

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA DOTACIÓN DE UNA GABARRA DE CEMENTACIÓN Y BOMBEO DE FLUIDOS A POZOS DEL LAGO DE MARACAIBO

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Salazar L. Génesis Y.
Para optar al Título de:
Ingeniera de Petróleo.

Caracas, Octubre 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PARA LA DOTACIÓN DE UNA GABARRA DE CEMENTACIÓN Y BOMBEO DE FLUIDOS A POZOS DEL LAGO DE MARACAIBO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Díaz

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Renee Merchán

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Salazar L. Génesis Y.
Para optar al Título de:
Ingeniera de Petróleo.

Caracas, Octubre 2015

DEDICATORIA

A mi madre Eglis.

Por haberme apoyado en todo momento, escuchado y aconsejado cuando lo necesite.

A mi padre Rogelio.

Por ser mi ejemplo a seguir, por su perseverancia, dedicación, responsabilidad y compromiso que lo caracterizan y que me hecho la persona que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por bendecirme con oportunidades únicas en la vida, por poner en mi camino personas maravillosas que me ayudaron a lograr mis sueños, por darme salud y fuerza para seguir adelante en momentos difíciles.

Agradezco a la ilustre Universidad Central de Venezuela por brindarme la oportunidad de adquirir los conocimientos impartidos en la escuela de Ingeniería de Petróleo.

A los profesores por su dedicación a la hora de transmitirme sus enseñanzas, por sus consejos y recomendaciones que mucho me han ayudado en todo estos años de carrera.

Agradezco al Prof. Pedro Díaz por aceptar ser mi tutor académico, por sus recomendaciones y el tiempo dedicado a la revisión y orientación de mi tesis.

Agradezco al Ingeniero Renee Merchán, tutor industrial, por darme la oportunidad de demostrar mis conocimientos, por dedicar parte de su tiempo a evaluar mis avances, y por hacerme sentir parte importante de su organización.

Agradezco inmensamente a mis padres por enseñarme valores y principios que me ayudaron a seguir adelante en momentos difíciles. Les agradezco por enseñarme que con sacrificio se logran las metas, por respetar mis decisiones y por apoyarme en todo momento.

Agradezco a todos los empleados del segmento Well Services-Cementación en las Morochas-Edo. Zulia. A los técnicos de laboratorio Edixon Ramírez, Luisa Túa, Sr José Pacheco, por estar dispuestos en todo momento a transmitirme sus conocimientos, por toda la ayuda y buenos comentarios. A los ingenieros de cementación Sr. Carlos Parejo, Sr. Mérvín Márquez, Samira Rodríguez, Alejandra

Cuellar, Manuel Yanes por todo el tiempo dedicado a aclarar las dudas, revisar mis avances, corregir mis errores, y asesorarme en todo momento que así lo requerí. A los supervisores de cementación Sr. Cristian Rodríguez, Marcos Ortiz, Iván Bravo, Eliz Hernández, Sr Cesar Manzano, Sr Juan Carlos Alejo y al Sr Víctor Sánchez por permitirme participar en las cuadrillas de cementación, por todas las tareas asignadas, por cuidarme y supervisarme en todo momento, por sus buenas opiniones acerca de mi trabajo, y por las críticas constructivas que me ayudaron a mejorar. A los operadores por brindarme su amistad, por darme consejos siempre que lo necesite y orientarme en la realización de las tareas.

Agradezco a la Sra. Enid Sevilla y el Sr Rogelio Este por tratarme como parte de su familia, mis amigos y colegas Franklin Flores y Luis Arturo Ramírez por todo su apoyo y amistad. Confío en Dios y en mi fuerza de voluntad para seguir creciendo como persona y como profesional.

Gracias...

Génesis Y. Salazar L

Salazar L. Génesis Y.

Diseño y selección de equipos para la dotación de una gabarra de cementación y bombeo de fluidos a pozos del Lago de Maracaibo

Tutor Académico: Prof. Pedro Díaz. Tutor Industrial: Ing. Renee Merchán.

Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería de Petróleo. Año 2015, 229pag.

Palabras Claves: Diseño de equipos de cementación, Gabarra, Revestidores, Lechadas.

Resumen: El presente trabajo tiene por objeto el diseño y selección de los equipos que conforman a una gabarra de cementación para suplir la demanda de servicios de cementación de pozos ubicados en el Lago de Maracaibo. Una buena cementación es fundamental para la consiguiente completación y producción del pozo. En ambientes lacustres, como es el caso del Lago de Maracaibo, la cementación de los pozos se realiza usando gabarras de cementación equipadas con la más alta tecnología para garantizar trabajos de alta calidad; por lo tanto, el mantenimiento, reparación o reemplazo de los equipos es vital para el buen funcionamiento de dicha gabarra. Sin embargo, cuando los equipos requieren reparaciones más complejas también se requiere de tiempo y una gran inversión de dinero para realizarlas; lo cual, representa un problema para las compañías de servicio, debido a que, parar sus operaciones significa disminución de su participación en el mercado, pérdidas de contratos y de reputación. Por tal motivo, se hace más práctico disponer de otras gabarras de cementación y para ello se requiere el estudio, diseño, selección y posterior distribución en la gabarra de los equipos más óptimos para ofrecer servicios en el Lago de Maracaibo de acuerdo a las exigencias operacionales de los pozos, garantizando la calidad de la operación, y la seguridad del personal y del ambiente.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| INDICE DE TABLAS | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xvii |
| LISTA DE ABREVIATURAS | xxi |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 3 |
| FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN..... | 3 |
| 1.1 Planteamiento del problema | 3 |
| 1.2 Justificación..... | 4 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 4 |
| 1.3.1 Objetivo general | 4 |
| 1.3.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.4 Alcance..... | 5 |
| 1.5 Limitaciones | 5 |
| CAPÍTULO II | 7 |
| MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| 2.1 Introducción a la Cementación Primaria..... | 7 |
| 2.2 Posicionamiento de la Lechada..... | 7 |
| 2.2.1 Diseño..... | 8 |
| 2.2.2 Análisis de la información..... | 10 |
| 2.2.3 Criterios que influyen en el diseño de la cementación | 10 |
| 2.2.4 Datos requeridos para el diseño inicial..... | 11 |

| | |
|--|----|
| 2.2.5 Densidad de la lechada y selección de los aditivos | 11 |
| 2.3 Remoción del lodo | 12 |
| 2.3.1 Fluidos de Desplazamiento o Preflujos | 13 |
| 2.3.2 Lavadores químicos | 13 |
| 2.3.3 Espaciadores | 14 |
| 2.4 Proceso global del mezclado del cemento..... | 15 |
| 2.4.1 Mezclado del Cemento | 15 |
| 2.4.2 Energía de Mezcla en Laboratorio..... | 18 |
| 2.4.3 Energía de Mezclado en Campo..... | 18 |
| 2.4.4 Mezcla continua o al vuelo..... | 18 |
| 2.4.5 Mezclado por lotes o premezclado | 19 |
| 2.5 Cementación de Liners..... | 19 |
| 2.6 Cementación de Inyección o <i>Top-Up</i> | 20 |
| 2.7 Cementaciones secundarias o de remediación | 20 |
| 2.7.1 Cementación forzada convencional..... | 21 |
| 2.7.2 Sistema de lechada de cemento para forzamientos | 23 |
| 2.8 Tapones de cemento | 24 |
| 2.9 Equipos básicos de cementación | 24 |
| 2.9.1 Almacenamiento y mezcla de materiales a granel..... | 25 |
| 2.9.2 Colectores de polvo | 27 |
| 2.9.3 Tanques de compensación | 28 |
| 2.9.4 Sistema para la dosificación del agua de mezcla..... | 29 |
| 2.9.5 Almacenamiento y mezcla de aditivos líquidos | 30 |

| | |
|---|----|
| 2.9.6 Sistema de dosificación de aditivos líquidos sin tanque de dosificación | 32 |
| 2.9.7 Equipos de Mezcla continua del Cemento o <i>Slurry Chief</i> | 33 |
| 2.9.8 Equipos para mezcla de cemento por lotes..... | 34 |
| 2.10 Equipos en sala de bombas y sala de máquinas | 35 |
| 2.10.1 Bombas centrifugas..... | 36 |
| 2.10.2 Bombas Triplex de alta presión Serie PG | 37 |
| 2.10.3 Compresores de aire de baja presión alto caudal | 37 |
| 2.10.4 Compresores de aire de alta presión bajo caudal | 38 |
| 2.10.5 Depósitos Generadores..... | 38 |
| 2.10.6 Extractores y ventiladores | 39 |
| 2.10.7 Unidades de cementación..... | 40 |
| 2.11 Gabarras | 41 |
| 2.11.1 Flotabilidad de un buque..... | 42 |
| 2.12 Equipos auxiliares | 44 |
| 2.12.1 Grúas | 44 |
| 2.12.2 Sistema de anclaje | 44 |
| 2.12.3 Sistemas contra incendio..... | 45 |
| 2.12.4 Manejo de Productos Químicos | 47 |
| CAPÍTULO III | 49 |
| DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 49 |
| 3.1 Cuenca del Lago de Maracaibo | 49 |
| 3.2 Costa Oriental del Lago de Maracaibo..... | 50 |
| 3.2.1 Yacimiento LGI TJ-3.2.1 Campo Tía Juana, Locación TJ-UCV-01..... | 50 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2 Yacimiento BACH-3.2.2 Campo Lagunilla, Locación LL-UCV-02 | 53 |
| 3.2.3 Yacimiento BACH-3.2.3 Campo Bachaquero, Locación BA-UCV-03..... | 55 |
| 3.3 Centro del Lago..... | 58 |
| 3.3.1 Yacimiento C-X-3.3.1 Campo Centro Lago, Locación CL-UCV-04 | 59 |
| 3.4 Costa Occidental del Lago | 60 |
| 3.4.1 Yacimiento URD-3.4.1 Campo Urdaneta, Locación UD-UCV-05..... | 60 |
| CAPÍTULO IV | 63 |
| METODOLOGÍA | 63 |
| 4.1 Tipo de investigación | 63 |
| 4.2 Recolección de datos..... | 63 |
| 4.3 Análisis de datos..... | 64 |
| 4.4 Presentación del modelado y diseño 3D | 66 |
| 4.5 Presentación de los resultados..... | 67 |
| CAPÍTULO V | 68 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 68 |
| 5.1 Propuestas técnicas realizadas por Schlumberger para servicios de cementación a pozos del Lago de Maracaibo | 68 |
| 5.1.1 Revestidor intermedio de 7” a 3565 pies en el pozo TJ-G03 perforado en la localización TJ-UCV-01 | 68 |
| 5.1.2 Revestidor de producción de 7” a 2688ft’ del Pozo LL-G04 perforado en la Localización LL-UCV-02..... | 75 |
| 5.1.3 Revestidor de producción 7” a 3642ft del Pozo BA-G05 perforado en la Localización BA-UCV-03 | 83 |
| 5.4.1 Revestidor de producción de 5 ½” a 12480 ft del Pozo CL-G06 perforado en la Localización CL-UCV-04..... | 91 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.5 Liner de producción de 5’’ a 10315ft del Pozo UD-G07 perforado en la localización UD-UCV-05 | 98 |
| 5.2 Selección de los equipos para almacenamiento de materiales, mezcla y bombeo de fluidos..... | 105 |
| 5.3 Bombas centrifugas para los tanques de recirculación de preflujos, aguas de mezcla y tanque cero descargas | 109 |
| 5.4 Agitadores | 111 |
| 5.5 Sistema de mezcla <i>Slurry Chief</i> | 113 |
| 5.6 Tanque de desechos líquidos o cero descarga | 114 |
| 5.7 Compresores | 115 |
| 5.8 Extractores/ventiladores en sala de máquinas | 118 |
| 5.9 Grúas | 120 |
| 5.10 Generadores..... | 121 |
| 5.11 Consumo de combustible: | 123 |
| 5.12 Flotabilidad del casco de la gabarra | 125 |
| 5.13 Bombas fijas contraincendios y estimación del volúmen de arqueo..... | 131 |
| 5.14 Sistema de anclaje | 135 |
| 5.15 Diseño preliminar de tanques | 135 |
| 5.16 Representación 3D de las unidades estándares de SIb | 148 |
| 5.17 Representación 3D de la Gabarra de cementación | 152 |
| CONCLUSIONES | 158 |
| RECOMENDACIONES | 160 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 161 |
| BIBLIOGRAFÍA | 166 |
| APÉNDICES..... | 168 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS..... 190

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Efectos de las diferencias entre los datos usados para el diseño y los datos actuales del pozo sobre el éxito del trabajo_____ | 9 |
| Tabla 2 Aditivos agregados a las lechadas para tratar los problemas de los pozos _ | 12 |
| Tabla 3 Topes geológicos de la perforación de la Localización TJ-UCV-01 _____ | 52 |
| Tabla 4 Prognosis petrofísica de la Localización horizontal TJ-UCV-01 _____ | 53 |
| Tabla 5 Propiedades del yacimiento Bachaquero-3.2.3 _____ | 56 |
| Tabla 6 Características del Campo Lama en el Centro Lago _____ | 58 |
| Tabla 7 Propiedades petrofísicas promedio de la Localización UD-UCV-05 _____ | 62 |
| Tabla 8 Información General del Hoyo intermedio del Pozo TJ-G03 _____ | 70 |
| Tabla 9 Datos de formación atravesada por el hoyo intermedio del pozo TJ-G03__ | 70 |
| Tabla 10 Datos de la etapa previa al revestidor intermedio del pozo TJ-G03 _____ | 70 |
| Tabla 11 Datos de la tubería de revestimiento intermedio del pozo TJ-G03 _____ | 70 |
| Tabla 12 Datos de Condiciones del Lodo. Hoyo intermedio del Pozo TJ-G03 _____ | 71 |
| Tabla 13 Descripción del Lavador Químico. Revestidor 7" del Pozo TJ-G03 _____ | 72 |
| Tabla 14 Descripción espaciador base agua. Revestidor 7" del Pozo TJ-G03 _____ | 72 |
| Tabla 15 Descripción de la lechada antimigratoria e impermeable para cementación del revestidor intermedio del Pozo TJ-G03 _____ | 73 |
| Tabla 16 Programa de la secuencia del bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7" del Pozo TJ-G03 _____ | 74 |
| Tabla 17 Información General del Hoyo de producción del Pozo LL-G04 _____ | 77 |
| Tabla 18 Datos de formación atravesada por el pozo LL-G04 _____ | 77 |
| Tabla 19 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo LL-G04 __ | 77 |
| Tabla 20 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo LL-G04 __ | 78 |
| Tabla 21 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo LL-G04 _____ | 79 |
| Tabla 22 Preflujos para la cementación del revestidor 7" del Pozo LL-G04_____ | 79 |
| Tabla 23 Descripción de la lechada retardada para la cementación del revestidor 7" del Pozo LL-G04_____ | 80 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 24 Descripción de la lechada acelerada para la cementación del revestidor 7’’ del Pozo LL-G04 _____ | 81 |
| Tabla 25 Programa de la secuencia del bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7’’ del Pozo LL-G04 _____ | 82 |
| Tabla 26 Información General del Hoyo de producción del Pozo BA-G05 _____ | 85 |
| Tabla 27 Datos de formación atravesada por el pozo BA-G05 _____ | 85 |
| Tabla 28 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo BA-G05 __ | 85 |
| Tabla 29 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo BA-G05 __ | 86 |
| Tabla 30 Datos de Condiciones del Lodo del Pozo BA-G05 _____ | 87 |
| Tabla 31 Descripción del Lavador Químico. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ____ | 87 |
| Tabla 32 Descripción del espaciador. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 _____ | 87 |
| Tabla 33 Descripción de la lechada retardada. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 __ | 88 |
| Tabla 34 Descripción de la lechada acelerada. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ____ | 89 |
| Tabla 35 Programa de bombeo del revestidor 7" del Pozo BA-G05 _____ | 90 |
| Tabla 36 Información General del Hoyo de producción del Pozo CL-G06 _____ | 93 |
| Tabla 37 Datos de formación del pozo CL-G06 _____ | 93 |
| Tabla 38 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo CL-G06 __ | 93 |
| Tabla 39 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo CL-G06 __ | 94 |
| Tabla 40 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo CL-G06 @180°F _____ | 95 |
| Tabla 41 Lavador químico base aceite para cementación de Revestidor 5 ½’’ del Pozo CL-G06 _____ | 95 |
| Tabla 42 Espaciador MudPush II para cementación de Revestidor 5 ½’’ del Pozo CL-G06 _____ | 95 |
| Tabla 43 Descripción de la lechada Antimigratoria, Dúctil y Expansiva densidad de 16.2 lpg para la cementación del Revestidor 5 ½’’ del Pozo CL-G06 _____ | 96 |
| Tabla 44 Programa de la secuencia del bombeo al hoyo de producción del Pozo CL-G06 _____ | 97 |
| Tabla 45 Información General del Hoyo de producción del pozo UD-G07 _____ | 100 |
| Tabla 46 Datos de formación del Pozo UD-G07 _____ | 100 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 47 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo UD-G07_ | 100 |
| Tabla 48 Características de la tubería de perforación usada en el hoyo de producción del Pozo UD-G07 _____ | 100 |
| Tabla 49 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo UD-G07__ | 101 |
| Tabla 50 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo UD-G07 _____ | 102 |
| Tabla 51 Descripción de Lavador químico para cementación del Liner 5'' del Pozo UD-G07 _____ | 102 |
| Tabla 52 Descripción de Espaciador MudPush II para cementación de Liner 5'' del Pozo UD-G07 _____ | 102 |
| Tabla 53 Descripción de la lechada Antimigratoria para la cementación del Liner 5'' del Pozo UD-G07 _____ | 103 |
| Tabla 54 Programa de la secuencia del bombeo al hoyo de producción del Pozo UD-G07 _____ | 104 |
| Tabla 56 Cuadro comparativo de trabajos de cementación tomados en análisis para la selección de equipos de almacenamiento y mezcla de cemento, agua de mezcla y preflujos_____ | 106 |
| Tabla 56 Requerimientos de unidades de mezcla y bombeo estimado por número de trabajos _____ | 108 |
| Tabla 57 Volúmenes de fluidos manejados en los tanques de recirculación y tanque cero descarga_____ | 110 |
| Tabla 58 Comparación de bombas centrífugas con impulsores cerrados (RA) ____ | 110 |
| Tabla 59 Tiempo de recirculación de Bombas Centrífugas _____ | 110 |
| Tabla 60 Resultados de la potencia de mezcla requerida para la defloculación de lechadas de cemento. _____ | 112 |
| Tabla 61 Cálculo de la energía de mezcla mínima requerida para la cementación de los pozos estudiados _____ | 113 |
| Tabla 62 Comportamiento de presión de un silo ante diferentes caudales de flujo de aire_____ | 116 |
| Tabla 63 Datos de ventiladores SIEMENS accionados por motor eléctrico _____ | 120 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 64 Estimación del consumo eléctrico de la nueva gabarra de cementación _ | 121 |
| Tabla 65 Estimación del consumo de combustible por equipos propuestos para la gabarra de cementación_____ | 124 |
| Tabla 66 Características físicas de los tanques de almacenamiento propuestos para la nueva Gabarra de Cementación. _____ | 126 |
| Tabla 67 Pesos estimados de los equipos y los fluidos correspondientes. _____ | 127 |
| Tabla 68 Pesos de aceros en estructuras y láminas de la Gabarra D1992 _____ | 129 |
| Tabla 69 Estimación del desplazamiento de agua por líneas de flotación (DLF)___ | 130 |
| Tabla 70 Peso total estimado de la nueva Gabarra de Cementación_____ | 130 |
| Tabla 71 Capacidad de los tanques de almacenamiento instalados en casco en metros cúbicos_____ | 131 |
| Tabla 72 Peso de casco de Gabarra D-1992 ocupado por líneas de flotación _____ | 132 |
| Tabla 73 Componentes del tanque cero descarga_____ | 138 |
| Tabla 74 Dimensiones propuestas para el diseño final del tanque cero descarga__ | 138 |
| Tabla 75 Componentes de tanques de agua potable _____ | 140 |
| Tabla 76 Dimensiones propuestas para el diseño final de tanques de agua potable | 140 |
| Tabla 77 Componentes del tanque para almacenar combustibles_____ | 142 |
| Tabla 78 Dimensiones propuestas (incluyendo bases) para el diseño final del tanque de combustible. _____ | 142 |
| Tabla 79 Componentes principales del los tanques de recirculación _____ | 144 |
| Tabla 80 Dimensiones propuestas para los tanques de recirculación _____ | 145 |
| Tabla 81 Componentes principales de una planta de almacenamiento y transporte de materiales a granel_____ | 147 |
| Tabla 82 Dimensiones de los silos de acuerdo a los planos de distribución de tanques de la gabarra D1992 _____ | 147 |
| Tabla 83 Principales componentes del sistema CBS-955_____ | 150 |
| Tabla 84 Divisiones y posicionamiento de equipos bajo casco _____ | 153 |
| Tabla 85 Datos de interés sobre las acomodaciones y cabina del cliente _____ | 155 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Trabajo típico de cementación primaria de una etapa para un Revestidor Superficial (modificado) | 8 |
| Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de mezcla del cemento | 16 |
| Figura 3 Desfloculación y energía para el mezclado (modificado) | 17 |
| Figura 4 Cementación de inyección o Top-UP (modificado) | 20 |
| Figura 5 Filtrado de Revoque de cemento formado dentro del canal perforado (modificado) | 21 |
| Figura 6 Invasión de agua y gas en zonas de petróleo (modificado) | 22 |
| Figura 7 Tanque de Presión o Silo | 25 |
| Figura 8 Válvula de Alivio de Presión | 26 |
| Figura 9 Colector de Polvo | 27 |
| Figura 10 Tanque de compensación | 28 |
| Figura 11 Componentes del tanque de compensación (modificado) | 29 |
| Figura 12 Sistema de tanques de desplazamiento | 30 |
| Figura 13 Sistema de aditivos líquidos LAS | 31 |
| Figura 14 Sistema de dosificación de aditivos líquidos | 32 |
| Figura 15 Estante de Medición de aditivos líquidos | 33 |
| Figura 16 Sistema de mezcla CBS-393 | 34 |
| Figura 17 Mezclador de cemento por lotes o RMX sobre patín modelo CBS-955 | 35 |
| Figura 18 Partes de una bomba centrífuga | 36 |
| Figura 19 Compresores de baja presión | 38 |
| Figura 20 Generador Caterpillar C-15 | 39 |
| Figura 21 Tipos constructivos de ventiladores | 39 |
| Figura 22 Bomba de cementación CPS- 361 | 41 |
| Figura 23 Representación gráfica del casco de una Gabarra y sus principales componentes | 42 |
| Figura 24 Representación del volumen ocupado por líneas de flotación. | 43 |

| | |
|--|-----|
| Figura 25 Principales componentes de una línea de anclaje. _____ | 45 |
| Figura 26 Ubicación geográfica de la Cuenca del Lago de Maracaibo _____ | 49 |
| Figura 27 columna estratigráfica generalizada para el Campo Lagunilla Lago ____ | 51 |
| Figura 28 Ubicación Geográfica de la Localización LL-UCV-02 (Parcela A-230)_ | 54 |
| Figura 29 Mapa de la ubicación geográfica del Yacimiento BACH-3.2.3 (Modificado) _____ | 56 |
| Figura 30 Columna geológica generalizada para el campo Bachaquero Lago ____ | 57 |
| Figura 31 Columna Estratigráfica de la formación Misoa _____ | 59 |
| Figura 32 Columna estratigráfica del yacimiento URD-3.4.1 _____ | 61 |
| Figura 33 Diseño mecánico del Pozo TJ-G03_____ | 69 |
| Figura 34 Esquema General del Pozo TJ-G03. Revestidor intermedio _____ | 71 |
| Figura 35 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7” de la localización TJ-UCV-01 _____ | 75 |
| Figura 36 Diseño mecánico del pozo LL-G04 _____ | 76 |
| Figura 37 Diagrama general del pozo LL-G04. Revestidor de producción _____ | 78 |
| Figura 38 Perfil de presión de bombeo para la cementación del revestidor 7” del Pozo LL-G04_____ | 83 |
| Figura 39 Diseño mecánico del pozo BA-G05 _____ | 84 |
| Figura 40 Diagrama general del pozo BA-G05. Revestidor de producción _____ | 86 |
| Figura 41 Perfil de Presión durante el Bombeo para cementación del revestidor 7" del Pozo BA-G05 _____ | 91 |
| Figura 42 Diagrama mecánico propuesto Localización: CL-UCV-04 _____ | 92 |
| Figura 43 Diagrama general del pozo CL-G06. Revestidor de producción _____ | 94 |
| Figura 44 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 5 1/2" del Pozo CL-G06 _____ | 98 |
| Figura 45 Diagrama mecánico propuesto para la Localización UD-UCV-05 ____ | 99 |
| Figura 46 Diagrama general del pozo UD-G07. Liner de producción _____ | 101 |
| Figura 47 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del Liner 5" del Pozo UD-G07 _____ | 104 |
| Figura 48 Tanques de recirculación. _____ | 109 |

| | |
|---|-----|
| Figura 49 Motor trifásico WEG para agitadores _____ | 113 |
| Figura 50 Tanque de residuos líquidos o cero descarga _____ | 115 |
| Figura 51 Compresor recíprocante de baja presión BETICO _____ | 117 |
| Figura 52 Compresor de alta rotativo axial Gardner Denver _____ | 118 |
| Figura 53 Casco de gabarra visto desde tope mostrando ubicación y dimensiones de la sala de máquinas. _____ | 119 |
| Figura 54 Áreas de almacenamiento _____ | 120 |
| Figura 55 Distancia mínima del radio del brazo de la grúa. _____ | 121 |
| Figura 56 Grúa marina telescópica de 60 toneladas _____ | 121 |
| Figura 57 Tanque de combustible _____ | 125 |
| Figura 58 Representación 3D de las divisiones del Casco de la Gabarra D-1992 _ | 128 |
| Figura 59 Plano de tanques de vacío y divisiones del casco Gabarra D-1992 ____ | 128 |
| Figura 60 Volumen desplazado por Líneas de Flotación del Casco de la Gabarra de Cementación D-1992. _____ | 130 |
| Figura 61 Bomba contra incendio UEM 1200 FPSK _____ | 135 |
| Figura 62 Vista generalizada del tanque cero descarga. _____ | 136 |
| Figura 63 Vista desde tope del tanque cero descarga. _____ | 137 |
| Figura 64 Vista lateral del tanque cero descarga _____ | 137 |
| Figura 65 Vista desde tope de tanques de agua potable _____ | 139 |
| Figura 66 Vista generalizada de los tanques de agua potable _____ | 140 |
| Figura 67 Vista generalizada del tanque de combustible _____ | 141 |
| Figura 68 Vista desde tope de los Tanques de recirculación _____ | 143 |
| Figura 69 Vista generalizada de los tanques de recirculación mostrando la configuración interior. _____ | 144 |
| Figura 70 Dimensiones de un silo individual _____ | 145 |
| Figura 71 Vista superior de la planta de almacenamiento de sistemas a granel. _ | 146 |
| Figura 72 Representación 3D del tanque de compensación CUS-122 _____ | 148 |
| Figura 73 Representación 3D del colector de polvo modelo CUS-916 _____ | 149 |
| Figura 74 Representación 3D de la unidad RMX modelo CBS-955 (tope) _____ | 149 |
| Figura 75 Representación 3D de la unidad RMX modelo CBS-955 (frente) _____ | 150 |

| | |
|---|-----|
| Figura 76 Diseño 3D del tanque de almacenamiento de la unidad CMP-351. _____ | 151 |
| Figura 77 Diseño 3D del tanque de dosificación de la unidad CPM-351 _____ | 151 |
| Figura 78 Diseño 3D de batea de mezcla CBS-393 _____ | 152 |
| Figura 79 Configuración de aceros bajo casco propuesta para instalación de equipos y tanques. _____ | 153 |
| Figura 80 Vista generalizada del diseño 3D del casco de la nueva Gabarra de Cementación. _____ | 154 |
| Figura 81 Diseño 3D de tráileres para las acomodaciones de la gabarra. _____ | 154 |
| Figura 82 Representación 3D de Bomba contra incendio sobre patín modelo UEM 1200 FPSK _____ | 155 |
| Figura 83 Representación 3D de grúa telescópica de 60T. _____ | 156 |
| Figura 84 Vista generalizada del diseño 3D de la Gabarra de Cementación _____ | 156 |
| Figura 85 Vista generalizada del diseño 3D de la Gabarra de Cementación _____ | 157 |
| Figura 86 Vista lateral del diseño 3D de la gabarra de cementación. _____ | 157 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|------|--|
| TOC | Topes teóricos de cemento |
| WOC | Peso (libras) de cemento |
| EDCs | Densidad equivalente de circulación |
| KOP | Puntos de desviación en la trayectoria de un pozo |
| LMC | Controladores de pérdidas de circulación |
| ELF | Flujo laminar efectivo |
| WOR | Relación agua-petróleo |
| RGP | Relación gas-petróleo |
| HHP | Caballos de fuerza hidráulica |
| BHHP | Caballos de fuerza hidráulica a la salida del motor. |
| BWOC | Por peso del cemento |
| BWOW | Por peso de agua |
| CBS | Mezcladora de cemento sobre patín |
| CPS | Bomba de cementación sobre patín |
| RMX | Recirculador de mezclas |
| PTO | Acoplamiento o Toma de fuerza |
| BOP | Válvulas impide reventones |
| DLF | Desplazamiento por líneas de flotación |
| GT | Toneladas de arqueo bruto |
| NT | Toneladas de arqueo neto |
| TVD | Profundidad vertical verdadera |
| BNL | Profundidad bajo nivel del lago |
| BML | Profundidad bajo mesa rotatoria |
| ANP | Arena neta petrolífera |
| Kabs | Permeabilidad absoluta |

| | |
|---------|--|
| Kef | Permeabilidad efectiva |
| So | Saturación de petróleo |
| MD | Medida total de la perforación |
| POES | Petróleo original en sitio |
| BHCT | Temperatura circulante de fondo del pozo |
| BHST | Temperatura estática de fondo del pozo |
| BHP | Presión de fondo del pozo |
| MUSPUSH | Espaciador |
| OD | Diámetro externo |
| ID | Diámetro interno |
| WCS | Servicios de cementación de pozos |
| BLEND | Mezcla de cemento mas aditivos secos |
| WHP | Presión en el cabezal del pozo |
| CemHP | Potencia hidráulica calculada por el simulador CemCADE |

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la industria petrolera a nivel mundial continúa implementando nuevas tecnologías que permiten el máximo desarrollo de los yacimientos de hidrocarburos. Son muchos los servicios a pozos que se ofrecen para facilitar la construcción, producción y/o abandono de los mismos.

Venezuela cuenta con cinco cuencas petroleras principales, la cuenca Tuy-Cariaco, la cuenca de Falcón, la cuenta Barinas-Apure, la cuenca Oriental y la cuenca del Lago de Maracaibo. Esta última ubicada al occidente del país fue hasta 1998 el área petrolera de mayor producción, para el año 2000, tuvo una producción acumulada de 536.887 millones de barriles, 46,6% de la producción nacional, con 13.000 pozos activos y una capacidad de producción de 1.885 millones de barriles diarios^[1].

Con la finalidad de incrementar la producción, los yacimientos del Lago de Maracaibo requieren diversos tipos de intervenciones, tales como la construcción, rehabilitación, estimulación de pozos

El desarrollo de los pozos se divide en tres etapas, la perforación, la construcción y la completación, y constituyen un aspecto fundamental de la viabilidad económica de los pozos de petróleo y gas, ya sean productores o inyectores. Como parte de la construcción de los pozos se encuentra el proceso de cementación tanto primaria como secundaria o de remediación. La cementación primaria tiene como principal objetivo el posicionamiento de lechadas de cemento en el espacio entre el revestidor y la formación con el propósito de darle protección, estabilidad y aislar las formaciones, mientras que las cementaciones secundarias o remediales son los trabajos de forzamiento de cemento, que consiste en bombear lechada en un área específica del pozo cuando la cementación primaria ha fallado, o también los tapones de cemento que se usan cuando se quiere abandonar el pozo o desviar su trayectoria.

Schlumberger provee servicios de alta calidad para la construcción de pozos y aplicaciones de remediación desde hace más de 85 años. Estos servicios están basados en la utilización de las mejores prácticas, con tecnología innovadora y operaciones ambientalmente seguras. Schlumberger Venezuela, ofrece a través del

segmento Well Services-WIT servicios de cementación primaria y de remediación, en occidente con la base en Las Morochas-Edo Zulia, y en oriente con la base ubicada en Maturín-Edo Monagas.

Para aplicaciones en el Lago de Maracaibo, Schlumberger cuenta con una Gabarra de cementación D1992, con la cual se han realizado diversos tipos de trabajos de alta calidad. Sin embargo, con el pasar de los años, la exposición de los equipos a los ambientes lacustres acelera su deterioro y acorta la vida útil de los mismos. Actualmente se presentan problemas y limitaciones operacionales debido a la mala distribución de los equipos, espacios ocupados por equipos inhabilitados y de difícil remoción, falta de nuevas tecnologías que faciliten las actividades al personal y la oferta de servicios de abandono de pozos sin taladro, entre otros.

Considerando que el principal objetivo de un trabajo de cementación es garantizar el aislamiento zonal de los pozos y la disminución de las intervenciones, se requiere de una nueva Gabarra de cementación de pozos petroleros que permita suplir la demanda del servicio en el Lago de Maracaibo, equipada con las más eficientes tecnologías y los equipos más apropiados para ser adaptados a un casco prediseñado similar al de la gabarra D1992, basándose en la seguridad e integridad del personal y la protección ambiental.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las reservas del Lago de Maracaibo se constituyen de yacimientos en desarrollo donde existe una gran demanda de servicios de pozos, como son las cementaciones primarias y de remediación.

Actualmente el segmento Well Services- WIT de Schlumberger ofrece en la base ubicada en Las Morochas-Edo. Zulia, servicios a los pozos del Lago de Maracaibo, la cual cuenta con la Gabarra de cementación D1992 con más de 35 años en operación. La demanda del servicio ha aumentado, los equipos se han ido deteriorando y a pesar de que se les han realizado modificaciones y reparaciones, algunos ya han excedido su vida útil y ocupan espacios que dificultan las actividades, además, al estar instalados en la cubierta no pueden ser reemplazados con facilidad. Así mismo no se cuenta con algunas tecnologías que limitan la oferta de los servicios de abandono de pozos sin taladro y además existen áreas que no están bien distribuidas comprometiendo la seguridad del personal.

La reparación completa de la Gabarra D1992 requiere de una gran inversión de dinero y pérdidas de tiempo de operación que disminuirían la oferta del servicio y por lo tanto pérdida de la participación de Schlumberger en el mercado.

Por este motivo, Schlumberger requiere un estudio de los equipos y nuevas tecnologías necesarias para ofrecer servicios de construcción de pozos petroleros con cementación tanto primaria como de remediación. La finalidad es escoger los equipos más adecuados y eficientes para luego proponer la mejor distribución e instalación estándar de los mismos en el casco de una nueva Gabarra de cementación garantizando la calidad del servicio, la salud, seguridad del personal y la protección ambiental.

1.2 Justificación

El Segmento de Well Services- WIT de Schlumberger, ubicado en Las Morochas-Edo Zulia, actualmente cuenta con la Gabarra D1992 de cementación; debido al aumento en la demanda del servicio y al desgaste de los equipos, presenta limitaciones operacionales y de no aplicar las soluciones correspondientes, causaría una disminución de la participación de Schlumberger en el mercado, pérdidas de contratos, de dinero y sobretodo de reputación. Por ello es necesario llevar a cabo un diseño de una nueva gabarra de cementación que cubra la demanda del servicio requerido por los pozos del Lago de Maracaibo y cumpla con los requerimientos y expectativas del cliente.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y seleccionar equipos para la dotación de una gabarra de cementación y bombeo de fluidos a pozos del Lago de Maracaibo.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Identificar los principales problemas operacionales y necesidades presentes en las gabarras existentes.
- b) Recopilar información correspondiente a los equipos necesarios para realizar operaciones de cementación en pozos petroleros en ambientes lacustres.
- c) Seleccionar los equipos de cementación adecuados de acuerdo a los requerimientos operacionales de los pozos ubicados en el lago de Maracaibo.
- d) Proponer un diseño preliminar de tanques de almacenamiento de productos necesarios para el funcionamiento y abastecimiento de la gabarra.
- e) Distribuir los equipos y acomodaciones en la cubierta de la gabarra cumpliendo con las normas establecidas en las leyes venezolanas e internacionales.

- f) Realizar el modelado 3D de la gabarra de cementación, así como los planos 2D de cada área para una mejor visualización de la ubicación de los equipos y conexiones de los mismos.

1.4 Alcance

Se requiere realizar la selección y distribución de los equipos de cementación y bombeo de fluidos que serán instalados de manera estándar sobre el casco de una gabarra de cementación prediseñada acorde a las necesidades de los pozos ubicados en el Lago de Maracaibo, usando el programa de dibujo 2D y modelado 3D conocido como AutoCAD y tomando en cuenta las especificaciones operacionales, consumos energéticos y el diseño de conexiones tubulares necesarias de los mismos, así como las acomodaciones, áreas de almacenamiento y diseño generalizado de los tanques. Además se consideraran factores de salud, seguridad personal y ambiente.

1.5 Limitaciones

- a) Dificultad para conseguir la información correspondiente a equipos que no son estándar de Schlumberger. Por lo tanto es necesario ponerse en contacto con proveedores que faciliten información sobre dimensiones y consumos energéticos, así como otras especificaciones generales del equipo. Además se requiere de asesoría para la más adecuada selección de los mismos de acuerdo a las necesidades operaciones de la gabarra.
- b) Las dimensiones de la cubierta de la gabarra están predeterminadas, por lo cual los equipos seleccionados además de satisfacer las necesidades operacionales de trabajo, deben tener dimensiones adecuadas de manera que su distribución sobre dicha cubierta sea proporcional al espacio disponible y garanticen la seguridad del personal.
- c) Debido a la confidencialidad de los datos exigida por PDVSA no se proporcionará el nombre ni coordenadas de ubicación geográfica de los pozos y localizaciones tomadas en consideración en este trabajo de grado. Sin embargo los valores petrofísicos, características estratigráficas,

sedimentológicas y cualquier otra mostrada, corresponde a información real suministrada por el cliente a Schlumberger para la realización de los programas de cementación.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la Cementación Primaria

La cementación primaria es el proceso de posicionamiento de lechadas de cemento en el espacio anular entre el revestidor y la formación o entre un revestidor y otro revestidor previo.

Cammarata y Rosero (2014), opinan que el objetivo de una cementación primaria varía dependiendo de la aplicación y debe estar acorde con las exigencias del cliente.

Entre los principales objetivos se tienen:

- a) Prevenir la migración de fluidos de la formación hacia el anular (aislamiento zonal).
- b) Anclar y dar soporte a la sarta de revestimiento.
- c) Proteger la sarta de revestimiento contra la corrosión.
- d) Confinar tratamiento de estimulación para alcanzar ciertos intervalos (aislamiento zonal).
- e) Cumplir con regulaciones gubernamentales

2.2 Posicionamiento de la Lechada

El procedimiento estándar aplicado para realizar un trabajo de cementación depende de la técnica usada para posicionar la lechada en el anular a la profundidad deseada. Estas técnicas son, el método de una etapa (ver figura 1) y de dos etapas. Actualmente es común realizar la cementación en una etapa ya que se cuenta con nuevas tecnologías que facilitan el proceso.

Existen otras técnicas para solventar varios problemas de completación de pozo, cementación a través de la tubería de perforación, cementación en reverso y cementación de inyección o *top up*.

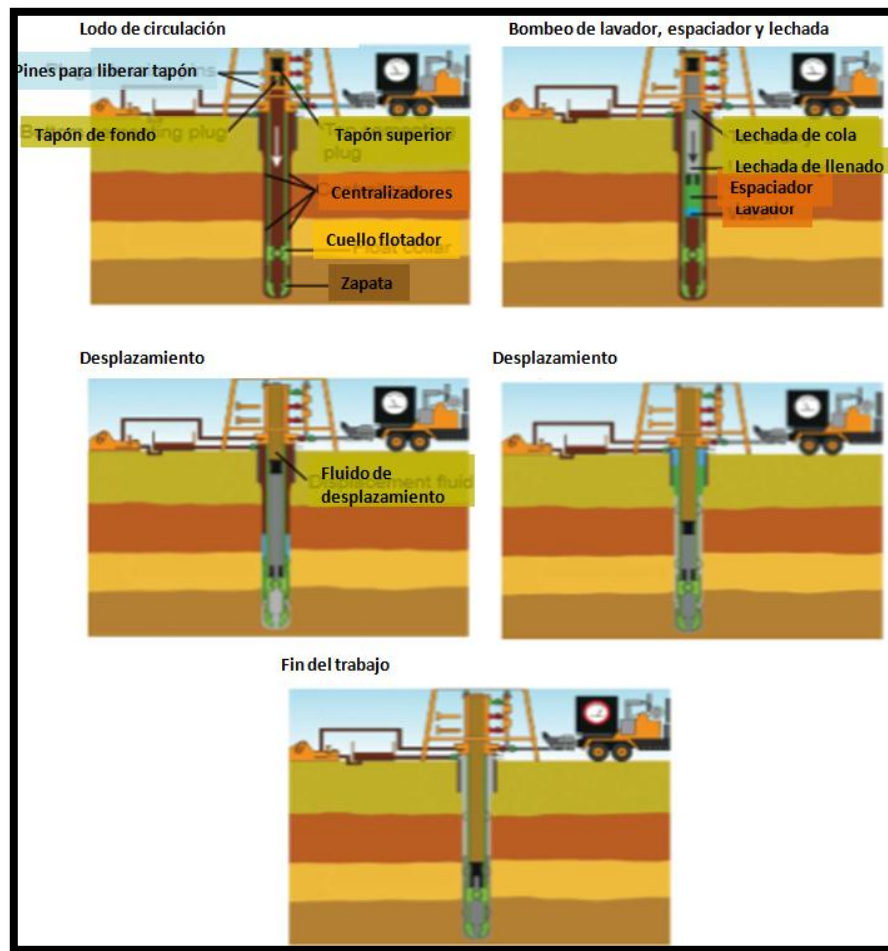


Figura 1 Trabajo típico de cementación primaria de una etapa para un Revestidor Superficial (modificado) ^[2].

2.2.1 Diseño

Schlumberger cuenta con el programa CemCADE, que actualmente ha sido renovado y mejorado con el nombre de CEMENTIC integrado con otros programas como WellBook y WELLCLEAN II, los cuales son usados para diseñar todos los trabajos de cementación y garantizar la remoción efectiva del lodo de perforación.

Los parámetros a ser calculados incluyen:

- a) Cantidad de cemento y aditivos
- b) Agua de mezcla total
- c) Presiones del cabezal y del fondo del pozo durante el desplazamiento
- d) Tiempos de mezcla

- e) Volúmen desplazado para asentar el tapón
- f) Otra información pertinente.

De acuerdo con Cammarata y Rosero (2014), el éxito de un trabajo de cementación depende de que tan parecida sea la data usada en el diseño final en comparación con las condiciones actuales del pozo. Diferencias entre los datos del diseño y los actuales pueden afectar el éxito de la operación (ver tabla 1).

Tabla 1 Efectos de las diferencias entre los datos usados para el diseño y los datos actuales del pozo sobre el éxito del trabajo ^[2].

| Data imprecisa del pozo | Efecto sobre el diseño del trabajo | Efectos sobre el éxito del trabajo |
|---|--|---|
| Datos del Survey | Centralización pobre del Revestidor | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la remoción eficiente de lodo • Topes de cemento (TOP) más bajos de lo esperado |
| Datos del Registro Caliper | <ul style="list-style-type: none"> • Diferentes TOC desde el diseño • Diferencias en la presión de bombeo calculada • Pobre centralización del revestidor • Diseño incorrecto de la Técnica de flujo | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la remoción eficiente de lodo • Problemas de seguridad del pozo • TOC más bajos de lo esperado |
| Temperatura del pozo y presiones de la formación | Propiedades de las Lechadas y del sistema de cemento inaceptables. Diferencias en TOC ECDs | Cemento dejado en tuberías (CLIP) Migración anular de gas Problemas de seguridad del pozo Aislamiento inadecuado Pérdidas de circulación |
| Propiedades del lodo | Diseño incorrecto de la técnica de flujo | Reducción de la remoción eficiente de lodo |

La primera fuente de información suele ser el cliente, que debe suministrar datos registrados durante la perforación. En caso de ser un pozo nuevo del que no se tenga suficiente información se debe consultar la carpeta de los pozos vecinos para tomar en cuenta cualquier condición especial en el diseño del trabajo.

2.2.2 Análisis de la información

Según Cammarata y Rosero (2014), existen dos etapas para realizar el análisis de los datos y la información.

- a) Análisis preliminar: durante la recolección de la información se identifican los parámetros básicos con los cuales se comenzará el diseño de la cementación primaria.
- b) Análisis detallado: La información recolectada es examinada para determinar los criterios apropiados para el diseño. Estos criterios son determinados por cálculos rápidos usando una calculadora o módulos del programa CEMENTIC.

2.2.3 Criterios que influyen en el diseño de la cementación^[2]

- a) El intervalo o zona que se desea aislar determina los toques de cemento (TOC).
- b) La máxima presión de colocación de la lechada en el anular y la mínima presión hidrostática para diseñar los límites de densidades y parámetros reológicos del fluido a ser bombeado. La presión en el anular no debe exceder la presión de fractura de la formación.
- c) Las propiedades de la formación como presencia de gas, existencia de cavernas, fracturas, etc., influyen fuertemente en el control de la pérdida de filtrado, pérdidas de circulación y la migración de gas requerido por los sistemas de bombeo.
- d) El tipo de lodo y sus propiedades determinan las propiedades del lavador químico y/o espaciador.
- e) La temperatura del pozo determina los criterios para la selección de los sistemas de lechadas y sus aditivos.
- f) Lavador de pozos a profundidades críticas influye en el diseño de la remoción de lodo.
- g) La configuración del revestidor puede establecer ciertas limitaciones en el diseño.
- h) La trayectoria trazada por el pozo determina el tipo de centralizador que será usado y su colocación.

2.2.4 Datos requeridos para el diseño inicial

A continuación se presentan los datos requeridos por el programa CEMENTIC para lograr la simulación completa del proceso de cementación de una etapa y estudiar los riesgos asociados al mismo.

- a) Revestidor (tamaño, tipo, profundidad, configuración, revestidor previo)
- b) Litología, profundidades, zonas problemáticas (pérdidas, lavador, influjo de agua, altas presiones de gas, etc.)
- c) Geometría del hoyo abierto (diámetro, desviación, excesos, profundidad).
- d) Presiones de poro y fractura
- e) Temperatura: Si la temperatura de cualquier locación en el pozo excede los 110°C (230°F) en cualquier periodo de tiempo durante la vida del pozo, podría ocurrir una retrogresión de resistencia a la compresión del cemento debido a cambios en la forma del silicato de calcio creados a altas temperaturas. En éste caso se debe considerar automáticamente la adición de 30-35% de sílica en la composición del sistema de lechada seleccionado.
- f) Propiedades del lodo (densidad, tipo, etc.) y muestras.
- g) Topes teóricos de cemento requeridos de acuerdo a la configuración mecánica del pozo.
- h) Datos del registro caliper.

2.2.5 Densidad de la lechada y selección de los aditivos^[2]

Los siguientes factores determinan la densidad de la lechada:

- a) Gradientes de fractura
- b) Gradientes de poro
- c) Composición del cemento.
- d) Proyectos económicos.
- e) Objetivos del pozo.

Una vez que el sistema correcto de lechada es determinado, junto con la densidad y temperatura, se pueden escoger los aditivos adecuados (véase apéndice A-XVI para más información acerca de las funciones y aplicaciones de los aditivos usados en Schlumberger). La tabla 2 categoriza las soluciones que aporta cada uno de los aditivos agregados a las lechadas para los problemas que presenta un pozo en particular.

Tabla 2 Aditivos agregados a las lechadas para tratar los problemas de los pozos ^[2]

| Problema | Parámetro de la lechada | Solución por categoría de aditivo |
|------------------------------------|--|--|
| Control de pozo | | |
| Sobrepresión | Densidad | <ul style="list-style-type: none"> • Extendedores • Agentes de peso |
| Formación débil | | |
| Temperatura | Tiempo de espesamiento o <i>thickening time</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Aceleradores • Retardadores |
| Formaciones permeables | Control de pérdidas de fluido | |
| Remoción de lodo | | |
| Presión de fricción | Densidad | <ul style="list-style-type: none"> • Dispersantes • Agentes gelificantes |
| Mezclabilidad/Bombeabilidad | | |
| Migración de gas | Prueba de gas | <ul style="list-style-type: none"> • Látex • Microgel Polimérico |
| Pérdida de circulación | <ul style="list-style-type: none"> • Taponamiento • Propiedades de puenteo • Densidad | <ul style="list-style-type: none"> • Controladores de pérdidas de circulación (LMC) • Extendedores |
| Retrogresión del calor | Producto de hidratación | <ul style="list-style-type: none"> • Sílica |
| Espumantes | Capacidad de espuma estabilizada | <ul style="list-style-type: none"> • Agentes espumantes • Estabilizadores |
| Espumas | Tendencia a formar espumas | <ul style="list-style-type: none"> • Antiespumantes |
| Sedimentación/fluido libre | Viscosidad | <ul style="list-style-type: none"> • Agentes Antisedimentantes |

2.3 Remoción del lodo

Por lo general el objetivo de una cementación primaria es proveer un aislamiento de la formación localizada detrás de un revestidor. Para lograrlo el lodo de perforación y los preflujos deben ser removidos del anular con la presión hidrostática ejercida por la lechada.

Si el desplazamiento de la lechada no se realiza completamente y los topes teóricos de cementos establecidos en el diseño no son alcanzados, podrían quedar espacios llenos de lodo de perforación cerca de la zona de interés, representando en ese caso un punto débil y de alto riesgo por la comunicación interzonal.

2.3.1 Fluidos de Desplazamiento o Preflujos

Las lechadas y lodos de perforación normalmente son incompatibles, ya que al entrar en contacto pierden sus propiedades originales y podrían ocasionar presiones altamente riesgosas, por tal motivo se usan preflujos, es decir, lavadores químicos y espaciadores que separan ambos fluidos y a su vez condicionan el pozo para la llegada de la lechada.

La compatibilidad entre los fluidos puede estudiarse a través de pruebas de laboratorio usando el procedimiento descrito en la Norma API, Especificación 10B-2 sobre compatibilidad de fluidos de pozos.

2.3.2 Lavadores químicos^[2]

Los lavadores son fluidos con una densidad y viscosidad muy similar a la del agua o el gasoil. La forma más simple de lavador es a base de agua (fresca, de mar, salmueras o saturadas de sal) y a base de aceite (gasoil). Debido a sus bajas viscosidades, los lavadores siempre fluirán en régimen turbulento. Para optimizar estos mecanismos, una mezcla de surfactantes, solventes y dispersantes o adelgazantes de lodo son agregados al agua.

La experiencia de campo ha mostrado los beneficios de usar lavadores, con altura en el anular de 300 ft a 500 ft, por encima de los espaciadores para adelgazar y dispersar las partículas de lodo. Se requiere un tiempo mínimo de contacto de 10 min alrededor

de la zona de interés, aunque en algunas ocasiones éste tiempo puede variar dependiendo de los requerimientos operacionales del pozo.

2.3.3 Espaciadores ^[2]

Los espaciadores son fluidos densificados usados para separar el lodo del cemento, desplazar el lodo de perforación y mantener el control hidrostático del pozo durante la cementación.

Los espaciadores son diseñados acorde con los siguientes criterios:

- a) Compatibilidad con los tipos de lodos de perforación usados.
- b) Reología controlada (para flujo turbulento o laminar).
- c) Densidad ajustable, con diferentes agentes de peso.
- d) Reología ajustable, donde tanto las lecturas a bajas tasa de corte como las lecturas a altas tasas de corte puedan variarse independientemente.

Los espaciadores están disponibles tanto para lodos base agua como lodos base aceite, para ser usados tanto en ambientes de aguas dulces como en ambientes marinos, y para ser bombeados tanto en flujo turbulento como en flujo laminar efectivo, y con rangos de densidades desde 9 hasta 20 lbm/gal.

El primer criterio de Flujo Laminar Efectivo (ELF) es la jerarquía de densidades entre el fluido desplazado y el fluido desplazante. La densidad de la lechada debe ser mayor que la del espaciador, y la densidad del espaciador debe ser mayor que la densidad del lodo de perforación. A medida que aumenten estas diferencias, mayor será el desplazamiento de los fluidos, sus interfaces se hacen más alentadoras y estables. Se recomienda una diferencia de densidad mínima de 10% entre el fluido desplazado y el desplazante, pero no siempre es posible a nivel práctico. La densidad recomendada para el espaciador es el punto medio entre la densidad del lodo de perforación y la densidad de la lechada (llenado).

El volumen de espaciador debe corresponder a 500 ft de longitud en el anular. Cuando estas condiciones son difíciles de lograr, se pueden conseguir diseños más detallados con el simulador WELLCLEAN II, el cual puede determinar de manera más precisa las propiedades que proveen un mejor desplazamiento.

2.4 Proceso global del mezclado del cemento

Los componentes sólidos y líquidos de la lechada tienen que ser combinados de forma correcta en la locación del pozo para lograr las propiedades establecidas en el laboratorio. Las lechadas de cemento son creadas por la mezcla del cemento Portland en polvo, agua y aditivos secos o líquidos ^[3].

Los dos tipos de técnicas de mezclado de la lechada son el mezclado continuo y el mezclado por lotes. El mezclado continuo es un proceso por medio del cual los materiales son suministrados al sistema de mezcla a una tasa dada, y la mezcla resultante una vez alcanza la densidad de diseño es bombeada al pozo, el proceso se repite continuamente hasta alcanzar el volumen de lechada deseada. El mezclado por lotes significa mezclar el cemento, el agua y aditivos en un tanque grande antes de bombearlos hacia el pozo ^[2].

La técnica de mezcla que será utilizada dependerá del tamaño del trabajo, las lechadas que serán mezcladas, el volumen de cada uno de los sistemas y la precisión y la homogeneidad requeridas de la lechada. En algunos casos, ambas técnicas, son utilizadas en el mismo trabajo.

