

**DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA  
PUESTA EN MARCHA DE UN EQUIPO PARA LA PREPARACIÓN DE FLUIDOS  
DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN POZO EN LA EMPRESA PARKO  
SERVICES S.A**

**RUBEN DARIO CONDE LEON**

**CARLOS ANDRES ESQUIVEL PLAZAS**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA PETRÓLEOS  
NEIVA - HUILA  
JUNIO 2011**

**DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO – ECONÓMICA PARA LA  
PUESTA EN MARCHA DE UN EQUIPO PARA LA PREPARACIÓN DE FLUIDOS  
DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN POZO EN LA EMPRESA PARKO  
SERVICES S.A**

**RUBEN DARIO CONDE LEÓN  
CARLOS ANDRES ESQUIVEL PLAZAS**

**Trabajo de grado presentado como requisito  
para optar el Título de Ingeniero de Petróleos**

**Director:  
WILLIAM ANDRÉS AYA ARIAS  
Ingeniero Químico – Líder de Operaciones SERFLOW  
PARKO SERVICES S.A.**

**Coodirector:  
RICARDO PARRA PINZÓN  
Ingeniero de Petróleos  
Universidad Surcolombiana**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA PETRÓLEOS  
NEIVA - HUILA  
JUNIO 2011**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Neiva,** \_\_\_\_\_

## DEDICATORIA

*Doy infinitas Gracias...  
A Dios, por la vida y el camino recorrido...  
A mis padres, por ser mi fuerza, guía y creer en mí...  
A mi novia, por su amor y apoyo...  
A la vida, por lo aprendido...*

**Ruben Dario Conde León**

*A mi familia:*

*♪ Nada ahí...  
Bajo el sol...  
Que no tenga solución.  
Nunca una noche venció...  
A un amanecer. ♪*

*warcry*

**Carlos Andrés Esquivel Plazas**

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Alfonso y Edid por su comprensión, entrega, humildad y ayuda que me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello con una gran dosis de amor y sin pedir nunca nada a cambio.*

*A mis hermanos Victor, Miguel y Juan gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho. A mi novia, Yudy Gutierrez, quien me brinda su amor, su estímulo y apoyo constante, gracias por estar a mi lado. A mi sobrina Maria Jose, por llenar mi vida de felicidad.*

*Me gustaría agradecer sinceramente a la Empresa PARKO SERVICES por la oportunidad de aprender y crecer profesionalmente. Al director de Tesis William Aya, por su esfuerzo y dedicación. Sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación.*

*A todos mis amigos Carlos Narváez, Ivan Aldana, Jose Olaya, Alejandra Ospina, Carlos Esquivel, Crithian Tello, Oscar Velazco, Claudia Corredor, Beatriz Gómez, Antonio Ballen, Angela Zambrano, Cristian Obregón, Andrea Quintero, Jhon Morales, Anyi Puentes, Camilo Perdomo, Gloria Sanchez, Diego Charry, Camilo Villareal, Yeison Charry, Milton Parra.... muchas gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por estar siempre presentes y recuerden que siempre los llevaré en mi corazón.*

*De igual manera agradecer a mis profesores, su trato humano y su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida y de la carrera, me ayudaron a formarme como persona y profesional.*

*Para todos ellos, muchas gracias!*

***Ruben Dario Conde León***

Hace varios meses veía tan lejano este momento...  
Y ahora mi memoria y todo este esfuerzo yace materializado en manos de quien corresponda...  
¡Y como no agradecer a quienes creyeron en mí, fueron parte de este camino y me brindaron su apoyo de forma incondicional!...  
Para ellos...

Sin duda los mayores reconocimientos siempre serán a mis viejos (Carlos y Dairis) y mis hermanos (David y Sebas), a ellos les debo todo lo que soy, ya q' siempre dieron lo mejor de sí para q' pudiera salir adelante... aunque no tengan idea q' rayos estudie (lo digo con mucho cariño), por no presionarme a estudiar otra cosa, por no sermonearme si faltaba a clases... por no volverse locos, cuando me echaba alguna materia.

Los amo ¡Bravo!, ¡Bravo!

Al ingeniero William Andrés Aya, (q' debí causarle mucho trabajo) quien nos mostró el camino y tuvo paciencia para ser nuestro guía.

A mis profesores por su infinita disposición, hacernos ver nuestros errores, tener una inmutable paciencia para corregirnos y ser un ejemplo de profesionalidad

A Karo (que se le hacen dos hermosos huequitos en las mejillas cuando sonríe)

Por ser parte de mi vida

Al patrón Rubén (gracias por su amistad)

Q' por su explotación y con su dedicación sacamos adelante este proyecto

Angelita (que todavía la quiero como en los buenos tiempos...)

Q' me hizo vivir un holocausto cuando combino 2 copitas de alcohol y un par de malas palabras

Perlita (por su cabello crespo y ser como es...)

Por su inagotable intensidad y ser siempre un lindo fastidio

El Nazi (a quien le debo muchos favores)

Quien siempre estuvo a mi lado en los buenos y malos momentos

Karen (...y su hermosa familia)

Por ser simplemente alguien de admirar

Aní (...siempre me encanto su puntualidad)

Por tanta belleza y simpatía en tan poquitos centímetros

Toño (que cuando acierta una pregunta solo sabe decir... "quien es tu papi?")

"...y ahora ¡Quién es tu papi?!"

Al maestro Guasca (la persona que más fastidié por ser como es...)

Por su insuperable técnica

Per7 (siempre académico, un abrazo fraterno)

¡Valla personaje!

Victoria, David, Pilar y Tatiana (los niños)

Quienes nunca han ido donde "la abuela"

A muchos otros amigos de quienes tengo muchas historias que contar...

El Sopas, la Flaca, Pepito, Andrea, Fori, Nata, el Flaco Obregón, Chechi, compadre Villegas, Yury, el comandante Toluano, Andukia, Riki, Don Le, Luis, Diógenes, Feco, Don chepe y Amalia (estos dos últimos por sus quesillos y quesadillas)

A los "moachos" de la infancia

Mask, Anglo, Hughes, Merida, el Primo, Zort, Pingüi, Osukaru, Rolo y Frank

A Víctor, Enrique, James, Carlos, Gustavo, Chris y Fito, con sus bandas

Víctor – Cantante de warcry, Enrique Burbury – Vocalista de Héroes del Silencio, James Hetfield, Cantante de Metallica, Juan Carlos Marín – Vocalista de Akash, Gustavo Cerati (que te recuperes pronto) – Cantante de Soda Stereo, Chris Martin – Vocalista de Coldplay y finalmente Fito Páez por ser Fito Páez.

Que con su música me relajaron en los momentos de tensión, y sus acordes me dieron el impulso para seguir adelante.

Al Café y Coca-Cola – que como hoy (3:17 a.m.) muchas veces me permitieron trabajar hasta entrada la madrugada...

Gracias... Totales 🎵 musika 🎵  
Carlos Andrés Esquivel Plazas... Poke

## RESUMEN

Como parte de la mejora continua en los procesos de preparación de fluidos de control (mejoras en tiempos de respuesta, prevención de precipitación de sales, entre otros) han llevado a la empresa PARKO SERVICES S.A a proponer a la industria petrolera la prestación de un nuevo servicio que brinde alternativas manteniendo los altos estándares de calidad y de seguridad.

Estas circunstancias ha traído como consecuencia la elaboración de este proyecto de grado que se encarga precisamente de exponer de una manera clara la fundamentación técnica para la creación y puesta en marcha de un equipo que permita la elaboración de fluidos de control en pozo y, realizar un análisis económico en el panorama local que permita determinar la viabilidad del mismo.

La tecnología empleada es conocida, los equipos fueron diseñados siguiendo paso a paso las normas internacionales y nacionales necesarias para tal fin (Código ASME, Normas ASTM, Decretos del Ministerio de Transporte, etc.) y la selección de los equipos se realizó mediante consultas a empresas especializadas y experiencias en la preparación de fluidos en planta. Por lo tanto, los equipos diseñados y seleccionados cumplen con los requerimientos técnicos, operacionales y de seguridad para llevar a cabo cada una de las etapas involucradas en el proceso de preparación de fluidos, con el fin de prevenir errores operacionales, fallas en los procesos, evitando condiciones inseguras y trabajando con altos estándares de calidad.

De acuerdo a los indicadores económicos, el monto de la inversión estimada a realizar para la puesta en marcha el nuevo servicio de preparación de fluidos asciende a \$ 484.782.304. Dicho monto de la inversión va a ser financiada en un 100% por medio de un crédito a una Entidad Bancaria.

La evaluación económica y financiera del proyecto fue realizada en base al criterio del Valor Presente Neto (VPN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), resultados que indican que el proyecto es rentable. Los flujos del proyecto arrojan un VPN positivo a una tasa de descuento (TREMA) del 25% que asciende a \$1.396.282.111 y una TIR del 175%, permitiendo así recuperar la inversión en 7 meses de la puesta en marcha del proyecto.

## ABSTRACT

As a part of continuing enhancement of control fluid preparation (Enhancement regarding to answer time, salt precipitation prevention, among others) have led to PARKO SERVICES S.A To Bring up to Oil Industry the offering of a new service that give alternatives keeping high quality and safety standards.

These circumstances have brought as a consequence the elaboration of this graduating project, which intends to show up in a clear way the technical fundaments for the creation and carrying out of an equipment that allow control fluids preparation at well location, and to realize a economics analysis in local scenario to determine viability by itself.

Technology employed is known; equipment was designed following international and national rules necessary for such an end. (ASME Code, ASTM norms, Ministry of Transport decrees, etc.) And the selection of equipment was realized by consulting specialized companies and previous experiences as for fluid preparation in plant. Henceforth, designed and selected equipment fulfill with technical requirements, operational and safety ones also to carry out each of the involved stages in fluid preparation process, so its estimated that likelihood of any mistake is minimum.

According to economics indicators the amount of estimated investment to be done for starting of the fluid preparation new service goes up to \$ 484.782.304. Such an amount of investment will be financed in a 100% through bank credits.

Economic and financial evaluation of this project was made based on net present value criteria (NPV) and Internal return Rate (IRR), results that indicate the project is profitable. Fluxes of the project release a positive NPV at a Discount Rate (TREMA) of 25% which ascend to \$1.396.282.111 and a TIR of 175% allowing this way to recover the initial investment in 7 months from the starting of the project.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. INFORMACIÓN DEL PROYECTO	1
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	1
1.4 OBJETIVOS	2
1.4.1 Objetivo general	2
1.4.2 Objetivos específicos	2
2. MARCO BIBLIOGRÁFICO	3
2.1 GENERALIDADES DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	3
2.2 FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	3
2.2.1 Estabilidad de la pared del pozo y control superficial de presión	3
2.2.2 Proveer un medio para la suspensión y transporte de sólidos desde el fondo del pozo	4
2.2.3 Facilidad para evaluar la formación	4
2.2.4 Integridad del pozo a largo plazo	4
2.3 SALMUERAS USADAS COMO FLUIDO DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER	5
2.3.1 Salmueras orgánicas	5
2.3.2 Salmeras inorgánicas	6
2.3.3 Salmueras divalentes	7
2.3.4 Propiedades de la salmueras	7
2.3.5 Calidad y pruebas realizadas a las salmueras	9
2.4 EQUIPOS PARA LA PREPARACIÓN DE FLUIDOS EN PLANTA EN PARKO SERVICES	12
2.4.1 Materia prima	13
2.4.2 Unidad de mezcla	14
2.4.3 Tanque de mezcla	15
2.4.4 Tanques cilíndricos verticales	16
2.4.5 Unidades de filtración fijas	17
2.4.6 Frac Tanks	19
2.4.7 Vehículo pesado para transporte de fluidos sencillo	20

2.4.8	Vehículo pesado para transporte de fluidos mula tanque	21
3.	ESTUDIO DE MERCADO	23
3.1	DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO, CARACTERÍSTICAS Y USOS	23
3.2	ESTUDIO DE LA DEMANDA	24
3.2.1	Estimación de la demanda actual	24
3.2.2	Proyección de la demanda	27
3.3	ESTUDIO DE LA OFERTA	31
3.3.1	Estimación de la oferta actual	31
3.3.2	Mercado potencial para el servicio	33
3.4	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON EL NUEVO SERVICIO	33
3.5	PRECIOS	33
3.6	COMERCIALIZACIÓN DEL SERVICIO	34
3.6.1	Línea de comercialización	35
3.6.2	Marketing y publicidad	35
3.6.3	Distribución del producto	36
4.	DISEÑO DEL EQUIPO DE PREPARACIÓN DE FLUIDOS EN CAMPO	37
4.1	UNIDADES DE FILTRADO	38
4.1.1	Medios filtrantes	38
4.1.2	Planteamiento de alternativas	39
4.1.3	Criterios de selección de las alternativas de filtradores	44
4.1.4	Parámetros de selección	44
4.1.5	Evaluación de alternativas	46
4.1.6	Características de las unidades de filtrado	47
4.1.7	Planteamiento de la configuración de las unidades de filtrado	47
4.2	DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLADO	48
4.2.1	Soldaduras en tanques de almacenamiento y mezclado	49
4.2.2	Entradas hombre horizontales y verticales	49
4.2.3	Drenes	50
4.2.4	Escaleras y plataformas	50
4.2.5	Consideraciones de diseño	50
4.3	SELECCIÓN DE LA BOMBA	53
4.3.1	Cálculos básicos para la selección de bombas	53
4.3.2	Planteamiento de alternativas	53
4.3.3	Parámetros a evaluarse para la selección de la bomba	54
4.3.4	Evaluación para la selección de la bomba	55
4.4	SELECCIÓN DEL MOTOR	57
4.4.1	Planteamiento de alternativas	57
4.4.2	Parámetros a evaluarse para la selección del motor de la bomba	59
4.4.3	Evaluación y selección de alternativas	60

5.	ESTUDIO TÉCNICO	61
5.1	TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN	61
5.2	MATERIA PRIMA	61
5.2.1	Materia prima necesaria	61
5.2.2	Requerimientos y precios	62
5.3	DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS	64
5.4	LOCALIZACIÓN	64
5.5	CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS	65
5.6	ELEMENTO HUMANO REQUERIDO	68
5.7	ANÁLISIS DE LAS REALES POSIBILIDADES DE PONER EN PRÁCTICA LA IDEA DE INVERSIÓN	68
6.	ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO	69
6.1	DURACIÓN DEL PROYECTO	69
6.2	COMPOSICIÓN Y CUANTÍA DE LAS INVERSIONES	69
6.2.1	Inversiones en activos fijos	69
6.2.1	Inversiones en activos nominales	70
6.3	COSTOS OPERACIONALES E INGRESOS	71
6.3.1	Costos directos	71
6.3.2	Costos indirectos	72
6.3.3	Ingresos	72
6.4	DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LOS ACTIVOS	73
6.4.1	Depreciación	73
6.4.2	Amortización	74
6.5	CAPITAL DE TRABAJO	74
6.6	PLAN DE INVERSIÓN	75
6.6.1	Estructura de capital	75
6.6.2	Amortización del crédito	75
6.7	PUNTO DE EQUILIBRIO	76
6.8	EVALUACIÓN FINANCIERA	76
6.8.1	Flujo de fondos del inversionista	76
7.	CONCLUSIONES	78
8.	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	81
	ANEXOS	84

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1.</i> Propiedades típicas de soluciones salinas de formiato cercanas a la saturación	6
<i>Tabla 2.</i> Características de salmueras monovalentes inorgánicas	7
<i>Tabla 3.</i> Características de las salmueras divalentes	7
<i>Tabla 4.</i> Especificaciones de la salmuera	11
<i>Tabla 5.</i> Especificaciones técnicas de la unidad de mezclado	15
<i>Tabla 6.</i> Especificaciones técnicas del tanque de mezcla	16
<i>Tabla 7.</i> Especificaciones técnicas de los tanques cilíndricos verticales	17
<i>Tabla 8.</i> Especificaciones técnicas de la unidad de filtración	18
<i>Tabla 9.</i> Especificaciones técnicas Frac Tanks	20
<i>Tabla 10.</i> Especificaciones técnicas del vehículo sencillo	21
<i>Tabla 11.</i> Especificaciones técnicas del vehículo mula tanque	22
<i>Tabla 12.</i> Porcentaje de participación de consumo de las principales salmueras por semestre	25
<i>Tabla 13.</i> Consumo acumulado de fluidos por mes en porcentaje	27
<i>Tabla 14.</i> Pronostico de demanda de fluidos	31
<i>Tabla 15.</i> Principales empresas competidoras	32
<i>Tabla 16.</i> Porcentaje de participación de precios de venta estimados promedio ponderado con respecto a la sumatoria total de estos precios	34
<i>Tabla 17.</i> Cuadro comparativo de las características técnicas de dos tipos de filtradores	44
<i>Tabla 18.</i> Evaluación de los parámetros de selección de filtradores	46
<i>Tabla 19.</i> Cantidad de sujetadores requeridos	51
<i>Tabla 20.</i> Distancia entre sujetadores	52
<i>Tabla 21.</i> Clasificación y características de las bombas	54
<i>Tabla 22.</i> Evaluación parámetros operacionales de la bomba	55
<i>Tabla 23.</i> Evaluación parámetros de selección de la bomba	56
<i>Tabla 24.</i> Evaluación parámetros de selección del motor	60
<i>Tabla 25.</i> Cantidad requerida de sal por año	62
<i>Tabla 26.</i> Precios estimados por tipo de sal	63
<i>Tabla 27.</i> Cantidad requerida de agua por año	63
<i>Tabla 28.</i> Inversiones en activos fijos	70
<i>Tabla 29.</i> Inversiones en activos nominales	71
<i>Tabla 30.</i> Costos directos (\$)	71
<i>Tabla 31.</i> Costos indirectos (\$)	72
<i>Tabla 32.</i> Ingresos estimados durante la vida útil del proyecto	72

<i>Tabla 33.</i> Depreciación de activos fijos	73
<i>Tabla 34.</i> Amortización de activos diferidos	74
<i>Tabla 35.</i> Presupuesto capital de trabajo mensual	74
<i>Tabla 36.</i> Condiciones de financiamiento del proyecto	75
<i>Tabla 37.</i> Amortización de cuotas de financiamiento	75

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Unidad de mezcla	14
<i>Figura 2.</i> Tanque de mezcla	15
<i>Figura 3.</i> Tanques cilíndricos verticales	16
<i>Figura 4.</i> Unidades de filtración	18
<i>Figura 5.</i> Frac Tanks	19
<i>Figura 6.</i> Vehículo de transporte sencillo	20
<i>Figura 7.</i> Vehículo de transporte mula tanque	21
<i>Figura 8.</i> Consumo de salmuera mensual durante los 4 años	25
<i>Figura 9.</i> Consumo de salmuera anual	26
<i>Figura 10.</i> Comportamiento de la producción acumulada de fluidos utilizado para el análisis	29
<i>Figura 11.</i> Proyección de la demanda de fluidos salinos considerados	30
<i>Figura 12.</i> Filtros de cartucho en diferentes tamaños y formas	40
<i>Figura 13.</i> Esquema de un filtrador de cartucho	40
<i>Figura 14.</i> Filtrador de lecho filtrante	41
<i>Figura 15.</i> Esquema de un filtrador de lecho filtrante	42
<i>Figura 16.</i> Jaula que soporta la bolsa de tela	42
<i>Figura 17.</i> Esquema de un filtrador tipo jaula	43
<i>Figura 18.</i> Configuración de los sujetadores	51
<i>Figura 19.</i> Ubicación instalaciones PARKO SERVICES S.A Base Neiva	65
<i>Figura 20.</i> Diagrama de flujo de fondos del inversionista	77

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<i>ANEXO A.</i> Ficha técnica de la materia prima	85
<i>ANEXO B.</i> Estudio de demanda	92
<i>ANEXO C.</i> Selección de materiales	98
<i>ANEXO D.</i> Descripción de los filtros de cartuchos	109
<i>ANEXO E.</i> Cálculos del diseño de la unidad de filtración	112
<i>ANEXO F.</i> Cálculos del diseño del tanque de mezclado	162
<i>ANEXO G.</i> Cálculos básicos para selección de bombas	171
<i>ANEXO H.</i> Características de las bombas	178
<i>ANEXO I.</i> Selección de las válvulas de flujo	186
<i>ANEJO J.</i> Esquema general del equipo diseñado	194
<i>ANEXO K.</i> Esquema de cada uno de los equipos diseñados	196
<i>ANEXO L.</i> Análisis económico y financiero	202
<i>ANEXO M.</i> Diseño de software para cálculo de materia prima	229

## INTRODUCCIÓN

En la región de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM) existe una creciente demanda en el sector petrolero y en consecuencia un aumento del consumo de los fluidos para trabajos de completamiento y Workover; debido a una escases de empresas que presten el servicio de preparación de fluidos en pozo en Colombia, resulta atractivo y de gran importancia la implementación de un equipo que permita satisfacer este requerimiento, logrando así ampliar la cobertura en la prestación de servicios y la capacidad de producción por parte de PARKO SERVICES S.A, y de esta manera fomentar el desarrollo de nuevas alternativas de trabajo en la Industria Petrolera.

El estudio de viabilidad que se presenta en este documento, está inmerso en la realidad nacional y su evidente necesidad por parte de PARKO SERVICES S.A de la creación permanente de nuevos servicios que ayuden a facilitar los trabajos en el sector petrolero y ser versátiles a la hora de prestarlos. En este contexto, el proyecto pretende determinar la factibilidad de diseñar y poner en marcha un equipo para la preparación de fluidos de completamiento y Workover en pozo.

El estudio aquí enunciado, será abarcado en ocho capítulos, respecto a los cuales se precisará su objetivo, con el fin de dar un panorama claro de la intención del autor.

En primer término se presentará un capítulo con la información del proyecto, con el cual se pretende ambientar al lector sobre los conceptos básicos, la problemática, la justificación y los objetivos del estudio de viabilidad para el diseño y puesta en marcha de un equipo para la preparación de fluidos en pozo. En virtud de este primer acercamiento, se pretende demostrar la viabilidad del proyecto.

En el capítulo segundo se explicará detalladamente todo el marco referencial que comprende el estudio de factibilidad. Igualmente, se presentarán los equipos y procesos involucrados en el proceso de preparación de los fluidos en la planta de PARKO SERVICES S.A.

Con el capítulo tercero se analizará el mercado de los fluidos de completamiento y Workover, haciendo un diagnóstico de dicho mercado teniendo en cuenta la venta de fluidos por parte de PARKO SERVICES S.A a las operadoras del sector de la Cuenca del VSM, la demanda real del producto, las proyecciones del comportamiento de la demanda y las líneas de comercialización del nuevo servicio.

En el capítulo cuarto se desarrollará el diseño y selección de los equipos requeridos para realizar el proceso de preparación de fluidos. Para ello, se tendrá en cuenta las condiciones operacionales y de seguridad, las características de los fluidos y las necesidades de producción de la empresa. El diseño y selección de los equipo se realizará siguiendo las normas internacionales y nacionales para tal fin, el diseño final se presentará por medio de la versión de prueba del Software SOLIDWORKS 2010 en formato 3D.

El capítulo quinto busca definir la función de producción, que establece cómo combinar los recursos utilizados para el proyecto para que se cumpla el objetivo previsto de manera efectiva y eficiente. El estudio técnico establecerá el diseño del proyecto y definirá las especificaciones técnicas de los insumos necesarios para ejecutar el proyecto: el tipo y la cantidad de materias primas e insumos materiales, el nivel de calificación de mano de obra, las características y dimensiones de los equipos necesarios. Posteriormente proveerá la información indispensable para realizar la evaluación financiera.

El capítulo sexto consiste en comparar los beneficios proyectados, asociados a una decisión de inversión, con su correspondiente proyectada de desembolsos. Esto no es otra cosa que el flujo de fondos netos estimados del proyecto. La evaluación financiera llevará finalmente a tomar una decisión de aceptación o rechazo. Se establecerá la rentabilidad del proyecto a través de indicadores como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Finalmente, los últimos dos capítulos señalan cuales son las conclusiones y las recomendaciones generales del proyecto con base en los datos y la información suministrada en cada una de las partes del estudio de viabilidad.

## **1.INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

En este capítulo se plantean los aspectos generales relacionados con el proyecto y se ambienta al lector con una perspectiva general sobre los objetivos del estudio.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la viabilidad técnico – económica de un equipo móvil para la preparación de fluidos para trabajos de completamiento y Workover en pozo, teniendo en cuenta el incremento de la actividad petrolera en el país, la calidad de los productos y servicio, el beneficio que se puede generar a la Industria Petrolera y la oportunidad que ve PARKO SERVICES S.A de jalonar el desarrollo de nuevas alternativas de trabajo que permitan no sólo mejorar los procesos, sino también ser versátiles a la hora de la prestación de un servicio?

