wireline. Cuenta con un motor NAVISTAR, el cual alcanza tres diferentes potencias máximas variando las revoluciones por minuto a las cuales se trabaja y de torque máximo. La primera potencia máxima alcanzada por el motor nos brinda 210 Hp a 2.300 rpm trabajando con un toque máximo de 520 lb/ft a 1.400 rpm, la segunda potencia máxima es de

225 HP @2200 rpm, con un torque máximo de 560 lb/ft @1400 rpm y por último la tercera potencia arrojada es de 245 Hp a 2.600 rpm con un torque máximo de 620 lb/ft a 1.400 rpm. En la figura 18 y tabla 4 se exponen las dimensiones del camión.

Figura 18. Camión DuraStar 4300.



Fuente: DuraStar. Manual DuraStar 4300.

La tabla muestra las dimensiones y el peso de la unidad Durastar 4300, cuyos valores se ven expresados en el sistema de medida y en el sistema internacional de medida.

Tabla 4. Dimensiones del camión DuraStar 4300.

Descripción	In	mm
Distancia entre ejes (WB)	236	5,994.4
Cabina a eje trasero (CA)	168.9	4,290.1
Cabina a fin de chasis (CF)	266.9	6,779.3
Volado trasero (AF)	98.0	2,489.2
Largo total (OAL)	373.9	9,497.1
	lb	Km
Peso bruto vehicular (PBV)	35,000	15,875.7
Capacidad delantera	12,000	5,443.1
Capacidad trasera	23,000	10,432.6
Peso vehicular	11,247	5,101.6
Peso en eje trasero	7,089	3,215.5
Peso en eje delantero	4,158	1,886.1

Fuente: DuraStar. Manual DuraStar 4300.

El camión cuenta con una transmisión Fuller FS-6305B manual de cinco velocidades, el embrague es de disco cerámico sencillo de 14 in con 620 lb/ft de capacidad con un ajuste manual, el eje delantero y trasero cuentan con una resistencia de 12.000 lb y 23.000 lb respectivamente con suspensiones de muelles parabólicos con amortiguadores y suspensiones auxiliares en el eje trasero de hule libre de mantenimiento que aumenta en 4.500 lb la capacidad de carga del vehículo.

El bastidor del camión es de acero con tratamiento térmico lo cual le permite tener una resistencia a la cedencia de 120.000 lb/plg², las dimensiones del mismo son de 10.125 por 3.580 por 0.312 in. Cuenta con un tanque de aluminio en forma D con una capacidad de 378 litros y un filtro separador de agua-combustible para evitar daños en el motor.

4.1.1 Cabina. La cabina cuenta con un área neta de 9,24 m², la cual está diseñada con una estructura de tubo estructurado rectangular, posee paneles interiores aislados con lana mineral de roca termo acústica tipo paralelo lo cual nos aporta un aislamiento sonoro ideal para trabajos en campo, de igual manera nos brinda seguridad para los operarios que se encuentren dentro de esta. Posee Acero galvanizado con tratamiento anticorrosivo por inmersión y dos capas de pintura con terminado a base de uretano con el fin de proteger la estructura a las condiciones corrosivas a las que se pueda dar expuesta.

La parte exterior de la cabina cuenta con un revestimiento en paneles en lamina para hacer que la estructura sea robusta, la puerta se encuentra ubicada en la parte derecha del camión y de la estructura de la cabina, cuenta con marco y chapa de seguridad, de igual manera para acceder a la estructura se cuenta con una escalera abatible en ángulo y malla en acero.

Foto 11. Cabina camión DuraStar 4300.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

El piso de la cabina es de drywall de 200 mm calibre 6, lo cual ofrece una excelente estabilidad y resistencia para los operarios que se requieran, las ventanas de la cabina son en vidrio templado, con el fin de brindar seguridad al operario y también ayudar con el aislamiento acústico pensado para la cabina.

La consola de mandos se encuentra en un mueble con mesa y cajonero en lámina, alimentado por un sistema eléctrico de 110 y 220 V de potencia y con un respaldo eléctrico de 12 VDC, toda esta centrada en la cabina y al asiento del operario para generar una comodidad al trabajador, adicionalmente la cabina cuenta con un sistema de aire acondicionado lo cual permite que la maquina trabaje en ambientes con temperaturas altas sin afectar al operario de la unidad.

4.1.2 Consola de mando de cabina. La consola de mandos mencionada anteriormente se diseñó con el fin de poder manejar totalmente la unidad desde la cabina, esto con el fin de ahorrar tiempos en pozo y para hacer que la operación se tornará eficiente y fácil para el operario encargado de la misma, esta consola se

construyó en ángulo estructural de 2 in x ½ in, con un enchapado en acero calibre 14 y aluminio.

Esta consola cuenta con doce diferentes obturadores los cuales cumplen con una función específica dentro del control de la unidad, entre los cuales se encuentran 4 palancas de movimiento sensible, las cuales controlan el Spooler, el Winche y el gato estabilizador de la plataforma. Cuenta de igual manera con otras dos palancas principales de desplazamiento positivo, la primera encargada del control del malacate y la segunda encargada del freno de seguridad del carrete.

Dos diminutas palancas de simple efecto las cuales se encargan del pito y del acelerador, un botón de color verde el cual activa el control de las válvulas del sistema hidráulico que se encuentran en la parte exterior de la cabina, y por ultimo 3 palancas de simple efecto protegidas que controlan las luces de la unidad como lo son la luz del master, la luz del techo para trabajos nocturnos, la luz de las válvulas hidráulicas y la luz de los relojes.

A continuación se muestran los diferentes mandos que se pueden realizar desde la consola de mando en el interior de la cabina controlando así las siguientes herramientas de la unidad TSS003:

- Girar el Winche de la grúa
- Girar el Winche principal
- Frenar
- Controlar las revoluciones del motor del camión
- Mover el brazo hidráulico de telemetría
- Realizar una parada de emergencia
- Control entero de luces
- Corneta
- Extensión del brazo telescópico de la grúa
- Pito
- RPM del carrete
- Temperatura del sistema
- Presión en aceite para el sistema hidráulico
- Presión en sistema para el sistema neumático
- Voltaje del sistema eléctrico
- Horómetro (horas de uso de la unidad)

Foto 12. Palancas sensibles de la consola de mando en el interior de la cabina.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

De igual manera en la consola de mando existe un tablero en el cual se pueden ir observando las lecturas de todos los sistemas de seguridad que deben ser monitoreadas por la seguridad del personal y la integridad de la unidad, existen tres manómetros, un termómetro, un horómetro y un tacómetro los cuales permiten observar las siguientes lecturas del sistema de la unidad TSS003:

Foto 13. Consola de mando en el interior de la cabina.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

4.1.3 Plataforma. La plataforma es construida con un perfil estructural de 4 y 6 in, la cual posee un piso y tapa trasera de lámina alfajor de 1/8 de in, de igual manera el piso posee un recubrimiento en coll roll calibre 14, puentes en canal estructural de 4 in, vigas en canal estructural de 6 pulgadas y el soporte para prensa. Toda esta estructura diseñada para aportar una estructura robusta a la unidad y de una resistencia considerable, toda la estructura esta impermeabilizada con premier anticorrosivo y posee un color gris sintético.

En esta es donde se encuentran las herramientas principales de la unidad TSS003, en frente de la cabina se encuentra todo el sistema del carrete doble utilizado en este diseño, rodeando la cabina se encuentran dos brazos hidráulicos los cuales son los encargados de la nivelación del brazo hidráulico principal, el cual esta sostenido por una estructura doble triangular que se encuentra en la parte trasera de la plataforma, por último se encuentran los gatos hidráulicos estabilizadores en la parte inferior de cada una de las cuatro esquinas de la plataforma.

Foto 14. Plataforma de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

De igual manera la plataforma cuenta con seis luces laterales, seis luces traseras, reflectores traseros, luces complementarias para tener una iluminación adecuada para trabajar con la unidad a cualquier hora del día. Un convertidor de 3500 W máximos de potencia, dos tanques de combustible cada uno con 70 gal de

capacidad y por último dos extintores para cumplir con las normas de seguridad exigidas en la industria.

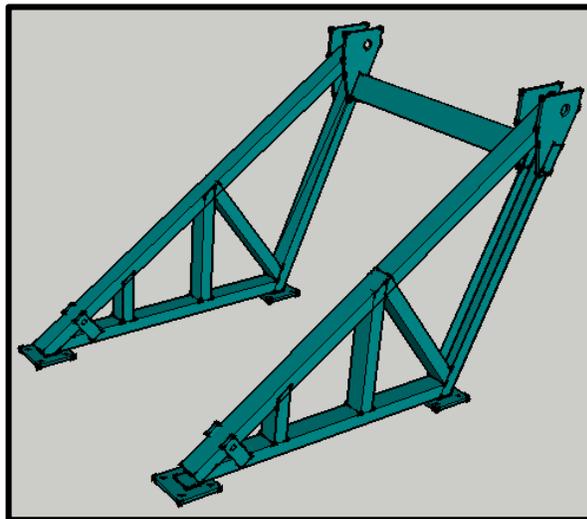
4.2 MÁSTIL

El mástil o grúa es una estructura trapezoidal que posee tres cuerpos la base, un mástil y un boom, este mástil se implementó en la plataforma de la unidad TSS003 con el fin de eliminar el uso de una grúa auxiliar para el montaje y desmontaje de los tubos lubricadores y de la BOP, ya que la presencia de la grúa auxiliar representa costos para la compañía, así como demora en los tiempos de lectura de los pozos, ya que al ser una unidad externa a la de Slickline, el parqueo, montaje y desmontaje de las herramientas significaban dos horas de tiempo perdido.

Con la implementación del mástil en la nueva unidad, se disminuyó significativamente este tiempo perdido, haciendo que el montaje y desmontaje de las herramientas tardara un total aproximado de 32 min, haciendo posible que el rediseño aumentara su eficacia considerablemente.

El diseño del mástil se pensó por tres piezas separadas, la base la cual es la encargada de brindarle el soporte y estabilidad entre las otras dos secciones y el cuerpo de la plataforma, esta base es de tubería rectangular estructurada de 150 mm x 150 mm x 8mm, con un anclaje en láminas de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1 in, con bujes y pasadores para gatos hidráulicos, reforzada en la base por bridas de acero.

Figura 19. Base de Mástil Unidad TSS003.

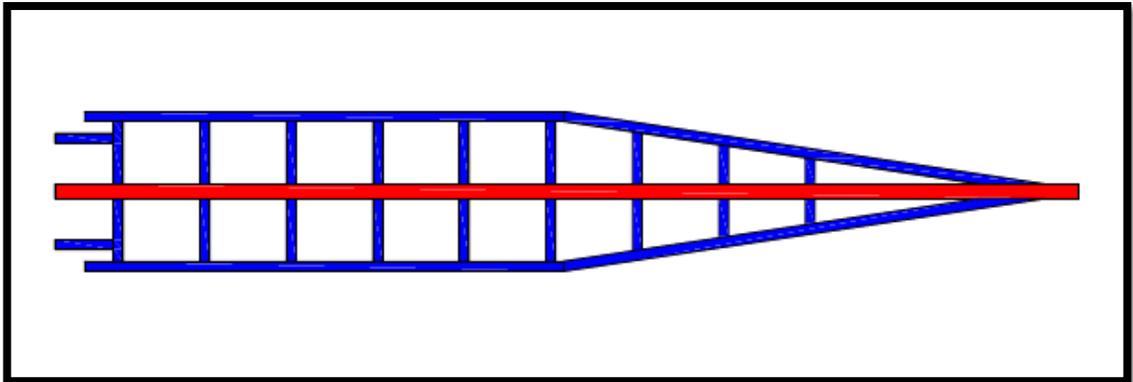


Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

La segunda sección del mástil posee una forma trapezoidal, a la cual acopla por uno de sus extremos con la base anteriormente mencionada, y por la mitad de su cuerpo se acopla con la última parte llamada boom. Este cuerpo trapezoidal tiene

una longitud de 10,5 m con extensión de 5,50 m, la estructura central es de 150mm x 150 mm x 5 mm, y la estructura lateral es de 100 mm x 100 mm x 6 mm del ángulo formado entre el mástil trapezoidal y la base está unida por dos brazos hidráulicos, los cuales le brindan la fuerza a la pluma para ascender verticalmente hasta alcanzar la altura deseada para el trabajo.