2.4.1 Mezclado del Cemento ^[3]

La mezcla del cemento realmente está compuesta de dos acciones:

- a) La dosificación precisa de los sólidos del cemento y el agua de mezcla (la entrega de los sólidos hacia un sistema de mezclado) que puede lograr una densidad deseada.
- b) La energía de mezcla, la cual homogeniza la mezcla por medio del humedecimiento y la desfloculación (la dispersión de los sólidos que hayan quedado pegados juntos en una lechada) de los sólidos. En la figura 2 se muestra un diagrama de flujo de los pasos involucrados en el proceso de mezcla.

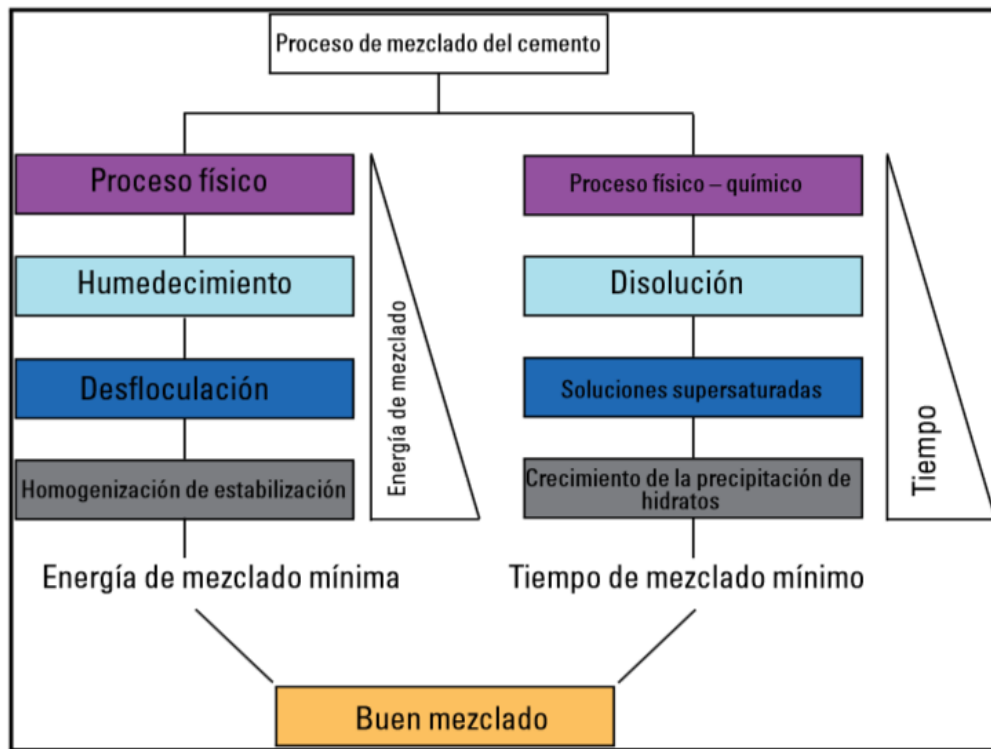


Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de mezcla del cemento ^[3].

Una mezcla eficaz crea un flujo turbulento, que rompe las aglomeraciones en piezas más y más pequeñas. El flujo turbulento puede ser visto como un espectro de remolinos de diferentes tamaños dentro de un flujo promedio. Para la desfloculación son requeridos remolinos de todos los tamaños. Cada remolino rompe las aglomeraciones que son aproximadamente iguales a su propio tamaño. Para dispersar totalmente a la lechada, el tamaño del remolino más pequeño se tiene que aproximar a las dimensiones de un grano individual de cemento (alrededor de 30 micras). Los cálculos muestran que las mezcladoras de laboratorio convencionales pueden poner suficiente potencia para reducir el tamaño del remolino más pequeño hasta 60 micras. En 1991, se realizaron algunos experimentos para estudiar el comportamiento de una mezcla del cemento, entre los colaboradores se encuentra el ingeniero químico de Schlumberger Benoit Vidick ^[4]. Con este experimento se determinó que el tiempo de mezclado también es un componente necesario para la desfloculación. Vidick mezcló una lechada de 15,8 libras por galón (1,9 gramos/cm³) utilizando velocidades y duraciones diferentes (ver figura 3). Conforme se mezclaba más rápido

y durante más tiempo, la desfloculación se mejoraba. En resumen, el mezclado más rápido y de mayor duración mejora la desfloculación.

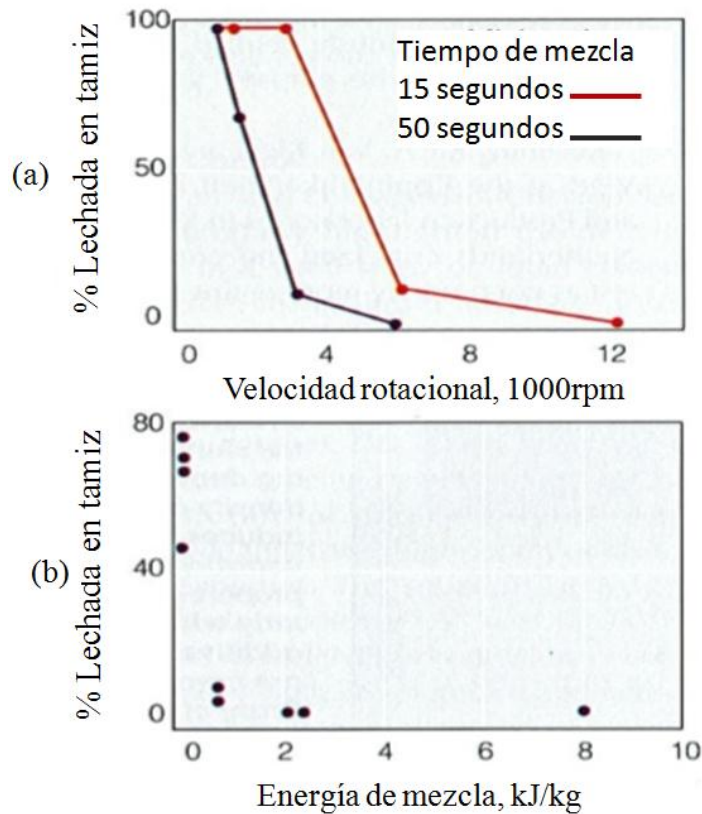


Figura 3 Desfloculación y energía para el mezclado (modificado)^[4].

La figura 3 (a) muestra el porcentaje (%) de cemento neto Clase G remanente en un tamiz después de mezclar a diferentes velocidades de rotación y tiempos. En la figura 3 (b) se muestran los mismos datos pero considerando un tercer parámetro, la energía de mezcla por masa de lechada. Vidick encontró que con la lechada de 15,8 libras por galón, siempre y cuando fuera aplicada una energía para mezclado de 2 kilo-Joules por cada kilogramo de lechada (kJ/kg), nada permanecía en el cedazo o tamiz, y la desfloculación podría considerarse como completa.

Vidick también descubrió que el valor de corte para la desfloculación dependía de la densidad de la lechada. Para la lechada de 15,8 libras por galón de los experimentos, el valor de corte fue de 2 kJ/kg. Sin embargo, el valor fue menor para las lechadas más ligeras y mayor para las lechadas más pesadas.

2.4.2 Energía de Mezcla en Laboratorio ^[3]

Antes de cada trabajo, los sistemas de cemento son sometidos a pruebas en el laboratorio utilizando los procedimientos establecidos por el Instituto Americano del Petróleo (API – por sus siglas en inglés) y descritos en la Especificación 10 de API. Este procedimiento proporciona 5,6 kJ/kg de energía de mezclado para la lechada. Esto es 2,5 veces el valor de corte que Vidick encontró que era requerido para asegurar la desfloculación. Este también proporciona suficiente tiempo de mezclado para la lechada. Lo que está todavía en duda, sin embargo, es si este procedimiento refleja las condiciones de mezclado reales en el campo.

2.4.3 Energía de Mezclado en Campo ^[3]

En el campo, el mezclado con inyectores convencional está siendo suprimido y se ha reemplazado por las mezcladoras *Slurry Chief*.

Con la ecuación N°1 puede ser simulada la energía creada, proveniente de la recirculación a través de un tanque de recirculación de mezcla.

$$\frac{E}{M} = \frac{HHP * 0.7457 * \text{tiempo}}{\text{masa lechada}} \quad \text{Ecuación N°1}$$

Donde:

- HHP = Potencia hidráulica [HP]
- Tiempo = tiempo en segundos [seg]
- Masa de lechada en kilogramos= Densidad de la lechada [lpg] * Volúmen de la lechada [bbl]
- E/M = Energía de mezclado [kj/kg]

2.4.4 Mezcla continua o al vuelo

El mezclado continuo permite que grandes volúmenes sean mezclados y bombeados simultáneamente. Esta técnica de mezcla es por lo tanto utilizada en cualquiera de los

trabajos (no solamente en las cementaciones primarias) que excedan las limitaciones de capacidad prácticas del mezclado por lotes, o siempre que el cliente lo requiera.

2.4.5 Mezclado por lotes o premezclado

Un premezclado es usado para preparar, antes de bombear al pozo, un volúmen deseado de lechada que exhiba exactamente las mismas propiedades determinadas durante el diseño de la lechada en laboratorio. Las ventajas de una lechada premezclada son el buen control de la densidad y una buena energía de mezcla. Sin embargo la desventaja es que solo pueden mezclarse pequeños volúmenes de lechada. La decisión de escoger la técnica de la mezcla premezclada puede ser influenciada por el volúmen requerido de la lechada y la capacidad de equipo de mezcla. Si se desea mezclar por baches la lechada pero el volúmen requerido excede la capacidad de los equipos, una opción podría ser premezclar solo la lechada requerida para la parte más crítica del pozo para tener un mejor control de las propiedades de la lechada y mezclar el resto continuamente al vuelo.

2.5 Cementación de Liners

Según Cammarata y Rosero (2014), el procedimiento para cementar un *liner* es bastante similar al proceso de cementación simple. La única diferencia es que solo un tapón superior como dardo o *wiper plug*, se deja caer normalmente (después del mezclado de la lechada) desde un cabezal de cementación conectado a la tubería de perforación o *drillpipe* en la superficie. El colgador de *liner* se instala hidráulicamente o mecánicamente normalmente antes de comenzar el trabajo de cementación. No se debe olvidar durante el diseño del trabajo y ejecución del mismo se debe bombear un volúmen de espaciador determinado por detrás del cemento después de liberar el dardo del *liner*.

El volúmen de espaciador puede ser optimizado con la ayuda del simulador CEMENTIC y debería ser diseñado para llenar entre 200 y 500 ft de tubería de perforación y el volúmen del liner. De esta manera cuando se desconecta el *running tool* del *liner* la lechada de cemento no tendrá contacto con el lodo.

2.6 Cementación de Inyección o *Top-Up*

De acuerdo con Cammarata y Rosero (2014), una sarta de tubería de producción de diámetro pequeño (llamado también *Macaroni Tubing*) es dirigida hacia el anular entre el revestidor y el hoyo abierto ($1\frac{7}{8}$ es el tamaño común del *tubing*). La sarta de tubería de producción se conecta luego a la unidad de cementación a través de una línea de tratamiento de alta presión y se establece la circulación con lodo de perforación o agua. La lechada es mezclada convencionalmente y bombeada. Las líneas y tuberías de producción son purgadas con agua y luego (si aun cuelga libremente) es removida desde el anular (ver figura 4).

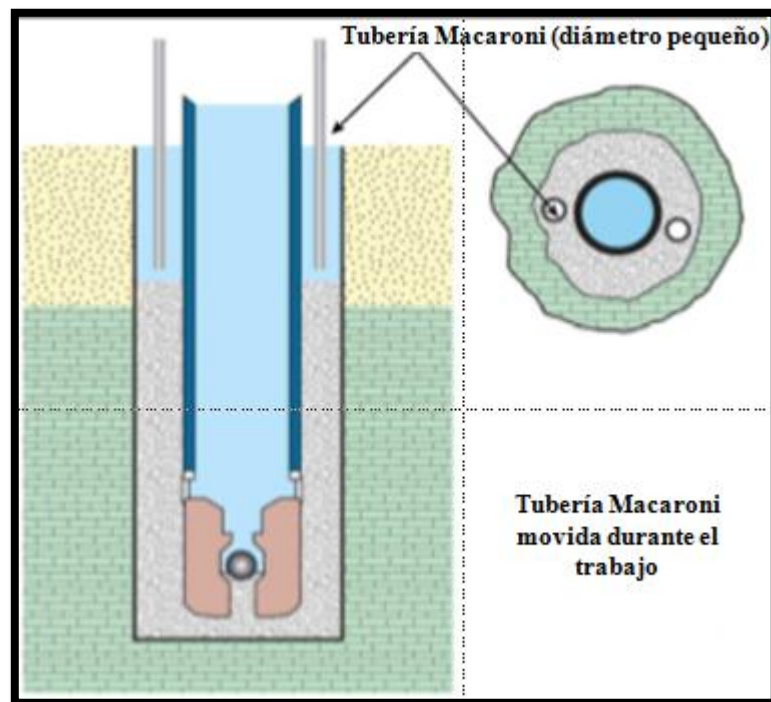


Figura 4 Cementación de inyección o *Top-Up* (modificado) ^[2].

2.7 Cementaciones secundarias o de remediación

La cementación de remediación se divide en dos categorías: la cementación forzada y los taponos de cemento. Las cementaciones remediales son ejecutadas por varias razones: para reparar cementaciones primarias fallidas, alterar las características de la

formación, reparar problemas de revestidores, y abandonar los pozos. Ambas operaciones requieren mucha experiencia técnica, operacional y de ingeniería.

2.7.1 Cementación forzada convencional^[5]

La cementación forzada consiste en forzar una lechada de cemento, bajo presión, a través de hoyos, de formaciones permeables o divididas, del espacio anular entre el revestidor y el hoyo. Cuando la lechada es forzada contra una formación permeable, las partículas sólidas se filtran en la cara de la formación mientras la fase acuosa (filtrado de cemento) entra a la matriz de la formación (ver figura 5), con el principal propósito de reparar una formación con sellos hidráulicos débiles o prevenir la migración de fluidos a zonas prohibidas.

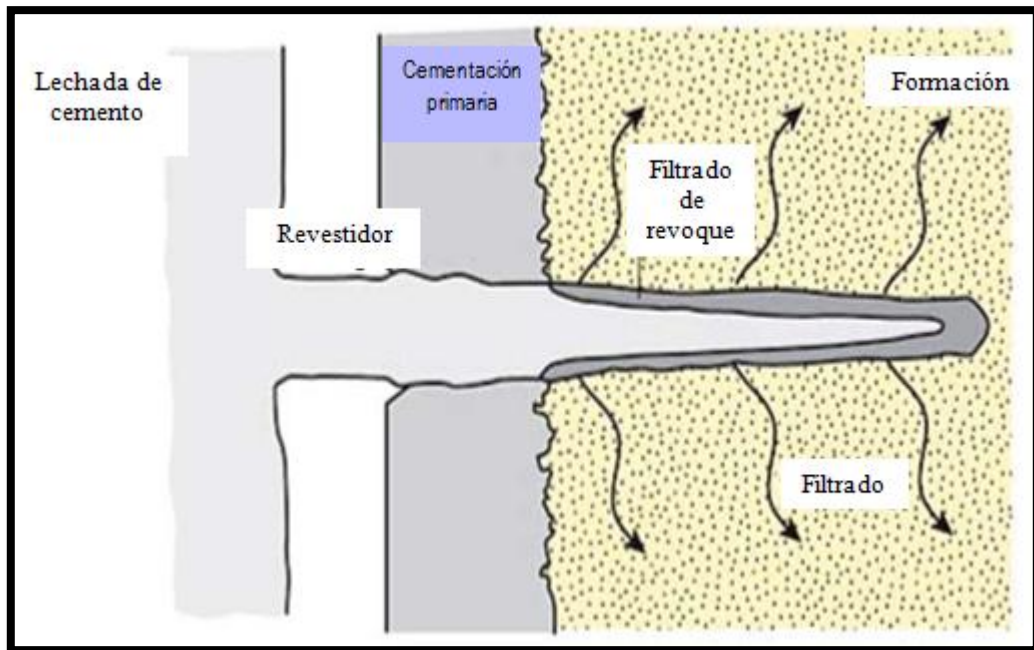


Figura 5 Filtrado de Revoque de cemento formado dentro del canal perforado (modificado) ^[5].

La cementación forzada es usada para superar los problemas a corto plazo o para mejorar a largo plazo las condiciones del pozo para garantizar la producción. Estos problemas y condiciones con las siguientes:

- a) Reparar cementaciones primarias deficientes cuando la canalización deja vacíos o canales de lodo detrás del revestidor o cuando el tope de cemento esta por debajo de lo esperado debido a pérdidas de circulación, impresión en el tamaño del hoyo, o desplazamiento incompletos durante la cementación primaria.
- b) Producción de agua indeseada usualmente como resultado de la conificación, causando una relación excesivamente alta de agua-petróleo (WOR) y una reducción de la productividad del pozo.
- c) Alta relación Gas –Petróleo (RGP) podría incrementar más allá del límite económico, necesitando un trabajo de remediación (ver figura 6). Un procedimiento común es reforzar toda la perforación de zonas de petróleo-gas y re-cañonear un intervalo seleccionado.

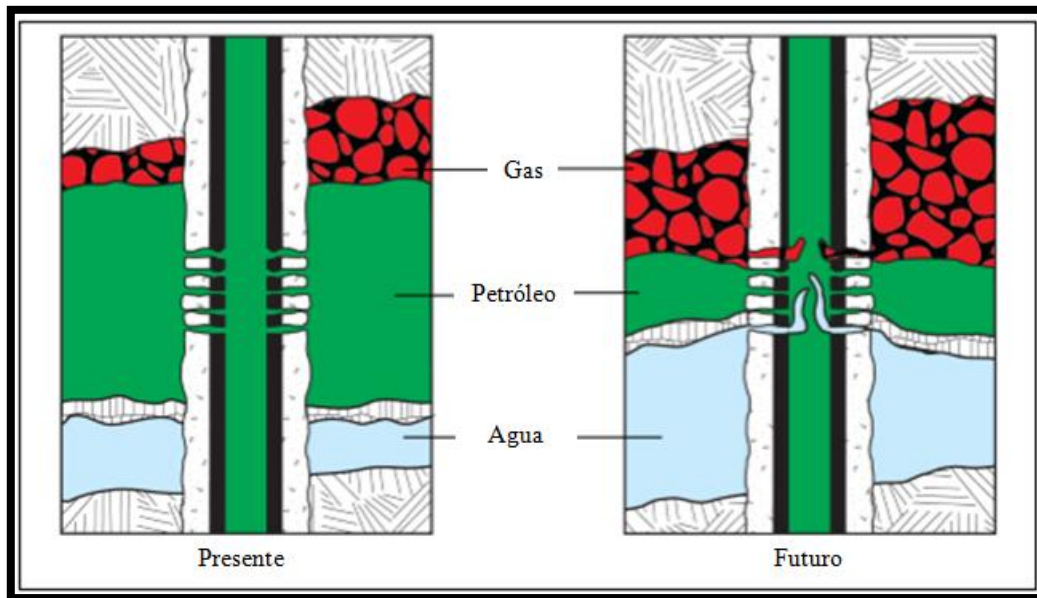


Figura 6 Invasión de agua y gas en zonas de petróleo (modificado) ^[5].

- d) Fugas o fisuras del revestidor: Los pozos productores podrían sufrir corrosión causada por salmueras o gases ácidos que migran desde la formación a los tubulares.

- e) Zonas no productivas o agotadas: Una zona no productiva o agotada es taponada por una cementación forzada a través de una herramienta de cementación remedial, por lo general un retenedor de cemento.
- f) Presión de las tuberías de revestimiento (SCP): La SCP es un pozo productor que muestra presiones del revestidor en superficie cuando sufre de una falta de aislamiento zonal. El pozo no fluirá a una presión nula después que haya alcanzado un estado de flujo estable. En esos casos, el gas por lo general migra a la superficie y eventualmente, se requieren los tratamientos de remediación para detenerlo.
- g) Fugas en el tope del *liner*: La cementación de un *liner* es difícil debido al pequeño espacio existente en el espacio anular y algunas veces debido a una centralización pobre.
- h) Zonas de pérdidas de circulación: Los problemas de pérdidas de circulación son detectados comparando la tasa de retorno del pozo con la tasa de bombeo del mismo o monitoreando el nivel de fluido en los tanques de lodo. Cuando se agregan químicos, materiales para el control de pérdidas de circulación o fibras durante la perforación y nada funciona, varios tipos de tapones de cemento pueden ser ubicados y ligeramente forzados para asegurar una buena adherencia entre el cemento y la formación.

2.7.2 Sistema de lechada de cemento para forzamientos

Cammarata y Rebbou (2014), señalan que en general la lechada debe estar diseñada con las siguientes características:

- a) Baja viscosidad: para permitir la penetración dentro de pequeñas grietas. Sin embargo con suficiente viscosidad para desplazar efectivamente los fluidos del pozo y del anular y el espaciador.
- b) Bajo esfuerzos de gel: para facilitar el movimiento de la lechada y prevenir incrementos de la presión de superficie los cuales son difíciles de interpretar.
- c) Sin agua libre

- d) Controladores apropiados para pérdidas de fluido: para asegurar el llenado óptimo de las grietas o perforación y ser capaz de mantener las propiedades del diseño de la lechada durante el desplazamiento.
- e) Un tiempo de espaciamento apropiado
- f) Tamaños de partículas apropiadas
- g) Estabilidad de la lechada.

2.8 Tapones de cemento

Cammarata y Peyle (2013), definen los tapones de cemento como un pequeño volumen relativo de lechada colocada en el pozo. Sus aplicaciones cuando fragua, pueden ser:

- a) Desviación por encima de una perforación direccional iniciada.
- b) Taponear una zona o un pozo.
- c) Solventar un problema de pérdida de circulación durante la fase de perforación.
- d) Proteger una zona de baja presión durante algún trabajo o tratamiento.
- e) Provee un ancla para pruebas a hoyo abierto.

Para realizar exitosamente un tapón de cemento se requiere de la misma metodología usada para ejecutar trabajos de cementación primaria (ej. diseño correcto de la lechada, remoción del lodo y diseño del posicionamiento basado en datos del pozo precisos).

2.9 Equipos básicos de cementación

Entre los equipos básicos de cementación de pozos se tienen:

- a) Equipos para almacenamiento de cemento seco y aditivos secos (materiales a granel).
- b) Equipos para almacenamiento de aguas de mezcla o aditivos líquidos.
- c) Equipos para la mezcla de materiales sólidos y líquidos (espaciadores y lechadas).

d) Equipos de bombeo a alta presión.

2.9.1 Almacenamiento y mezcla de materiales a granel

Schlumberger utiliza los sistemas de granel para almacenar y mezclar los materiales a granel utilizados en la cementación, entre esos sistemas se encuentran los tanques de presión. El tanque de presión, conocido también como silo, es utilizado para suministrar materiales a granel, tales como, la barita y el cemento a los equipos de cementación.

Los principales componentes de un tanque de presión se muestran en la figura 7 y se definen a continuación ^[7]:



Figura 7 Tanque de Presión o Silo ^[7].

(a) Línea de llenado: de 4", es utilizada para transportar los materiales a granel desde un suministro en el exterior hacia el interior del tanque. La línea de llenado está fabricada de tal manera que uno de sus extremos quede en la parte

superior interna del tanque, para que así los materiales caigan dentro del tanque conforme es llenado.

- (b) Línea de descarga: de 5 ó 6", se usa para descargar los materiales a granel desde el tanque hacia el interior de otro tanque o hacia el sistema de mezcla a través de la línea de descarga. La línea de descarga se origina en el interior del tanque de granel en la parte inferior, y penetra la pared del tanque hasta un punto de descarga en el exterior del tanque.
- (c) Línea de venteo: de 4", permite la ventilación del aire y de la presión desde el interior del tanque hacia el exterior. Esto es necesario cuando se transfieren los materiales a granel hacia el interior del tanque (de tal manera que el aire que ayuda a transportar los materiales salga del sistema) o cuando se purga la presión del tanque. La línea de venteo está diseñada para iniciarse desde el interior de la parte superior del tanque hasta un punto en dirección hacia el fondo del tanque.
- (d) Válvula de alivio de presión: La mayoría de los tanques de granel presurizados utilizados por Schlumberger están diseñados para operar a 30 psi, y la válvula de alivio de la presión está diseñada para abrirse a 35 psi (ver figura 8).



Figura 8 Válvula de Alivio de Presión ^[7].

- (e) Medidor de la presión: Por razones de seguridad industrial y de la operación del tanque, cada tanque de granel tiene que tener un medidor de la presión que funcione. El medidor deberá ser instalado sobre el venteo.
- (f) Línea de suministro de aire: de 2", suministra el aire comprimido utilizado para transportar los materiales a granel fuera del tanque. La línea podría estar montada en cualquier parte en el exterior del tanque, pero está conectada hacia el dispositivo de aireación en el interior del tanque.

2.9.2 Colectores de polvo^[7]

Cada uno de los sistemas de granel debe contar con sistemas de control del polvo, el cual tiene que ser diseñado para cumplir con regulaciones locales sobre la calidad del aire (ver figura 9)



Figura 9 Colector de Polvo ^[7].

Los colectores de aire están formados por los siguientes componentes:

- a) Línea de entrada del colector de polvo conectada hacia la línea de ventilación del tanque de granel que está siendo cargado.
- b) Línea de salida del colector de polvo tiene una abertura grande que permite que el aire limpio salga del sistema de recolección de polvo.

- c) El Filtro, tal como un calcetín o un cartucho, evita que el polvo salga del colector de polvo.

2.9.3 Tanques de compensación^[7]

Se usan para suministrar el cemento seco o mezcla de cemento y aditivos al sistema de mezcla (ver figura 10). La gravedad suministra la energía para vaciar los tanques de compensación. Las funciones de los tanques de compensación son las siguientes:



Figura 10 Tanque de compensación ^[7].

- a) Separa el sistema de transporte de los materiales a granel del sistema de suministro de los materiales a granel antes del mezclado.
- b) Permite que escape el aire utilizado para transportar el material a granel.
- c) Proporciona una zona de amortiguación cuando se hace el cambio de un tanque-P hacia otro.

Las válvulas de alivio de la presión sobre los tanques de compensación deben ser calibradas a 10 psi. Algunos tanques están equipados con discos de ruptura en lugar de o además de las válvulas de alivio de la presión.

Un tanque de compensación cuenta además con una válvula de descarga. Esta válvula controla la tasa a la cual el material a granel (usualmente cemento) cae desde el tanque. La válvula es relativamente grande, usualmente 8 pulgadas (20 centímetros) o mayor, de tal manera que puedan ser logradas tasas de descarga altas. Normalmente la válvula es una válvula de mariposa con actuador (ver figura 11).

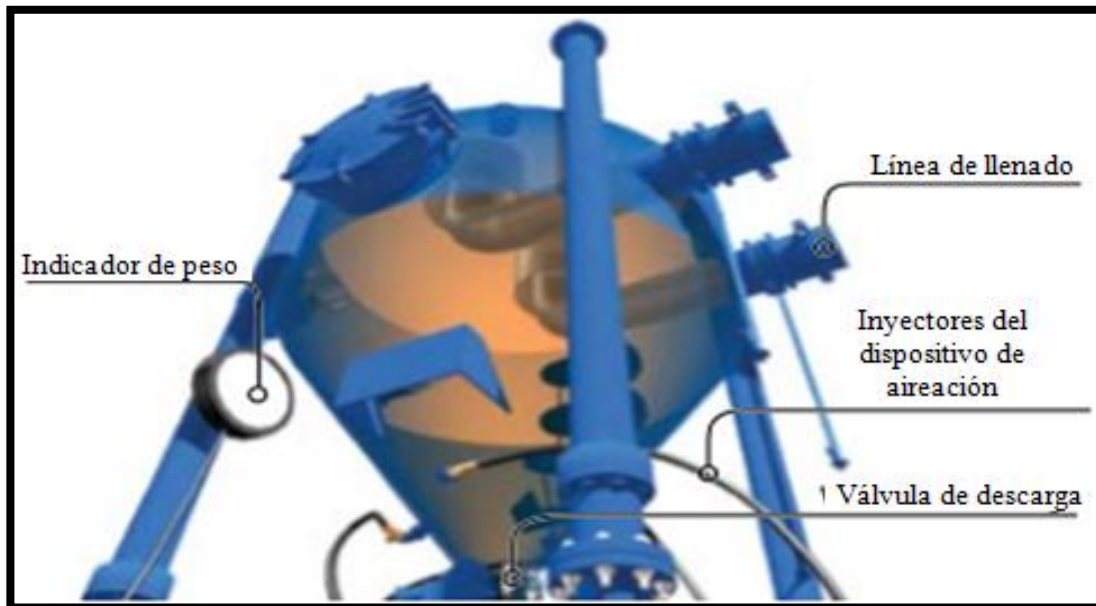


Figura 11 Componentes del tanque de compensación (modificado) ^[7].

2.9.4 Sistema para la dosificación del agua de mezcla^[8]

La dosificación del agua de mezcla se optimiza usando un conjunto de tanques de 10 bbl (a veces 20 bbl), a este conjunto se le denomina, tanque de desplazamiento, dividido igualmente por una partición (ver figura 12). Ambos lados del tanque son llenados con agua de mezcla disponible en la locación. Si el trabajo es costa afuera se usa un sistema de distribución de agua fresca o agua de mar. Cada bache de agua de mezcla es usada sucesivamente para alimentar al sistema de mezcla. Los aditivos líquidos y algunos sólidos podrían ser premezclados con agua en el tanque de almacenamiento o podría ser mezclada mientras el agua está pasando a través de los tanques de desplazamiento. En el segundo caso, un sistema de dosificación y control de aditivos líquidos es requerido.

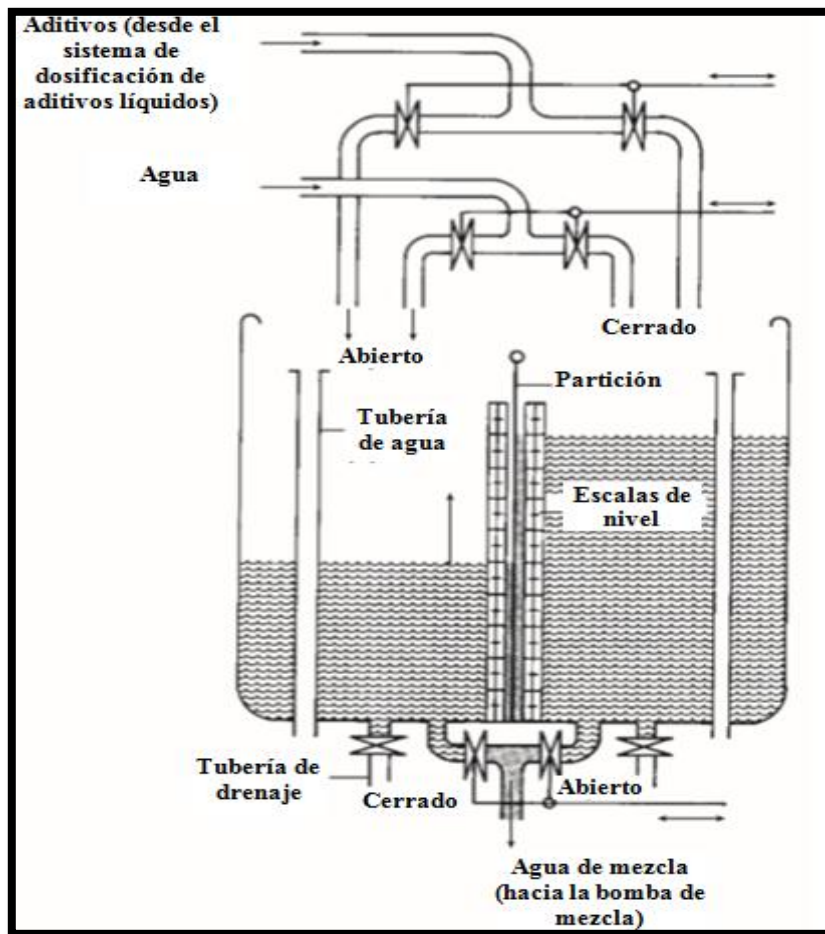


Figura 12 Sistema de tanques de desplazamiento ^[8].

2.9.5 Almacenamiento y mezcla de aditivos líquidos ^[8]

El método más simple para mezclar aditivos líquidos (y aditivos secos con concentraciones menores de 3% BWOC) con agua consiste en colocar la cantidad requerida de cada aditivo dentro de un tanque de agua. La mezcla puede lograrse con agitadores, bombas de circulación (bombas centrifugas) o sistemas de *jets* en tanques de recirculación. Sin embargo cuando no se cuenta con estos tanques se usa el sistema de mezcla continua usando un equipo semi-manual de dosificación de aditivos líquidos que reparte la cantidad correcta de aditivos en cada lado del tanque de desplazamiento.

Todos los sistemas de dosificación de aditivos líquidos consisten en dos partes principales, un almacén, una unidad de transferencia y una unidad de dosificación tal como se muestra en la figura 13.

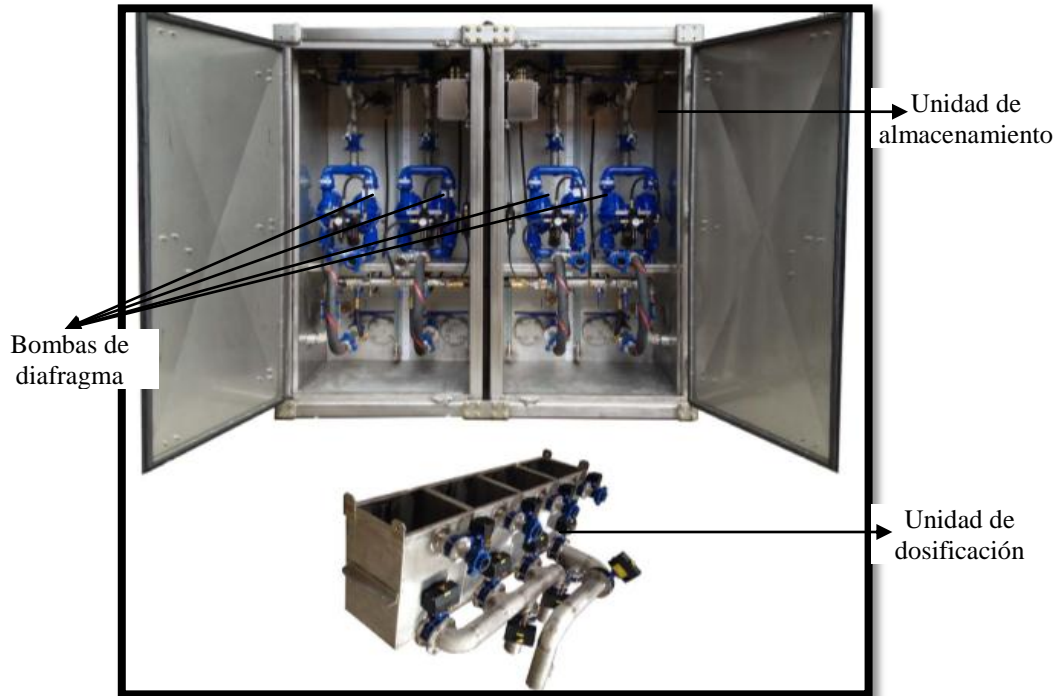


Figura 13 Sistema de aditivos líquidos LAS ^[9].

La unidad de almacenamiento/transferencia generalmente incluye cuatro tanques de almacenamiento de varias capacidades (usualmente entre 6,2 y 25 bbl (1000 y 4000 L)). Cada tanque de almacenamiento está equipado con su propia bomba de diafragma y sistema de agitación. Por lo tanto la operación de la unidad requiere una fuente limpia de aire seco desde 120 a 145 psi. Por su parte la unidad de dosificación generalmente consiste en un conjunto de tres o cuatro tanques de 25 gal o 10 L, con escalas de nivel visibles (ver figura 14).

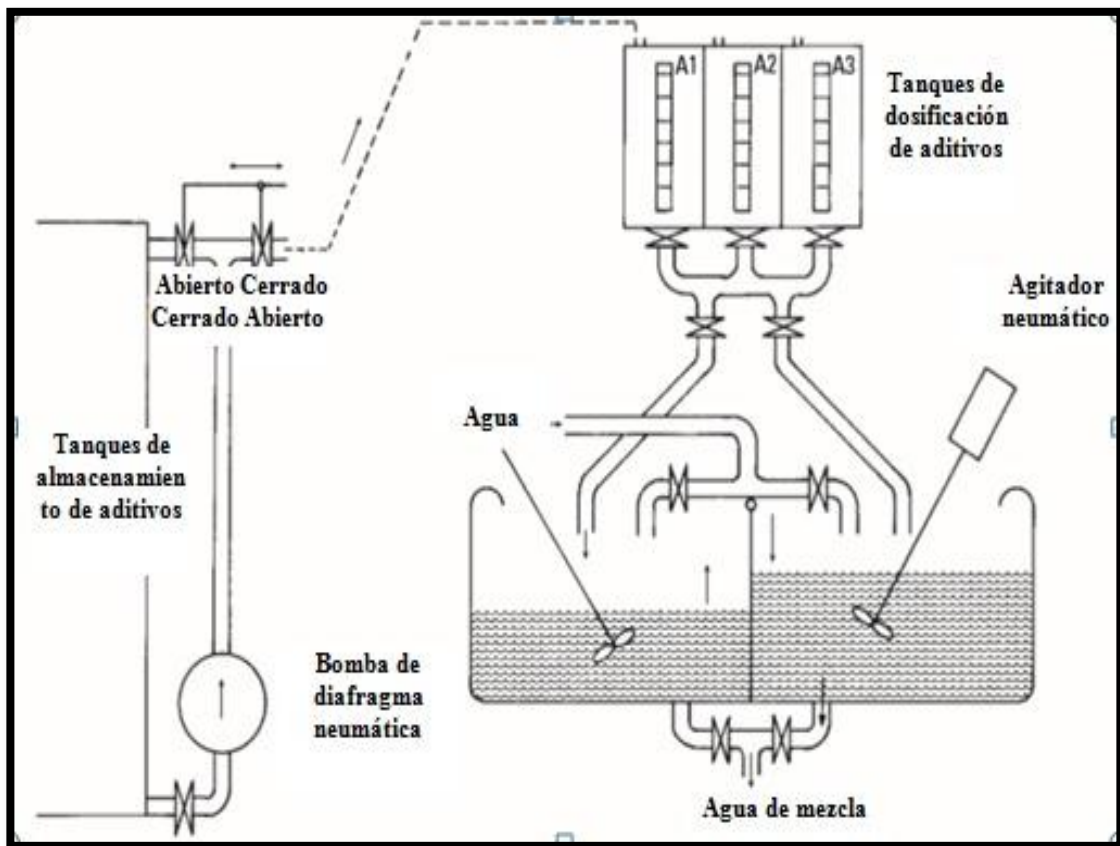


Figura 14 Sistema de dosificación de aditivos líquidos (con tanque de dosificación) ^[8].

2.9.6 Sistema de dosificación de aditivos líquidos sin tanque de dosificación ^[8]

Se usa un sistema de estantes de medición de aditivos líquidos para proveer una distribución precisa ($\pm 2\%$) de más de cuatro (4) aditivos dentro del tanque de desplazamiento. El operador presiona un botón para iniciar la distribución. El estante de medición se comporta como un sistema de cuatro válvulas inteligentes, instaladas entre la bomba de aditivos y el tanque de desplazamiento (ver figura 15). Las válvulas son controladas por un microcomputador el cual usa la información del medidor de flujo electromagnético.



Figura 15 Estante de Medición de aditivos líquidos ^[10].

2.9.7 Equipos de Mezcla continua del Cemento o *Slurry Chief*

Un mezclador de cemento según Nelson y Guillot (2006), es un dispositivo por el cual un flujo de agua presurizado (posiblemente con aditivos) se une a un flujo de cemento (posiblemente con aditivos), y una lechada de cemento se forma a una tasa prescrita.

La mezcladora *Slurry Chief* tiene las siguientes características ^[3]:

- a) Su compuerta de cuchilla permite un control más preciso de la densidad y la consistencia de la lechada de cemento.
- b) Es más segura debido a su característica de permitir que el bombeo en el fondo del pozo sea detenido y que la lechada sea recirculada hasta que sea lograda la consistencia deseada.

Se han desarrollado versiones norteamericanas, o las mezcladoras CBS-191 y CBS-393; estas también son llamadas mezcladoras estilo NAM. Las mezcladoras CBS-191 y CBS-393 utilizadas con una mezcladora *Slurry Chief* modelo Mark III son los paquetes estándar de mezclado actuales. La mezcladora estilo NAM tiene dos versiones; una con una sola batea de mezcla de 6 barriles (CBS-191) y la otra con una batea gemela de mezcla de 6 y 18 bbl (CBS-393) tal como se muestra en la figura 16.

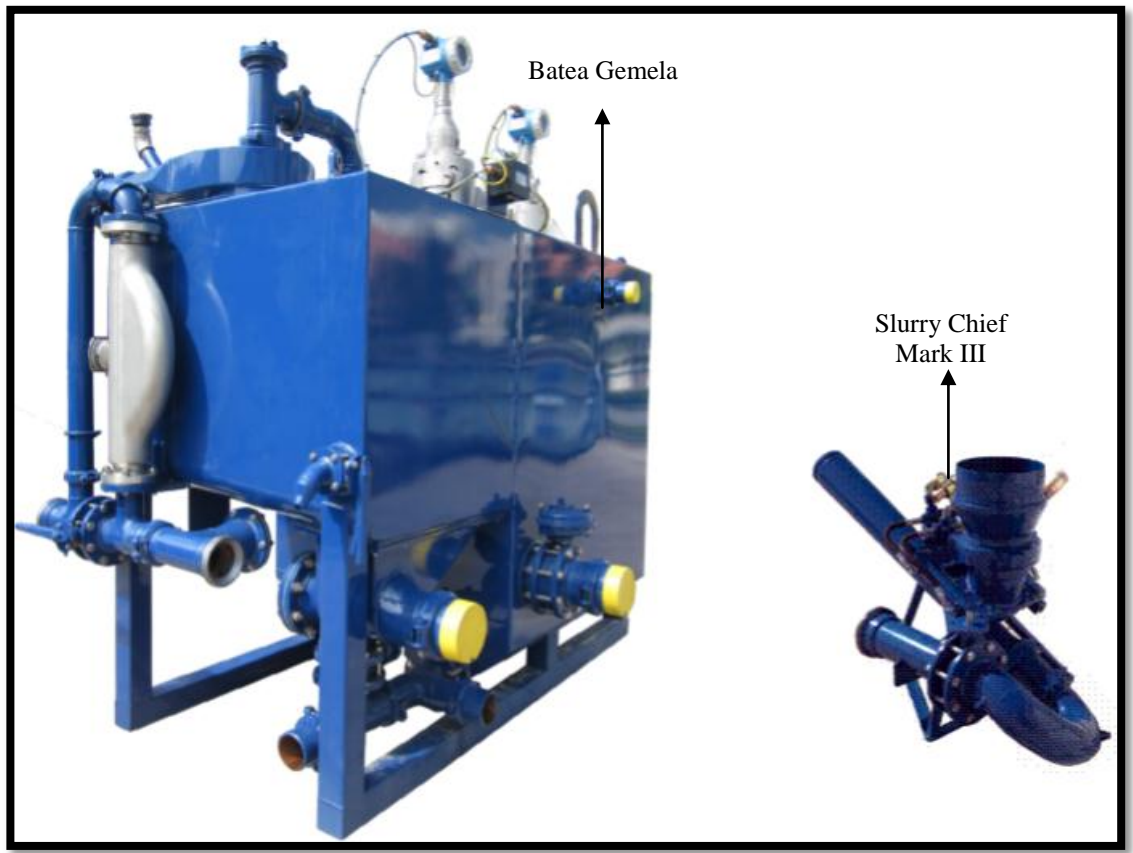


Figura 16 Sistema de mezcla CBS-393 ^[11].

2.9.8 Equipos para mezcla de cemento por lotes

Para las operaciones costa afuera o ambientes lacustres se usan unidades de mezcla de cemento instalados sobre una base o patín. A estas unidades se les conoce como tanques de recirculación y mezcla o RMX por sus siglas en ingles. Uno de los modelos estándar de Schlumberger es el CBS-955, tal como me muestra en la figura 17, el cual mezcla y recircula la lechada de cemento para luego suministrarla a la unidad de bombeo.



Figura 17 Mezclador de cemento por lotes o RMX sobre patín modelo CBS-955^[12].

Esta unidad de mezcla consta de dos tanques de 50 bbl, dos bombas centrifugas, agitadores, un sistema interno de medición de volúmenes, y líneas de conexión para los silos, para la unidad de cementación, se puede conectar hacia otros RMX, tiene conexión para la entrada del agua de mezcla, y un sistema de recirculación, entre otros. No posee unidades especiales para el control de la densidad, por lo que el operador debe tomar muestras del fluido para ir midiendo la densidad con el densitómetro presurizado, tal como se realiza en laboratorio.

2.10 Equipos en sala de bombas y sala de máquinas

La sala de máquinas de una gabarra de cementación es el espacio destinado al alojamiento de los generadores, compresores, motores, bombas centrifugas y lastre. Por lo general está ubicada bajo casco para una mayor protección contra el medio ambiente, en este caso los equipos deben ser a prueba de explosión para mitigar los daños en caso de incendio. A continuación se describirá brevemente cada una de las máquinas que se requieren para el correcto funcionamiento de una gabarra de cementación.

2.10.1 Bombas centrífugas^[13]

Con el impulsor de una bomba centrífuga girando en el agua, el agua es forzada a salir entre los álabes al igual que hubiese fugado de la cubeta giratoria. La fuerza que ocasiona la salida del agua del impulsor (o cubeta) es la fuerza centrífuga, por lo cual se denominan bombas centrífugas (ver figura 18).

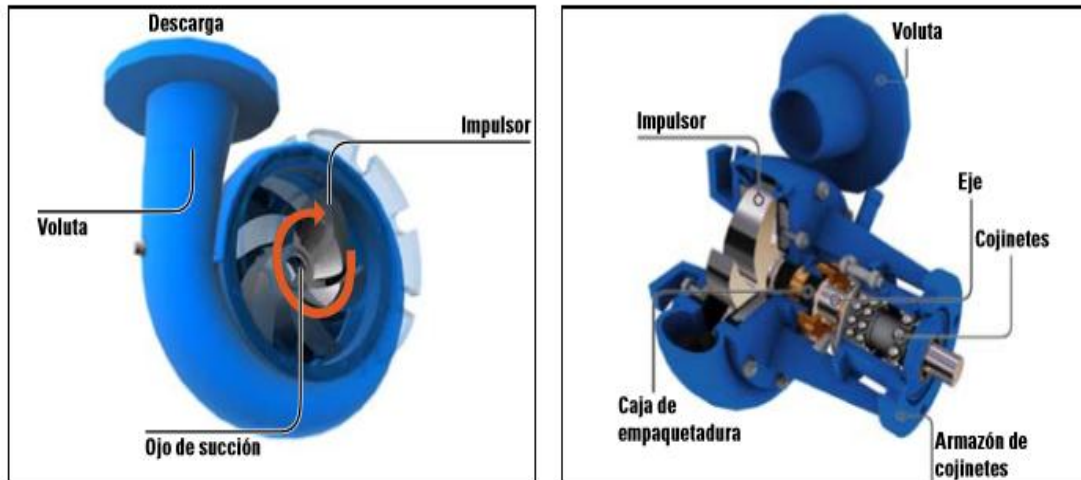


Figura 18 Partes de una bomba centrífuga^[13].

Clases de bombas centrífugas:

- (a) 4x5 RA45 con impulsor abierto: La RA45 se usa en unidades de Schlumberger como una bomba de presurización y enroscado. Esta bomba centrífuga está diseñada con una succión de 5 pulgadas y una descarga de 4 pulgadas, para operaciones de bombeo de arena y cemento.
- (b) 5x6 RA56 con impulsor abierto: La bomba RA56 es similar a la RA45. Tiene una succión de 6 pulgadas y una descarga de 5 pulgadas y se usa en mezcladoras de recirculación y mezcladoras de paletas. También se usa como una bomba de presurización en CPS-361 y *Slurry Chief*.
- (c) 10x12 RA02 y RB02 con impulsor cerrado: Las bombas RA02 y RB02 se usan en mezcladoras y tienen una descarga de 10 pulgadas y una succión de

12 pulgadas. La única diferencia entre RA02 y RB02 es la armazón y los adaptadores de succión.

- (d) 2x3x11 RB23 con impulsor cerrado: La bomba RB23 se usa como una bomba de mezcla de baja presión en las unidades de cementación de Schlumberger. Tiene una succión de 3 pulgadas, descarga de 2 pulgadas e impulsor de 11 pulgadas.

2.10.2 Bombas Triplex de alta presión Serie PG ^[14]

La designación genérica de bomba triplex se aplica a cualquier tipo de bomba con tres pistones. Las bombas reciprocantes con pistones son las bombas más eficientes para el bombeo de fluidos abrasivos a alta presión (1.000 psi o más) y las que requieren menos mantenimiento.

Las bombas de la serie PG son usadas para servicios de cementación y terminación de pozos, siendo las más comunes en todos los equipos de cementación. Estas bombas se suministran con armazones de magnesio PG-03 (bombas montadas en camiones) y con armazones de acero PG-05 (aplicaciones costa afuera). Generan una potencia hidráulica de 300 HP y su eje principal aporta un máximo de 350 rpm.

2.10.3 Compresores de aire de baja presión alto caudal ^[7]

Los compresores de aire de baja proporcionan toda la energía necesaria para operar un sistema de granel. Schlumberger utiliza varios tipos de compresores de aire, la mayoría de los cuales están diseñados para operar desde 30 hasta 32 psi y entregar de 300 hasta más de 400 ft cúbicos / minuto de aire (ver figura 19).



Figura 19 Compresores de baja presión ^[7].

2.10.4 Compresores de aire de alta presión bajo caudal ^[7]

Se les conoce como compresores rotativos axiales o compresores de tornillo. Son capaces de producir altos volúmenes de aire (desde 100 hasta 1000 ft cúbicos por minuto con 100 hasta 175 psi). Sin embargo por lo general están diseñados para operar desde 125 psi hasta 175 psi y entregar no mas 220 ft cúbicos / minuto de aire. Estos compresores proporcionan toda la energía necesaria para operar los sistemas neumáticos, los actuadores de las válvulas mariposa de la CPS-361, entre otros.

2.10.5 Depósitos Generadores

Un generador como el mostrado en la figura 20, utiliza magnetismo para producir electricidad. El consumo eléctrico de los equipos se mide en Kilovatios (KW) o Kva. Las siguientes ecuaciones N°2 y N°3 permiten calcular el consumo eléctrico de los distintos tipos de motores:

$$\text{Motor trifásico} \quad Kva = \frac{\sqrt{3} * I * V * 0.8}{1000} \quad \text{Ecuación N°2}$$

$$\text{Motor Monofásico} \quad Kva = \frac{I * V * 0.8}{1000} \quad \text{Ecuación N°3}$$

Donde:

- I = Corriente eléctrica (Amp)
- V = Voltaje
- Kva = consume eléctrico



Figura 20 Generador Caterpillar C-15 ^[15].

2.10.6 Extractores y ventiladores ^[16]

La técnica de ventilación impone diversas exigencias a los ventiladores, por lo que se necesitan muchos tipos de ellos. Hay que diferenciar entre dos tipos constructivos básicos: Ventiladores radiales y ventiladores axiales (ver figura 21).

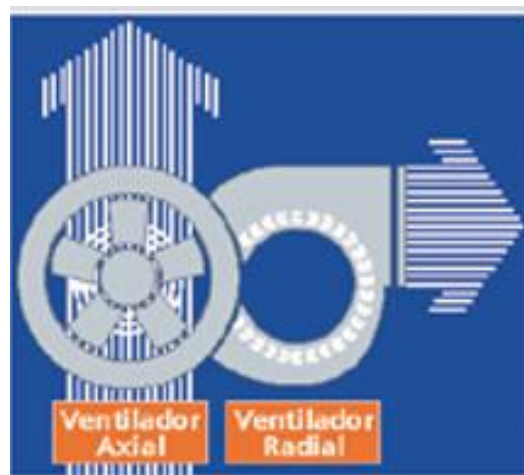


Figura 21 Tipos constructivos de ventiladores ^[16].

Los ventiladores axiales son apropiados para la extracción de aire en general, gases y vapores y para disipar el calor producido por equipos como motores y transformadores de potencia. Una combinación de sistemas de extracción e inyección de aire es recomendable cuando se requiere un elevado número de renovaciones de aire.

El caudal requerido para ventilar adecuadamente un local puede ser calculado, generalmente, dependiendo del volúmen del local que debe ventilarse y de la frecuencia de cambio de aire por hora, mediante la ecuación N°4.

$$Q = \frac{V \times (R/h)}{3600} \quad \text{Ecuación N°4}$$

Donde:

- Q = Caudal de aire requerido [m³/seg]
- V = Volúmen del local a ventilar [m³]
- R/h = Número de renovaciones por hora (ver apéndice-VI)

Dependiendo del caudal de aire que se requiera renovar se escoge el motor eléctrico adecuado, según las especificaciones del mismo.

2.10.7 Unidades de cementación

Para aplicaciones en lagos y ríos se usan las bombas de cementación montadas sobre un patín, conocidas como CPS por sus siglas en inglés (*Cementing Pump Skid*). Estas unidades son llevadas hasta el taladro o locación sobre gabarras de cementación junto son todos los otros equipos conectados apropiadamente y preparados para realizar el trabajo.

La unidad estándar de Schlumberger para ofrecer servicios de cementación a pozos localizados en ríos y lagos es la bomba de cementación CPS-361 mostrada en la figura 22. El tanque de compensación contiene al cemento seco. Los tanques de desplazamiento sobre el patín contienen el agua. El agua y el cemento son

combinados en el sistema de mezcla *Slurry Chief* y dirigidos por medio de un tubo de mezcla con efecto venturi hacia las bateas de mezcla.