### **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto consiste en analizar la posibilidad de crear un equipo móvil para la preparación de fluidos para trabajos de completamiento y Workover en pozo, con el fin de prestar el servicio a las Operadoras de los campos petroleros del país que usan estos fluidos para sus diversos trabajos. El mercado objetivo principal debido a la ubicación de la línea SERFLOW de PARKO SERVICES S.A, son las Operadoras del sector de la Cuenca VSM que en este caso usan principalmente salmueras de Cloruro de Sodio, Cloruro de Potasio, Formiato de Sodio y Formiato de Potasio.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

En vista del auge económico que ha experimentado el país, al crecimiento de la actividad petrolera en la región de la Cuenca del VSM y al aumento del consumo de los fluidos de control en los últimos años, la empresa PARKO SERVICES S.A basado en el concepto de mantener un sano equilibrio entre calidad del servicio y del producto, previniendo impactos negativos al medio ambiente y a la salud de los trabajadores ha considerado crear un moderno equipo móvil para la preparación

de fluidos de completamiento y Workover que se podrá transportar al pozo (in-situ) de acuerdo a los requerimientos del cliente.

Es por esto, que se hace necesario el fortalecimiento de estudios técnicos y prefactibilidades en los procesos de diseño y montaje de equipos, además del mejoramiento en los procesos de mezclado de fluidos y los tiempos de respuesta a los servicios. La empresa se propone producir fluidos de diversas clases (Cloruro de sodio, Cloruro de potasio, Formiato de sodio y Formiato de Potasio), densidades y características, dependiendo de las necesidades y requerimientos de los clientes.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4. 1 Objetivo general**

Determinar la factibilidad técnico – económica para la puesta en marcha de un equipo de preparación de fluidos en pozo que permita brindar mejores alternativas en la prestación del servicio por parte de la empresa PARKO SERVICES S.A.

### **1.4. 2 Objetivos específicos**

- ✓ Establecer la posibilidad de implementar la preparación de fluidos en pozo para prestar el servicio con la mejor calidad, seguridad y conservando el medio ambiente.
- ✓ Optimizar los procesos de preparación de salmueras con equipos y tecnologías necesarias para este proceso considerando la infraestructura disponible y por adquirir.
- ✓ Diseñar el equipo móvil considerando cada uno de los procesos y características involucradas en la preparación de los fluidos, teniendo en cuenta los aspectos de seguridad, técnicos y operativos exigidos por normas Internacionales y Nacionales
- ✓ Evaluar la viabilidad y sostenibilidad financiera del servicio de preparación de fluidos en pozo.

## **2. MARCO BIBLIOGRÁFICO**

### **2.1 GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER**

Una vez terminada la perforación, se realizan los trabajos de completamiento para preparar el pozo para la producción. Los fluidos usados en estos trabajos controlan el pozo, dichos fluidos son soluciones que contienen arcilla libre o sólidos libres (por ejemplo las salmueras). Estas últimas son los fluidos preferidos porque controlan la presión de la formación, previenen la reducción de la permeabilidad y evitan el hinchamiento y/o dispersión de las arcillas.

Después de completar el pozo éste comienza a producir fluidos (aceite, gas, agua, o una mezcla entre ellos) durante un tiempo. Tiempo después problemas mecánicos o la declinación en la producción llevan a la empresa a tomar la decisión de realizar al pozo trabajos de Workover para corregir el problema mecánico o revertir la declinación en la producción y de esta manera retornar el pozo al máximo nivel de producción que sea posible. Los fluidos de Workover son por consiguiente aquellos fluidos usados en la cara de la formación durante la operación remedial en el pozo. La selección del fluido depende de la naturaleza del problema, de las características del pozo y de los fluidos del yacimiento.

### **2.2 FUNCIONES DE LOS FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER**

Los fluidos inicialmente son introducidos en el pozo durante la perforación y son usados continuamente en todas las operaciones de completamiento y Workover del pozo. Sin hacer caso de la composición, estos fluidos deben cumplir con cuatro funciones principales:

#### **2.2.1 Estabilidad de la pared del pozo y control superficial de presión**

La inestabilidad de la cara del pozo es una función natural de los mecanismos de esfuerzo, interacciones fisicoquímicas y presiones en el subsuelo creadas por la superposición de material. El fluido seleccionado para el trabajo en el pozo, debe vencer la tendencia al colapso que presenta el hueco abierto debido al mecanismo

de falla y las interacciones químicas de la formación con un fluido extraño (fluido de completamiento o reacondicionamiento).

### **2.2.2 Proveer un medio para la suspensión y transporte de sólidos desde el fondo del pozo**

El fluido de trabajo debe proveer el medio para que los sólidos desprendidos de la formación sean removidos de la zona productora ya sea por suspensión o por transporte. Los fluidos de perforación dan suspensión y transporte de escombros a partir de su composición y propiedades físicas (por ejemplo contenido de sólidos, viscosidad y estructura de gel). Las salmueras esencialmente no tienen capacidad para la suspensión, pero durante la circulación son capaces de transportar los sólidos desprendidos debido a la fricción entre el fluido y los sólidos.

### **2.2.3 Facilidad para evaluar la formación**

Todos los trabajos realizados al pozo tienen por objetivo, lograr la producción de cantidades comerciales de hidrocarburos o la inyección suficiente de fluidos. Es imperativo, por consiguiente tener la habilidad para: 1) evaluar el potencial de producción o inyección de fluidos en un pozo, y 2) maximizar la producción o inyección de fluidos, usando un fluido de trabajo que no cause daño o sea incompatible con la formación.

### **2.2.4 Integridad del pozo a largo plazo**

Una función importante de cualquier fluido de trabajo (perforación, completamiento o Workover) es la de proveer las condiciones necesarias para llevar la productividad del pozo durante el tiempo más prolongado. La selección apropiada del fluido de trabajo alarga considerablemente la vida productiva del pozo y conserva su integridad, evitando así, trabajos de reparaciones frecuentes.

## **2.3SALMUERAS USADAS COMO FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO YWORKOVER<sup>1</sup>**

El conocimiento de la química de las soluciones salinas, está basado en el estudio de soluciones diluidas, las cuales son asumidas como ideales. El término ideal quiere decir que la solución contiene pocas partículas de soluto de tamaño atómico disueltas y que no existen otras partículas en solución además de estas. Las sales son agregados iónicos que se disuelven por disociación independiente de cationes y aniones, los cationes que poseen carga positiva por lo general son fuertemente hidratados debido a su fuerte atracción molecular-iónica, los aniones son también hidratados, aunque muy débilmente. A medida que la concentración de sal se incrementa, la desviación del comportamiento de idealidad de la solución también se incrementa debido a que poco a poco las moléculas de agua que no tienen unión son atraídas hacia las moléculas de sal.

### **2.3.1 Salmueras orgánicas**

Entre estos fluidos se encuentran los formiatos de sodio (HCOONa), de potasio (HCOOK) y de cesio(HCOOCs). Las salmueras de formiato usadas en aplicaciones para el campo petrolero, son soluciones acuosas de sales metálicas alcalinas del ácido fórmico. Estas sales de formiato son altamente solubles en agua y pueden ser usadas para la preparación de salmueras de alta densidad y baja viscosidad. En la Tabla 1 se muestran algunas características de estas salmueras cerca al punto de saturación.

Las salmueras preparadas a partir de estas sales orgánicas poseen propiedades especiales que las hacen ser un fluido ideal para los trabajos de completamiento y Workover. Entre estas propiedades se tienen:

- ✓ Densidades que varían entre 8.3 y 19.7 lb/gal, por lo tanto pueden usarse en gran cantidad de pozos.
- ✓ Fluido orgánico y biodegradable, por lo tanto es un fluido ecológico.

---

<sup>1</sup>Amaya Andrade Yair, Guerrero Torres Odayr. Diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de un sistema de filtración de finos para fluidos de completamiento y reacondicionamiento. Universidad Surcolombiana, 2006.

- ✓ Inhibición fuerte para la hidratación de arcillas, más efectivo que el KCl.
- ✓ Libres de sólidos y cloro
- ✓ Compatibilidad con aguas de formación que contienen sulfatos y carbonatos, es improbable que formen precipitados en la formación, esto debido a que no contienen cationes bivalentes.
- ✓ Compatibilidad con los viscosificadores solubles en agua y con los agentes para el control de pérdida de fluido, los formiatos de sodio y potasio ayudan a mantener los polímeros en estado ordenado y más estable y les proveen protección contra los procesos hidrolíticos-oxidantes (antioxidante).

**Tabla 1.** Propiedades típicas de soluciones salinas de formiato cercanas a la saturación

Salmuera	Concentración (% P/P)	Densidad @ 20 °C (Lbm/Galón)	Viscosidad @ 20 °C (cSt)	pH
Formiato de sodio	45	11.1	7.1	9.4
Formiato de potasio	76	13.3	10.9	10.5
Formiato de cesio	83*	19.7	2.8	12.9

\*Monohidrato de formiato de cesio (CsCOOH.H<sub>2</sub>O)

### 2.3.2 Salmuera inorgánicas

Entre estos fluidos se encuentran aquellos que son preparados con sales como cloruro de sodio y de potasio, y bromuro de sodio y de potasio. Las salmueras de cloruro de sodio y potasio usualmente son preparadas a partir de sal seca y agua. En la Tabla 2 se muestran algunas características de estas salmueras.

**Tabla 2.** Características de salmueras monovalentes inorgánicas

Parámetro	Cloruro de sodio	Cloruro de potasio	Bromuro de sodio	Bromuro de potasio
Rango de densidad (lbm/gal)	8.4 a 10	8.4 a 9.7	8.4 a 12.7	8.4 a 11.5
Rango temperatura cristalización (°F)	-5 a 31	14 a 60	-21 a 63	-38 a 60

### 2.3.3 Salmueras divalentes

Son aquellos fluidos preparados con sales como bromuro de calcio ( $\text{CaBr}_2$ ) y zinc ( $\text{ZnBr}_2$ ), y cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ). En la Tabla 3 indica los rangos de densidad y temperatura de cristalización.

**Tabla 3.** Características de las salmueras divalentes

Parámetro	Bromuro de calcio	Bromuro de zinc	Cloruro de calcio
Rango de densidad (lbm/gal)	4.8 a 11.6	8.4 a 15.1	14.7 a 19.2
Rango temperatura cristalización (°F)	-57 a 44	-81 a 65	-30 a 60

Salmueras de cloruro y bromuro de zinc, aunque son técnicamente factibles de preparar, económica y prácticamente no son viables, ya que las salmueras de cloruro de zinc son muy corrosivas y las salmueras de bromuro de zinc son costosas y difíciles de manejar porque son extremadamente higroscópicas.

### 2.3.4 Propiedades de la salmueras

En esta sección se evalúan cómo las propiedades afectan directamente la selección y función de la salmuera.

- ✓ **Densidad.** La densidad es el criterio de selección más importante, porque la presión estática ejercida por la columna de fluido para controlar el pozo es directamente proporcional a la densidad y a la altura de la columna. La densidad de una solución salina depende no solamente de la gravedad específica y la concentración de sal disuelta, sino también de la temperatura y la presión.
  
- ✓ **Cristalización y solución.** La cantidad de sal que puede ser disuelta en agua depende de la naturaleza de la sal y la temperatura de la solución. La concentración y la temperatura a la cual los cristales de sal no se disocian más y comienzan a precipitar, son llamados punto de saturación y la temperatura de cristalización respectivamente, este punto puede ser alcanzado de dos formas diferentes: (1) mediante la adición de sal a la solución a una temperatura constante hasta que se alcance el punto en donde no se disuelve más sal, o (2) por disminución de la temperatura de la solución hasta que el punto de saturación es alcanzado.
  
- ✓ **Viscosidad y suspensión.** La salmuera es un fluido newtoniano, debido a que la viscosidad dinámica es independiente de la tasa de corte, por el contrario si es dependiente de su composición, de la concentración de sal y de la temperatura. La viscosidad afecta a la tasa a la cual el fluido se pierde en la formación permeable (perdida de circulación), la capacidad de transporte de sólidos y la habilidad de suspensión de partículas insolubles. La pérdida de salmuera hacia la formación es una consideración importante, por tanto, es común la práctica de agregar viscosificantes a la salmuera para disminuir la pérdida de fluido, sin embargo un factor limitante para la adición de estos compuestos es el costo económico involucrado en la operación
  
- ✓ **Corrosión.** La oxidación natural o corrosión no es más que el proceso espontáneo que realiza el metal para encontrar su punto de máxima estabilidad, esto es retornando lentamente a su estado natural. La corrosión es observada como una destrucción de la superficie del sólido y que se manifiesta por la presencia de picaduras y la formación de óxidos o carbonatos, que pueden presentarse en escamas, en cáscaras o en dilución. Otros procesos que generalmente se clasifican como corrosión y que ciertamente contribuyen con la alteración de la integridad del sólido son, la pérdida de resistencia por esfuerzo prolongado o la exposición a ciertas especies de iones como cloruros en solución, grietas, fracturas, hidrógeno frágil, lixiviación selectiva y corrosión por par galvánico. La mayoría de estos procesos son causados o acelerados por el contacto con electrolitos (salmueras). En general, la corrosión de equipos

petroleros en presencia de salmueras, es el resultado de varios procesos particulares y la combinación de ellos.

✓ **Perdida de fluido.** La pérdida de fluido en el fondo del pozo es función de la presión diferencial, viscosidad del fluido y permeabilidad de la formación. En formaciones muy permeables, la pérdida de fluido dificulta el control del pozo, además de los costos económicos implicados. La pérdida de fluido puede ser controlada, ajustando la densidad de la solución salina, de forma tal que la presión hidrostática de la columna iguale a la presión de formación, incrementando la viscosidad del fluido agregando aditivos o reduciendo temporalmente la permeabilidad de la formación a través de la adición de partículas de material obturante.

### **2.3.5 Calidad y pruebas realizadas a las salmueras**

La salmuera usada en operaciones de completamiento y Workover es normalmente descrita como un “fluido limpio”, lo cual implica que no causa daño a la formación. No obstante, el término limpio es relativo, debido a que estos fluidos contienen además de sólidos suspendidos, coloides o material soluble que puede provocar un daño considerable a la formación.

A diferencia de los materiales usados en el fluido de perforación, que tienen unas especificaciones estándares mínimas dictadas por el “American Petroleum Institute (API)” y otros institutos, para los materiales usados en fluidos de completamiento no existen especificaciones. Cada compañía de servicios debe desarrollar sus propios procedimientos para el control de la calidad, sin embargo, algunos parámetros de calidad son seguidos para aceptar el uso de algunos productos.

✓ **Temperatura.** Es importante determinar esta característica en la salmuera, puesto que ella afecta a muchas otras propiedades como la densidad, viscosidad, solución, cristalización, etc.

✓ **pH.** al igual que la temperatura el pH influye directamente sobre otras propiedades como la corrosión, precipitación, etc., la salmuera no debe ser muy ácida puesto que tanto la corrosión como la precipitación se incrementan con la acidez.

✓ **Apariencia y prueba de turbiedad.** La apariencia física de una salmuera, es el primer indicativo de su limpieza relativa y total. Algunas características físicas como color, olor, turbiedad y cualquier otro tipo de material detectable por inspección visual, como sólidos suspendidos, son términos que normalmente se usan para describir la apariencia de una salmuera.

El color de la solución puede determinarse por métodos visuales o técnicas instrumentales, cuando la técnica es visual, la unidad relativa para la medición es APHA (American PublicHealthAssn), unidad que indica la intensidad relativa de acuerdo un color de referencia estándar, que tiene un valor APHA de 400, el uso de la técnica instrumental involucra el uso de un turbidímetro, en este método el color se determina midiendo la intensidad de la luz transmitida por la sustancia y lo compara con espectros de color estandarizados.

Las soluciones salinas preparadas a partir de agua y sales puras inorgánicas son inodoras. Los olores que hacen que una salmuera sea inaceptable para un trabajo son el olor como de “huevo roto” (indica la presencia de  $H_2S$ ), el olor a aceites o solventes, la presencia de cualquier otro olor debe ser investigado para determinar tanto su procedencia como los efectos que puede causar el contaminante que provoca el olor.

Los términos limpios y claros son frecuentemente intercambiados, sin embargo, una salmuera aparentemente clara no siempre es limpia, mientras que una salmuera limpia siempre es clara aunque presente color debido a las sustancias disueltas. Los términos claridad y turbiedad solamente pueden ser usados como una indicación relativa de la limpieza del fluido. La turbiedad relativa es también llamada turbiedad nefelométrica y es una medida empírica de las características de dispersión de la luz del material suspendido en la muestra y que es causado por el efecto de Tyndall, el aparato usado es llamado nefelómetro; la intensidad de la luz dispersa es tomada sobre una fotocelda y está dada en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU). Dependiendo de la salmuera, el parámetro aceptado para la turbidez de fluidos preparados a partir de sales simples varía entre 3 y 10 NTU. Para otros tipos de salmueras puede tener un valor más elevado, pero nunca debe ser mayor a 20 NTU.

✓ **Sólidos suspendidos.** Están constituidos por la materia suspendida que permanece sobre un filtro de fibra de vidrio, cuando se filtra una muestra que previamente ha sido agitada, estos sólidos como ya se dijo anteriormente son perjudiciales para la formación.

- ✓ **Sulfatos.** Es muy común encontrar el ion sulfato en aguas superficiales y subterráneas, causado por la disolución de materiales como la piritita por parte del agua. Es importante estar controlando la concentración de éste ion en la salmuera debido a que puede formar precipitado tanto en la tubería como en la formación.
  
- ✓ **Cloruros.** Es otro de los iones comunes es aguas superficiales y subterráneas, su presencia en estas también se debe a la disolución de sales. La existencia de este ion en la salmuera puede darle características corrosivas.
  
- ✓ **Análisis de otros posibles componentes de la salmuera.** En la salmuera pueden existir contaminantes, que se encuentran a grandes rasgos divididos en dos categorías: (1) materiales tóxicos u orgánicos cancerígenos, iones de metales pesados e iones de no-metales que pueden causar gases tóxicos, y (2) iones de metales y no-metales que pueden interactuar con aditivos o materiales, en el agua de formación pudiendo ocasionar daño a la formación. Materiales cancerígenos pueden ser hallados en salmueras que son preparadas en plantas químicas donde se manufacturan plásticos, componentes órgano-halógenos, insecticidas y herbicidas. Como referencia normativa, todos los componentes tóxicos no deben exceder el valor dictado por EPA (Agencia de Protección Medioambiental) para la concentración de desperdicios peligrosos.

Entre los materiales que pueden causar algún tipo de daño potencial a la formación se encuentran el hierro, manganeso, níquel, magnesio y aluminio, el zinc y el calcio son incluidos también en esta lista cuando no son constituyentes primarios en el fluido, también los hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos y sulfuros de estos elementos pueden causar problemas. La concentración del manganeso, hierro y níquel no debe exceder las 10 ppm en la salmuera. En la Tabla 4 se muestran algunos parámetros a tener en cuenta en salmueras usadas como fluido de completamiento y Workover en pozos petroleros.

**Tabla 4.** Especificaciones de la salmuera

Parámetro	Unidades	Rango
Color	APHA	<40
Turbidez	NTU	3 – 10
Aluminio	ppm	<10
Sólidos totales suspendidos	mg/L	< 5
Hierro	ppm	<10

Sodio	%	<1.5
Zinc	ppm	<10
Carbonato	ppm	<100
Bicarbonato	ppm	<100
Sulfato	ppm	<100
Sulfuro	ppm	<1
Otros aniones	ppm	<10
Materiales tóxicos		*

\* Valor mínimo dictado por EPA para residuos peligrosos

## **2.4 EQUIPOS Y PROCESOS DE PREPARACIÓN DE FLUIDOS DE COMPLETAMIENTO Y WORKOVER EN PLANTA**

Para evitar cualquier fuente de accidentes, PARKO SERVICES S.A entrena al personal para que lleven a cabo las operaciones en condiciones seguras en las cuales se debe desarrollar la preparación y el transporte de salmueras garantizando el cuidado a la salud y al medio ambiente, previniendo errores y reduciendo al máximo la generación de contaminantes. Al tener el personal claro el procedimiento y la actividad a desarrollar, se hace un chequeo de los equipos, evaluando el estado de los mismos (conexiones, válvulas, empaques, etc.); cabe aclarar que dichos equipos tienen un programa de mantenimiento establecido precisamente para no interferir en los procesos.

Al tener ya la materia prima en la bodega, el mecanismo de preparación consiste básicamente:

1. Se dispone de los tanques de mezcla y de la unidad de mezclado (Secopolygator) y otros equipos asociados previamente inspeccionados; la cual, contiene una tolva por donde se le adiciona la materia prima, el agua que es el fluido base para las preparaciones de las salmueras y los productos químicos que sean necesarios adicionar dependiendo de las condiciones requeridas en el pozo.
2. Una vez se tiene la mezcla homogénea se pasa a las unidades de filtración y finalmente a los tanques de almacenamiento.

3. Después de que el fluido esta con la filtración requerida, es analizado en el laboratorio para determinar las condiciones fisicoquímicas requeridas para su entrega.

4. Una vez se tenga el visto bueno de parte del laboratorio, el fluido es llevado por medio de una bomba centrifuga a los vehículos de transporte previamente seleccionados y revisados quedando listos para ser despachados hacia el pozo o son almacenados para su disponibilidad inmediata.

A continuación se presentarán algunos de las materias primas y equipos más relevantes asociados a la prestación de este servicio en PARKO SERVICES S.A.

#### **2.4.1 Materia prima**

PARKO SERVICES S.A pone a disposición de las operadoras del sector la preparación de fluidos salinos en planta para los trabajos de Completamiento y Workover, teniendo bajo su responsabilidad el suministro de fluidos de Cloruro de potasio, Cloruro de sodio, Formiato de sodio y Formiato de potasio para el control de presión de fondo en pozos petroleros y la preparación de fluidos especiales de acuerdo a los requerimientos del cliente. Adicional a este servicio y de manera integral formando parte de las operaciones limpias, la compañía ofrece también los servicios de tratamiento de fluidos salinos de re-uso para su reutilización y/odisposición final a batería. Estos fluidos cuando es requerido aumentar su densidad, según parámetros establecidos por el cliente, se han diseñado diferentes configuraciones en la preparación de estos fluidos.

Debido a que en el proceso de preparación de fluidos la materia prima principal es la sal, PARKO SERVICES S.A. cuenta con proveedores Nacionales e Internacionales que cumplen con las condiciones de calidad establecidos por la empresa, las cuales suministran principalmente sales de Cloruro de sodio y de Cloruro de potasio, así como Formiato de sodio y Formiato de potasio.

En el Anexo A podremos encontrar un resumen de las fichas técnicas de los productos químicos y sales que normalmente se utilizan.

## 2.4.2 Unidad de mezcla

La Unidad de Mezcla o “Seco Polygator” es un completo equipo robusto diseñado para sistemas de mezclado de toda clase de productos encargado de disolver, dispersar o hidratar un fluido y promover emulsificaciones de diferentes fluidos rápido y más eficientemente. La unidad es especialmente efectiva con fluidos base agua, base aceite y polímeros de perforación. El Seco Polygator consta de cuatro partes integradas, Unidad de mezcla del combustible, motor diesel, bomba de alta velocidad y tolva de recepción de material sólido particulado. Estas piezas fueron todas diseñadas para apoyar y proporcionar un medio de la adición de polvo seco de los aditivos más rápida y uniforme que los sistemas convencionales.