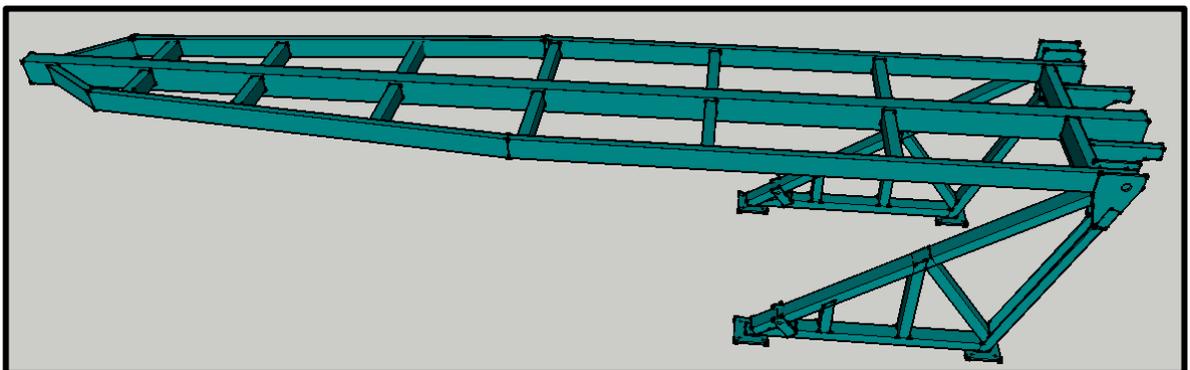
Figura 20. Mástil trapezoidal de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

La **Figura 23** muestra el soporte del mástil, que irá ubicado en la base y le brindara la estabilidad necesaria para poder cargar y descargar herramientas de peso considerable.

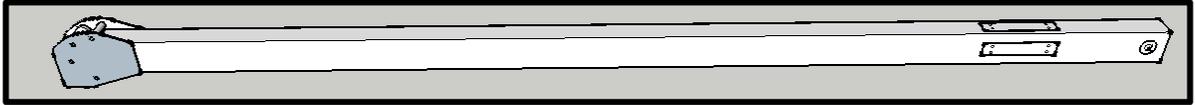
Figura 21. Soporte y mástil trapezoidal de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

El boom es la tercera parte del mástil, la cual es una tubería rectangular estructural de 70mm x 70 mm x 6 mm, anclada en lámina con bujes y pasadores para gatos hidráulicos, además en la corona posee la polea necesaria para una operación de Slickline.

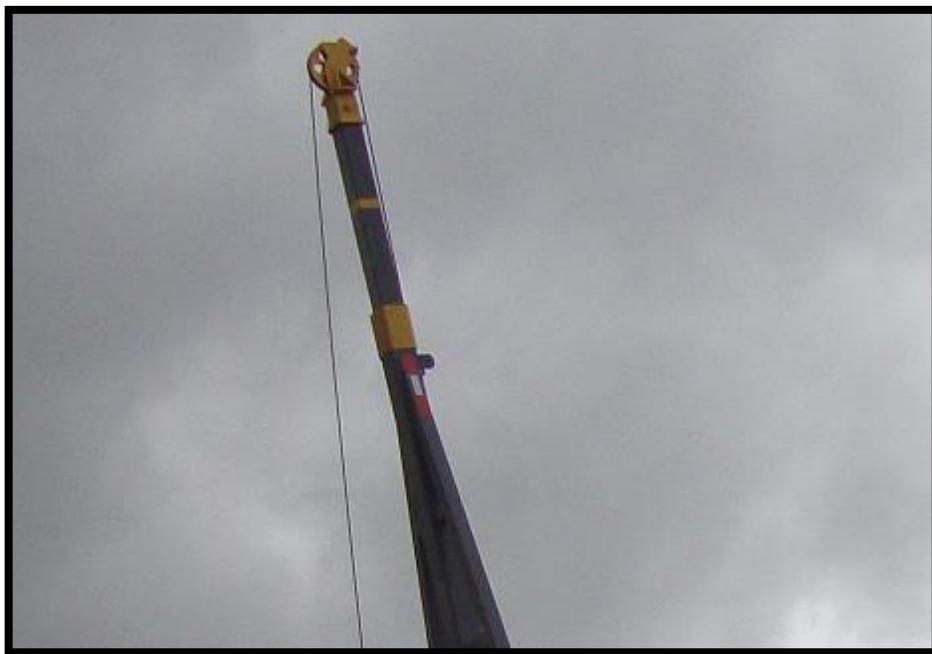
Figura 22. Boom del mástil de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

En la **Foto 15** se puede ver el mastil extendido de la unidad TSS003, cuenta con una polea en la que ira el cable, dependiendo de su longitud, el mastil podra llevar una carga mas pesada si asi se requiere.

Foto 15. Polea unida al Boom del mástil de la unidad TSS003.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

Estas tres piezas combinadas son parte del mástil o grúa de la unidad TSS003, la cual es una de las herramientas más importantes de la misma, pero de igual forma depende absolutamente del sistema hidráulico. El mástil posee una corona ensamblada al mástil trapezoidal, la cual soporta una carga de 40 toneladas.

Foto 16. Corona con juego de poleas.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

En conjunto todo el mástil fue diseñado para adecuarse y trabajar en las mejores condiciones en el campo que se requiera, por este motivo el mástil puede adoptar un ángulo de 115° para permitir así que cuando este se encuentre en su mayor extensión, la unidad pueda estar a una distancia de 4,5 o 6,7 m de las válvulas del pozo donde se valla a realizar el trabajo. Por esta razón el mástil puede trabajar con las siguientes configuraciones.

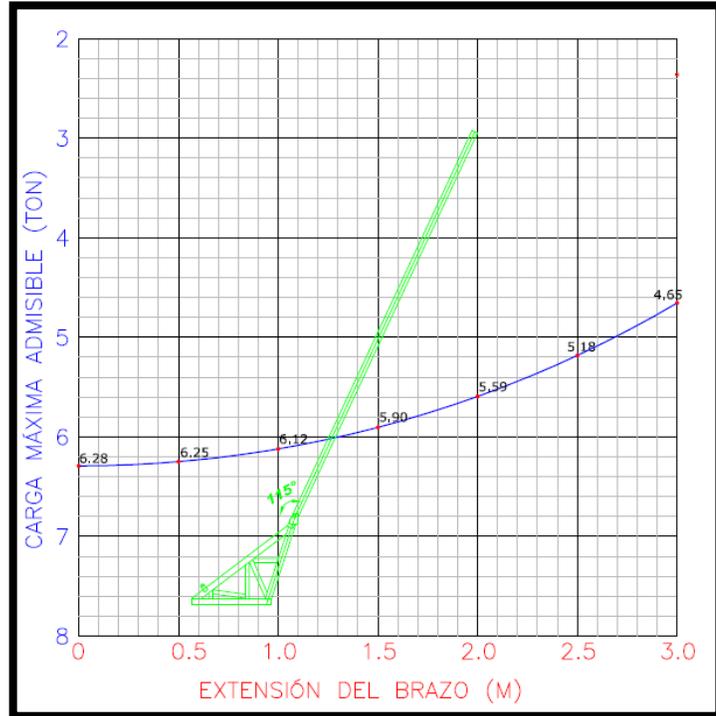
Tabla 5. Configuraciones en ángulo del mástil.

Grados	Altura Vertical (m)	Longitud Horizontal (m)	Capacidad (Kg)
115	13,07	4,50	4500
115	19,35 (5,50 de boom)	6,70	4500

Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

A continuación se mostrara en la Grafica 2 la carga máxima admisible en toneladas del mástil totalmente abierto en posición de trabajo.

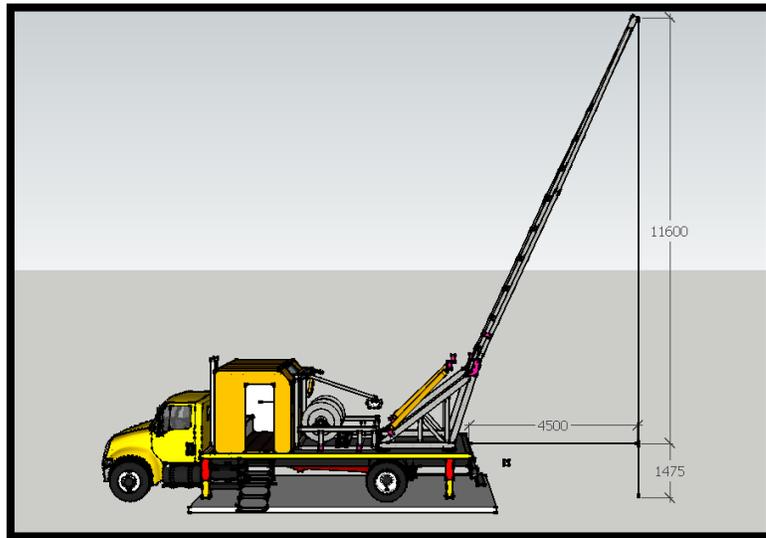
Grafica 2. Carga máxima admisible



Fuente: Manual de Uso y memorias de cálculo estructural, Maxim & Fishing S.A.S

En la Figura 23 se muestra el esquema de la unidad TSS003 con el mástil extendido.

Figura 23. Esquema del Alcance del Mástil.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

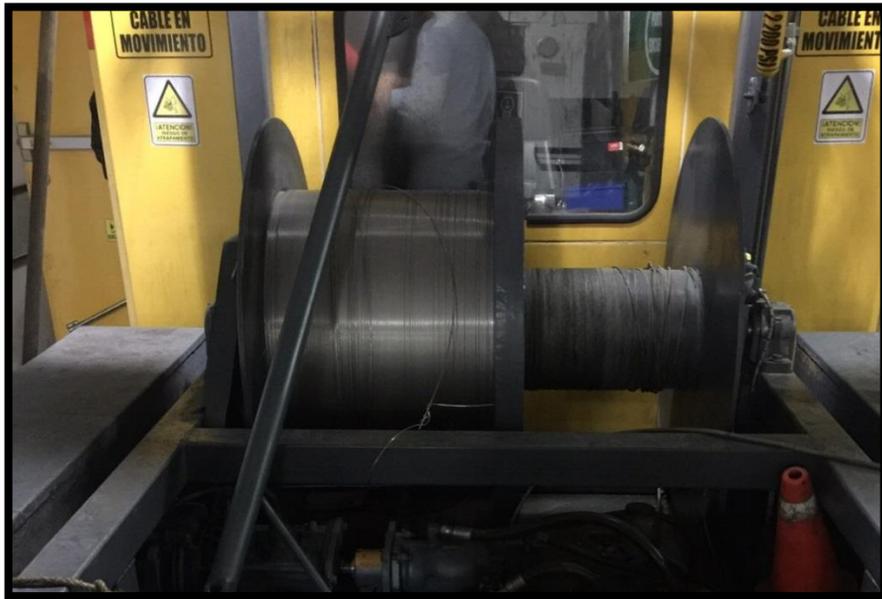
4.3 ARRASTRE

El sistema de arrastre de la unidad TSS003 tiene como función soportar el peso de los sensores que toman los registros eléctricos y el cable de acero que sea necesario para acceder a la profundidad del pozo que se esté leyendo, este sistema de arrastre cuenta principalmente con las siguientes partes, un carrete doble, un motor hidráulico y una bomba hidráulica.

Como ya se había mencionado anteriormente el carrete es la herramienta encargada de almacenar el cable en una unidad de Slickline, en este caso el rediseño conto con aplicar en la unidad un carrete doble, con un espacio reservado para el cable de acero y otro para el cable de Wireline de fibra óptica, este último con consideraciones extras ya que se tuvo en cuenta el diámetro del carrete para así no proporcionarle daños al cable al momento de su almacenamiento, ya que este por ser de fibra óptica presenta un punto máximo de dobles que se debe respetar, de lo contrario se expone el material a daños y posibles cambios en mitad de una operación. Estas dos secciones están divididas en (Lx dx D) 12 X 36 X 39 pulgadas y 13 X 24 X 39 pulgadas.

El carrete del nuevo diseño cuenta con un soporte tipo trineo y está impulsado por un motor hidráulico SAUER-DANFOSS serie 90 de 5 cc/rev el cual es el encargado junto a la bomba hidráulica SAUER-DANFOSS serie 90 de 80 cc/rev de aportar la potencia necesaria para que el carrete gire y así arrastre el cable y los sensores.

Foto 17. Carrete Doble.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

Cuenta con una caja de cambios a 3 marchas, la cual proporciona tres diferentes velocidades de arrastre las cuales facilitan el trabajo de la unidad, estas tres dependen del peso total que se desee halar, o si se están bajando o sacando los sensores, ya que dependiendo de esto se ejercerán diferentes tensiones al cable y diferentes esfuerzos al motor.

Esta unión entre el motor hidráulico y el carrete doble está presente por un juego en la parte lateral de piñones y cadenas que posibilita el movimiento al mismo, de igual manera un brazo móvil y soporte para spooler de telemetría el cual ejerce una medición en cada momento del cable que se esté utilizando en el trabajo. Para este diseño fue necesario un freno de acción positiva en disco el cual garantiza la integridad de la herramienta y la seguridad del equipo en cada momento.

4.4 SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico de la unidad TSS003 parte de la instalación de una toma fuerza o PTO, el cual es una caja de cambios mecánica acoplada a la transmisión del camión DuraStar 4300, esta es la encargada de transferir la potencia del motor del vehículo a los componentes del sistema hidráulico.