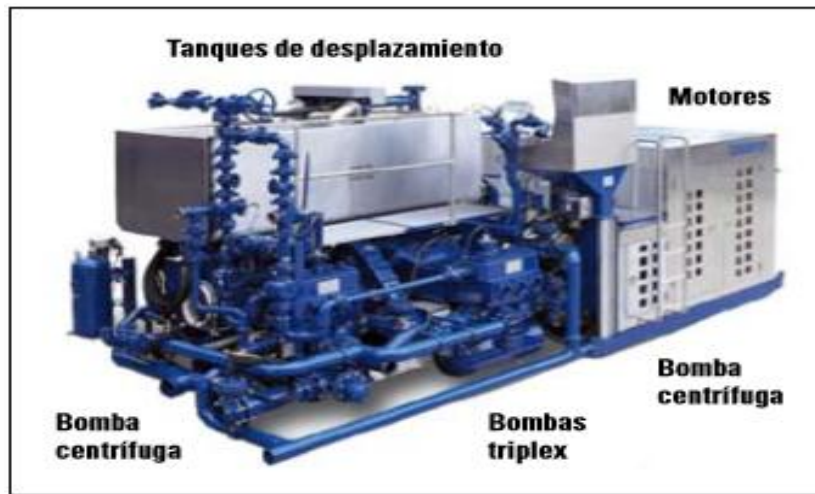


Figura 22 Bomba de cementación CPS- 361^[17].

Para mezclar la lechada, una bomba centrífuga hace circular la lechada proveniente del *Slurry Chief* y la regresa nuevamente hacia la batea de mezcla. Conforme la lechada es recirculada, se agrega más agua y/o cemento seco hasta que la lechada adquiere la densidad deseada.

La bomba de cementación doble CPS-361 realiza las siguientes funciones ^[17]:

- a) Proporciona los servicios de bombeo de alta presión (por ejemplo, las pruebas de la válvula impide-reventones [BOP])
- b) Mide los fluidos para mezclado y el cemento seco
- c) Puede trabajar con la alimentación por gravedad del cemento seco durante el mezclado
- d) Proporciona movimiento de alta presión para los fluidos utilizando una o ambas bombas triplex
- e) Puede bombear una diversidad de fluidos desde fuentes remotas.

2.11 Gabarras

Una gabarra es un barco de suelo plano construido principalmente para el transporte de bienes pesados a lo largo de ríos y canales. Habitualmente las gabarras no son

autopropulsadas y necesitan ser movidas por un bote remolcador que tire de ellas o las empuje.

Dentro del casco de la gabarra existen espacios dispuestos para almacenamiento de maquinas, agua potable, tratamientos de aguas negras, y además para colocar los tanques de flotación que son los encargados de mantener la estabilidad y flotabilidad de la gabarra. En la figura 23 se muestra un casco de una gabarra y sus principales componentes.

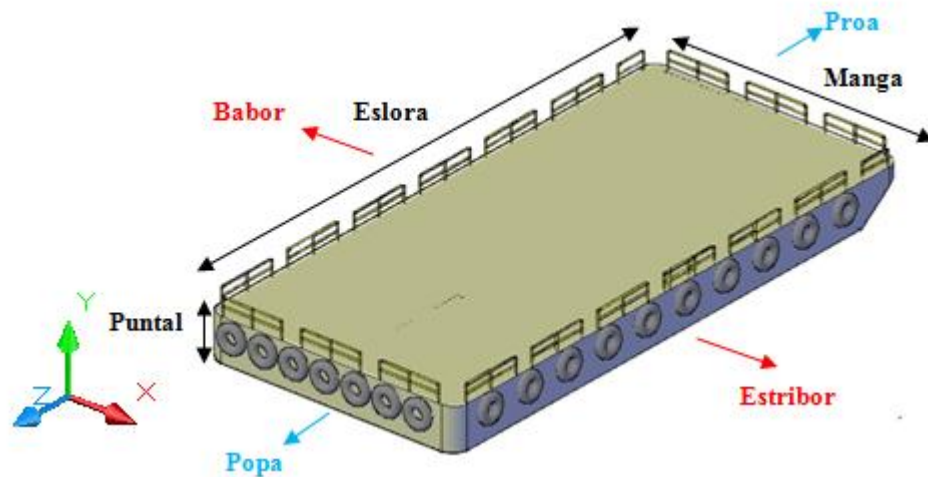


Figura 23 Representación gráfica del casco de una Gabarra y sus principales componentes

2.11.1 Flotabilidad de un buque

Para saber si un casco flota con el peso que generan los equipos y tanques que se instalan en el mismo, se debe realizar un estudio de flotabilidad basado en el principio de Arquímedes:

“Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volúmen del fluido que desaloja”.

Esta fuerza recibe el nombre de empuje hidrostático o de Arquímedes, y se mide en Newton (en el SI). La ecuación N°5 mostrada a continuación describe matemáticamente el principio de flotación de Arquímedes.

$$E = m * g = \rho_f * g * V \quad \text{Ecuación N°5}$$

Donde:

- E= empuje [Newton]
- ρ_f = densidad del fluido [kg/m^3]
- V= el volúmen de fluido desplazado por algún cuerpo sumergido parcial o totalmente en el mismo [m^3]
- g = aceleración de la gravedad [m/seg]
- m = la masa [kg]

El principio de Arquímedes se puede aplicar de manera equivalente para determinar el desplazamiento de agua por Líneas de Flotación (DLF) de una gabarra con la ecuación N°6.

$$DLF = \sum_{\text{Cubierta}}^4 \text{Vol@LF} * \rho\omega \quad \text{Ecuación N}^\circ 6$$

Donde:

- Vol@LF: volúmen ocupado por cada línea de flotación [m^3] (ver figura 24).
- $\rho\omega$: Densidad del agua [kg/m^3].

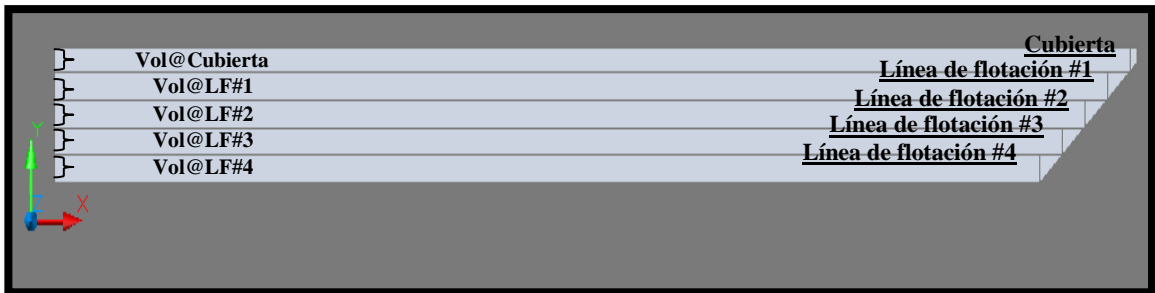


Figura 24 Representación del volúmen ocupado por líneas de flotación.

El volúmen desplazado de agua por línea de flotación se determina para saber cuánto es el peso máximo de agua que puede soportar el casco de la gabarra antes de hundirse y para saber cuánto es el calado de la misma.

2.12 Equipos auxiliares

Con el propósito de facilitar la realización de las actividades, garantizar la seguridad de la vida humana en el mar y ofrecer el servicio de abandono de pozos sin taladro, se consideran algunos equipos auxiliares, como son la grúa, el sistema de anclaje y un sistema contra incendio adecuado para ser instaladas en la nueva gabarra de cementación.

2.12.1 Grúas ^[18].

Se pueden encontrar diversos tipos de grúas, cada uno con una función específica. Los tipos de grúas más comunes en gabarras son las siguientes:

- a) Grúas fijas: Se colocan mediante un pie que permanece sostenido en el suelo o mediante un soporte anclado a la pared, estas anclas deben ser firmes.
- b) Grúas telescópicas: se caracterizan por tener las llamadas flechas, generalmente son rectangulares y están hechas de metales duros que son resistentes y duran más tiempo. Son utilizadas en lugares donde hay mucho espacio para poder trabajar.

2.12.2 Sistema de anclaje ^[19]

El sistema de anclaje de una estructura de flotación es un conjunto de varias líneas de anclaje diseñadas para mantener la estructura en posición. Una línea de anclaje completa tiene los siguientes elementos: winche, poleas, cables o guayas y/o cadenas, grilletes y juntas giratorias, ancla, línea de boyarín o indicadora, boyarín o boya indicadora o cazador (ver figura 25).

Un winche es usado para recoger o soltar las guayas de anclaje. Se caracterizan por su tamaño, capacidad de almacenamiento para cables y sistema de accionamiento que puede ser eléctrico o hidráulico.

Las diferentes condiciones de aplicación de la carga ejercida por el medio ambiente sobre las estructuras flotantes se deben considerar en el diseño de los sistemas de anclaje. Para determinar dichas condiciones es necesario saber el tiempo de distribución de las diferentes fuerzas (viento, corrientes, olas) y su frecuencia de

ocurrencia durante el periodo de tiempo de diseño del proyecto. Esto conlleva a la necesidad de un estudio previo del sitio y un adecuado modelado de las condiciones ambientales. Además es importante asegurarse que los winches existentes cumplan con las especificaciones requeridas y especialmente que su máxima capacidad de tracción sea adecuada para el peso bruto de la estructura y total de cargas.

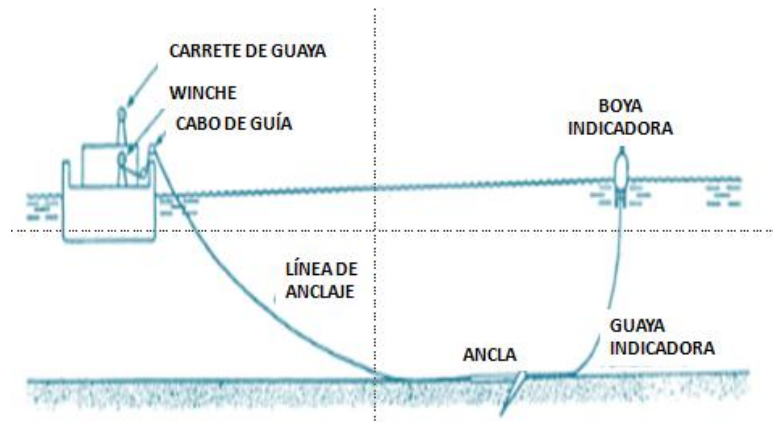


Figura 25 Principales componentes de una línea de anclaje.

2.12.3 Sistemas contra incendio

El Código Internacional de Sistemas de Seguridad contra el Fuego (Código SSCI), adoptado el 5 de diciembre de 2000 mediante Resolución MSC. 98 (73), tiene por objeto proporcionar unas normas internacionales sobre determinadas especificaciones técnicas para los sistemas de seguridad contra incendios.

Según el capítulo 12 de este Código, sobre bombas fijas contra incendios de emergencia, la capacidad de la bomba no será inferior al 40% de la capacidad total de las bombas contra incendios, no será en ningún caso, inferior a:

- a) 25 m³/h, para los buques de pasaje de arqueo bruto inferior a 1000 y para los buques de carga de arqueo bruto igual o superior a 2000 ton.
- b) 15 m³/h, para los buques de carga de arqueo bruto inferior a 2000 ton.

Por su parte el Convenio Internacional sobre el Arqueo de Buques del 23 de Junio de 1969 tiene por objeto establecer principios y reglas uniformes en lo que respecta a la determinación del arqueo de los buques que realizan viajes internacionales. El presente Convenio no se aplica:

- a) A los buques de guerra
- b) A los buques de eslora inferior a 24 metros (79 pies).
- c) A los buques que se dediquen exclusivamente a la navegación.

El arqueo bruto es la expresión del tamaño total de un buque, determinada de acuerdo con las disposiciones del presente convenio; mientras que el arqueo neto es la expresión de la capacidad utilizable de un buque, determinada de acuerdo con las disposiciones del presente convenio.

El arqueo bruto de un buque (GT) se calcula aplicando la ecuación N°7.

$$GT = K1 * V \qquad \text{Ecuación N°7}$$

Donde:

- V = Volúmen total de todos los espacios cerrados del buque, expresado en metros cúbicos.
- $K1 = 0,2 + 0,02 \log_{10} V$.

El arqueo neto (NT) de un buque se calcula aplicando la ecuación N°8.

$$NT = K2Vc \left(\frac{4d}{3D} \right)^2 + K3 \left(N1 + \left(\frac{N2}{10} \right) \right) \qquad \text{Ecuación N°8}$$

En la cual:

- El factor $(4d / 3D)^2$ no se tomará superior a 1.
- El término $K2*Vc (4d / 3D)^2$ no se tomará inferior a 0,25 GT.
- NT no se tomará inferior a 0,30 GT.
- Vc = volúmen total de los espacios de carga en metros cúbicos.
- $K2 = 0,2 + 0,02 \log_{10} Vc$
- $K3 = 1,25 (GT + 10.000) / 10.000$
- D = puntal de trazado en el centro del buque, expresado en metros.
- d = calado de trazado en el centro del buque, expresado en metros.

- N1 = número de pasajeros en camarotes que no tengan más de ocho literas.
- N2 = número de los demás pasajeros.
- $N1 + N2$ = número total de pasajeros que el buque está autorizado a llevar según el certificado de pasajeros del buque; cuando $N1 + N2$ sea inferior a 13 las magnitudes N1 y N2 se considerarán iguales a cero.

Son espacios cerrados todos los limitados por el casco del buque por mamparos fijos o móviles y por cubiertas o techos que no sean toldos permanentes o móviles.

Por pasajero se entiende toda persona que no sea:

- El capitán y los miembros de la tripulación u otras personas empleadas o contratadas para cualquier labor de a bordo necesaria para el buque.
- Un niño menor de un año.

Por último los espacios de carga que deben incluirse en el cálculo del arqueo neto son los espacios cerrados adecuados para el transporte de la carga que ha de descargarse del buque, a condición de que esos espacios hayan sido incluidos en el cálculo del arqueo bruto.

2.12.4 Manejo de Productos Químicos

El Estándar 18 de QHSE (Calidad, Salud, Seguridad y Ambiente) de *Well Services-Schlumberger*, identifica los procedimientos para el manejo de productos químicos, para la comunicación de riesgos químicos, manipulación de materiales incluyendo la compra o inventario, y el uso o venta de productos químicos en las locaciones de *Well Services*. Estos procedimientos se establecen en concordancia con lo dispuesto en la Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación por Buques de 1973, conocida como MARPOL por sus siglas en inglés.

Las palabras “material”, “producto”, “químicos”, y “manipulación de materiales” se refieren a químicos, combustibles y petróleo crudo usado para las preparaciones de mezcla incluyendo N_2/CO_2 , cemento, otros materiales a granel y químicos corrosivos como los ácidos. Estos materiales pueden ser suministrados tanto por *Well Services*, como por clientes o terceros.

Los productos químicos con potencial para causar un daño a la vida humana o al ambiente deben estar correctamente almacenados y ubicados. Especialmente, el combustible usado en una gabarra debe contenerse en tanques especialmente diseñados, los cuales deben ubicarse tan alejados como sea posible de los dormitorios y de los equipos de alta presión o con alto riesgo de causar incendios.

También se debe contar con un sistema de drenaje y almacenamiento de fluidos residuales para evitar contaminar las aguas de lagos, ríos, o mares.

CAPÍTULO III DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 Cuenca del Lago de Maracaibo

Son dos los ramales de la Cordillera de los Andes que penetran en Venezuela, uno la Serranía de Perijá, que sirve de línea divisoria con Colombia y el otro la Cordillera de Mérida. Entre esta cordillera y la de Mérida se encuentra la Cuenca del Lago de Maracaibo (ver figura 26). El lago mide 212 km. de norte a sur y 92 km. en su máxima anchura, recibe el caudal de 50 ríos y sus aguas son salobres por el contacto directo que tiene con el mar a través del Golfo de Venezuela. Esta cuenca es mundialmente famosa desde principios de siglo por los ricos yacimientos petrolíferos y carboníferos que existen en el subsuelo [20].

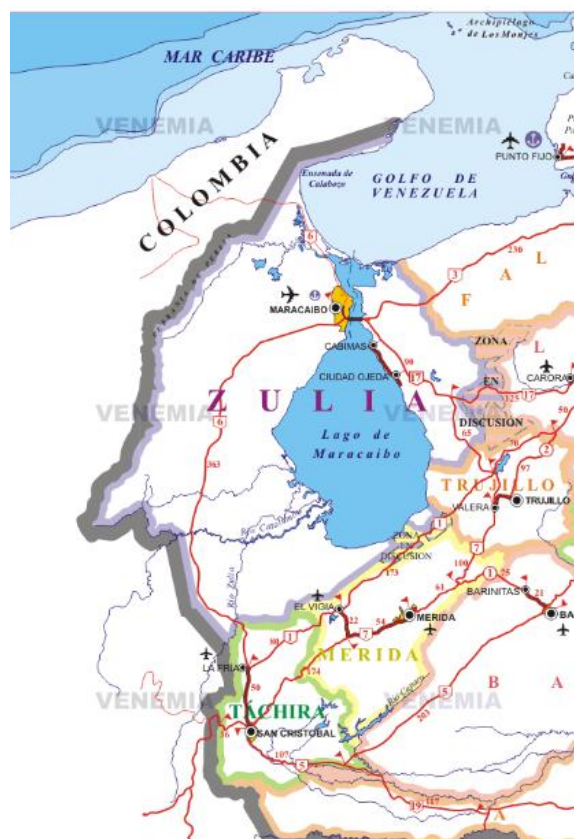


Figura 26 Ubicación geográfica de la Cuenca del Lago de Maracaibo [20].

3.2 Costa Oriental del Lago de Maracaibo

En la zona terrestre se encuentran los campos de Cabimas, Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero que producen crudo pesado proveniente de las formaciones Lagunillas y La Rosa de edad Mioceno por encima de la discordancia del Eoceno. Estos yacimientos se extienden en una franja en el Lago a mayores profundidades afectando las propiedades de los fluidos, que resultan en crudos pesados y medianos. Las areniscas de la formación Misoa constituyen el principal reservorio de hidrocarburos del Eoceno. Se descubrió también condensado y gas a nivel del Cretácico en el campo Ambrosio al norte del Lago, cerca de Cabimas. Los mecanismos de producción predominantes son: gas en solución, empuje hidráulico, compactación e inyección de gas y/o agua, para mantenimiento de la presión dentro de los yacimientos. Uno de los ejemplos más típicos son los yacimientos del campo Tía Juana, Lagunillas y Bachaquero que serán descritos a continuación ^[21].

3.2.1 Yacimiento LGI TJ-3.2.1 del Campo Tía Juana, Locación TJ-UCV-01

De acuerdo con la Propuesta de Perforación de la Localización TJ-UCV-01 en el campo Tía Juana Lago (2012), se presenta a continuación un resumen de los datos de interés para la cementación, obtenidos a partir de la caracterización del yacimiento LGI TJ-3.2.1 y la perforación de los pozos vecinos.

- a) Ubicación geográfica: El campo Tía Juana está ubicado entre las ciudades de Cabimas y Lagunillas en la parte septentrional de la costa oriental del Lago de Maracaibo. La localización TJ-UCV-01 horizontal, está ubicada en la parcela A-215 el campo.
- b) Descripción Estratigráfica y Sedimentológica: Estratigráficamente el Miembro objetivo se encuentra en arenas de Edad Mioceno. Está conformado por dos formaciones principales, que de mayor a menor profundidad, han sido denominados Formación La Rosa (Miembro Santa Bárbara y Miembro La Rosa) y la Formación Lagunillas (Miembro Lagunillas Inferior, Miembro Laguna y Miembro Bachaquero). En la figura 27 se muestra la columna estratigráfica

generalizada para el Campo Lagunilla Lago donde se pueden observar las formaciones someras más resaltantes de la Cuenta del Lago de Maracaibo.

| ERA | SERIE | SUB-SERIE | GRUPO | FORMACIÓN | MIEMBRO | SUB-MIEMBRO | ESPESOR (PIES) | DESCRIPCION LITOLÓGICA | EVENO GEO-TECTÓNICO ASOCIADO | |
|----------------------|------------------|------------|------------|-----------|---------------------|--------------------------|----------------|---|------------------------------|---|
| SEDIMENTOS RECIENTES | | | | | | | | | | |
| C E N O Z O I C O | PLIO-PLEISTOCENO | EL MILAGRO | | | | | 500 | Areniscas poco consolidadas, lutitas y algunos lignitos Arenas y limolitas arcillosas y algunos lignitos | Margen Activo | |
| | | | | | | | 2800 | Arcillitas abigarradas, limolitas y areniscas macizas friables con algunas intercalaciones lutíticas | | |
| | MIOCENO | MIEDIO | LAGUNILLAS | IS NOTU | BACHAQUERO | AP, H, G, F, E, D, C, AB | | 700 | | Areniscas poco consolidadas, lutitas y algunos lignitos |
| | | | | | LAGUNA | | | 550 | | Areniscas poco consolidadas con lutitas alternadas |
| | | | | | LAGUNILLAS INFERIOR | | | 250 | | Lutitas y areniscas intercaladas |
| | EOCENO | TEMPRANO | MISOA | LA ROSA | LUTITAS LA ROSA | | | 125 | | Lutitas gruesas con intercalaciones locales de arena |
| | | | | | SANTA BÁRBARA | | | 25 | | Arena basal con intercalaciones de arcillas |
| | PALEOCENO | TEMPRANO | MISOA | LA ROSA | ARENAS "B" | | | 2000 | | Areniscas de color blanco mal escogidas y subredondas intercaladas con lutitas de color gris oscuro |
| | | | | | ARENAS "C" | | | 4000 | | Areniscas masivas de grano fino, blancas y grises con intercalaciones de lutitas gris oscuro |
| | | | | | | | | 200 | | Calizas fosilíferas y areniscas calcáreas |

Figura 27 columna estratigráfica generalizada para el Campo Lagunilla Lago ^[22].

En la tabla 3 se muestran los topes geológicos que fueron pronosticados para la perforación de la localización.

Tabla 3 Topes geológicos esperados para la perforación de la Localización TJ-UCV-01 [22]

| Edad geológica | Form. / miembro | Yacimiento | Fluido | Profundidad (pies) | | Presión (lpc) | Presión de fractura |
|--------------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------|---------------|---------------------|
| | | | | (BNL) | (BMR) | | |
| 1Mioceno | Lagunillas/Bachaquero | Bachaquero | Agua | -1586 | 1628 | ** | |
| Mioceno | Lagunillas/Laguna | Laguna superior | Agua | -2569 | 2611 | ** | |
| Mioceno | Lagunillas/Laguna | Lagna-23 | Agua-pet | -2799 | 2841 | ** | 0,465LPC /ft |
| Mioceno | Lagunillas/Lagunillas Inf. | LGI TJ-3.2.1 (II-a) | Agua-pet | -3037 | 3079 | 800 | 0,56LPC/ft |
| Cálculos en TVD para EMR= 42' | | | TD | -3213 | 3255 | | |

La secuencia estratigráfica que atravesará esta localización está constituida de lo más reciente (tope) a lo más antiguo (base) por las siguientes formaciones:

- Formación Isnotú (Mioceno medio): Predominantemente arcillas (65%), con numerosas areniscas intercaladas y capas subordinadas de arcilla laminar, carbón y conglomerado. Las arcillas son macizas pero blandas, de color gris claro, corrientemente abigarradas en rojo, púrpura y amarillo y localmente carbonáceas.
- Formación Lagunillas (Mioceno medio): subdividida en tres miembros que de base a tope son: Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero. El Miembro Bachaquero es el superior y está formado por arenas arcillosas de colores gris a marrón, con algunas alternancias de lutitas y lignitos; su contacto en el tope es de carácter concordante con la Formación Isnotú y en la base su contacto es estratigráfico con el Miembro Laguna. Este último se depositó en un ambiente deltaico, específicamente en el frente deltaico. Se encuentra dividido en dos subunidades: Laguna Inferior y Laguna Superior. Las principales facies del yacimiento son: canales distributarios, barras de desembocadura, llanura de

inundación y bahías Interdistributarias. Por su parte el Miembro Lagunillas Inferior ha sido subdividido en cuatro unidades informales, que son, de base a tope, el Lente Lagunillas Inferior D (LLD), Lagunillas Inferior C (LLC), Lagunillas Inferior B (LLB) y Lagunillas Inferior A (LLA). En este caso se navegó horizontalmente la arena desarrollada en el lente LL-A.

- c) Aspectos petrofísicos: A continuación la tabla 4, muestra la prognosis petrofísica de la localización horizontal TJ-UCV-01.

Tabla 4 Prognosis petrofísica de la Localización horizontal TJ-UCV-01 ^[22]

| Unidad | ANP (pies) | Φ_e (%) | So (%) | Kabs (mD) | Kefect (mD) |
|--------|------------|--------------|--------|-----------|-------------|
| LLA | 10-35 | 31-34 | 60-70 | 1300-1900 | 600-1000 |

3.2.2 Yacimiento BACH-3.2.2 del Campo Lagunilla, Localización LL-UCV-02

De acuerdo con la Propuesta de Perforación de la Localización LL-UCV-02 en el campo Lagunillas Lago, Zona Centro del Yacimiento BACH-3.2.2 (2014), se presenta a continuación un resumen de los datos de interés para la cementación, obtenidos a partir de la caracterización del yacimiento y la perforación de los pozos vecinos.

- a) Ubicación Geográfica: El yacimiento BACH-3.2.2 se encuentra ubicado en la parte Este del Lago de Maracaibo, al Este del Campo Costanero Bolívar. Geográficamente, está conformado por una porción en el Lago de Maracaibo, con un área aproximada de 95 Km² (23.500 acres), extendiéndose hacia una porción de tierra llamada Franja del Kilómetro, con un área aproximada de 100 Km². Estructuralmente, el yacimiento corresponde a un monoclinial con un rumbo de aproximadamente N 40° O y buzamiento entre 2 y 3° hacia el SO. Estratigráficamente, pertenece a la Edad Mioceno, Formación Lagunillas, Miembro Bachaquero Superior.

La localización inclinada LL-UCV-02 se encuentra ubicada en la Parcela A-230 conformada por lentes prospectivos de arenas superiores del Miembro Bachaquero del yacimiento BACH-3.2.2 (ver figura 28).

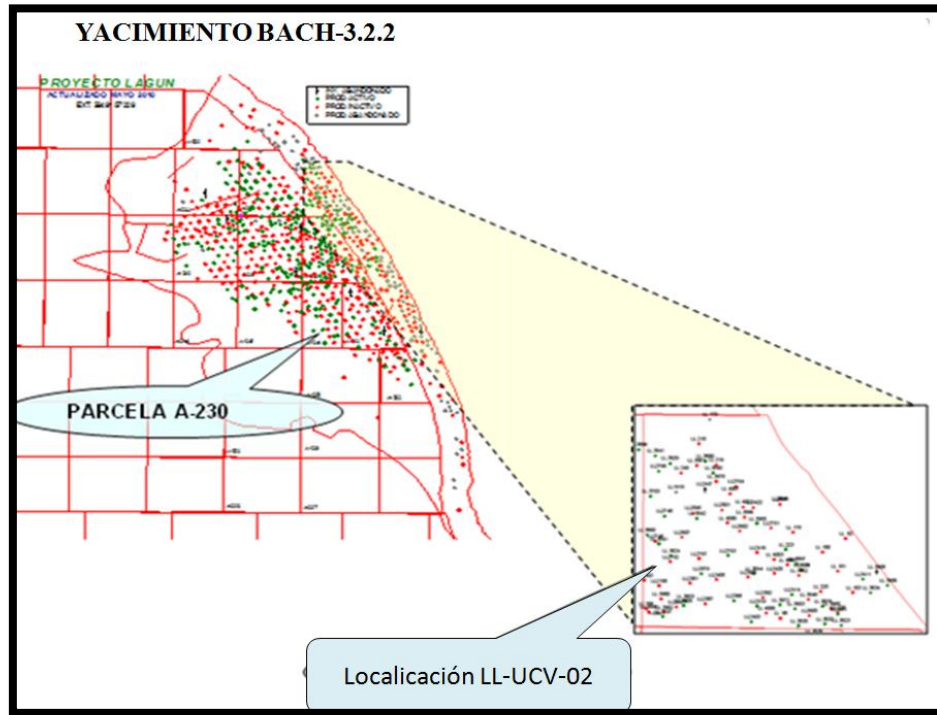


Figura 28 Ubicación Geográfica de la Localización LL-UCV-02 (Parcela A-230) ^[23].

- b) Estratigrafía objetivo: La sección geológica penetrada durante la perforación de la localización LL-UCV-02 está conformada de tope a base por la Formación El Milagro de edad Pleistoceno, la formación La Puerta, de edad Plioceno/Mioceno Superior, las Formaciones La Puerta, Isnotú y Lagunillas la cual esta subdividida por los Miembros Lagunillas Inferior, Laguna y Bachaquero de edad Mioceno (figura 27).

La Estratigrafía del área Bach-3.2.2 está conformada por sedimentos del Miembro Bachaquero de la Formación Lagunillas de edad Mioceno, producto de una sedimentación progradante de dominio fluvial, tiene un espesor bruto de aproximadamente 750 pies el cual varía de 600 pies al NE y de 900 pies al SW del área de interés. Se encuentran subdivididos en 19 capas, 20 superficies y 8 intervalos informal (AP, HH, GG, FF, EE, DD, CC, AB), que tienen diferencias

muy marcadas en cuanto a espesor, calidad de roca, facies y distribución de fluidos.

- c) Aspectos petrofísicos: La unidad de flujo presenta según el pozo LL-G01 (Pozo tipo), resistividades en un rango que va desde los 50 ohm.m hasta los 100 ohm.m en la zona menos arcillosa; volúmen de arcilla de 13%, porosidades promedios de 36%, permeabilidades en el orden de los 2360 mD, saturaciones de agua de 25%, 71' de arena neta petrolífera en 71' de arena neta total. Presenta una zona de transición agua-petróleo hacia la base de AP aproximadamente a 2419' (MD); todas las unidades de Bachaquero por debajo de AP se encuentran totalmente saturadas de agua.

3.2.3 Yacimiento BACH-3.2.3 del Campo Bachaquero, Locación BA-UCV-03

De acuerdo con el Programa de Perforación Campo Bachaquero Lago, Localización BA-UCV-03 (2014), se presenta a continuación un resumen de los datos de interés para la cementación, obtenidos a partir de la caracterización del yacimiento BACH-3.2.3 y la perforación de los pozos vecinos.

- a) Ubicación Geográfica: La Localización BA-UCV-03, se encuentra en el campo Bachaquero Lago, Yacimiento BACH-3.2.3, zona sin gas superficial; teniendo como objetivo las Unidades U7/U6 pertenecientes al Miembro Bachaquero de la Formación Lagunillas.

El yacimiento BACH-3.2.3 está ubicado en la parte Sur de los campos petrolíferos de la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Campo Bachaquero Pesado, área lacustre (figura 29). Al NO este yacimiento está limitado por el alto estructural de Pueblo Viejo, al Este con la zona de la Playa, al Oeste por la falla inversa de Pueblo Viejo y al Sur por los contactos agua-petróleo. El yacimiento BACH-3.2.3 tiene un área aproximada de 24.555 acres, un volúmen neto de arena de 5.768.414 acres-pies y una sección productora de aproximadamente 235 pies. En la tabla 5 se describen las propiedades más importantes del yacimiento.

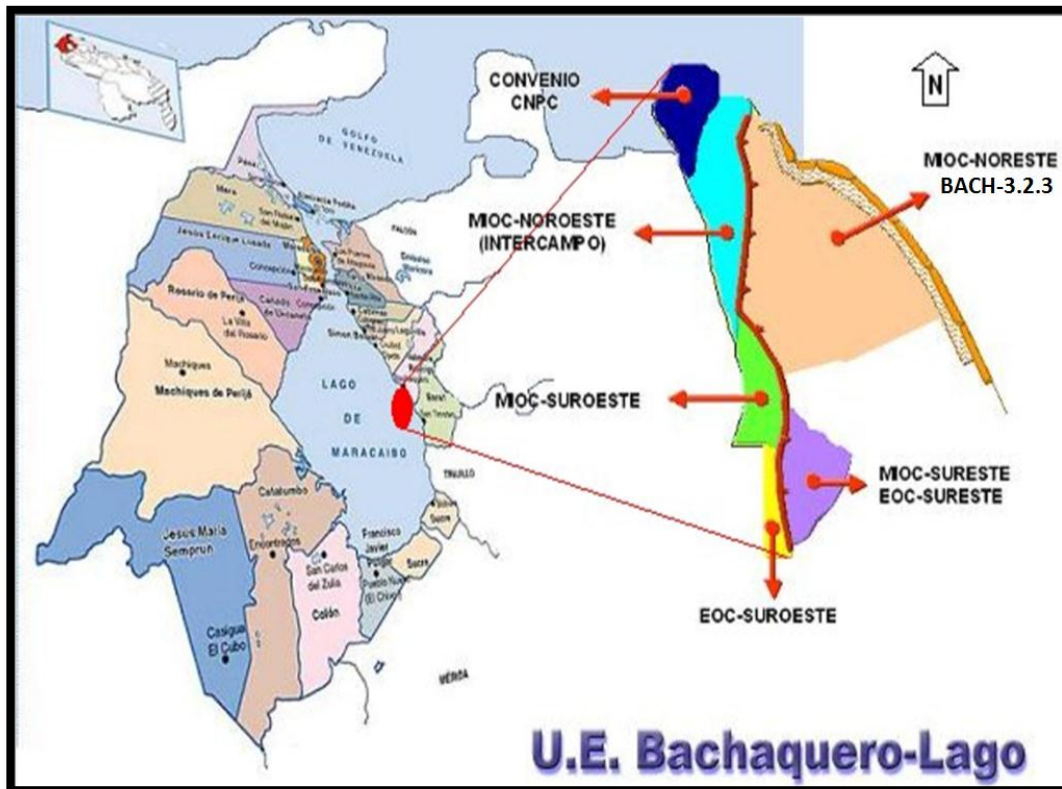


Figura 29 Mapa de la ubicación geográfica del Yacimiento BACH-3.2.3 (Modificado) ^[24].

Tabla 5 Propiedades del yacimiento Bachaquero-3.2.3 ^[24].

| | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Área | 24.555 acres |
| Arena Productiva | 235 pies |
| Estructura | Monoclinal |
| Buzamiento | 3 a 5 grados hacia el Sur-Este |
| Volúmen de roca | 5.768.418 acres-pie |
| Porosidad promedio | 29,9 % |
| Permeabilidad | 1.650 md |
| Saturación de petróleo | 75,5 % |
| POES | 9.079.490 BNP |
| GOES | 1.815.898 MMPCN |
| Petróleo Acumulado | 1.677.558 MBNP |
| Gas acumulado | 1.101.159 MMPCN |
| Numero de intervalos productores | Siete (7) |
| Presión inicial | 2200 lpca |
| Presión actual | 1112 lpca |
| Datum | 4000 ft |
| Condición actual del yacimiento | Saturado |

b) Estratigrafía objetivo y sedimentología: La columna crono-estratigráfica de la UP Bachaquero Lago comprende las formaciones: Guasare, Misoa, La Rosa, Lagunillas e Isnotú, éstas van desde el Paleoceno hasta el Mioceno. El presente estudio geológico se enfocó en las arenas del Mioceno, Formación Lagunillas, miembro Bachaquero. Éste miembro está representado por el yacimiento Bachaquero 3.2.3, el cual está constituido por cuatro (04) unidades de flujo informales llamadas: U4, U5, U6 y U7, esta última pertenece al tope de este miembro (ver figura 30).

En el área de interés el pozo BA-G02 atravesó parte de la secuencia sedimentaria del Mioceno, representada en la zona por las formaciones Isnotú y Lagunillas, teniendo como objetivo las Unidades U7/U6 pertenecientes al Miembro Bachaquero de la Formación Lagunillas.

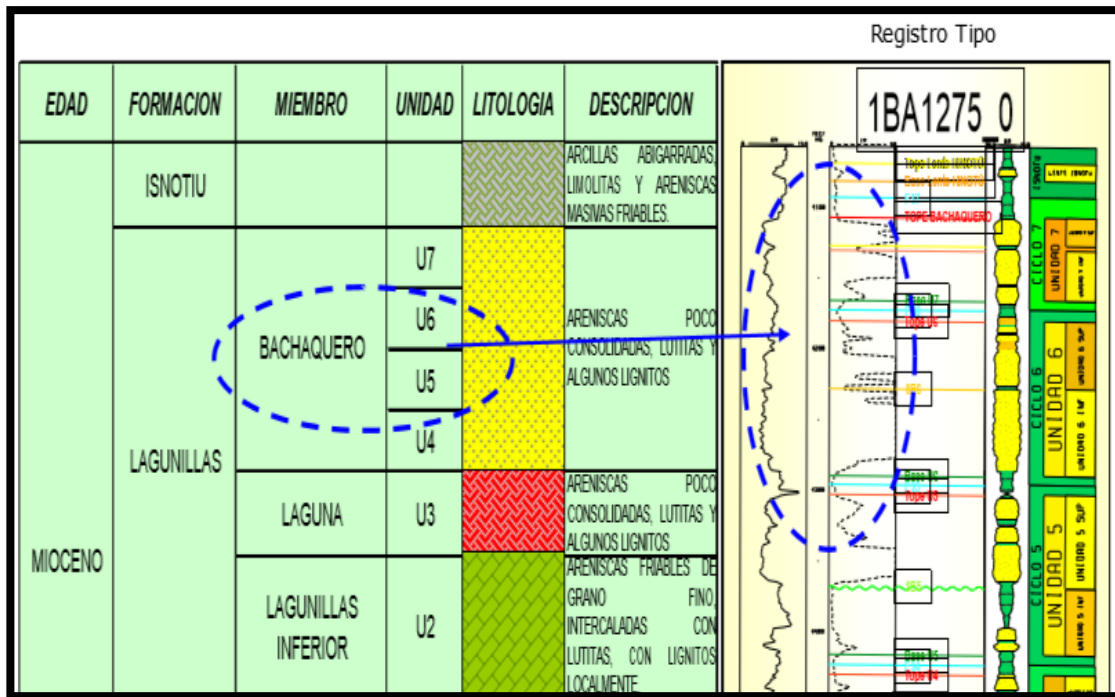


Figura 30 Columna geológica generalizada para el campo Bachaquero Lago [24].

El miembro Bachaquero está formado por cuerpos de arenas heterogéneas, interestratificadas con buen desarrollo vertical y continuidad lateral, estas arenas se encuentran separadas entre sí por cuellos arcillosos de 5 a 50 pies de grosor.

Localmente las arenas de este miembro presentan un espesor aproximado de 350 pies de AN. La Unidad U7 está constituida por dos paquetes de arenisca grano decrecientes; hacia la parte superior de la unidad de ± 25 pies de espesor y otro hacia la base ± 10 pies de espesor, con un espesor promedio total de ± 100 pies. No fue observada presencia de agua en los registros.

3.3 Centro del Lago

Los principales campos petrolíferos son Lama, Lamar y Centro. En esta área, la producción proviene esencialmente del Eoceno, (Arenas "B" y "C") y parcialmente del Mioceno, Formación La Rosa, Miembro Santa Bárbara. Los crudos son principalmente livianos. De las calizas de la Formación Guasare, de edad Paleoceno se produce crudo liviano. El Grupo Cogollo, que incluye las Formaciones Maraca, Lisure y Apón, así como la Formación La Luna y el Miembro Socuy, todos del Cretácico, produce crudos livianos de sus intervalos fracturados. En la tabla 6 se detallan algunas características del campo Lama que describen en forma general las acumulaciones petrolíferas presentes en el Centro del Lago ^[21]. Además a continuación se describe las principales características de uno de los yacimientos más representativos del área.

Tabla 6 Características de las arenas productoras del Campo Lama en el Centro Lago ^[21]

| Formación miembro* | Gravedad API | Profundidad (Mpies) | POES** (MMbn) | Factor de recobro (%) | Empuje, *** |
|--|--------------|---------------------|---------------|-----------------------|-------------|
| Santa Bárbara (a) | 29-32 | 7-11 | 750 | 30 | 1,2 |
| Misoa (b) | 29-34 | 7,1-13,5 | 7600 | 40 | 1,2,4 |
| Guasare (c) | 35-38 | 10-17,5 | 10 | 17 | 2,3 |
| S/L/C (d) | 32-42 | 12,4-20 | 720 | 21,5 | 1,2,3 |
| *(a) Mioceno, (b) Eoceno, (c) Paleoceno, (d) Cretácico Socuy/La Luna/Cogollo | | | | | |
| ** Petróleo Original en Sitio | | | | | |
| *** 1. Hidráulico, 2. Gas en solución, 3. Capa de gas, 4. Expansión | | | | | |

3.3.1 Yacimiento C-X-3.3.1 del Campo Centro Lago, Locación CL-UCV-04

De acuerdo con el informe sobre Consideraciones operacionales de perforación Centro Lago Localización CL-UCV-04 (2012), se presenta a continuación un resumen de los datos de interés para la cementación, obtenidos a partir de la caracterización del yacimiento C-X-3.3.1 y la perforación de los pozos vecinos.

- a) Ubicación geográfica: La localización CL-UCV-04 de clasificación A-O, a nivel de superficie se encuentra ubicada en la parte central del Lago de Maracaibo, específicamente en el área oeste del Domo Sur del Bloque Centro Lago, el cual pertenece a la Unidad de Producción Centro Sur-Lago del Distrito Lago, específicamente en el Yacimiento C-X-3.3.1. La localización se propuso como un pozo vertical y de profundidad total estimada 12300' pies (TVD).
- b) Estratigrafía objetivo: El área de la localización CL-UCV-04, abarca desde lo más reciente hasta lo más antiguo rocas de la Formación El Milagro de edad Pleistoceno, la Formación Onia, de edad Plioceno/Mioceno Superior, las formaciones La Puerta, Lagunillas y La Rosa, de edad Mioceno e infrayaciendo discordantemente, la Formación Misoa, la cual ha sido dividida operacionalmente en Arenas B y C (ver figura 31). En el área de la localización las Arenas B han sido erosionadas y no se encuentran, el contacto es directo con las Arenas C, a nivel de la unidad C-1, de esta manera la perforación cortó la sección completa de C-1 a C-4.

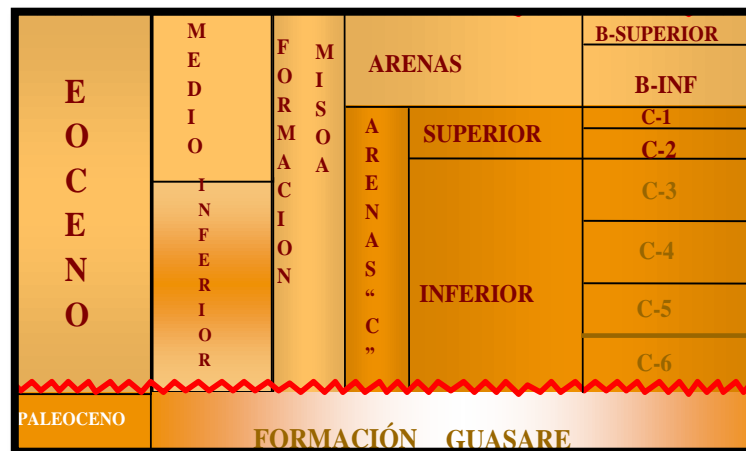


Figura 31 Columna Estratigráfica de la formación Misoa ^[25].

- c) Aspectos estructurales del Miembro C-4: Oficialmente el área de interés en el Domo Sur del Bloque Centro Lago, donde se encuentran ubicados los yacimientos eocenos, constituye básicamente una estructura general tipo domo con orientación norte-sur entre las alineaciones Lama-Lamar y Pueblo Viejo-Ceuta y seccionado transversalmente por un sistema fallas normales e inversas de diferentes rumbos y buzamiento que dividen en compartimientos la estructura con diferentes bloques estructurales.

3.4 Costa Occidental del Lago

Los campos petroleros más importantes del área son Boscán, Mara–La Paz, Urdaneta en el norte y Tarra–Los Manueles en el sur. En general, el petróleo es liviano cuando proviene del Basamento y de las calizas del Cretácico y pesado a mediano cuando se encuentra en el Terciario (Eoceno, Formación Misoa en el norte, Formación Mirador en el sur). Existen excepciones, como los campos Boscán y Urdaneta, que producen crudos pesados del Eoceno y Mara, con crudo de 16°API, del Cretácico. El campo La Paz produce crudo liviano del Cretácico y Basamento, sin embargo el campo cercano La Concepción es un productor de crudo y de gas libre del Terciario ^[21]. A continuación se describe uno de los yacimientos más representativos del área, en el Campo Urdaneta Oeste.

3.4.1 Yacimiento URD-3.4.1 del Campo Urdaneta Oeste, Localización UD-UCV-05

De acuerdo con el Programa de Ingeniería de Perforación Lago Norte I/U.P. Urdaneta en la Localización UD-UCV-05 (2014), se presenta a continuación un resumen de los datos de interés para la cementación, obtenidos a partir de la caracterización del yacimiento URD-3.4.1 y la perforación de los pozos vecinos.

- a) Ubicación Geográfica: Geológicamente el Yacimiento URD-3.4.1 se encuentra ubicado en la parte NO de la cuenca del Lago de Maracaibo y al Sur de la ciudad de Maracaibo, en el área Urdaneta Oeste, limitando al Oeste con la línea de costa, al Este con el área de Ambrosio y al Sur con convenio Perla. Es

importante resaltar que el Yacimiento se subdivide en seis (6) Bloques estructurales, ubicándose esta localización en el sexto. El Bloque VI esta ubicado al Sur del Yacimiento URD-3.4.1, se encuentra limitado al Norte por una falla Normal de aproximadamente 100', limita al Oeste con Petro-Perijá, al Este con Petro-Warao y hacia el Sur con la Perla (Petro regional del Lago).

La Localización Tipo “S” UD-UCV-05 se ubica al SO del Yacimiento URD-3.4.1, en el flanco de una estructura anticlinal fallada con rumbo Noreste-Suroeste.

- b) Estratigrafía objetivo: La sección geológica atravesada está conformada de tope a base por la Formación El Milagro de edad Pleistoceno, la Formación Onia, de edad Plioceno/Mioceno Superior, Las Formaciones La Puerta, Lagunillas y La Rosa (Rosa A y Rosa B) de edad Mioceno, La Formación Icotea de edad Oligoceno. El objetivo principal de esta localización fueron las arenas de la Formación Icotea y Formación Misoa (ver figura 32).

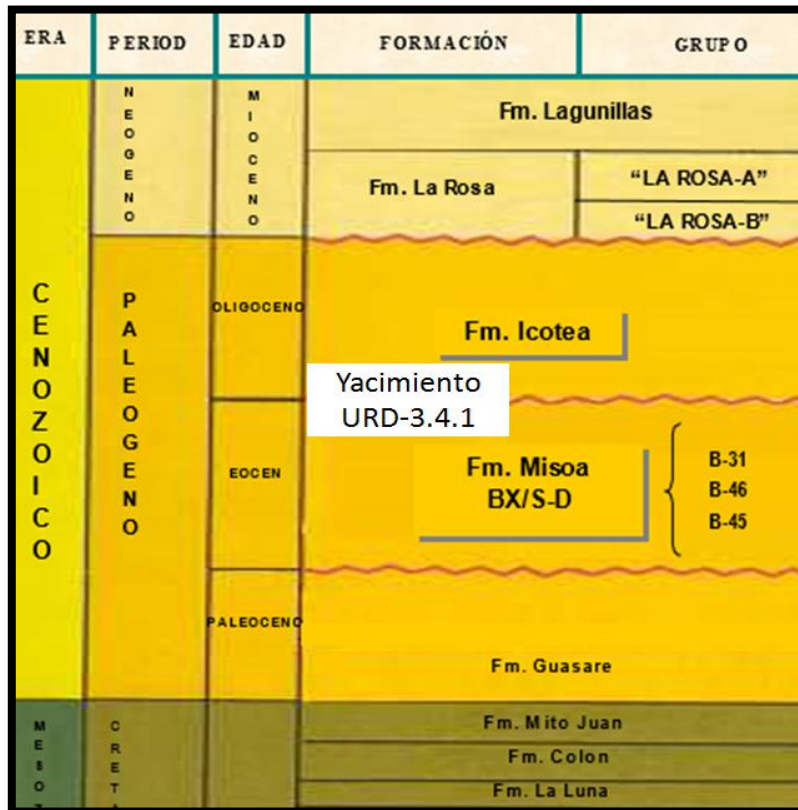


Figura 32 Columna estratigráfica del yacimiento URD-3.4.1 [26]

- c) Aspectos sedimentológicos: La localidad tipo fue descrita en la vecindad de Punta Icotea Costa Oriental del Lago de Maracaibo. Su litología consiste en limolitas y arcillitas duras, macizas de blanco a gris claro, ocasionalmente carbonáceas y mateados de verde claro, amarillo y marrón rojizo. Son frecuentes las esferulitas de siderita, capas de lutitas y arenisca verdosa a gris y su espesor total es mayor al Sur alcanzando un poco mas de 220 pies aproximadamente (Bloque VI) y disminuye considerablemente al Norte donde alcanza escasamente 35-10 pies aproximadamente (Bloque II y I). Se estimo observar un espesor estimado de +/- 282' con la perforación de la localización.
- d) Aspectos petrofísicos: De acuerdo al comportamiento de los pozos vecinos se determinó que la localización iba a presentar las propiedades petrofísicas promedio mostradas en la tabla 7.

Tabla 7 Propiedades petrofísicas promedio de la Localización UD-UCV-05 ^[26]

| Formación | ANP (ft) | Permeabilidad (mD) | Porosidad (%) | Volúmen de arcilla (%) | Saturación de agua (%) |
|--|-----------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Icotea | 80 | 250 | 22 | 8 | 45 |
| Misoa | 130 | 780 | 28 | 11 | 40 |
| NOTA: El gradiente de fractura del área es de 0,62 lpc/ft | | | | | |

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo documental ya que se consultaron bibliografías existentes acerca de la cementación primaria y secundaria, sobre las gabarras de cementación, y los equipos que la conforman, se investigó sobre el funcionamiento operacional, características físicas y campo de aplicación de los mismos.

También se aplicó el método descriptivo para justificar técnicamente la selección de los equipos más apropiados para la cementación de los pozos en el Lago de Maracaibo. Una vez se analizaron las características del problema, es decir, el estado actual de los equipos, se eligieron los temas a investigar y las fuentes de información apropiadas para la recolección de los datos, para lo cual se establecieron tantas técnicas de recolección de la información como fue posible.

Con toda la información y datos se realizaron comparaciones y análisis para definir la configuración de tanques y cantidad de los equipos, así como su caracterización para seleccionar los más importantes y continuar con la etapa de diseño.

4.2 Recolección de datos

Para la realización del marco conceptual se consultaron los manuales de cementación primaria y secundaria de Schlumberger encontrados en su base de datos para el entrenamiento de su personal en el área de servicios de pozos.

En cuanto al funcionamiento operacional de los equipos, especificaciones técnicas de los mismos y características generales se consultaron los archivos confidenciales de las unidades de mezcla y bombeo estándares usadas por Schlumberger.

Para los equipos ubicados en salas de maquinas y los equipos auxiliares se realizó una inspección de los equipos actualmente usados en las gabarras del segmento Well Services de Schlumberger en las Morochas, con el propósito de buscar referencias de marcas y proveedores estándares, referencias de capacidades y potencias de bombas y motores. Luego se solicitaron los catálogos de productos a los proveedores locales e

internacionales para obtener mayor información técnica de los mismos y estudiar otras posibilidades.

El punto de referencia para la realización de la investigación fueron los planos de distribución de tanques del casco de la gabarra D1992, el plano de reemplazo de estructuras y aceros, las dimensiones y espacios disponibles. Además de realizaron encuestas al personal de supervisión y mantenimiento de la gabarra para conocer el estado actual de la misma, el nivel de deterioro de los equipos, y las deficiencias que presenta, con el objetivo de obtener las recomendaciones, sugerencias, y asesoría técnica para la adecuada selección de los nuevos equipos.

En cuanto a las bases legales que sustentan el diseño preliminar de tanques, el posicionamiento de los equipos y selección de sistemas de seguridad y almacenamiento, se consultó a la gerencia de HSE del departamento de *Well Services*, con lo cual se decidió investigar y aplicar las regulaciones establecidas por la Organización Marítima Internacional y algunos estándares de seguridad establecidos por Schlumberger.

Otras fuentes de recolección de datos fueron los programas de cementación diseñados por los ingenieros del segmento, los programas de perforación suministrados por PDVSA antes de la realización de los trabajos, propiedades de los fluidos manejados y estudiados en laboratorio, tablas de aditivos, algunas fotos, etc.

4.3 Análisis de datos

Para la selección de los equipos de bombeo y mezcla se realizó el análisis de cinco (5) trabajos de cementación realizados por Schlumberger en las tres áreas del Lago de Maracaibo, costa occidental, centro lago y costa oriental, en los principales campos, lagunilla, Tía Juana, Bachaquero, Centro y Urdaneta. Se evaluaron algunos parámetros principales del diseño de la cementación: propiedades, volúmenes y composición de los fluidos (lavadores, espaciadores y lechadas), así como la secuencia, tiempo y caudales de bombeo de los mismos y por último la potencia hidráulica requerida para el posicionamiento de la lechada en el intervalo de interés.

Con esta información se realizaron cuadros comparativos para determinar la cantidad de silos, tanques de mezcla, tanques de recirculación, y la potencia hidráulica requerida para realizar dos (2) trabajos de cementación continuos. Con estos resultados se seleccionaron las capacidades de los tanques de almacenamiento, y la bomba de cementación con una potencia hidráulica adecuada aplicable al servicio de cementación.

Para la selección del equipo de agitación se calculó la potencia hidráulica y energía de mezcla requerida para desflocular a las lechadas usadas en cada uno de los cinco (5) trabajos de cementación, basando dicho calculo en el experimento realizado por Benoit Vidick y la ecuación de la energía de mezcla de fluidos. Por su parte, para la selección del sistema de recirculación se compararon las capacidades de bombeo y mezcla y presiones de trabajo de las diferentes bombas centrifugas usadas en Schlumberger, con el propósito de escoger la que maneja mejor los volúmenes de los fluidos.

Para la selección de los equipos ubicados en sala de máquina se realizó un análisis de consumo energético con el propósito de seleccionar el generador eléctrico adecuado para suplir a todos los equipos de la gabarra, incluyendo las acomodaciones para el personal. Por su parte, la selección de los sistemas de extracción de aire y ventilación de la sala de máquinas se calculó el caudal de aire adecuado que debe generar un ventilador que permitió seleccionar el modelo y motor eléctrico más adecuado para la instalación del mismo.

Los compresores también fueron seleccionados tomando en cuenta la capacidad de los silos y las presiones de trabajo manejadas por los equipos de almacenamiento y mezcla, así como las presiones de trabajo de válvulas y bombas, esta información se obtuvo de los manuales de cementación consultados.