*Figura 1. Unidad de mezcla<sup>2</sup>*

Acoplado con una bomba de alta velocidad de rotor/estator ofrece una singular aceleración del fluido que se está mezclando y maximiza la eficiencia de todos los productos para disolver, dispersar o emulsionar en el fluido. Esto resulta en una reducción de los tiempos de mezcla, sin ningún tipo de inconvenientes, más homogéneo y con las propiedades que se desean. En la tabla 5 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

---

<sup>2</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas de la unidad de mezclado

Descripción equipo	Equipo de succión de fluido y mezclado
Procedencia	Houston
Fabricante	International Tool & Supply, Drilling Services
Serial	667742
Tipo	Con motor Detroit Diesel
Conexión	Entrada de 8" y salida de 4" y 6" con acople rápido
Capacidad	30 bbl/min aproximadamente
Ensamble	Fijo sobre esquís
Dimensiones	3 mts x 1.5 mts x 2 mts
Precauciones	Utilizar protección auditiva

Fuente: PARKO SERVICES S.A

### 2.4.3 Tanque de mezcla



**Figura 2.** Tanque de mezcla<sup>3</sup>

Tanque de mezcla anclado y acopado a la Unidad de Mezcla (Secopolygator) para permitir el almacenamiento temporal de los fluidos y de los productos químicos que se están mezclando. Provisto de dos compartimientos cada una con capacidad de 70 Barriles permitiendo acceder a dos diferentes tipos de mezcla (Si

<sup>3</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

así se requiere). Provisto de compartimientos con pintura epóxica interna de fácil acceso para su limpieza y sistemas de protección en la parte superior. En la tabla 6 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 6.** Especificaciones técnicas del tanque de mezcla

Descripción equipo	Tanques con dos compartimientos de 70 barriles cada uno
Procedencia	Colombia
Fabricante	PARKO SERVICES S.A
Serial	TM – 1, TM – 2, ...
Tipo	Para mezcla
Conexión	Entrada de 4" y 6", salida de 8", adicionales de 3"
Capacidad	140 BBLS
Ensamble	Fijo sobre esquis
Dimensiones	3 mts x 5 mts x 2.5 mts
Precauciones	Controlar el nivel de llenado para evitar derrames

Fuente: PARKO SERVICES S.A

#### 2.4.4 Tanques cilíndricos verticales



**Figura 3.** Tanques cilíndricos verticales<sup>4</sup>

<sup>4</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

Tanques cilíndricos verticales, diseñados con fibra de vidrio con capacidad de 220 Barriles y tanques metálicos con capacidad de 250 Barriles. Los tanques de fibra de vidrio son ideales para el almacenamiento de salmuera con alto potencial corrosivo ya que permite alargar la vida útil del tanque y permitir fácil acceso para su limpieza. Además permite conservar mejor el producto por un periodo largo, sin variar sus propiedades. Los tanques vienen provistos de escaleras y sistemas de barandas seguras. En la tabla 7 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 7. Especificaciones técnicas de los tanques cilíndricos verticales**

Descripción equipo	tanques cilíndricos de 220 barriles cada uno tanques cilíndricos metálico de 250 barriles
Procedencia	Colombia
Fabricante	PARKO SERVICES S.A
Serial	TV – 1, TV – 2, TV – 3, TV – 4, ...
Tipo	Cilíndrico
Conexión	De 3" y 4" con acople rápido
Capacidad	220 a 250 BBLs
Ensamble	Sobre esquís, con escalera vertical y con estructura de soporte
Dimensiones	Diámetro de la base 3 mts y altura 6 mts
Precauciones	Controlar el nivel de llenado para evitar derrames

Fuente: PARKO SERVICES S.A

#### 2.4.5 Unidades de filtración fijas

Unidades de Filtración Fijas diseñadas para la filtración de los fluidos en planta a diferentes configuraciones de acuerdo al tipo de filtros instalados en sus unidades. Cada unidad viene provista de sus respectivas válvulas de fondo y cima y además con manómetros instalados debidamente calibrados para la determinación de presiones tanto en el interior de la Unidad como en la cima. En la tabla 8 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.



**Figura 4.** Unidades de filtración<sup>5</sup>

**Tabla 8.** Especificaciones técnicas de la unidad de filtración

Descripción equipo	Tren de configuración de unidades de filtración
Procedencia	Ecuador
Fabricante	Hecho en Ecuador
Serial	UF40-1, UF40-2, UF40-3, UF40-4, ...
Tipo	Vasijas para filtros de 40"
Conexión	Entrada y salida de 4" con acople rápido
Capacidad	Cinco barriles cada vasija. filtrando 20 barriles por minuto
Ensamble	Sobre esquís y puente grúa para diferencial
Dimensiones	4 mts x 1.5 mts x 4mts
Precauciones	Control de presión para evitar accidentes

**Fuente:**PARKO SERVICES S.A

<sup>5</sup> Fuente: Fuente: PARKO SERVICES S.A

## 2.4.6 Frac tanks

Como parte del servicio integral que ofrece PARKO SERVICES S.A. se encuentra el suministro de tanques de almacenamiento de fluidos para alquiler en pozo, la cual permite brindar un aseguramiento total de las condiciones de almacenamiento de los fluidos de control.



**Figura 5. Frac Tanks<sup>6</sup>**

Los Frac Tanks son Tanques diseñados para el almacenamiento de fluidos en pozo, permitiendo no solo la facilidad de transporte a cualquier destino; sino además, viene diseñado con diferentes formas de descarga tanto atrás como adelante logrando flexibilidad para mayor comodidad en el trabajo en pozo. Viene equipado con barandas móviles para su montaje después de ubicado el equipo. Totalmente recubierto con pintura epóxica en su interior, permitiendo mejorar su vida útil y conservación del fluido en su interior. Cuenta con escaleras de acceso fácil tanto en la parte superior del tanque con en el interior. Cada uno de los Frac Tanks viene totalmente aforado permitiendo medir con exactitud la cantidad de fluido presente en ella. En la tabla 9 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

<sup>6</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

**Tabla 9.** Especificaciones técnicas Frac Tanks

Descripción equipo	Frac Tanks de 500 barriles cada uno
Procedencia	Colombia
Fabricante	PARKO SERVICES S.A
Serial	FT-07, FT-12, FT-15
Tipo	Cuadrado “de escaleras de avión”
Conexión	Serpentina con entrada y salida de 4”
Capacidad	500 barriles cada uno
Ensamble	Sobre esquís y móvil con llantas
Dimensiones	12 mts x 2.5 mts x 3 mts
Precauciones	Controlar válvulas y no transportar con fluido en su interior

Fuente: PARKO SERVICES S.A

#### 2.4.7 Vehículo pesado para transporte de fluidos sencillo



**Figura 6.** Vehículo de transporte sencillo<sup>7</sup>

Vehículo pesado para el transporte de fluidos. Cuenta con un tanque totalmente en acero inoxidable que lo hace muy apropiado para el transporte de fluidos corrosivos. Tiene una capacidad total de 70 Barriles y cuenta con tres compartimientos en su interior. La bomba que tiene instalada le permite adaptarse

<sup>7</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

bien a los sistemas de carga y descarga de fluido de su propio tanque. Además, permite instalarse a otros tanques para cargar y descargar. El carro tanque viene equipado con todo un Kit de Carretera y Equipo de Contingencia para poder reaccionar en caso de emergencia. En la tabla 10 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 10.** Especificaciones técnicas del vehículo sencillo

Descripción equipo	Vehículo pesado para el transporte de fluidos (sencillo)
Tipo de vehículo	Carro tanque sencillo
Tipo de tanque	Acero inoxidable
Marca	Chevrolet
Placa	ARI - 791
Capacidad	10 toneladas (70 barriles)
Color	Verde

Fuente: PARKO SERVICES S.A

#### 2.4.8 Vehículo pesado para transporte de fluidos mula tanque



**Figura 7.** Vehículo de transporte mula tanque<sup>8</sup>

<sup>8</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A

Vehículo pesado para el transporte de fluidos. Cuenta con un tanque de acero de capacidad de 220 barriles y cuenta con tres compartimientos en su interior. El tanque se encuentra recubierto internamente con pintura epóxica para prevenir su deterioro. Cuenta además con bomba para el cargue y descargue de fluido. El vehículo viene equipado con todo un Kit de Carretera y Equipo de Contingencia para poder reaccionar en caso de emergencia. En la tabla 11 se muestran las especificaciones técnicas del equipo.

**Tabla 11.** Especificaciones técnicas del vehículo mula tanque

Descripción equipo	Vehículo pesado para el transporte de fluidos (mula tanque)
Tipo de vehículo	Carro tanque mula
Tipo de tanque	Acero
Marca	Chevrolet
Placa	LHH - 447
Capacidad	30 toneladas (220 barriles)
Modelo	1986
Color	Blanco

Fuente: PARKO SERVICES S.A

### **3. ESTUDIO DE MERCADO**

Conocer las características del mercado de preparación de fluidos de completamiento y Workover con el cual se enfrentará la empresa, es de vital importancia para el presente estudio de factibilidad; en primera parte nos servirá como una pauta para realizar una estimación de la cuantía de los ingresos proyectados de la actividad comercial, factor indispensable para poder determinar la sustentabilidad del proyecto y su sensibilidad ante el comportamiento característico de la demanda, oferta, precios y sistema de comercialización de los fluidos a producir; y en segundo lugar, nos ayudará a diagnosticar cuales son las tendencias y tecnologías que determinarán el contexto en el cual se desenvolverá el proyecto. El estudio que a continuación se presenta tiene como objetivo: cuantificar la cantidad (barriles) de fluidos que se podrán vender a los consumidores (operadores del sector) durante la vida útil del proyecto, estimando los precios probables que regirá al producto y los canales de comercialización en los cuales estará inmerso.

#### **3.1 DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SERVICIO**

Se proyecta producir fluidos de completamiento y Workover, usados principalmente para el control de la presión en los pozos, a partir de un equipo que se podrá transportar al pozo donde se vaya a realizar el trabajo. El servicio será nuevo en el mercado y deberá complementar, gradualmente, la preparación de fluidos en planta.

Los fluidos a producir, son productos de consumo fundamental para todas las Operadoras del sector petrolero que realizan trabajos de completamiento y Workover a pozos petroleros.

Este novedoso equipo compacto cuenta con la infraestructura necesaria para realizar las operaciones de mezclado y filtrado de salmueras en una sola unidad, ofreciendo una nueva alternativa de implementación y servicio en la industria petrolera con la mejor calidad del servicio y personal altamente calificado, para dar cumplimiento y satisfacción a las necesidades de los clientes.

## **3.2 ESTUDIO DE LA DEMANDA**

La demanda es la cuantificación de la necesidad real o psicológica de una población de compradores, con poder adquisitivo suficiente para poder obtener un determinado producto que satisfaga dicha necesidad. Debe ser cuantificada en unidades físicas.

### **3.2.1 Estimación de la demanda actual**

Los demandantes finales definidos para el estudio de mercado son las Operadoras de los campos de la cuenca del VSM que utilizan los fluidos de completamiento y Workover como fluido para el control de presión en sus diversos trabajos en los pozos productores que se encuentran en esta cuenca petrolífera. Por esto la línea de fluidos de PARKO SERVICES S.A esta ubicada en este sector.

Actualmente los fluidos de completamiento y Workover (Cloruro de sodio, Cloruro de potasio, Formiato de sodio, Formiato de potasio y otros fluidos especiales) en nuestro país generalmente son producidos en equipos instalados en cada una de las empresas que prestan este servicio, por lo que estas empresas deben luego transportarlos al pozo donde se va a realizar el trabajo. Teniendo en cuenta lo anterior, el servicio que se va a prestar a las Operadoras del sector pretende combinar en forma progresiva y sostenida el servicio actualmente prestado, con costos de obtención iguales o menores, con un tiempo de entrega mucho más rápido y con la mejor calidad de los fluidos.

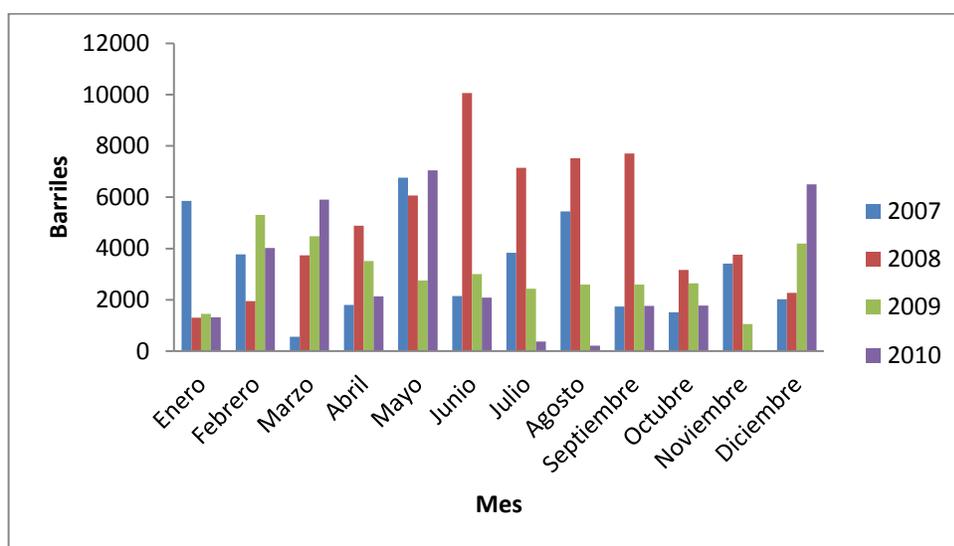
Dado que se pretende diseñar un sistema unificado de preparación de fluidos, el análisis de la demanda se llevó a cabo considerando el servicio que actualmente se encuentran en el mercado y que tienen la misma función; es decir, producción de salmuera en planta. Debido a la escases de información directa y total de los consumidores, y la confidencialidad de la información del mercado competidor, la determinación de las cifras de consumo actual y para fines de este estudio se determinó con base en las ventas aproximadas de algunos fluidos en los últimos cuatro años por parte de dos compañías hacia las Operadoras del sector incluyendo PARKO SERVICES S.A.

Un resumen de la demanda actual por parte de las Operadoras del sector se puede observar en la Tabla 12, donde se especifica el consumo semestral y el tipo de salmuera usada para el trabajo de completamiento y Workover. En el Anexo B se puede visualizar de forma detallada el estudio de la demanda.

**Tabla 12.** Porcentaje de participación de consumo de las principales salmueras por semestre

Año	Semestre	Cloruro de sodio NaCl	Cloruro de potasio KCl	Formiato de sodio COOHNa	Formiato de potasio COOHK	Total por año Barriles
2007	A	0.00%	84.55%	15.13%	0.32%	39.064
	B	0.00%	70.88%	29.12%	0.00%	
2008	A	0.00%	62.09%	37.91%	0.00%	59.279
	A	1.11%	74.60%	23.64%	0.65%	
2009	B	24.18%	71.74%	4.08%	0.00%	36.030
	A	19.93%	40.32%	39.74%	0.00%	
2010	A	18.60%	79.48%	1.78%	0.15%	33.157
	B	0.00%	94.45%	5.55%	0.00%	

Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada



**Figura 8.** Consumos de salmueras mensuales durante los 4 años<sup>9</sup>

<sup>9</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

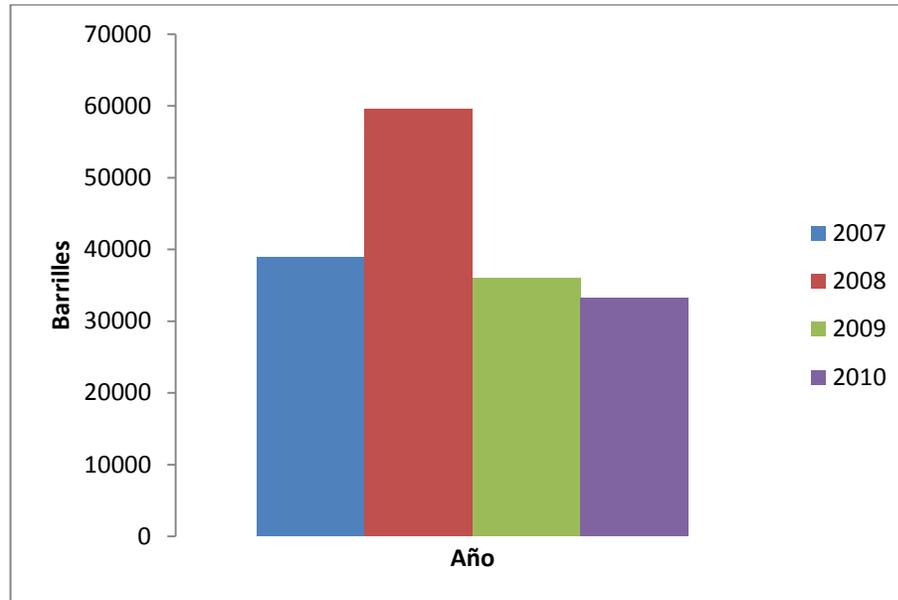


Figura 9. Consumo de salmuera anual<sup>10</sup>

La Tabla 12 y la Figura 9, nos muestra claramente que el consumo de fluidos del año 2008 fue el más elevado (aproximadamente 60.000 barriles), mientras que por el contrario, el menor consumo de fluidos salinos se realizó en el año 2010. Estos datos, refleja la campaña de perforación que se realizó en el año 2008 en la Cuenca del VSM, la cual condujo al hallazgo de nuevos yacimientos de petróleo (Tempranillo Norte 1, Arrayan 1, La cañada, etc.), y con ello el consumo de más fluido para trabajos de completamiento y Workover. Igualmente, se puede concluir que la salmuera que tiene más demanda en este sector de la Cuenca del VSM es la de Cloruro de Potasio (71.79% de la producción), y por el contrario, la salmuera que tiene menos demanda es la de Formiato de Potasio (0.182% de la producción). Se considera que este porcentaje de Formiato de potasio es bajo debido a que el valor de este producto es de alto costo y los precios del barril han fluctuado mucho durante los últimos cuatro años. Se espera una participación mayor para el caso de los formiatos debido a su alta aplicabilidad y funcionalidad para los trabajos venideros.

Debido a las tendencias del mercado a nivel regional y local, y a la caída en el precio del barril de petróleo, conllevo que los trabajos de intervención de pozos para completamiento y Workover disminuyeran, generando una baja en la

<sup>10</sup> Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

producción de fluidos para dichos trabajos; esto se puede evidenciar en la tendencia de disminución del consumo de fluidos en los últimos dos años.

### 3.2.2 Proyección de la demanda

Con los datos presentados en la Tabla 13, se estimará la proyección de la demanda para la cantidad de años que será evaluado el proyecto.

**Tabla 13.** Consumo acumulado de fluidos por mes en porcentaje

		Porcentaje de venta de salmuera acumulada
2007	Enero	3.50%
	Febrero	5.74%
	Marzo	6.08%
	Abril	7.15%
	Mayo	11.18%
	Junio	12.46%
	Julio	14.75%
	Agosto	18.00%
	Septiembre	19.04%
	Octubre	19.94%
	Noviembre	21.98%
	Diciembre	23.18%
2008	Enero	23.97%
	Febrero	25.13%
	Marzo	27.36%
	Abril	30.28%
	Mayo	33.89%
	Junio	39.90%
	Julio	44.16%
	Agosto	48.64%
	Septiembre	53.24%
	Octubre	55.13%
	Noviembre	57.37%
	Diciembre	58.73%

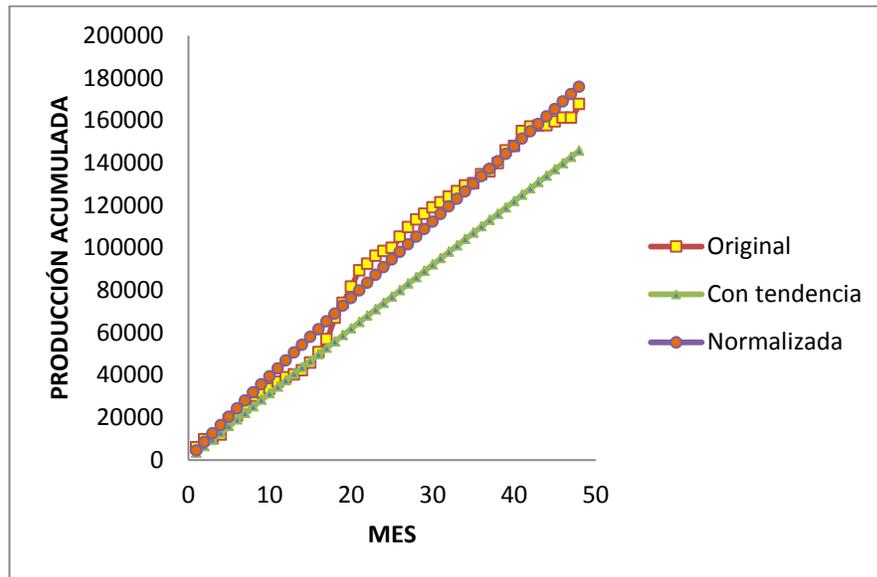
2009	Enero	59.59%
	Febrero	62.76%
	Marzo	65.43%
	Abril	67.53%
	Mayo	69.17%
	Junio	70.96%
	Julio	72.41%
	Agosto	73.96%
	Septiembre	75.51%
	Octubre	77.09%
	Noviembre	77.72%
	Diciembre	80.22%
2010	Enero	81.01%
	Febrero	83.41%
	Marzo	86.93%
	Abril	88.21%
	Mayo	92.41%
	Junio	93.66%
	Julio	93.89%
	Agosto	94.01%
	Septiembre	95.07%
	Octubre	96.12%
	Noviembre	96.12%
	Diciembre	100.00%

Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

Graficando los datos de consumo de fluidos acumulados mostrados en la Tabla 14, se puede establecer que el mejor ajuste se logra con una tendencia potencial. Pero teniendo en cuenta, que esta tendencia genera un error promedio de 16% en el cálculo de la producción acumulada, se decidió realizar una normalización a los parámetros de la ecuación de la tendencia potencial mejorando de una forma considerable el error, llegando hacer de tan solo 9%; por lo tanto, el cálculo de la producción acumulada se asemejan mucho más a los datos reales.

A continuación, se muestra una gráfica donde se puede comparar el comportamiento original, la tendencia potencial y la tendencia potencial normalizada del consumo de los fluidos utilizados para nuestro análisis. Allí se

puede notar que se logró mejorar el ajuste de la tendencia de forma considera, pero se debe tener en cuenta el error generado por este ajuste final.



**Figura 10.** Comportamiento del consumo acumulado de fluidos utilizado para el análisis<sup>11</sup>

En la Figura 9 podemos observar que durante el año 2008 hubo una tendencia marcada al aumento del consumo del producto por parte de las Operadoras. En realidad esto tiene sentido, ya que como se había dicho anteriormente, el año 2008 fue un año muy bueno para la industria petrolera, debido al aumento del precio del petróleo, al aumento de campañas de perforación y al hallazgo de nuevos pozos productores.

Debido a que las campañas de perforación y hallazgos de nuevos pozos productores no son una constante en esta región, para realizar un pronóstico de la demanda nos situaremos en tres escenarios:

1. Que la demanda siga la tendencia potencial normalizada (Escenario 1); esto quiere decir que remonte la producción de fluidos, respecto datos históricos.
2. Que se produzca un repunte de la demanda del producto, pero en menor grado que en el escenario 1, para esto se le ajusta un modelo sobre el escenario 1 que presenta una curva de pronóstico con un 5% de error máximo.

<sup>11</sup>Fuente: Cálculos propios

3. Que se produzca un repunte de la demanda del producto, pero en mayor grado que en el escenario 1, para esto se le ajusta un modelo sobre el escenario 1 que presenta una curva de pronóstico con un 5% de error máximo.

Al seguir la tendencia natural de la curva histórica (Escenario 3), el proyecto aún tendría sentido, ya que claramente la tendencia de la curva de demanda no decae en forma estrepitosa, pero se espera que gracias al repunte del precio del barril de petróleo, al desarrollo de los campos recientemente descubiertos y la finalización de las concesiones actuales, lo sucedido el año 2008 vuelva a ocurrir, y con ello, lograr un aumento significativo en la producción de fluidos.

Los tres escenarios están representados en la Figura 11. Allí se muestra la posible tendencia de consumo de salmueras para los próximos 10 años por parte de las operadoras del sector de la cuenca VSM; cabe resaltar que esta tendencia puede ser mayor o puede fluctuar dependiendo de los hallazgos en la cuenca del VSM, campañas de optimización en la producción de los campos existentes, reversiones que se puedan dar en los próximos años a Ecopetrol y considerando otras producciones de fluidos salinos de empresas afines.

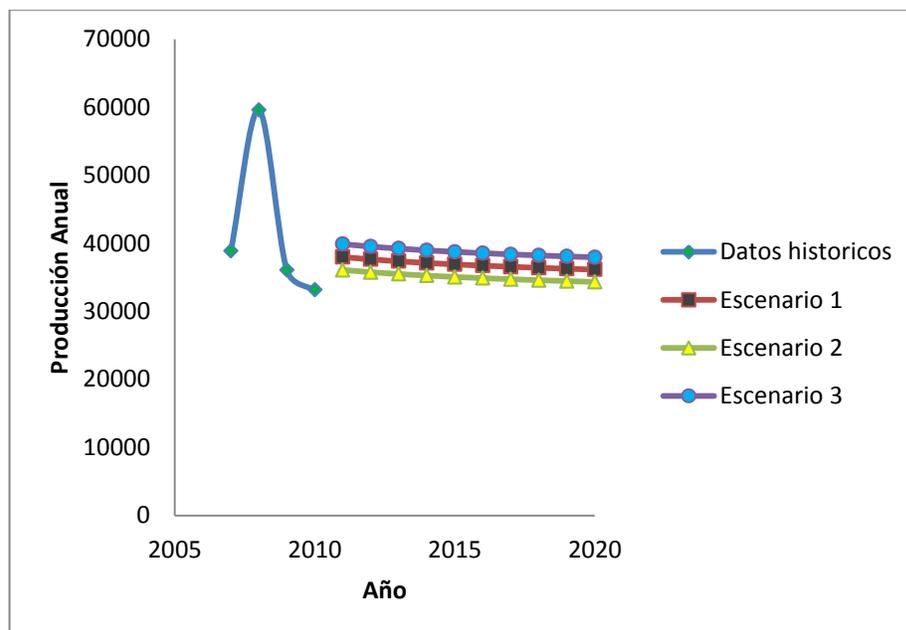


Figura 11. Proyección del consumo de fluidos salinos considerados<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Fuente: Cálculos propios.