Foto 18. PTO de la unidad TSS003.



Fuente: Productos Acevedo Peñalosa. Catálogo de productos Acevedo Peñalosa.

El PTO es un puente entre la transmisión del camión y la bomba hidráulica, este toma fuerza recibe la energía del motor y la traspassa a un eje rotatorio que poseerá un torque y unas revoluciones por minuto, de esta potencia ofrecida por el motor es tan solo el 70% de los caballos de fuerza que se transmiten al eje rotatorio del PTO

en este caso expulsa un máximo de 172 Hp atreves de un cardan a la bomba hidráulica SAUER-DANFOSS.

Al adquirir la potencia del PTO la bomba hidráulica SAUER-DANFOSS Serie 90 de 80 cc/rev utilizada en la unidad, absorbe el líquido del tanque de aceite hidráulico en el cual para el TSS003 tiene una capacidad de 50 L, este aceite se transfiere en forma de un caudal y presión del fluido, este caudal y esta presión son las encargadas en cierto momento de mover los brazos hidráulicos que se encuentran instalados en la unidad, los cuales le generan el movimiento al mástil.

La unidad TSS003 posee cinco tipos de gatos hidráulicos distribuidos en diferentes secciones del sistema, y en cada sección cumplen diferentes funciones, a continuación se expondrá un cuadro en el cual se expondrán cada uno de los cinco gatos hidráulicos de la unidad.

Tabla 6. Tipos y funciones de los brazos hidráulicos.

Gato Hidráulico	Función	Presión Sistema (PSI)	Capacidad (Kg)
Brazo Telemetría Superior	Darle movilidad derecha e izquierda y rigidez al brazo	2200 4500	2200 3800
Brazo Telemetría Inferior	Darle movilidad arriba y abajo además de rigidez al brazo	2200 4500	2200 3800
Nivelación	Dejar en nivel la plataforma del equipo	2200 4500	4800 7400
Levante	Elevar el mástil a la posición de trabajo	2200 4500	20000 40000
Extensión	Saca la extensión 5.50 m	2200 4500	18000 31000

Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003.

A continuación se mostrarán los diferentes tipos de brazos hidráulicos que se utilizarán. Existen 4 tipos:

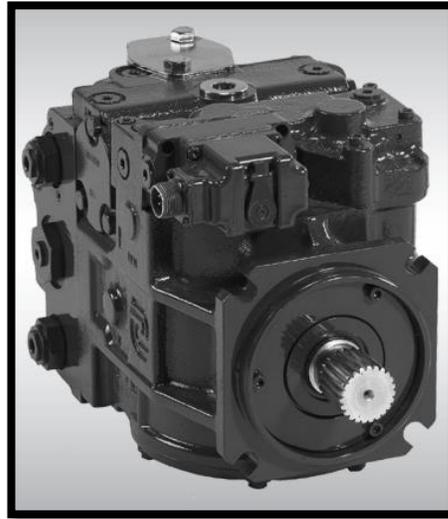
Foto 19. Diferentes brazos hidráulicos.



Fuente: CASTRO, Juan C. Manual de Unidad TSS003, modificada por autor.

Para transmitir la potencia del sistema hidráulico al carrete, es necesario instalar un motor hidráulico a la salida de la bomba hidráulica, con el fin de volver la energía hidráulica entregada por la bomba, en energía mecánica nuevamente, para la unidad TSS003 se utilizó un motor hidráulico SAUER-DANFOSS Serie 90 de 75 cc/rev. A la salida del motor es necesario la instalación de un reductor mecánico, el cual reduce las revoluciones por minutos entregadas por el motor hidráulico para aumentar el torque, con el fin de tener la potencia necesaria para mover la serie de engranajes y cadenas que se conectan del reductor mecánico al carrete o sistema de arrastre explicado anteriormente.

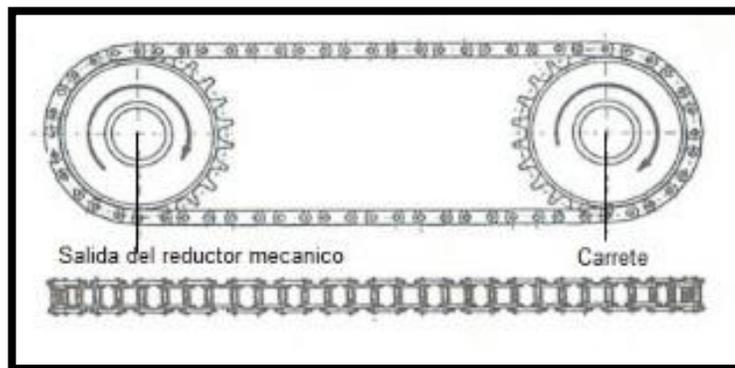
Foto 20. Motor hidráulico SAUER-DANFOSS.



Fuente: Catálogo de productos Sauer Danfoss, Series 90, Axial

A continuación se presenta una sencilla imagen que permite mostrar los engranajes y la cadena que hace parte del equipo de transmisión del sistema de arrastre.

Figura 24. Esquema de engranajes y cadenas entre el carrete y el reductor mecánico.



Fuente: Transmisión por engranajes, 358 Maquinas

A continuación se presenta la consola del mástil desde la cual se podrá acceder a este, cuenta con una serie de válvulas que conducen o frenan el fluido hidráulico.

Foto 21. Consola de operación del mástil.



Fuente: DuraStar. Manual DuraStar 4300

EL sistema hidráulico es controlado por válvulas direccionales, las cuales se encuentran en la parte trasera de la plataforma de la unidad, estas válvulas son de doble efecto y su función es dirigir los fluidos hidráulicos en dos sentidos, para subir un gato hidráulico o bajarlo.

4.5 MATRIZ UNIDAD TSS-003

A continuación se presenta una matriz en la que se describe la unidad propuesta por el autor:

Tabla 7. Matriz TSS-003

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
Camión	Camión	Camión Durastar 4300, de mayor envergadura que la unidad Convencional	Se eligió este modelo de camión para la unidad TSS003 ya que posee un motor con mayor potencia y una plataforma con mayor capacidad para soportar el sistema de arrastre e izaje sin ningún inconveniente.	El motor brinda alrededor de 30% más potencia, torque y máximo que la unidad convencional, en tres diferentes tipos de configuraciones	210 Hp@2300 rpm - 520 lb/ft@1400 rpm

Tabla 8. Matriz TSS-003 (Continuación)

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
	Cabina	Una cabina con un área más amplia para facilitar el trabajo de 4 operarios dentro de la cabina	Ampliación en los metros cuadrados de la cabina, implementación de un sistema de aire acondicionado y aislamiento térmico y sonoro, puerta en igualdad de condiciones para acoplamiento con marco de seguridad a la cabina, escalera abatible en Angulo y malla de acero	El recubrimiento en lana mineral termo-acústica brinda el aislamiento de la cabina, estructura en acero galvanizado con tratamiento anticorrosivo al igual de un revestimiento exterior de paneles en lamina de acero para otorgar seguridad a los trabajadores dentro de la cabina en caso de emergencia	Área neta 9.24 m2
	Consola de Mando	Consola más completa y extensa para evitar errores en operaciones	Expansión en el área de consola, ubicación específica y aislada de sistema de lectura y tacómetros, palancas de sistema hidráulico, luces de la unidad y palanca de sistema de arrastre.	Seis tacómetros con diferentes tipos de lecturas, tres palancas de simple efecto para el manejo de luces, cuatro palancas sensibles de simple efecto para el manejo del mástil trapezoidal, dos palancas de mayor sensibilidad para el manejo del sistema de arrastre	

Tabla 9. Matriz TSS-003 (Continuación)

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
	Plataforma	Plataforma de mayor tamaño	Dimensiones de la plataforma de acuerdo a la máxima capacidad de carga del camión Durastar, capacidad de soportar el peso del mástil trapezoidal y el carrete doble sin comprometer la integridad de la plataforma, y capacidad de soportar los ambientes de campo.	Estructura de 6 y 4 in, piso y tapa de lámina de alfajor de 1/8 in, recubrimiento en coll roll calibre 14, vigas en canal estructural de 6 pulgadas, estructura totalmente impermeabilizada con primer anticorrosivo	Soporte estándar de 95 toneladas
Mástil Trapezoidal	Base	Adecuación de una base robusta anclada a la plataforma para el soporte dos partes del mástil	Se consideró una estructura piramidal para aportar estabilidad al sistema de levante, material de la estructura de acero reforzado con recubrimiento protector a ambientes de pozo, base bridada reforzada a la plataforma del camión.	Tubería rectangular estructurada en acero de 150 x 150 x 8 mm, con anclaje en láminas de 1/2, 3/4 y 1 in, con bujes y pasadores para gatos hidráulicos de levante al mástil, bridas reforzadas de acero ancladas a la plataforma	Soporte en carga de 40 toneladas

Tabla 10. Matriz TSS-003 (Continuación)

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
	Mástil	Diseño de un mástil principal de todo el sistema de levante de forma trapezoidal	se consideró una estructura trapezoidal de acero reforzado con recubrimiento protector, la geometría del mástil se diseñó con 26 placas de tubería rectangular soldada con 16 refuerzos en el interior de los tubos principales, este tipo de diseño brinda una estabilidad para el sistema de izaje y una capacidad de resistir cargas de hasta 50 toneladas	Acople inferior con la base del sistema de izaje en acero reforzado, tubería rectangular principal acoplada reforzada al boom, longitud de 10.5 m, estructura central de 150 x 150 x 5 mm, y estructura lateral de 100 x 100 x 6 mm, del Angulo formado entre el mástil y la base anclada a la plataforma, estructura diseñada para gatos hidráulicos con forme a la base y al bum en cada una de sus piezas.	Soporte en carga de 40 toneladas

Tabla 11. Matriz TSS-003 (Continuación)

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
	Boom	Implementación de un boom expansible para mayor alcance del mástil trapezoidal	Se consideró el acero reforzado como material para aportar rigidez en la pieza y capacidad de carga sobredimensionada para el trabajo, la longitud del brazo para trabajos en cabezales de pozo con difícil acceso, recubrimiento anticorrosivo por ambientes en campo.	Tubería rectangular en acero estructural de 70 x 70 x 6 mm, anclada en lamina con bujes y pasadores para gatos hidráulicos, longitud de 5,5 m	Soporte en carga de 40 toneladas
Sistema de Arrastre	Carrete Doble	Adecuación de un carrete doble en una sola unidad	Se diseñó un carrete doble para poseer espacio de dos diferentes cables, acero y fibra óptica, para brindar en un mismo campo trabajos de slickline y Wireline, cálculo de diámetro mínimo para almacenar cable de fibra óptica sin comprometer la integridad del mismo	Diámetro del carrete de cable de acero 24 in, diámetro de clave en fibra óptica 36 in, longitud total 25 pulgadas, motor Y bomba hidráulica que brinda movimiento al carrete SAUER-DANFOSS serie 90	Motor 5 cc/rev Bomba 80 cc/rev

Tabla 12. Matriz TSS-003 (Continuación)

Partes de la unidad TSS003		Diferencia con la unidad Convencional	Consideraciones para el Diseño	Propiedades a favor del Rediseño	Valores de las Propiedades
Sistema Hidráulico	Brazo Telemetría Superior	Aceptación en la parte superior del mástil de un gato hidráulico	Implementación de gatos hidráulicos acoplados al sistema hidráulico de potencia, utilizando directamente la potencia brindada por el motor del camión DURASTAR 4300	Brindar movilidad y rigidez del brazo en sentido paralelo a la plataforma del camión	Capacidad 2200-3800 kg - Presión Sistema 2200-4500 psi
	Brazo Telemetría Inferior	Acoplación en el inferior del mástil de un gato hidráulico			
	Nivelación	Instalación de gatos hidráulicos en la parte inferior de la plataforma		Brindar un nivel de 0 grados con la horizontal del cabezal para brindar un buen servicio en el pozo	Capacidad 4800-7400 kg - Presión Sistema 2200-4500 psi
	Levante	Instalación de gatos hidráulicos entre la base y el mástil trapezoidal		Aporte de elevación en fuerza del mástil a la posición de trabajo	Capacidad 20000-40000 kg - Presión Sistema 2200-4500 psi
	Extensión	Gato hidráulico acoplado entre el boom y el mástil trapezoidal		Brindar el empuje necesario para extensión del boom en la parte superior del mástil	Capacidad 18000-31000 kg - Presión Sistema 2200-4500 psi

Después de ver la matriz para la unidad TSS-003 se presenta el siguiente cuadro en el que se comparan las características más relevantes con las de la unidad convencional.