Se realizó un estudio de flotabilidad para demostrar que un casco prediseñado con las dimensiones y configuración similar al casco de la Gabarra D1992 soportaría el peso de los equipos, tanques y acomodaciones manteniéndose estable. Para este estudio se hizo uso de los datos suministrados en la última medición de espesores por ultrasonidos de las estructuras y aceros del casco de la gabarra D1992. Con estos

datos y sabiendo las propiedades de los fluidos y materiales manejados y las capacidades de almacenamiento de los tanques y equipos se estimó el volumen de agua desplazada por líneas de flotación. Basándose en el principio de Arquímedes, se logró determinar el peso total de la gabarra y por consiguiente el calado de la misma.

Una vez obtenido el peso de la gabarra se calcula el volumen de arqueo bruto y neto de la misma aplicando el procedimiento matemático establecido por la Convención Internacional de Arqueo de Busque de 1969, con el objetivo de escoger el sistema contra incendio más adecuado para una gabarra de dicha dimensión según el Código Internacional de Sistema de Seguridad contra el Fuego.

Los equipos auxiliares se seleccionaron de acuerdo a los requerimientos operacionales de la gabarra, una grúa con un alcance adecuado para las áreas de almacenamiento de productos químicos; un sistema de anclaje adecuado para soportar el peso de la gabarra y cuyo diseño de instalación debe quedar en manos de expertos.

Para el diseño preliminar del tanque de desechos o tanque cero descarga se tomaron en cuenta las exigencias del cliente establecidas en los contratos, la regulaciones internacionales, y la configuración recomendada por supervisores de las antiguas gabarras, además de los estudios y cálculos realizados para seleccionar los sistemas de agitación y recirculación óptimos.

Por su parte, para realizar el diseño preliminar del tanque de combustible se realizó un análisis de consumo de combustible considerando el consumo por hora de combustible durante cinco (5) días de todos los equipos y unidades, así como el tamaño de sus tanques de almacenamiento. Además se propuso una configuración de dicho tanque para garantizar la protección del personal, la calidad del trabajo y la protección ambiental

4.4 Presentación del modelado y diseño 3D

Para realizar la representación 3D de la nueva gabarra de cementación se utilizó el programa de modelado 3D AutoCAD, con el cual se muestran las conexiones tubulares entre cada uno de los equipos de mezcla y bombeo, distribución de espacios

en las acomodaciones, ubicación de tanques, equipos, y acomodaciones bajo y sobre casco, posición y configuración de las escaleras y caminerías.

Las dimensiones para realizar el diseño preliminar se obtuvieron a partir de las especificaciones técnicas de los equipos, la configuración del casco de la Gabarra D1992 y algunas mediciones realizadas en campo. Se empezó diseñando los tanques que serán instalados bajo casco, tomando en cuenta la forma, tamaño, ubicación y espacio ocupado, sistema de recirculación y motores de agitadores.

Luego se hizo la representación gráfica de los equipos de bombeo, mezcla y almacenamiento usados por Schlumberger, así mismo los equipos auxiliares y accesorios del casco como barandas, cauchos contra impacto, y muebles en las acomodaciones para tener en cuenta las conexiones de agua y luz.

Una vez que se realizó toda la representación gráfica, se hizo uso del Software de modelado 3D Max Studio, para realizar la animación con cámara y trayectorias que permite una mejor visualización del diseño realizado.

4.5 Presentación de los resultados

Los resultados se presentan de la manera siguiente:

- a) Justificaciones técnicas para la selección de los equipos, análisis de datos, comparaciones y cálculos.
- b) Diseño preliminar de los tanques, capacidad, forma, dimensiones, componentes y espacio que ocupan bajo y sobre casco.
- c) Representación 3D de los equipos de bombeo y mezcla, equipos auxiliares y acomodaciones.
- d) Modelado 3D de la gabarra de cementación, vista general, frontal y lateral.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Propuestas técnicas realizadas por Schlumberger para servicios de cementación a pozos del Lago de Maracaibo

A continuación se presentan en forma de tablas y gráficos los parámetros principales de diseño de cinco (5) trabajos de cementación realizados por el departamento de Well-Services, WIT de Schlumberger en el Lago de Maracaibo por ingenieros de cementación. Se presentan los datos siguientes para cada caso:

- a) Propiedades de la formación
- b) Geometría del pozo
- c) Características de los revestidores
- d) Profundidades
- e) Temperaturas de fondo estáticas y dinámicas
- f) Propiedades y composición de los fluidos (lodo de perforación, lavadores, espaciadores y lechadas)
- g) Secuencia de bombeo de los fluidos
- h) Tiempos y presiones de bombeo
- i) Potencia hidráulica requerida.

5.1.1 Revestidor intermedio de 7” a 3565 pies en el pozo TJ-G03 perforado en la localización TJ-UCV-01^[27]

- a) Información del pozo

En la figura 33, se muestra el esquema mecánico propuesto para la perforación del pozo TJ-G03, donde se pueden observar la trayectoria trazada por los diferentes intervalos perforados y los revestidores usados en los mismos.

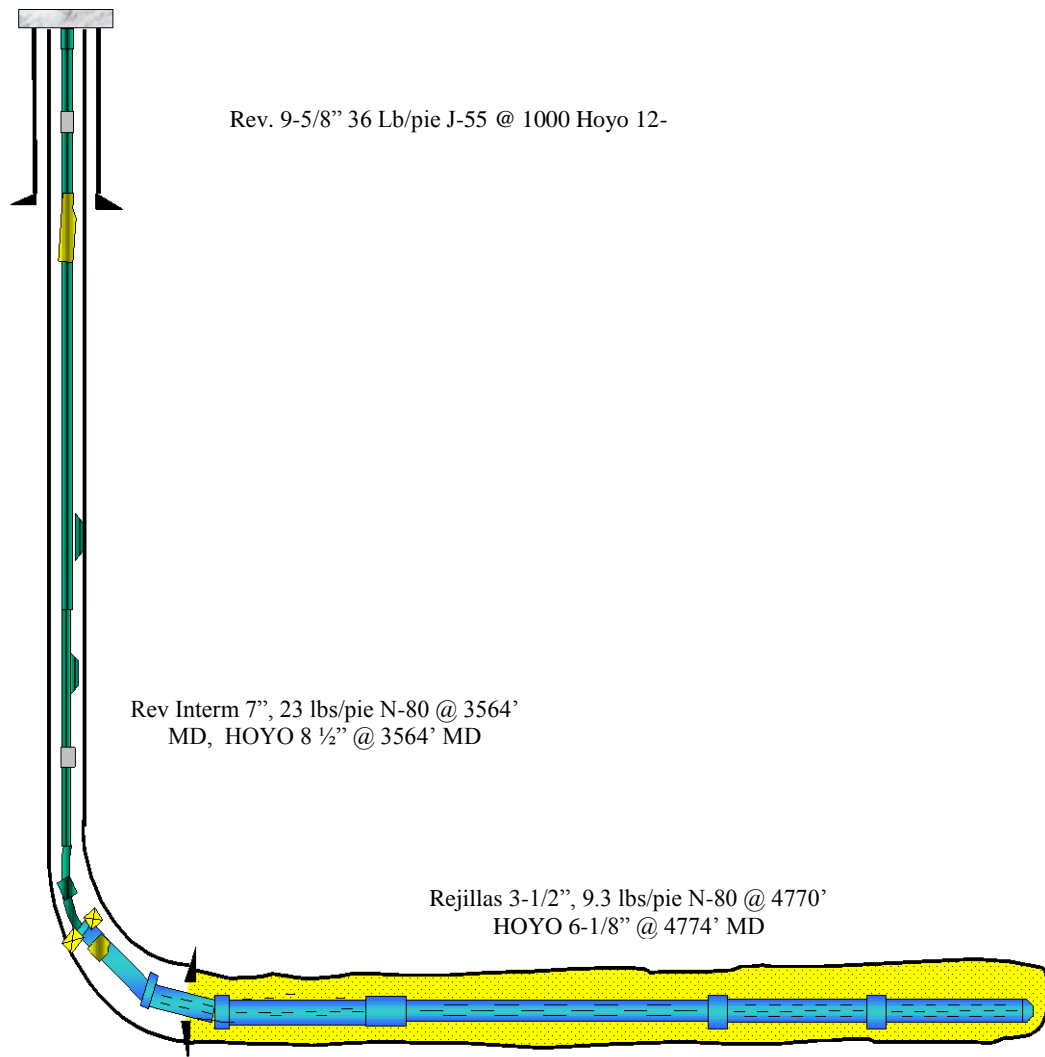


Figura 33 Diseño mecánico del Pozo TJ-G03 ^[27]

Para el diseño de la cementación del revestidor intermedio se consideraron algunos parámetros como son dimensiones del hoyo, del revestidor, temperaturas de fondo del pozo, presiones de la formación, entre otros, teniendo en cuenta la cementación de la etapa previa. Los valores de dichos parámetros se resumen a continuación en las tablas 8, 9, 10, y 11.

Tabla 8 Información General del Hoyo intermedio del Pozo TJ-G03 ^[27]

| Configuración | Revestidor | Etapa : Simple | Tipo de pozo: Costa afuera fijo |
|--|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Etapa Previa | MD : 1000 ft | OD: 9 5/8 pulg. | Peso : 36 lb/ft |
| Tubería | MD : 3485 ft | OD: 7 pulg. | Peso : 23 lb/ft |
| Cople de Retención MD | | 3483 ft | |
| Zapata de la Tubería MD | | 3485 ft | |
| MD TOTAL | | 3485 ft | |
| BHST (Temp. Estática de Fondo en la zapata) | | 134 °F | |
| Diámetro de Barrena | | 8 1/2 pulg. | |
| Diámetro nominal del Agujero (OH) | | 8,500 pulg. | |
| Exceso en el anular | | 30 % | |
| Diámetro equivalente del Agujero (OH) | | 8,901 pulg. | |
| Volumen Total del Agujero (OH) | | 191,2 bbl (incluyendo el exceso) | |
| Nivel del Mar (Superficie) | | 42 ft | |
| Profundidad del Lecho Marino | | 122 ft | |

Tabla 9 Datos de formación atravesada por el hoyo intermedio del pozo TJ-G03 ^[27]

| MD (ft) | Gradiente de Frac. (psi/ft) | Gradiente de Poro (psi/ft) |
|---------|-----------------------------|----------------------------|
| 3565 | 0,840 | 0,400 |
| 4774,2 | 0,840 | 0,400 |

Tabla 10 Datos de la etapa previa al revestidor intermedio del pozo TJ-G03 ^[27]

| MD (ft) | OD (pulg.) | Peso (lb/ft) | ID (pulg.) |
|---------|------------|--------------|------------|
| 1000 | 9 5/8 | 36 | 8,921 |

Tabla 11 Datos de la tubería de revestimiento intermedio del pozo TJ-G03 ^[27]

| MD (ft) | OD (pulg) | Tramo (ft) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) | Rosca |
|---------|-----------|------------|--------------|-----------|-------|---------------|-----------------|-------|
| 3485 | 7 | 1 | 23 | 6,366 | N-80 | 3830 | 6340 | BTC |

En la figura 34, se muestra la representación simulada de la localización, donde se observan las profundidades de la zapata de los revestidores, tanto el intermedio como el de la etapa previa, así mismo se muestra la desviación del pozo durante su

perforación, estas características son importantes para definir la posición de los centralizadores y realizar los cálculos de volúmenes de fluidos a utilizar.

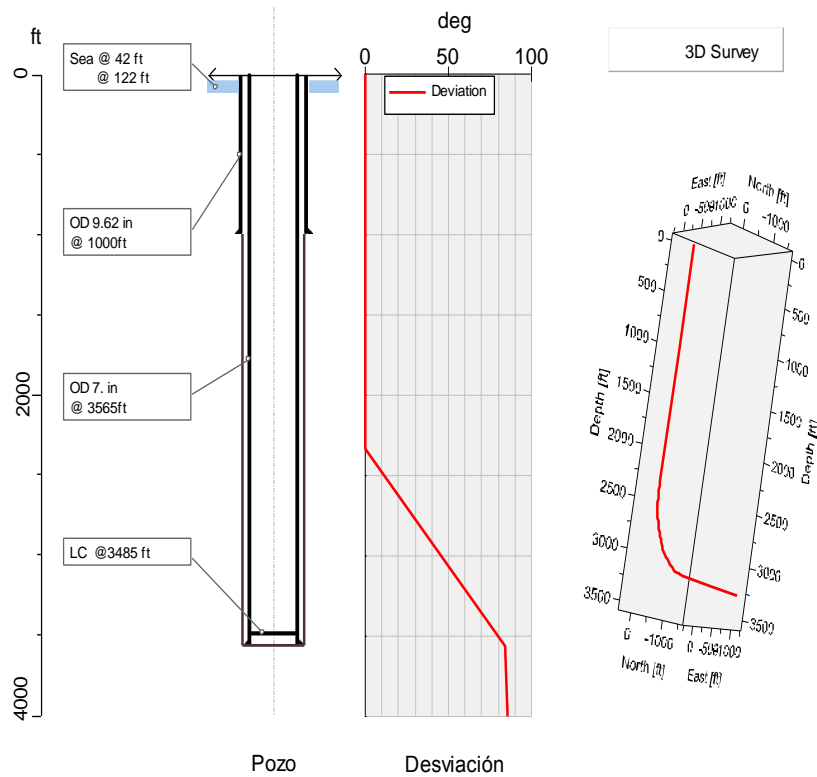


Figura 34 Esquema General del Pozo TJ-G03. Revestidor intermedio. [27]

b) Diseño de fluidos:

En la tabla 12, se describen las principales características del lodo de perforación usado para el hoyo intermedio (Revestidor 7'') de la localización TJ-UCV-01 que se tomaron como referencia para definir las propiedades necesarias de los preflujos y las lechadas.

Tabla 12 Datos de Condiciones del Lodo. Hoyo intermedio del Pozo TJ-G03 [27]

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Densidad | 9,40 lpg |
| Viscosidad Plástica | 16 cp |
| Punto Cedente | 13 lbf/100ft ³ |

Además en las tablas 13 y 14 se describen los componentes y concentración de los preflujos utilizados para remover el revoque de lodo en el pozo.

Tabla 13 Descripción del Lavador Químico. Revestidor 7" del Pozo TJ-G03^[27]

| Volúmen de lavador CW7: 20bbbls | | | |
|---------------------------------|-----------------|---------------|----------|
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | 41,50 gal/bbl | 830gal |
| D122A | Lavador químico | 0,50 gal/bbl | 10gal |

Tabla 14 Descripción espaciador base agua. Revestidor 7" del Pozo TJ-G03^[27]

| Volúmen: 50bbbls | | | |
|------------------|-----------------|---------------|------------|
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | 34,37 gal/bbl | 1718,5 gal |
| D047 | Antiespumante | 0,05 gal/bbl | 2,5 gal |
| D020 | Extendedor | 3,00 lb/bbl | 150 lb |
| D182 | Viscosificante | 4,00 lb/bbl | 200 lb |
| D122A | Lavador Químico | 0,5 gal/bbl | 25gal |
| D151 | Agente de peso | 140,42 lb/bbl | 7021 lb |

Para esta operación se solicitó un Sistema de lechada antimigratoria e impermeable, con aditivos para el control de la migración de gas y una densidad de 14,5 lpg. A continuación, en la tabla 15, se presentan los componentes y concentraciones de los aditivos sólidos y líquidos requeridos para la preparación de la lechada y el resumen de resultados reológicos de laboratorio.

Tabla 15 Descripción de la lechada antimigratoria e impermeable para cementación del revestidor intermedio del Pozo TJ-G03 ^[27]

| | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Densidad: 14.5 lpg | | Volúmen: 48,6bbls | |
| Rendimiento | 1,35 ft ³ /sxs | Tipo de agua | Agua del lago |
| Requerimiento | 3,657 gps | Origen | Lago |
| Fluido total | 5,338 gps | Tiempo para BHCT y BHP | 35 min |
| Presión Inicial | 50 psi | Muestra de cemento | H+D124 |
| Presión final | 1813 psi | BHST:105°F | BHCT:137°F |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Mezclado en |
| D909 | Cemento H | 100% BWOC | Sólido |
| D124 | Extendedor | 80% BWOC | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,05 gps | Líquido |
| D079 | Extendedor | 0,50% BWOC | Líquido |
| D167 | Cont. De filtrado | 0,25 BWOC | Líquido |
| D185 | Dispersante | 0,12 GPS | Líquido |
| D500 | Cont. De Gas | 1,50 GPS | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,06 GPS | Líquido |
| Propiedades reológicas | Lectura del dial @ 80°F | Lectura del dial @ 105°F | |
| Viscosidad plástica (cP) | 173,52 | 125,65 | |
| Punto cedente (lbf/100ft²) | 25,12 | 35,42 | |
| Nota: 60min de premezclado @ 100°F | | | |

c) Programa de Bombeo

A continuación se describe la secuencia de bombeo de los fluidos, mostrando volúmenes, tiempos y caudales con los cuales el programa CEMENTIC calcula la potencia hidráulica requerida para lograr un desplazamiento completo de la lechada de cemento (ver tabla 16).

Tabla 16 Programa de la secuencia del bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7” del Pozo TJ-G03 ^[27]

| Programa de Bombeo | | | | | |
|----------------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| Fluido | Tasa (bbl/min) | Volúmen (bbl) | Tiempo (min) | Vol. Acum. (bbl). | Comentarios |
| Lavador CW7 | 4,0 | 20,0 | 5,0 | 20,0 | |
| (Espaciador) MUDPUSH II | 4,0 | 40,0 | 10,0 | 40,0 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Tapón de diafragma |
| Lechada antimigratoria | 4,0 | 48,6 | 11,7 | 46,6 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | Tapón sólido |
| (Espaciador) MUDPUSH II | 4,0 | 10,0 | 2,5 | 10,0 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Revisar cabezal |
| ADL | 4,5 | 100,0 | 22,2 | 100,0 | |
| ADL | 3,0 | 15,0 | 5,0 | 115,0 | |
| ADL | 2,0 | 10,2 | 4,4 | 125,2 | |
| | | Total | 01:21 hr:mn | 243,7 bbl | |

En esta operación la potencia necesaria para el bombeo de los fluidos es 48,4 HHP. En la figura 35, se muestra el comportamiento de la presión en superficie durante el bombeo de los fluidos.

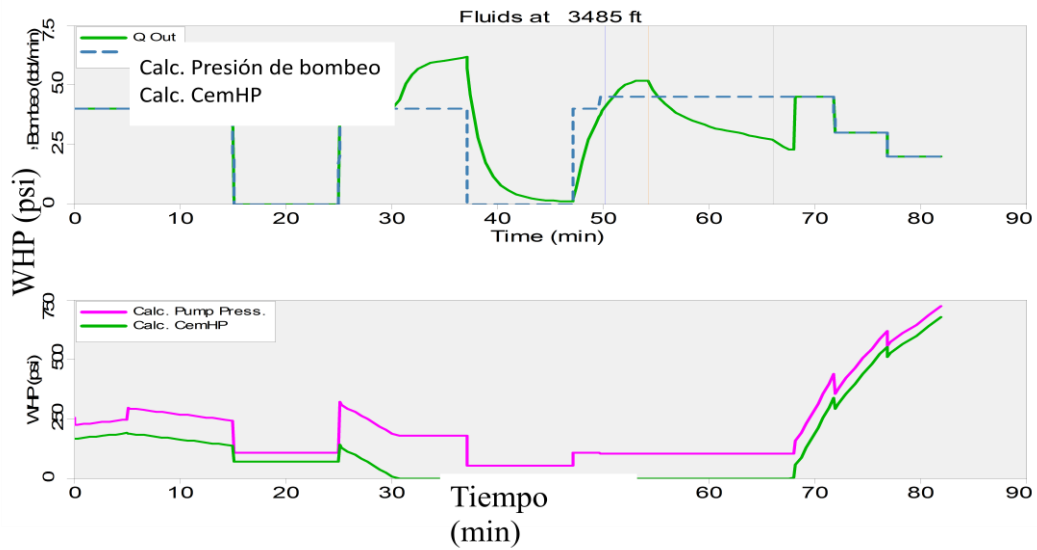


Figura 35 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7" de la localización TJ-UCV-01^[27]

5.1.2 Revestidor de producción de 7" a 2688ft' del Pozo LL-G04 perforado en la Localización LL-UCV-02^[28]

a) Consideraciones Especiales de Diseño

- Presencia de Gas
- Presencia de Agua

b) Información del pozo

En la figura 36, se muestra el esquema mecánico propuesto para la perforación del pozo LL-G04, donde se pueden observar la trayectoria trazada por los diferentes intervalos perforados y los revestidores usados en los mismos.

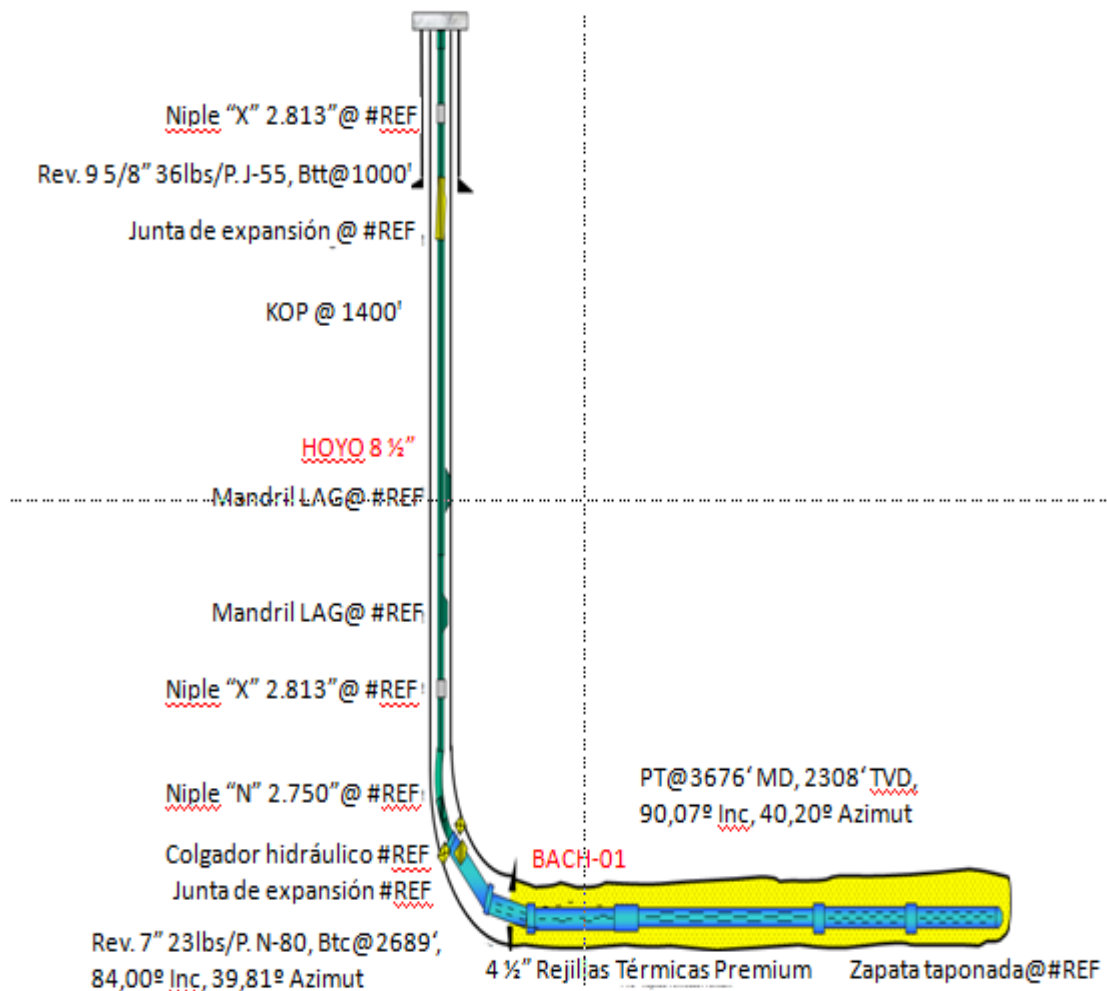


Figura 36 Diseño mecánico del pozo LL-G04 ^[28]

Para el diseño de la cementación del revestidor de producción del Pozo LL-G04 se consideraron algunos parámetros como son dimensiones del hoyo, del revestidor, temperaturas de fondo del pozo, presiones de la formación, entre otros, teniendo en cuenta la cementación del hoyo superficial con un revestidor de 9 5/8". Los valores de dichos parámetros se resumen a continuación en las tablas 17, 18, 19 y 20.

Tabla 17 Información General del Hoyo de producción del Pozo LL-G04 ^[28]

| Configuración | | Etapa : Única | Tipo de pozo:Costa afuera fijo |
|---|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Etapa Previa | MD : 1000 ft | OD: 9 5/8 pulg. | Peso : 36 lb/ft |
| Tubería | MD : 2688 ft | OD: 7 pulg. | Peso : 23 lb/ft |
| Cuello Flotador PM | | 2648 ft | |
| Zapata de la tubería PM | | 2688 ft | |
| Profundidad total | | 2688 ft | |
| BHST (Temp. Estática de Fondo en la zapata) | | 125 °F | |
| BHCT (Temp. Circ. de Fondo en la zapata) | | 107 °F | |
| Diámetro de Mecha | | 8 ½ pulg. | |
| Diámetro nominal del agujero (OH) | | 9 pulg. | |
| Exceso en el anular | | 30.0 % | |
| Diámetro equivalente del agujero (OH) | | 9,578 pulg. | |
| Volúmen total del agujero (OH) | | 148.6 bbl (incluyendo el exceso) | |
| Nivel del mar (Superficie) | | 20.0 ft | |
| Profundidad del lecho marino | | 50.0 ft | |
| Topes de cemento (TOC) | | 0 ft | |
| Cantidad teórica de cemento a utilizar | | 310sxs | |

Tabla 18 Datos de formación atravesada por el hoyo de producción del pozo LL-G04 ^[28]

| MD (ft) | Frac. (psi/ft) | Pore (psi/ft) |
|------------|-------------------|------------------|
| 2688 | 0,800 | 0,420 |

Tabla 19 Datos de la etapa previa a al revestidor de producción del pozo LL-G04 ^[28]

| MD (ft) | OD (pulg) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) |
|------------|--------------|-----------------|--------------|
| 1000 | 9 5/8 | 36,0 | 8,921 |

Tabla 20 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo LL-G04 ^[28]

| MD (ft) | OD (pulg) | Tramo (ft) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) | Rosca |
|------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|-------|------------------|--------------------|-------|
| 2688 | 7 | 40 | 23 | 6,366 | N-80 | 3450 | 5430 | IFJ |

En la figura 37, se muestra el diagrama general del pozo LL-G04, donde se observan las profundidades de la zapata de los revestidores, tanto el de producción como el de la etapa previa, así mismo se muestra la desviación del pozo durante su perforación con respecto al eje vertical, estas características son importantes para definir la posición de los centralizadores y realizar los cálculos de volúmenes de fluidos a utilizar.

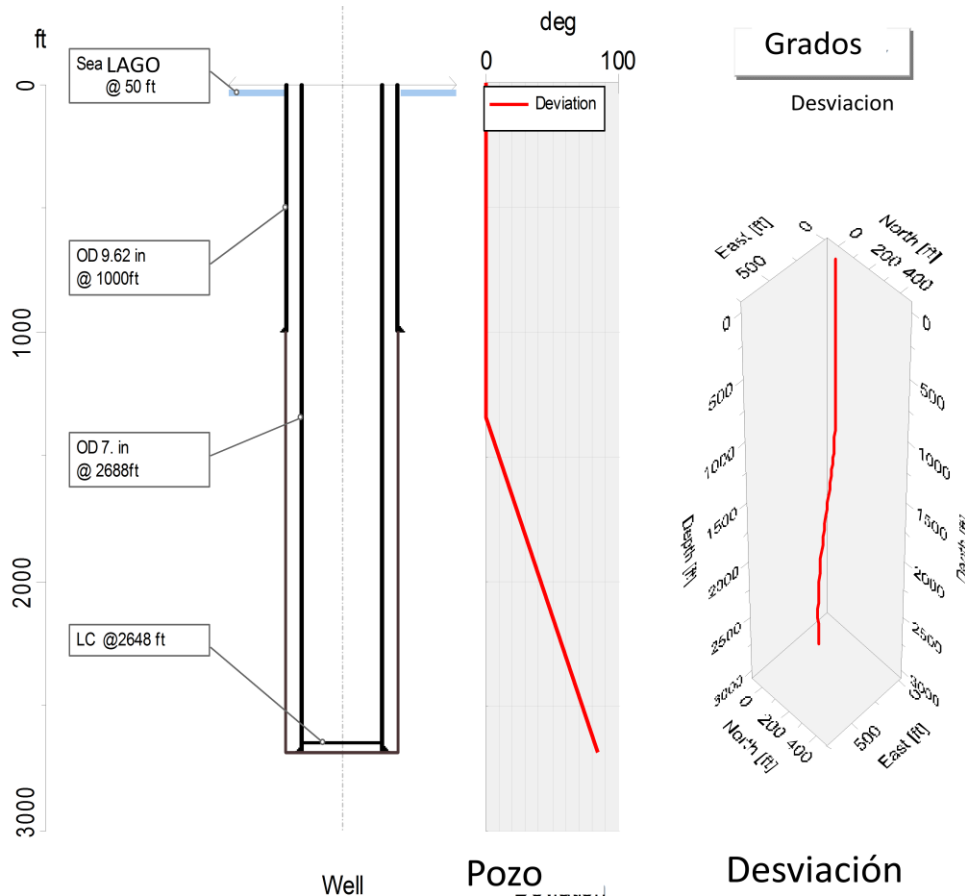


Figura 37 Diagrama general del pozo LL-G04. Revestidor de producción ^[28]

c) Diseño de los fluidos

En la tabla 21, se describen las principales características del lodo de perforación usado para el hoyo de producción (Revestidor 5 ½”) del Pozo LL-G04 que se tomarán como referencia para definir las propiedades necesarias de los preflujos y las lechadas.

Tabla 21 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo LL-G04 ^[28]

| | |
|----------------------------|---------------------------|
| Densidad | 9,4 ppg |
| Viscosidad Plástica | 20 Cp |
| Punto Cedente | 18 lbf/100ft ² |
| Tipo de Lodo | Viscoelástico |

Además, en la tabla 22, se describen los componentes y concentración de los preflujos utilizados para remover el revoque de lodo en el pozo.

Tabla 22 Preflujos para la cementación del revestidor 7” del Pozo LL-G04 ^[28]

| Descripción del lavador químico | | | |
|---|--------------------|----------------------|-----------------|
| Densidad: 8,6 ppg | | | |
| Volúmen: 60 bbl | | | |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| F103 | Surfactante | 0,5 gpb | 30 gal |
| Descripción del espaciador: Mudpush II | | | |
| Densidad:10,5 ppg | | | |
| Volúmen: 55 bbl | | | |
| 10”/10’ | Ff | Pc | |
| 10/12 | 23,58 | 20,23 | |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| D047 | Antiepsumante | 0,05 gpb | 3 gal |
| D020 | Extendedor | 4 lpb | 220 lb |
| D182 | Viscosificante | 4 lpb | 220 lb |
| F103 | Surfactante | 0.5 gpb | 28 gal |
| D151 | Densificante | 140,03 lpb | 7702 lb |

A continuación, en la tabla 23 y 24, se presentan los componentes y concentraciones de los aditivos sólidos y líquidos requeridos para la preparación de las lechadas y el resumen de resultados reológicos de laboratorio de la lechada retardada de 14,5 ppg y la lechada acelerada de 14,5ppg.

Tabla 23 Descripción de la lechada retardada del revestidor 7’’ del Pozo LL-G04 ^[28]

| Lechada Retardada, 14,5 ppg, Volúmen: 62 bbl | | | | |
|--|---------------------------|----------------------|---|--------------------|
| Rendimiento | 1,82 ft ³ /sxs | | Tipo de agua | Agua del lago |
| Requerimiento | 4,933 gal/sxs | | Origen | Lago |
| Fluido total | 6,666 gal/sxs | | Tiempo para alcanzar condiciones | 32min |
| Presión Inicial | 0 | | Muestra de cemento | Blend |
| Presión final | 2967 psi | BHST: 176°F | | BHCT: 121°F |
| Aditivo | Función | Concentración | Cantidad | Mezclado en |
| D909 | Cemento “H” | 100% BWOC | 18048 lb | Sólido |
| D066 | Sílica | 38% BWOC | 6859 lb | Sólido |
| D124 | Extendedor | 12% BWOC | 2166 lb | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,03 gps | 6 gal | Líquido |
| D167 | Cont. De filtrado | 0,15% BWOC | 28 lb | Líquido |
| D080 | Dispersante | 0,06 gps | 12 gal | Líquido |
| D500 | Cont. De gas | 1,5 gps | 288 gal | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,13 gps | 25 gal | Líquido |
| Propiedades reológicas | | 80°F | | 121°F |
| Viscosidad plástica (cP) | | 261,264 | | 231,503 |
| Punto cedente (lbf/100ft²) | | 14,51 | | 16,26 |
| Nota: La lechada tiene un premezclado de 135min. @90 °F. 32min. para alcanzar condiciones y 30min +/- 30seg. para su acondicionamiento según la Norma API RP 10B/ISO 10426-2, en su Sección 5.4.3. | | | | |

Tabla 24 Descripción de la lechada acelerada del revestidor 7’’ del Pozo LL-G04^[28]

| Lechada Acelerada | | | | |
|---|---------------------------|---|--------------------|--------------------|
| Densidad: | 14,5lpg | BHCT: 176°F | BHST: 121°F | |
| Rendimiento | 1,81 ft ³ /sxs | Tipo de agua | Agua del lago | |
| Requerimiento | 4,979gal/sxs | Origen | Lago | |
| Fluido total | 6,659 gal/sxs | Tiempo para alcanzar condiciones | 32min | |
| Presión Inicial | 0 | Muestra de cemento | Blend | |
| Presión final | 2977 psi | Volúmen | 38bbl | |
| Aditivo | Descripción | Diseño | Cantidad | Mezclado en |
| D909 | Cemento “H” | 100% BWOC | 11,092 lb | Sólido |
| D066 | Sílica | 38% BWOC | 4215 lb | Sólido |
| D124 | Extendedor | 12% BWOC | 1332 lb | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,03 gps | 4 gal | Líquido |
| D167 | Cont. De filtrado | 0,15% BWOC | 16,638 lb | Líquido |
| D080 | Dispersante | 0,06 gps | 8 gal | Líquido |
| D500 | Cont. De gas | 1,5 gps | 177 gal | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,08 gps | 10 gal | Líquido |
| Propiedades reológicas | 80°F | | 121°F | |
| Viscosidad plástica (cP) | 239,627 | | 225,739 | |
| Punto cedente (lbf/100ft²) | 14,51 | | 35,06 | |
| Nota: La lechada tiene un premezclado de 95 min. @90 °F. 32min. para alcanzar condiciones y 30min +/- 30seg. para su acondicionamiento según la Norma API RP 10B/ISO 10426-2, en su Sección 5.4.3 | | | | |

d) Programa de Bombeo

A continuación se describe la secuencia de bombeo de los fluidos, mostrando volúmenes, tiempos y caudales con los cuales el programa CEMENTIC calcula la potencia hidráulica requerida para lograr un desplazamiento completo de la lechada de cemento (ver tabla 25).

Tabla 25 Programa de la secuencia del bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 7” del Pozo LL-G04 ^[28]

| Fluido | Tasa (bbl/min) | Volúmen (bbl) | Tiempo (min) | Vol. Acum. (bbl). | Comentarios |
|----------------------------------|-------------------|------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Densificado de Lechada Retardada | - | - | 60,0 | - | |
| Densificado de Lechada Acelerada | - | - | 30,0 | - | |
| Lavador CW7* | 3,0 | 60,0 | 20,0 | 60,0 | |
| Espaciador MUDPUSH | 4,0 | 55,0 | 13,8 | 55,0 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Tapón de Diafragma |
| Lechada Retardada | 4,0 | 62,0 | 15,5 | 62,0 | |
| Lechada Acelerada | 4,0 | 38,0 | 9,5 | 38,0 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Tapón de Desplazamiento |
| Agua de Lago | 5,0 | 90,0 | 18,0 | 90,0 | |
| Agua de Lago | 3,0 | 8,0 | 2,7 | 98,0 | |
| Agua de Lago | 2,0 | 6,2 | 3,1 | 104,2 | |
| Total | | | 01:43 hr:mn | 319,2 bbl | |

Los HHP requeridos para la ejecución de esta operación fueron 104,3 HHP, por lo que si ocurre algún cambio en las condiciones de hoyo, fluido y/o cualquier otra deberán ser nuevamente simuladas con la finalidad de corroborar que la unidad de bombeo tenga los HHP requeridos para ejecutar la operación. En la figura 38, se muestra el comportamiento de la presión en superficie durante el bombeo de los fluidos.

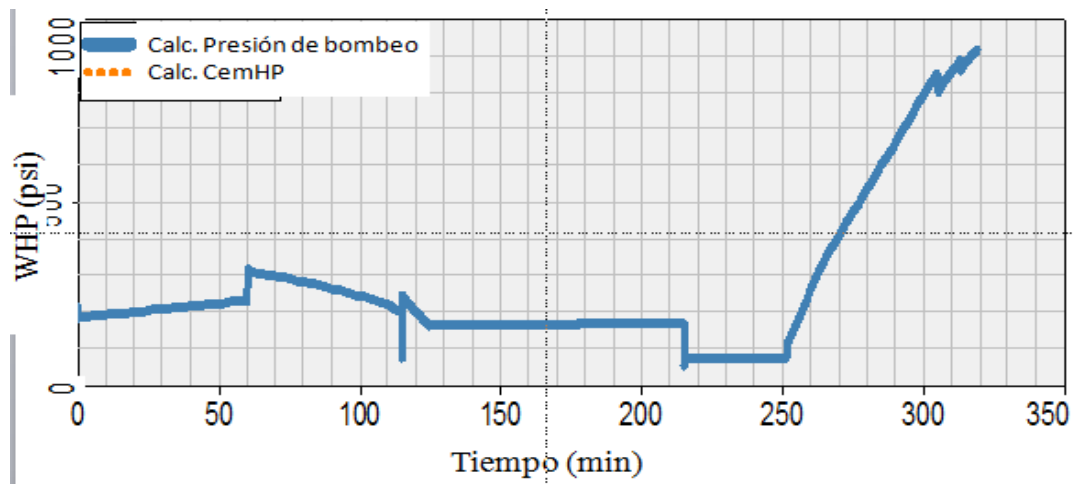


Figura 38 Perfil de presión de bombeo para la cementación del revestidor 7'' del Pozo LL-G04^[28]

5.1.3 Revestidor de producción 7'' a 3642ft del Pozo BA-G05 perforado en la Localización BA-UCV-03^[29]

- a) Consideraciones especiales de diseño: De acuerdo al análisis realizado a los pozos vecinos, los principales riesgos operacionales son los siguientes:
 - Producción de arenas por lo que se usan los empaques con grava para la completación.
 - Presencia normal de gas durante las perforaciones de hoyos superficiales.
- b) Información del pozo: En la figura 39, se muestra el esquema mecánico propuesto para la perforación del pozo BA-G05, donde se pueden observar la trayectoria trazada por los diferentes intervalos perforados y los revestidores usados en los mismos.

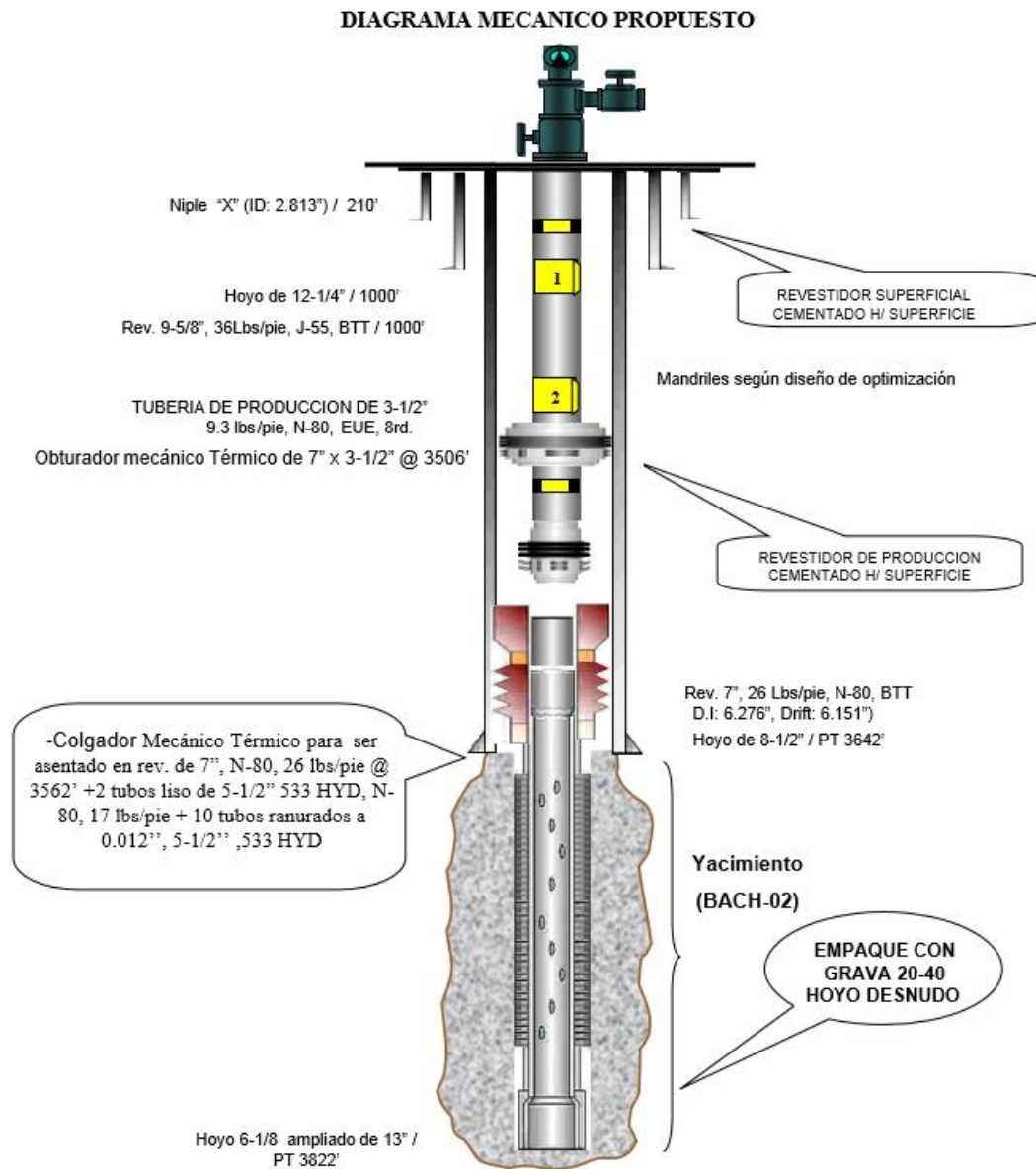


Figura 39 Diseño mecánico del pozo BA-G05^[29]

Para el diseño de la cementación del hoyo de producción se consideraron algunos parámetros como son dimensiones del hoyo, del revestidor, temperaturas de fondo del pozo, presiones de la formación, entre otros. Los valores de dichos parámetros se resumen a continuación en las tablas 26, 27, 28 y 29.

Tabla 26 Información General del Hoyo de producción del Pozo BA-G05 ^[29]

| Configuración | Revestidor | Etapa : Única | Tipo de pozo: Costa fuera fijo |
|--|--------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Etapa Previa | MD : 1025 ft | OD : 9 5/8 pulg | Peso : 43,5 lb/ft |
| Tubería | MD : 3715 ft | OD : 7 pulg | Peso : 26,0 lb/ft |
| Cuello Flotador MD | | 3635 ft | |
| Zapata de la Tubería MD | | 3715 ft | |
| MD TOTAL | | 3720 ft | |
| BHST (Temp. Estática de Fondo en la zapata) | | 132 °F | |
| BHCT (Temp. Circulante de Fondo en la zapata) | | 112 °F | |
| Diámetro de Mecha | | 8 1/2 pulg. | |
| Diámetro nominal del Agujero (OH) | | 10,309 pulg. | |
| Exceso en el anular | | 15 % | |
| Diámetro equivalente del Agujero (OH) | | 10,717 pulg. | |
| Volúmen Total del Agujero (OH) | | 300,2 bbl (incluyendo el exceso) | |
| Nivel del Mar (Superficie) | | 20 ft | |
| Profundidad del Lecho Marino | | 50 ft | |
| Topes de cemento (TOC) | | 0 ft | |
| Cantidad teórica de cemento a utilizar | | 310sxs | |

Tabla 27 Datos de formación atravesada por el hoyo de producción del pozo BA-G05 ^[29]

| MD (ft) | Frac. (psi/ft) | Pore (psi/ft) |
|------------|-------------------|------------------|
| 3720 | 0,650 | 0,308 |

Tabla 28 Datos de la etapa previa a al revestidor de producción del pozo BA-G05 ^[29].

| MD (ft) | OD (in) | Peso (lb/ft) | ID (in) |
|------------|------------|-----------------|------------|
| 1025 | 9 5/8 | 43,5 | 8,755 |

Tabla 29 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo BA-G05 ^[29]

| MD (ft) | OD (in) | Tramo (ft) | Peso (lb/ft) | ID (in) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) | Rosca |
|------------|------------|---------------|-----------------|------------|-------|------------------|--------------------|-------|
| 3715 | 7 | 40 | 26 | 6,276 | N-80 | 4870 | 6210 | IFJ |

En la Figura 40, se muestra la representación simulada de pozo BA-G05, donde se observan las profundidades de la zapata de los revestidores, tanto el de producción como el de la etapa previa, así mismo se muestra la desviación del pozo durante su perforación con respecto al eje vertical, estas características son importantes para definir la posición de los centralizadores y realizar los cálculos de volúmenes de fluidos a utilizar.

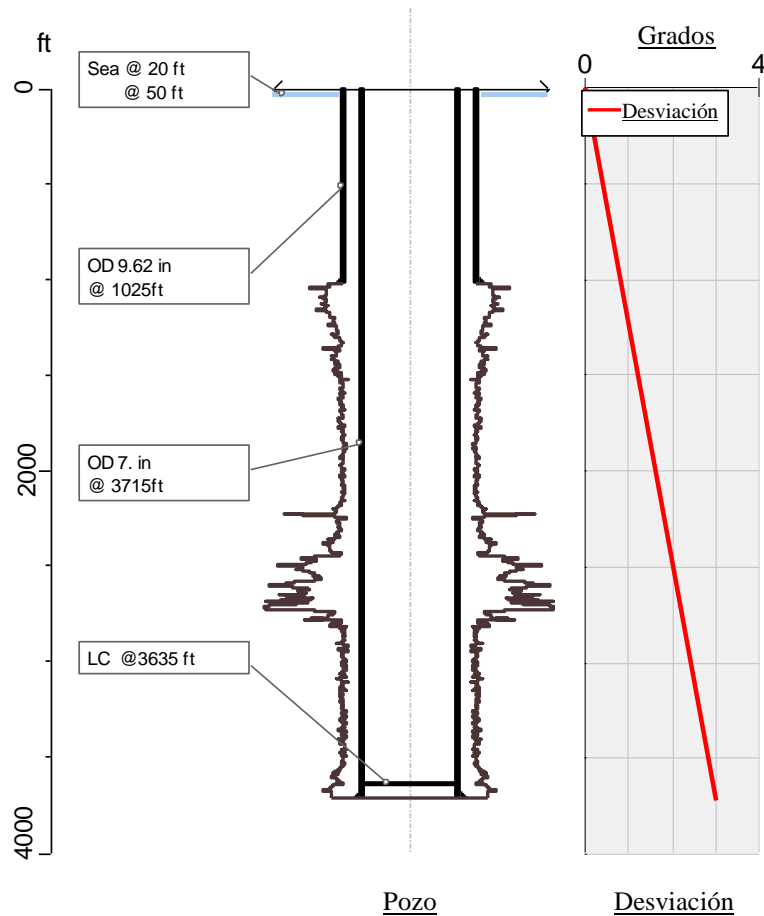


Figura 40 Diagrama general del pozo BA-G05. Revestidor de producción ^[29]

c) Diseño del fluido de perforación, preflujos y lechadas

En la tabla 30, se describen las principales características del lodo de perforación usado para el hoyo de producción del pozo BA-G05 que se tomarán como referencia para definir las propiedades necesarias de los preflujos y las lechadas.

Tabla 30 Datos de Condiciones del Lodo. Hoyo de producción del Pozo BA-G05 ^[29]

| | |
|----------------------------|-----------------------------|
| Densidad | 9,2 ppg |
| Viscosidad Plástica | 4,0 Cp |
| Punto Cedente | 11,0 lbf/100ft ² |
| Tipo de Lodo | Viscoelástico Relajado |

Además, en las tablas 31 y 32, se describen los componentes y concentración de los preflujos utilizados para remover el revoque de lodo en el pozo.

Tabla 31 Descripción del Lavador Químico. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ^[29]

| | | | |
|--------------------------|--------------------|----------------------|-----------------|
| Densidad: 8,6 ppg | | | |
| Volúmen: 60 bbl | | | |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | - | - |
| F105 | Surfactante | 0,5 gpb | 30 gal |

Tabla 32 Descripción del espaciador Mudpush II. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ^[29]

| | | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------|
| Densidad: 10,5 ppg | | Vp: 22,15 | Pc: 21,82 |
| Volúmen: 55 bbl | | | |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | 34,692 gpb | - |
| D047 | Antiespumante | 0,05 gpb | 3 gal |
| D020 | Extendedor | 4 lpb | 220 lb |
| D182 | Viscosificante | 4 lpb | 220 lb |
| F103 | Surfactante | 0,5 gpb | 28 gal |
| D151 | Agente de peso | 140,03 lpb | 7700 lb |

La propuesta contempla el uso de una lechada retardada y de una lechada acelerada de 14,5 ppg. Los componentes y concentraciones de los aditivos sólidos y líquidos requeridos para la preparación de las lechadas así como algunas de las características reológicas mas importantes se presentan a continuación en las tablas 33 y 34.

Tabla 33 Descripción de la lechada retardada. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ^[29]

| Lechada Retardada, 14,5 ppg | | | | |
|---|---|--|---|--------------------|
| Densidad: 14,5 | Rendimiento: 1,83 pie ³ /sxs | Requerimiento: 5,319 gal/sxs | Fluido total: 7,034 gal/sxs | |
| Pinicial: Opsí | Pfinal: 2700psi | Tipo de agua: Lago | Tiempos para alcanzar condiciones: 40min | |
| Volúmen: 120 bbl | | Muestra de cemento: BLEND | | |
| Aditivo | Descripción | Diseño | Cantidad | Mezclado en |
| D909 | Cemento "H" | 100% BWOC | 369 sk | Sólido |
| D066 | Sílica | 38% BWOC | 13181 lb | Sólido |
| D124 | Extendedor | 10% BWOC | 3469 lb | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,03 gps | 12 gal | Líquido |
| D206 | Cont. De filtrado | 0,3% BWOC | 105 lb | Líquido |
| D080 | Dispersante | 0,06 gps | 23 gal | Líquido |
| D500 | Cont. De gas | 1,5 gps | 554 gal | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,1 gps | 37 gal | Líquido |
| Propiedades reológicas | | Lectura del dial @ 80°F | Lectura del dial @ 112°F | |
| Viscosidad plástica (cp) | | 182,27 | 182,54 | |
| Punto cedente (Lbf/100ft²) | | 21,19 | 25,17 | |
| Nota: la lechada tiene un premezclado de 135min@90F para alcanzar condiciones y 30min +/- 30seg para su acondicionamiento según norma API RP 10B/ISO 10426-2 en su sección 5.4.3. | | | | |

Tabla 34 Descripción de la lechada acelerada. Revestidor 7" del Pozo BA-G05 ^[29]

| Lechada Acelerada | | | | |
|---|---|--|---|-------------|
| Densidad: 14,5ppg | Rendimiento: 1,83 pie ³ /sxs | Requerimiento: 5,353 gal/sxs | Fluido total: 7,028 gal/sxs | |
| Pinicial: 0psi | Pfinal: 2700psi | Tipo de agua: Lago | Tiempos para alcanzar condiciones: 40min | |
| Volúmen: 120 bbl | | Muestra de cemento: BLEND | | |
| Aditivo | Descripción | Diseño | Cantidad | Mezclado en |
| D909 | Cemento "H" | 100% BWOC | 246 sk | Sólido |
| D066 | Sílica | 38% BWOC | 8788 lb | Sólido |
| D124 | Extendedor | 10% BWOC | 2313 lb | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,03 gps | 8 gal | Líquido |
| D206 | Cont. De filtrado | 0,3% BWOC | 70 lb | Líquido |
| D080 | Dispersante | 0,06 gps | 15 gal | Líquido |
| D500 | Cont. De gas | 1,5 gps | 369 gal | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,06 gps | 15 gal | Líquido |
| Propiedades reológicas | Lectura del dial @ 80°F | Lectura del dial @ 112°F | | |
| Viscosidad plástica (cp) | 182,27 | 182,54 | | |
| Punto cedente (Lbf/100ft²) | 21,19 | 25,17 | | |
| Nota: la lechada tiene un premezclado de 135min@90F para alcanzar condiciones y 30min +/- 30seg para su acondicionamiento segun norma API RP 10B/ISO 10426-2 en su sección 5.4.3. | | | | |

d) Programa de Bombeo

A continuación se describe la secuencia de bombeo de los fluidos, mostrando volúmenes, tiempos y caudales con los cuales el programa CEMENTIC calcula la potencia hidráulica requerida para lograr un desplazamiento completo de la lechada de cemento (ver tabla 35).

Tabla 35 Programa de bombeo para la cementación del revestidor 7" del Pozo BA-G05 ^[29]

| Programa de Bombeo | | | | | |
|--------------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------------|-------------------------|
| Fluido | Tasa (bbl/min) | Volúmen (bbl) | Tiempo (min) | Vol. Acum. (bbl). | Comentarios |
| Lavador CW 7* | 5,0 | 60,0 | 12,0 | 60,0 | Lavador Químico |
| Espaciador MUDPUSH | 3,5 | 55,0 | 15,7 | 55,0 | Espaciador |
| Pausa | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Tapón de diafragma |
| Lechada retardada | 4,0 | 120,0 | 30,0 | 120,0 | |
| Lechada acelerada | 4,0 | 80,0 | 20,0 | 80,0 | |
| Pausa | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Tapón de desplazamiento |
| Agua de Lago | 5,0 | 100,0 | 20,0 | 100,0 | |
| Agua de Lago | 3,0 | 30,0 | 10,0 | 130,0 | |
| Agua de Lago | 2,0 | 10,6 | 5,3 | 140,6 | |
| | | Total | 02:13 hr:mn | 455,6bbl | |

Los HHP requeridos para la ejecución de esta operación fueron 130 HHP, por lo que cualquier cambio en las condiciones de hoyo, fluido entre otros se deberían tomar en cuando para ser nuevamente simuladas con la finalidad de corroborar que la unidad de bombeo tenga los HHP requeridos para ejecutar la operación. En la figura 41, se muestra el comportamiento de la presión en superficie durante el bombeo de los fluidos.