De los tres escenarios ya mencionados, podemos pronosticar los siguientes volúmenes de fluido para los próximos 10 años:

**Tabla 14.** Pronostico de la demanda de fluidos salinos

Año proyectado	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	Barriles		
2011	37.975	36.076	39.874
2012	37.629	35.748	39.511
2013	37.344	35.477	39.211
2014	37.102	35.247	38.957
2015	36.891	35.047	38.736
2016	36.705	34.870	38.541
2017	36.539	34.712	38.366
2018	36.388	34.569	38.208
2019	36.251	34.438	38.063
2020	36.124	34.318	37.930

Fuente: Cálculos propios

### 3.3 ESTUDIO DE LA OFERTA

La Oferta es la cantidad de un producto que los fabricantes e importadores del mismo están dispuestos a llevar al mercado, de acuerdo con los precios vigentes, con la capacidad de sus instalaciones y con la estructura económica de su producción.

#### 3.3.1 Estimación de la oferta actual

Las estadísticas de empresas productoras de fluidos y específicamente de completamiento y Workover, es de difícil obtención y por consiguiente es muy cuesta arriba la proyección de su comportamiento a largo plazo. Las dificultades estadísticas impiden la cuantificación exacta del volumen producido, sin embargo la inversión en la industria, ha tomado una dinámica creciente, lo que refleja de algunamaneira expectativas empresariales positivas con respecto al desarrollo futuro del mercado.

Solo es posible hacer una estimación cuantitativa de las principales empresas que producen fluidos semejantes a los que produce PARKO SERVICES S.A, las cuales se resumen en la Tabla 15.

**Tabla 15.** Principales empresas competidoras

Nombre de la Empresa
Baker Hughes Colombia
Bps Colombia LTDA
Brinadd de los Andes S.A
ColombianMudCompany, INC
DPSE
Drift S.A.
Fluidos y Servicios LTDA
Halliburton LatinAmerica S.A
MI Swaco
Qmax Colombia
SerFluocol
Weatherford

Fuente: Directorio Petrolero de Colombia (COLSA 2010 – 2011)

Cabe destacar que en el país existen pocas empresas que preparen fluidos de completamiento y Workover en pozo, por lo que es muy factible que el nuevo servicio sea de gran rentabilidad y proyección a corto plazo.

El tipo de competencia que se evidencia en la región es el oligopolio, debido a que el número de competidores es reducido y/o a la presencia de algunas empresas dominantes en dicho servicio. PARKO SERVICES S.A se presenta como una empresa consolidada poniendo en su carta de presentación los logros alcanzados durante el 2009 y 2010, donde:

- Se recertificó el sistema de gestión de calidad.
- Se certificó el sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional.
- Se realizó renovación del registro único de contratistas del sector hidrocarburos RUC con puntuación alta.

### **3.3.2 Mercado potencial para el servicio**

Debido a las condiciones y a las características particulares del mercado, el servicio se concentrará principalmente en las Operadoras de los campos ubicados en la cuenca del VSM, debido a la fortaleza de sus instalaciones y a la experiencia que la empresa ha venido adquiriendo en el departamento del Huila. Esto conllevará ganar espacio y posicionamiento en las operadoras de los campos del resto del país logrando aumentar la cobertura en la prestación del servicio apoyado en las otras bases que PARKO SERVICES S.A. tiene a nivel nacional.

Se estima que el mercado de este tipo de servicio y productos en el país, tenderá a evolucionar positivamente a medida que mejore el precio del barril de petróleo, la inversión de empresas para llevar a cabo trabajos de perforación y el hallazgo de nuevos pozos petroleros.

### **3.4 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN CON EL NUEVO SERVICIO**

En base a los antecedentes anteriores y por capacidad del equipo, se estima conveniente producir anualmente 40.000 barriles de fluido de diferentes tipos, destinadas a consumo del sector de la Cuenca del VSM. El servicio se mantendrá constante mientras dure el proyecto, siendo menor en los primeros años debido a que se tendrá que dar a conocer el nuevo servicio.

### **3.5 PRECIOS**

Los precios en el mercado de venta varían de una empresa a otra, sin embargo, por motivos de confidencialidad de las empresas no fue posible obtener los precios de venta para cada tipo de fluido producido.

PARKO SERVICES S.A se reserva el derecho de hacer público los precios de ventas que actualmente rigen en el mercado para cada tipo de fluido de completamiento y Workover; pero se debe tener en cuenta que los precios varían dependiendo del tipo de salmuera y de la densidad que se requiera para controlar el pozo. Los precios de venta de los fluidos producidos con el equipo móvil van hacer similares a los que actualmente se ofrecen en el mercado, manteniendo de

esta manera a sus clientes, y vinculando en un corto plazo a nuevos clientes de diferentes sectores del país.

Un estimativo de los precios de venta de los fluidos se puede mirar en la Tabla 16. Cabe aclarar una vez más, que estos precios son valores considerados para este estudio de acuerdo a los costos directos e indirectos del negocio, precios que son cercanos a las tarifas que actualmente maneja PARKO SERVICES S.A. Estos valores se expresarán en porcentaje de acuerdo a los factores de incidencia de cada tipo de salmuera y densidad con su volumen de consumo.

**Tabla 16.** Porcentaje de participación de precios de venta estimados promedio ponderado con respecto a la sumatoria total de estos precios

TIPO DE SALMUERA			
KCl	NaCl	COOHNa	COOHK
(% / bbl)	(% / bbl)	(% / bbl)	(% / gal)
24.53	9.43	54.72	11.32

Fuente: PARKO SERVICES S.A

### 3.6 COMERCIALIZACIÓN DEL SERVICIO

Son muchas las decisiones que se adoptarán respecto de la estrategia comercial del proyecto, las decisiones tomadas tendrán repercusiones directas en la rentabilidad del proyecto por las consecuencias económicas que se manifiestan en sus ingresos y egresos.

Dado que el servicio de preparación de fluidos de completamiento y Workover en campo es nuevo en el mercado, se consideran dos estrategias básicas para posicionar el servicio en el mercado:

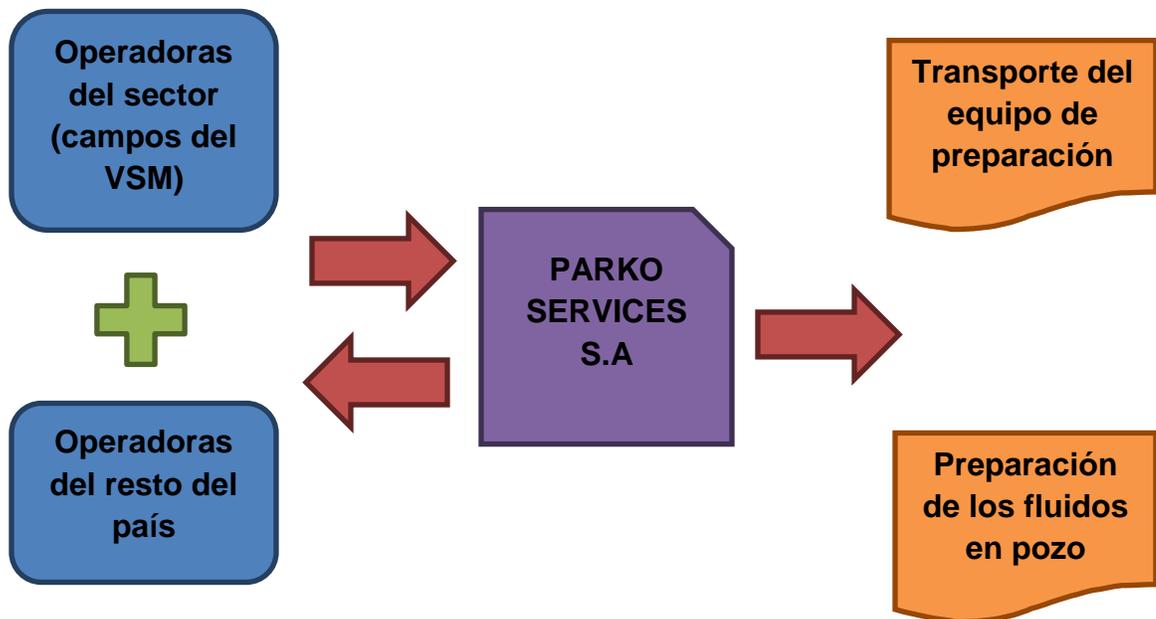
- ✓ Línea de comercialización rápida y eficiente, y
- ✓ Fuerte estrategia de marketing.

Se debe tener en cuenta que debido a que PARKO SERVICES S.A lleva varios años prestando el servicio de preparación de fluidos de control en planta a las diversas Operadoras del sector correspondiente a los campos de la Cuenca

delVSM, será más fácil poder promover y brindarles la prestación del nuevo servicio con la misma calidad y cumpliendo con las necesidades de los clientes.

### 3.6.1 Línea de comercialización

El siguiente esquema representa la columna vertebral del sistema de comercialización del servicio y los fluidos:



### 3.6.2 Marketing y publicidad

✓ Se deben desarrollar estrategias enfocadas a posicionar el servicio en el mercado y publicitar sus beneficios. Para la difusión del nuevo servicio, es necesario incluir en la página web de la empresa en la línea de fluidos y en el portafolio de servicios el nuevo equipo unificado para la preparación de fluidos in-situ, y debe considerarse una fuerte campaña publicitaria en revistas especializadas, eventos desarrollados en el gremio y directorios de empresas petroleras del país.

✓ Se debe desarrollar una estrategia operativa de contacto con clientes potenciales con el propósito de prestar el nuevo servicio rápidamente y desarrollarlo afianzando el vínculo con éstos a través del tiempo, abarcando los siguientes puntos:

- Ampliar información sobre el servicio,
- Precios de los productos,
- Beneficios del servicio, y
- Calidad del servicio y de los productos.

### **3.6.3 Distribución del producto**

Los fluidos serán producidos y entregados en el pozo donde se va a realizar la operación de completamiento y Workover, transportando la materia prima y el equipo móvil al pozo desde la planta de la empresa, ubicada en el kilómetro 17 vía Neiva – Bogotá D.C.

#### 4. DISEÑO DEL EQUIPO DE PREPARACIÓN DE FLUIDOS EN CAMPO

Este estudio de ingeniería está enfocado directamente en el diseño, consolidación y aplicabilidad de un sistema unificado para la preparación de fluidos de control in-situ. Este equipo deberá cumplir ciertos requerimientos determinados tanto por las condiciones de trabajo, como por la misma aplicación a la que será destinado. Se deberán entonces considerar varios aspectos a manera de factores determinantes de las especificaciones generales del equipo. Estas condiciones se pueden dividir en:

✓ **Características geométricas del equipo.** Las características del medio de transporte de la unidad, desde la base de PARKO SERVICES S.A, ubicada en el km 17 vía Neiva - Bogotá, hasta sulugar de operación, donde se encuentre funcionando cualquier empresa de servicios u operadora petrolera, serán el factor limitante del tamaño de la unidad.

La Norma de Transporte<sup>13</sup> disponible para el caso determina que el ancho máximo del sistema no deberá ser mayor a 2.50m, el alto no deberá ser mayor a 4.50 m y el largo puede extenderse hasta los 18.0m sin complicaciones.

✓ **Condiciones de trabajo y características físicas.** En lo que se refiere a parámetros físicos, las condiciones de trabajo son el factor que determinará las especificaciones requeridas.

El tiempo de operación disponible para el proceso de preparación de salmueras, establece que será aceptable estar dentro de un rango de entre 2 y 5 horas diarias, entre tanto, el volumen requerido será de 257 a 335 barriles/día hábil. Por tanto, el caudal de trabajo mensual deberá ser de 9.7 gpm aproximadamente.

✓ **Parámetros de calidad de la salmuera.** Se debe considerar los parámetros de calidad de la salmuera exigidos para evitar los daños a la formación (ver Tabla 4) que son las especificaciones técnicas del fluido requerida por los clientes.

---

<sup>13</sup> Resolución 13791 de 1988 (Ministerio de Transporte)

El factor determinante, para la preparación de la salmuera, es la densidad requerida por el cliente, que varía dependiendo de la materia prima usada (cloruro de sodio, cloruro de potasio, formiato de sodio, formiato de potasio o combinaciones de estas y otros fluidos especiales).

## **4.1 DISEÑO DE LA UNIDAD DE FILTRADO**

La filtración es un proceso en el cual las partículas sólidas que se encuentran en un fluido se separan mediante un medio filtrante, que permite el paso del fluido a su través, pero retiene las partículas sólidas.

Son cuatro los parámetros que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar un sistema de filtrado:

1. Consideraciones físicas del fluido de trabajo (para el caso actual, salmuera con sólidos en suspensión),
2. Tipo de elemento filtrante,
3. Dispositivo o carcasa que soporte el elemento filtrante, y
4. La fuerza impulsora o la diferencia de presiones que induce a la salmuera a moverse a través del sistema.

### **4.1.1 Medios filtrantes**

Se pueden dividir en dos grupos:

- ✓ Los que actúan formando una barrera delgada que permite el paso sólo del fluido y no de las partículas sólidas en suspensión.
- ✓ Los que actúan formando una barrera gruesa al paso del fluido.

Entre los primeros, se encuentran los filtros de tela, los de criba y el papel de filtro común de los laboratorios. Entre los segundos, se mencionan los filtros de lecho de arena, los de cama de coque, de cerámica porosa, metal poroso y los de precapaempleados en ciertas filtraciones industriales que contienen precipitados gelatinosos.

Un medio filtrante delgado ofrece una barrera en la que los poros son más pequeños que las partículas en suspensión, que son separadas del fluido y retenidas en el filtro. En los medios filtrantes gruesos los poros pueden ser más gruesos que las partículas que se van a separar, las cuales pueden acompañar al fluido alguna distancia a través del medio, pero son retenidas más pronto o más tarde por el medio filtrante en los finos intersticios que existen entre las partículas que lo constituyen.

El medio filtrante acaba cegándose por las partículas acumuladas; se debe entonces lavar con fluido claro para limpiarlo y permitir que siga la filtración. Los medios filtrantes delgados también pueden cegarse cuando por ellos se filtran líquidos gelatinosos o que contienen partículas blandas y elásticas en suspensión.

Como medios filtrantes, para temperaturas menores de 100° C, se emplean filtros de algodón o lana; ciertas fibras sintéticas hasta los 150° C; vidrio y amianto o sus mezclas hasta 350° C. Para temperaturas muy altas se usan mallas metálicas, elementos porosos cerámicos, de acero inoxidable.

#### **4.1.2 Planteamiento de alternativas**

##### **✓ Filtradores tipo cartucho**

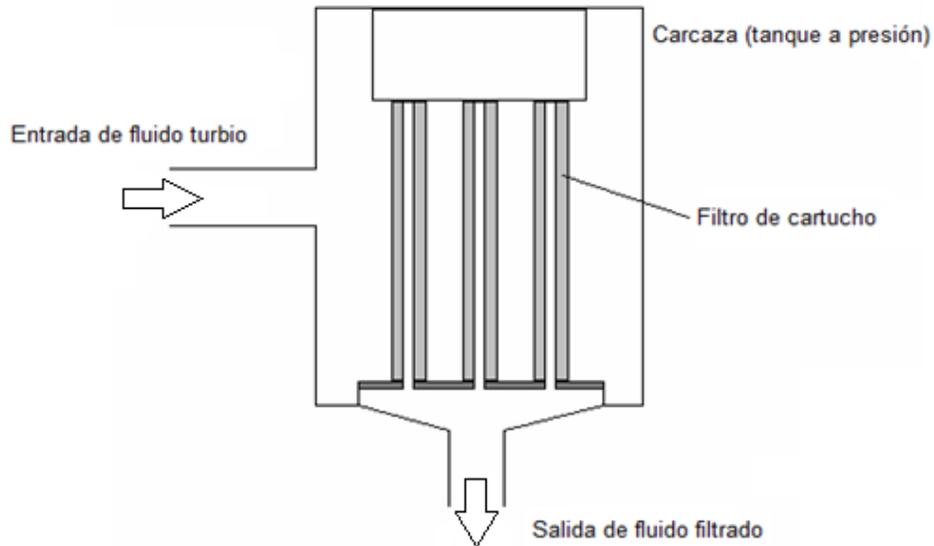
Son una alternativa de filtrado eficiente y muy económica en un amplio rango de aplicaciones.

Los cartuchos filtrantes a nivel industrial se emplean para remover de un fluido partículas en suspensión, donde la filtración nominal es muy importante. Un cartucho puede ser construido utilizando varios materiales tales como, polipropileno, nylon, polipropileno cargado positivamente, entre otros.



**Figura 12.** Filtros de cartucho en diferentes tamaños y formas<sup>14</sup>

El sistema consiste en una serie de cartuchos dispuestos paralelamente en un tanque de presión sellado, en donde el fluido a filtrar circula a una presión determinada y en la dirección que recomienda el fabricante.



**Figura 13.** Esquema de un filtrador de cartucho

Los filtros de cartucho proveen una gran capacidad de retención de partículas, un amplio rango de fluidos de trabajo y sobre todo una caída de presión bastante

<sup>14</sup>Cartuchos filtrantes 3M CUNO

baja. El flujo normal para este tipo de filtros es de fuera hacia dentro, sin embargo para ciertas aplicaciones industriales el flujo puede ser invertido.

El rango de retención varía desde 0.5 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro promedio de las partículas en suspensión, con una eficiencia de filtrado del 90 al 95%, existiendo también cartuchos con una eficiencia mayor.

#### ✓ **Filtradores de lecho filtrante**



**Figura 14.** *Filtrador de lecho filtrante*<sup>15</sup>

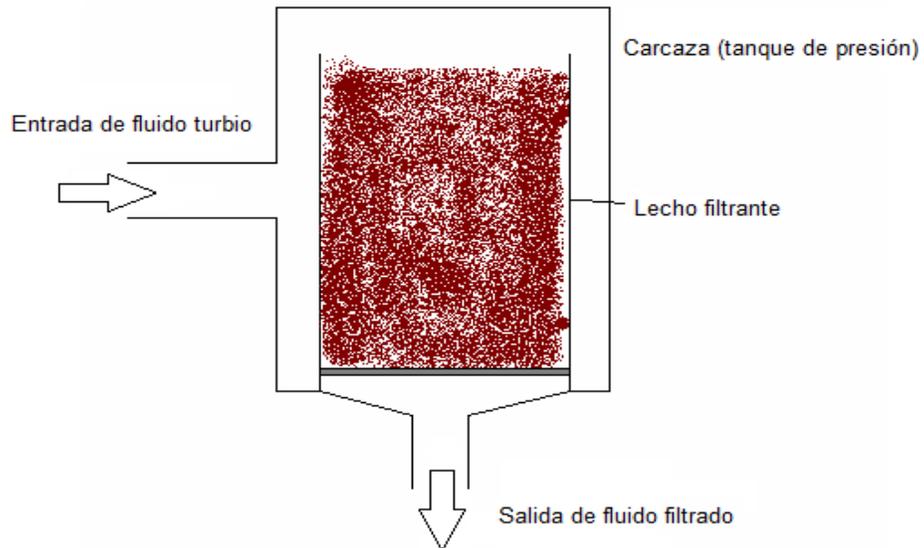
El principio de la filtración usando un lecho filtrante (grava, arena silica, carbón, etc.) es muy simple. El fluido es introducido por la parte superior de la cama del lecho de los tanques. Un plato difusor en la garganta superior del tanque sirve para reducir la velocidad del fluido y distribuir uniformemente el fluido a través de la parte superior de la cama filtrante. Los contaminantes del fluido son capturados en la cama del lecho y el fluido filtrado pasa dentro del colector de descarga, ubicado en el fondo de los tanques.

Los filtros de lecho son efectivos para filtrar tanto contaminantes orgánicos, como inorgánicos. El tamaño mayor y la naturaleza tridimensional de la cama del lecho proveen más área de filtrado y tienen una mayor capacidad de retención que muchos otros tipos de filtros. Determinar la capacidad del filtro y entender la

---

<sup>15</sup> Fuente: STF filtros

función de retrolavado (limpieza) de su sistema están entre otros los aspectos más importantes de una filtración exitosa.



**Figura 15.** Esquema de un filtrador de lecho filtrante

✓ **Filtradores tipo jaula**

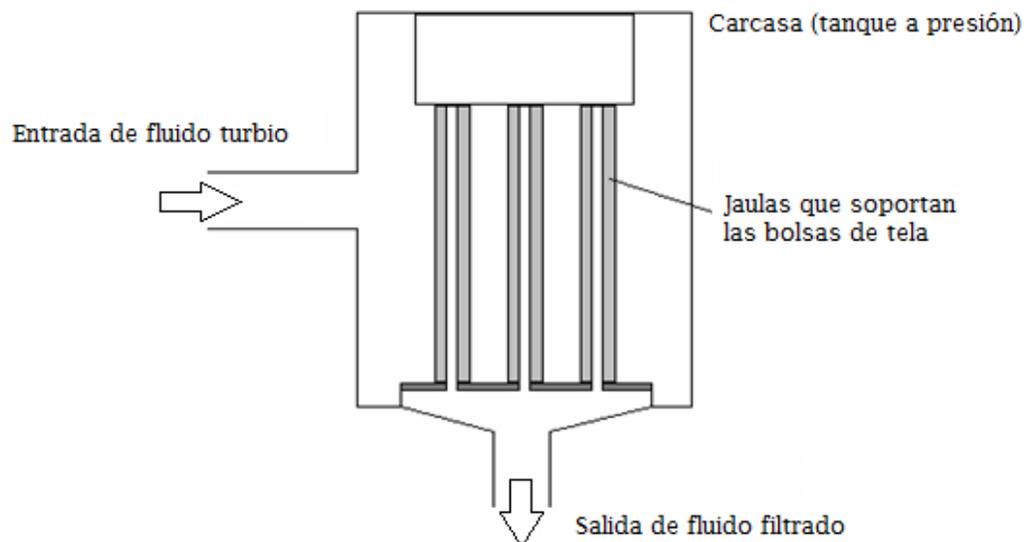


**Figura 16.** Jaula que soporta la bolsa de tela<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Fuente: Alibaba.com. Jaula en Acero al Carbón para la Bolsa de Tela

Una unidad de filtro tipo jaula consiste de uno o más compartimientos aislados conteniendo hileras de bolsas de tela, en la forma de tubos redondos, planos o de cartuchos plisados.

Con este tipo de filtrador pueden conseguirse rendimientos mayores del 99% independientemente de las características del fluido, haciendo posible la separación de partículas de un tamaño hasta del orden de  $5\mu\text{m}$ . Sus limitantes son la temperatura y la humedad; ya que no pueden manejar flujos a más de  $200^{\circ}\text{C}$  (dependiendo del material).



**Figura 17.** Esquema de un filtrador tipo jaula

El fluido cargado de partículas pasa generalmente a lo largo del área de las bolsas y luego a través de la tela. Las partículas son retenidas en la cara de las bolsas corriente abajo y el fluido limpio sale por debajo de la unidad.

Las jaulas del filtrador que soportan las bolsas de tela, deben ser livianas, resistentes y de fácil acceso para su instalación y mantenimiento. La calidad de las jaulas está directamente relacionada con el proceso de filtración y las condiciones de operación.

**Tabla 17.** Cuadro comparativo de las características técnicas de dos tipos de filtradores

Filtrador	Rango de filtrado (gpm)	Presión de operación (psia)	Temperatura de operación (°F)	Limpieza
De cartucho	Hasta 5 gpm/10 in de cartucho	Hasta 150	200	Manual, luego de desarmar la carcaza
De lecho filtrante	15 - 739	120 - 150	Ambiente	Manual

Fuente: Datos recolectados

#### 4.1.3 Criterios de selección de las alternativas de filtradores

El proceso de selección a realizarse a continuación se desarrollará basado en la evaluación de la viabilidad de la utilización de cada una de las alternativas de filtradores mencionadas en el apartado anterior. Los criterios elegidos para ser ponderados obedecen estrictamente a consideraciones técnicas de los filtradores y de los parámetros funcionales exigidos al equipo, así como a consideraciones económicas, orientadas básicamente al análisis de los costos de fabricación, de operación y mantenimiento.