Tabla 13. Comparación unidad TSS-003 vs Unidad convencional

Partes	Unidad TSS 003	Unidad convencional
Camión (potencia y torque)	210 Hp@2300 rpm 520 lbf/ft@1400 rpm	153 @ 2600 rpm 316 lbf/ft@ 1500 rpm
Cabina	Área neta de 9,24 m ²	Área neta de 6 m ²
Capacidad de carga del camión	10,4 Toneladas	6 Toneladas
Sistema de Arrastre	Carrete doble	Carrete sencillo
Tipo de cable	Cable de acero 24 in, clave en fibra óptica 36 in	Cable de acero de 9.8 in de diámetro
Capacidad de carga (izaje)	Plataforma, Mástil y boom 40 ton	Grúa 27 ton
Tiempo de toma de registro	93 min	473 min
Motor hidráulico	147 Hp	129 Hp
Bomba Hidráulica	SAUER-DANFOSS serie 90	Bomba modelo P20
Tanque hidráulico	50 L	4.8 L

5. RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS

En este capítulo se evaluarán diferentes factores que permitirán demostrar el rendimiento de la unidad TSS003 teniendo en cuenta diferentes parámetros como la carga, el tiempo de registro, el costo por servicio entre otras.

Los tiempos improductivos de la unidad de Slickline convencional manejada por la empresa AIP en el contrato para el Campo La Cira-Infantas fueron la base para buscar alternativas que permitan crear un beneficio a la empresa, siempre y cuando se cumpla sin ningún tipo de problemas el trabajo; de igual manera la intención de encontrar un beneficio futuro para la compañía motivó la realización de la unidad TSS003.

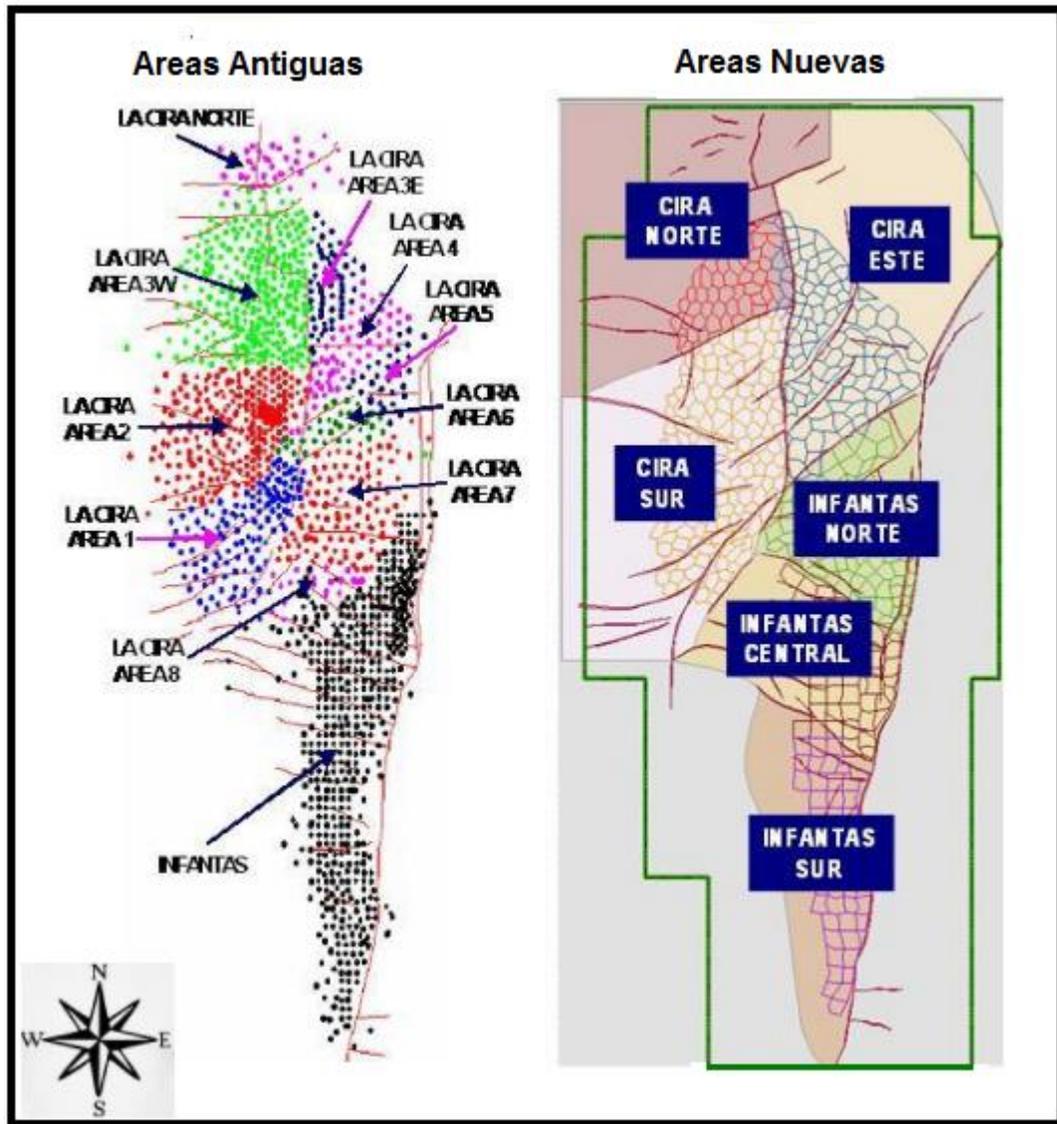
El diseño de esta unidad contempló todos los ámbitos (costos, tiempo y capacidad) por los cuales no era viable continuar con una unidad convencional para culminar el proyecto en La Cira-Infantas con la empresa Occidental Andina y dada la expectativa de futuros proyectos para la empresa, el diseño se pensó con tres pilares fundamentales, el tiempo en la toma de los registros de inyección, la capacidad de realizar diferentes tipos de trabajos para la industria petrolera y las dimensiones que tendría el rediseño con respecto a su efectividad, sin descuidar el factor financiero del proyecto.

En este capítulo se realiza un análisis en el cual se expondrán los beneficios de la unidad TSS003 a través de la lectura de dos pozos del campo La Cira-Infantas, tomando como referencia el tiempo de la lectura tanto en la instalación y desinstalación del equipo como la lectura como tal de los sensores, el tamaño y peso de la nueva unidad y el costo de la misma, en comparación con la unidad utilizada actualmente por la empresa AIP.

5.1 AREA DE ESTUDIO

Las áreas del Campo La Cira-Infantas han recibido dos principales divisiones a través de los años, donde se compran por su tiempo de producción, explotación y descubrimiento las cuales son las áreas antiguas y las nuevas, para el caso del Campo La Cira se categorizan tres principales secciones, la Cira Norte, la Cira Sur y la Cira Este, por otro lado para el Campo Infantas se divide igualmente en tres zonas, Infantas Norte, Infantas Central e Infantas Sur. En la **Figura 25** se exponen las zonas antiguas y nuevas del campo La Cira-Infantas.

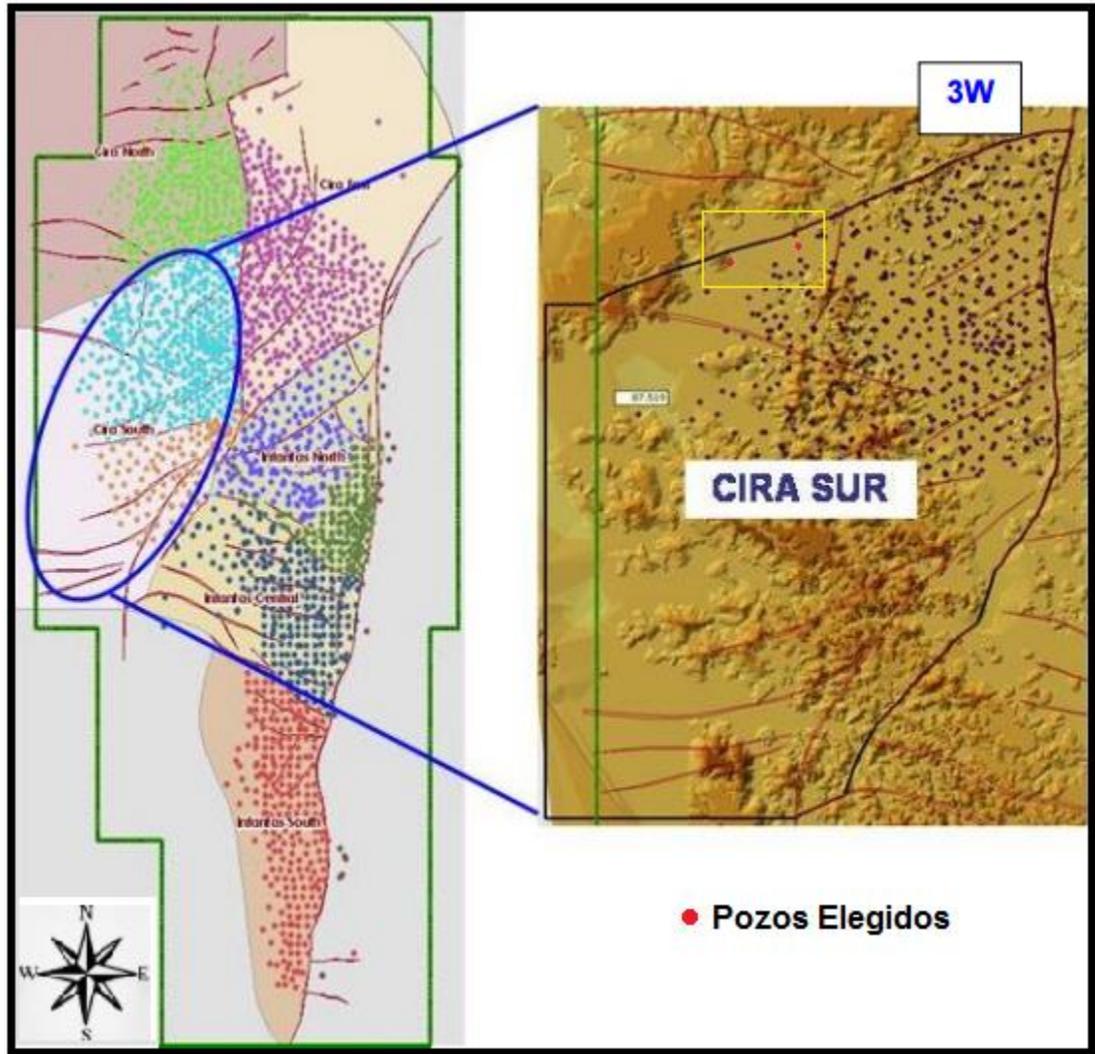
Figura 25. Comparación de áreas antiguas y nuevas



Fuente: Análisis de distribución y eficiencia de la inyección en el Campo La Cira-Infantas, Occidental Colombia INC, Joel GARZÓN CAMACHO

Para evaluar el rendimiento de la unidad TSS003 los dos pozos escogidos por la empresa se encuentran comprendidos en el área de la Cira Sur, la cual pertenece al área 3W dentro de la categorización de las áreas antiguas del campo, en dos los dos pozos inyectores se encuentran activos para elevar el recobro de la zona debido a su antigüedad, en la **Figura 26** se observan que los pozos en cuestión se encuentran en la parte norte del área la Cira Sur.

Figura 26. Localización de los pozos



Fuente: Análisis de distribución y eficiencia de la inyección en el Campo La Cira-Infantas, Occidental Colombia INC, Joel Garzón Camacho

El pozo número uno cuenta con una profundidad de 3184 ft, una presión promedio de 3543 psi y una temperatura de 102 °F, en donde la inyección de agua promedio por día es de 900 barriles; el pozo número dos, cuenta con una profundidad de 2980 pies, una presión de 2907 psi y una temperatura de 105 °F, en donde la inyección promedio por día es de 500 barriles.

5.2 FORMULA DE VARIACIÓN PORCENTUAL

El rendimiento en la unidad número cinco se evaluarán con la fórmula de variación porcentual teniendo en cuenta los factores de tiempo, peso, tamaño y costo de la

unidad TSS003 con respecto a la unidad de Slickline utilizada en la actualidad por la empresa AIP.

La fórmula de variación porcentual³⁶ es un porcentaje de cambio, el cual muestra el aumento o disminución de un factor en específico pasado y uno presente, el resultado de la ecuación de variación porcentual se expresa en términos porcentuales en base al valor pasado, es decir que tanto porcentaje del factor presente se tiene en el factor pasado.

Ecuación 1. Variación porcentual

$$VP = \left[\frac{(V_2 - V_1)}{V_1} \right] \times 100$$

Fuente: Sabadell Atlántico Bs, Herramientas de cálculo Financiero. Edición noviembre 2006

Dónde:

VP: Variación porcentual

V₂: Valor presente o final

V₁: Valor pasado o inicial

5.3 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL TIEMPO

Para verificar el rendimiento de la unidad TSS003 mediante la implementación de la misma en dos de los pozos del Campo La Cira-Infantas, se debe tener en cuenta que el tiempo referido está conformado por tres diferentes tiempos en los cuales la unidad cumple completamente con el trabajo propuesto, en este caso el tiempo número uno es el tiempo de instalación de la unidad en pozo, el segundo es el tiempo de toma del registro de inyección y por último el tiempo de desmonte de la unidad del pozo el cual al ser relativamente igual que el primero posee en ocasiones demoras adicionales que surgen después de invadir el pozo con el registro.