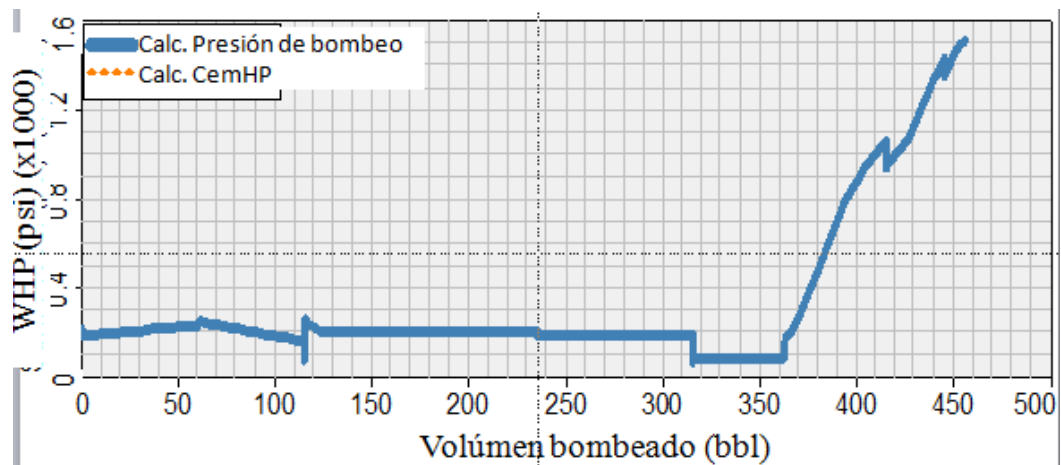


Figura 41 Perfil de Presión durante el Bombeo para cementación del revestidor 7" del Pozo BA-G05^[29]

5.4.1 Revestidor de producción de 5 ½" a 12480 ft del Pozo CL-G06 perforado en la Localización CL-UCV-04^[30]

a) Consideraciones especiales de diseño

Basado en la información obtenida de la perforación de los pozos vecinos a la localización CL-UCV-04 se realizó un análisis de los riesgos asociados a la perforación de los pozos en la localización. Entre los riesgos asociados se encuentran:

- Inestabilidad del hoyo (altos valores de torque, apoyo y arrastre).
- Dificultades de limpieza de hoyo (derrumbes de las paredes del hoyo) en caso de inadecuado caudal de bomba, baja reología y/o deficiente bombeo de píldoras.

b) Información del pozo

En la figura N°42 se muestra el esquema mecánico propuesto para la perforación del pozo LL-4047, donde se pueden observar la trayectoria trazada por los diferentes intervalos perforados y los revestidores usados en los mismos.

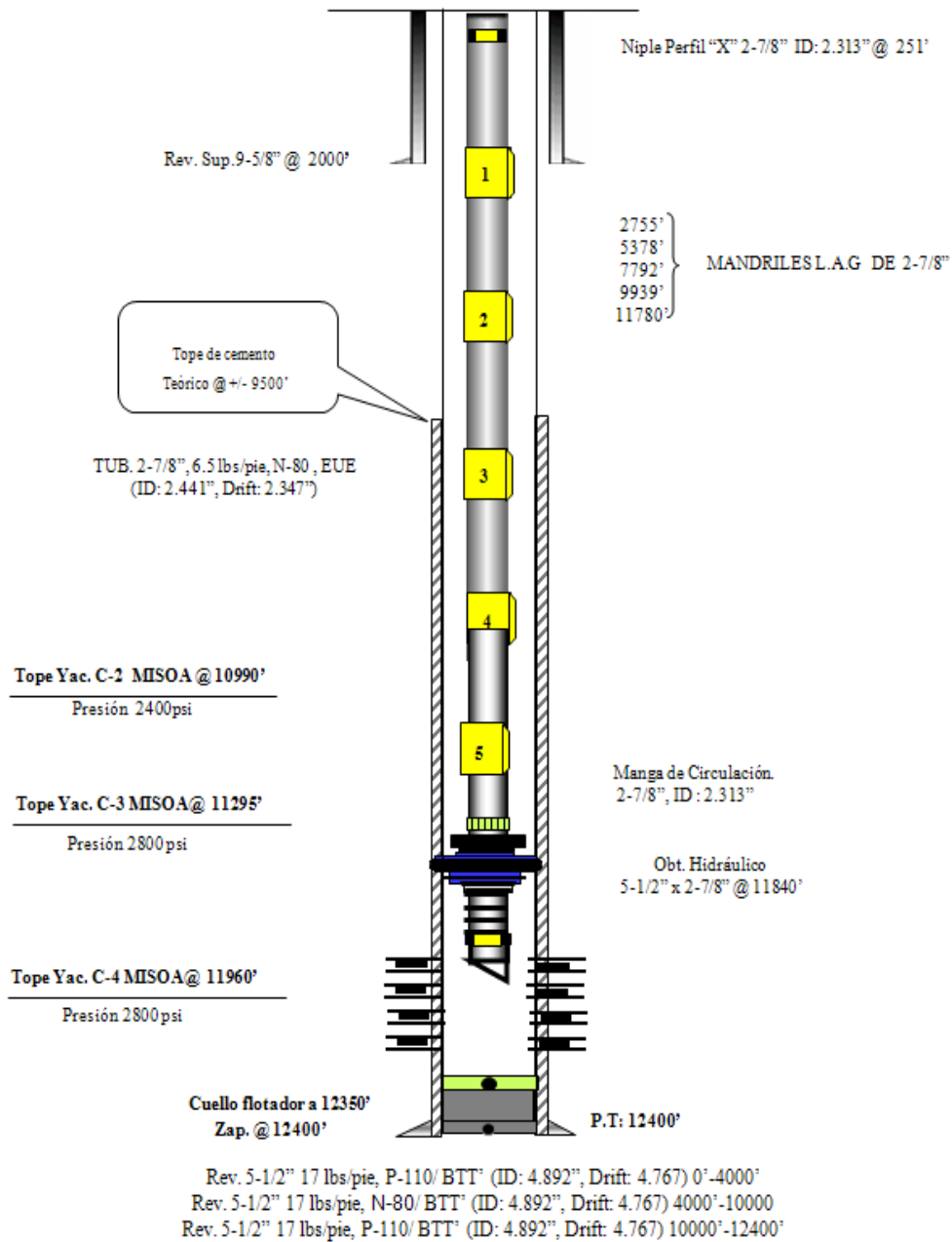


Figura 42 Diagrama mecánico propuesto Localización: CL-UCV-04^[30]

Para el diseño de la cementación del hoyo de producción se consideraron algunos parámetros como son dimensiones del hoyo, del revestidor, temperaturas de fondo del pozo, presiones de la formación, entre otros. Los valores de dichos parámetros se resumen a continuación en las tablas 36, 37, 38 y 39.

Tabla 36 Información General del Hoyo de producción del Pozo CL-G06 ^[30]

| Configuración | Revestidor | Etapa : Única | Tipo de pozo: Costa fuera fijo |
|---|---------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Etapa Previa | MD : 2000 ft | OD : 9 5/8 pulg | Peso : 36,0 lb/ft |
| Tubería | MD : 12480 ft | OD : 5 1/2 pulg | Peso : 17,0 lb/ft |
| Cople de Retención MD | | 12440 ft | |
| Zapata de la Tubería MD | | 12480 ft | |
| MD TOTAL | | 12480 ft | |
| BHST (Temp. Estática de Fondo en la zapata) | | 275 °F | |
| Diámetro de Barrena | | 8 2/5 pulg | |
| Diámetro nominal del Agujero (OH) | | 8,625 pulg | |
| Exceso en el anular | | 10 % | |
| Diámetro equivalente del Agujero (OH) | | 8,877 pulg | |
| Volúmen Total del Agujero (OH) | | 802,3 bbl (incluyendo el exceso) | |
| Nivel del Mar (Superficie) | | 40,0 ft | |
| Profundidad del Lecho Marino | | 70,0 Ft | |
| Cima Teórica del Cemento | | 9500 pies requerido por el Cliente | |
| Nota: Se ha considerado una desviación máxima de 2,9deg y un azimuth máximo de 358,1 deg. | | | |

Tabla 37 Datos de formación atravesada por el hoyo de producción del pozo CL-G06 ^[30]

| MD (ft) | Frac. (psi/ft) | Pore (psi/ft) |
|---------|----------------|---------------|
| 11491,0 | 0,710 | 0,109 |
| 11878,0 | 0,781 | 0,123 |
| 12014,0 | 0,772 | 0,164 |
| 12126,0 | 0,765 | 0,197 |
| 12165,0 | 0,762 | 0,198 |
| 12210,0 | 0,759 | 0,199 |
| 12279,0 | 0,755 | 0,204 |
| 12358,0 | 0,754 | 0,173 |
| 12480,0 | 0,754 | 0,173 |

Tabla 38 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo CL-G06 ^[30]

| MD (ft) | OD (pulg) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) |
|---------|-----------|--------------|-----------|
| 2000 | 9 5/8 | 36,0 | 8,921 |

Tabla 39 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo CL-G06^[30]

| MD (ft) | OD (pulg) | Tramo (ft) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) | Rosca |
|---------|-----------|------------|--------------|-----------|-------|---------------|-----------------|-------|
| 4000 | 5 ½ | 40 | 17 | 4,892 | P-110 | 7480 | 10640 | BTC |
| 10000 | 5 ½ | 40 | 17 | 4,892 | N-80 | 6290 | 7740 | BTC |
| 12480 | 5 ½ | 40 | 17 | 4,892 | P-110 | 7480 | 10640 | BTC |

En la figura 43, se muestra la representación simulada de pozo CL-G06, donde se observan las profundidades de la zapata de los revestidores, tanto el de producción como el de la etapa previa, así mismo se muestra la desviación del pozo durante su perforación con respecto al eje vertical, estas características son importantes para definir la posición de los centralizadores y realizar los cálculos de volúmenes de fluidos a utilizar.

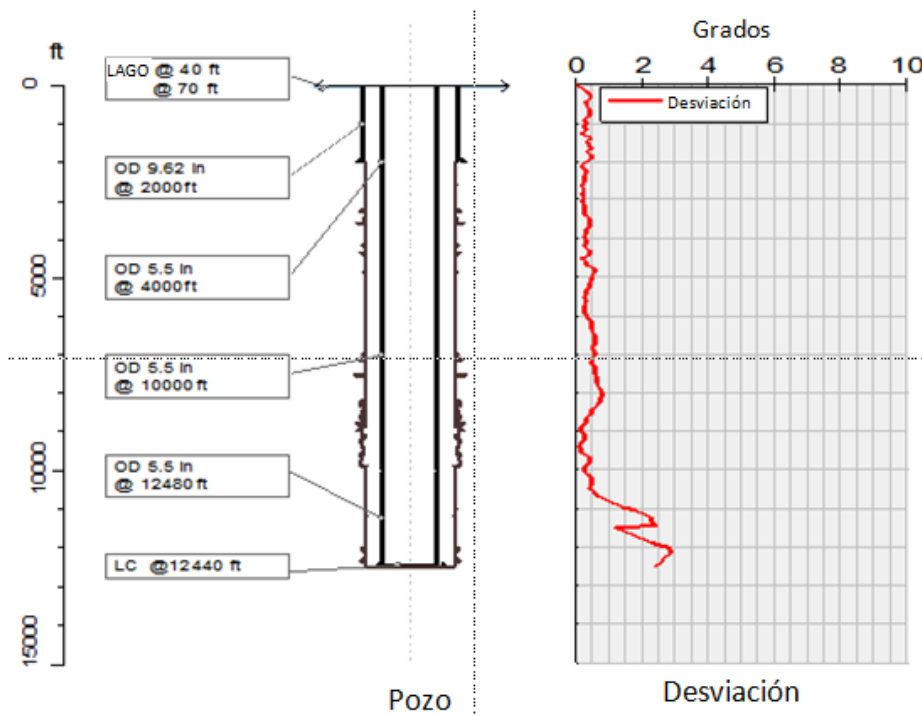


Figura 43 Diagrama general del pozo CL-G06. Revestidor de producción^[30].

c) Diseño de los fluidos:

En la tabla 40, se describen las principales características del lodo de perforación usado para el hoyo de producción (Revestidor 5 ½”) del Pozo CL-G06 que se

tomarán como referencia para definir las propiedades necesarias de los preflujos y las lechadas.

Tabla 40 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo CL-G06 @180°F^[30].

| Componente | Función | Densidad |
|------------|---------|----------|
| Lodo (OBM) | - | 10,30lpg |

Además, en las tablas 41 y 42, se describen los componentes y concentración de los preflujos utilizados para remover el revoque de lodo en el pozo.

Tabla 41 Lavador químico base aceite para cementación de Revestidor 5 ½’’ del Pozo CL-G06^[30]

| Volúmen: 70bbl - Flash Point: 102°F – Presión de vapor: 0.8psi. Densidad: Gasoil | | | |
|--|-----------------|---------------|----------|
| Componente | Función | Concentración | Cantidad |
| U051 | Gasoil | 33% | 24bbl |
| U052 | Kerosene | 35% | 25bbl |
| A026 | Xileno | 25% | 18bbl |
| U066 | Solvente mutual | 5% | 4bbl |
| D122A | Lavador Químico | 2% | 2bbl |

Tabla 42 Espaciador MudPush II para cementación de Revestidor 5 ½’’ del Pozo CL-G06^[30]

| Densidad: 11,5lpg | | Volúmen: 80bbbls | |
|-------------------|-----------------|------------------|-----------|
| Componente | Función | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | 29,3gpb | 2344gal |
| D206 | Antiespumante | 0,05 gpb | 4gal |
| D182 | Viscosificante | 3,00 lpb | 240lb |
| D020 | Extendedor | 3,00 lpb | 240lb |
| U066 | Solvente mutual | 1,00gpb | 80gal |
| D122A | Lavador químico | 2,00 gpb | 160gal |
| D151 | Densificante | 208,06 lpb | 16644.8lb |

A continuación, en la tabla 43, se presentan los componentes y concentraciones de los aditivos sólidos y líquidos requeridos para la preparación de la lechada y el resumen de resultados reológicos de laboratorio de la lechada antimigratoria, dúctil y expansiva de 16,2 lpg tomando como temperatura de circulación del fondo del pozo (BHCT) 180°F.

Tabla 43 Descripción de la lechada Antimigratoria, Dúctil y Expansiva densidad de 16.2 lpg para la cementación del Revestidor 5 ½” del Pozo CL-G06 ^[30].

| | | | |
|--|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Densidad: 16,2lpg | Volúmen: 141,1 | | - |
| Rendimiento | 1,49 ft ³ /sxs | Tipo de agua | Agua del lago |
| Requerimiento | 3,162 gal/sxs | Origen | Lago |
| Fluido total | 5,985 gal/sxs | Tiempo para BHCT y BHP | 60min |
| Presión Inicial | 50 | Muestra de cemento | Blend |
| Presión final | 7200 psi | BHST: 275°F | BHCT: 210°F |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| D909 | Cemento H | 100% BWOC | 95sxs=8901,6lb |
| D066 | Silica | 30% BWOC | 2670,48lb |
| D178 | Microsílica | 5% BWOC | 435,08lb |
| D176 | Expansivo | 3% BWOC | 267,048lb |
| D208 | Anti-Espumante | 0,05 gps | 4,75gal |
| D079 | Extendedor | 0,5 % BWOC | 435,08lb |
| D207 | Controlador De filtrado | 0,3 % BWOC | 267,048lb |
| D080 | Dispersante | 0,15 gps | 14,25gal |
| D110 | Retardador | 0,025 gps | 2,375gal |
| D135 | Estabilizador | 0,05 gps | 4,75gal |
| D600G | Controlador de gas | 2,5 gps | 237,5gal |
| Propiedades reológicas | Lectura del dial @ 80°F | Lectura del dial @ 180°F | |
| Viscosidad plástica (cP) | 243,43 | 221,9 | |
| Punto cedente (lbf/100ft²) | 55,77 | 48,55 | |
| Nota: la lechada tiene un premezclado de 90min@110°F. | | | |

d) Programa de bombeo:

A continuación se describe la secuencia de bombeo de los fluidos, mostrando volúmenes, tiempos y caudales con los cuales el programa CEMENTIC calcula la

potencia hidráulica requerida para lograr un desplazamiento completo de la lechada de cemento (ver tabla 44).

Tabla 44 Programa de la secuencia del bombeo al hoyo de producción del Pozo CL-G06 ^[30]

| Fluido | Tasa (bbl/min) | Volúmen (bbl) | Tiempo (min) | Vol. Acum. (bbl). | Reología |
|-----------------------------|----------------|---------------|--------------|-------------------|---|
| Pause | 0,0 | 0,0 | 5,0 | 0,0 | |
| Lavador químico base aceite | 5,0 | 70,0 | 14,0 | 70,0 | Visc:1,00 cP |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 5,0 | 0,0 | |
| Espaciador MUDPUSH II | 5,0 | 70,0 | 14,0 | 70,0 | Pv: 34,997 cP Ty: 32,34 lbf/100ft ² |
| Lechada Ant, Exp, Duct | 5,0 | 141,1 | 28,2 | 141,1 | Pv: 221,90 cP Ty:48,55 lbf/100ft ² |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | |
| Espaciador MUDPUSH II | 5,0 | 10,0 | 2,0 | 10,0 | Pv: 34,997 cP Ty: 32,34 lbf/100ft ² |
| Lodo base aceite | 8,0 | 200,0 | 25,0 | 200,0 | Pv:29,52 cP Ty:16,39 lbf/100ft ² |
| Lodo base aceite | 6,0 | 60,0 | 10,0 | 260,0 | |
| Lodo base aceite | 2,0 | 19,2 | 9,6 | 279,2 | |

Los HHP requeridos para la ejecución de esta operación fueron de 201,2 HHP, cualquier cambio en las condiciones de hoyo, fluido y/o cualquier otro deben ser considerados y simulado con la finalidad de corroborar que la unidad de bombeo tenga los HHP requeridos para ejecutar la operación. En la figura 44, se muestra el comportamiento de la presión en superficie durante el bombeo de los fluidos.

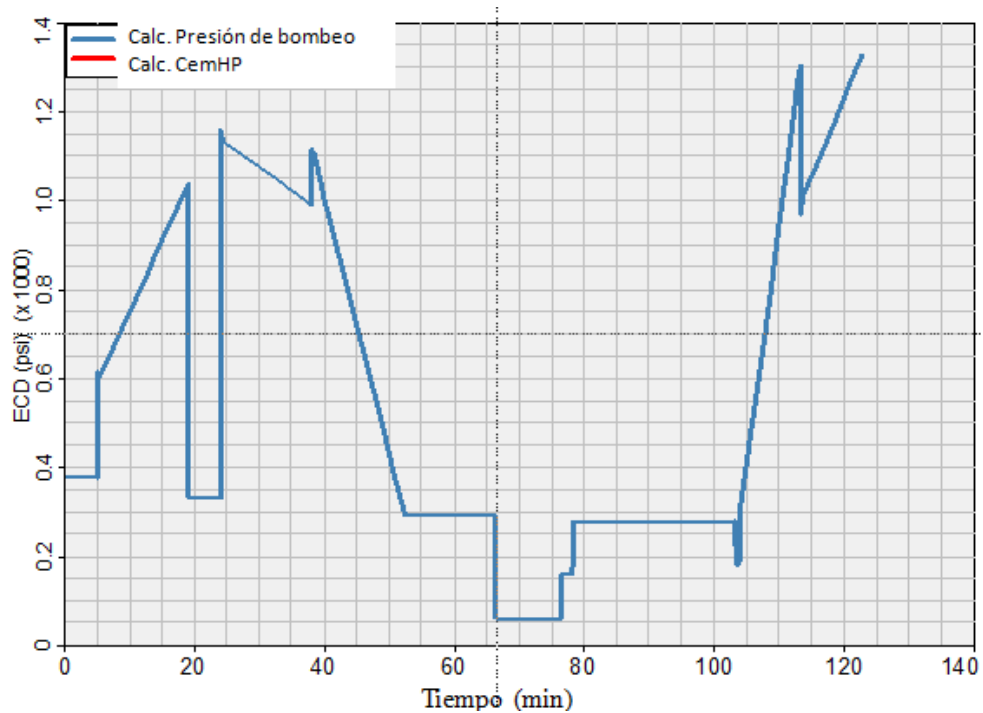


Figura 44 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del revestidor 5 1/2" del Pozo CL-G06^[30]

5.1.5 Liner de producción de 5" a 10315ft del Pozo UD-G07 perforado en la localización UD-UCV-05^[31]

- a) Consideraciones especiales del diseño: De acuerdo con la información aportada por los pozos vecinos, los principales riesgos asociados a la construcción del pozo fueron:
- Pérdida de circulación.
 - Pegas, arrastres y estabilidad del hoyo
 - Presencia de gas
 - Presencia de agua.
- b) Información del pozo

En la figura 45, se muestra el esquema mecánico propuesto para la perforación del pozo UD-G07, donde se pueden observar la trayectoria trazada por los diferentes intervalos perforados y los revestidores usados en los mismos.

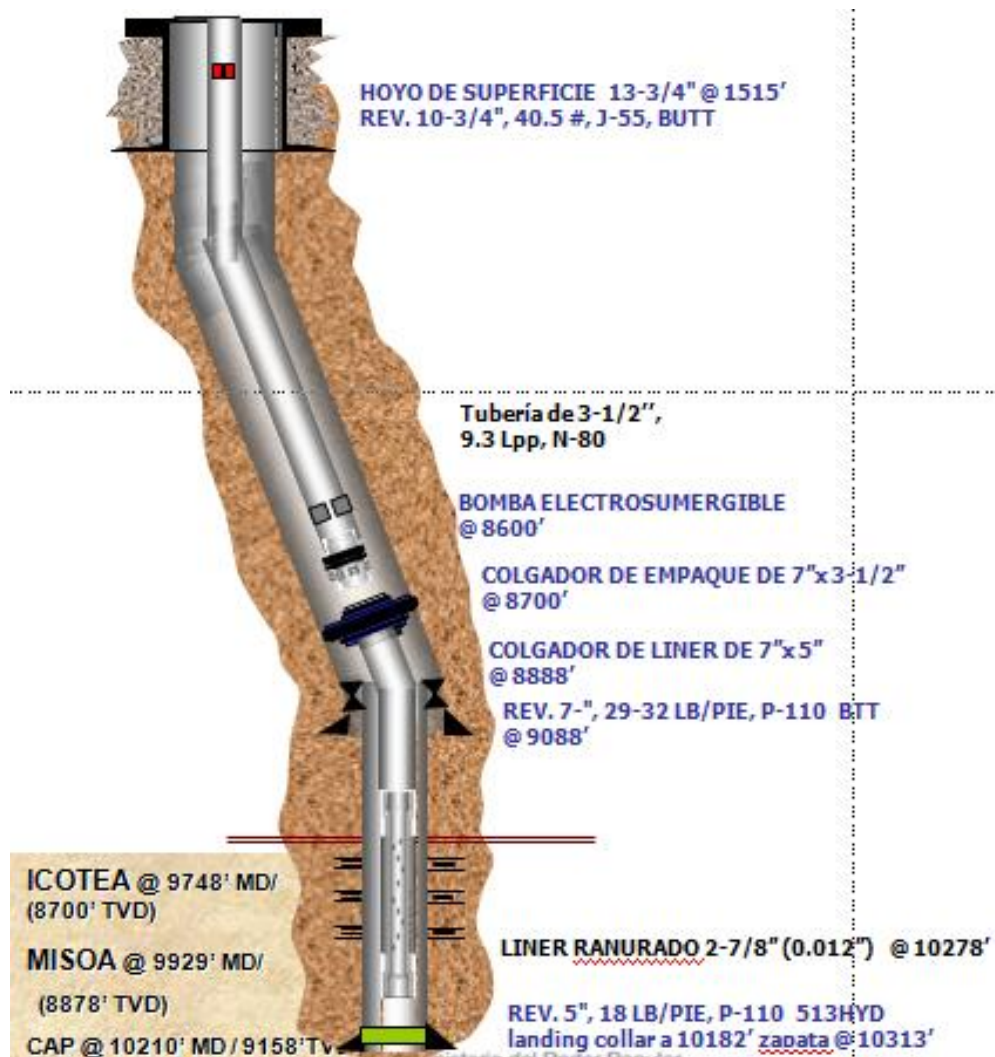


Figura 45 Diagrama mecánico propuesto para la Localización UD-UCV-05^[31]

Para el diseño de la cementación del *liner* de producción se consideraron algunos parámetros como son dimensiones del hoyo, del revestidor previo, temperaturas de fondo del pozo, presiones de la formación, entre otros. Los valores de dichos parámetros se resumen a continuación en las tablas 45, 46, 47, 48 y 49.

Tabla 45 Información General del Hoyo de producción del pozo UD-G07 ^[31]

| Configuración | Liner | Etapa : Única | Tipo de pozo: Costa fuera fijo |
|--|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Etapa Previa | MD : 9088.0 ft | OD : 7 pulg | Peso : 23.0 lb/ft |
| Tubería | MD : 10315.0 ft | OD : 5 pulg | Peso : 18.0 lb/ft |
| Landing Collar MD | | 10186.0 ft | |
| Zapata de la Tubería MD | | 10315.0 ft | |
| MD TOTAL | | 10330.0 ft | |
| BHST (Temp. Estática de Fondo en la zapata) | | 185 °F | |
| Diámetro de Barrena | | 9 7/8 pulg | |
| Diámetro nominal del Agujero (OH) | | 9.875 pulg | |
| Exceso en el anular | | 10.0 % | |
| Diámetro equivalente del Agujero (OH) | | 10.648 pulg | |
| Volúmen Total del Agujero (OH) | | 135.1 bbl (incluyendo el exceso) | |
| Nivel del Mar (Superficie) | | 44.0 ft | |
| Profundidad del Lecho Marino | | 80.0 ft | |

Tabla 46 Datos de formación atravesada por el hoyo de producción del Pozo UD-G07 ^[31]

| MD (ft) | Frac. (psi/ft) | Poro (psi/ft) |
|------------|-------------------|------------------|
| 10325 | 0,690 | 0,389 |

Tabla 47 Datos de la etapa previa al revestidor de producción del pozo UD-G07 ^[31]

| MD (ft) | OD (pulg) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) |
|------------|--------------|-----------------|--------------|
| 9088 | 7 | 23 | 6,366 |

Tabla 48 Características de la tubería de perforación usada en el hoyo de producción del Pozo UD-G07^[31].

| MD (ft) | OD (pulg) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) |
|------------|--------------|-----------------|--------------|-------|------------------|--------------------|
| 8888 | 3 ½ | 15,5 | 2,602 | S-135 | 30180 | 30310 |

Tabla 49 Datos de la tubería de revestimiento de producción del pozo UD-G07 ^[31]

| MD (ft) | OD (pulg) | Tramo (ft) | Peso (lb/ft) | ID (pulg) | Grado | Colapso (psi) | Explosión (psi) | Rosca |
|------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|-------|------------------|--------------------|-------|
| 10310 | 5 | 40 | 18 | 4,276 | M-65 | 8730 | 8060 | BTC |

En la figura 46, se muestra la representación simulada de pozo UD-G07, donde se observan las profundidades de la zapata de los revestidores de las etapas previas al *liner* de producción, así mismo se muestra la desviación del pozo durante su perforación con respecto al eje vertical, estas características son importantes para definir la posición de los centralizadores y realizar los cálculos de volúmenes de fluidos a utilizar.

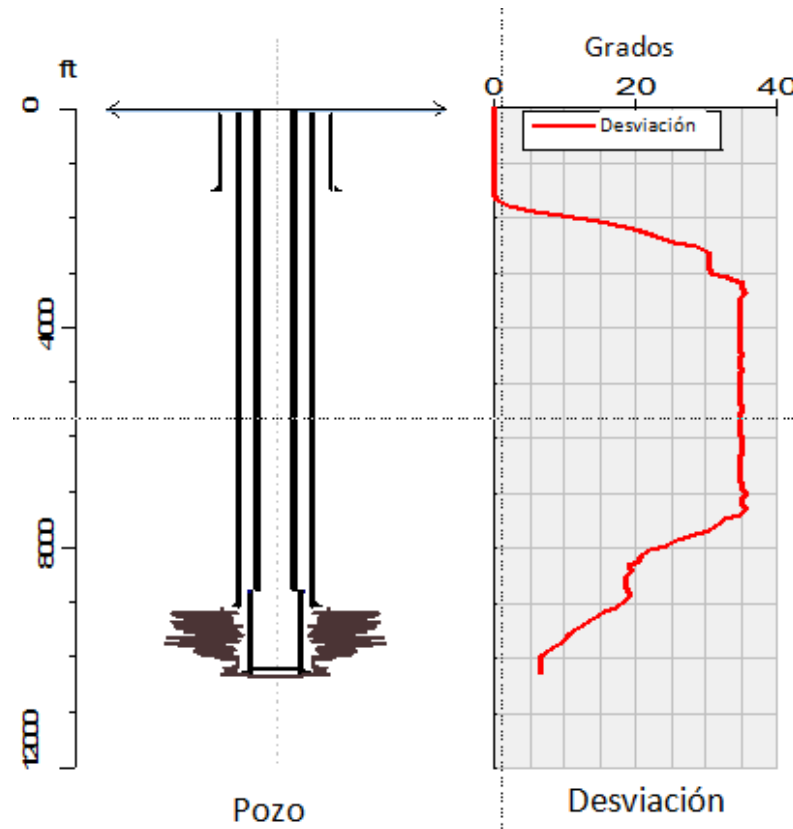


Figura 46 Diagrama general del pozo UD-G07. *Liner* de producción ^[31]

c) Diseño de los fluidos

En la Tabla 50, se describen las principales características del lodo de perforación usado para el hoyo de producción (*Liner 5''*) del Pozo UD-G07 que se tomaran como referencia para definir las propiedades necesarias de los preflujos y las lechadas.

Tabla 50 Datos de Condiciones del Lodo de perforación del hoyo de producción del Pozo UD-G07^[31]

| | |
|--|------|
| Densidad del Lodo, ppg | 10,5 |
| Vis. Plástica, cP | 7,5 |
| Pto. Cedente, lb/100 pies² | 18,5 |
| Tipo de lodo | WBM |

Se propuso bombear un bache de Lavador Químico a base de agua con las siguientes características mostradas la tabla 51.

Tabla 51 Descripción de Lavador químico para cementación del *Liner 5''* del Pozo UD-G07^[31]

| Densidad: 8.4 lpg, Volúmen: 100 bbl | | | |
|--|--------------------|----------------------------|-----------------|
| Aditivo | Descripción | Concentración (v/v) | Cantidad |
| Agua | - | - | 94 bbl |
| D122A | Lavador Químico | 0,5 gpb | 50 gal |
| L400 | Ácido Acético | 5 % v/v | 5 bbls |

Seguido del lavador se bombea un bache de espaciador a una densidad de 11,5 lpg. En la tabla 52, se describen las principales propiedades y composición del espaciador.

Tabla 52 Descripción de Espaciador MudPush II para cementación de *Liner 5''* del Pozo UD-G07^[31]

| Densidad: 11,5 lpg | | V_p@146°F: 40,897cp | P_c@146°F: 27,88 lbf/100ft² |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------------|---|
| Volúmen: 60 bbl | | | |
| Aditivo | Descripción | Concentración | Cantidad |
| Agua | - | 31,702gpb | 1902,12gal |
| D047 | Antiespumante | 0,05 gpb | 2,5 gal |
| D182 | Viscosificante | 4,0 lpb | 240 lbs |
| D020 | Extendedor | 4,0 lpb | 240 lbs |
| D122A | Lavador Químico | 0,5 gpb | 30 gal |
| D151 | Densificante | 206,02 lpb | 12361,2 lbs |

La propuesta contempla el uso de una lechada única antimigratoria e impermeable a una densidad de 15,6 lpg cuyas características de composición y reología se muestran en la tabla 53.

Tabla 53 Descripción de la lechada Antimigratoria para la cementación del *Liner 5* '' del Pozo UD-G07 ^[31]

| Lechada Única Antimigratoria | | | | |
|--|-------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------|
| Densidad: 15,6lpg | | BHST: 185°F | | BHCT: 146°F |
| Volúmen: 120 Bbl | | Rendimiento: 1,63 Pie ³ /sxs | Requerimiento: 5,422 gal/sxs | Fluido total: 3,472 gal/sxs |
| Pinicial: 20psi | | Pfinal: 3552 psi | Tipo de agua: Lago | Origen: MAE-44 |
| Aditivo | Descripción | Diseño | Cantidad | Mezclado en |
| D909 | Cemento H | 100%BWOC | 74sxs=6920,25lb | Sólido |
| D196 | Extendedor | BLEND | - | Sólido |
| D166 | Antiespumante | BLEND | - | Sólido |
| D154 | Viscosificante | BLEND | - | Sólido |
| D047 | Antiespumante | 0,05 gps | 21 gal | Líquido |
| D080 | Dispersante | 0,15 gps | 62 gal | Líquido |
| D168 | Controlador de Filtrado | 0,1 gps | 42 gal | Líquido |
| D500 | Controlador de Gas | 1,5 gps | 621 gal | Líquido |
| D177 | Retardador | 0,15 gps | 62 gal | Líquido |
| Propiedades reológicas | | Lectura del dial @ 80°F | | Lectura del dial @ 146°F |
| Viscosidad plástica (cp) | | 395,646 | | 322,577 |
| Punto cedente (lbf/100ft²) | | 42,02 | | 40,64 |
| Nota: la lechada tiene un premezclado de 60min@110°F. | | | | |

d) Programa de Bombeo

A continuación se describe la secuencia de bombeo de los fluidos, mostrando volúmenes, tiempos y caudales con los cuales el programa CEMENTIC calcula la potencia hidráulica requerida para lograr un desplazamiento completo de la lechada de cemento (ver tabla 54).

Tabla 54 Programa de la secuencia del bombeo al hoyo de producción del Pozo UD-G07 ^[31]

| Programa de Bombeo | | | | | |
|-----------------------|----------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Fluido | Tasa (bbl/min) | Volúmen (bbl) | Tiempo (min) | Vol. Acum. (bbl). | Comentarios |
| Lavador químico | 4,0 | 100,0 | 25,0 | 100 | |
| Espaciador MUDPUSH II | 4,0 | 50,0 | 12,5 | 50 | |
| Lechada única | 5,0 | 110,0 | 22,0 | 98 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 10,0 | 0,0 | Liberando dardo |
| Espaciador MUDPUSH | 4,0 | 5,0 | 1,25 | 5,0 | |
| Agua del lago | 2,0 | 18,0 | 9,0 | 23,0 | |
| Espaciador MUDPUSH | 4,0 | 5,0 | 1,25 | 28 | |
| Agua del lago | 5,0 | 20,0 | 7,0 | 63 | |
| Agua del lago | 2,0 | 10,0 | 6,75 | 76,5 | |
| Pause | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | Rompiendo pines |
| Agua del lago | 5,0 | 15,0 | 3,0 | 96,5 | |
| Agua del lago | 2,0 | 9,5 | 5,0 | 102,0 | |
| | | Total | 01:35 hr:mn | 352,2 bbl | |

Los HHP requeridos para la ejecución de esta operación son 267,2 HHP, por lo que cualquier cambio en las condiciones de hoyo, fluido y/o cualquier otra actualmente considerada en esta propuesta deberán ser nuevamente simuladas con la finalidad de corroborar que la unidad de bombeo tenga los HHP requeridos para ejecutar la operación. En la figura 47, se muestra el comportamiento de la presión en superficie durante el bombeo de los fluidos.

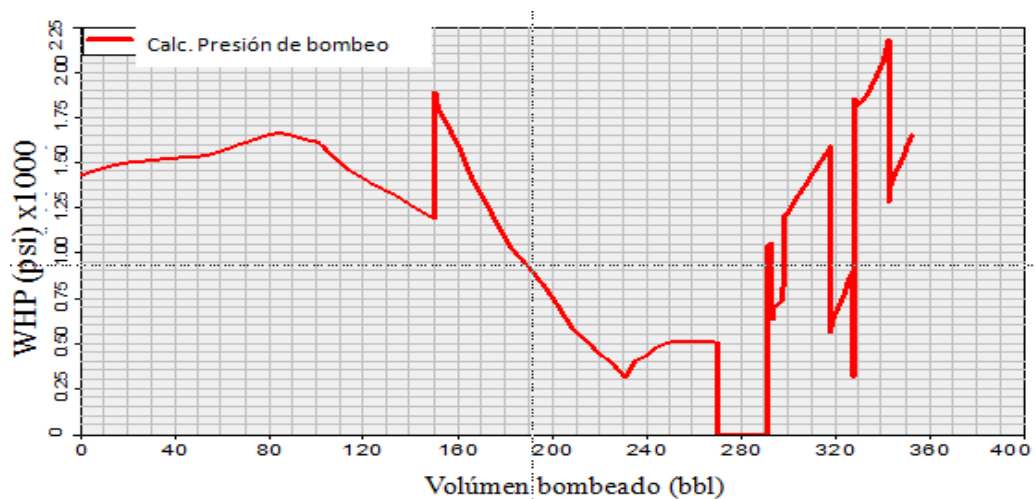


Figura 47 Perfil de presión durante el bombeo de fluidos para la cementación del Liner 5" del Pozo UD-G07 ^[31]

5.2 Selección de los equipos para almacenamiento de materiales, mezcla y bombeo de fluidos

La siguiente tabla 55, muestra el resumen de los parámetros de diseño más críticos manejados en los cinco (5) trabajos de cementación estudiados. Estos parámetros son:

- a) Volúmenes de preflujos (lavador y espaciador)
- b) Volumen de lechadas
- c) Libras de cemento seco o mezcla de cemento y aditivos secos
- d) Barriles de agua de mezcla requerida para el mezclado continuo o al vuelo
- e) Los caballos de fuerza hidráulicos (HHP) requeridos para bombear a la profundidad deseada la lechada y posicionarla tal como se diseño en el programa de bombeo.

Esta comparación se realiza con el propósito de justificar la selección de los siguientes equipos:

- a) Bomba de cementación CPS-361 con dos bombas triplex de 325 BHHP cada una.
- b) Número de tanques de presión o silos necesarios para almacenar el cemento neto o mezcla de cemento con aditivos secos, además del material densificante (carbonato) requerido en la preparación del espaciador
- c) Números de RMX o tanques de mezcla por lotes si la operación fue un premezclado.
- d) Número de tanques de recirculación para premezclar agua de mezcla usada en mezclado continuo.
- e) Números de tanques de recirculación para preparar los lavadores químicos y espaciadores (preflujos).

Tabla 55 Cuadro comparativo de trabajos de cementación tomados en análisis para la selección de equipos de almacenamiento y mezcla de cemento, agua de mezcla y preflujos

| Nº | Tipo de trabajo | Vol. de lavador | Vol. de espaciador | Vol. de lechada | HHP | Nº silos de 800ft ³ | Capacidades mínimas de tanques de mezcla por fluido | Nº de RMX | Mezcla continua |
|----|--|--------------------|--------------------|---|-------|--|---|-----------|-----------------------|
| 1 | Revestidor Intermedio 7” Pozo TJ-G03 Prof.: 3565ft | 20bbl (8,35lpg) | 50bbl (10,5lpg) | 50bbl (14,5lpg) | 48,4 | 1-Carbonato 1-Mezcla de cemento Total= 2 | Lavador=50bbl Espaciador=100bbl | 1 | No |
| 2 | Revestidor de Producción 7” Pozo LL-G04 Prof.: 2688ft | 20bbl (8,6lpg) | 55bbl (10,5lpg) | Lechada retardada: 62bbl Lechada acelerada: 38bbl (14,5lpg) | 104,3 | 1-Carbonato 1-Mezcla de cemento ret. 1-Mezcla de cemento ace. Total=3 | Lavador=100bbl Espaciador=100bbl | 2 | No |
| 3 | Revestidor de Producción 7” Pozo BA-G05 Prof.: 3642ft | 60bbl (8,6lpg) | 55bbl (10,5lpg) | Lechada retardada: 120bbl Lechada acelerada: 120bbl (14,5lpg) | 130 | 1-Carbonato 1-Mezcla de cemento ret. 1-Mezcla de cemento ace. Total=3 | Lavador=100bbl Espaciador=100bbl Agua mezcla lechada ret. (40bbl) = 50bbl | 2 | 70bbl de lechada ret. |
| 4 | Revestidor de Producción 5 1/2” Pozo CL-G06 Prof.: 12480ft | 70bbl (diesel) | 80bbl (11,5lpg) | 141.1bbl (16,2lpg) | 201.2 | 1-Carbonato 1-Mezcla de cemento Total: 2 | Lavador= 100bbl Espaciador=100bbl | 2 | No |
| 5 | Liner de Producción 5” Pozo UD-G07 Prof.: 10315ft | 100bbl (8,4lpg) | 60bbl (11,5lpg) | 120bbl (15,6lpg) | 267.2 | 1-Carbonato 1-Mezcla de cemento Total: 2 | Lavador=100bbl Espaciador=100bbl Agua de mezcla= 50bbl | 2 | No |

Como se puede observar, las capacidades mínimas de los tanques de mezcla señaladas exceden los volúmenes de lavadores y espaciadores. Schlumberger usa capacidades estándares para todos sus tanques de mezcla, las cuales varían entre 200 bbls-100 bbls-50 bbls, y para los tanques de almacenamiento de materiales a granel varían entre 800 ft³-1000 ft³ hasta 8000ft³. Por lo tanto, de acuerdo al volumen real de fluidos, se escogen los tanques más adecuados. La idea es seleccionar tanques con mayor capacidad que la requerida, pero tan pequeños como sean posibles para hacer un mejor uso del espacio disponible en la gabarra y reducir costos asociados.

Las unidades de mezcla por lotes o RMX se usan para mezclar principalmente lechadas, aunque también se pueden mezclar espaciadores. Cuando se disponen solo para preparar lechadas se presentan varios casos:

- a) En el caso N°1, el trabajo solo requirió la preparación de una (1) lechada premezclada con un volúmen menor o igual a 100 bbls. En este caso solo se requiere una (1) unidad RMX modelo CBS-955 equipada con dos compartimientos de 50bbls cada uno, en este caso el ingeniero decide por logística del trabajo y comodidad usar los dos compartimientos repartiendo volúmenes iguales de lechada en cada uno.
- b) En el caso N°2, el trabajo requirió la preparación de dos (2) lechadas cada una con un volúmen menos o igual a 100bbls (Caso N°2). En este caso se requieren dos (2) unidades RMX modelo CBS-955, utilizando una unidad por lechada.
- c) En el caso N°3, el trabajo requirió la preparación de dos (2) lechadas con un volúmen mayor a 100 bbls cada una. En este caso la operación es más compleja, ya que se requieren dos unidades RMX modelo CBS-955, teniendo disponibles solo 200 bbls. El volúmen restante de lechada se debe preparar continuamente por medio del sistema de mezcla Slurry Chief.
- d) En el caso N°4 y 5, el trabajo requirió la preparación de una (1) lechada con un volúmen mayor a 100 bbls pero menor a 200 bbls. En este caso dos (2) unidades RMX modelo CBS-955 son necesarias, teniendo disponibles 200bbls de capacidad en total para mezclar esa lechada única.

De acuerdo a las libras de cemento seco y aditivos secos utilizados para la preparación de las lechadas y los espaciadores en los casos estudiados, silos con una capacidad de 800ft³ son adecuados para las cantidades manejadas. En cuanto al número de silos, se puede observar que se debe disponer de un silo que almacene el densificante utilizado por el espaciador (normalmente carbonato o barita), además por cada sistema de lechada se requiere otro silo. No se debe unir la mezcla seca (cemento + aditivos secos) de un sistema de lechada con la mezcla seca de otro sistema de lechada aunque el silo tenga la capacidad para almacenar mayores volúmenes de cemento. Además, por requerimientos de la empresa se desea una gabarra de cementación con capacidad de equipos para realizar dos trabajos seguidos, por lo tanto se debe duplicar la cantidad de silos determinada.

A continuación se muestran las conclusiones del análisis comparativo realizado (ver tabla 56).

Tabla 56 Requerimientos de unidades de mezcla y bombeo estimado por número de trabajos

| Equipos | Nº de trabajo = Caso más crítico | Requerimiento mínimo de equipos para 1 trabajo | Requerimiento mínimo de equipos para 2 trabajos |
|-----------------------------|--|---|--|
| Silos 800ft ³ | 3 | 3 | 3*2 = 6 |
| RMX | 3 | 2 | 2 |
| Tanques de recirculación | 3 | 2 de 100bbls 1 de 50bbls | 2 de 100bbls 1 de 50bbls |
| HHP | 5 | 267,2*1.8=480,96≈500 | 500HHP |

Como se puede observar se requieren como mínimo 6 silos para zarpar preparados para realizar dos trabajos, sin embargo para contar con silos de reemplazo en caso de que alguno de esos 6 requiera mantenimiento o quede fuera de servicio se propone la adquisición de 8 silos de 800ft³ en total.

Se requiere como mínimo unidades de mezcla por lotes para mezclar 200bbls de lechadas premezcladas, es decir dos unidades CBS-955 como la mostrada en la figura 17, (para más información técnica de la unidad véase Apéndice-VIII). Es importante destacar que en la mayoría de los casos es preferible una lechada premezclada a menos que el cliente exija lo contrario al no tratarse de una zona crítica, sin embargo existe siempre la limitante de la capacidad de los tanques del RMX. Cuando se excede ese volúmen entonces se tienen dos opciones, la primera es usar otro RMX resultando es mayores costos por la adquisición del equipo y un mayor requerimiento de espacio sobre la gabarra. La segunda opción es mezclar al vuelo preparando aguas de mezcla en tanques de recirculación.

Se requiere como mínimo 2 tanques de recirculación de 100 bbl y otro tanque de 50 bbl compuestos por bombas centrifugas, un sistema de recirculación y agitadores (ver figura 48)

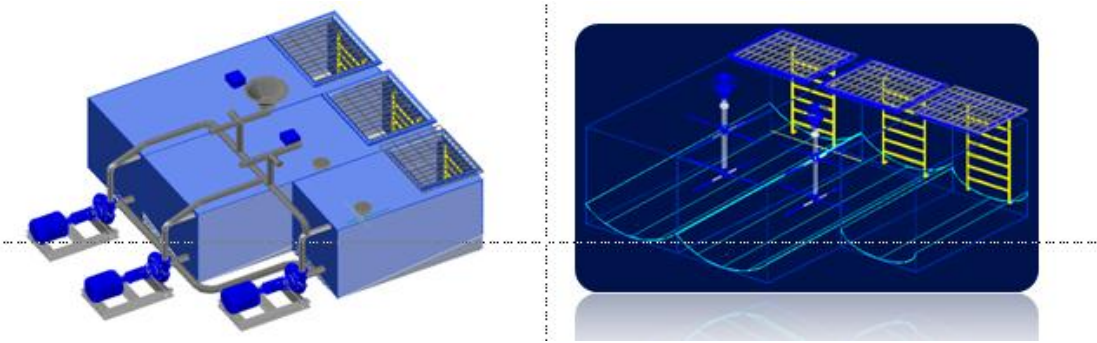


Figura 48 Tanques de recirculación.

Los tanques de recirculación se instalarán bajo casco para así tener disponible más espacio en cubierta. Estarán ubicados justo debajo de los equipos de mezcla y bombeo, con el propósito de reducir las pérdidas de potencia hidráulica de las bombas centrífugas al contar con conexiones tubulares entre dichos equipos lo más cortas posibles.

La potencia hidráulica máxima requerida de acuerdo al análisis es de 267,2 HHP, considerando un 80% como factor de seguridad se obtiene un total de 480,96 HHP. Existen varias unidades estándares de cementación utilizadas por Schlumberger en ambientes lacustres, con potencias que exceden lo requerido por los pozos del Lago de Maracaibo, y son mucho más costosas. La unidad modelo CPS-361 con 2 motores CAT C10 Wet Manifold - 325 BHP a 2100 rpm y 500HHP mostrada en la figura 22, es la unidad estándar de menor potencia, lo que se traduce en menores costos y se ajusta perfectamente a los valores de potencia hidráulica determinados en el análisis (para más información técnica y características físicas de la unidad CPS-361 ver Apéndice-XI).

5.3 Bombas centrífugas para los tanques de recirculación de preflujos, aguas de mezcla y tanque cero descargas

En la tabla 57, se establecen los requerimientos operacionales de cementación de los pozos del Lago de Maracaibo para la selección de la bomba centrífuga más adecuada.

Tabla 57 Volúmenes de fluidos manejados en los tanques de recirculación y tanque cero descarga

| Taques | Fluidos manejados | Volúmenes críticos de fluidos |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Tanques de recirculación | Lavadores químicos | ≥ 100bbls |
| | Espaciadores | ≥80bbls |
| | Aguas de mezcla | ≥90bbls |
| Tanque cero descarga | Residuos líquidos de la cementación | Max. 250bbls |

En el capítulo II se describieron las principales características de los distintos tipos de bombas centrífugas usadas por Schlumberger para los servicios de cementación. Las bombas centrífugas RA (impulsor cerrado) son las adecuadas para los fluidos abrasivos tales como los espaciadores (agentes de peso) y lodos de cemento. Dentro de esta categoría tenemos las bombas centrífugas RA-45 y RA-56. En la siguiente tabla 58, se establecen los principales parámetros de comparación.

Tabla 58 Comparación de bombas centrífugas con impulsores cerrados (RA)

| Tipo de bomba | Presión Máxima | Caudal Máximo |
|---------------|----------------|---------------|
| RA-45 | 45psi | 12-14 bbl/min |
| RA-56 | 65psi | 18-20 bbl/min |

Con la siguiente ecuación N°9 se calculará el tiempo en el que las bombas centrífugas pueden realizar una sola recirculación del volumen total de fluidos manejados (ver tabla 59)

$$Q = V/t \quad \text{Ecuación N°9}$$

Donde,

- Q: caudal de descarga de la bomba centrífuga [bbl/min]
- V: volumen de fluidos para recircular [bbl]
- t: tiempos de recirculación [min]

Tabla 59 Tiempo de recirculación de Bombas Centrifugas

| Tipo de bomba/tiempo | Lavador químico \geq 100bbls | Espaciador \geq 80bbbl | Aguas de mezcla \geq 90bbbs | Fluidos residuales Max.250bbbs |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| RA-45 | 8.33min | 6.66min | 7.5min | 20.83min |
| RA-56 | 5.55min | 4.44min | 5min | 13.9min |

Los cálculos se realizaron tomando los caudales mínimos manejados por las dos bombas para considerar las pérdidas por altura hidráulica que puedan existir. En la recirculación de fluidos se prefieren bombas que manejen los mayores caudales, las mayores presiones de trabajo y los tiempos de recirculación mínimos. Esto garantiza que la energía de mezcla y capacidad de descarga sea mayor.

La bomba centrifuga RA-56 con 6 pulgadas de diámetro en la succión y 5 pulgadas de diámetro en la descarga maneja mucho mejor los volúmenes de los fluidos, garantizando que aún aumentando estos volúmenes mantendrá un buen tiempo de recirculación y una buena tasa de descarga. Las especificaciones técnicas de los motores eléctricos adecuados para las bombas centrifugas usadas por Schlumberger se muestra en el Apéndice IV.

5.4 Agitadores

Para determinar cuál es el agitador más adecuado se realiza un análisis de los volúmenes y propiedades de los fluidos más densos (lechadas de cemento) utilizados en los trabajos de cementación tomados en consideración para este estudio. El objetivo es calcular la potencia requerida para aplicar la energía de mezcla adecuada. Para este análisis se toma como referencia el experimento realizado por Benoit Vidick, con el cual demostró que la energía de mezcla es proporcional a la densidad del fluido.

Para una lechada de 15,8 lpg se requiere de una energía de mezcla de 2 kJ/kg, entonces para variaciones de la densidad se tiene una energía de mezcla

correspondiente y aplicando la ecuación N°1 se calcula los caballos de fuerza que debe tener un motor de agitación para aplicar esa energía y desflocular el fluido.

Calculo tipo@TJ – G03:

$$(E/M)_{@TJ-G03} = \frac{14.5 * 2}{15,8} = 1,84 \text{ kJ/kg}$$

$$HP_{@TJ-G03} = \frac{E/M * \rho_{fluido} * V_{fluido}}{0,7457 * tiempo} = \frac{1,84 * 14,5 * 50}{0,7457 * 3600} = 0,5 \text{ HP}$$

En la tabla 60, se muestran los resultados de la potencia correspondiente a cada caso.

Tabla 60 Resultados de la potencia de mezcla requerida para la defloculación de lechadas de cemento.

| Pozo | Vol. (bbl/m ³) | ρ (lpg/Kg.m ³) | Tiempo premezcla (min/seg) | E/M | HP |
|---------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------|------|
| TJ-G03 | 50/7,95 | 14,5/1737 | 60/3600 | 1,84 | 0,50 |
| LL-G04 | 62/9,86 | 14,5/1737 | 135/8100 | 1,84 | 0,27 |
| BA-G05 | 120/190,08 | 14,5/1737 | 135/8100 | 1,84 | 0,53 |
| CL-G06 | 141,1/22,4 | 16,2/1941 | 90/5400 | 2,05 | 1,16 |
| UD-G07 | 120/19,08 | 15,6/1869 | 60//3600 | 1,97 | 1,38 |

Como se puede observar, la potencia hidráulica máxima requerida es de 1,38 HP. Considerando la experiencia de campo y recomendaciones de supervisores y operadores de los equipos de cementación de las gabarras existentes, se propone agitadores para mezclar fluidos en flujo laminar, con motor trifásico WEG de 5 HP y 1200 rpm a prueba de explosión, como el mostrado en la figura 49, con capacidad de mezcla y potencia muy por encima de lo mínimo requerido por los fluidos. Estos agitadores han sido usados en varias unidades de Schlumberger, funcionando eficientemente en cada operación.



Figura 49 Motor trifásico WEG para agitadores ^[32]

5.5 Sistema de mezcla *Slurry Chief*

Suponiendo que los cinco (5) trabajos de cementación analizados fueron realizados usando un sistema de mezcla continuo *Slurry Chief*, se determina a continuación cuál es la capacidad de mezcla mínima de cemento seco que debe tener dicho sistema para lograr operaciones de mezcla continua de calidad. En la tabla 61, se muestran los resultados de este análisis.