#### 4.1.4 Parámetros de selección

##### ✓ Capacidad de retención y rendimiento

Se refiere expresamente a los rangos de los diámetros promedio de las impurezas y demás partículas en suspensión disueltas en la salmuera. Para el caso actual se debe elegir un filtrador con capacidad de filtrar partículas mayores a 2  $\mu\text{m}$ . El rendimiento de filtrado se orienta hacia el estudio estadístico de una muestra de partículas retenidas en un filtrador. Para la evaluación de este parámetro se considerará el coeficiente  $\beta$  de retención, que para la mayoría de aplicaciones en el campo del petróleo requieren una relación de 100 o mayor.

✓ **Costo**

Este factor posiblemente sea el más importante para la selección, puesto que el diseño debe ser competitivo para poder ser comercializado, a pesar de que el mercado para el que se orienta el equipo maneja presupuestos muy elevados. El costo de los equipos tomados en consideración influirá mucho en la decisión de compra ya que en todo proyecto los análisis económicos se orientan hacia la consecución del equilibrio entre la alta calidad y el bajo costo.

✓ **Tamaño**

El tamaño de los equipos siempre es una restricción para toda instalación industrial. Por este motivo se debe optimizar el espacio físico requerido por el equipo, así como su peso, puesto que no solamente es importante el espacio que va a requerir para su instalación y funcionamiento, sino que al ser un equipo móvil, existen también restricciones de transporte.

✓ **Parámetros operacionales**

Los parámetros operacionales bajo los cuales funciona el equipo deben ser manejados prudentemente. Puede darse el caso de que el equipo presente características óptimas de rendimiento y operación, sin embargo exija al resto del sistema altísimos requerimientos de presión, caudal y temperatura, lo cual no solamente vuelve al sistema más costoso, sino que existen implicaciones de seguridad industrial que deben revisarse muy detenidamente.

✓ **Operación y mantenimiento**

El sistema de filtrado no debe presentar dificultades para su operación si se busca que sea un sistema de alta eficiencia. El sistema no será diseñado para operación continua, sino que tendrá la capacidad de desempeñar su trabajo en un tiempo reducido. Además su mantenimiento no debe implicar procedimientos muy tecnificados además de no tener un costo muy elevado.

#### 4.1.5 Evaluación de las alternativas

Para el proceso de selección se valorará cada parámetro en una escala de 1 a 10 puntos. La alternativa que presente un valor ponderado total mayor, será la elegida. La valoración de las alternativas se realizará de acuerdo a un análisis exhaustivo de los diferentes catálogos e información técnica de cada uno de los filtradores.

**Tabla 18.** Evaluación de los parámetros de selección de filtradores

Parámetros	Filtradores de cartucho	Filtradores de lecho filtrante	Filtradores tipo jaula
Capacidad de retención y rendimiento	10	8	8
Costo	8	8	9
Tamaño	9	6	8
Parámetros operacionales	10	9	8
Operación y mantenimiento	10	8	9
<b>TOTAL</b>	<b>47</b>	<b>39</b>	<b>42</b>

Fuente: Cálculos propios

De acuerdo al análisis de los totales obtenidos de la ponderación de los parámetros, la opción 1 es la más viable al momento de seleccionar un unidad de filtrado.

Los filtradores de cartucho en un espacio reducido presentan una capacidad de retención desde 0.5  $\mu$ men adelante, con un rendimiento equivalente a un  $\beta = 5000$ , lo cual indica que de 5000 partículas, existe la posibilidad de que únicamente pase a través del filtro un sola<sup>17</sup>.

<sup>17</sup>Hampton, John y Weismantel, Guy. Revista "PetroleumTechnologyQuartely": Filtración de Aminas". 2003

Además, los cartuchos son elementos mecánicos que pueden trabajar a regímenes de presión bajos (alrededor de 100 a 150 psi), si bien es cierto que existen otros tipos de cartuchos para presiones superiores (200 – 300 psi).

Los cartuchos tienen una característica muy importante: pueden ser lavados si se invierte el flujo utilizando agua pura. Es decir, pueden ser lavados y se desecharían luego de ser reutilizados varias veces. Y un punto adicional, es que el tanque de presión que los soporta está diseñado de tal forma que la extracción de los cartuchos sea un trabajo muy sencillo. Mirar en el Anexo D la descripción de los elementos filtrantes (filtros de cartucho) a usar en la operación de filtrado.

Esta unidad de filtrado será diseñada para retener un tamaño mínimo de partículas de 2µm.

#### **4.1.6 Características de las unidades de filtración (tanque a presión)**

Un tanque de presión es el elemento mecánico que soporta los filtros de cartucho y capuchones (bolsas de tela). La configuración interior de los tanques permite que los filtros trabajen de su exterior al interior.

De igual manera, las características del filtro seleccionado, junto con el caudal de trabajo requerido por el sistema, definen el tamaño, peso y capacidad de las unidades de filtración.

Todos los detalles de diseño se realizaron bajo el Código ASME<sup>18</sup> Sección de Recipientes a Presión. Ver todos los detalles de diseño en el Anexo E.

#### **4.1.7 Planteamiento de la configuración de las unidades de filtrado**

Se ha visto que para las condiciones impuestas al diseño de la unidad de filtración la mejor alternativa de filtrado son los tanques de presión en cuyo interior un elemento de filtrado retenga las impurezas del fluido.

---

<sup>18</sup> Código ASME, Sección VIII División 1 (Reglas para la Construcción de Recipientes a Presión), Edición 2007.

Por cuestiones de seguridad y de trabajo, es necesario que el proceso de filtrado se realice en varias etapas, dependiendo de la calidad de la salmuera a la entrada del sistema y de los requerimientos de pureza con los que debe salir.

Puesto que para este caso el tamaño de las partículas debe ser menor de 2  $\mu\text{m}$ , no resulta eficiente ni mucho menos rentable una unidad de filtración con una sola fase de filtros. Por ello, se plantea la alternativa de conformar un sistema de filtrado de dos etapas.

Este arreglo de dos filtradores podrá trabajar en serie y en paralelo, y está constituido por dos tanques de filtrado de diferente tipo. El primer tanque de filtración tipo jaula tiene una capacidad de filtrado de hasta 5  $\mu\text{m}$ , seguido por un tanque de filtración tipo cartucho con una capacidad de filtrado de hasta 2  $\mu\text{m}$ . Esta configuración garantiza que la unidad de filtración con los cartuchos perdure más de acuerdo al número de barriles filtrados.

El objetivo es conseguir una capacidad de filtrado nominal de 2  $\mu\text{m}$  con rendimientos de hasta el 99.98%.

#### **4.2 DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLADO**

Los tanques de paredes planas se utilizan únicamente para presiones hidrostáticas bajas, debido a su forma mecánicamente débil. La cantidad de material requerido para los tanques rectangulares es mayor que la que requiere los tanques cilíndricos de igual capacidad. Sin embargo, a veces se prefiere utilizar dichos tanques por la facilidad y buena utilización de espacio.

El margen de espesor por corrosión que especificará el usuario se incluirá en cuerpo, fondo, techo y estructura, y sólo se agrega al final del cálculo de cada uno de los elementos del tanque, debido a que la agresividad química no es lo mismo para el fluido en estado líquido o gaseoso y en algunos casos hasta para los lodos.

Cabe destacar que por motivos de operación y necesidades de manejar un alto volumen de fluido (200 barriles), las dimensiones del tanque fueron establecidas como sigue:

- ❖ Alto (H) = 3 m (119 in)
- ❖ Largo (L) = 6 m (237 in)
- ❖ Ancho (A) = 2.3 m (91 in)

#### **4.2.1 Soldaduras en tanques de almacenamiento y mezclado**

El Código ASME Sección IX, establece que toda junta soldada deberá realizarse mediante un procedimiento de soldadura de acuerdo a la clasificación de la junta y que, además, el operador deberá contar con un certificado que lo acredite como soldador calificado, el cual le permite realizar cierto tipo de soldaduras de acuerdo con la clasificación de ésta. Una vez realizada la soldadura o soldaduras, éstas se someterán a pruebas y ensayos como: ultrasonido, radiografiado, líquidos penetrantes, dureza, etc. donde la calidad de la soldadura es responsabilidad del fabricante. Al efectuar el diseño se deberán preparar procedimientos específicos de soldadura para cada caso.

Los procedimientos de soldadura serán presentados para su aprobación y estudio antes de aplicar cualquier cordón de soldadura para cada caso en particular. Este procedimiento debe indicar la preparación de los elementos a soldar, así como la temperatura a la que se deberá precalentar tanto el material de aporte (electrodo, si lo hubiera), como los materiales a unir.

Todas las soldaduras serán aplicadas mediante el proceso de arco eléctrico sumergido, arco con gas inerte o electrodos recubiertos. Estos procesos pueden ser manuales o automáticos. En cualquiera de los dos casos, deberán tener penetración completa, eliminando la escoria dejada al aplicar un cordón de soldadura antes de aplicar sobre éste el siguiente cordón.

#### **4.2.2 Entradas hombre horizontales y verticales**

Los tanques contarán, por lo menos con una entrada hombre en el cuerpo o en el techo con la finalidad de poder realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque.

### 4.2.3 Drenes

Los tanques también deberán contar con una boquilla por lo menos para el drenado de fluidos, la cual podrá estar al ras del fondo, dirigidas a un sumidero o por debajo del tanque.

### 4.2.4 Escaleras y plataformas

Las escaleras, plataformas y barandales tienen la finalidad de situar al personal que así lo requiera en una zona del tanque que necesite de constante mantenimiento o supervisión, generalmente sobre el techo donde se localizan diversas boquillas y la entrada hombre, además de brindar protección y seguridad al personal.

### 4.2.5 Consideraciones de diseño

El diseño del tanque para el proceso de mezclado se va realizar basado en el procedimiento del Manual de Recipientes a Presión<sup>19</sup> planteado por el Ingeniero Eugene F. Megyesy, para tanques rectangulares con elementos sujetadores horizontales.

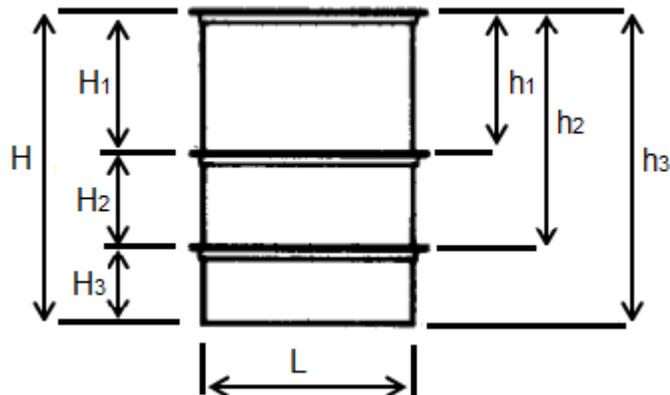
#### Notación

- Altura del tanque (H), en pulgadas
- Longitud del tanque (L), en pulgadas
- Modulo de elasticidad (E), en lb / in<sup>2</sup>
- Gravedad especifica del fluido (G)
- Factor  $\alpha$  = depende de la relación entre la longitud y la altura
- Momento de inercia (I), en pulgada<sup>4</sup>
- Presión del fluido (P), en lb / in<sup>2</sup>
- Esfuerzo máximo permisible del material a la tensión (S), en lb / in<sup>2</sup>
- Carga por unidad de longitud (w), en lb / in
- Margen por corrosión (C), en pulgadas

<sup>19</sup> Eugene F, Megyesy. Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Cálculo. Parte I, Subparte 11 (Tanques Rectangulares Sometidos a Presión Hidrostática) México, 1992.

- Espesor de placa requerido (t), en pulgadas

Número de sujetadores



**Figura 18.** Configuración de los sujetadores

Para determinar el número de sujetadores, buscamos en la Tabla 19 la altura del tanque, y leemos el valor correspondiente de sujetadores necesarios para el diseño.

**Tabla 19.** Cantidad de sujetadores requeridos

ALTURA (in)			
60 - 84	84 – 120	120 - 156	> 156
1	2	3	4

Separación entre el número de elementos sujetadores

La separación de los sujetadores va a estar determinada por la Tabla 20, y se ilustra por medio de la Figura 18.

**Tabla 20.** Distancia entre sujetadores

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
<b>1</b>	0.60H	0.40H			
<b>2</b>	0.45H	0.30H	0.25H		
<b>3</b>	0.37H	0.25H	0.21H	0.17H	
<b>4</b>	0.31H	0.18H	0.18H	0.16H	0.14H

### Carga

$$w = \frac{0.036 G h^2}{2} \text{ (Ec. 1)}$$

### Momento de inercia mínimo para los sujetadores

$$I = 1.25R \left( \frac{L^3}{\varepsilon} \right) \text{ (Ec. 2)}$$

Donde,

$$R = 0.7 w \quad \text{(Ec. 3)}$$

### Espesor requerido de la placa

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha_n P_n}{s}} \text{ (Ec. 4)}$$

Los cálculos de diseño de forma detallada del tanque rectangular con elementos sujetadores horizontales sometidos a presión hidrostática, para los materiales seleccionados en el Anexo C, se pueden mirar en el Anexo F.

## **4.3 SELECCIÓN DE LA BOMBA**

Para la correcta selección de la bomba a utilizar en el sistema y un adecuado dimensionamiento de la misma, se hace necesario conocer el funcionamiento de los diferentes tipos de bombas, así como las ventajas que ofrecen cada una de estas, y los escenarios adversos que no permite un buen desempeño. Es por eso que en este apartado se estudiará, seleccionará y realizará los cálculos necesarios para el correcto dimensionamiento de la bomba.

Al seleccionar bombas para una aplicación dada, existen varias opciones para elegir. Estas dependen del caudal de operación, propiedades fisicoquímicas del fluido a preparar, presiones de operación, entre otras. Se debe seleccionar una bomba que opere con un rendimiento alto para las condiciones de funcionamiento dadas. El objetivo es seleccionar una bomba y su velocidad de modo que las características de funcionamiento de la bomba en relación al sistema en el cual opera sean tales que el punto de funcionamiento esté cerca del PMR (punto de máximo rendimiento). Esto tiende a optimizar el rendimiento de la bomba, minimizando el consumo de energía.

### **4.3.1 Cálculos básicos para la selección de bombas**

Es necesario realizar el cálculo de las pérdidas de carga producidas en todos los elementos con el fin de definir los requerimientos del sistema de impulsión. Estos cálculos son mostrados en el Anexo G.

### **4.3.2 Planteamiento de alternativas**

Existen varias consideraciones técnicas muy importantes que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar el elemento que impulsará un fluido dentro del sistema. El diseño del sistema de bombeo exige que se tomen en cuenta parámetros que permitan que el sistema satisfaga requerimientos más allá de las exigencias básicas de operación.

Actualmente la tecnología desarrollada para producir bombas ha alcanzado niveles de diversificación bastante altos. En el siguiente Tabla se presenta una clasificación resumida de los tipos de bombas.

**Tabla 21.** Clasificación y características de las bombas

		DINÁMICAS		DESPLAZAMIENTO POSITIVO		
		Centrifuga		Rotatoria	Reciprocante	
				<u>Tornillo y engranaje</u>	<u>Vapor</u>	<u>Diafragma</u>
TIPO DE DESCARGA	Continua	Continua	Pulsante			
FLUIDOS QUE MANEJAN	Limpios, claros, sucios, abrasivos	Viscosos no abrasivos	Limpios y claros			
VARIACIÓN DE LA PRESIÓN DE DESCARGA	Baja a media	Media	Pequeña			
¿CÓMO AFECTA UNA COLUMNA DISMINUIDA?						
CAPACIDAD	Aumenta	Nada	Pequeña variación	Nada		
DEMANDAD POTENCIA	Depende de la velocidad específica	Disminuye	Disminuye			

**Fuente:** HICKS Tyler, BOMBAS SU SELECCIÓN Y APLICACIÓN, Compañía Editorial Internacional. México, 1974.

En el Anexo H se puede detallar las características y funcionamiento de las alternativas planteadas anteriormente.

#### 4.3.3 Parámetros a evaluarse para la selección de la bomba

##### ✓ Requerimientos operacionales del sistema

El equipo de bombeo debe satisfacer plenamente las condiciones depresión, caudal y temperatura que se requieren para impulsar al fluido de trabajo a través del sistema de filtrado.

##### ✓ Costo

Los costos de adquisición deben ser moderados. Es importante en cualquier diseño obtener los mejores resultados operacionales al menor costo posible, para que sea rentable la materialización del proyecto.

### ✓ Actividades de mantenimiento

Dentro de las actividades de mantenimiento deben analizarse los costos asociados y la dificultad que los procedimientos que implicarán las reparaciones o simples inspecciones del equipo.

#### 4.3.4 Evaluación para la selección de la bomba

La evaluación de las alternativas de bombas se realizará analizandotextos detallados acerca de cada tipo de bomba, además del análisis de ciertas recomendaciones realizadas por personas con mucha experiencia en el tema.

Cada parámetro de selección se evaluará en una escala del 1 al 10, tomando en cuenta los tratados técnicos de cada tipo de bomba. En primera instancia se evaluará los requerimientos técnicos que fueron presentados en el apartado “Planteamiento de Alternativas (numeral 4.3.2)”, y posteriormente, se realiza una evaluación con los parámetros anteriormente establecidos.

**Tabla 22.** Evaluación parámetros operacionales de la bomba

	DINÁMICAS	DESPLAZAMIENTO POSITIVO		
	Centrifuga	Rotatoria	Reciprocante	
		Tornillo y engranaje	Vapor	Diafragma
TIPO DE DESCARGA	10	10	6	6
FLUIDOS QUE MANEJAN	10	8	7	7
VARIACIÓN DE LA PRESIÓN DE DESCARGA	10	10	8	8
CAPACIDAD	9	7	8	7
DEMANDAD POTENCIA	9	10	10	10
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>45</b>	<b>39</b>	<b>38</b>

Fuente: Cálculos propios

El tipo de descarga es el parámetro fundamental a evaluar, ya que en campo durante en el proceso de preparación, el volumen necesitado debe ser

suministrado de manera rápida y oportuna; el mejor desempeño lo obtienen las bombas tipo centrífuga y rotatoria.

Las bombas reciprocantes son devaluadas ya que para obtener caudales hipotéticamente continuos se debe trabajar a revoluciones muy elevadas, lo que esforzaría el equipo que provocaría altos consumos de energía. La demanda de potencia es menor para la bomba centrífuga ya que depende del caudal que operará en campo, lo que puede provocar demandas mayores o menores a las que requiere otro tipo de bomba.

**Tabla 23.** Evaluación parámetros de selección de la bomba

	DINÁMICAS		DESPLAZAMIENTO POSITIVO	
	Centrífuga	Rotatoria	Reciprocante	
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES DEL SISTEMA	9	9	7,8	7,6
COSTO	10	8	7	7
ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO	10	7	7	7
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>24</b>	<b>21.8</b>	<b>21.6</b>

**Fuente:** Cálculos propios

La calificación en costos se debe a que las centrifugas son las bombas más económicas del mercado, y en actividades de mantenimiento ya que una bomba centrífuga sólo se reduce a renovar el aceite de las chumaceras, los empaques del prensa-estopa y el número de elementos a cambiar es muy pequeño, en comparación a una bomba de desplazamiento positivo que tiene un gran número de partes móviles.

De acuerdo al análisis anterior la mejor alternativa de selección es la adopción de una bomba centrífuga. Esto se justifica plenamente puesto que las presiones de trabajo que se manejan son relativamente bajas; además, que las propiedades físicas del fluido (viscosidad y densidad) permiten la adopción de este tipo de bomba para el diseño y proceso de preparación de fluidos. La selección específica de la bomba que será empleada en el sistema corresponde sobre todo al análisis de disponibilidad de compra de la misma.

## **4.4 SELECCIÓN DEL MOTOR**

Para la selección deberán tomarse en cuenta los siguientes parámetros:

- Disponibilidad de la energía necesaria para su funcionamiento.
- Complejidad del sistema, número de subsistemas o componentes.
- Costo total del sistema.
- Facilidad de mantenimiento.
- Operatividad.

### **4.4.1 Planteamiento de alternativas**

#### **✓ Motor eléctrico, alimentado de una red eléctrica**

Presenta la necesidad de una red eléctrica disponible en la locación petrolera.

Sistema muy sencillo, puesto que el motor eléctrico se conecta directamente a la bomba y se controla por un panel de control con un solo switch de encendido y otro de corte de emergencia. El costo del sistema únicamente implica la adquisición del motorelctrico y la bomba.

Su mantenimiento es relativamente sencillo, pues depende del tipo de motor eléctrico que se seleccione. Su dificultad radica en la disponibilidad inmediata de repuestos.

La simplicidad, bajo costo y facilidad de mantenimiento de esta alternativa se ven opacadas por la dificultad de que exista una red eléctrica operando en cada locación petrolera.

✓ **Motor eléctrico, alimentado por un generador eléctrico, movido por un motor estacionario**

Sistema totalmente independiente, cuya fuente primaria de energía es la obtenida de la combustión de combustibles fósiles, con la posterior conversión de energía química a energía mecánica, de energía mecánica a energía eléctrica y de energía eléctrica a energía mecánica. Obviamente habrá que tomar en cuenta las pérdidas de energía generadas en cada proceso de transformación.

El sistema completo comprende 4 subsistemas: bomba, motor eléctrico, generador, motor estacionario. Además deben tomarse en cuenta los sistemas de acoplamiento tanto mecánico como eléctrico y dos paneles de control: uno para el motor eléctrico y otro para el sistema motor estacionario – generador.

El costo de todo el sistema implica la adquisición de un motor estacionario de combustión interna, un generador eléctrico, un motor eléctrico y una bomba. Además de los controladores necesarios y otros accesorios. El mantenimiento debe darse en forma individual a cada uno de los cuatro subsistemas.

El espacio físico que va a requerir la instalación de dichos elementos, también es un punto que debe tomarse muy en cuenta, puesto que la unidad de filtración debe ser lo más compacta posible.

✓ **Bomba movida por un motor estacionario acoplado mediante un embrague mecánico**

Sistema independiente de la red eléctrica. La bomba es movida directamente por el motor estacionario, por lo cual existirán menos pérdidas energéticas durante la operación del sistema.

El sistema comprende tres subsistemas: el motor estacionario (De preferencia Diesel), el embrague, medio de acople de la bomba al motor y la bomba propiamente dicha. Existirá un solo panel de control, del motor, junto al cual debe estar el accionamiento mecánico del embrague que permite el movimiento de la bomba.

El costo del sistema implica la compra del motor estacionario junto con el sistema de embrague y la bomba. Además de los sistemas de control necesarios para operar el equipo.

El mantenimiento implica procedimientos individuales en el motor estacionario, el embrague y la bomba. El espacio físico necesario para la instalación del sistema es menor que para el caso anterior.

#### **4.4.2 Parámetros a evaluarse para la selección del motor de labomba**

##### **✓ Disponibilidad de la energía necesaria para su funcionamiento**

Este punto debe analizarse puesto que en la mayoría de instalaciones auto sustentadas, el uso de la energía producida es muy restringido, además de costoso.

##### **✓ Complejidad del sistema, número de subsistemas**

La complejidad del sistema se relaciona también con su tamaño, lo cual es importante puesto que el espacio disponible es limitado. Además es necesario considerar la disposición de los subsistemas al momento de diseñar el bastidor, puesto que este debe resultar completamente funcional.

##### **✓ Costo total del sistema**

El costo es un impedimento mencionado anteriormente con mucha frecuencia. Es necesario obtener un producto rentable, y para esto, los costos deben ser minimizados.

##### **✓ Facilidad de mantenimiento**

Las operaciones de mantenimiento deben ser lo más sencillas que sea posible, puesto que en casos esporádicos será necesario realizar estas labores en el

complejo petrolero, y en ese caso no se pueden permitir tiempos muertos muy prolongados.

#### ✓ Operatividad

El sistema a elegirse debe ser de fácil operación y de alto rendimiento para obtener los máximos beneficios que sea posible.

#### 4.4.3 Evaluación y selección de alternativas

La evaluación de las alternativas anteriores se realizará dando a cada parámetro una ponderación del 1 al 10. Este proceso en cierta forma empírico se ha llevado a cabo luego de un análisis exhaustivo de las características de cada alternativa.