5.3.1 Tiempo de instalación de la unidad. El tiempo de instalación de la unidad se refiere a la cantidad de minutos que le toma a la unidad poder llegar a acceder al cabezal del pozo, en algunos casos los cabezales de pozo en donde se deben instalar la válvula preventora BOP y el tubo lubricador por disposiciones del pozo se encuentra en diferente nivel de la carretera o a distancias ligeramente retiradas de la misma, por lo cual las unidades dispuestas para el trabajo tomaran un

³⁶Glosario de términos Banco de la Republica de Colombia, página de internet <http://www.banrep.gov.co/es/ipc>

determinado tiempo en ponerse en posición. Este tiempo no será tenido en cuenta para el análisis debido a que no son de una duración considerable.

Con lo anteriormente mencionado la instalación de la BOP y el tubo lubricado poseen un tiempo agregado al parqueo de la unidad y este tiempo es mayor en unidades de Slickline convencionales, debido a la necesidad de utilizar una grúa auxiliar para el proceso de levante de la válvula y de los tubos, ya que estos no pueden ser maniobrados sin la misma.

Al poseer la válvula y los tubos lubricadores en posición el último tiempo adicionado a esta sección es el del izaje de la sarta de registros la cual entra en la parte superior del último tubo lubricador con el fin de tomar las lecturas del pozo sin tener que cerrar la inyección para hacerlo.

En la **Tabla 7** se expondrán los tiempos que conforman el tiempo de instalación de la unidad de Slickline convencional como de la unidad TSS003 en cada uno de los dos pozos del campo La Cira-Infantas.

Tabla 14. Tiempos de Instalación de cada Unidad en Diferente Pozo

Tiempos (min)	Unidad TSS003		Unidad de Slickline Convencional	
	1	2	1	2
Tiempo de Instalación de la BOP	5.5	6.4	74.2	87.7
Tiempo de Instalación del Lubricador	3.4	3.7	77.5	86.4
Tiempo de Izaje de la Sarta de Registros	6.4	6	86.7	90.4
Total (min)	19.9	20.7	238.4	264.5

Fuente: Datos obtenidos en campo

Como se puede observar en la tabla anterior, la unidad de Slickline convencional utilizada por AIP supera ampliamente los tiempos de instalación en campo a la unidad TSS003, esto debido a las características de la nueva unidad, en principio no se cuenta con tiempo de parqueo de grúa ya que la TSS003 posee el mástil, por otro lado la configuración del mástil trapezoidal le permite a la nueva unidad realizar la operación hasta con una distancia entre el cabezal del pozo de 6,7 m según el ángulo de inclinación del mismo, por este motivo la nueva unidad reduce los tiempos significativamente.

5.3.2 Tiempo de toma de registros de inyección. El registro de inyección es el objetivo principal por el cual Occidental Andina contrato a AIP para el proyecto, ya que después de implementar la opción de recobre de inyección de agua, estos pozos se deben tener en constante monitoreo para evitar problemas mecánicos en

el pozo, problemas de presión o daño en los equipos de completamiento del mismo entre otros.

Para este caso el tiempo en la toma del registro en el pozo solo varia si la profundidad del pozo y la lectura cambian, ya que la sarta de registros baja a una velocidad constante y de igual manera es sacada, por tal motivo la diferencia en tiempos de la unidad convencional y la unidad TSS003 no varían considerablemente, si se presenta alguna demora considerable se considera el factor humano en la prueba mas no de las unidades en cuestión.

Tabla 15. Tiempo de toma de registros

Pozos	Tiempo de Toma de Registros (min)	
	Unidad de Slickline Convencional	Unidad TSS003
Pozo 1	59.8	60.2
Pozo 2	61.6	57.3

Fuente: Datos obtenidos en campo

5.3.3 Tiempo de desmonte de la unidad. El tiempo de desmonte de la unidad, es el tiempo en el cual teniendo la sarta de registros nuevamente en los tubos lubricadores después de la lectura del pozo, se realiza la extracción del mismo y el desarme de los tubos lubricadores y de la válvula de control de presión, en este caso los tiempos son muy similares a los tiempos de instalación de la unidad, quitando los tiempo de parque de las unidades que no se tienen en cuenta para terminar la operación requerida.

Los tiempos de desmonte pueden variar con forme a los tiempos de instalación del equipo por factores ajenos a las unidades, este tipo de factores se presentan por el mismo uso de las herramientas de las unidades como la válvula de control de presión, los tubos lubricadores y la sarta de registro, estos factores son ocasionados por el factor humano, como el mal ensamble de las herramientas, o el atascamiento de la sarta de registros por problemas de la integridad del pozo, estos factores igualmente no dependen de las unidades en concreto, así que de presentarse no son tiempos tomados en cuenta para el cálculo de la eficiencia de la unidad TSS003 o cualquier otra unidad. En la **Tabla 9** se apreciarán los tiempos de desmonte de las dos unidades en los dos diferentes pozos.

Tabla 16. Tiempos de desmonte de las unidades

Tiempos (min)	Unidad TSS003		Unidad de Slickline Convencional	
	Pozos		1	2
Tiempo de Extracción de la Sarta de Registros	5.2	4,3	40.7	58.6
Tiempo de Desmonte del Lubricador	3.8	4,2	50.1	54.1
Tiempo de Desmonte de la BOP	5.4	6,1	59.8	57.4
Total (min)	14.4	14.6	150.6	170.1

Fuente: Datos obtenidos en campo

5.3.4 Rendimiento de la unidad TSS003 contra la unidad de slickline convencional según el tiempo. Para evaluar los rendimientos de la unidad TSS003 anteriormente se propuso la fórmula de variación porcentual, en el caso del tiempo como factor base para comparar la unidad convencional contra la unidad TSS003, se deberán ingresar los datos totales de tiempo de cada una de las maquinas diferenciando los datos de cada uno de los dos pozos implementados en el campo La Cira-Infantas.

A continuación, en la **Tabla 10** y **Tabla 11** se presentará el total de los tiempos de cada una de las unidades.

Adicional a lo anterior por otro lado se tendrá en cuenta el tiempo que los equipos deben tener mantenimiento. Para el caso de la unidad TSS 003 se hará un mantenimiento cada cuatro meses de 2 días equivalentes a 6 días al año. Por otro lado la unidad convencional requerirá un mantenimiento mayor al ser un equipo con uso por tanto se hará mantenimiento 1 día al mes equivalente a 12 días al año

Por tanto traducido el tiempo anterior en minutos al año se tiene:

Tabla 17. Tiempos de mantenimiento

Tiempo de Mantenimiento	Unidad TSS 003	Unidad Convencional
Días al año	6	12
Minutos al año	8640	17280
Minutos al mes	720	1440
Minutos por día	24	48
Minutos por hora	1	2

Fuente: Datos obtenidos en campo

Por lo anterior, se le adicionará el tiempo correspondiente por cada hora que transcurra mientras se lleva a cabo el servicio para que este valor sea representativo.

Tabla 18. Tiempos de unidad slickline convencional

Unidad de Slickline Convencional		
Tiempos (Min)	Pozos	
	Pozo 1	Pozo 2
Tiempo de Instalación	238.4	264.5
Tiempo de Registro	59.8	61.6
Tiempo de Desmonte	150.6	170.1
Tiempo Total por Pozo sin mantenimiento	448.8	496,2
Tiempo de mantenimiento por servicio	15	17

Fuente: Datos obtenidos en campo

Tabla 19. Tiempos de unidad TSS003

Unidad TSS003		
Tiempos (Min)	Pozos	
	Pozo 1	Pozo 2
Tiempo de Instalación	19.9	20.7
Tiempo de Registro	60.2	57.3
Tiempo de Desmonte	14.4	14.6
Tiempo Total por Pozo sin mantenimiento	94.5	92.6
Tiempo de mantenimiento por servicio	2	2

Fuente: Datos obtenidos en campo

Para sacar el rendimiento considerando el tiempo que toma cada una de las unidades en realizar una lectura de cada uno de los pozos utilizados como

referencia, se tiene que en el pozo número uno y número dos, se tiene en cuenta además el tiempo de mantenimiento adicional; el rendimiento está dado de la siguiente manera:

$$VP_{Pozo\ 1} = \left[\frac{|96.5 - 463.8|}{463.8} \right] \times 100 = 79.19\%$$

$$VP_{Pozo\ 2} = \left[\frac{|94.6 - 513.2|}{513.2} \right] \times 100 = 81.56\%$$

En este caso el resultado obtenido indica al tratarse del factor tiempo se redujeron los tiempos de la toma del registro, es decir, analizando los resultados arrojados por la fórmula de variación porcentual el rendimiento promedio de la unidad TSS003 con respecto al tiempo de trabajo por pozo es de 80.37% más rápido al de la unidad de Slickline convencional utilizada actualmente en el proyecto del Campo la Cira-Infantas por la empresa AIP, esto quiere decir que la optimización en cuanto al tiempo de trabajo por pozo la unidad TSS003 es bastante superior, lo cual en primera instancia cumpliría con un punto calve a desarrollar en el rediseño al inicio del proyecto, ya que con estos tiempos de trabajo se cumpliría a cabalidad con el proyecto de Occidental Andina a lo largo de una año.

5.4 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL PESO

Para verificar el rendimiento de la unidad TSS003 según el peso, se debe aclarar que en cuanto a peso se hace referencia a la capacidad de levante de la herramienta. Al realizar el rediseño uno de los principales pilares del diseño, fue poseer un equipo robusto que no solo pudiera estar en condiciones de cumplir con el trabajo en el campo La Cira-Infantas, sino que estuviera en plena capacidad de cumplir con otros tipos de trabajos en la industria petrolera.

En la operación de lectura de registros eléctricos en pozos inyectoros se deben levantar tres principales herramientas para poder llevar a cabo el trabajo, como se mencionó anteriormente estas tres herramientas son la válvula preventora o BOP, los tubos lubricadores y la sarta de registros electros. En la **Tabla 12** se exponen los pesos de las tres herramientas mencionadas en la operación de toma de registros de inyección en el campo la Cira-Infantas.

Tabla 20. Pesos de herramientas

Herramienta	Peso (Kg)
Válvula Preventora BOP	108,045
Tubo lubricador	52.5
Sarta de Registros	64.3
Total	224.9

Fuente: Catalogo de Herramientas de AIP

Para medir el rendimiento de la unidad se comparará el levante necesario que debe tener la unidad convencional de Slickline en su grúa auxiliar contra la capacidad de levante del mástil trapezoidal de la unidad TSS003 que es de 8165 Kg, utilizando la ecuación de variación porcentual explicada anteriormente, los cálculos quedan de la siguiente manera:

$$VP_{Peso} = \left[\frac{(8165 - 224.9)}{224.9} \right] \times 100 = 3530.5\%$$

Según el dato arrojado por la ecuación de variación porcentual el porcentaje es de 3530.5%, es decir levanta más de 35 veces lo levantado por la unidad convencional. Este porcentaje es de tal magnitud ya que el sistema hidráulico de gatos junto con el mástil trapezoidal de la unidad TSS003 poseen una potencia bastante considerable a comparación de los equipos que se pueden llegar a manejar en el actual proyecto, por lo cual se demuestra que el rendimiento de la unidad es bastante superior teniendo en cuenta el facto del peso en levante.

5.5 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL TAMAÑO

Para evaluar el rendimiento de la unidad TSS003 teniendo en cuenta el factor del tamaño de la unidad, debemos hacer consideraciones para realizar los cálculos pertinentes, ya que no es viable para el proyecto proporcionar un volumen aproximado de cada una de las unidades, en vez de esto se realizarán cálculos teniendo en cuenta las mediadas del largo, alto y ancho de cada una de las unidades. En la **Tabla 13** se compararán las dimensiones de las dos unidades.

Tabla 21. Dimensiones de las unidades.

Dimensiones	Unidad Convencional de Slickline	Unidad TSS003
Largo (m)	6	9.2
Ancho (m)	3.4	3.7
Alto (m)	4	4.3

Fuente: Catalogo de Herramientas de AIP

Teniendo en cuanta las dimensiones presentadas en la anterior tabla, se calculará a continuación el porcentaje de variación entre las dos unidades a partir de la ecuación de variación porcentual.

$$VP_{largo} = \left[\frac{(9.2 - 6)}{6} \right] x 100 = 53.3\%$$

$$VP_{ancho} = \left[\frac{(3.7 - 3.4)}{3.4} \right] x 100 = 8.8\%$$

$$VP_{alto} = \left[\frac{(4.3 - 4)}{4} \right] x 100 = 7.5\%$$

Los porcentajes anteriormente obtenidos, hablan de la diferencia dimensional de las dos unidades, hay que aclarar que para la unidad TSS003, no es significativo el incremento de estas medidas con forme a la unidad convencional, ya que, debido al mástil trapezoidal, el alcance que le brinda el mismo para acceder a los pozos compensa este tipo de sobredimensión, lo cual no afecta el tiempo de trabajo por pozo.