Tabla 61 Cálculo de la energía de mezcla mínima requerida para la cementación de los pozos estudiados

| Pozo | Tasa de bombeo de lechada | Tiempo de bombeo | Volúmen bombeado | Número de veces por batea de 18bbl | Tiempo de bombeo de cada batea | Libras de cemento | Libras de cemento por batea | Sacos de cemento por batea | Suministro de cemento en batea (ft ³ /min) |
|--------|---------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|---|
| TJ-G03 | 4bbl/min | 11.7min | 48.6bbl | 3 | 3,9min | 20608,56 | 6869,52 | 73,08 | 18,73 |
| LL-G04 | 4bbl/min | 25min | 100bbl | 6 | 4,16min | 43712 | 7285,33 | 77,50 | 18,63 |
| BA-G05 | 4bbl/min | 50min | 200bbl | 11 | 4,54min | 87253 | 7932,09 | 84,38 | 18,58 |
| CL-G06 | 5bbl/min | 28,2min | 141.1bbl | 8 | 3,53min | 12274,2 | 1534,275 | 16,32 | 5,87 |
| UD-G07 | 5bbl/min | 22min | 110bbl | 6 | 3,66min | Aprox.10000 | 1666,66 | 17,73 | 4,84 |

Se resumen los datos del programa de bombeo para cada caso, caudales y tiempos de bombeo de un volúmen diseñado de lechada. El sistema *Slurry Chief* está compuesto por una batea de mezcla de 18 bbls, dividiendo el volúmen que se debe bombear de lechada entre la capacidad de la batea de mezcla se obtiene el número de veces que se

debe llenar dicha batea para lograr cumplir con la secuencia de bombeo diseñada si la operación fuese mezclada continuamente. Además para saber cuándo tiempo se tardar el sistema bombeando cada batea se divide el tiempo de bombeo entre el número de veces que se llenan las mismas.

Dividiendo las libras de mezcla de cemento totales entre las veces que se debe llenar la batea de 18 barriles se obtienen las libras de cemento que deben suministrarse a la a la misma. Dividiendo entre el peso de un (1) saco de cemento seco (94 lbm/sxs) se obtienen los sacos de cemento que se deben suministrar para llenar la batea, y dividiendo por el tiempo de bombeo se determina finalmente que la capacidad de mezcla de cemento por minuto mínima debe ser de 18,73 ft³/min, para lograr una lechada con las propiedades requeridas y bombearla al pozo en el tiempo diseñado.

La unidad de mezcla estándar *Slurry Chief* modelo CBS-393 tiene una capacidad máxima de mezcla de hasta 60 sacos de cemento por minuto (60 ft³/min o 2560 Kg/min), por lo tanto queda demostrado que este sistema de mezcla es adecuado para preparar lechadas de cemento en el tiempo promedio requerido. Las especificaciones técnicas, dimensiones y otros datos de interés de la unidad CBS-393 se muestran en el Apéndice-VII.

5.6 Tanque de desechos líquidos o cero descarga

De acuerdo con lo establecido en el convenio Internacional para la prevención de la contaminación por buques de 1973 conocido como MARPOL, todos los desechos líquidos tóxicos, nocivos o que puedan ocasionar algún tipo de contaminación a las aguas y que tienen lugar durante los trabajos de cementación o cualquier otro trabajo petrolero realizado en gabarras, deben ser segregados y recolectados en tanques de residuo o tanques cero descarga.

Por tal motivo, todas las compañías operadoras exigen en sus contratos que la compañía de servicio integral de cementación, suministre no solo los equipos, y materiales necesarios para realizar la planificación, diseño, logística y ejecución de las operaciones y/o actividades de contingencias o especiales que se generen en los trabajos de perforación, reparación y subsuelo, sino que también exigen el manejo de

los desechos, todo esto en los diferentes pozos del Lago de Maracaibo de la región de PDVSA Occidente.

Una gabarra de cementación debe contar con unidades de recolección y transporte de desechos sólidos y líquidos generados en los trabajos de cementación incluyendo la limpieza de los equipos. La capacidad de almacenamiento debe ser de un mínimo de 500 bbls.

Los tanques de recirculación tienen capacidad para almacenar 250 bbls de fluidos, por lo cual se propone un tanque cero descarga de 250 bbls, completando así, el volumen exigido por el cliente, compuesto por un sistema de recirculación y dos agitadores para garantizar el acondicionamiento de los fluidos mientras se llega a tierra para verter los mismos en una cisterna, las cuales llevaran los fluidos residuales hasta zonas destinadas para su tratamiento (ver figura 50).

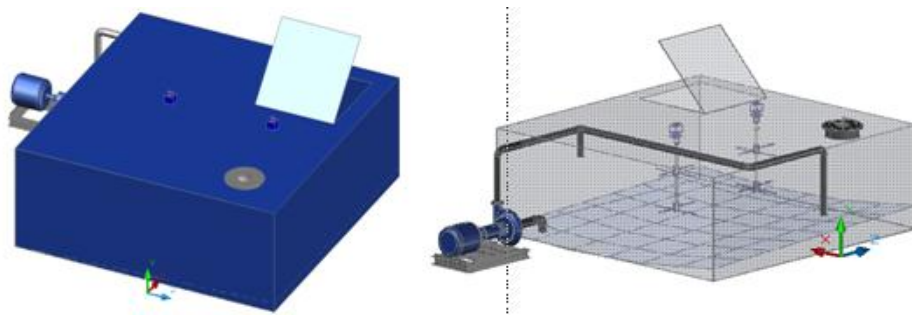


Figura 50 Tanque de residuos líquidos o cero descarga

El tanque cero descarga estará ubicado bajo casco para facilitar el funcionamiento del sistema de drenaje de la gabarra y aprovechamiento de los espacios, posicionado cerca de la unidad de bombeo y de los equipos de mezcla.

La configuración y posicionamiento final de los componentes del tanque cero descarga dependen en gran medida de la ubicación bajo casco del mismo y el espacio disponible en cubierta. Estos aspectos deben ser tomados en cuenta en el diseño final.

5.7 Compresores

Como se explicó en el capítulo II, los compresores de aire usados en Schlumberger varían dependiendo de la aplicación. Para la presurización de los silos, colector de

polvo y tanque de compensación se usan compresores de baja presión y alto caudal debido a que los equipos trabajan con una presión máxima de trabajo de 30 psi por seguridad, sin embargo se requiere un alto caudal de aire para mover en el tiempo requerido grandes volúmenes de cemento o mezclas de cemento y aditivos secos desde un silo a otro silo, desde un silo hacia el tanque de compensación, desde un silo hasta los RMX o tanques de recirculación, etc.

Un compresor de aire debe ser capaz de suministrar un caudal de aire a una presión de 30 psi suficiente para presurizar un silo de 800 ft³ tan rápido como sea posible, y para mover el cemento desde la descarga del silo hasta donde se requiera. Cuando la mezcla es realizada continuamente, el operador de la bomba de cementación requiere que se le suministre cemento para ir densificando la lechada en las bateas de mezcla. No se puede esperar demasiado tiempo para soplar ese cemento a través de las líneas hasta el tanque de compensación. En la tabla 62, se muestra el comportamiento de un tanque de presión ante los diferentes caudales de flujo de aire suministrado por un compresor con presión de trabajo de 30psi.

Tabla 62 Comportamiento de presión de un silo ante diferentes caudales de flujo de aire

| Pies cúbicos por minute de aire | 200cfm | 250cfm | 300cfm | 350cfm | 400cfm |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Tiempo de presurización del silo de 800ft³@30psi | 4min | 3,2min | 2,6min | 2,28min | 2min |

Según el análisis, a mayor caudal de aire, menor será el tiempo requerido para presurizar un silo de 800 ft³, y un menor tiempo garantiza una mayor eficiencia de operación.

Los compresores estarán ubicados en la sala de maquinas bajo casco y por seguridad deben estar impulsados por motores eléctricos a prueba de explosión. Este es otro parámetro importante a la hora de seleccionar un compresor.

Por lo tanto, la selección del compresor va a depender de los compresores comercialmente disponibles. El proveedor debe tener disponibles compresores que a 30 psi suministre desde 300 cfm hasta más de 400 cfm y que además tenga

acoplamiento a motores eléctricos. La potencia de dicho motor dependerá de la especificación del compresor suministrada por el cliente y los límites de trabajo del mismo.

En unidades de cementación de Schlumberger se usan compresores de baja presión marca BÉTICO Serie Sb como el mostrado en la Figura N°51. Los compresores de la serie SB, son máquinas de pistón de una etapa, gracias a su diseño modular, existe un modelo adecuado para cada una de las necesidades que presenta el transporte neumático de los productos como el cemento (para mayor información véase Apéndice II). Es un conjunto motor compresor, accionado directamente por motor eléctrico, embridado al compresor.



Figura 51 Compresor recíprocante de baja presión BETICO ^[33].

Un compresor modelo SB-30 de 1200 rpm y 13,9 m³/min (490,87 cfm) con un motor eléctrico de 36,6 kW (50 HP) sería adecuado para el transporte de materiales a granel. Con este caudal se presuriza el silo en menos de 2 minutos, representando un excelente tiempo para realizar la operación.

Por su parte, las válvulas mariposa trabajan con presión máxima de 175 psi, y las bombas de diafragma con 125 psi generalmente, por lo tanto se requiere un compresor de alta presión y bajo caudal. El compresor debe alcanzar entre 125 a 175 psi y tener caudales bajos. Comercialmente existen muchos compresores rotativos

axiales, sin embargo en las unidades de Schlumberger se usan de manera estándar compresores de la marca Gardner Denver de alta presión (125 psi) y bajo caudal (155 cfm) como el mostrado en la figura 52. Las especificaciones técnicas de este tipo de compresor, dimensiones y otros datos de interés se muestran en el Apéndice I.



Figura 52 Compresor de alta rotativo axial Gardner Denver ^[34].

5.8 Extractores/ventiladores en sala de máquinas

Tomando como referencia la ubicación de la sala de máquinas en la gabarra de cementación D-1192 bajo casco, la dimensión de los equipos y la configuración de tanques bajo casco se calculó el volumen del cuarto de generadores, compresores y cuarto de bombas centrífugas requerido para la nueva gabarra. En la figura 53, se muestra la ubicación de la sala de máquinas propuesta (Línea Roja).

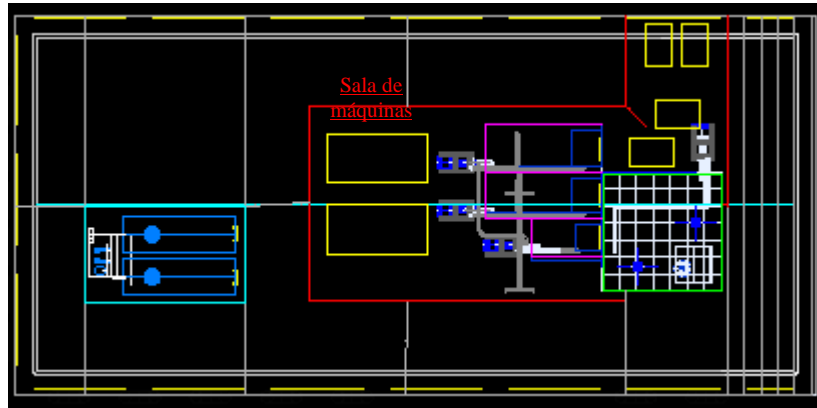


Figura 53 Casco de gabarra visto desde tope mostrando ubicación y dimensiones de la sala de máquinas.

Tomando como puntal o altura del casco 2,5 m, el volúmen total de la sala de máquinas es:

$$V = (44,5499 + 132,2515) * 2,5 = 442 \text{ m}^3$$

Además según datos de tablas especializadas (Ver Apéndice VI) las salas de máquina requieren más de 30 renovaciones de aire por hora. Con estos datos se determina el caudal de venteo haciendo uso de la ecuación N°4.

$$Q = \frac{V * (R/h)}{3600} = \frac{442 \text{ m}^3 * (\frac{30 \text{ ren}}{\text{hr}})}{3600} = 3,68 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por lo tanto, se requiere un ventilador que provea aire fresco dentro del cuarto a una velocidad de 3,7 m³/seg, mientras que al mismo tiempo un extractor succione los vapores desde la sala de máquinas hacia el exterior a una velocidad de 3,7 m³/seg.

Considerando que posiblemente en algún momento los ventiladores/extractores requieran mantenimiento, reparaciones, etc., se debe siempre tener equipos de reemplazo. Por tal razón se propone la instalación de dos ventiladores y dos extractores con la siguiente distribución:

- 1 extractor+1 ventilador para Sala de Generadores
- 1 extractor+1 ventilador para Sala de compresores

En *Well Services-Schlumberger*, se usan generalmente motores eléctricos marca SIEMENS para los equipos ubicados en salas de máquinas de las gabarras de cementación, tanto para extractores y ventiladores como para bombas centrífugas. El motor eléctrico adecuado para un ventilador/extractor (para ver la lista completa de ventiladores SIEMENS disponibles comercialmente ver Apéndice V) según los datos técnicos suministrados por el proveedor y el caudal calculado, se describe a continuación en la tabla 36.

Tabla 63 Datos técnicos de ventiladores SIEMENS accionados por motor eléctrico^[16]

| Tipo | Diámetro (mm) | Caudal (m ³ /seg) | Potencia (kW) | Intensidad (A) | | Nivel ruido (dB) (A) | Peso (Kg) | No. Depósito |
|--|---------------|------------------------------|---------------|----------------|-------------|----------------------|-----------|--------------|
| Con motor trifásico, 220/440 V, 4 polos, 1800 RPM | | | | | | | | |
| | | | | 220V | 440V | | | |
| 2CC2 634-5YB6 | 630 | 5,33 | 1,60 (2 hp) | 6,40 | 3,20 | 87 | 30,5 | 01187 |

5.9 Grúas:

En la figura 54, se señala (línea roja) el área disponible para el almacén de productos sólidos y líquidos.

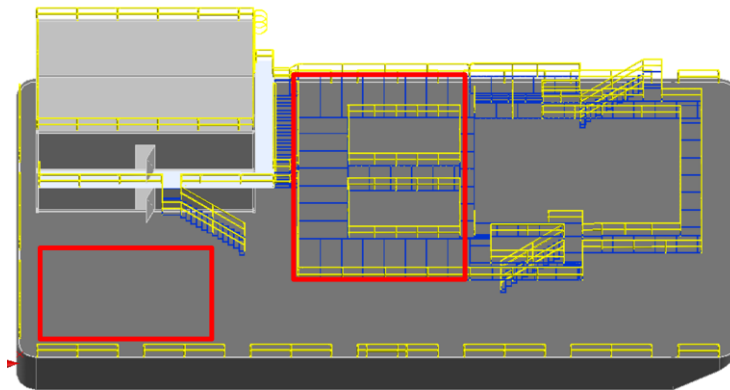


Figura 54 Áreas de almacenamiento

La distancia existente desde donde se propone colocar la base de la grúa y el punto más lejano del área de almacenamiento es de 15,09 metros (50ft), tal como se muestra en la figura 55. Por lo tanto se requiere una grúa cuyo radio de brazo en posición horizontal sea igual o mayor que esa distancia, nunca menor.

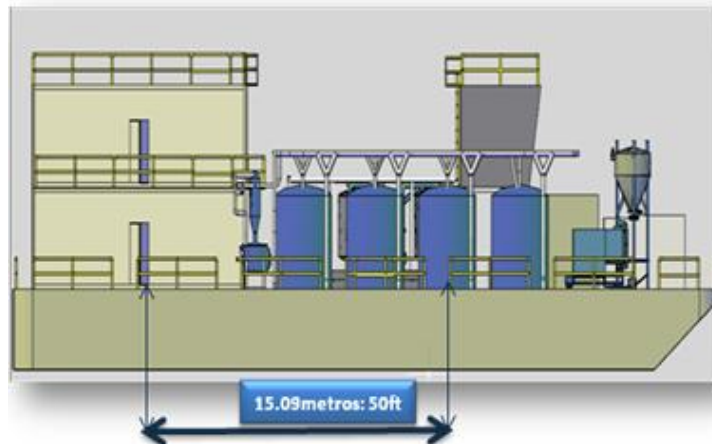


Figura 55 Distancia mínima del radio del brazo de la grúa.

Las grúas telescópicas tienen un brazo que se extiende y se contrae automáticamente y podría operarse de manera más cómoda. En el segmento *Well Services*, en las Morochas, actualmente se cuenta con una grúa marina telescópica de 60 Ton marca TECHCRANE, como la mostrada en la figura 56, la cual se encuentra instalada en una de las gabarras existentes y alcanza 75ft máximo de longitud con un ángulo de elevación de 1° con respecto a la horizontal cuando el brazo está totalmente extendido, ideal para lo requerido en la nueva gabarra de cementación (para más información técnica del equipo véase Apéndice-XIV).



Figura 56 Grúa marina telescópica de 60 toneladas ^[35]

5.10 Generadores

En la tabla 64, se muestra el cálculo del consumo energético considerando tanto los equipos operacionales como domésticos, haciendo uso de las ecuaciones N°2 y N°3. El objetivo es escoger el generador con capacidad de suministrar la energía necesaria para garantizar el correcto funcionamiento de la gabarra de cementación.

Tabla 64 Estimación del consumo eléctrico de la nueva gabarra de cementación

| MOTORES ELÉCTRICOS | | Número de unidades | Voltaje | HP | Amperios | Suministro Total de Energía Eléctrica | | |
|----------------------------|--|------------------------|---------|------|----------|---------------------------------------|---------------|--------|
| | | | | | | KVA | Total KVA | |
| Equipos de operación | Fases: 3 | Agitadores | 4 | 460 | 5 | 8,12 | 5,18 | 20,70 |
| | | Compresores de baja | 2 | 440 | 30 | 39 | 23,78 | 47,56 |
| | | Compresores de alta | 2 | 460 | 40 | 51,5 | 32,83 | 65,65 |
| | | Extractores | 4 | 460 | 5 | 7,1 | 4,53 | 18,10 |
| | | Sistema de anclas | 2 | 440 | 75 | 90 | 54,87 | 109,74 |
| | | Bombas centrifugas | 6 | 480 | 60 | 75 | 49,88 | 299,30 |
| | Fases: 1 | Sistema hidroneumático | 1 | 208 | 2 | 7 | 2,02 | 2,02 |
| | Planta de tratamiento de aguas negras | 1 | 208 | 2 | 7 | 2,02 | 2,02 | |
| TOTAL #1 | | | | | | | 565,09 | |
| Equipos domésticos | Cocina eléctrica de 4 hornillas | 1 | 220 | 6,03 | 20,45 | 4,5 | | |
| | Nevera | 2 | 110 | 0,94 | 6,36 | 0,7 | | |
| | Secadora | 1 | 220 | 1,61 | 5,45 | 1,2 | | |
| | Aires acondicionados (Split de 18KBTU) | 6 | 220 | 9,65 | 32,73 | 7,2 | | |
| | Horno eléctrico | 1 | 220 | 1,61 | 5,45 | 1,2 | | |
| | Congelador (EPA 200 lts) | 1 | 110 | 0,47 | 3,18 | 0,35 | | |
| | Horno microondas (1.2 ft³) | 1 | 220 | 1,07 | 3,64 | 0,8 | | |
| | Licuadaora | 1 | 110 | 0,40 | 2,73 | 0,3 | | |
| | Cafetera | 1 | 110 | 0,80 | 5,45 | 0,6 | | |
| | Lavadora (10Kg) | 1 | 110 | 0,67 | 4,55 | 0,5 | | |
| | TVs (LCD/ Plasma 32") | 4 | 110 | 0,80 | 5,45 | 0,6 | | |
| | Ventiladores | 2 | 110 | 0,54 | 3,64 | 0,4 | | |
| | Computadora personal de escritorio (LCD) | 1 | 110 | 0,20 | 1,36 | 0,15 | | |
| | Laptop | 1 | 110 | 0,08 | 0,55 | 0,06 | | |
| Impresora | 1 | 110 | 0,13 | 0,91 | 0,1 | | | |
| TOTAL #2 | | | | | | | 10,26 | |
| TOTAL #1 + TOTAL #2 | | | | | | | 575,35 | |

Se requiere un generador con capacidad de entregar más de 575 Kva de energía eléctrica. Se propone la adquisición de dos Generador de 500 eKW y 625 KVA, 60

Hz, 1800 rpm y 480 Voltios marca Caterpillar (proveedores certificados y estándares de Schlumberger a nivel Internacional), tal como el mostrado en la figura 20, (para más información del equipo ver Apéndice III).

5.11 Consumo de combustible:

Para estimar el consumo de combustible de la nueva gabarra se toman en cuenta las siguientes consideraciones (ver tabla 65):

- a) Se requiere que la unidad de cementación CPS-361 opere durante dos trabajos cuya duración aproximada muy por encima es de 8 horas.
- b) Los generadores deben funcionar durante las 24 horas de la semana de trabajo (5 días). Nunca se usan los dos generadores al mismo tiempo, solo se requiere tener un reemplazo en caso de fallar el que esté operando. Por lo tanto se puede considerar que un solo generador consumirá combustible.
- c) Debido al alto consumo de combustible de la unidad de bombeo CPS-361 y de los generadores, éstos irán conectados directamente al tanque de combustible manteniendo así un suministro continuo.
- d) Se considera que el RMX CBS-955 debe operar lo suficiente para prepara un premezclado (3 horas como máximo para los fluidos bombeados a los pozos del Lago de Maracaibo + 30 min de seguridad)
- e) El cálculo se realiza suponiendo que todos los equipos estarán funcionando al mismo tiempo y consumiendo al 50% de su capacidad.
- f) Al consumo (galones) total de combustible se le debe restar el consumo de los equipos antes de partir a los trabajos ya que este volumen no se considera en el volumen del tanque de combustible.

Tabla 65 Estimación del consumo de combustible por equipos propuestos para la gabarra de cementación

| Equipos que consumen combustible | N° de motor | Consumo por hora gal/hr | | Capacidad del tanque (gal) | Horas de funcionamiento (5 días) | Galones totales |
|------------------------------------|-------------|-------------------------|------|----------------------------|----------------------------------|-----------------|
| | | 100% | 50% | | | |
| CPS-361/C-10 | 2 | 75 | 37,5 | 60 | 16 | 600 |
| RMX/C-9 | 2 | 30 | 15 | Aprox. 84 | 14 | 210 |
| Generadores/C-5 | 1 | 35,9 | 20,5 | Aprox. 70 | 120 | 2460 |
| Bomba contra incendio/C-4.4 | 1 | 20 | - | 60 | 3 | 60 |
| Total | | | | | | 3330gal |

El volúmen de combustible que se carga a los equipos antes de partir a los trabajos equivale al volúmen del tanque de los motores de la CPS-361, al volúmen del tanque de los RMX, el volúmen del tanque del generador que está en funcionamiento y el volúmen del tanque del motor de la bomba contra incendio.

$$\text{Volúmen antes de partir} = 60 + 60 + 60 + 84 + 84 + 70 = 418 \text{ galones}$$

A continuación se muestra el volúmen mínimo que debe tener el tanque de combustible de la gabarra para garantizar su funcionamiento por cinco (5) días sin necesitar volver a recargarlo.

$$\text{Volúmen mínimo de tanque} = 3330 - 418 = 2912 \text{ galones (11023.12 litros) .}$$

Se propone la adquisición de un tanque para almacenar 12.000 litros de gasoil (+10% Factor de seguridad) tal como se muestra en la figura 57.

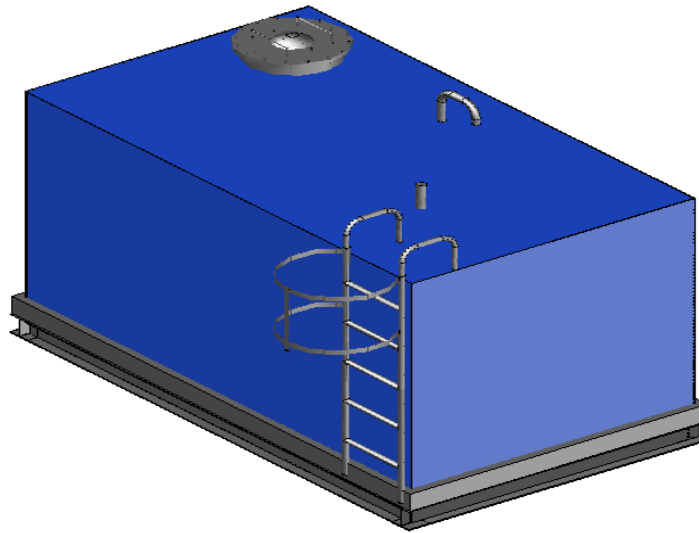


Figura 57 Tanque de combustible

El diseño preliminar de un tanque de combustible debe considerar la seguridad ambiental e industrial para ello se debe encontrar la mejor ubicación posible. Este tanque se considera atmosférico ya que opera a presión atmosférica.

La ubicación del tanque está ligada directamente con el factor riesgo que presenta el combustible al ser almacenado. Es por ellos que se propone una ubicación tan alejada como sea posible de las acomodaciones y de las unidades de presión y bombeo, pero lo más cerca posible a la bomba contra incendio.

5.12 Flotabilidad del casco de la gabarra

El primer paso para determinar la máxima carga que soporta el casco de una gabarra es conocer los pesos de los equipos y tanques que en ella se instalarán. Este estudio está basado en un casco prediseñado correspondiente a la Gabarra de Cementación D-1992 de Schlumberger que ofrece servicios de cementación primaria y secundaria a los Pozos del Lago de Maracaibo. Tomando como referencia los planos disponibles del casco de dicha gabarra se realizan los cálculos y el resumen de los mismos en las tablas que se presentan a continuación.

La configuración del casco de la Gabarra de cementación D-1992 se diseñó para contener en su interior tanques con capacidades diferentes a lo requerido para la

nueva Gabarra. Por lo tanto es indispensable determinar si un casco con una configuración similar al de la gabarra D-1992 soporta el peso de dichos tanques y los fluidos que estos contienen. En la siguiente tabla 66, se muestran las características principales de los tanques que serán instalados debajo del casco, como son los tanques de agua potable, los tanques de recirculación, los tanques de aguas residuales, y los silos.

Tabla 66 Características físicas de los tanques de almacenamiento propuestos para la nueva Gabarra de Cementación.

| Tanques instalados en casco | Capacidad del tanque | Material de lámina | ρ del Material (ppg) | V (m ³) de la lámina | Fluido que contiene | Densidad del fluido (ppg) | Peso del tanque (libras) | | |
|-----------------------------|----------------------|--------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------|-------------|
| | | | | | | | Vacio | lleno 50% | lleno 100% |
| Agua Potable 1 | 7000 ltros | Hierro | 78,916 | 0,1203 | Agua | 8,33 | 2446,39 | 10147,475 | 17848,56 |
| Agua Potable 2 | 7000 ltros | Hierro | 78,916 | 0,1203 | Agua | 8,33 | 2446,39 | 10147,475 | 17848,56 |
| Cero descarga | 250bbl | Hierro | 78,916 | 0,8173 | Lodos | | 16944,94 | 102016,94 | 187066,94 |
| TR. 50bbl | 50bbl | Acero A36 | 65,604 | 0,1995 | Aguas de mezcla, lavador, espaciador | 16,5 | 3411,408 | 20421,408 | 37431,408 |
| TR. 100bbl | 100bbl | Acero A36 | 65,604 | 0,3383 | | | 5838,756 | 39858,756 | 73878,756 |
| TR. 100bbl | 100bbl | Acero A36 | 65,604 | 0,3383 | | | 5838,756 | 39858,756 | 73878,756 |
| Silo 1 | 800ft ³ | Acero A37 | 65,604 | 0,4781 | Cemento y aditivos sólidos | 94 libras/sxs | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 2 | 800ft ³ | Acero A38 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 3 | 800ft ³ | Acero A39 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 4 | 800ft ³ | Acero A40 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 5 | 800ft ³ | Acero A41 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 6 | 800ft ³ | Acero A42 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 7 | 800ft ³ | Acero A43 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Silo 8 | 800ft ³ | Acero A44 | 65,604 | 0,4781 | | | 8266,104 | 41166,104 | 74066,104 |
| Otros tanques sobre casco | | | | | | Total | 103055,472 | 551779,642 | 1000481,812 |
| Combustible | 12000 ltros | Acero A36 | 65,604 | 0,1739 | Gasoil | 8,34 | 2952,18 | 16171,08 | 29389,98 |

En la tabla 67, se listan cada uno de los equipos y sus respectivos pesos basándose en el fluido que contienen, la densidad del mismo y el peso de los equipos vacíos. Cabe acotar que no se consideran en este análisis los equipos que aportan pesos insignificantes.

Tabla 67 Pesos estimados de los equipos y los fluidos correspondientes.

| Equipos | Fluido que contiene | Densidad del fluido (ppg) | Pesos (libras) | |
|---|--|---------------------------|----------------|------------|
| | | | Vacio | 100% lleno |
| Bomba de cementación CPS-361 (tanque de desplazamiento) | Preflujos, aguas de mezcla y fluidos de desplazamiento | 16,2 | 39,381 | 52989 |
| Mezcladora Slurry Chief CBS-393 | Lechada | 20 | 297 | 677 |
| Batea de mezcla del sistema CBS-393 | Lechada | 20 | 3300 | 23460 |
| Tanque de compensación (Surge tank CUS-122) | Cemento y aditivos sólidos | 94libras/saco | 2866 | 9458 |
| RMX CBS-955 #1 y #2 | Lechada | 20 | 30000 | 234140 |
| Tanque de almacenamiento y dosificación de aditivos líquidos (LAS CMP-351) | Aditivos líquidos | 8,33 | 6614 | 28272 |
| Estante de dosificación de aditivos líquidos (Metering Rack CMP-751) | Aditivos líquidos | 8,33 | 683 | 683 |
| Colector de Polvo CUS-916 | Cemento y aditivos sólidos | 94libras/saco | 3646 | 10961 |
| Motores eléctricos de Agitadores | NA | NA | 908 | 908 |
| Bomba contra incendio | NA | NA | 960 | 960 |
| Compresor de baja Gardner Denver (206cfm@30psi) #1 y #2 | NA | NA | 1500 | 1500 |
| Compresores de alta Gardner Denver (155cfm@125psi) #1 y#2 | NA | NA | 3400 | 3400 |
| Generador Caterpillar #1 y #2 | NA | NA | 16576 | 16576 |
| Motor de extractores #1,#2,#3,#4 | NA | NA | 189 | 189 |
| Winches #1 y #2 | NA | NA | 90000 | 90000 |
| Grúa Telescópica 60Tons | NA | NA | 132277 | 132277 |
| 5 Trailer para Acomodaciones y Cabina del Cliente | NA | NA | 176369 | 176369 |
| Total | | | 469624,381 | 782819 |

Para determinar el peso total de la Gabarra se debe tomar en cuenta el peso de las láminas de acero del casco y de sus paredes o divisiones internas. En la figura 58, se

muestra las divisiones del casco de la Gabarra D-1992, y en la figura 59, se muestra la vista desde tope del mismo, y distribución de tanques de vacío, el cual fue tomado como referencia para la selección, distribución y diseño preliminar de tanques.

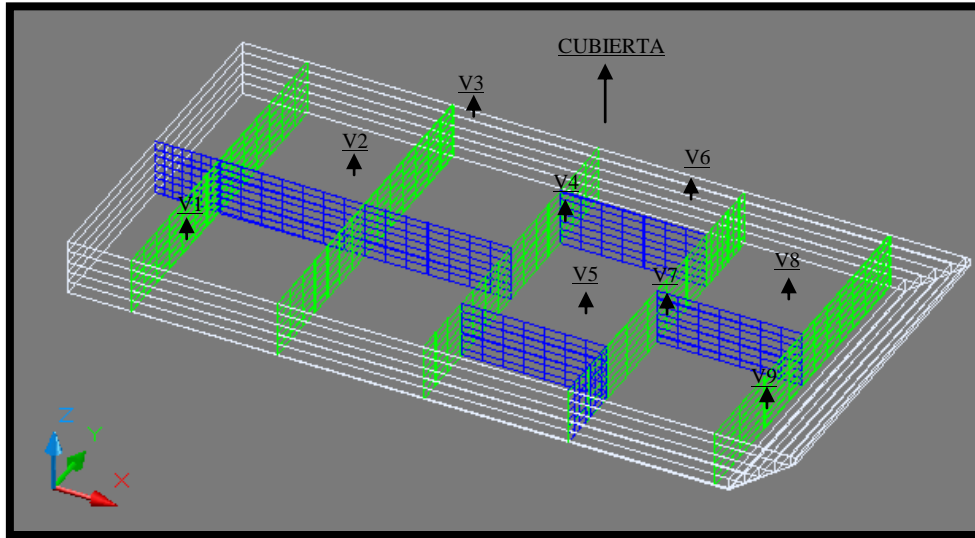


Figura 58 Representación 3D de las divisiones del Casco de la Gabarra D-1992

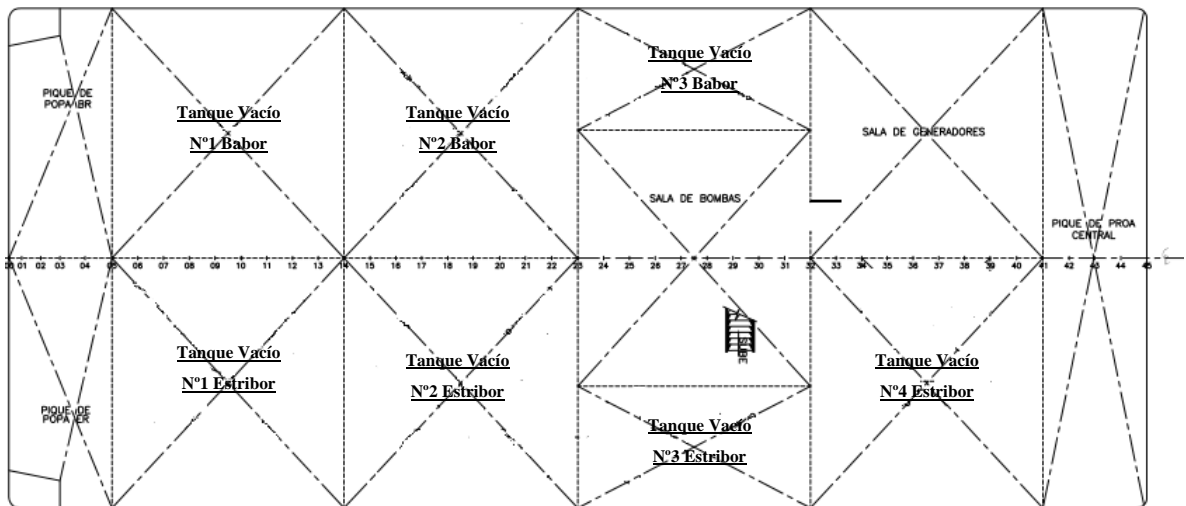


Figura 59 Plano de tanques de vacío y divisiones del casco de la Gabarra D-1992^[36].

En la tabla 68, se presenta un resumen de los resultados y pesos de aceros según el último estudio de medición de espesores por ultrasonido de estructuras y planchas realizado en Marzo del 2015 por la empresa de desarrollo de Ingeniería Naval G&L,

C.A., al casco de la Gabarra D-1992 considerando los últimos reemplazos estructurales.

Tabla 68 Pesos de aceros en estructuras y láminas de la Gabarra D1992 ^[36]

| Área del casco | Peso de acero | |
|---|-----------------|-----------------|
| | Kg | Libras |
| Pique de popa babor | 694,56 | 1389,12 |
| Pique de popa estribor | 694,56 | 1389,12 |
| Tanque vacío no.1 babor | 933,2 | 1866,4 |
| Tanque vacío no.1 estribor | 922,4 | 1844,8 |
| Tanque vacío no.2 babor | 3346,48 | 6692,96 |
| Tanque vacío no.2 estribor | 3293,86 | 6587,72 |
| Tanque vacío no.3 babor | 124,6 | 249,2 |
| Tanque vacío no.3 estribor | 1555,93 | 3111,86 |
| Sala de bombas | 1399,2 | 2798,4 |
| Tanque vacío no.4 babor (Sala de Generadores) | 2849,87 | 5699,74 |
| Tanque vacío no.4 estribor | 3369,49 | 6738,98 |
| Pique de proa | 1052 | 2104 |
| Reemplazos estructurales del casco "gabarra d-1992" | 21263,47 | 42526,94 |
| Otros reemplazos | 1000 | 2000 |
| Total | 42499,62 | 84999,24 |

Ahora se calcula el peso en rosca o peso del casco sin equipos, es decir, solo considerando el peso de las láminas de acero del casco de la gabarra de D-1992 y el peso de los tanques prediseñados propuestos para la nueva gabarra.

$$\text{Peso en rosca} = 84999,24 + 1000481,812 = 1085481,052 \text{ Libras}$$

A continuación, en la figura 60, se muestran los volúmenes de agua que puede ser desplazado por cada una de las líneas de flotación del casco de la gabarra de cementación D-1992. Además en la tabla 69, se calcula finalmente cuanto es el volumen de agua desplazada total y el peso total de la misma.



Figura 60 Volúmen desplazado por Líneas de Flotación del Casco de la Gabarra de Cementación D-1992.

Tabla 69 Estimación del desplazamiento de agua por líneas de flotación (DLF)

| Volúmen (m ³) | | Volúmen (gal) | Densidad del agua (lpg) | Peso (libras) |
|---------------------------|-----------|---------------|-------------------------|---------------|
| Vol@cub | 280,839 | 74141,496 | 8,33 | 617598,662 |
| Vol@LF#4 | 274,9429 | 72584,9256 | 8,33 | 604632,43 |
| Vol@LF#3 | 269,0467 | 71028,3288 | 8,33 | 591665,979 |
| Vol@LF#2 | 263,1506 | 69471,7584 | 8,33 | 578699,747 |
| Vol@LF#1 | 257,5244 | 67986,4416 | 8,33 | 566327,059 |
| Total | 1345,5036 | 355212,95 | | 2958923,88 |

Finalmente se puede calcular cuando sería el peso total de la nueva gabarra de cementación considerando los equipos 100% llenos, tanques 100% llenos y el peso en rosca con tanques 100% llenos como el caso más crítico (ver tabla 70)

Tabla 70 Peso total estimado de la nueva Gabarra de Cementación

| Pesos (Libras) | |
|--------------------------------------|-------------|
| Peso en rosca | 1085481,052 |
| Peso de equipos | 782819 |
| Peso de tanque de combustible | 29389,98 |
| Total | 1897690,032 |

$$\% \text{ peso de gabarra} = \frac{1897690,032}{2958923,88} * 100 = 64,13 \%$$

$$\% \text{ peso gabarra} + \% \text{ pesos insignificantes} = 64,13 \% + 5 \% = 69,13 \%$$

$$\% \text{ peso disponible en casco} = 100 \% - 69,13 \% = 30,86 \%$$

El peso total generado por los equipos y los aceros del casco representa el 64,13% del peso máximo que soporta la gabarra, además de un 5% extra destinado a equipos que generan pesos insignificantes. Por lo tanto un 69,13% sería el peso total de la gabarra y el restante 30,86% garantiza que aun con la máxima carga la gabarra flota.

5.13 Bombas fijas contraincendios y estimación del volumen de arqueo

El volumen total estimado de todos los espacios cerrados de la gabarra equivale al volumen total desplazado por líneas de flotación del casco ya que no se propone contar con estructuras rígidas exteriores. En la tabla 69, se señaló el volumen total de desplazamiento del casco de la gabarra D-1992 de 1345,5036 m³.

El volumen total de los espacios de carga incluidos dentro del volumen total equivale a las capacidades de los tanques de almacenamiento de productos. En la tabla 71, se muestran estos volúmenes en metros cúbicos.

Tabla 71 Capacidad de los tanques de almacenamiento instalados en casco en metros cúbicos

| Tanques instalados en casco | | Capacidad (m ³) |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Agua Potable 1 | 7000 litros | 7 |
| Agua Potable 2 | 7000 litros | 7 |
| Cero descarga | 250bbl | 39,7468 |
| TR. 50bbl | 50bbl | 7,949365 |
| TR. 100bbl | 100bbl | 15,8987 |
| TR. 100bbl | 100bbl | 15,8987 |
| Silo 1 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 2 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 3 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 4 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 5 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 6 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 7 | 800ft ³ | 19,8 |
| Silo 8 | 800ft ³ | 19,8 |
| | | 251,89 |
| Factor de seguridad (30%) | Total*1,3 | 327,427 |

De acuerdo al análisis de flotabilidad realizado para demostrar que un casco de igual configuración al casco de la gabarra D-1992 soporta el peso de los equipos considerados para la nueva gabarra, el peso total de la gabarra representa el 69,13% del peso total desplazado de agua por líneas de flotación. Aplicando una regla de tres se puede determinar el peso que representa este 69,13% como sigue:

$$\frac{(69,13 \% * 2958923,88 \text{ libras})}{100 \%} = 2045504,078 \text{ libras}$$

En la tabla 72, se muestra el resumen de los pesos que representa cada una de las líneas de flotación y la cubierta del casco de la Gabarra D-1992. Usando estos valores se puede determinar la altura del calado para la nueva gabarra. Aplicando los siguientes pasos:

Tabla 72 Peso de casco de Gabarra D-1992 ocupado por líneas de flotación

| Volúmen (m ³) | | Peso (libras) |
|---------------------------|-----------|---------------|
| Vol@cub | 280,839 | 617598,662 |
| Vol@LF#4 | 274,9429 | 604632,43 |
| Vol@LF#3 | 269,0467 | 591665,979 |
| Vol@LF#2 | 263,1506 | 578699,747 |
| Vol@LF#1 | 257,5244 | 566327,059 |
| Total | 1345,5036 | 2958923,88 |

- a) Se debe restar el peso de la línea de flotación #1 al peso que representa el 69.13%

$$2045504,078 \text{ libras} - 566327,059 \text{ libras} = 1479177,019 \text{ libras}$$

- b) A las libras resultantes de la parte (a) se le resta el peso de la línea de flotación #2

$$1479177 \text{ libras} - 578699,747 \text{ libras} = 900477,272 \text{ libras}$$

- c) A las libras resultantes de la parte (b) se le resta el peso de la línea de flotación #3

$$900477,272 \text{ libras} - 591665,979 \text{ libras} = 308811,293 \text{ libras}$$

- d) Las libras resultantes de la parte (c) representa solo una parte del peso total de la línea de flotación #4. Aplicando una regla de tres podemos determinar este porcentaje, como sigue:

$$\frac{(308811,293 * 100)}{604632,43} = 51,074 \%$$

- e) Ahora determinamos la altura que representa este porcentaje en el volúmen de la línea de flotación #4, sabiendo que la altura total de cada línea de flotación es de 0.52metros (Ver figura N68). Aplicando una regla de tres se tiene:

$$\frac{51,074 \% * 0,52 \text{ metros}}{100 \%} = 0,266 \text{ metros}$$

- f) Se suman las alturas de las líneas de flotación #1, #2, #3 y 0.266metros de la línea #4. El resultado es el calado de la gabarra:

$$0,52 + 0,52 + 0,52 + 0,266 = 1,83 \text{ metros}$$

El personal a bordo de una Gabarra de cementación no es considerado como pasajeros de la embarcación, tal como se estipula en la Regla N°2 del Convenio Internacional sobre el Arqueo de Buques de 1969, ya que son personas empleadas o contratadas para cualquier labor a bordo necesaria para la gabarra y sus operaciones.

Con todos estos datos finalmente se calcula el volúmen de arqueo bruto y neto de la gabarra, considerando un puntal (altura vertical del casco) de 2.5 metros.

Calculo del tonelaje de arqueo bruto aplicando ecuación N°7:

$$GT = (0,2 + 0,02 \log (1345,5036)) * 1345,5036 = 353,299$$

Calculo del tonelaje de arqueo Neto aplicando ecuación N°8:

$$NT = (0.2 + 0,02 \log (327,427)) * 327,427 * \left(\frac{4*1,83}{3*2,6}\right)^2 = 23476,08$$

Según el capítulo 12 del Código Internacional de Sistemas de Seguridad contra Incendios (Código SSCI) sobre Bombas fijas contraincendios de emergencia, la capacidad de la bomba no será inferior a 15 m³/h, para los buques de carga de arqueo bruto inferior a 2000.

En el caso de la Gabarra de cementación propuesta es este estudio el pasaje de arqueo bruto es de 353,299 toneladas, menor que 2000 toneladas. Por lo tanto la capacidad mínima que debe tener una bomba contra incendio debe ser igual o mayor a 15 m³/h.

Se propone una bomba contra incendio modelo UEM 1200 FPSK mostrada en la figura 61, de 1200 GPM (272,5 m³/h), la cual ha sido usada en varias estructuras de operación de *Well Services* y sobrepasa el mínimo de capacidad recomendada por regulaciones internacionales. Algunas especificaciones técnicas de la unidad se muestran en el Apéndice-XV



Figura 61 Bomba contra incendio UEM 1200 FPSK ^[37]

5.14 Sistema de anclaje

A partir de la asesoría técnica y recomendaciones del proveedor estándar de sistemas de anclaje para las gabarras de cementación del segmento *Well Services*, se propone un sistema de anclaje accionado hidráulicamente. Cada winche contará con un sistema hidráulico autónomo compuesto por una bomba hidráulica accionada a su vez eléctricamente y una consola de control.

Los winches estarán montados sobre bases doble carrete con guayas de diámetro estándar de $\frac{7}{8}$ " establecidas por Schlumberger para ser usadas en todas las gabarras.

Además de acuerdo con la experiencia de campo, para una gabarra con un casco de dimensiones similares a la propuesta, con el peso bruto calculado en el análisis de flotabilidad, un sistema de anclaje con un motor trifásico de 75HP a prueba de explosión sería adecuado.

El diseño del sistema, instalación y manejo el mismo queda en manos de los proveedores y el personal contratista capacitado para realizar dicha tarea.

5.15 Diseño preliminar de tanques

Esta etapa se inició con una propuesta para la construcción 3D de todos los tanques de almacenamiento, que garantizan el correcto funcionamiento de la gabarra. Entre los cuales tenemos:

a) Tanque cero descarga

Se propone un tanque rectangular con piso angular direccionado hacia la succión de las bombas centrifugas para mitigar en la medida de lo posible la cementación del tanque, ya que en las zonas de menor movimientos las partículas más pesadas y densas tienden a depositarse y forman un barro pastoso difícil de remover. Para la limpieza y mantenimiento del tanque se propone una entrada de mayor magnitud para el personal y conexiones hacia el exterior para su vaciado.

En cuanto al sistema de recirculación se propone una bomba RA-56 con una succión de 5" y una descarga de 6", la cual tiene dos salidas, la primera cerca de la succión de la bomba y la segunda en la esquina opuesta, esto con el objetivo de optimizar la energía de recirculación y mezcla, desplazando las partículas más pesadas hacia la zona de succión, teniendo en cuenta la posición de los agitadores y la tapa de visita (ver figura 62).

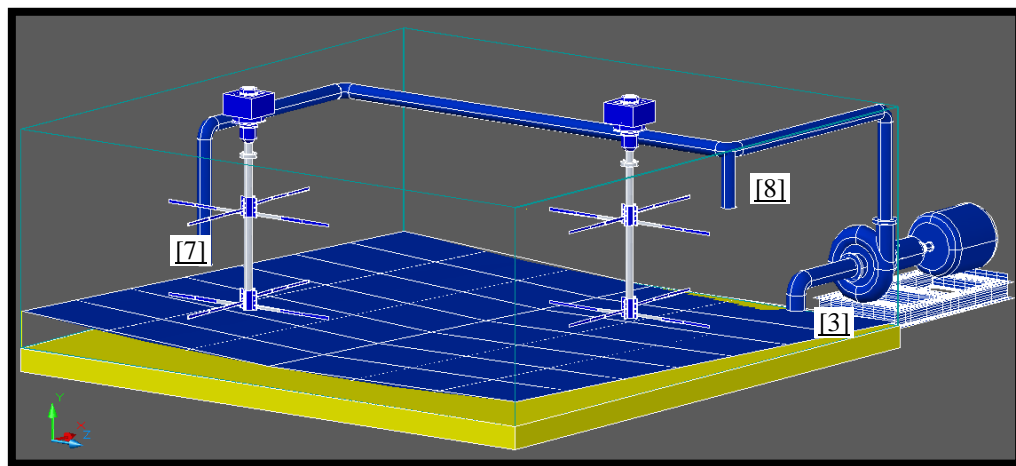


Figura 62 Vista generalizada del tanque cero descarga.

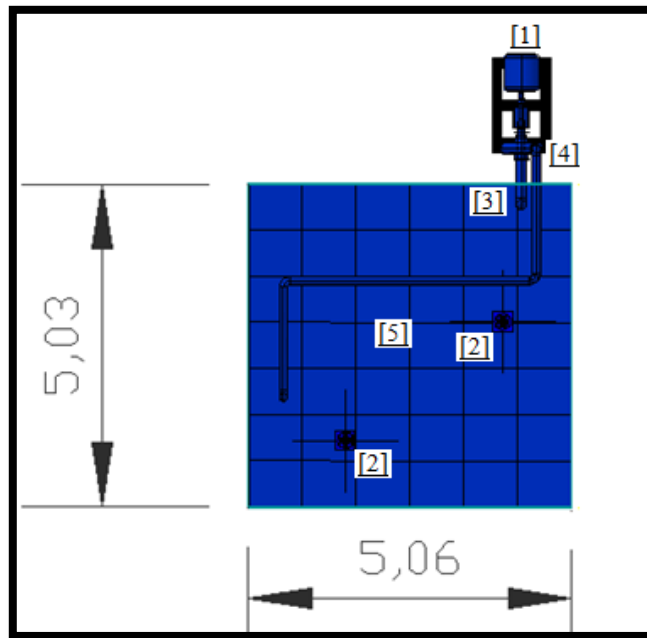


Figura 63 Vista desde tope del tanque cero descarga.

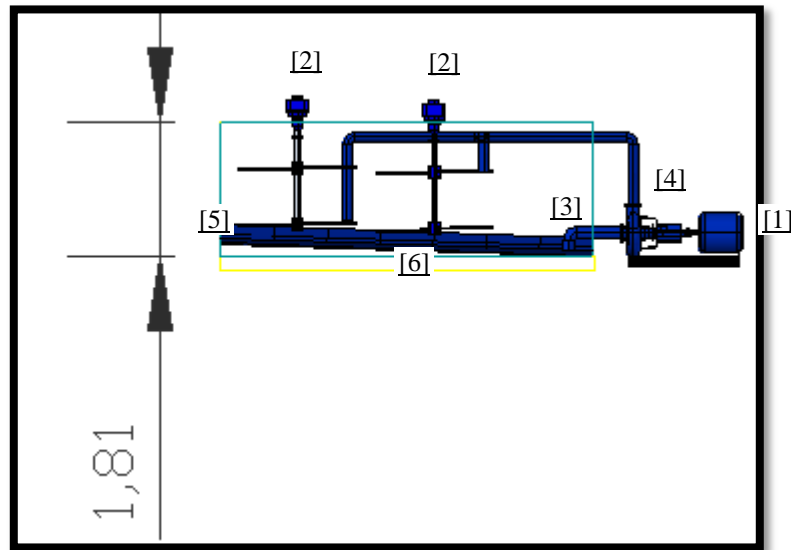


Figura 64 Vista lateral del tanque cero descarga

Los componentes del tanque indicados en las figuras 62, 63 y 64 se listan a continuación en la tabla 73.

Tabla 73 Componentes del tanque cero descarga

| Numero de componente | Nombre de componente |
|----------------------|---|
| 1 | Bombas centrifugas RA-56 |
| 2 | Agitadores con motor eléctrico |
| 3 | Tubería de Succión de bomba centrifuga |
| 4 | Tubería de descarga de bomba centrifuga |
| 5 | Piso inclinado propuesto |
| 6 | Bases del tanque |
| 7 | Salida 1 cerca de la succión |
| 8 | Salida 2 |

Las dimensiones propuestas para dicho tanque se muestran en a continuación en la tabla 74.

Tabla 74 Dimensiones propuestas para el diseño final del tanque cero descarga

| | |
|----------------------------|-------------------------------|
| Volúmen | 46m ³ = 289bbls |
| Longitud | 5,06 m |
| Ancho | 5,03 m |
| Alto | 1,81m |
| Material | Hierro ($\rho = 78,916$ lpg) |
| Espesor de pared | 3/16" = 0,005 m |
| Factor de seguridad | 10% del Volúmen |

b) Tanques de agua potable

De acuerdo con las dimensiones mostradas en el plano de distribución de tanques de la Gabarra-D1992 (ver Apéndice-XVII), el espacio disponible para la instalación de los tanques de agua potable es de aproximadamente 6,677 metros x 4,08 metros.

Como en este caso no se cuenta con registros anteriores que identifiquen el comportamiento de consumo de agua en las gabarras de cementación o de la comunidad de Ciudad Ojeda, en el diseño del tanque se consideró el estado actual de los tanques de agua potable en las gabarras existentes.

En la Gabarra D-1992 actualmente se cuenta con dos tanques de 4000 litros cada uno, y se ha observado que esta cantidad alcanza para tres (3) días con un total de 16

personas a bordo. Un trabajo de cementación se realiza en 24 horas como máximo, sin embargo, la espera por taladro puede durar hasta 3 días o más, ocasionando que el agua potable disponible en la gabarra se consuma y esto ocasiona una serie de incomodidades para el personal. Cabe acotar que el agua potable de una gabarra es usada para la cocina, los baños, la lavandería y en las duchas lava ojos de emergencia. Se requiere que la capacidad de los tanques de agua potable alcance por lo menos para cinco (5) días de operación de la gabarra. Por lo tanto, se propone la adquisición de tanques de agua potable con 7000 litros de capacidad cada uno, con un factor de seguridad de 20% sobre el volúmen, sumando un total de 14.000 litros de agua disponibles para un total de 16 personas a bordo. Dando como resultado un consumo de 175 litros/persona/día.

Por lo general, los tanques de agua potable tienen forma cilíndrica, cuyo propósito es que las impurezas que puedan existir se depositen en el fondo y el sistema hidroneumático no las succione. La forma y tamaño propuesto se realizó acorde con el espacio disponible bajo casco (ver figura 65).