**Tabla 24.** Evaluación parámetros de selección del motor

	Motor eléctrico alimentado por una red eléctrica	Motor eléctrico, alimentado por un generador eléctrico, movido por un motor estacionario	Bomba movida por un motor estacionario (Acoplado con embrague mecánico)
Disponibilidad de energía	3	10	10
Complejidad del sistema	9	4	8
Costo	10	3	7
Mantenimiento	10	7	9
Operatividad	10	9	10
<b>TOTAL</b>	<b>42</b>	<b>33</b>	<b>44</b>

**Fuente:** Cálculos propios

De acuerdo al planteamiento anterior la mejor opción para el sistema de bombeo es la utilización de una bomba centrífuga impulsada por un motor de combustión interna.

## **5. ESTUDIO TÉCNICO**

Basándose en la información obtenida en el estudio de mercado y en el diseño de equipos, el estudio técnico busca definir las especificaciones técnicas de los insumos necesarios para ejecutar el proyecto: el tipo y la cantidad de materias primas, el nivel de calificación de la mano de obra, y las características de los equipos necesarios.

### **5.1 TAMAÑO ÓPTIMO**

La capacidad del equipo se planificó en función de la demanda de los fluidos que fabrica la empresa PARKO SERVICES S.A, además conociendo la funcionalidad y el crecimiento del mercado, se estima que esta capacidad instalada es suficiente para satisfacer el mercado dentro del cual opera la empresa. Si se requiere incrementar la capacidad instalada por nuevas exigencias del mercado, no es necesario paralizar el proceso productivo, o tener que esperar demasiado tiempo para instalar y poner en marcha la nueva capacidad; con el acoplamiento e instalación de nuevos equipos en muy corto plazo se soluciona la situación, pues el equipo posee toda la infraestructura necesaria para ello.

Con base a la experiencia de la empresa en este Sector de la Cuenca del VSM, se estima una capacidad instalada de 40.000 barriles anuales siendo esta la más adecuada.

### **5.2 MATERIA PRIMA**

#### **5.2.1 Materia prima necesaria**

La materia prima requerida para preparar los fluidos para trabajos de completamiento y Workover es:

- Sal (Cloruro de Sodio, Cloruro de Potasio, Formiato de Sodio y Formiato de potasio)
- Agua

- Bactericida
- Antiespumante
- Surfactante y otros aditivos químicos.

Toda la materia prima es de origen internacional, y se requieren que las sales tengan una pureza superior a 97%.

## 5.2.2 Requerimientos y precios

- ✓ Sal

Su uso actual es en procesos industriales y existe una capacidad considerable de estas plantas que permitirían abastecer sin ningún problema las necesidades de este proyecto. La Tabla 25 nos muestra la cantidad anual de cada tipo de sal requerida para cumplir con la producción estimada de fluidos.

**Tabla 25.** Cantidad requerida de sal por año

Año	Kilogramos			
	NaCl	KCl	COOHNa	COOHK
2012	16.189	125.522	305.165	35.273
2013	16.067	124.572	302.854	35.241
2014	15.963	123.765	300.891	35.012
2015	15.872	123.061	299.180	34.813
2016	15.792	122.440	297.671	34.638
2017	15.720	121.886	296.325	34.481
2018	15.655	121.383	2951.01	34.338
2019	15.596	120.926	2939.89	34.209
2020	15.542	120.502	2929.60	34.089

Fuente: Cálculos propios

Los precios estimados para estas sales se muestran a continuación:

**Tabla 26.** Precios estimados por tipo de sal

Precio / Kg	
NaCl	\$ 1.200
KCl	\$ 2.800
COONa	\$ 3.000
COOK	\$ 6.000

Fuente: PARKO SERVICES S.A

✓ Agua

El agua necesaria por la preparación de los fluidos será suministrada por las Operadoras de los pozos donde se vaya a prestar el servicio. En caso donde el agua no sea suministrada se tendrá que comprar a un precio aproximadamente de \$900 por barril incluido el transporte.

En la Tabla 27 se muestra la cantidad de agua requerida; para cuestiones de cálculos el volumen de agua será la misma cantidad de salmuera que se tendrá que producir anualmente para cubrir la demanda.

**Tabla 27.** Cantidad requerida de agua por año

Año	Barriles
2012	37.629
2013	37.344
2014	37.102
2015	36.891
2016	36.705
2017	36.539
2018	36.388
2019	36.251
2020	36.124

Fuente: Cálculos propios

✓ Bactericida

El requerimiento de este químico para controlar los diferentes microorganismos que puede contener los fluidos es de aproximadamente 2 gal / 1.000 bbl de fluido. Se estima un precio de \$25.550 por galón de un bactericida con una formulación clara y concentrada con el fin de inhibir el crecimiento bacteriano en el fluido.

✓ Antiespumante

El requerimiento de este químico para controlar la espuma generada durante la preparación de la salmuera es de aproximadamente 0.5 gal / 1.000 bbl de fluido. Se estima un precio de \$10.900 por galón, el uso de este producto depende de las diferentes formulaciones que se realice con las sales.

### **5.3 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS**

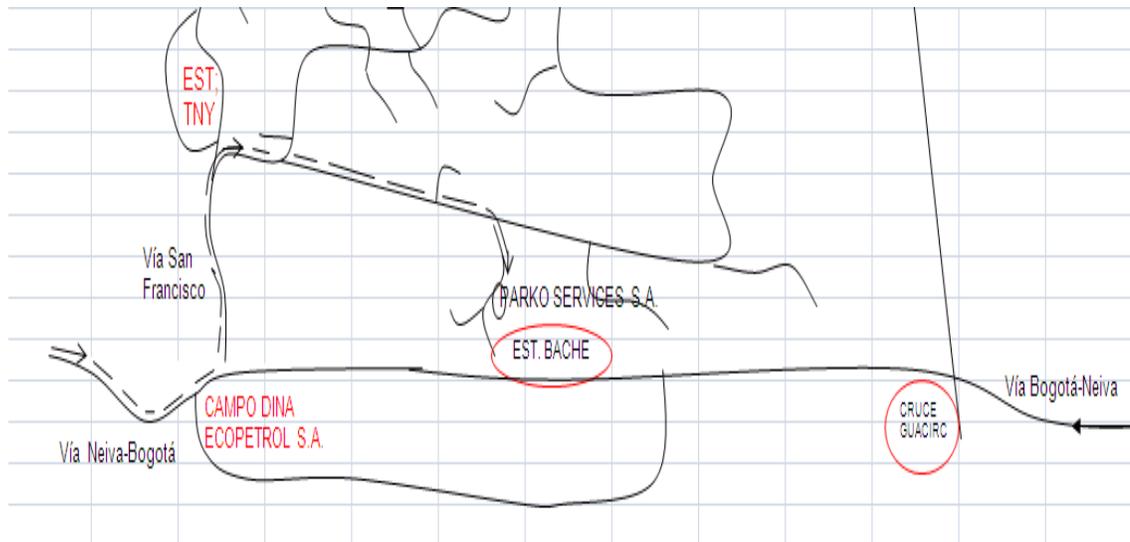
La distribución de cada uno de los equipos en el equipo final se ha efectuado según el proceso de preparación de fluidos y siguiendo el desarrollo del mismo.

En el Anexo J se presenta el esquema del equipodiseñado a partir de los datos generados en el dimensionamiento de los equipos. Todos los diseños se realizaron por medio de la versión de prueba del Software SOLIDWORKS en formato 3D.

### **5.4 LOCALIZACIÓN**

El equipo estará en la Base Neiva de la Empresa PARKO SERVICES S.A, y de allí se desplazará al Pozo en donde se prestará el servicio de preparación de fluidos.

PARKO SERVICES S.A se encuentra localizado en un lote de 1931 m<sup>2</sup>, ubicado en la Hacienda Tenay; kilómetro 17 vía Nieva– Bogotá D.C. Limita al oriente con la estación de servicios de inversiones Bache, y está rodeada en sus contornos con predios de la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL.



**Figura 19.** Ubicación instalaciones PARKO SERVICES S.A Base Neiva<sup>20</sup>

## 5.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS EQUIPOS REQUERIDOS

A continuación, se da la especificación y características de cada uno de los equipos involucrados en el proceso, y en Anexo K se muestra el diseño realizado por medio del Software SOLIDWORKS.

### ➤ Unidad de filtración tipo cartucho

- Número de cartuchos = 32 unidades
- Material = Acero al Carbono SA 285 grado C
- Diámetro exterior = 20 in (508 mm)
- Espesor = 0.25 in (6.35 mm)
- Altura = 108.314 in (2751.176 mm)
- Peso = 369 lb (168 kg)
- Longitud de los cartuchos = 10, 20, 30 y 40 in
- Soportes = 4 soportes tipo angular
- Material del soporte = Acero al Carbono SA 36

<sup>20</sup> Flórez Gonzáles, Victor Alfonso. Optimización de los procesos de preparación y tratamiento de salmueras para los trabajos de completamiento y Workover en PARKO SERVICES S.A. Neiva, 2010

- Presión de operación = 5 – 40 psi
- Presión máxima de operación = 120 psi
- Filtración nominal = hasta 2  $\mu\text{m}$
- Tipo de tapa = Tapa torisfericas

Pueden utilizarse para contener filtros de cartucho de 10, 20, 30 y 40 in de longitud. El diseño de la tapa superior permite un acceso sencillo y rápido para sustituir los cartuchos. Diseñada para soportar una presión de trabajo hasta de 115 psi.

➤ Unidad de filtración tipo jaula

- Número de jaulas =5 unidades
- Material = Acero al Carbono SA 285 grado C
- Diámetro exterior = 20 in (508 mm)
- Espesor = 0.25 in (6.35 mm)
- Altura = 108.314 in (2751.176 mm)
- Peso = 255 lb (116 kg)
- Longitud de la jaula = 40 in
- Soportes = 4 soportes tipo angular
- Material del soporte = Acero al Carbono SA 36
- Presión de operación = 5 – 40 psi
- Presión máxima de operación = 120 psi
- Filtración nominal = hasta 5  $\mu\text{m}$
- Tipo de tapa = Tapa torisfericas

El diseño de la tapa superior permite un acceso sencillo y rápido para sustituir los capuchones (bolsas) de tela. Diseñada para soportar una presión de trabajo hasta de 115 psi.

➤ Tanque de mezclado

- Material = Acero inoxidable 316L
- Tipo = Rectangular con fondo cóncavo
- Espesor = 0.2857 in (7.257 mm)
- Dimensiones = 6 m x 3 m x 2.3 m (236.22 in x 118.11 in x 90.55 in)
- Capacidad = 200 barriles (8400 galones)

- Compartimientos = 2
- Entradas = 6 in (152.4 mm)
- Salidas = 6 in (152.4 mm)

➤ Tolva

- Material: Acero al carbono SA 285 grado C
- Soporte: 39.37 in x 17.72 in (1000 mm x 450 mm)
- Abertura recepción de sólidos: 14.76 in x 8.86 in(37.5 cm x 22.5 cm)
- Altura: 43.31 in(1100 mm)
- Salida: 3 in (76.2 mm)
- Conjunto Brida – Válvula tipo mariposa – Brida: 3 in (76.2 mm)

➤ Bomba

- Marca: Summit
- Tipo: Centrifuga
- Modelo: 2196 MTO 3x4-10H
- Entrada: 6 in (152.4 mm)
- Salida: 4 in (101.6 mm)
- Caudal:420 gpm (10 bbl /min)
- Peso: 675 lb (306 Kg)

➤ Motor

Marca: Detroit  
Potencia:40 HP @1800 RPM  
Cilindros: 4  
Peso: 4500 lb (2041 Kg)

## 5.6 ELEMENTO HUMANO REQUERIDO

La mano de obra utilizada para la puesta en marcha y operación del equipo existe en la zona y su contratación no es una dificultad ya que la empresa ya cuenta con ese personal.

El personal requerido para el funcionamiento del equipo por turno de 12 horas es el siguiente:

- Jefe de producción		1
-Técnicos		1
- Operadores	3	
- Administrativos		1
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>

## 5.7 ANÁLISIS DE LAS REALES POSIBILIDADES DE PONER EN PRÁCTICA LA IDEA DE INVERSIÓN

La tecnología requerida para la instalación y puesta en marcha de un equipo de esta naturaleza es conocida y existen estudios y equipos similares que indican que es totalmente factible llevar a escala industrial el proceso de preparación de fluidos en campo.

El proceso está basado en otro de similares características; como lo es la obtención de fluidos de completamiento y Wokovera partir de equipos instalados en planta, cuyos equipos son tecnología conocida y de simple instalación.

## **6. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO**

Tomando la información suministrada por los estudios anteriores, el análisis financiero busca finalmente tomar una decisión de aceptación o rechazo, estableciendo la rentabilidad del proyecto a través de indicadores como el valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR).

A continuación, se presenta de forma resumida el estudio realizado, y en Anexo L se puede ver de forma detallada y clara cada uno de los ítems involucrados en este estudio, cabe destacar que todas las consideraciones se realizaron desde una perspectiva contable.

### **6.1 DURACIÓN DEL PROYECTO**

Para la evaluación del siguiente proyecto se considera un horizonte económico de 10 años, tomando en cuenta la vida útil de los activos fijos, principalmente la maquinaria y equipos de proceso; de tal forma que evaluación financiera del mismo termina en el año 2020.

### **6.2 COMPOSICIÓN Y CUANTÍA DE LAS INVERSIONES**

El valor total de las inversiones está compuesto por inversiones en activos fijos e inversiones en activos nominales los cuales se desglosan a continuación.

#### **6.2.1 Inversiones en activos fijos**

Las inversiones en activos fijos son aquellas que se realizan en bienes tangibles que son necesarios para adelantar la producción de bienes o la prestación de servicios. Las inversiones que se planean hacer en la futura operación del equipo para la producción de fluidos de completamiento y Workover en pozo se muestran a continuación:

**Tabla 28. Inversiones en activos fijos**

Detalle de inversión	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
<b>EQUIPOS Y MAQUINARIA</b>			
Tanque de mezcla	1	80.000.000	80.000.000
Tolva	1	1.000.000	1.000.000
Bomba Centrifuga	1	15.000.000	15.000.000
Motor de la Bomba	1	30.000.000	30.000.000
Filtradores	2	10.000.000	20.000.000
Accesorios	1	112.000.000	12.000.000
<b>Subtotal</b>			<b>158.000.000</b>
<b>INSTALACIÓN Y MONTAJES</b>			
Montaje de equipo	1	12.640.000	12.640.000
<b>Subtotal</b>			<b>12.640.000</b>
<b>VEHÍCULOS</b>			
Tráiler	1	30.000.000	30.000.000
<b>Subtotal</b>			<b>30.000.000</b>
<b>EQUIPOS DE OFICINA</b>			
Computador portátil	1	2.500.000	2.500.000
<b>Subtotal</b>			<b>2.500.000</b>
<b>TOTAL</b>			<b>203.140.000</b>

Fuente: Cálculos propios

### 6.2.2 Inversiones en activos nominales

Los activos nominales son las inversiones constituidas por los servicios y derechos adquiridos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto como gastos de organización, gastos preoperativos de instalación, patentes de inversión, estudios y gastos de prepuesta en marcha. En la Tabla 29 se muestran los costos de esta inversión.

**Tabla 29. Inversiones en activos nominales**

Detalle de inversión	Valor (\$)
Estudio y diseño de equipos	80.000.000
Imprevistos	4.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>84.000.000</b>

Fuente: Cálculos propios

### 6.3 COSTOS OPERACIONALES E INGRESOS

En este aparte se deberá demostrar que el proyecto es rentable y que puede realizarse con los recursos financieros programados, se incluyen los diferentes gastos y costos que se genera en la implementación del proyecto. Se debe tener en cuenta que en cada año del estudio los costos e ingresos aumentan en un 5% con relación al precio inicial.

#### 6.3.1 Costos directos

Se entiende por costo directo a todos aquellos costos que tienen una directa participación en el desarrollo de la producción. Dentro del ítem costos directos se incluyen los siguientes aspectos:

**Tabla 30. Costos directos (\$)**

Año	Materia prima	Mantenimiento	Mano de obra directa	Elementos filtrantes
2012	1.534.005.315	53.000.000	408.584.000	53.031.403
2013	1.599.986.843	55.650.000	429.013.200	55.261.233
2014	1.665.314.579	58.300.000	449.442.400	57.517.559
2015	1.731.109.525	60.950.000	469.871.600	59.790.021
2016	1.797.267.630	63.600.000	490.300.800	62.075.026
2017	1.863.686.882	66.250.000	510.730.000	64.369.051
2018	1.930.224.467	68.900.000	531.159.200	66.667.163
2019	1.996.917.108	71.550.000	551.588.400	68.970.631
2020	2.063.621.991	74.200.000	572.017.600	71.274.521

Fuente: Cálculos propios

### 6.3.2 Costos indirectos

Son todos aquellos costos que no participan directamente en el desarrollo del proceso productivo, pero que igualmente son necesarios para el funcionamiento normal del equipo, para mantener una estructura de producción y ventas.

**Tabla 31. Costos indirectos (\$)**

Año	Mano de obra indirecta	Combustible	Dotación	Transporte y descarga de MP
2012	92.860.000	15.412.800	6.629.818	241.124.702
2013	97.503.000	16.183.440	6.961.308	251.387.144
2014	102.146.000	16.954.080	7.292.799	261.651.680
2015	106.789.000	17.724.720	7.624.290	271.989.609
2016	111.432.000	18.495.360	7.955.781	282.384.584
2017	116.075.000	19.266.000	8.287.272	292.820.512
2018	120.718.000	20.036.640	8.618.763	303.275.168
2019	125.361.000	20.807.280	8.950.254	313.754.111
2020	130.004.000	21.577.920	9.281.745	324.234.977

Fuente: Cálculos propios

### 6.3.3 Ingresos

A partir de los volúmenes de fluidos y de los precios estimados se calcula el valor de los ingresos que se espera obtener cada año durante el periodo de evaluación del proyecto, dando como resultados los montos observados en la siguiente tabla:

**Tabla 32. Ingresos estimados durante la vida útil del proyecto**

Año	Producción (bb1)	Valor total (\$)
2012	37.629	5.897.205.162
2013	37.344	6.139.993.191
2014	37.102	6.390.690.163
2015	36.891	6.643.180.064
2016	36.705	6.897.063.596

2017	36.539	7.151.949.290
2018	36.388	7.407.289.088
2019	36.251	7.663.223.920
2020	36.124	7.919.205.728

Fuente: Cálculos propios

## 6.4 DEPRECIACIÓN Y AMORTIZACIÓN DE LOS ACTIVOS

### 6.4.1 Depreciación

Para los cálculos se va a utilizar el método más sencillo y usado por las empresas, el método de depreciación lineal, el cual consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo.

**Tabla 33.** Depreciación de activos fijos

Descripción	Vida útil (años)	Valor Activo (\$)	Valor Depreciación (\$)
<b>VEHÍCULOS</b>			
Tráiler	10	30.000.000	3.000.000
<b>EQUIPOS Y MAQUINARIA</b>			
Tanque de mezcla	10	80.000.000	8.000.000
Tolva	10	1.000.000	100.000
Bomba Centrifuga	10	15.000.000	1.500.000
Motor de la Bomba	10	30.000.000	3.000.000
Filtradores	10	10.000.000	1.000.000
Accesorios	10	11.000.000	1.100.000
<b>INSTALACIÓN Y MONTAJE</b>			
Montaje de equipos	10	12.640.000	1.264.000
<b>EQUIPOS DE OFICINA</b>			
Computador portátil	5	2.500.000	500.000
		<b>TOTAL</b>	<b>18.964.000</b>

Fuente: Cálculos propios

## 6.4.2 Amortización

Los activos diferidos deben ser amortizados en la medida en que se van utilizando, en la media en que se van gastando o consumiendo. Para realizar la amortización de estos activos se va a trabajar con el mismo método que se usó para calcular la depreciación de activos fijos.

**Tabla 34.** Amortización de activos diferidos

Descripción	Periodo a amortizar (años)	Activo (\$)	Valor Amortización (\$)
ACTIVOS NOMINALES			
Estudio y diseño de equipos	5	80.000.000	
Imprevistos	5	4.000.000	
TOTAL		84.000.000	16.800.000

Fuente: Cálculos propios

## 6.5 CAPITAL DE TRABAJO

La inversión en capital de trabajo constituye el conjunto de los recursos necesarios, en la forma de activos corriente, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, para la capacidad y tamaños escogidos.

**Tabla 35.** Presupuesto capital de trabajo mensual

Año	Capital de trabajo (\$)
2012	197.642.304
2013	217.604.177
2014	239.582.199
2015	263.780.001
2016	290.421.781
2017	319.754.381
2018	352.049.574
2019	387.606.581

2020	426.754.845
------	-------------

Fuente: Cálculos propios

## 6.6 PLAN DE INVERSIÓN

### 6.6.1 Estructura de capital

El plan de inversión está hecho bajo un escenario establecido donde se financia el 100% de la inversión inicial. El financiamiento cubre el monto de los activos fijos, activos nominales y el capital de trabajo. Las condiciones de financiamiento seleccionado se muestran en la siguiente Tabla:

**Tabla 36.** Condiciones de financiamiento del proyecto

Detalle	Descripción
Monto del préstamo	\$480.243.694
Tasa de interés	14.4% efectivo anual
Periodo de gracia	1 año
Amortización	Cuotas fijas
Plazo del préstamo	5 años

Fuente: Entidad Bancaria y cálculos propios

### 6.6.2 Amortización del crédito

En la siguiente Tabla se muestra la amortización del crédito hallada por medio de la ecuación de anualidades.

**Tabla 37.** Amortización de cuotas de financiamiento

Periodo (años)	Valor cuota (\$)	Intereses (\$)	Abono a capital (\$)	Saldo (\$)
0				484.782.304
1	142.569.073	69.808.652	72.760.421	412.021.884
2	142.569.073	59.331.151	83.237.922	328.783.962

3	142.569.073	47.344.891	95.224.182	233.559.780
4	142.569.073	33.632.608	108.936.464	124.623.315
5	142.569.073	17.945.757	124.623.315	0

Fuente: Cálculos propios

## 6.7 PUNTO DE EQUILIBRIO

El Punto de Equilibrio de la empresa, es el nivel de venta en el cual los ingresos obtenidos son iguales a los costos totales.

$$PE = \$265.898.799$$

Esto quiere decir que si se venden \$265.898.799 anual, representados en un 4.51% de las ventas, se cubren todos los costos de funcionamiento sin obtener utilidades.

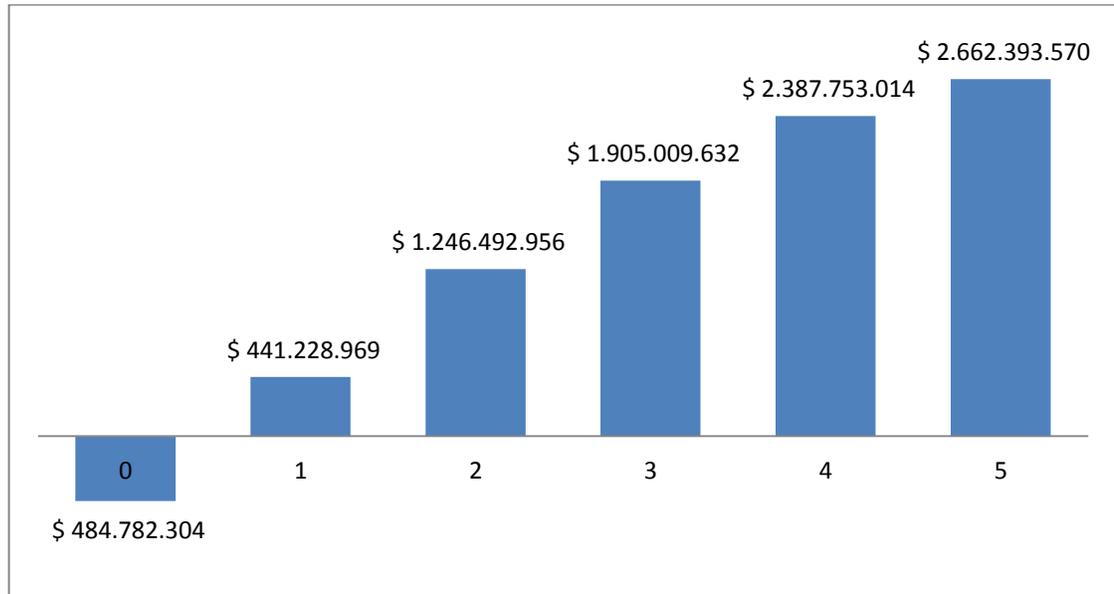
## 6.8 EVALUACIÓN FINANCIERA

El proyecto se evaluará considerando un horizonte de planificación de 6 años, con una tasa de rentabilidad mínima atractiva (TREMA) de un 25%, la cual es planteada por el inversionista para evaluar la viabilidad del proyecto.