5.6 RENDIMIENTO DE LA UNIDAD TSS003 SEGUN EL COSTO

Para verificar el rendimiento de la unidad TSS003 según el costo se debe tener en cuenta que la unidad de Slickline convencional que posee la empresa AIP es significativamente más económica el rediseño creado en el proyecto, el ideal de verificar el rendimiento según el costo de la unidad es de tener una referencia cuantitativa de la cantidad de dinero invertida en la unidad TSS003, ya que la principal solución presentada por la empresa para solucionar el problema del número de registros tomados a lo largo del año era la adquisición de dos unidades convencionales adicionales para de esta manera tener 3 unidades trabajando en el campo La Cira-Infantas y así realizar mayor número de lecturas de pozos por día.

Aunque la anterior solución era la más sencilla de aplicar, no es rentable para la empresa adquirir dos unidades convencionales adicionales para el desarrollo de un solo proyecto, no solo por el valor de las unidades, sino de igual manera la adquisición de unidades antiguas para la compañía.

A continuación, en la **Tabla 14** se expondrán los costos relacionados a la compra o alquiler de dos unidades de Slickline convencionales adicionales para el proyecto en la Cira-Infantas.

Tabla 22. Costos de alquiler y compra de unidades de slickline convencional

Descripción	Cantidad de Unidades	Costo por Unidad (Dólar)	Total de Efectivo (Dólar)
Alquiler de unidad de Slickline convencional (por año)	2	11.000	22.000
Adquisición de unidad de Slickline convencional	2	80.000	160.000

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE OPERACION, 2016

Estos costos representan una inversión, aunque necesaria para solucionar el problema en el contrato presente con Occidental Andina, de poca rentabilidad para la empresa, ya que al adquirir unidades convencionales no se están generando bienes rentables para la empresa, de lo contrario serán más gastos en un futuro para la misma en cuestión de mantenimiento y repuestos.

Hablando de la posibilidad de alquilar las unidades, se presentan gastos no contemplados al momento de firmar el contrato actual para así recibir un margen de ganancia rentable para la empresa, por este motivo las ganancias residuales después del alquiler de las unidades, no es representativo para AIP y el contrato terminaría no siendo rentable.

Por este motivo el rediseño y creación de la unidad TSS003 es la mejor opción para compañía, ya que, a pesar de invertir en tecnologías, herramientas y equipos nuevos, la unidad TSS003 se convertiría en un bien rentable el cual se utilizara para próximos y diversos proyectos futuros, de igual manera al ser una unidad nueva no se presentarían gastos cercanos en mantenimiento ni cambio de piezas o repuestos. A continuación, en la **Tabla 15** se expondrán los costos relacionados con la unidad TSS003.

Tabla 23. Costos de la unidad TSS003

Sistemas y Herramientas de la Unidad TSS003	Valor en Dólares	Valor en Pesos Colombianos
Sistema Hidráulico	12.000	35.142.445
Mástil	8.000	23.428.296
Sistema de Arrastre	10.000	29.285.370
Camión	65.000	190.354.908
Mano de Obra	5.000	14.642.685
Herramientas Auxiliares	80.000	234.282.964
Total	180.000	527.136.669

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION, 2016

Para evaluar el rendimiento de la unidad TSS003 con respecto a los costos de dicha unidad, versus los costos de la otra posible solución comprando o alquilando las otras unidades de Slickline convencional, utilizando la ecuación de variación porcentual, obtenemos los siguientes datos.

$$VP_{Costo\ vs\ Alquiler} = \left[\frac{((180.000 - (22.000 \times 12)))}{(22.000 \times 12)} \right] \times 100 = -31.82\%$$

El rendimiento en costo de la unidad comparado con la posibilidad de alquiler de las dos unidades requeridas durante un tiempo de doce meses, nos da un porcentaje negativo de 31.82%, este porcentaje da negativo ya que la unidad TSS003 termina siendo más económica, es decir se presenta una disminución en los costos a futuro.

$$VP_{Costos\ Unidades} = \left[\frac{(180.000 - 160.000)}{160.000} \right] \times 100 = 12.5\%$$

El rendimiento en costo de la unidad comparado con la compra de dos unidades de Slickline convencionales adicionales para cumplir con el proyecto en la Cira-Infantas, no arroja un porcentaje del 12.5%, en un inicio sería un rendimiento no tan significativo, pero teniendo en cuenta de que la unidad TSS003 es una unidad con tecnologías mucho más modernas que las de un camión convencional de Slickline, por tal motivo para la empresa AIP, representa una mejor inversión la unidad TSS003

6. ANÁLISIS FINANCIERO

La empresa prestadora de servicios AIP S.A.S. posee un contrato establecido en el campo la Cira-Infantas, el cual consta de realizar 1500 registros eléctricos en pozos inyectoros al año para la empresa Occidental Andina. Para este proyecto se contaba con una unidad de slickline convencional, la cual posee la capacidad de realizar un máximo de dos lecturas en pozos al día, ya que por cada lectura se gastaban un promedio de ocho horas. Por lo anterior la empresa prestadora no cumpliría con el contrato ya que alcanzaría un tope máximo de 720 pozos al año, lo cual incurriría en multas por incumplimiento. Por tanto en este capítulo se conocerá la viabilidad del proyecto comparando costos (inversión y operativos).

La unidad TSS003, un rediseño de una unidad de slickline convencional, la cual cumple con unas características específicas que le permiten reducir ampliamente los tiempos de lectura por pozo a tan solo una hora, permitiendo que se puedan realizar cuatro lecturas de pozo por día, y con esto cumplir con el contrato de 1400 pozos al año.

Por otro lado, el rediseño no solo cuenta con la capacidad para culminar el contrato en cuestión, sino también para ser implementada en muchos más proyectos de slickline, trabajos de workover y Wireline que llegue a adquirir AIP S.A.S., esto posee una ventaja significativa para la unidad TSS003 en comparación con la unidad de slickline convencional actualmente usada en la Cira-Infantas.

En este capítulo se muestra la evaluación financiera del rediseño de la unidad de slickline convencional en la compañía AIP S.A.S.

Para la evaluación financiera se utiliza como unidad monetaria de valor constante el dólar estadounidense (USD), la tasa de interés de oportunidad (TIO) del 10% anual y el periodo de evaluación será de 1 año, en periodos mensuales.

Finalmente se realizará la evaluación financiera mediante el indicador financiero valor presente neto (VPN), con enfoque desde el punto de vista de una compañía prestadora de servicios se hace un análisis de costos de inversión, de costos de operación y de ingresos.

6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE INVERSION (CAPEX)

La inversión de una compañía en bienes de capital que genera posteriormente ingresos a la misma se denominan CAPEX, dichas inversiones se enfocan en mejorar o adquirir activos fijos, en los cuales se encuentran equipos, herramientas o unidades necesarios para la producción de la compañía, estas mejoras o adquisiciones aumentan el valor activo de la empresa en este caso AIP S.A.S.

En este proyecto se evaluarán dos escenarios, el primero tendrá que ver con la unidad de slickline convencional que posee la empresa AIP S.A.S., para este proyecto, y el segundo escenario se centra en el rediseño propuesto en el trabajo de grado.

6.1.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional. En este caso como se refiere a la unidad de slickline convencional con respecto a los costos de inversión (CAPEX), esta unidad al ser propiedad actual de la compañía no se considera como inversión, ya que para que esta siga operando con regularidad no se requiere de una inversión de la empresa AIP S.A.S.

6.1.2 Escenario 2 unidad TSS003. A continuación en la **Tabla 16** se expondrán todos los costos de inversión que efectuó la empresa prestadora para la elaboración de la Unidad TSS003 distribuidos en los cuatro fases de inversión en los cuales se rediseño la unidad.

Tabla 24. Costo de Inversión (CAPEX)

Fases de Inversión	Tipo de Inversión	USD
1	Camión y herramientas Auxiliares	147.000
2	Mástil	9.000
3	Sistema de Arrastre	11.000
4	Sistema Hidráulico	13.000
Total CAPEX	Unidad TSS003	180.000

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION, 2016

En la anterior tabla se debe tener en cuenta que cada una de las fases de inversión incluye el costo de la mano de obra que se debió invertir en el rediseño de la unidad. En la **Tabla 17** se especifica que el costo de inversión del proyecto se toma en el periodo cero de evaluación mencionado anteriormente de un año.

Tabla 25. Costo de Inversión

Periodo (meses)	USD
0	180.000

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE INVERSION, 2016

6.2 ANALISIS COSTOS DE OPERACIÓN (OPEX)

El concepto de OPEX se refiere a los costos asociados con el mantenimiento de los equipos, gastos de consumibles y otros gastos de funcionamiento necesarios para la producción de un negocio o sistema. Para este proyecto, es hablar de los costos que conlleva cada una de las lecturas de registros por pozo para cada uno de los escenarios, es decir cuál es el valor de operación de cada una de las unidades por registro.

De igual manera es necesario aclarar que para evaluar los costos de operación en los dos escenarios, se tomara como referencia el mes de septiembre como inicio de los periodos para la evaluación financiera, de esta manera dependiendo de los escenarios y de los días de cada uno de los meses se establecerán el número de servicios por periodo.

6.2.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional. Los costos operacionales (OPEX) asociados a la unidad de Slickline Convencional, incurren en el personal que opera la unidad, la cantidad de combustible que requiera la unidad por cada servicio y el alquiler de la grúa auxiliar que necesita esta unidad. Para exponer los costos estimados por servicio, en la Tabla 18 se expresa el valor por día de cada uno de los factores operacionales de la unidad convencional, se especifica la cantidad de servicios por día y por último se expone un valor estimado por servicio para este escenario.

Tabla 26. Costo estimado por servicio para la unidad convencional de slickline.

Descripción	Costo por día	Número de Servicios por día	USD
Operador	17,04	2	8,52
Auxiliar de Operación 1	39,60	2	19,80
Auxiliar de Operación 2	39,60	2	19,80
Ingeniero de Registros	56,64	2	28,32
Alimentación y Hospedaje del personal en campo	186,70	2	93,35
Combustible Grúa Auxiliar	60,40	2	30,20
Combustible Unidad	76,60	2	38,30
Alquiler Grúa Auxiliar	330,00	2	165,00
Gastos Varios de Unidad	530,00	2	265,00
Camioneta Transporte Personal	70,00	2	35,00
Combustible Camioneta	58,00	2	29,00
Otros			
Paking	50,80	2	101,60
Cable de Acero	0,45	2	0,91
Total	1.515,83	Total	834,80

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE OPERACION, 2016

Se hace la aclaración que la sección de Gastos Varios incluyen costos como peajes y eventualidades que pueden ocurrir como por ejemplo una avería, hidratación, imprevistos, etc.

Para establecer el OPEX del Escenario 1 es necesario tener en cuenta que la unidad convencional solo puede realizar dos servicios al día, en la **Tabla 19**, se expondrán los costos por periodos mensuales en un año de la unidad de slickline convencional.

Tabla 27. Costos de operación unidad de slickline convencional.

Periodo (Meses)	Costo por Servicio	Número de servicios	USD
1	834,80	60	50.088
2	834,80	62	51.757
3	834,80	60	50.088
4	834,80	62	51.757
5	834,80	62	51.757
6	834,80	56	46.748
7	834,80	62	51.757
8	834,80	60	50.088
9	834,80	62	51.757
10	834,80	60	50.088
11	834,80	62	51.757
12	834,80	62	51.757

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE OPERACION, 2016

6.2.2 Escenario 2 unidad TSS003. Para conocer los costos operacionales (OPEX) asociados a la unidad rediseñada TSS003, se deben mencionar los costos en el personal que opera la unidad y la cantidad de combustible que requiera la unidad cada día de trabajo.

Para exponer los costos estimados por servicio, en la **Tabla 20** se expresa el valor por día de cada uno de los factores operacionales de la unidad TSS003, se especifica la cantidad de servicios por día y por último se expone un valor estimado por servicio para este escenario.