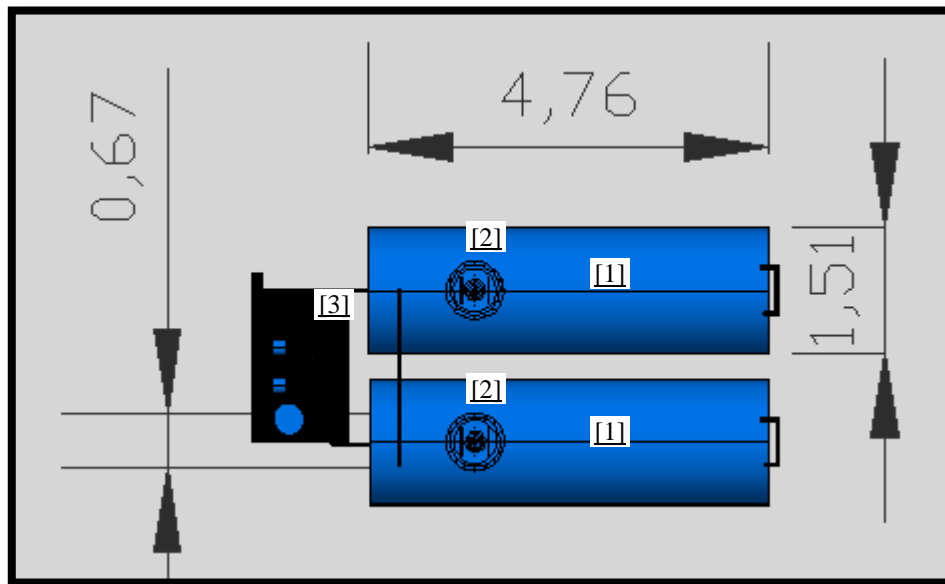


Figura 65 Vista desde tope de tanques de agua potable

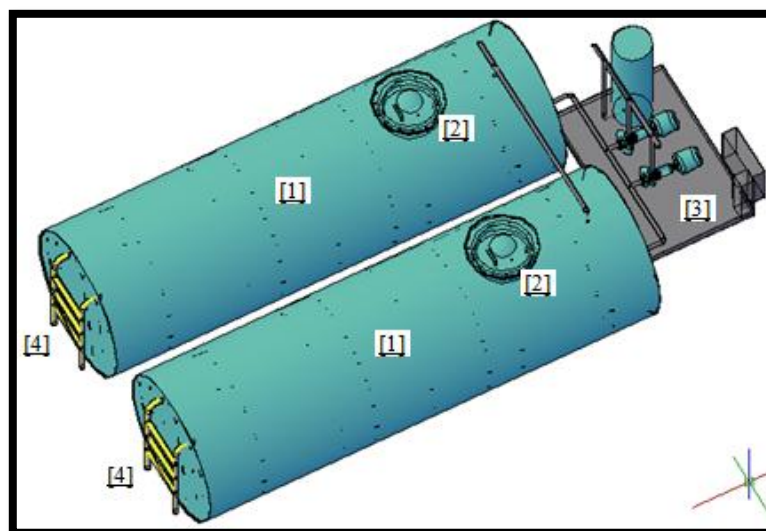


Figura 66 Vista generalizada de los tanques de agua potable

Los componentes del tanque indicados en las figuras 65 y 66 se listan a continuación en la tabla 75.

Tabla 75 Componentes de tanques de agua potable

| Numero de componente | Nombre del componente |
|----------------------|-------------------------------------|
| 1 | Tanques de 8400litros |
| 2 | Tapas de visita |
| 3 | Sistema hidroneumático y conexiones |
| 4 | Escaleras |

Las dimensiones propuestas para dicho tanque se muestran en a continuación en la tabla 76.

Tabla 76 Dimensiones propuestas para el diseño final de tanques de agua potable

| Forma de los tanques | Cilíndrica |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Material | Hierro ($\rho=78,916\text{lp/g}$) |
| Diámetro externo de los tanques (OD) | 1,5m |
| Espesor de pared | $3/16'' = 0,005\text{m}$ |
| Diámetro interno de los tanques (ID) | 1,49m |
| Volúmen mínimo requerido | 7000litros |
| Factor de seguridad | 20% sobre volúmen |
| Volúmen total | 8400litros = $8,4\text{m}^3$ |
| Longitud del tanque | 4753,418m |

c) Tanque para almacenar combustible

El tanque es rectangular porque las presiones del sistema son relativamente bajas y de paredes planas por la facilidad de fabricación y mejor utilización del espacio. Para realizar el cálculo de las dimensiones, se debe sobredimensionar el tanque (cámara de aire) para que el combustible depositado en el tanque siempre se encuentre por debajo del nivel superior de dicho tanque. Por lo tanto, se propone aumentar el volúmen total del tanque en un 10%.

El tanque debe disponer de una boca de visita para la inspección y limpieza interior del mismo. Además también debe disponer de un sistema de venteo para permitir la entrada y descarga de aire durante la operación de vaciado y llenado. De esta manera se permite la expansión y contracción de los vapores debido a los cambios de temperatura.

La base interna del tanque debería tener un inclinación uniforme de al menos 1 grado para que los sólidos más pesados e impurezas se depositen en el fondo y se dirijan por la pendiente hacia la parte más profunda del tanque, evitando así que la bomba los succione durante las operaciones de vaciado del tanque.

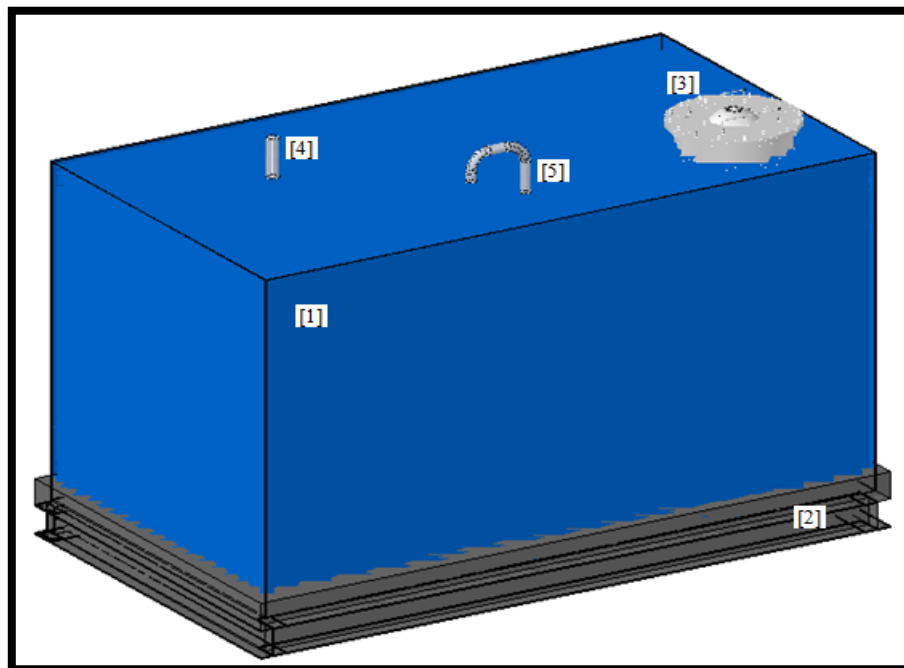


Figura 67 Vista generalizada del tanque de combustible

Los componentes del tanque indicados en la figura 67 se listan a continuación en la tabla 77.

Tabla 77 Componentes del tanque para almacenar combustibles

| Numero del componente | Nombre de, componente |
|-----------------------|--|
| 1 | Tanque rectangular de 13.2m ³ |
| 2 | Bandeja recolectora para evitar derrames |
| 3 | Tapa de visita |
| 4 | Válvula de venteo |
| 5 | Conexiones auxiliares |

En la siguiente tabla 78, se muestran las dimensiones propuestas.

Tabla 78 Dimensiones propuestas (incluyendo bases) para el diseño final del tanque de combustible.

| | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Forma | Rectangular con piso inclinado |
| Material | Acero A36 ($\rho=65,604\text{lpg}$) |
| Espesor de lamina | 3/16" |
| Espesor de placas de bases | > 3/16" |
| -Longitud | 3,5m |
| -Ancho | 2m |
| -Alto | 1,886m |
| Volúmen requerido | 12000litros = 12m ³ |
| -Factor de seguridad | 10% del volúmen |
| Volúmen total | 13,202m ³ |

d) Tanques de recirculación

Se proponen tanques rectangulares para lograr un mejor aprovechamiento del espacio disponible bajo casco, teniendo en cuenta que se requiere una gabarra con dimensiones similares a la Gabarra D1992.

En los tanques con pisos rectos los sedimentos más pesados tienden a depositarse en las áreas con poca recirculación o movimiento de fluido, para evitar que se presente este problema se propone un piso con forma cilíndrica direccionado hacia la succión de las bombas centrifugas RA-56.

El configuración del sistema de recirculación se propone de manera que cualquiera de las bombas centrifugas pueda recircular el fluido de cualquier tanque. Por tal motivo, las succiones de las tres (3) bombas estarán conectadas mediante una tubería de 5", así mismo, las descargas estarán conectadas con una tubería de 6".

Se recomienda que la descarga tenga dos salidas, para distribuir la energía de mezcla equitativamente a lo largo de todo el tanque y para ayudar al movimiento de las partículas más pesadas, direccionándolas hacia la succión.

Además se diseño un sistema de tubos múltiples que trabajan con el principio del efecto venturi para aumentar la energía de mezcla, y un embudo para facilitar la adición de los aditivos al momento de la mezcla. Este sistema de tubos múltiples permitirá la conexión hacia la unidad de bombeo y hacia las unidades de mezclado por lotes facilitando así la operación.

Los agitadores se ubican en el centro de los tanques para una mejor distribución de la mezcla y cada tanque contará con entradas lo suficientemente amplias para el personal es caso de requerirse limpieza o mantenimiento del mismo, dichas entradas estarán cubiertas con rejillas y estarán compuestas con escaleras de seguridad.

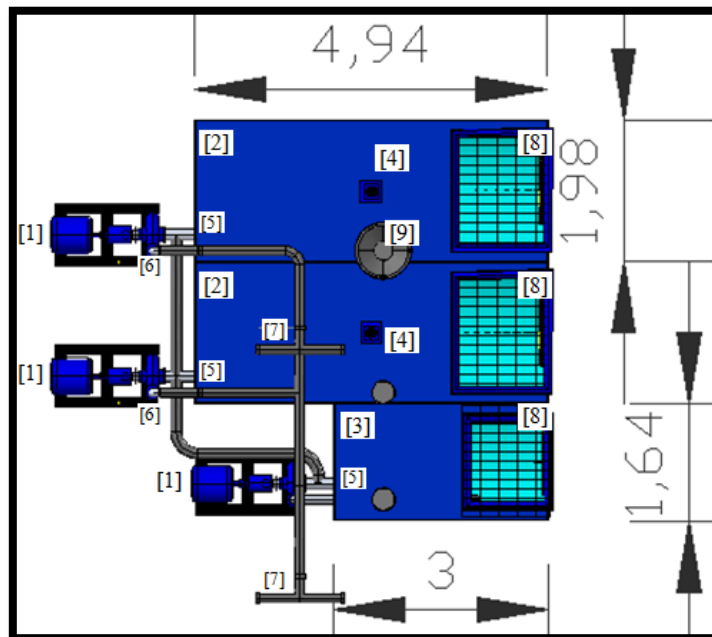


Figura 68 Vista desde tope de los Tanques de recirculación

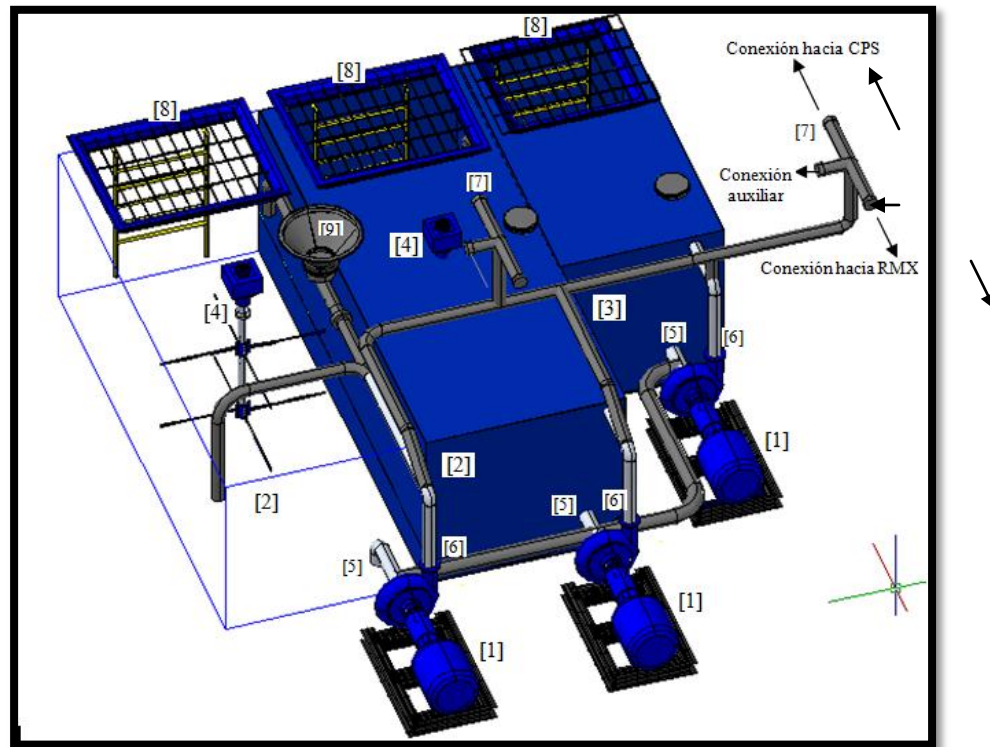


Figura 69 Vista generalizada de los tanques de recirculación mostrando la configuración interior.

Los componentes del sistema de recirculación indicados en las figuras 68 y 69 se listan a continuación en la tabla 79.

Tabla 79 Componentes principales del los tanques de recirculación

| Numero de componente | Nombre del componente |
|----------------------|--|
| 1 | Bombas centrífugas RA5x6 con motor eléctrico |
| 2 | Tanque de 100bbls |
| 3 | Tanque de 50bbls |
| 4 | Agitadores y motores eléctricos |
| 5 | Tubería de succión de bombas centrífugas |
| 6 | Tubería de descarga de bombas centrífugas |
| 7 | Conexiones y tuberías múltiples (<i>manifold</i>) |
| 8 | Entrada al tanque con boquillas, rejillas y escaleras |
| 9 | Embudo para agregar aditivos secos con tubos venturi para una mejor energía de mezcla. |

En la siguiente tabla 80, se muestran las dimensiones propuestas para dichos tanques y otros datos de interés.

Tabla 80 Dimensiones propuestas para el diseño final de los tanques de recirculación

| Dos (2) tanques de 100 bbls c/u | |
|--|--|
| Forma | Rectangular con piso inclinado hacia succión de Bombas |
| Material | Acero A36 ($\rho=65,604\text{lpq}$) |
| Dimensiones | -Longitud:4,956m -Ancho: 1,984m -Alto: 1,780m |
| Espesor de pared | 0,8cm |
| Factor de seguridad | 10% sobre volúmen |
| Volúmen total | 17,4886m ³ =110bbls |
| Dimensiones de entradas | 1m x 1m aprox. |
| Un (1) tanque de 50 bbls | |
| Dimensions | -Longitud: 3m -Ancho: 1,637m -Alto: 1,780m |
| Volúmen total | 8,744m ³ = 55bbls |

e) Silos

De acuerdo con las dimensiones mostradas en el plano de distribución de tanques de la Gabarra-D1992 (ver Apéndice-XVII), se realizó la representación 3D de un silo de 800 ft³ como se muestra en la figura 70.

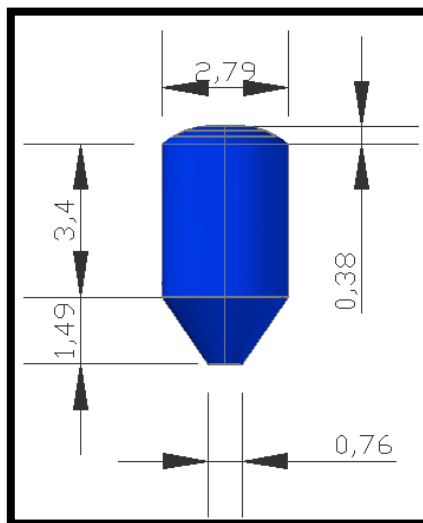


Figura 70 Dimensiones de un silo individual

A partir de estas dimensiones y del conocimiento de los componentes de un sistema de almacenamiento y transporte de materiales a granel discutidos en el capítulo II, se propone la configuración de la planta de almacenamiento y transporte de cemento y aditivos secos para la nueva gabarra de cementación, tomando en cuenta los diámetros estándares de cada una de las líneas y la mejor distribución de las mismas de acuerdo a la ubicación y los demás equipos considerados (ver figura 71).

La distancia entre cada silo de 3,49 m se propone asegurando que una persona con dimensiones promedios puede transitar entre ellos y realizar cómodamente mantenimientos en el área.

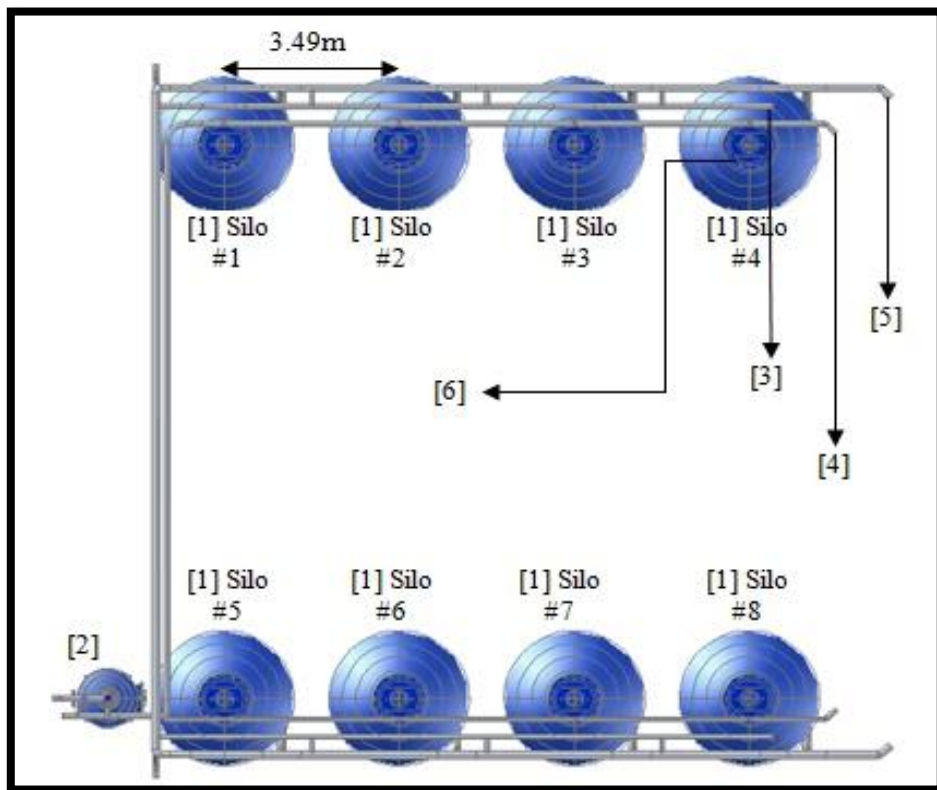


Figura 71 Vista superior de la planta de almacenamiento de sistemas a granel.

Los componentes del sistema indicados en las figuras 71, se describen a continuación en la tabla 81.

Tabla 81 Componentes principales de una planta de almacenamiento y transporte de materiales a granel

| Numero del componente | Nombre del componente |
|--|--|
| 1 | 8 Silos de 800ft ³ |
| 2 | Representación del Colector de Polvo CUS-916 de 37ft ³ de capacidad |
| 3 | Línea de llenado 4" |
| 4 | Línea de venteo 4" con válvula de alivio de presión@30psi |
| 5 | Línea de descarga 6" |
| 6 | Tapas de visita |
| Nota: este sistema requiere de una línea de aire 2" conectada a los compresores para el transporte neumático de los sistemas a granel. | |

En la siguiente tabla 82, se muestran las dimensiones de los silos calculadas y otros datos de interés.

Tabla 82 Dimensiones de los silos de acuerdo a los planos de distribución de tanques de la gabarra D1992

| | |
|---|---------------------------------------|
| Altura de cúpula | 0.38m |
| Altura cilíndrica | 3.7m |
| Altura cónica | 1.5m |
| Angulo de inclinación cónica con respecto a la horizontal | 45° |
| Material | Acero A36 ($\rho=65,604\text{lpg}$) |
| Espesor de pared promedio | 0,4" |

5.16 Representación 3D de las unidades estándares usadas por Schlumberger para la cementación de pozos

a) Representación 3D de Tanque de compensación o *Surge Tank* CUS-122.

En la figura 72, se muestran los principales componentes de un tanque de compensación. Para mayor información técnica y características físicas de esta unidad estándar véase Apéndice-XIII

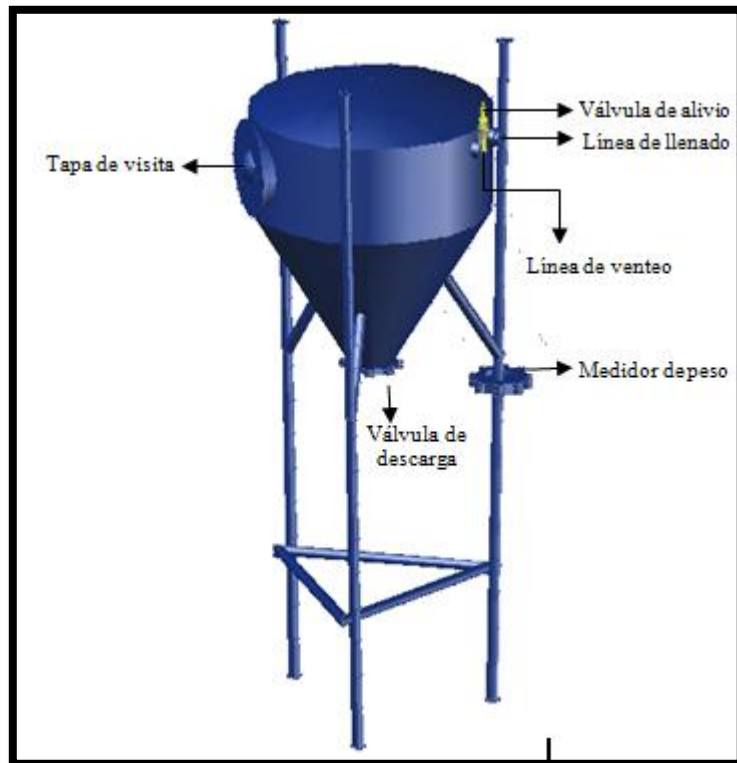


Figura 72 Representación 3D del tanque de compensación CUS-122

b) Representación 3D de Colector de polvo CUS-916

En la figura 73, se muestran los principales componentes de un colector de polvo. Otros datos técnicos y características físicas de esta unidad se muestran en el Apéndice-XIII.

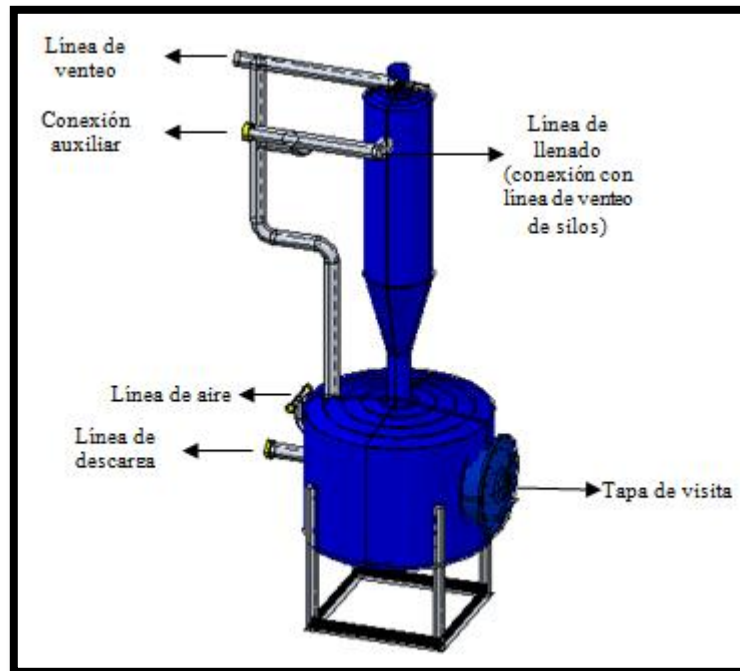


Figura 73 Representación 3D del colector de polvo modelo CUS-916

c) **Representación 3D del sistema de mezcla por lotes o RMX modelo CBS-955**

La información técnica, dimensiones, y otros datos de interés de esta unidad se muestran en el apéndice-VIII.

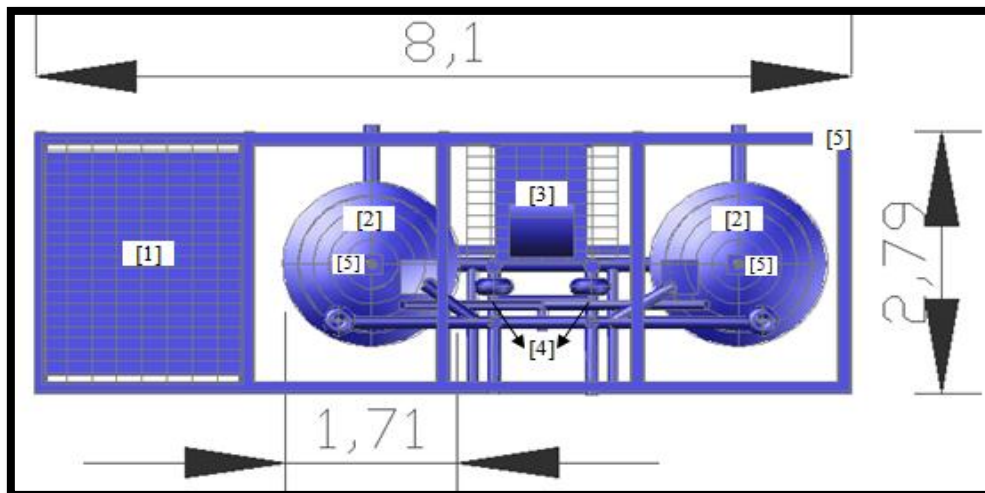


Figura 74 Representación 3D de la unidad RMX modelo CBS-955 visto desde tope.

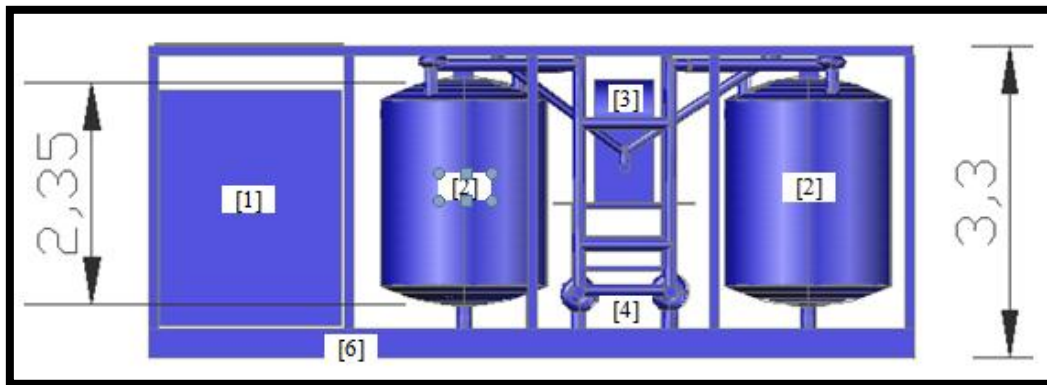


Figura 75 Representación 3D de la unidad RMX modelo CBS-955 visto de frente.

Los componentes del sistema indicados en las figuras 74 y 75, se describen a continuación en la tabla 83.

Tabla 83 Principales componentes del sistema CBS-955

| Leyenda | |
|-----------------------|---|
| Numero del componente | Nombre del componente |
| 1 | Caja de motores |
| 2 | Tanques de 50bbbls |
| 3 | Consola de control y operación |
| 4 | Bombas centrifugas y sistema de recirculación |
| 5 | Agitadores hidráulicos |
| 6 | Plataforma o base de la unidad conocida como patín. |

d) Representación 3D del sistema de aditivos Líquido (LAS) modelo CMP-351

Esta puede observar a continuación los principales componentes del sistema de dosificación de aguas de mezclas y aditivos líquidos. Conformado por un tanque de almacenamiento con cuatro (4) compartimientos cada uno equipado con una bomba de trasiego neumático o bomba de diafragma tal como se muestra en la figura 76, y un tanque de dosificación con válvulas que permiten el control y adición de aditivos líquidos en cantidades determinadas con alta precisión mostrado en la figura 77. Para más especificaciones técnicas y características de esta unidad véase Apéndice-IX.

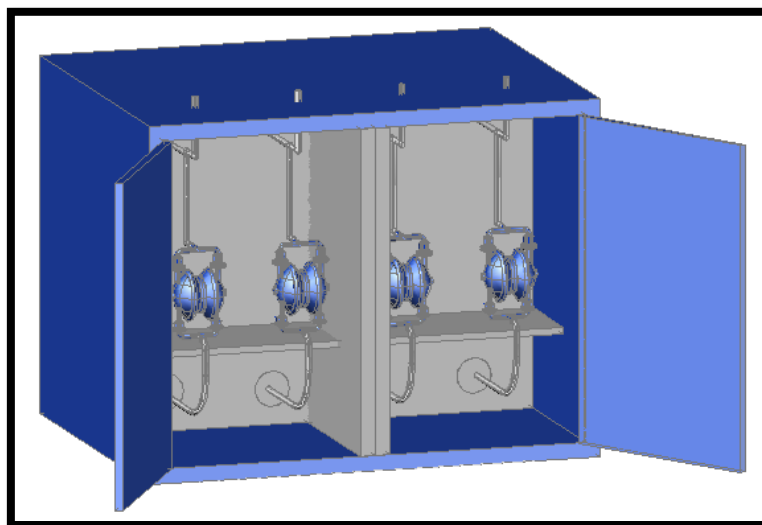


Figura 76 Diseño 3D del tanque de almacenamiento de la unidad CMP-351.

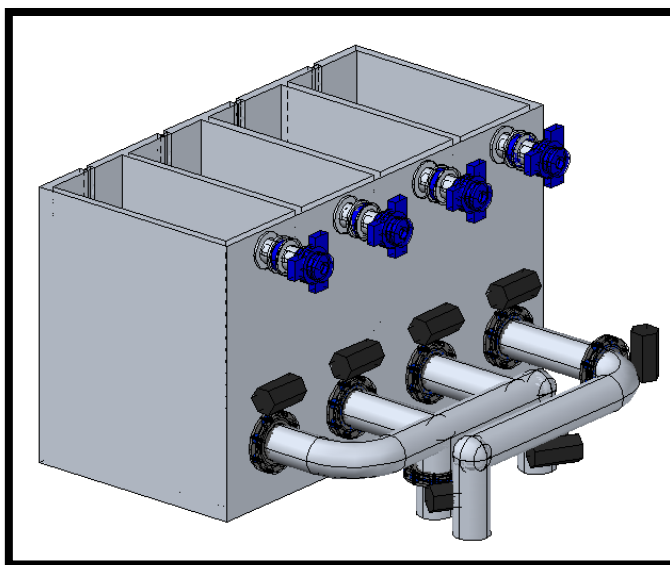


Figura 77 Diseño 3D del tanque de dosificación de la unidad CPM-351

Este sistema usa un estante de dosificación modelo CPM-751 para lograr una mayor precisión en la adición de los aditivos líquidos en la preparación de las aguas de mezcla. Mayor información técnica sobre esta unidad se muestra en el Apéndice-X.

e) Representación 3D de la Batea de mezcla de la unidad CBS-393

En la figura 78, se muestran los principales componentes de una batea de mezcla usada para realizar mezclas continuas de cemento. Para mayor información técnica y características físicas de esta unidad ver Apéndice-VII

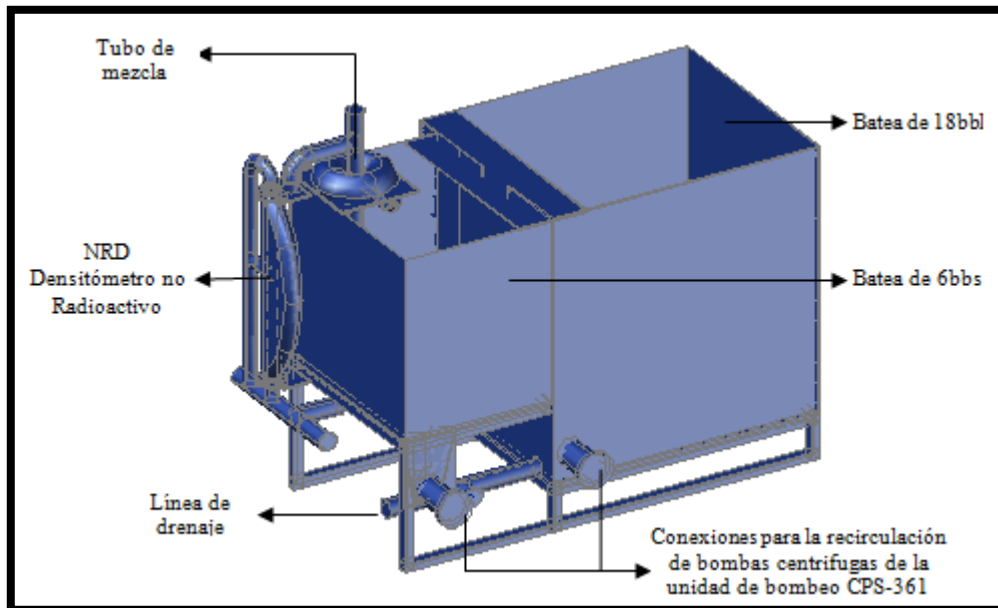


Figura 78 Diseño 3D de batea de mezcla CBS-393

5.17 Representación 3D de la ubicación de tanques, equipos, y unidades en el casco de la Gabarra de cementación

Para el posicionamiento de los tanques cero descarga, agua potable y de recirculación se debe disponer de suficiente espacio bajo casco, además se debe contar con áreas amplias para la sala de máquinas donde se colocaran bombas, generadores, compresores etc., por lo tanto las divisiones internas del casco prediseñado de la Gabarra D1992 podrían tener que modificarse para adaptarlo a las nuevas dimensiones requerida por dichos equipos. A continuación se muestra en la figura N°79 la propuesta para la distribución de los espacios bajo casco realizada a partir de los planos de distribución de tanques de la gabarra D1992.

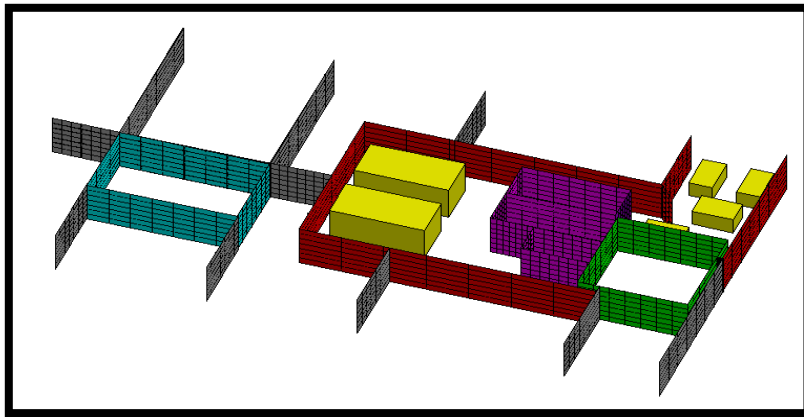


Figura 79 Configuración de aceros bajo casco propuesta para instalación de equipos y tanques.

En la siguiente tabla 84, se indican el uso de los distintos compartimientos internos propuestos para el casco de la gabarra.

Tabla 84 Divisiones y posicionamiento de equipos bajo casco

| Color | Nombre del compartimiento |
|---------|--|
| Azul | Espacios para tanques de agua potable |
| Rojo | Espacios para sala de maquinas (generadores, compresores y bombas) |
| Verde | Espacio para el tanque cero descarga |
| Violeta | Espacio para los tanques de recirculación |
| Gris | Espacios para tanques de flotación, instalación de silos y otros. |

En la siguiente figura 80, se muestran las dimensiones del casco tomadas para la realización del modelado 3D de la nueva gabarra de cementación, basado en el la configuración y dimensiones del casco de la Gabarra D1992.

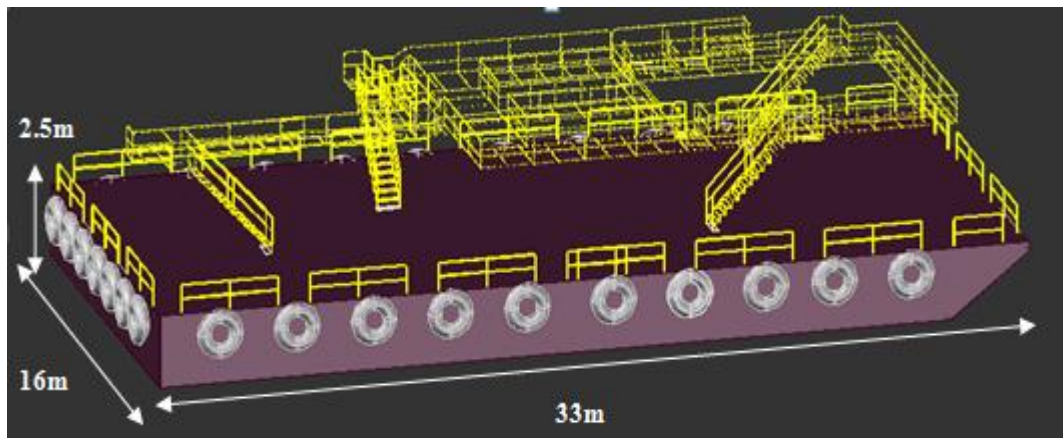


Figura 80 Vista generalizada del diseño 3D del casco de la nueva Gabarra de Cementación.

Es de gran importancia considerar los espacios destinados a la recreación y descanso del personal dentro de la gabarra, a estos espacios se les conoce como acomodaciones. Para la nueva gabarra se propone la instalación de cuatro (4) tráileres dispuestos tal como se muestra en la figura 81, las dimensiones y características de cada uno se señalan en la tabla 85.

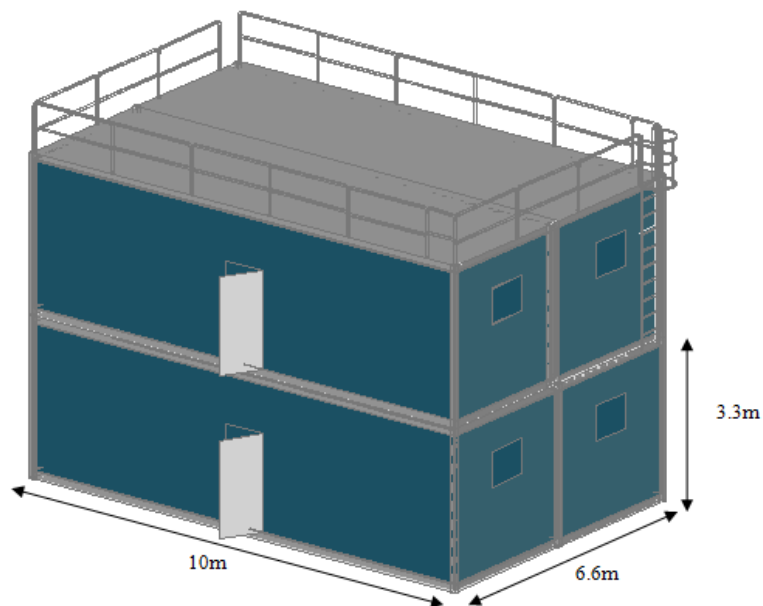


Figura 81 Diseño 3D de tráileres para las acomodaciones de la gabarra.

Tabla 85 Datos de interés sobre las acomodaciones y cabina del cliente

| Equipo | Comentarios | Proveedor |
|---|--|--------------------|
| Acomodaciones para buques y módulos de trabajo | <ul style="list-style-type: none"> - Acomodaciones para: 16 personas a bordo - 4 módulos, cada uno con las siguiente dimensiones: Longitud: 10,3 m Ancho: 3,3m Altura: 3,3m - 1 modulo para ser acondicionado como cabina del cliente, sala de control y supervisión. Con las siguientes dimensiones: Longitud: 6m Ancho: 3,3m Alto: 3,3m | The Ferguson Group |

Para completar el modelado 3D de la Gabarra de cementación también se realizó la representación 3D de los equipos auxiliares con el objetivo de indicar la distribución completa de los equipos sobre la cubierta de la gabarra. Estos equipos son la bomba contra incendio mostrada en la figura 82 y la grúa de 60 toneladas mostrada en la figura 83.

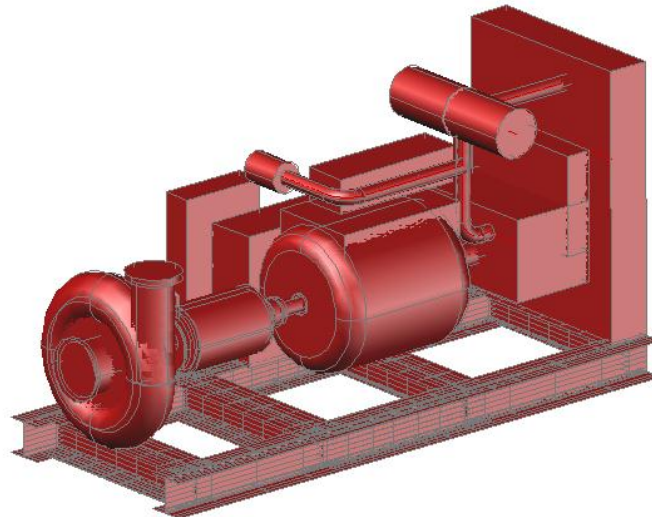


Figura 82 Representación 3D de Bomba contra incendio sobre patín modelo UEM 1200 FPSK

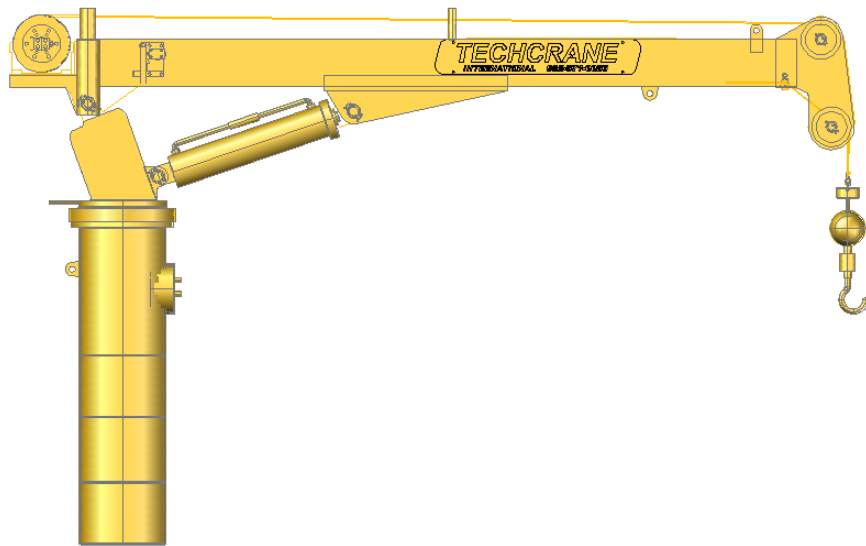


Figura 83 Representación 3D de grúa telescópica de 60T.

Finalmente se muestra a continuación el diseño preliminar 3D propuesto para la nueva Gabarra de Cementación de segmento *Well Services-WIT* de Schlumberger Venezuela, cuyo principal propósito será ofrecer servicios a los pozos del Lago de Maracaibo (Figura 84, 85 y 86)

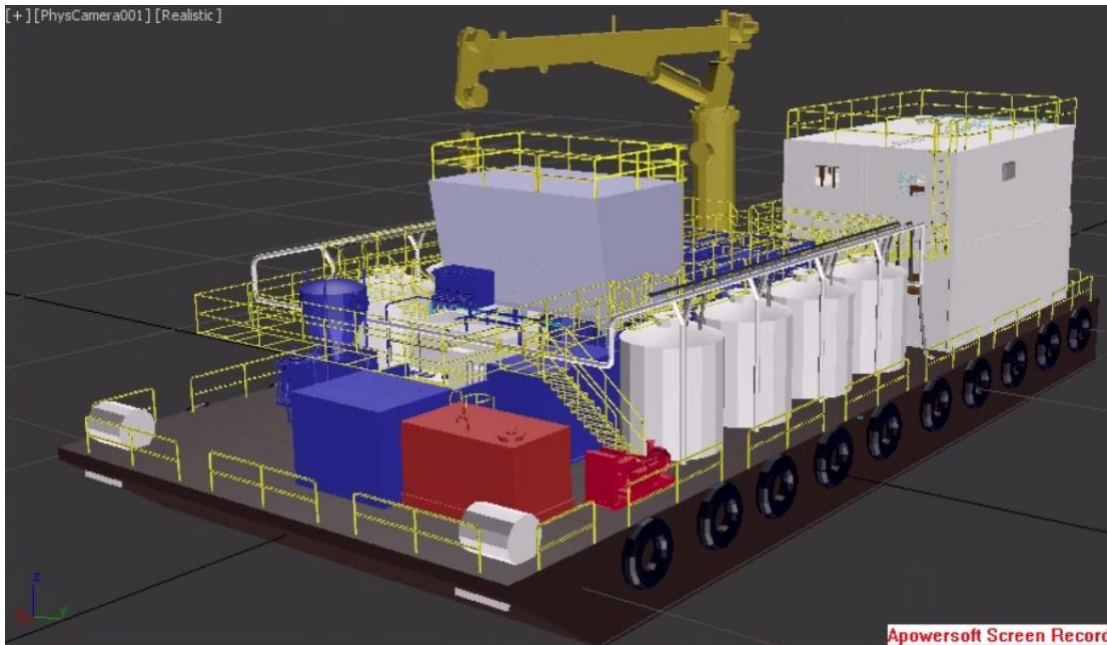


Figura 84 Vista generalizada del diseño 3D de la Gabarra de Cementación

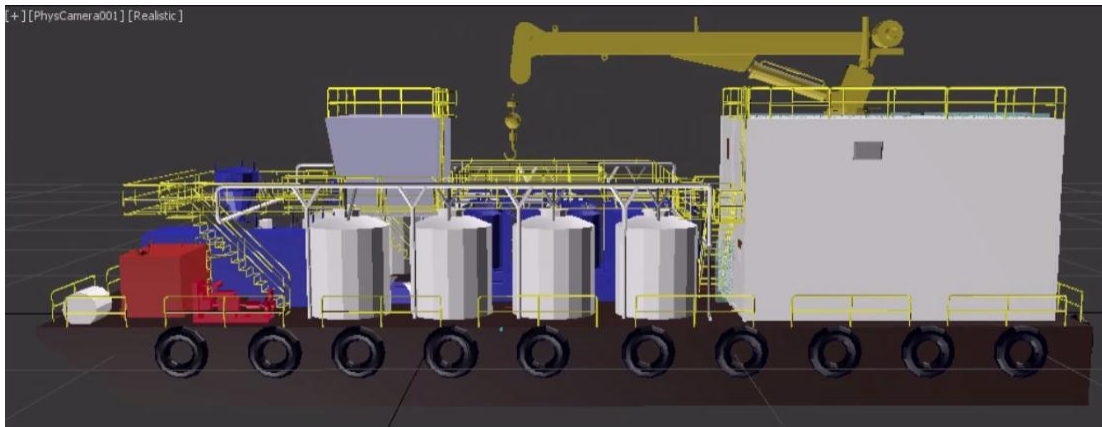


Figura 85 Vista generalizada del diseño 3D de la Gabarra de Cementación

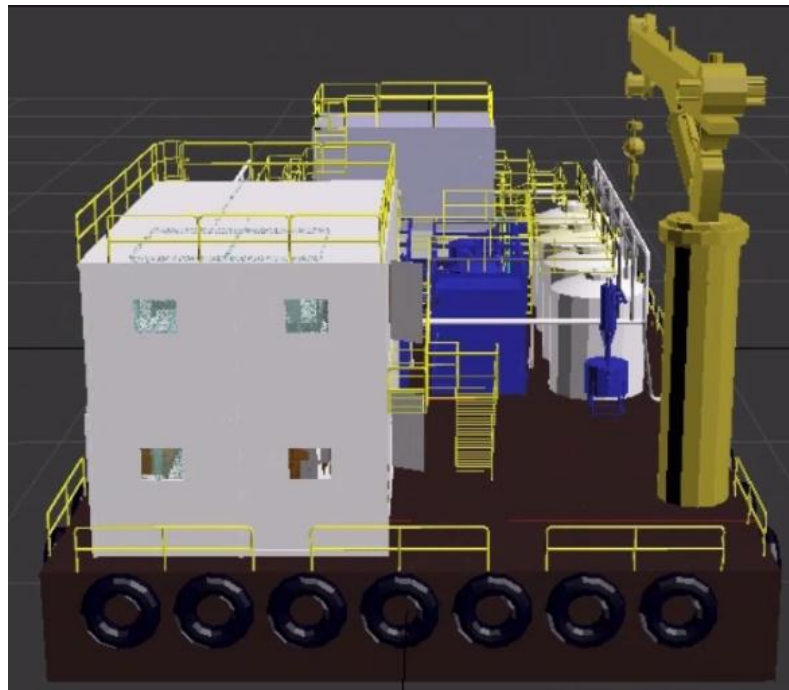


Figura 86 Vista lateral del diseño 3D de la gabarra de cementación.

CONCLUSIONES

Una vez realizada la investigación y culminado el análisis de los datos se puede concluir acerca de los resultados obtenidos en función a los objetivos específicos.

- El estudio realizado a las condiciones generales que actualmente presenta la Gabarra D1992, permitió la elaboración de una lista de los equipos principales, como son, los equipos de bombeo y mezcla, los equipos secundarios, como son, los tanques de almacenamiento de materiales y fluidos, y los equipos auxiliares.
- Se consultó toda la información existente y disponible acerca de todo el proceso de cementación, se determinó cuáles son los equipos necesarios para operar en ambientes lacustres como es el caso del Lago de Maracaibo.
- Las características geológicas presentes en la cuenca del Lago de Maracaibo, determinan muchos de los parámetros de diseño de una cementación, tales como el sistema de cemento a utilizar, volúmenes de fluido y la potencia hidráulica requerida y una vez definidos se escogen los equipos más adecuados.
- Los tanques para el almacenamiento de fluidos y materiales, se diseñaron considerando capacidades estándares, espacios disponibles en el casco, materiales adecuados, zonas con alto riesgo de incendios y zonas de altas presiones y temperaturas.
- Con la realización del diseño 3D de los tanques y la representación de los equipos se logro construir el modelado 3D de la nueva gabarra de cementación. El modelo se realizo considerando las conexiones tubulares entre los equipos de bombeo y mezcla, lo cual permitió el entendimiento detallado del funcionamiento operacional de la gabarra.

En general, la selección de todos los equipos necesarios para el correcto funcionamiento de una gabarra de cementación y bombeo de fluidos es un proceso complejo que requiere de mucha investigación, descripción, análisis y de mucho conocimiento técnico y experiencia. Resulta en la integración de muchas disciplinas, tales como la matemática, la física, la química y otras áreas afines a la industria como son la ingeniería mecánica, eléctrica, hidráulica y naval. Por lo tanto, requiere de un

equipo multidisciplinario que aporte ideas, sugerencias y recomendaciones con el propósito de lograr el soporte técnico adecuado y garantizar el logro de los objetivos exitosamente.

RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta algunas deficiencias encontradas en la gabarra D1992 y las sugerencias del personal de mantenimiento, supervisores y operadores se señalan a continuación recomendaciones relacionadas con los equipos para ser tomadas en cuenta en el diseño final, construcción y equipamiento de la nueva gabarra de cementación.

- a) Se recomienda la adquisición de un compresor accionado con motor diesel, ubicado fuera de la sala de máquina para ser usado solo en caso de emergencia si los generadores llegan a tener alguna falla técnica durante la ejecución de un trabajo de cementación.
- b) Se recomienda la adquisición de una planta eléctrica de al menos 15Kva para ser usada por las acomodaciones durante los tiempos de espera por taladro, con el propósito de reducir el consumo de combustible y garantizar la preservación de los recursos naturales.
- c) Para la limpieza y lavado de tanques se requiere de un sistema de drenaje eficiente conectado al tanque cero descarga para así evitar la contaminación de las aguas.
- d) Un sistema de monitoreo con cámaras de seguridad alrededor de toda la gabarra es necesario para garantizar la protección del personal y de los activos de la empresa.
- e) La instalación fija de bombas de trasiego neumático en la sala de máquinas para bombear los fluidos que se depositan, automáticamente hacia el tanque cero descarga.
- f) Iluminación y sistema de ventilación con extractores y ventiladores en los compartimientos bajo casco dispuestos para la instalación de los silos, con el propósito de mejorar las condiciones del área a la hora de realizar inspecciones o reparaciones.
- g) Entrenamiento especializado del personal para el manejo del sistema de anclaje una vez que el proveedor y especialista realicen la instalación del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [¹] *Cuencas Petrolíferas de Venezuela. (2010)*. Obtenido en Abril de 2015, de <http://geologiavenezolana.blogspot.com/2010/11/cuencas-petroliferas-en-venezuela.html>.
- [²] Cammarata, N., & Bravo, I. (2014). *CEM 2 Primary Cementing*. Trabajo no publicado, Well Services, Schlumberger.
- [³] Well Services Training&Development, IPC. (2007). *Cementing Mixing Equipments. Jet Manual 07*. Trabajo no publicado, Schlumberger
- [⁴] Vidick, V y otros. (1991). *Cement Mixing: Better Understanding and New Hardward*. Obtenido el 02 de Julio de 2015, de <http://www.slb.com>
- [⁵] Cammarata, N., Rebbou, M. (2014). *Squeeze Cementing. CEM 4*. Trabajo no publicado, Well Services, Schlumberger.
- [⁶] Cammarata, N., Peyle, S. (2013). *An Introduction to Cement Plugs. CEM 3.1*. Trabajo no publicado, Well Services, Schlumberger.
- [⁷] Well Services Training & Development, IPT. (2006). *Jet Manual 06: Bulk Plant Equipments*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [⁸] Well Services Training&Development, IPC, Schlumberger. (2006). *Well Cementing* (Segunda ed.). Trabajo no publicado, Schlumberger. Sugar Land, Texas.
- [⁹] Schlumberger. (2013). *Modular Liquid Additive System. Cut Sheet CMP-351*. Trabajo no publicado.