### 6.8.1 Flujo de fondos del inversionista

En el flujo de fondos del inversionista se registran los ingresos gravables, que incluyen ingresos por ventas. De este ingreso se restan los costos deducibles además de los impuestos, la amortización y la depreciación. Este flujo tiene en cuenta el tipo de financiación y los gastos que se puedan generar.

El flujo de fondos del inversionista se muestra en la siguiente figura para los 6 primeros años del proyecto:



**Figura 20.** Diagrama de flujo de fondos del inversionista acumulado

Con una tasa de descuento equivalente al TREMA (25%) el VPN del flujo de fondos del inversionista es igual a \$1.396.282.111. Con ello se determina que el proyecto financiado en un 100% es factible, ya que el valor presente neto es mayor que cero.

En el flujo de fondos del inversionista se presenta una TIR de 175% la cual es mayor que el 25% equivalente a la TREMA. Esto refleja que el proyecto es viable con el financiamiento del 100% de la inversión inicial.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) para este flujo de fondos del inversionista es de 7 meses. Esto quiere decir que en los seis primeros meses del primer año de la puesta en marcha del proyecto se recupera la totalidad de la inversión inicial.

## **7. CONCLUSIONES**

A partir de los diferentes estudios que se tuvieron en cuenta en la realización de este trabajo, se llegó a las siguientes conclusiones:

Se determinó que el equipo diseñado cumple con los requerimientos técnicos necesarios para la preparación de fluidos de completamiento y Workover en campo. El análisis económico reveló que el proyecto es viable y rentable para la empresa PARKO SERVICES S.A

Se estableció que la demanda de fluidos de las Operadoras de la cuenca VSM genera las circunstancias necesarias para la creación del servicio de preparación de fluidos in-situ. Lo anterior se puede argumentar ya que en los tres escenarios posibles la demanda de fluidos es el adecuado para asegurar la rentabilidad del proyecto.

Se optimizó el proceso de preparación de fluidos diseñando en el tanque un fondo cóncavo que evita la corrosión excesiva en las esquinas del tanque; la configuración del sistema de filtración en serie permite prolongar la vida útil de los cartuchos siendo los capuchones de tela los que sufren mayor desgaste al ser los primeros en recibir el fluido; de la misma manera, se diseñó un sistema de dispersión que permite la adecuada homogenización de los aditivos químicos en el fluido preparado.

El software diseñado hace parte del proceso de optimización y sirve como una herramienta eficaz para los operadores del equipo, permitiendo calcular la materia prima necesaria para preparar un volumen determinado de fluido, disminuyendo el gasto excesivo e innecesario de aditivos.

Los equipos diseñados y seleccionados cumplen con los requerimientos técnicos, operacionales y de seguridad para llevar a cabo cada una de las etapas involucradas en el proceso de preparación de fluidos cumpliendo con las normas internacionales y nacionales necesarias para este proceso.

Los flujos del proyecto arrojan un VPN positivo a una tasa de descuento (TREMA) del 25% que asciende a \$1.396.282.111y una TIR del 175%, permitiendo así recuperar la inversión en 7 meses de la puesta en marcha del proyecto, resultados que indican que el proyecto es muy rentable. Esto se debe básicamente, a que los costos de producción y gastos financieros son menores a los ingresos.

Las pruebas realizadas con el análisis de sensibilidad demostraron que los flujos de caja generan flujos positivos (rentabilidad del proyecto) hasta con una disminución del 28% de la producción de fluidos o una disminución máxima del 12% en los precios de venta. Si se realiza un análisis simultáneo el proyecto soporta un máximo del 8% de incremento en los costos y un máximo de reducción de ingresos de 5%.

## **8. RECOMENDACIONES**

Poner en marcha construcción del equipo e iniciar la prestación de este nuevo servicio.

Construir la mayor parte del equipo con material resistente a la corrosión con el fin de disminuir costos en mantenimiento preventivos y tiempos muertos de los equipos por este.

Invertir parte del capital inicial de trabajo con el fin de garantizar un ahorro considerable del gasto financiero permitiendo maximizar las utilidades de la empresa.

Ampliar la cobertura del servicio de preparación de fluidos con el objetivo de mantener la rentabilidad del proyecto a largo plazo.

Adaptar un espacio para realizar las pruebas de laboratorio de forma cómoda y segura para garantizar la calidad de los fluidos entregados a los clientes.

Implementar un plan de acción que me permita mitigar los daños causados por corrosión en los equipos involucrados en el proceso de preparación de fluidos.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ Amaya Andrade Yair, Guerrero Torres Odayr. *Diseño, construcción, montaje y puesta en marcha de un sistema de filtración de finos para fluidos de completamiento y reacondicionamiento*. Universidad Surcolombiana, 2006.
- ✓ Artículos. CE REFRESHER: LIQUID AGITATION. Chemical engineering. 1976
- ✓ BaroidDrillingFluids. *Manual de Fluidos BAROID, Fluidos de Terminación (capítulo 1)*. Houston, Revisado Agosto 1997
- ✓ Bridges, Kenneth L. *Completion and workover fluids*. Monograph Volume 19 SPE Henry L. Doherty Series. Texas, 2000.
- ✓ Chevron Petroleum Technology Company Drilling Technology Center. *Workover Well Control and Blowout Prevention Guide*. Chevron Drilling Reference Series Volume 15. 1994
- ✓ Code ASME Section VIII, Boiler and Pressure Vessel. Division 1, Rules for Construction of Pressure Vessels. New York, July 2007.
- ✓ Coss, R. *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. Editorial Limusa, segunda edición. México D.F, 1989.
- ✓ Domingo, Valero A. *Estudio de factibilidad técnico-económico financiero para la instalación de una fábrica de bolsas plásticas*. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas, Marzo 2005
- ✓ Flórez, Víctor. *Optimización de los procesos de preparación y tratamiento de salmueras para los trabajos de completamiento y Workover en PARKO SERVICES S.A*. Universidad Surcolombiana. Neiva, Marzo 2010.
- ✓ INGLESA. *Diseño y cálculos de tanques de almacenamiento*. México, 2005
- ✓ *Instructivo para la preparación de salmueras en planta*. Empresa PARKO SERVICES S.A, 2009.

- ✓ Irving H. Shames, *Mecánica de Fluidos*, McGraw - Hill Interamericana S.A., Bogotá – Colombia, 1995.
- ✓ León Estrada, Juan Manuel. *Diseño y cálculos de recipientes a presión*. Primera edición. México D.F, 2001
- ✓ Mantilla, Juan Camilo. *Viabilidad para la creación de una planta de producción de lámina de caucho para la fabricación de suelas en Colombia*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C, Abril 2004
- ✓ Manual de Fluidos. Baker Hughes. Agosto, 1988.
- ✓ Medina Rosero, Julio Santiago y Miranda Almeida, Gabriel Alejandro. *Diseño de una unidad de filtración de agua de formación de pozos petroleros*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Junio 2007
- ✓ Megyesy, Eugene F. *Manual de recipientes a presión, Diseño y cálculos*. Séptima edición. México D.F, 1992.
- ✓ Quesada Estrada, Andrés Mauricio. *Una herramienta para la selección automatizada de aceros en el contexto la Ingeniería Mecánica*. Universidad de Holguín. Cuba, Febrero 2010.
- ✓ Sapag, Nassir Chain. *Evaluación de proyectos de inversión en la empresa*. Prentice Hall. Chile, 2001.
- ✓ Software MATH WORKS MATLAB. Versión R 2010 B 7.11
- ✓ Software SOLIDWORKS. Versión de prueba 2010.
- ✓ Software TABLECURVE. Versión 5.1
- ✓ Sterling Fluid Systems Group. *Principios básicos para el diseño de instalaciones de Bombas Centrífugas*. Séptima edición ampliada y revisada, 2003.

Información en internet:

✓ Bombas

<http://img.rincondelvago.com/R/css/main.20100902.css>  
<http://www.briggsandstratton.com>  
<http://www.dynafoog.com/pdf/cdftrifoldbrochure.pdf>

✓ Coeficiente sísmico

<http://tms.ingeminas.gov.co/web/2004/mapas/map2/index.html>

✓ Elementos filtrantes

<http://www.3m.com>

✓ Estudio económico

<http://www.pymesfuturo.com/vpneto.htm>  
<http://www.economia.unam.mx/sua/site/materia/sem4/proyectos/dudas.html>  
<http://www.fao.org/DOCREP/003/V8490S/v8490s06.htm>  
<http://www.pymesfuturo.com/pri.htm>  
<http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/18/alumno/cap2.html>  
<http://www.umss.edu.bo/epubs/etexts/downloads/18/ejercicios/problemas2.html>

✓ Selección de materiales

<http://www.ankle.com.mx/Folleto1.pdf>  
<http://www.spanish.phione.co.uk/products/boiler-and-pressure-vessel-steel>  
[http://www.ahmsa.com/Acero/Productos/Cat\\_LAM\\_CALIENTE\\_AHMSA2010.pdf](http://www.ahmsa.com/Acero/Productos/Cat_LAM_CALIENTE_AHMSA2010.pdf)  
[http://www.calderasdelnorte.com.mx/pdf/Codigo\\_Asme.pdf](http://www.calderasdelnorte.com.mx/pdf/Codigo_Asme.pdf)  
[http://www.engineeringtoolbox.com/pipe-schedules-d\\_557.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pipe-schedules-d_557.html)  
<http://www.stainless-steel-tube.org/ASTMA312.pdf>  
<http://www.e-pipe.co.kr/eng/linkASTM.htm>

✓ Válvulas

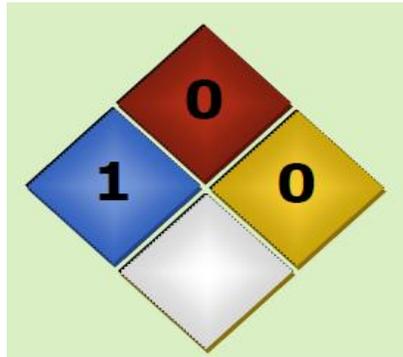
<http://www.nibco.com/assets/VlvSlctSp.pdf>  
[http://www.comeval.es/formacion\\_criterios\\_2007.htm](http://www.comeval.es/formacion_criterios_2007.htm)  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/accesorioshidraulicos/usoyclasificvalvulas/usoyclasifvalvulas.html>  
<http://www.abcingeneria.com/>

# ANEXOS

## ANEXO A.FICHA TÉCNICA DE LA MATERIA PRIMA

### A.1 Cloruro de sodio

Es un producto mineral que tiene un tiempo de vida útil indefinido en condiciones adecuadas de almacenamiento. Nuestro producto presenta amplias distribuciones de tamaño de partículas de Cloruro de sodio. Actúa como soluble en agua primaria para los sistemas de salmueras con sólidos Thixsal™-Ultra y Bridgesal - Ultra Systems.



**Figura A1.** Diagrama de rombo cloruro de sodio<sup>21</sup>

✓ **Presentación del producto**

La presentación del producto es en sacos de 25 Kilogramos.

✓ **Estabilidad y reactividad**

Estabilidad Química: Estable

Condiciones a evitar: No se mezcle con los materiales incompatibles

Materiales incompatibles: Este producto reacciona con ácidos

<sup>21</sup>Fuente: Norma NFPA 704 (National Fire Protection Association)

Productos de descomposición peligrosos: Pueden incluir y no están limitados a: Compuestos halógenos. Algunos óxidos metálicos.

Posibilidad de reacciones peligrosas: La polimerización peligrosa no ocurre.

✓ **Propiedades físicas y químicas**

Parámetro	Propiedad
Estado físico	Sólido
Color	Blanco cristalino
Olor	Inodoro
Solubilidad en agua	Parcialmente soluble
Cloruro de sodio	99 mín.
Magnesio	2 máx.
Calcio	16 máx.
Humedad	0.05 máx.

Fuente:Ficha técnica PARKO SERVICES S.A

**A.2 Cloruro de potasio**

El compuesto químico cloruro de potasio (KCl) es un haluro metálico compuesto de potasio y cloro. En su estado puro es inodoro. Se presenta como un cristal vítreo de blanco a incoloro, con una estructura cristalina cúbica centrada en las caras que se fractura fácilmente en tres direcciones.Es un compuesto inorgánico.



**Figura A2.** Diagrama de rombo cloruro de potasio<sup>22</sup>

<sup>22</sup>Fuente: Norma NFPA 704 (National Fire Protection Association)

✓ **Presentación del producto**

La materia prima se recibe por el proveedor en bultos de 50 Kg.

✓ **Estabilidad y reactividad**

Condiciones a evitar: Información no disponible

Materias a evitar: Información no disponible

Productos de descomposición peligrosos: En caso de incendio actuar de acuerdo al fuego del alrededor

Agentes extintores del fuego: Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor

✓ **Propiedades físicas y químicas**

Parámetro	Propiedad
Estado físico	Sólido
Color	Blanco
Punto de fusión	773°C
Punto de ebullición	1413°C (1013 hPa)
Punto de sublimación	1500°C
Presión de vapor	reducida
Solubilidad en agua (20°C)	347 g/L
Temperatura de ignición	No combustible

Fuente: Ficha técnica PARKO SERVICES S.A

### **A.3 Formiato de sodio**

Es el producto de disolver en agua fresca la materia prima sólida de Formiato de Sodio y obtener fluidos con densidades que van del rango entre 9,8 Lb/gal y 11 Lb/gal. El fluido líquido se entrega a distintas concentraciones de acuerdo a las necesidades del cliente.

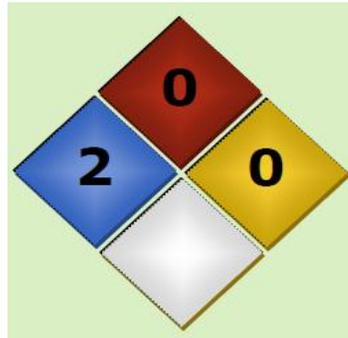


Figura A3. Diagrama de rombo formiato de sodio<sup>23</sup>

✓ **Presentación del producto**

La materia prima se recibe por el proveedor en bultos de 25 Kg.

✓ **Estabilidad y reactividad**

Condiciones a evitar: Información no disponible

Materias a evitar: Información no disponible

Productos de descomposición peligrosos: En caso de incendio actuar de acuerdo al fuego del alrededor

Agentes extintores del fuego: Usar el agente de extinción adecuado según el tipo de incendio del alrededor

✓ **Propiedades físicas y químicas**

Parámetro	Propiedad
Estado físico	Sólido
Color	Incoloro
Punto de fusión	253°C
Punto de ebullición	No aplicable
Descomposición térmica	>350°C

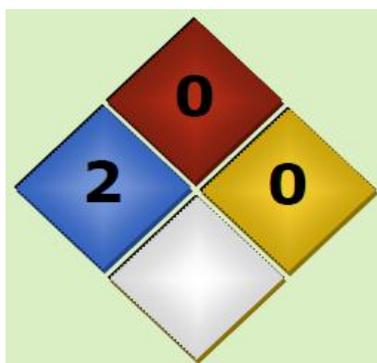
<sup>23</sup>Fuente: Norma NFPA 704 (National Fire Protection Association)

Presión de vapor	reducida
Solubilidad en agua (20°C)	550 g/L
Temperatura de ignición	No aplicable

Fuente:Ficha técnica PARKO SERVICES S.A

#### A.4 Formiato de potasio

Es el producto de disolver en agua fresca la materia prima sólida de Formiato de Potasio y obtener fluidos con densidades que van del rango entre 11 Lb/gal y 12 Lb/gal. El fluido líquido se entrega a distintas concentraciones de acuerdo a las necesidades del cliente.



**Figura A4.** Diagrama de rombo formiato de potasio<sup>24</sup>

#### ✓ Estabilidad y reactividad

Condiciones: Evitar calentar el producto en forma descontrolada

Incompatibilidad con otros materiales: Evitar el contacto del producto con ácidos fuertes.

Polimerización peligrosa: No se producirá.

<sup>24</sup>Fuente: Norma NFPA 704 (National Fire Protection Association)

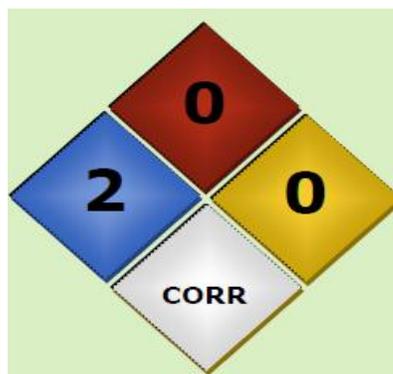
✓ **Propiedades físicas y químicas**

Parámetro	Propiedad
Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Turbidez (mg/L)	10 – 50
Dureza total	1 - 4
Sólidos suspendidos (mg/L)	10 - 40
Presión de vapor	reducida
Solubilidad en agua (20°C)	347 g/L

Fuente: Ficha técnica PARKO SERVICES S.A

**A.5 Bactericida**

LIPCIDE G-1 es un biocida basado en glutaraldehído que es efectivo contra muchos diferentes tipos de microorganismos encontrados en operaciones petroleras, incluyendo bacterias sulfato-reductoras, bacterias formadoras de limo, bacterias aeróbicas, etc. La facilidad de manejo y la alta potencia del microbiocida LIPCIDE G-1 facilita su uso para manejar y mantener a las bacterias del medio ambiente controladas, en las siguientes aplicaciones en el campo petrolero: Aguas de inyección, Fluidos de perforación, completación y Workover; Fluidos de fracturamiento, Fluidos de empaque, Tratamiento de aguas de producción petrolera.



**Figura A5.** Diagrama de rombo formiato de potasio<sup>25</sup>

<sup>25</sup>Fuente: Norma NFPA 704 (National Fire Protection Association)

✓ **Modo de aplicación en Fluidos de completamiento y Workover**

LIPCIDE G-1 Microbiocida deberá añadirse al fluido de completamiento y Workover en un punto uniforme de mezcla, tal como el tanque de recirculación. Añada de 25 - 400 ppm de LIPCIDE G-1 (0.10 - 2 gal. LIPCIDE G-1 por 100 barriles de fluido) al fluido recién preparado, dependiendo de la severidad de la contaminación. Recircular el fluido de Workover hasta que este fluido retorne claro, con el fluido bajo pozo cierre el sistema por algunas horas. Deseche finalmente el fluido de Workover. El pozo podrá ser abierto a la producción.

✓ **Presentación del Producto**

Determinado en el típico material comercial. Tipo de embalaje y contenido neto. LIPCIDE G-1 viene en tambores de polietileno de 5 galones c/u.

✓ **Estabilidad y reactividad**

Estabilidad: Estable

Incompatibilidad con otros materiales: Ninguno

Productos peligrosos de descomposición: Ninguno

Sensibilidad con el tiempo y con la temperatura: Estable

✓ **Propiedades físicas y químicas**

Parámetro	Propiedad
Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Penetrante
Punto de ebullición (1 atm)	100.5°C
Porcentaje activo	48% como mínimo
Presión de vapor	No determinada
Solubilidad en agua (20°C)	100%

Fuente: Ficha técnica PARKO SERVICES S.A

## ANEXO B.ESTUDIO DE DEMANDA

Como complemento del estudio de la demanda a continuación relacionaremos algunos gráficos que nos ilustran los consumos aproximados de fluidos salinos de algunas de las operadoras del sector.

La Figura B1 muestra el consumo de fluidos del año 2007, donde se puede observar que logró su más alta producción en el mes de Mayo con más de 6000 barriles, mientras que el consumo más bajo se presentó en el mes de Marzo con 1400 barriles.

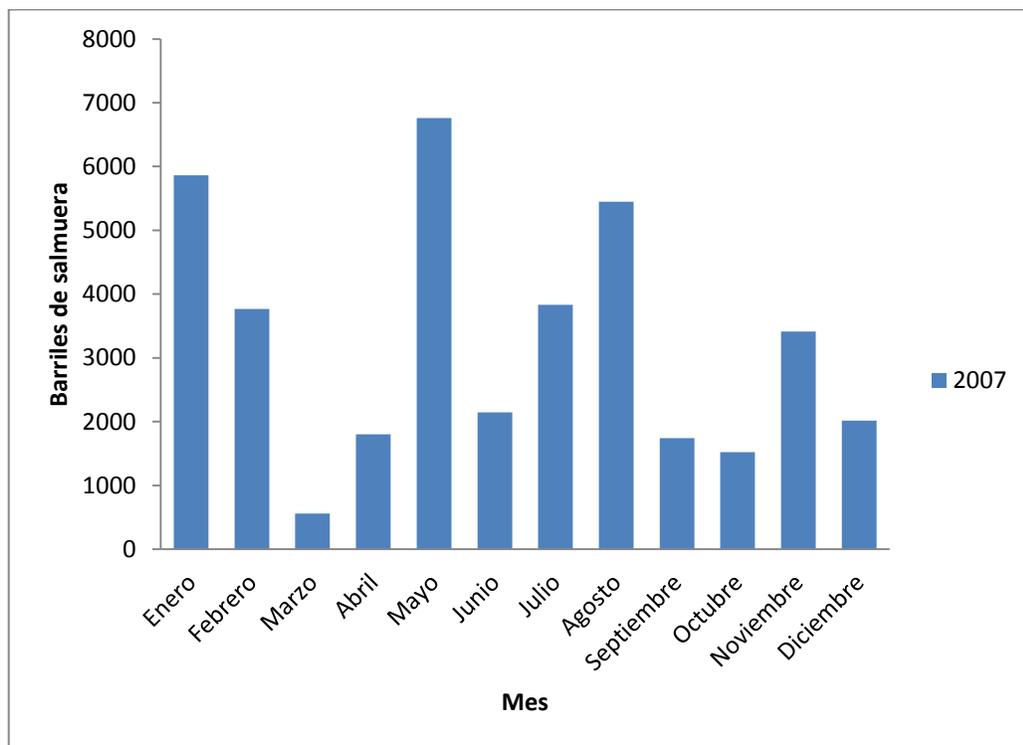
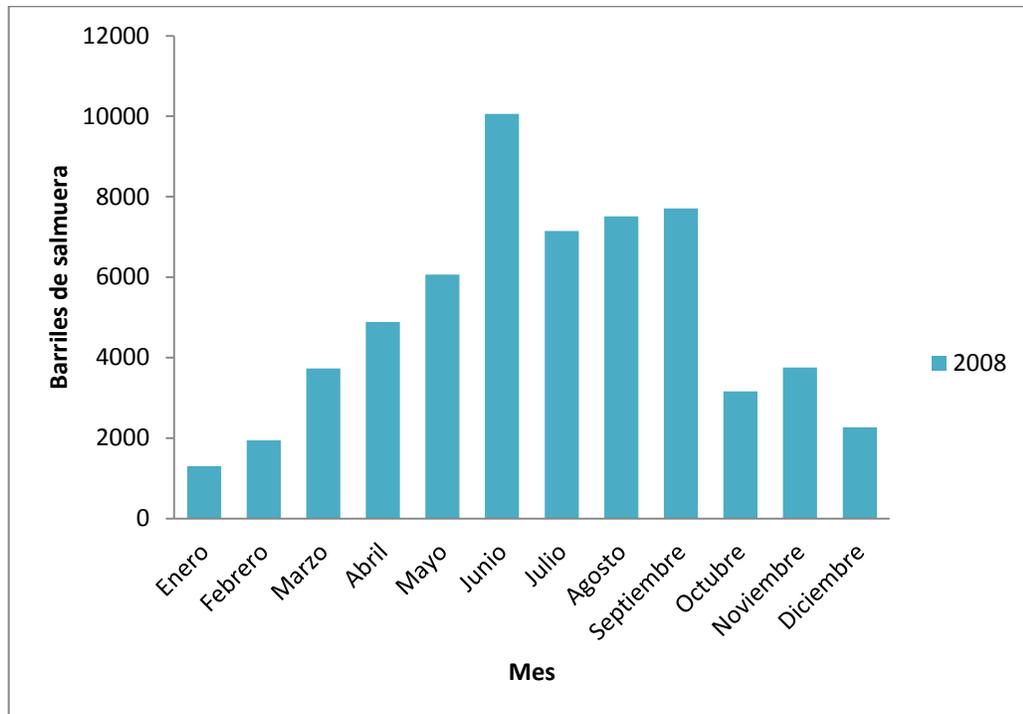


Figura B1. Consumos de fluidos 2007<sup>26</sup>

<sup>26</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

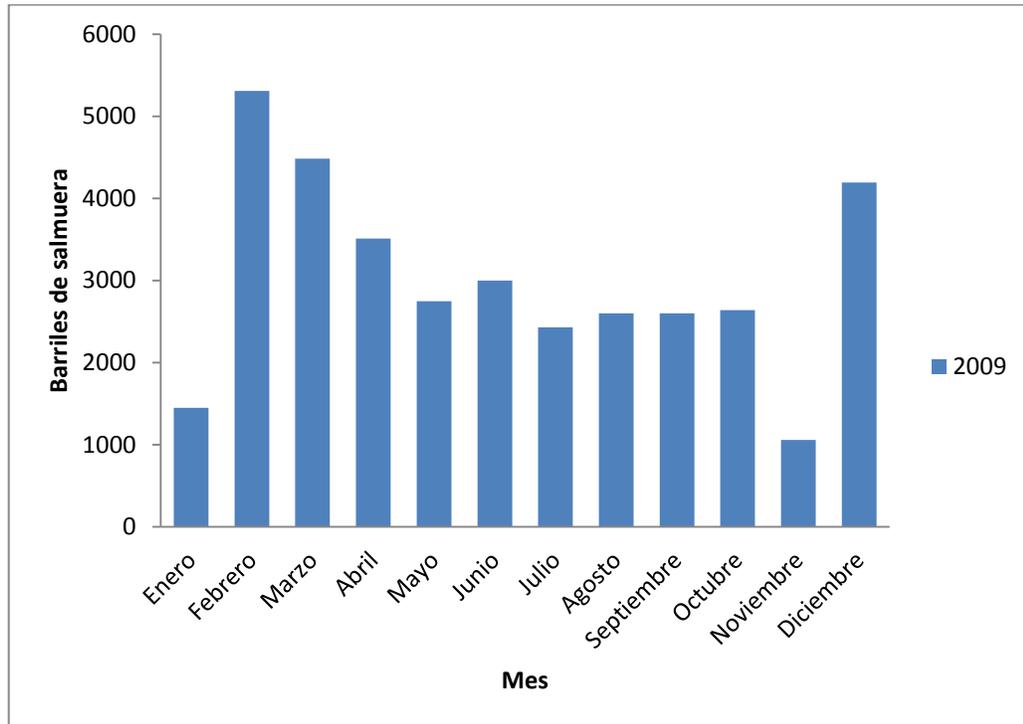
La Figura B2 muestra el consumo de fluidos del año 2008, donde se ilustra un incremento gradual hasta el mes de junio, obteniendo un consumo mucho mayor que la registrada para mayo del 2007, siendo esta superior a las 10000 barriles, mientras que en los últimos tres meses el consumo declino drásticamente hasta solo superar los 2000 barriles.