Tabla 28. Costo estimado por servicio para la Unidad TSS003

Descripción	Costo por día	Número de Servicios por día	USD
Operador	39,60	4	9,90
Auxiliar de Operación	17,04	4	4,26
Ingeniero de Registros	56,64	4	14,16
Alimentación y Hospedaje del personal en campo	140,80	4	35,20
Combustible	204,60	4	51,15
Gastos Generales	530,00	4	132,50
Camioneta Transporte Personal	70,00	4	17,50
Combustible Camioneta	98,00	4	24,50
Otros			
Paking	50,80	4	132,50
Cable de Acero	0,45	4	1,80
Total	1.207,93	Total	494,17

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE OPERACION, 2016

Para establecer el OPEX del Escenario 2 es necesario tener en cuenta que la unidad TSS003 realiza cuatro servicios al día, en la **Tabla 21**, se expondrán los costos por periodos mensuales en un año de la unidad TSS003.

Tabla 29. Costo de operación unidad TSS003

Periodo (meses)	Costo por Servicio	Número de servicios	USD
1	494,17	120	59.300
2	494,17	124	61.277
3	494,17	120	59.300
4	494,17	124	61.277
5	494,17	124	61.277
6	494,17	112	55.347
7	494,17	124	61.277
8	494,17	120	59.300
9	494,17	124	61.277
10	494,17	120	59.300
11	494,17	124	61.277
12	494,17	124	61.277

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE COSTOS DE OPERACION, 2016

6.3 ANÁLISIS DE INGRESOS

A continuación, se identifican los ingresos que la compañía AIP S.A.S. recibirá dentro del periodo de la evaluación financiera, a partir del capital recibido como pago por los servicios prestados a la compañía operadora Occidental Andina en el campo la Cira-Infantas.

Para analizar los ingresos, es necesario describir el valor que la compañía operadora pagara a la empresa AIP S.A.S., por el cumplimiento y lectura de 1500 pozos inyectores al año, a continuación en la **Tabla 22** e presentara el valor total del contrato y el precio estimado por servicio.

Tabla 30. Valor estimado por servicio prestado a Occidental Andina

Valor del Contrato (USD)	Numero de Pozos	Precio de Referencia por Servicio (USD)
6'300.000	1.400	4.500

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), ESPECIFICACIONES DEL CONTRATO CON OCCIDENTAL ANDINA, 2015

Al tratarse del mismo contrato, el valor de servicio estimado anteriormente será el mismo para los dos escenarios, y en base a estos se mostraran los ingresos de la compañía AIP S.A.S.

6.3.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional. A continuación, en la Tabla 23 se comparan los diferentes precios de servicios, en este caso en el escenario 1 se comprara el precio estimado de servicio OPEX de la unidad convencional y el precio estimado de referencia pagado por el contrato de Occidental Andina.

Tabla 31. Ingresos totales unidad slickline convencional

Periodo (meses)	Precio por Servicio (USD)	Número de Servicios por Periodo	USD
1	4.500	60	270.000
2	4.500	62	279.000
3	4.500	60	270.000
4	4.500	62	279.000
5	4.500	62	279.000
6	4.500	56	252.000
7	4.500	62	279.000
8	4.500	60	270.000
9	4.500	62	279.000
10	4.500	60	270.000
11	4.500	62	279.000
12	4.500	62	279.000

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE INGRESOSO, 2016

6.3.2 Escenario 2 unidad TSS003. A continuación, en la Tabla 24 se comparan los diferentes precios de servicios, en este caso en el escenario 2 se comprara el precio estimado de servicio OPEX de la unidad TSS003 y el precio estimado de referencia pagado por el contrato de Accidental Andina.

Tabla 32. Ingresos totales unidad TSS003

Periodo (meses)	Precio por Servicio (USD)	Número de Servicios por Periodo	USD
1	4.500	120	540.000
2	4.500	124	558.000
3	4.500	120	540.000
4	4.500	124	558.000
5	4.500	124	558.000
6	4.500	112	504.000
7	4.500	124	558.000
8	4.500	120	540.000
9	4.500	124	558.000
10	4.500	120	540.000
11	4.500	124	558.000
12	4.500	124	558.000

Fuente. AIP S.A.S (ASESORÍA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS), INFORME ANALISIS DE INGRESOSO, 2016

6.4 EVALUACIÓN FINANCIERA

Para realizar la evaluación financiera se tienen en cuenta los ingresos y egresos del proyecto determinados anteriormente, a partir de estos valores se conoce la

viabilidad financiera de proyecto mediante el indicador financiero de Valor Presente Neto (VPN).

6.4.2 Valor presente neto (VPN). Según Baca³⁷ el valor presente neto es el equivalente de dinero en la actualidad de todos los ingresos y egresos en un periodo de tiempo futuro establecido, lo cual facilita la decisión desde el punto de vista financiero para la realización de un proyecto.

Si el VPN obtenido es mayor a cero, esto quiere decir que el proyecto es atractivo para la compañía ya que hay una ganancia extraordinaria adicional a la TIO. Si el VPN obtenido es menor a cero, el proyecto a su tiempo no cumple con las expectativas de la TIO. Si el VPN es igual a cero, significa que para el inversionista el proyecto es indiferente financieramente.

EL VPN se calcula a partir de la siguiente formula:

Ecuación 2. Valor Presente Neto

$$VPN (i) = -A + \sum \left(\frac{F}{(1+i)^n} \right)$$

Fuente: BACA, Guillermo. Ingeniería Económica. Valor Presente Neto. 2011. p.198.
Modificado por los autores.

Donde:

VPN: corresponde al Valor Presente Neto a determinar

A: corresponde a la inversión realizada

F: corresponde al valor del flujo de caja neto

i: corresponde a la tasa de Interés de Oportunidad (TIO)

n: corresponde al número de periodos que existen para la evaluación del proyecto.

La TIO, es la tasa de interés más alta que un inversionista sacrifica en la elaboración de un proyecto, en este caso la empresa AIP S.A.S. posee una tasa de interés de oportunidad del 10% anual, la cual será utilizada en la evaluación financiera del proyecto. Como los periodos de evaluación del proyecto son en meses y no en años, la TIO se debe convertir a una tasa efectiva mensual, a continuación en la **Ecuación 3**, se expresara la nueva TIO para realizar el flujo de efectivo.

³⁷ BACA, Guillermo. Ingeniería Económica, p. 197.

Ecuación 3. Ecuación de tasa compuesta

$$TIO_{mensual} = \sqrt[12]{(TIO_{anual} + 1)} - 1$$

Fuente: BACA, Guillermo. Ingeniería Económica. Tasas Compuestas. 2011. p.37.
Modificado por los autores.

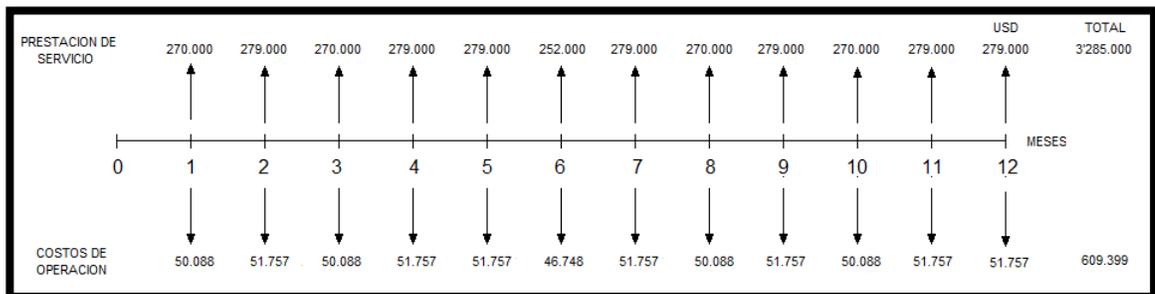
Remplazando el término, y realizando la operación matemática, la TIO mensual se haya a continuación.

$$TIO_{mensual} = \sqrt[12]{(10\% + 1)} - 1 = 0.7974\%$$

6.4.3 Flujo de efectivo El flujo de efectivo corresponde a una representación gráfica de los ingresos y egresos en un tiempo determinado en periodos iguales generados en el desarrollo de un proyecto, en este caso la evaluación financiera se realiza por periodos mensuales. En la línea de tiempo los ingresos estarán ubicados en la parte superior representados con signo positivo, los egresos se ubican en la parte inferior representados con signo negativo.

6.4.3.1 Escenario 1 unidad de slickline convencional. En la Figura 27, se ilustra en la línea de tiempo de un año el flujo de efectivo para el escenario 1, con sus respectivos periodos mensuales, según el plan de ingresos y egresos proyectados de la unidad de slickline convencional.

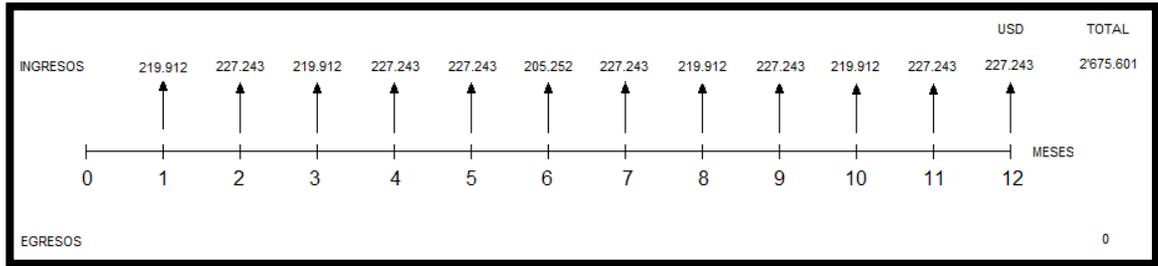
Figura 27. Flujo de efectivo unidad de slickline convencional



Fuente: Autor

En la **Figura 28** se observa el flujo de caja neto a partir de la resta de los ingresos obtenidos por la prestación de servicios y los costos operacionales generados en cada periodo, igualmente se presenta la operación matemática aplicando la formula expuesta anteriormente del Valor Presente Neto (VPN) para este escenario.

Figura 28. Flujo de caja neto unidad slickline convencional

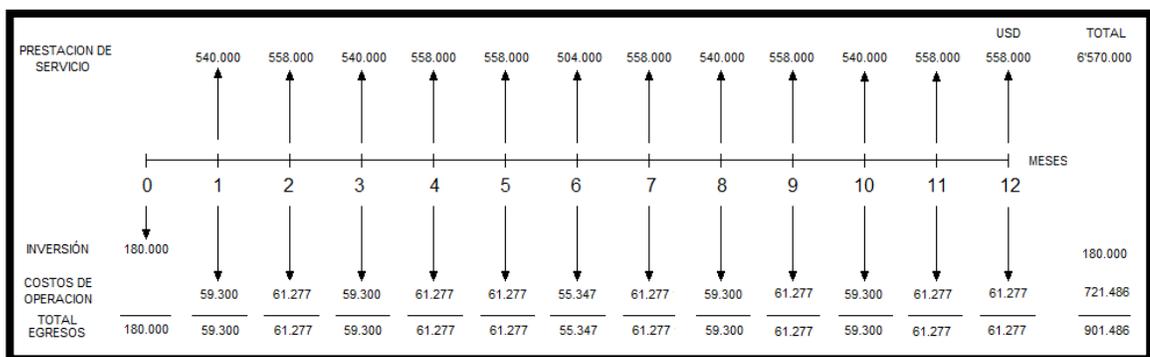


Fuente: Autor

$$\begin{aligned}
 VPN(0,007974) &= \frac{219.912}{(1 + 0,007974)^1} + \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^2} + \frac{219.912}{(1 + 0,007974)^3} \\
 &+ \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^4} + \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^5} + \frac{205.252}{(1 + 0,007974)^6} + \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^7} \\
 &+ \frac{219.912}{(1 + 0,007974)^8} + \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^9} + \frac{219.912}{(1 + 0,007974)^{10}} + \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^{11}} \\
 &+ \frac{227.243}{(1 + 0,007974)^{12}} = 2'541.633
 \end{aligned}$$

6.4.3.2 Escenario 2 unidad TSS003. En la Figura 29, se ilustra en la línea de tiempo de un año el flujo de efectivo para el escenario 2, con sus respectivos periodos mensuales, según el plan de ingresos y egresos proyectados de la unidad TSS003.

Figura 29. Flujo de efectivo unidad TSS003

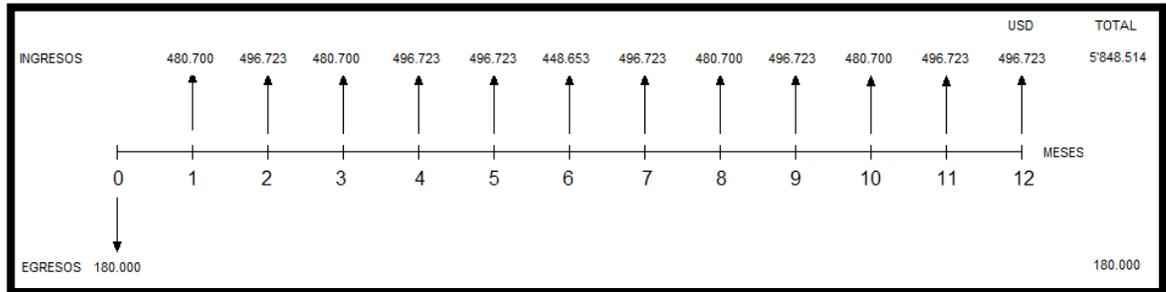


Fuente: Autor

En la **Figura 30** se observa el flujo de caja neto a partir de la resta de los ingresos obtenidos por la prestación de servicios y los costos operacionales generados en cada periodo más la igual que la inversión, igualmente se presenta la operación

matemática aplicando la fórmula expuesta anteriormente del Valor Presente Neto (VPN) para este escenario.