- [10] Well Services Training&Development, IPC. (2012). *LAS Metering Rack. Meters Liquid Additives for Cement Slurry Blending. Cut Sheet CMP-751*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [11] Schlumberger. (2013). *Slurry Mixing System. Cut Sheet CBS-393*. Trabajo no publicado.
- [12] Well Services Training&Development, IPC. (2010). *Batch Mixer. Cut Sheet CBS-955 Non-US Version Twin 50bbl Batch Mixer*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [13] Well Service Training & Development, IPC. (2012). *Jet Manual 03: Centrifugal Pumps*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [14] Well Service Training & Development, IPC. (2006). *Jet Manual 02: Triplex Pumps*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [15] Caterpillar. (s.f.). *Electric Power- Technical Spec Sheet Standard C15 ACERT*. Obtenido el 24 de Junio de 2015, de <http://www.Cat.com>
- [16] SIEMENS S.A. (s.f.). *Catalogo Ventiladores Industriales*. Obtenido en Junio de 2015, de www.siemens.co.com/catalogomotores.htm
- [17] Well Service Training & Development, IPC. (2007). *Jet Manual 18: Cement Pump Skid CPS-361 (Vol. 1.1)*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- [18] *Las grúas y sus tipos* (2014). Obtenida el 06 de junio de 2015, de http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=11120:las-gruas-y-sus-tipos&catid=64:industria&Itemid=87
- [19] Pierre, L. T., Jacques, M. (1990). *Design guide for offshore structures. Anchoring of floating structures*. Paris. Editorial Technip.
- [20] Venezuela Mia. (s.f.). *Cuenca del Lago de Maracaibo*. Obtenido el 02 de abril de 2015, de <http://www.venemia.com/Vzla/VzlaGeog/VeneGeog2.php>

- [²¹] Schlumberger Oilfield Services. (1997). *WEC. Evaluación de Pozos. Editorial: Caracas Slb, Venezuela.*
- [²²] PDVSA, Exploración y Producción (2012). *Propuesta de Perforación Campo Tia Juana Lago, Maracaibo-Edo Zulia.*
- [²³] PDVSA, Exploración y Producción, Gerencia de Ingeniería de Perforación. (2014). *Propuesta de perforación Campo Lagunillas, Maracaibo-Edo. Zulia.*
- [²⁴] PDVSA, Exploración y Producción, Gerencia de Ingeniería de Perforación Lago Sur. (2014). *Programa de Perforación Campo Bachaquero Lago, Maracaibo-Edo. Zulia.*
- [²⁵] PDVSA, Exploración y Producción, Gerencia de Ingeniería de Perforación Lago Sur. (2012). *Consideraciones operacionales de perforación Centro Lago. Maracaibo-Edo. Zulia.*
- [²⁶] PDVSA, Exploración y Producción (2014). *Programa de Ingeniería de Perforación Lago Norte I/U.P. Campo Urdaneta, La Salina, Edo. Zulia, Pocatera, W.*
- [²⁷] Bustamante, J., Cabello, L., Olasz, A. (2012). *Programa de trabajo de Cementación del Revestidor Intermedio 7" en una localización del Campo Tia Juana Lago. Schlumberger Venezuela, S.A., Well Services-WIT, Ojeda, Edo Zulia-Venezuela.*
- [²⁸] Cuellar, A., Gonzalez, J. J. (2014). *Programa de trabajo de Cementación del Revestidor de Producción 7" en una Localización en el Campo Lago Norte. Schlumberger Venezuela, S.A., Well Services-WIT, Ojeda, Edo. Zulia-Venezuela.*
- [²⁹] Cuellar, A., Gonzalez, J. J. (2014). *Programa de trabajo de Cementación del Revestidor de Producción 7" en la Localización del Campo Bachaquero.*

Schlumberger Venezuela S.A., Well Services-WIT, Ojeda, Edo. Zulia-Venezuela.

- [30] Godoy, S., Querales, J. (2012). *Programa de trabajo de cementación del Revestidor 5 1/2" en una Localización del Campo Centro Lago*. Schlumberger Venezuela, S.A., Well Services-WIT, Ojeda, Edo.Zulia-Venezuela.
- [31] Márquez, M. (2014). *Programa de trabajo de cementacion del Liner 5" en una Localización del Campo Urdaneta*. Schlumberger Venezuela, S.A., Well Services-WIT, Ojeda, Edo. Zulia-Venezuela.
- [32] WEG Equipamentos Eléctricos, S.A. División Internacional. (s.f). *W22 Motor trifásico*. Obtenido el 20 de Junio de 2015, de www.weg.net
- [33] BETICO Compressor, Inc. *Compresores de Piston, Serie SB*. Obtenido el 19 de abril de 2015, de http://www.betico.com/adjuntos/beticoCatalogos/16_archivo.pdf
- [34] Gardner Denver. (s.f.). *Electra-Screw. Rotary Screw Air Compressors*. Obtenido el 22 de junio de 2015, de <http://www.gardnerdenverproducts.com/asset.ashx?id=4786>
- [35] Techcrane International LLC. (2014). *T60 Telescopic Boom Marine Crane*. Obtenido el 10 de Julio de 2015, de <http://www.techcrane.com/t60-telescopic-marine-crane.html>
- [36] G&L C.A. Desarrollo de Ingeniería Naval. (2015). *Informe predique: Especificaciones para los trabajos de reparación y planos de distribución de Tanques de la Gabarra de Cementación D-1992*. Trabajo no publicado, Schlumberger Venezuela S.A. Maracaibo-Venezuela

- ^[37] *UE Manufacturing. (s.f.). Especificaciones técnicas de la bomba contra incendio en Gabarra D-1992. Trabajo no publicado, Well Services, WIT, Schlumberger Venezuela S.A.*

BIBLIOGRAFÍA

- Well Services Global Vessel Group. (2011). *Well Services QHSE Standard 19: Vessel and barge Operations* (Vol. 2.0). (M. Anderson, Ed.). Trabajo no publicado, Schlumberger.
- Well Service Training & Development, IPC. (2006). *Jet Manual 14: Intro to cementing* (Vol. 1.0). Trabajo no publicado, Schlumberger.
- Well Service Training & Development, IPC. (2007). *Jet Manual 04: Basic Oilfield Equipment* (Vol. 1.0). Trabajo no publicado, Schlumberger.
- Well Intervention, Schlumberger. (01 de junio de 2014). Fichas Técnicas de los Motores Eléctricos. *Motores eléctricos Gabarra 1021*. Trabajo no publicado, Schlumberger.
- Soporte de Operaciones WS, HSE y Gerencia de sistemas de calidad. (2014). *Well Services QHSE Standard 18: Chemical Product Management*. (Vol. 2.6). Trabajo no publicado, Schlumberger.
- Organizacion Maritima Internacional (OMI). (2002). *Convenio Internacional para prevenir la contaminacion de los buques, MARPOL 73/78* (refundida ed.). (A. Embankment, Ed.) Londres.
- Organizacion Maritima Internacional (OMI). (1974). *Convenio Internacional para la Seguridad de la vida en el Mar, SOLAS*. Londres
- Organizacion Maritima Internacional (OMI). (1974). *Convenio Internacional para la Seguridad de la vida en el Mar, SOLAS*. Londres.
- Gomez, B. (2009). *Introduction to Offshore Operations* (Vol. 5.2). Trabajo no publicado, Well Services, Schlumberger.

Well Services, Schlumberger. (s.f.). *Cementing Catalog. Equipments. Cementing Services and Products*. Trabajo digital no publicado.

Organizacion Maritima Internacional (OMI). (1969). *International Convention on tonnage measurement of ships*. Londres.

Organizacion Maritima Internacional (OMI). (2001). *International Code for Fire Safety Systems FSS CODE* (Vol. Resolucion MSC 98(73)). Londres.

PDVSA Servicios Petroleros, S.A. (2012). *Servicio Integral de Cementación de la Región Occidente, Paquete Lago 100%. Contrato#4600053787/6600061744*. Trabajo no publicado, Well Services, Schlumberger.

Muñoz P., Carmen A. (2013). *Estudio para la instalación de un sistema de Recolección y tratamiento de combustible en las Turbinas a gas de la planta punto fijo C.A.D.A.F.E*. Trabajo de grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

APÉNDICES

A-I. Especificaciones Técnicas de Compresor de alta presión y bajo caudal Gardner Denver:



| Motor HP | Modelo | Presión de trabajo | Caudal de aire |
|----------|----------|--------------------|----------------|
| | | psi | cfm |
| 40 | ES40 EDE | 100 | 180 |
| | | 125 | 155 |
| | | 150 | 141 |
| | | 175 | 115 |

| Motor HP | Dimensiones aproximadas (in) | | | Peso aproximado (lb) |
|----------|------------------------------|-------|--------|----------------------|
| | Largo | Ancho | Altura | |
| 40 | 70 | 42 | 43.5 | 1950 |

Equipo Estándar:

- Compresor de rotación Axial con válvula de succión modular.
- 460 voltios
- 3 fases
- 60Hz
- 1800 rpm
- 1.15 S.F.
- Motor Eléctrico 40HP

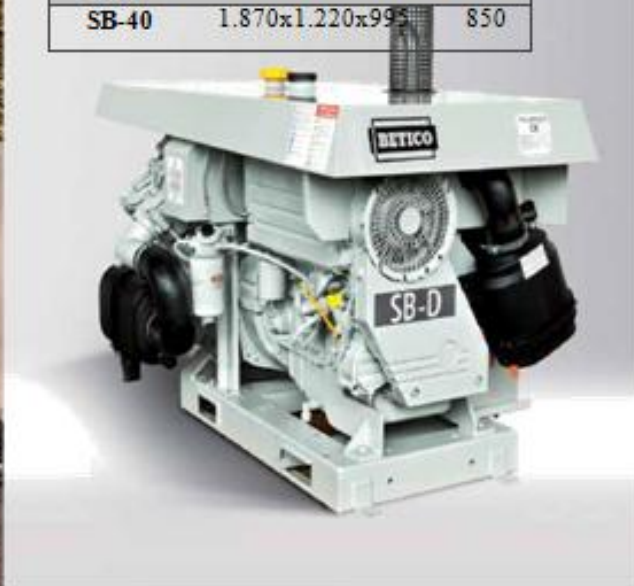


A-II: Especificaciones Técnicas del Compresor de baja presión y alto caudal BÉTICO

| MODELO | VELOCIDAD | CAUDAL | PRESIÓN | MOTOR | CONSUMO |
|--|-----------|--------|---------|-------|---------|
| | r.p.m. | m3/min | Br | | Kw |
| ACCIONAMIENTO POR MOTOR ELECTRICO 60 HZ. | | | | | |
| SB-20 | 1.200 | 8,7 | 2 | 30 | 24,7 |
| SB-30 | 1.200 | 13,9 | 2 | 37 | 36,6 |
| SB-40 | 1.200 | 17,5 | 2 | 55 | 48,5 |



| MODELO | DIMENSIONES | PESO |
|--------|-----------------|------|
| | Lmm x Amm x Hmm | kg |
| SB-20 | 1.455x1.070x890 | 560 |
| SB-30 | 1.870x1.220x990 | 800 |
| SB-40 | 1.870x1.220x990 | 850 |



Serie
SB
Compresores de Pistón



A-III: Especificaciones Técnicas de Generador Caterpillar:



ARREGLO DE GENERADOR DIESEL



Stanby EM0177,
500ekW 625kVA 60Hz
1800 rpm 480 Volts

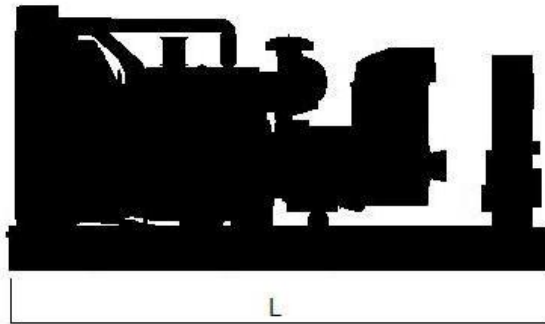
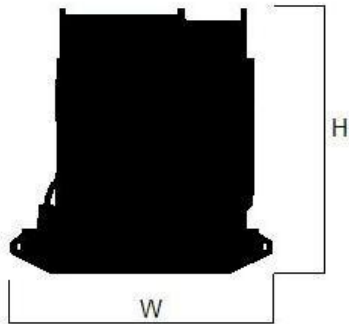
| Rendimiento del Paquete | | |
|---|---------------------------|---------------|
| Energía generada | 625KVA 500 ekW | |
| Consumo de combustible | | |
| 100% de carga con ventilador | 136.6 L/hr | 35.9 Gal/hr |
| 50% de carga con ventilador | 78.0 L/hr | 20.5 Gal/hr |
| Sistema de enfriamiento | | |
| Temperatura del aire ambiental | 51°C | 123 °F |
| Restricción al flujo de aire (sistema) | 0.12 kPa | 0.5 in agua |
| Flujo de aire (max@ velocidad nominal) | 819.6 m ³ /min | 28958 cfm |
| Capacidad de enfriamiento del motor con arreglo de radiador) | 68 L | 18.0 US gal |
| Entrada de aire | | |
| Tasa de flujo de aire de combustión | 35.2 m ³ /min | 1243 cfm |
| Sistema de escape | | |
| Temperatura del gas de la chimenea de escape | 683.8 °C | 1263 °F |
| Tasa de flujo de gas de escape | 90.2 m ³ /min | 3185 cfm |
| Tamaño de la brida de escape (diámetro interno) | 139 mm | 5.5 in |
| Presión de salida del sistema de escape (mínima permitida) | 1 kPa | 4 in. agua |
| Presión de salida del sistema de escape (máxima permitida) | 10 kPa | 40 in. agua |
| Emisión de calor | | |
| Emisión de calor al refrigerante (total) | 253 kW | 14375 Btu/min |
| Emisión de calor a al escape (total) | 430 kW | 24457 Btu/min |
| Emisión de calor a la atmosfera desde el motor. | 95.6 kW | 5436 Btu/min |
| Emision de calor a la atmosfera desde el generador | 29.1 kW | 1655 Btu/min |
| Sistema de lubricación | | |
| Aceite lubricante equipado con filtro para sumidero estándar. | 60 L | 15.9 US Gal |

GENERADOR CAT

MOTOR DIESEL CAT

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Frame= 6124F - Número de poleas= .4 - Número de cables= 12 - Número de cojinetes=Single - Insolación= Clase H - Sobre capacidad de velocidad= % de tasa= 125% - Regulador de voltaje= 3 fases de detección con modulo ajustable de descarga. - Regulación de voltaje= Menos de ±1/2% (Estado estable), Menos de ±1/2% (3% cambio de velocidad) - Factor de influencia telefónica= Menos de 50 Harmónico. - Distorsión= Menos de 5% | <p>C15 ATAAC, L-6, 4 carreras, diesel enfriado hidráulicamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bore=137.20 mm (5.4 in) - Carrera=171.4 mm (6.75 in) - Desplazamiento= 15.20 L (927.56 in³) - Relación de compresión= 16:1 - Aspiración=ATAAC - Sistema combustible=MEUI - Tipo de gobernador= ADEM™ A4 <p>Estrategia Combustible/Emisiones: EPA Tier 4 Interim</p> |
|---|---|

| DIMENSIONES DEL PAQUETE | | |
|-------------------------|---------|---------|
| Longitud (L) | 4273 mm | 169 in |
| Ancho (W) | 2058 mm | 81 in |
| Altura (H) | 2092 mm | 83 in |
| Peso | 3759 kg | 8288 lb |



**A-IV: Especificaciones técnicas de motores para las bombas centrífugas
SIEMENS:**



RGZZESD
TEFC Motores

- 1 a 300 HP
- 1.0 factor de servicio, 40°C ambiente
- T3B código de temperatura (Grupo D)
- T3C código de temperatura (Grupo C)
- 3600, 1800, 1200, o 900 RPM
- 3 fases, 60 Hz; 230/460 volt bajo operación - 25 HP,
- 460 volt 25 HP y mas;
- 200 & 575 volt disponible
- Clase F insolación,
- Clase B aumento de temp.
- NEMA diseño B

nema
MOTORS

SIEMENS

A-V: Especificaciones técnicas de Ventiladores Industriales axiales SIEMENS:



Datos técnicos

| Tipo | Diámetro mm. | Caudal m3/s | Potencia kW | Intensidad (A) | | Nivel ruido (dB) (A) | Peso kg. |
|---|--------------|-------------|-------------|----------------|------|----------------------|----------|
| | | | | 220V | 440V | | |
| Con motor trifásico 220/440., 4 polos, 1800RPM | | | | | | | |
| 2CC2 404-5YP6 | 400 | 1.45 | 0.20 | 1.14 | 0.57 | 74 | 7.0 |
| 2CC2 504-5YB6 | 500 | 0.66 | 0.66 | 3.00 | 1.50 | 78 | 21.5 |
| 2CC2 634-5YB6 | 630 | 1.60 | 1.60 | 6.40 | 3.20 | 87 | 30.5 |
| 2CC2 714-5YB6 | 710 | 3.58 | 3.58 | 14.00 | 7.00 | 91 | 46.0 |



A-VI: Renovaciones de aire por hora recomendadas para algunos locales:

| Locales | Renovaciones por hora* |
|--|-------------------------------|
| Iglesias | 1-4 |
| Habitaciones de vivienda | 3-5 |
| Oficinas y despachos | 5-8 |
| Salas de conferencias, aulas y escuelas | 4-10 |
| Restaurantes, casinos y comedores | 5-10 |
| Comercios en general | 6-10 |
| Cuartos de baño y guardaropas | 8-10 |
| Salas de acumuladores | 8-15 |
| Supermercados | 8-15 |
| Cafés y bares | 10-12 |
| Salas de espectáculos y baile | 10-15 |
| Clínicas, hospitales y laboratorios | 6-10 |
| Clínicas de cirugía y quirófanos | 10-20 |
| Sanitarios públicos | 15-20 |
| Salas de enfermos infecciosos | 20-40 |
| Sótanos y almacenaje | 6-12 |
| Sótanos de estacionamiento | 10-15 |
| Cuartos de basura | 10-20 |
| Cocinas, repostería y pastelerías | 10-20 |
| Panaderías | 20-30 |
| Talleres, fábricas y almacenes | 6-12 |
| Manufacturas, textiles y del papel | 10-20 |
| Salas de copias y fotografía | 12-20 |
| Fábricas de productos insalubres | 12-25 |
| Tintorerías, lavanderías y salas de máquinas | 15-20 |
| Centrales eléctricas | 15-30 |
| Salas de calderas | 20-30 |
| Fundiciones | 20-30 |
| Quemadores de basura y residuos | 20-40 |
| Talleres de pintura | 25-50 |
| Hornos de cocción | 30-60 |
| *Valor de orientación para algunos lugares comunes en la práctica | |

A-VII: Especificaciones técnicas del Sistema de Mezcla de Lechadas CBS-393



| Mezclador Mark III Slurry Chief | | | |
|--|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Longitud diagonal | 54 in (1,372 mm) | | |
| Ancho | 30 in (762 mm) | | |
| Alto | 27 in (689 mm) | | |
| Peso seco (Sin tubo de mezcla) | 297 lbs (135 kg) | | |
| Max. Capacidad de mezcla | 60 sacos de cemento seco por minuto (2,560 kg/min) | | |
| Rango de densidad | 11.6 - 22 lb/gal (1.4 - 2.64 s.g.) | | |
| Tubo de lechada y mezcla | | | |
| Capacidad | 6-bbl tubo de mezcla + 18-bbl tubo promedio (954 + 2,862 L) | | |
| Longitud (promedio) | 9 ft (2,727 mm) | | |
| Ancho (promedio) | 6 ft 8 in (2,011 mm) | | |
| Alto (promedio) | 8 ft 8 in (2,642 mm) | | |
| Peso seco, excl. mezclador | 3,300 lbs (1,500 kg) | | |
| Peso operacional, excl. mezclador | 23,460 lbs (10,641 kg) asumiendo 20 ppg de fluidos en ambos tubos. | | |
| Capacidades de tasas de mezclas de lechadas | | | |
| Densidad | 22 lb/gal (2.64 s.g.) | 19 lb/gal (2.28 s.g.) | 17 lb/gal (2.04 s.g.) |
| Tasa de entrega a granel | 2,328 lb/min (1,056 kg/min) | 5,223 lb/min (2,639 kg/min) | 5,805 lb/min (2,633 kg/min) |
| Tasa de lechada | 3 bbl/min | 8 bbl/min | 11 bbl/min |



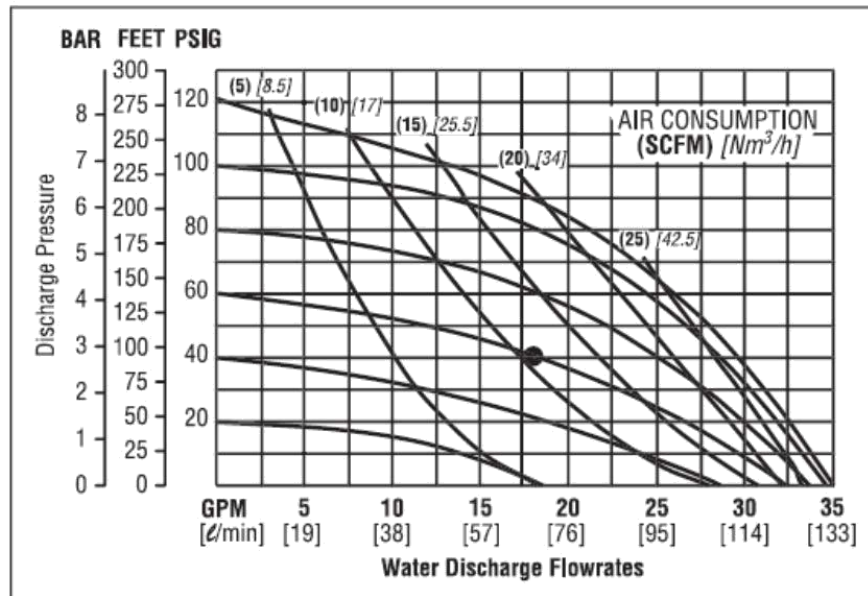
A-VIII: Especificaciones técnicas del Mezclador por Baches CBS-955



| | |
|---|---|
| Motores | DEUTZ BF6M1015C 24VDC 14IN FLYWHL |
| Capacidad | 365 BHP @ 1950 RPM |
| Cja de cambios | modelo 28102AA |
| Mecanismo de accionamiento | |
| Motor hidráulico | 2 bombas de paletas hidráulicas Denison |
| Bomba hidráulica | 2 bombas de paletas hidráulicas Denison |
| Bomba centrifuga | 2 Schlumberger RA56 |
| Agitadores | 2 Mezclador impulsor 2 nivel impulsada por motores hidráulicos Poclairn |
| Tanques de mezcla | 2 x 50 BBL |
| Conformidad de las emisiones del motor | EPA NonRoad Tier II / Euro NonRoad Stage II |
| Especificaciones de la unidad | |
| Longitud | 8,100 mm (26 ft 7 in) |
| Ancho | 2,750 mm (9 ft) |
| Alto | 3,300 mm (10 ft 10 in) |
| Peso | 15,000 Kg (33,070 lbs) |
| Tasa al ambiente | 0°C a 48°C |

Schlumberger

A-IX: Especificaciones técnicas del Sistema Modular de Aditivos Líquidas CMP-351



Curvas de bomba. No excede la presión de aire suministrada de 8.6bar (125psig)

Especificaciones Generales

| | | |
|---|---|--------------------|
| Longitud | 120 in | 3,048 mm |
| Ancho | 96 in | 2,438 mm |
| Alto | 94 in | 2,388 mm |
| Peso seco | 6,614 lbm | 3,000 kg |
| Capacidad de los compartimientos | | |
| Compartimento #1 | 300 galUS | 1,135 L |
| Compartimento o#2 | 1,000 galUS | 3,785 L |
| Compartimento #3 | 550 galUS | 2,082 L |
| Compartiment0 #4 | 750 galUS | 2,839 L |
| Características de la bomba | <i>Para otros valores ver la figura de curvas de bomba.</i> | |
| Max. Requerimiento de aire. | 100 psi @ 100 scf/min | 6.9 bar @ 47.2 L/s |
| Presión de descarga@ máximo requerimiento de aire | 22 psi | 1.52 bar |
| Tasa de flujo de descarga@ Máximo requerimiento de aire | 130 galUS/min | 492.1 L/min |
| Otros | | |
| Manómetros disponibles | Imperiales and Métricos | |
| Control Panel | Standard | |
| Estante de dosificación | Standard | |
| Lightnin® Mixers | 2 | |
| Tanque de dosificación | | |
| Longitud | 76 in | 1,930 mm |
| Ancho | 38 in | 965 mm |
| Alto | 46 in | 1,168 mm |



A-X: Especificaciones técnicas del Estante de Dosificación CMP-751 del Sistema de aditivos líquidos



| | |
|-------------------------------------|---|
| Longitud promedio | 1,692 mm (67 in) |
| Ancho promedio | 610 mm (24 in) |
| Altura promedio | 1,006 mm (40 in) |
| Peso vacío | 310 kg (683 lb) |
| Medidores de flujo (4) | Electromagnéticos |
| Aplicación | Líquidos conductivos - Cuatro 2-en línea |
| Precisión | 98 % por 50 litros de volumen |
| Consumo eléctrico | 110/220 VAC |
| Consumo de aire | 70 a 110 psi (5 a 8 bar) |
| Cabina de Control | |
| Longitud promedio | 560 mm (22 in) |
| Ancho promedio | 360 mm (15 in) |
| Altura promedio | 250 mm (10 in) |
| Material | 316L Stainless |
| Consumo eléctrico | 380-500 VAC 50 Hz |
| Certificación/Protección de Ingreso | EExD IIB T5 (Certificado CESI 02 ATEX 075)/IP65 |
| Caja de válvula solenoide | |
| Longitud promedio | 590 mm (24 in) |
| Ancho promedio | 200 mm (8 in) |
| Altura promedio | 120 mm (5 in) |
| Material | 316L acero inoxidable |

A-XI: Especificaciones técnicas de la unidad de bombeo de cementación CPS-361

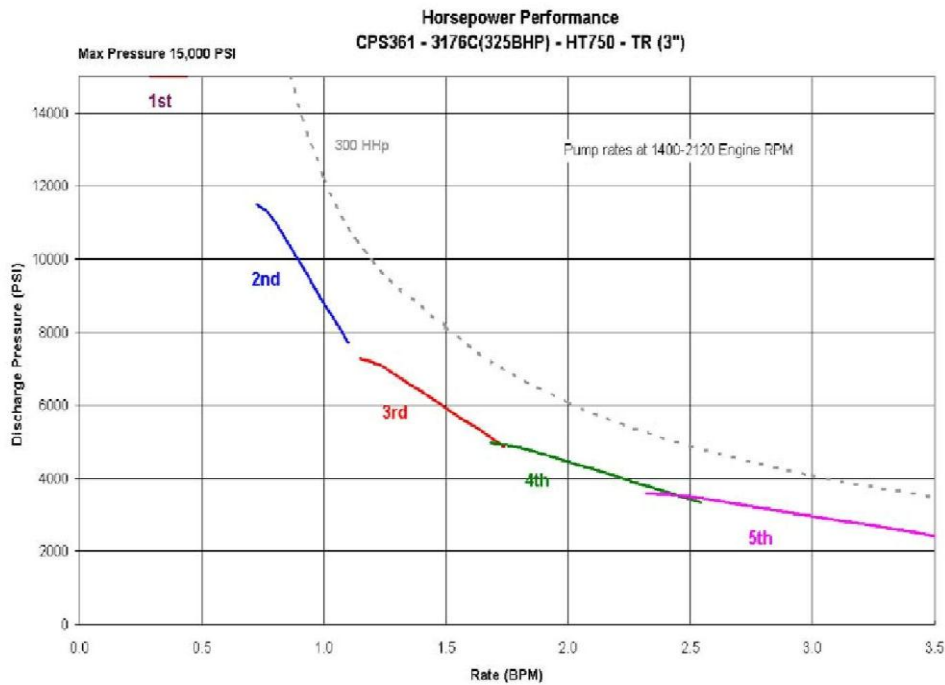
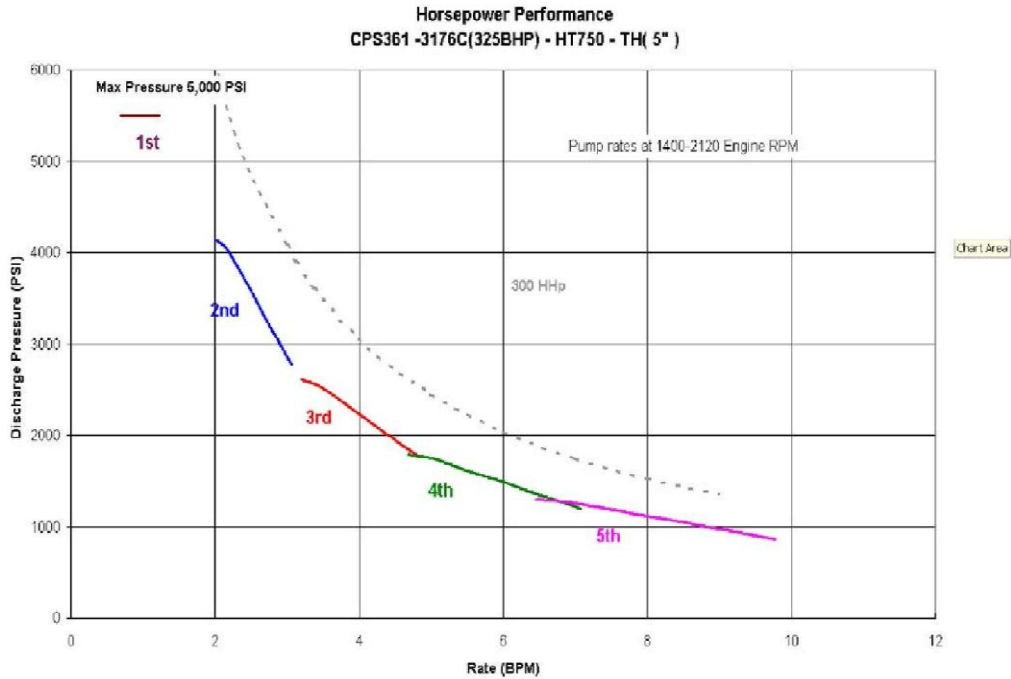


Schlumberger

| Especificaciones Generales | |
|--|--|
| Motores (2) | CAT C10 Wet Manifold - 325 BHP at 2100 rpm |
| Transmisión (2) | Allison HT750 |
| Sistema de enfriamiento (2) | Radiadores de acero inoxidable |
| Triplex | |
| Modelo (2) | PG05 Series |
| Tipo | Slider Crank Shaft |
| Diámetro de las Carreras del pistón | 5.0 in. (127 mm) |
| Velocidad máxima del eje de entrada | 1512 RPM |
| Otros | |
| Manifold de descarga (presión de trabajo) | 15,000 psi (1,034 Bar) |
| Tanques de desplazamiento | 2x10 bbl (2x1,590 L) acero inoxidable |
| Max. Caballos de fuerza hidráulica disponibles (HHP) (2 motores) | 500 HHP (373 kW) |
| Patín Costa Afuera | |
| Longitud | 275.4 in. (6,997 mm) |
| Ancho | 122.3 in. (3,106 mm) |
| Alto | 120 in. (3,048 mm) |
| Peso seco | 39,381 lb. (18,105 kg) |
| Mezcladora de cemento | Mark III SLURRY CHIEF |
| Bomba centrífuga de presurización | RA-56 |
| Bomba centrífuga de presurización auxiliar | RA-56 |
| Bombas centrífugas de inyección (2) | RA-45 |
| Válvula de choque ajustable | 15,000 psi (1,034 Bar) |
| Fluid Ends | TH 5.0 in. (127 mm) |
| | TR 3 in (75 mm) |
| Manómetros disponibles | Imperiales o Métricos |

| | |
|----------------------------------|------------------------|
| Tanque de combustible Diesel (2) | 60 gal c/u (227 L c/u) |
| Clase I, División II (Eléctrica) | Standard |

Curva del Comportamiento Operacional de la Bomba



A-XII: Especificaciones técnicas de Tanque de compensación CUS-122



| | | |
|---|--|----------|
| Capacidad | Total: 85 cuft | |
| | Usable: 70 cuft | |
| Máxima presión de trabajo disponible. | 75 psi | |
| Presión de prueba | 98 psi | |
| Temperatura del metal de diseño mínima | -20 degC | |
| Características | | |
| Tapa de visita | West Coast | |
| Diámetro | 20 in | |
| Línea de llenado | 5 in | 127 mm |
| Línea de venteo | 5 in | 127 mm |
| Línea de descarga | 10 in | 254 mm |
| Línea de aire del sistema a granel | 3 in | 76 mm |
| Indicador de carga | Totco, hidráulico | |
| Jets de aireación | 4, reparar desde fuera | |
| Válvula de alivio de seguridad | 15 psi set presión | |
| Especificaciones del equipos | | |
| Longitud promedio | 60 in | 1,536 mm |
| Ancho promedio | 67 in | 1,704 mm |
| Altura promedio | 189 in | 4,800 mm |
| Peso seco | 2,866 lbm | 1,300 kg |
| Peso operacional | 9,458 lbm | 4,290 kg |
| Tanque de compensación con patas largas | Certificado por ABS Guide for the classification of Drilling Systems | |

A-XIII: Especificaciones técnicas del Colector de Polvo CUS-916:



| | | |
|--|--|---------------|
| Longitud Promedio | 73 in | 1,940 mm |
| Ancho Promedio | 48 in | 1,220 mm |
| Alto Promedio | 145 in | 3,678 mm |
| Peso (vacío) | 3,646 lbm | 1,654 kg |
| Peso (full con cemento) | 10,961 lbm | 4,972 kg |
| Máxima presión de trabajo permitida (M.A.W.P.) | 87 psi | 600 kPa |
| Configuración de la válvula de alivio | 87 psi | 552 kPa |
| Temperatura de diseño | -4 a 200 degF | -20 a 93 degC |
| Presión de operación | 15 psi | 103 kPa |
| Consumo de aire | Aproximadamente 760 ft ³ /min a 80 psi. | |

A-XIV: Especificaciones técnicas de Grúa Telescópica Marina:



| T60, 43 ft. retracted | | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Alcance (ft.) | Ángulo pluma (deg.) | Carga afuera (lbs.) | Carga a bordo (Lbs.) |
| 10 | 76 | 77,710 | 80,110 |
| 20 | 62 | 35,710 | 53,510 |
| 30 | 45 | 22,610 | 33,860 |
| 40 | 21 | 16,510 | 24,710 |
| 43 | 1 | 15,210 | 22,760 |
| T60, 73 ft. extended | | | |
| Alcance (ft.) | Ángulo pluma (deg.) | Carga afuera (lbs.) | Carga a bordo (Lbs.) |
| 10 | 82 | 40,410 | 60,710 |
| 20 | 74 | 24,910 | 37,410 |
| 30 | 66 | 18,710 | 28,110 |
| 40 | 57 | 14,710 | 22,110 |
| 50 | 47 | 12,110 | 18,110 |
| 60 | 35 | 10,210 | 15,310 |
| 70 | 17 | 8,410 | 12,710 |
| 73 | 1 | 8,210 | 12,310 |

| T60, 65 ft. extended | | | |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Alcance (ft.) | Ángulo pluma (deg.) | Carga afuera (lbs.) | Carga a bordo (Lbs.) |
| 10 | 81 | 43,410 | 65,210 |
| 20 | 71 | 28,410 | 42,710 |
| 30 | 62 | 21,910 | 32,910 |
| 40 | 51 | 16,210 | 24,310 |
| 50 | 38 | 12,410 | 18,710 |
| 60 | 18 | 10,210 | 15,310 |
| 65 | 1 | 9,210 | 13,810 |



A-XV: Especificaciones Técnicas de Bomba Contra Incendio:



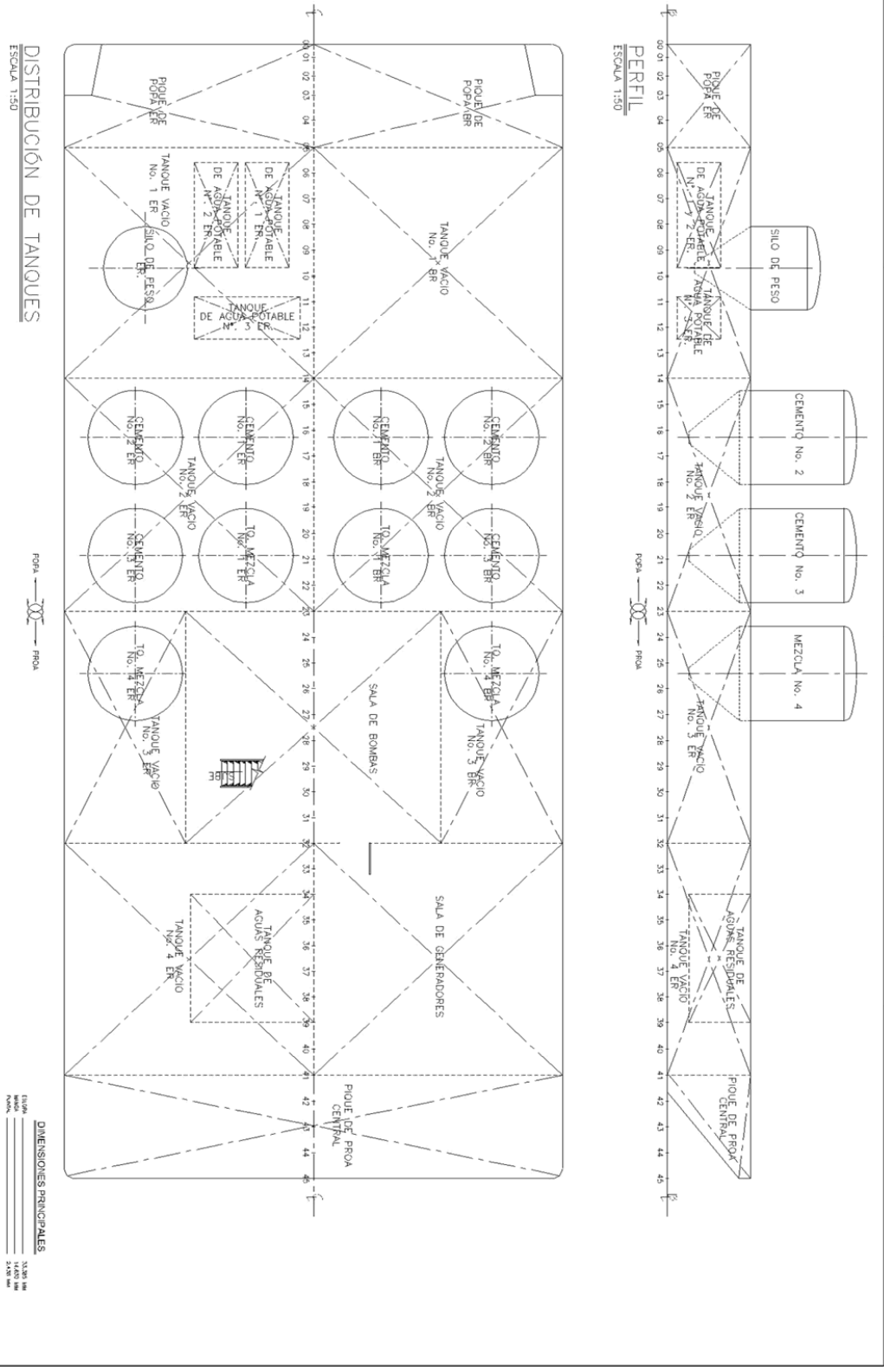
| Especificaciones Generales | |
|------------------------------------|---|
| Galones por minute | 1200 |
| Temperatura ambiental | >120F |
| Manufactura | UE Manufacturing |
| Modelo | UEM 1200 FPSK |
| ITEM DESCRIPTION | |
| Engine | Caterpillar C4.4 Tier II motor mecánico diesel: -80 to 90 HP -Up to 2100RPM |
| Sistema de enfriamiento | Radiador vertical con accionamiento de ventilación mecánico. |
| Bomba | Bombas centrífugas 6x5x14 Mission Magnum. |
| Controles e Instrumentación | Control Panel del Motor |
| Dimensiones | |
| Longitud | 98" |
| Ancho | 44" |
| Alturas | 51" |
| Peso Promedio | 960Lbs |

A-XVI: Lista de aditivos de Well Services-WIT, Schlumberger usados en los trabajos de cementación estudiados

| Código | Nombre | Aplicación | Descripción | SG | Propósito primario |
|--------|-----------------------------|--|------------------------------------|------------|--|
| D020 | Bentonita | Extendedor de cemento | Polvo de color marrón claro a gris | 2.65 | API bentonita sin tratar. Hasta 25% BWOC cuando se mezcla en seco. Cuando es prehidratada como mucho ¼. Densidad mínima: 1380kg/m ³ (11.5 lbm/gal). Atapulgita (D128). Es usada en aguas saladas. |
| D047 | Anti-espumante | Control de espuma en lechadas de cemento. | Líquido incoloro | 1.0 | Propósito general: Prevenir espuma. Concentración típica: 4.5 L/t [0.05 gal/sk]. Para lechadas de cemento y 6 L/m ³ [0.25 gal/bbl] para espaciadores. |
| D066 | Sílica flúor | Control de la retrogresión del cemento | Gránulos blancos o marrón claro | 2.65 | Sílica Flúor fina (mas fina que 200mesh). Previene la retrogresión compresiva a temperaturas por encima a 110°C (230°F). Concentración: 35-50% BWOC. Preferible sobre D030 en lechadas de baja densidad y en muy altas temperaturas. |
| D079 | Extendedor | No se encontró información | Sólido | 2.4 | Extendedor. |
| D080 | TIC dispersante | Dispersante | Líquido marrón oscuro | 1.24 | Equivalente al D065. Concentración: 2–36 L/t [0.02–0.4 gal/sk]. Temperatura: hasta 121°C [250°F]. |
| D110 | Retardador | Altas temperaturas | Líquido marrón | 1.13 | Temperatura: 79-149°C [175–300°F]; Hasta 190°C [375°F] con D093. Concentración: 2–45 L/t [0.05-0.5 gal/sk]. |
| D122A | Lavador química concentrado | Adelgazador de lodo, Dispersante y removedor | Líquido marrón | 1.03 | Típica concentración: 12 L/m ³ [0.5 gal in 41.5 gal] En agua. |
| D124 | LITEFIL Extendedor | Aditivo de cemento ultraligero | Polvo gris | 0.65- 0.85 | Microesferas cerámicas huecas que permiten densificar la suspensión tan bajo como 1.080 kg / m ³ [9 lbm / gal]. Temperatura: 232 ° C [450 ° F]. Límite de presión debido al aplastamiento de las esferas: alrededor de 35 MPa [5000 psi]. Rangos de aplicación se podrán ampliar con las pruebas. |
| D135 | GASBLOCK Stabilizer | Estabilizador de gas | Líquido | 1.06 | No se encontró información. |
| D151 | Carbonato de calcio | Agente de peso para espaciadores | Polvo blanco | 2.70 | Carbonato de calcio graduado. Material de peso para espaciadores especialmente cuando solubilidad acida es requerido. |
| D154 | Extendedor | Bajas temperaturas | Polvo gris | 2.20 | Microsilica. Aumenta el rendimiento de la mayoría de las formulaciones de lechadas, mejor compresibilidad y menos permeabilidad. Útil para sistemas de baja densidad hasta 1320 kg/m ³ [11 lbm/gal], especialmente a bajas temperaturas (hasta 85°C [185°F]). Concentración: 5–20% BWOC. |
| D167 | Aditivo UNIFLAC S | Controlador de pérdida de fluido | Polvo blanco | 1.32 | Compatible con agua fresca y lechadas de alta salinidad. Temperatura: hasta 204°C [400°F]. Todas las densidades. Típica concentración: 0.1 hasta 0.8% BWOC. |
| D168 | Aditivo UNIFLAC L | Controlador de pérdida de fluido | Líquido amarillo incoloro | 1.08 | Versión líquida del D167. Compatible con agua fresca y lechadas de alta salinidad. Temperatura: hasta 204°C [400°F]. Todas las densidades. Típica concentración: 9–81 L/t [0.1–0.9 gal/sk]. |

| | | | | | |
|--------------|-------------------------------|--|---|-----------|--|
| D176 | Aditivo expansivo del cemento | Altas temperaturas | Polvo marrón claro | 3.54 | Temperatura: 80–204°C [176–400°F]. Típica concentración: 1–5% BWOC. |
| D177 | Aditivo UNISSET LT | Bajas a moderadas temperaturas | Líquido verde claro | 1.10 | Puede ser asado con agua fresca y agua de mar. Concentración: hasta 26 L/t [0.3 gal/sk]. Baja sensibilidad de tiempo de espesamiento, de cambios en la temperatura o la concentración. Máxima temperatura: 121°C [250°F] si es usado en combinación con aditivo UNIFLAC (D167 O D168). |
| D178 | Sílica Micro cristalina | Control de la retrogresión compresiva del cemento | Sólido | 2.65 | No se encontró información. |
| D182 | Aditivo espaciador MUDPUSH II | Bajas a moderadas temperaturas | Polvo rojo marrón | 1.32 | Concentrado para preparar espaciador MUDPUSH II; usado con agua fresca, agua de mar o espaciadores de alta salinidad. La densidad del MUDPUSH II puede diseñarse hasta 2400 kg/m ³ [20 lb/gal]. Temperatura: hasta 149°C [300°F]. |
| D185 | Dispersante | Temperaturas bajas | Líquido incoloro | 1.04 | Aditivo DeepCEM para ambientes fríos en aguas profundas. No retarda. Temperatura: hasta 57°C [135°F]. Reología no es afectada por sal (D044) o cloruro de calcio (S001). |
| D207 | FLAC* | Propósito General | Sólido | 1.73 | No se encontró información |
| D206 | | Antiespumante | Líquido | 1.0 | No se encontró información |
| D500 | Aditivo GASBLOK LT | Controlador de migración de gas a bajas temperaturas | Líquido amarillo | 1.01 | Aditivo líquido no retardante. Temperatura: hasta 71°C [160°F]. Densidad: 1260–1970 kg/m ³ [10.5–16.4 lbm/gal]. Compatible con agua fresca y agua de mar. Típica concentración: 45–180 L/t [0.5–2.0 gal/sk]. |
| D600G | Aditivo GASBLOK MT | Aditivo controlador de migración de gas | Líquido blanco | 1.02 | Aditivo Látex. Temperatura: 66–121°C [150–250°F]. Concentración: 130–260 L/t [1.5–3.5 gal/sk] en lechadas GASBLOK; 90–180 L/t [1–2 gal/sk] como cemento WELBOND. Bajas concentraciones son requeridas cuando es usado solo como controlador de pérdida de fluido. |
| F103 | EZEFLO surfactante | Para espaciadores y lavadores para remoción de OBM of OBM | Líquido claro incoloro | 0.94 | Típica concentración: 2–10% por volúmen. |
| L400 | Acido acético | Agente estabilizador de hierro | Líquido | 1.049 | Temperaturas menores a 150°F. Concentración: 10L de L400 por 1m ³ de acido. |
| U066 | Solvente Mutual | Para espaciadores y lavadores para remover OBM de forma ambientalmente segura. | Incoloro o líquido blanco | 0.90 | Usado en lavadores y en espaciadores MUDPUSH para remoción de OBM de manera segura para el ambiente. Concentración típica: 2–10% por volúmen. |
| U051 | | Diesel | Líquido Marrón | 0.8@60°F | |
| U052 | | Kerosene | Líquido aceitoso color amarillo pálido. | 0.8-0.81 | Temperaturas desde 75°F-375°F |
| A026 | Xileno | Solvente mutual orgánico | Líquido incoloro | 0.86@60°F | Temperatura de auto-ignición: 86°F. Limite de exposición: 100ppm |

A-XVII: Planos de Distribución de Tanques de la Gabarra D-1992



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- Gradiente de presión de fractura: La presión requerida para inducir fracturas en una roca a una profundidad dada.
- Gradiente de presión de poro: El cambio de la presión de poro por unidad de profundidad, expresado normalmente en unidades de psi/pie o kPa/m.
- Presión de fricción: es el resultado de restar la presión hidrostática a la presión dinámica.
- Presión dinámica: Se puede decir que cuando los fluidos se mueven en un conducto, la inercia del movimiento produce un incremento adicional de la presión estática al chocar sobre un área perpendicular al movimiento. Esta fuerza se produce por la acción de la presión conocida como dinámica
- Presión hidrostática: La presión en un fluido es la presión termodinámica que interviene en la ecuación constitutiva y en la ecuación de movimiento del fluido, en algunos casos especiales esta presión coincide con la presión media o incluso con la presión hidrostática.
- Viscosidad plástica: La Viscosidad Plástica (VP) es la resistencia de un fluido a fluir. En el Campo se puede obtener el valor de la misma a través de un aparato conocido como Viscosímetro.
- Punto cedente: Conocido también como "Yield Point". Es la resistencia al flujo causada por fuerzas electroquímicas o de atracción entre partículas sólidas del lodo de perforación. Es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase fluida.
- Flujo turbulento: En mecánica de fluidos, es el movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos periódicos, (no coordinados)
- Flujo Laminar: movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado, suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente.

- Numero de Reynolds: El número de Reynolds es un parámetro adimensional importante ya que define si las condiciones el flujo será laminar o turbulento.
- Revoque: consiste en revestir una pared con las partículas solidas de algún fluido que se filtra dentro de la pared, este revoque actúa como una barrera impermeable.
- Lechada antimigratoria: son sistemas de lechada que contienen aditivos GASBLOCK o bloqueadores de gas, utilizadas para evita la migración de gas durante periodo de hidratación critico de la lechada, es decir el periodo de transición entre el estado Líquido y Sólido, es decir, cuando esta gelificada.
- Lechada expansiva: contienen un agente expansivo que al aplicarle algún esfuerzo exhiben una cierta elasticidad.
- Lechada acelerada: En pozos cuyo mecanismo de producción es la inyección de vapor, los revestidor suelen presentar una cierta expansión, por lo tanto antes de aplicar el método de producción se suele tensionar el revestidor antes de la inyección. Para ello se requiere de una lechada de cemento cuyo tiempo de fraguado sea más rápido de manera que brinde el soporte necesario en la base del revestidor.
- Lechada retardada: por encima de una lechada acelerada se requiere de una lechada retardada cuyo tiempo de fraguado permita el tensionamiento sin deformar a la lechada, de manera que ésta pueda luego ofrecer el aislamiento zonal requerido.
- MUDPUSH II: espaciador utilizado para evitar la comunicación entre el lodo de perforación y la lechada de cemento.
- Caballos de fuerza: en inglés *horsepower (HP)*, es el nombre de varias unidades de medida de potencia que fue acuñada por James Watt en 1782 para comparar la potencia de las máquinas de vapor con la potencia de los caballos de tiro. Más tarde se amplió para incluir la potencia de salida de los otros tipos de motores de pistón, así como turbinas, motores eléctricos y otro tipo de maquinaria.
- Fluido Viscoelástico: está compuesto por materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman.

- Tiempo de fraguado: Período de tiempo durante el cual la lechada alcanza una resistencia suficiente para soportar la carga a la que será sometida.
- Aditivo: material incorporado a la lechada de cemento para modificar o mejorar alguna propiedad deseada.
- Anular: espacio entre la tubería y las paredes del hoyo o una tubería externa.
- Temperatura circulante de fondo (BHCT): temperatura pseudo-estable encontrada en el fondo del pozo mientras se está circulando con fluido.
- Temperatura estática de fondo (BHST): temperatura pseudo-estable encontrada en el fondo del pozo con fluidos en estado estático.
- Cemento Portland: material formado por moledura de clinker, generalmente consiste silicatos de calcio hidratados y aluminatos. Usualmente contiene una o más de las formas del sulfato de calcio añadido durante la molienda.
- Blend de cemento: mezcla de cemento seco y otros materiales.
- Clinker: Materiales fundidos en un horno que se combinan con sulfato de calcio para la fabricación de cemento.
- Compatibilidad: capacidad de formar una mezcla de fluidos que no produzca reacciones físicas o químicas indeseables.
- Lodo de perforación: generalmente viscosificado y posiblemente densificado usado para remover los ripios, enfriar la mecha, y prevenir que fluidos de la formación invadan el pozo durante la perforación o las operaciones de reparación.
- Saco equivalente: masa de blend o fly Ash y cemento Portland que tiene el mismo volumen absoluto que un saco (1ft) de Cemento Portland.
- Fluido libre: líquido colorido que se separa de una lechada de cemento cuando está en condiciones estáticas.
- Mezcla de fluidos: agua de mezcla con aditivos líquidos o sólidos (o ambos).
- Agua de mezcla: agua fresca o salada son aditivos líquidos o sólidos (o ambos)
- Preflujos: fluido que no es viscosificado o densificado con agentes de peso, insolubles y sólidos.

- Tiempo de espesamiento: Tiempo transcurrido desde la aplicación inicial de la presión y la temperatura para el momento en el que la suspensión alcanza una consistencia considera suficiente para que sea bombeable (por ejemplo, 70 o 100 Bc).
- Lacustre: Se conoce como lacustre a todo lo que guarda relación con un lago.
- Popa: Parte posterior de una embarcación
- Proa: Parte delantera de la nave, con la cual corta las aguas.
- Babor: Lado o costado izquierdo de la embarcación mirando de popa a proa.
- Estribor: Banda derecha del navío mirando de popa a proa.
- Manga: Anchura mayor de un buque.
- Puntal: Altura de la nave desde su plan hasta la cubierta principal o superior.
- Eslora: Longitud que tiene la nave sobre la primera o principal cubierta desde el codaste a la roda por la parte de adentro.
- Codaste: Madero grueso puesto verticalmente sobre el extremo de la quilla inmediato a la popa, que sirve de fundamento a toda la armazón de esta parte del buque. En las embarcaciones de hierro forma una sola pieza con la quilla.
- Quilla: Pieza de madera o hierro, que va de popa a proa por la parte inferior del barco y en que se asienta toda su armazón.
- Roda: Pieza gruesa y curva, de madera o hierro, que forma la proa de la nave.
- Línea de flotación: es aquella que separa la parte sumergida del casco de la gabarra de la que no lo está.
- Línea de franco bordo: La que limita la máxima carga que puede transportar un buque, ya que su calado no ha de sobrepasar tal línea.
- Calado: Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de un barco.