Figura 30. Flujo de caja neto unidad TSS033



Fuente: Autor

$$\begin{aligned}
 VPN(0,007974) &= -180.000 + \frac{480.700}{(1 + 0,007974)^1} + \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^2} + \frac{480.700}{(1 + 0,007974)^3} \\
 &+ \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^4} + \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^5} + \frac{448.653}{(1 + 0,007974)^6} + \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^7} \\
 &+ \frac{480.700}{(1 + 0,007974)^8} + \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^9} + \frac{480.700}{(1 + 0,007974)^{10}} + \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^{11}} \\
 &+ \frac{496.723}{(1 + 0,007974)^{12}} = \mathbf{5'375.678}
 \end{aligned}$$

7. CONCLUSIONES

- Identificando las características de las unidades de Slickline convencionales utilizadas por la compañía AIP en el campo la Cira-Infantas, se permitió entender el proceso de toma de registros de inyección, identificando así cuales son las herramientas claves para llevar a cabo el procedimiento.
- Describiendo las herramientas utilizadas por la unidad de Slickline convencional de la empresa AIP, se establecieron cuáles eran las falencias de la unidad para cumplir con el contrato establecido con OXY en las que se identificó como principal problema el tiempo requerido para correr un registro, el cual por unidad demoraba aproximadamente 8 horas, de esta manera se plantearon las características claves que posee el rediseño de la unidad planteada en el trabajo de grado en el cual se planeó una duración de toma de registro de aproximadamente 1 hora y media. El rendimiento de la unidad TSS003 con respecto al tiempo en la toma de registros es de un 80.14% mayor a la unidad de slickline convencional utilizada actualmente por AIP S.A.S.
- Al diseñar la unidad TSS003 se permitió contemplar una unidad de mayor envergadura que albergó como beneficios hacia la empresa AIP, una maquina capaz de llevar a cabo el contrato establecido con OXY y de igual manera utilizar la unidad para diferentes tipos de trabajos en campos con condiciones más drásticas que la Cira-Infantas. Por tanto, el rendimiento de la unidad es del 3531% respecto a la unidad convencional para levantar cargas, ya que alcanza un máximo de 8100 kg; es decir 35 veces más que los 225 kg que levantaba la unidad usada en el Campo La Cira – Infantas, Excediendo por mucho la capacidad de levante de los lubricadores, la válvula preventora y la sarta de registros eléctricos utilizados en la toma de registros de inyección.
- El rendimiento de la unidad TSS003 con respecto al tamaño, es inferior en un el largo, ancho y alto de la unidad de slickline convencional en un 53.5%,8.8% y 7.5% respectivamente, lo cual nos permite afirmar que la unidad TSS003 es de considerable mayor tamaño pero este no influye en la rendimiento de la unidad con forme al número de lecturas diarias, lo cual es de mayor relevancia para el fin del rediseño propuesto en el trabajo de grado. Por tanto la unidad tiene la misma versatilidad que el modelo convencional; al ser más rápida y con mayor capacidad de carga puede fácilmente realizar las labores de tres unidades convencionales.

- El rendimiento de la unidad TSS003 presenta un 12.5% de inversión mayor, ya que el costo total de las dos unidades de slickline no es muy lejano a la inversión del rediseño planteado en el trabajo de grado, y basado en los resultados obtenidos, la unidad TSS003 representa una mejor inversión para la empresa AIP S.A.S., ya que es un activo nuevo para la empresa y presenta una mayor eficiencia a las unidades convencionales de slickline. Adicionalmente al ser una unidad totalmente nueva su eficiencia es mayor y la necesidad de mantenimiento es mucho.
- Desde el punto de vista financiero para la prestación de servicios de AIP S.A.S en el campo La Cira-Infantas, la mejor opción es la implementación del rediseño de slickline convencional, la unidad TSS003, debido a que le representa a la compañía una ganancia extraordinaria superior en 52.71% (2'834.045), adicional a la TIO, frente a la unidad de slickline convencional, originada en el número de servicios que presta. Además de ser un solo equipo que requiere una sola cuadrilla y cumplirá con lo acordado contractualmente.

Finalmente cabe destacar que el equipo será útil para la compañía aún terminado el contrato y representará un atractivo para futuros negocios de la empresa AIP S.A.S

8. RECOMENDACIONES

- La unidad TSS003 al ser un rediseño de una unidad de Slickline convencional, y por tanto ser una unidad única basada en criterios de un grupo selecto de ingenieros y el estudiante, es necesario para la empresa dar a conocer las ventajas de la unidad TSS003 en comparación a otras unidades, para que esta pueda ser utilizada en diferentes tipos de proyectos. Además de generar la información pertinente para que los futuros clientes puedan acceder a este servicio.
- Para unos mejores resultados, se recomienda la capacitación de los operarios o ingenieros que estén a cargo de la unidad TSS003, con el fin de dar un buen funcionamiento, mantenimiento y utilidad de la unidad en cada uno de los trabajos a realizar, lo anterior debido a que el equipo es una propuesta que incluye mejor tecnología, que requiere un buen uso para garantizar el cumplimiento de los contratos, actuales y futuros
- Prestar el adecuado y necesario mantenimiento a la unidad es de vital importancia para mantener el valor y el rendimiento de la unidad, ya que el sistema hidráulico de la unidad es de vital cuidado y mantenimiento, al igual de ser uno de los componentes con mayor valor del rediseño. Por tanto también habrá que capacitar a los encargados del mantenimiento de tal forma que se realice un manteamiento preventivo constante que alargue la vida útil del equipo
- Implementar la unidad en diferentes campos, ya que la unidad posee suficiente capacidad para realizar trabajos en pozos con mayores temperaturas, presiones y profundidades que las del campo la Cira-Infantas, demostrando así que la inversión realizada en la adquisición de esta unidad es representada en resultados y en aumento de valor en la empresa. Además es importante incluir a la unidad en los diferentes trabajos que se estén realizando en el mismo campo, prestando el mástil de la unidad como un equipo de levantamiento o grúa, eliminando así el costo de alquiler, mano de obra o compra de grúas auxiliares

BIBLIOGRAFIA

AGUIRRE PARDO, Ricardo Gustavo. Optimización de la limpieza de parafina en pozos del noroeste peruano utilizando unidad a cable. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú, 2004. p. 66.

AIP S.A.S, Catalogo de herramientas y equipos AIP S.A.S. Informe de Análisis de Costos de inversión.

ARDILA, Juan Sebastián, Evaluación técnico-financiera de la implementación del registro de producción... en el campo provincia. Tesis. Bogotá D.C.: Universidad de América de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2004.

ARRANQUE, Amelia, Análisis y evaluación de los trabajos de estimulación realizados en los Campos.... Y Provincia. Tesis. Bogotá D.C.: Universidad de América de Colombia. Facultad de ingeniería, 2004.

ATLANTICO Sabadell. Herramientas de Calculo Financiero. Edición Noviembre 2006.

BACA, Guillermo. Ingeniería Económica, Revisión Técnica. Bogotá D.C. Politécnico Grancolobiano, 2011.

BANCO DE LA REPUBLICA. Glosario de Términos, 2016 pág 99.

BARRERO, Darío, et al. Colombian Sedimentary Basins. 2016]. Disponible en: http://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Tesis/EVALUACION_DEL_POTENCIA_HIDROCARBURIFERO_DE_LAS_CUENCAS_COLOMBIANA_UIS_2009.pdf

BRATTH SALGADO, Oscar. Características operacionales y metodología de la perforación y el completamiento de pozos con unidades de Snubbing. Universidad Industrial de Santander, 2012. p. 173.

CASTRO, Juan C. Manual De Unidad TSS003. 2015.

COLREGISTROS. Manual De Operaciones De Slickline. Bogotá D.C.: 2009.

DE PORTA, J. Léxico Estratigráfico. Volumen V, ed. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 1994.

DURASTAR. Manual DuraStar 4300. 2015.

ECOPETROL. Carta petrolera N° 108. Abril-Mayo. El regreso a la Cira. En: CARTA PETROLERA. Bogotá D.C. Abril-Mayo.

EPIS [En línea].2016.<http://migep.anh.gov.co:3021/InicioGeoVisor.aspx>.

Extrayendo transparencia. Glosario De Términos Petroleros. Ecuador. 2016]. Disponible en: http://extrayendotransparencia.grupofaro.org/category/ingresos-petroleros/glosario-de-terminos/glosario-de-terminos-petroleros/#.V_0deujhC00

GARNER (A. H.), Julivert, M. Colombia. Léxico Estratigráfico Internacional. Volumen V. Fascículo 4 a. 1968.

GOOGLE MAPS. Mapa De Colombia y La Cira. (Modificada por el autor). Disponible en: maps.google.com

GONZÁLEZ PÉREZ, Fernando José. Diseño de un sistema de carga mecánica al Winch de las unidades de registro de Wireline; Universidad Simón Bolívar, 2012. p. 91.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas Norma NTC 1486. Sexta actualización. 2008 pág 1-36

_____ Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas Norma NTC 4490. Sexta actualización. 2008 pág. 1-33

_____ Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas Norma NTC 5613. Sexta actualización. 2008 pág 1-23

GARZON CAMACHO, Joel. Analisis de distribución y eficiencia de la inyección en el Campo La Cira – Infantas.

BANCO DE LA REPUBLICA. Glosario de Términos, 2016 pág 99.

Manual de operaciones Slickline, Hydrocarbon Services, disponible en internet, www.scribd.com/es/doc/Manual-Slick-Line-V3, 2013

MAXIM AND FISHING S.A.S., Manual de uso y memorias de cálculo.2007.

MAYZEL, John. Slickline Training Manual. Schlumberger.

MOJICA, Jairo y FRANCO, Ricardo. Estructura y Evolución Tectónica Del Valle Medio y Superior Del Magdalena. 1990th ed. Bogotá D.C: Escala, 120p p.

MORALES (L. G.) et al., 1958 citado por Julivert, M. Colombia. Léxico Estratigráfico Internacional. Volumen V. Fascículo 4 a. 1968. p. 458

NEXT Oil & Gas Training and Competency Development. Fundamentals of Slickline Operations. [0]. 2017]. Disponible en: <http://www.nexttraining.net/Courses/Details/PE-TC1-SLB16451/Fundamentals-of-Slickline-Operations.aspx?trainingplan=True>

PEMEX. Términos Usados En La Industria Petrolera. México: BASE DE DATOS INSTITUCIONAL, 2010. 71 p.

PRIETO, Mónica Andrea, Evaluación del desempeño de inhibidores de Arcillas, el los lodos... del campo la Cira del Valle Medio der Magdalena. Tesis. Bogotá D.C.: Universidad de América de Colombia. Facultad de Ingeniería, 2014

PRODUCTOS ACEVEDO PEÑALOSA. Catálogo De Productos Acevedo Peñalosa. Disponible en: <http://www.apdm.com.co/>

SAUER DANFOSS. Catálogo de productos de Sauer Danfoss serie 90 axial.

SCHLUMBERGER. Oilfield Glossary En Español. 2016. Disponible en: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/n/neritic.aspx>

Schlumberger. BOP. [0]. 2017]. Disponible en: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/bop.aspx>

Schlumberger. Lubricador. [0]. 2017]. Disponible en: <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/l/lubricator.aspx>

SILVA ARIAS, Crithian Eladio. Desarrollo y manejo de información de pozos nuevos a perforar en el Campo de La Cira - Infantas. Universidad Industrial de Santander, 2009. p. 148.

SOLANO, D. Álvaro. Análisis de información obtenida de los registros y del modelo petrofísico y su integración la geología del yacimiento para soportar el plan de desarrollo en el campo la Cira Infantas. p. 22

VAZQUEZ, Hernán. La historia del petróleo en Colombia, Revista Universal EAFIT, pág 104.

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Yo **Diego Ricardo Masmela Wiches** en calidad de titular de la obra **RE-DISEÑO DEL EQUIPO DE SLICKLINE DISMINUYENDO EL TIEMPO EN LA TOMA DE REGISTROS ILT POR POZO EN EL CAMPO LA CIRA-INFANTAS**, elaborada en el año 2016, autorizo al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifestó conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 18 días del mes de Mayo del año 2017.

EL AUTOR:

Nombres	Apellidos
Diego Ricardo	Masmela Wilches
Documento de identificación No	Firma
1015433851	