**Figura B2.** Consumos de fluidos 2008<sup>27</sup>

Como se observa en la Figura B3, el consumo de fluidos del año 2009 fue con tendencia a disminuir, donde el pico mas alto en el consumo fue para el mes de Febrero con mas de 5000 barriles, mientras que el mes mas critico fue para el mes de Noviembre que solo logro superar los 1000 barriles.

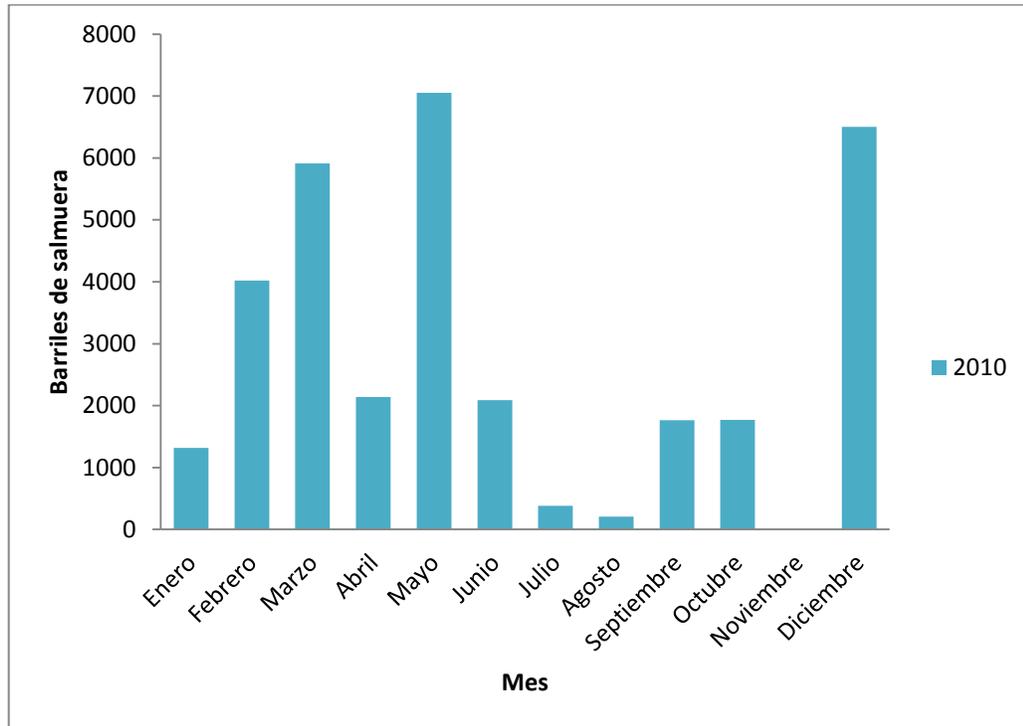
<sup>27</sup> Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada



**Figura B3.**Consumos de fluidos 2009<sup>28</sup>

La Figura B4 muestra el consumo de fluidos del año 2010, donde se puede observar que el consumo varia drásticamente de mes a mes, donde el pico mas alto del consumo fue para el mes de Mayo con mas de 7000 barriles, mientras que el mes más crítico fue para el mes de Noviembre donde no hubo consumo.

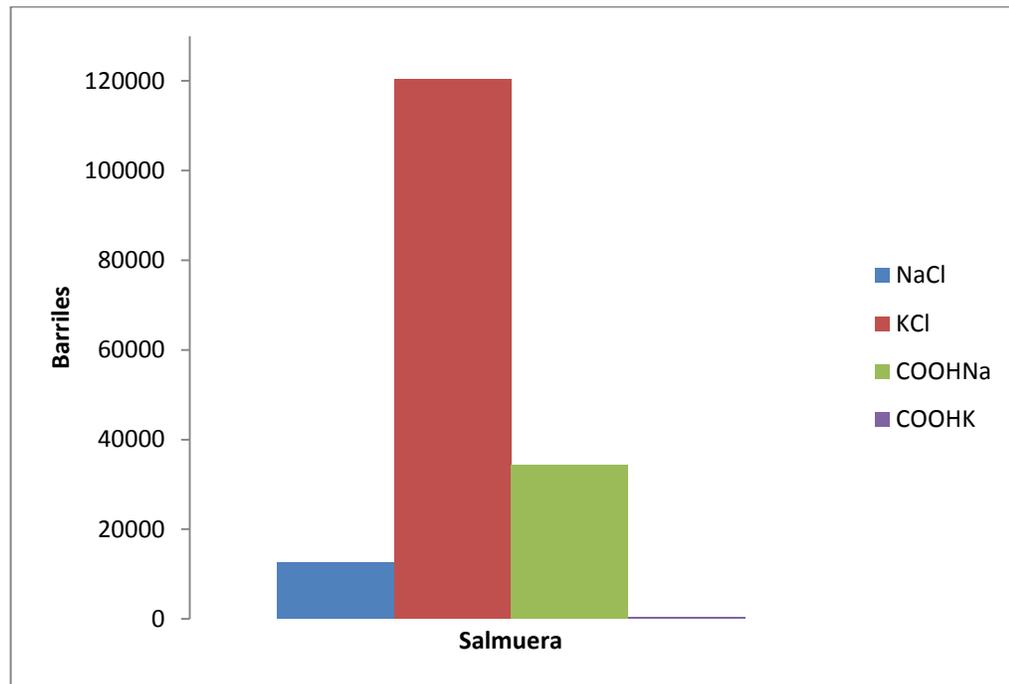
<sup>28</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada



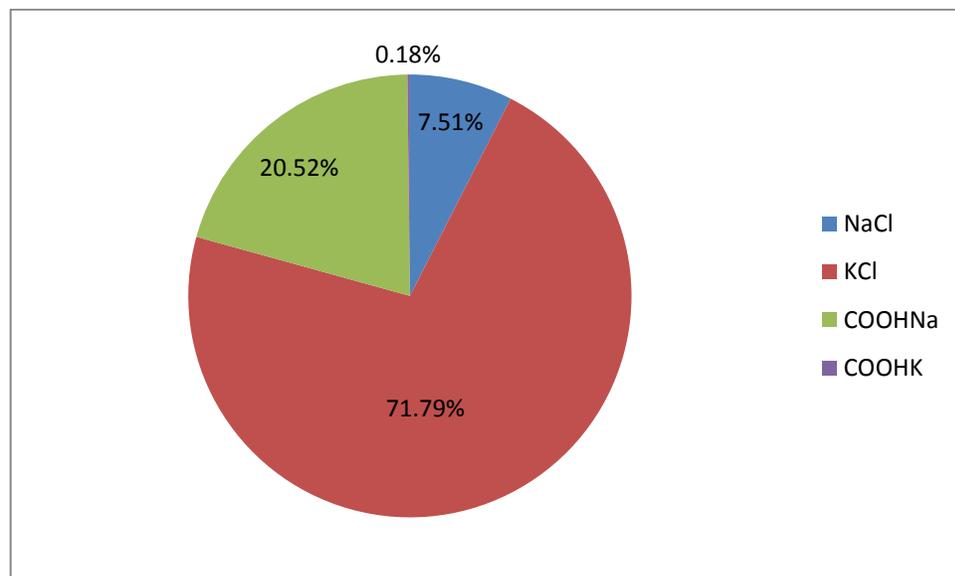
**Figura B4.** Consumos de fluidos 2010<sup>29</sup>

Con la ayuda de las Figuras B5 y B6, se puede concluir que aproximadamente la salmuera de mayor demanda en el sector de la Cuenca del VSM es la del Cloruro de potasio, con un porcentaje del 71.79%, mientras que la salmuera de menor demanda es la del Formiato de potasio con solo el 0.182%.

<sup>29</sup> Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada



**Figura B5.** Consumo acumulado por tipo de fluido<sup>30</sup>



**Figura B6.** Porcentaje equivalente del consumo del tipo de salmuera<sup>31</sup>

<sup>30</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

<sup>31</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

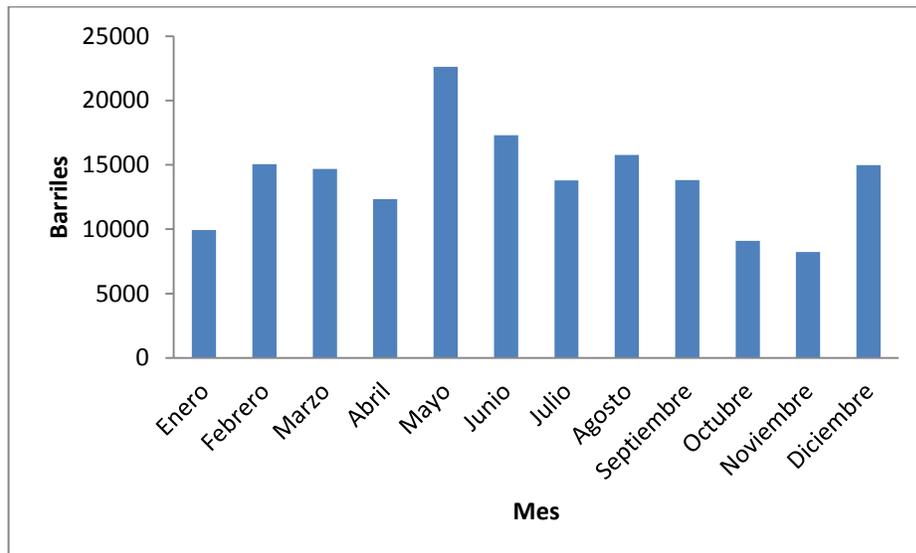
En la Figura B7 y la Tabla B2, se puede observar que el mejor escenario para el consumo de salmuera es el primer semestre de cada año, pero cabe destacar que el consumo de fluido del segundo semestre es tan solo el 0.5% menor respecto al primer semestre.

Se destaca el hecho del incremento del ritmo de consumo de salmueras en los primeros cuatro meses de cada año, alcanzando su pico más alto en el mes de Mayo o Junio, y luego, comienza la declinación de forma variada hasta el mes de Diciembre donde vuelve a incrementar el consumo.

**Tabla B2.** Consumo de salmuera por semestre

Semestre	Año			
	2007	2008	2009	2010
1°	23%	30%	22%	25%
2°	24%	42%	21%	14%

Fuente: PARKO SERVICES S.A



**Figura B7.** Consumo acumulado por mes<sup>32</sup>

<sup>32</sup>Fuente: PARKO SERVICES S.A. y Otra Fuente Asociada

## **ANEXO C. SELECCIÓN DE MATERIALES**

En la etapa de diseño, la selección de los materiales de construcción es de relevante importancia y debe estar presente en cada etapa de la toma de decisiones. Es evidente la necesidad de decidir con suficiente anticipación acerca de los materiales que se utilizarán, pues ello puede afectar el diseño de detalle y sobre todo los costos finales del producto.

### **C.1 Factores que intervienen en la selección de materiales**

Son numerosos los factores que hay que considerar o tener en cuenta a la hora de seleccionar los materiales, y casi todos ellos, se relacionan entre sí. Estos factores para su estudio se pueden agrupar de la forma siguiente:

#### **✓ Factores físicos**

Los factores que intervienen en este grupo generalmente son las dimensiones, la forma y el peso del material que se necesita. Todos estos factores se relacionan con el tratamiento del material. Las dimensiones y la forma pueden restringir el tratamiento térmico del material. La forma del material determina si se necesita una pieza fundida o forjada. El peso del material tiene implicaciones no sólo en los costos iniciales, sino también durante el proceso de fabricación. Las dimensiones disponibles también juegan un papel importante, pues determina si se consideran otros materiales.

#### **✓ Factores mecánicos**

Los factores mecánicos tienen que ver con la capacidad del material para soportar los diferentes tipos de esfuerzos que se le imponen. Las propiedades mecánicas del material que se utilizan como criterios de selección en el diseño son: la resistencia, el módulo de elasticidad, la tenacidad, la resistencia a la fatiga, la termofluencia, etc.

El ambiente al que los materiales están expuestos también afecta las propiedades mecánicas, en relación a la corrosión.

### ✓ **Procesamiento y fabricación**

Estos factores se relacionan con la capacidad para dar forma al material. Es común la utilización de procesos de fundición y de conformado. Se producen habitualmente forma muy complicada, y puede ser necesario moldear por revestimiento las piezas fundidas y los objetos pequeños.

La fabricabilidad abarca los procedimientos de unión (como soldadura autógena, soldadura fuerte y soldadura blanda), deformado y de maquinado. La soldabilidad de los aceros se ha correlacionado empíricamente con sus equivalentes al carbono.

Los procedimientos de terminación incluyen el recubrimiento y el pulido, cuyo propósito es proteger al material contra la corrosión, la oxidación y el desgaste, así como mejorar su atractivo estético.

### ✓ **Factores de duración de los componentes**

Estos factores tienen que ver con el tiempo durante el cual los materiales desempeñan las funciones a las que han sido destinados, en el ambiente al que están expuestos. Las propiedades pertenecientes a este grupo son la resistencia a la corrosión, a la oxidación y al desgaste, la termofluencia y las propiedades de fatiga o de fatiga por corrosión bajo cargas dinámicas. El comportamiento de un material es más difícil de predecir durante la etapa de diseño.

### ✓ **Costos y disponibilidad**

En una economía impulsada por el mercado, estos dos factores son inseparables. Asimismo, la cantidad y la estandarización guardan relación con el costo. Aun cuando los materiales están disponibles, es importante si los pedidos se hacen por tonelada, por kilogramo o por gramo. El cliente también paga un precio mayor cuando los pedidos son de artículos fuera de serie que requieren tratamientos especiales, o de artículos de los que no se mantienen existencias porque tienen muy poca demanda por parte de otros clientes.

## **C.2 Criterios de selección de las alternativas de materiales**

El proceso de selección del material más adecuado se desarrollará basado en aquel que cumpla con el mayor porcentaje de requisitos técnicos, ya que de éstos depende el funcionamiento correcto y seguro del equipo, y el que cumpla con los requisitos económicos, es decir, el que impliquen los menores gastos como son los iniciales, de operación y de mantenimiento, sin que por este concepto se tenga que sacrificar el requisito técnico, que repetimos, es el más importante.

Las restricciones en cuanto a corrosión, nos permiten identificar fácilmente que la clase de material más adecuado a utilizar es el acero inoxidable. Pero debido a los altos costos de estos aceros, se va hacer énfasis en las clases de aceros inoxidables y aceros al carbón que cumplan con los requisitos técnicos del equipo.

## **C.3 Planteamiento de alternativas**

### **C.3.1 Aceros inoxidables**

El acero inoxidable es esencialmente un acero de bajo carbono, el cual contiene como mínimo un aproximado 10.5% de cromo en peso, lo que le hace un material resistente a la corrosión

#### **C.3.1.1 Aceros inoxidables martensíticos**

Son la primera rama de los aceros inoxidables simplemente al cromo. Representan una porción de la serie 400, sus características son:

- ✓ Moderada resistencia a la corrosión.
- ✓ Endurecibles por tratamiento térmico y por lo tanto se pueden desarrollar altos niveles de resistencia mecánica y dureza.
- ✓ Son magnéticos.

- ✓ Debido al alto contenido de carbono y a la naturaleza de su dureza, es de pobre soldabilidad

Los Martensíticos son esencialmente aleaciones de cromo y carbono. El contenido decromo es generalmente de 10.5 a 18% y el de carbono es alto, alcanzando valores de hasta 1.2%

### **C.3.1.2 Aceros inoxidables ferríticos**

Estos aceros inoxidables de la serie 400 AISI (American Iron & Steel Institute) mantienen una estructura ferrítica estable desde la temperatura ambiente hasta el punto de fusión, sus características son:

- ✓ Resistencia a la corrosión de moderada a buena, la cual se incrementa con el contenido de cromo y algunas aleaciones de molibdeno.
- ✓ Endurecidos moderadamente por trabajo en frío: no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico.
- ✓ Son magnéticos.
- ✓ Su soldabilidad es pobre por lo que generalmente se eliminan las uniones por soldadura a calibres delgados.
- ✓ Usualmente se les aplica un tratamiento de recocido con lo que obtienen mayor suavidad, ductilidad y resistencia a la corrosión.
- ✓ Debido a su pobre dureza, el uso se limita generalmente a procesos de formado en frío

Los Ferríticos son esencialmente aleaciones con cromo. El contenido de cromo es usualmente de 10.5 a 30%, pero contenidos limitados de carbono del orden de 0.08%. Algunos grados pueden contener molibdeno, silicio, aluminio, titanio y niobio que promueven diferentes características.

### **C.3.1.3 Aceros inoxidables austeníticos**

Los aceros inoxidables austeníticos constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión. Sus características son las siguientes:

- ✓ Excelente resistencia a la corrosión.
- ✓ Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico.
- ✓ Excelente soldabilidad.
- ✓ Excelente factor de higiene y limpieza.
- ✓ Formado sencillo y de fácil transformación.
- ✓ Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas.
- ✓ Son no magnéticos

Los Austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08%.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650° C en una variedad de ambientes.

Esta familia se divide en dos categorías:

1. SERIE 300 AISI (aleaciones cromo-níquel). Es la más extensa, mantiene alto contenido de níquel y hasta 2% de manganeso. También puede contener molibdeno, cobre, silicio, aluminio, titanio y niobio, elementos que son adicionados para conferir ciertas características. En ciertos tipos se usa azufre o selenio para mejorar su habilidad de ser maquinados

2. SERIE 200 AISI (aleaciones cromo-manganeso-nitrógeno). Contiene menor cantidad de níquel. El contenido de manganeso es de 5 a 20%. La adición de nitrógeno incrementa la resistencia mecánica.

**Tabla C1. Comparación entre las familias de Aceros Inoxidables**

PROPIEDADES GENERALES					
Tipo	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnéticos	Endurecibles por tratamiento térmico (temple)	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media Baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Excelente	Alta*	No**	No	Excelente

\*: Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío.

\*\* : Adquieren cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

Teniendo en cuenta la información anterior y la Tabla C1, se va hacer énfasis en algunos de los tipos de Aceros Inoxidables Austeníticos debido a que cumplen con los requerimientos técnicos de operación.

✓ **301**

Menor resistencia a la corrosión que otros aceros de la serie 300. Puede ser fácilmente formado y ofrece buenas propiedades de soldabilidad. Utilizado en partes de aviones, adornos arquitectónicos, cajas de ferrocarril y de trailer, cubiertas de rines, equipos para procesamiento de alimentos.

✓ **303**

Especial para propósitos de maquinado, buena resistencia a la oxidación en ambientes de hasta 900° C. Se emplea para cortes pesados. Se usa para la fabricación de partes para bombas, bushings, partes maquinadas y flechas.

✓ **304**

Todo propósito, tiene propiedades adecuadas para gran cantidad de aplicaciones. Se recomienda para construcciones ligeras soldadas que requieran buena resistencia a la corrosión. Tiene buen desempeño en temperaturas elevadas (800 a 900° C) y buenas propiedades mecánicas. Es recomendable cuando se requiera soldar altos espesores de material. Algunas aplicaciones son equipo químico de proceso, accesorios para aviones, remaches, equipo para hospitales, etc.

✓ **309**

Poseen alta resistencia mecánica, tenacidad y excelente resistencia a la oxidación en temperaturas de hasta 1000° C. Calentadores de aire, equipo químico de proceso, partes de quemadores de turbinas de gas e intercambiadores de calor son algunas de las aplicaciones más comunes fabricadas con este tipo de acero.

✓ **310**

Es frecuentemente usado en servicios de alta temperatura. Se utiliza para fabricar calentadores de aire, equipo para tratamiento térmico de aceros, equipo químico de procesos, etc.

✓ **316**

Resistente a la corrosión frente a diversos químicos agresivos, ácidos y atmósfera salina. Se utiliza para adornos arquitectónicos, equipo para el procesamiento de alimentos, farmacéutico, fotográfico, textil, etc.

✓ **321**

Es similar al 304, pero contiene una adición de titanio equivalente a cinco veces el contenido de carbono. Las principales aplicaciones de este acero son recipientes a presión y almacenamiento, partes de motores de jet, equipo químico de proceso, etc.

Algunos de estos tipos tienen una versión L (bajo carbono) que elimina la precipitación inter granular de carbonatos y, por lo tanto, la corrosión inter granular.

### **C.3.2 Aceros al carbono**

La American Iron and Steel Institute (AISI) define acero al carbono como: "El acero es considerado como de acero al carbono cuando no se especifica el contenido mínimo o necesario para el cromo , cobalto , molibdeno , níquel , titanio , tungsteno , vanadio o circonio , o cualquier otro elemento que se añade para obtener una aleación efecto deseado, cuando el mínimo especificado para el cobre no sea superior a 0,40 por ciento, o cuando el contenido máximo especificado para cualquiera de los siguientes elementos no supere los porcentajes indicados: manganeso 1.65, silicio 0.60, cobre 0,60. "

Es el más disponible y económico de los aceros, recomendables para la mayoría de los recipientes donde no existen altas presiones ni temperaturas.

Los recipientes a presión pueden ser fabricados de placas de acero conociendo las especificaciones de SA-7, SA-113 C y SA-283 A, B, C, y D, con las siguientes consideraciones:

1. Los recipientes no contengan líquidos o gases letales,
2. La temperatura de operación está entre -20 y 650°F,
3. El espesor de la placa no exceda de 5/8 in (15.875 mm),
4. El acero sea manufacturado por horno eléctrico u horno abierto, y
5. El material no sea usado para calderas.

Uno de los aceros más usados en los propósitos generales en la construcción de recipientes a presión es el SA-283 C. Estos aceros tienen una buena ductilidad, fusión de soldadura y fácilmente maquinables. Este es también uno de los aceros más económicos apropiados para recipientes a presión; sin embargo, su uso es limitado a recipientes con espesores de placas que no excedan de 5/8 in para recipientes con un gran espesor de cascarón y presión de operación moderadas el acero SA-285 C es muy usado. En el caso de presiones altas o diámetros largos de recipientes, un acero de alta resistencia puede ser usado como el acero SA212 B es conveniente para semejantes aplicaciones y requiere un espesor de cascarón

de solamente de 790% que el requerido por el SA-285 C. Este acero es también fácilmente fabricado pero es más caro que otros aceros.

El acero SA-283 no puede ser usado en aplicaciones con temperaturas sobre 650°F; el SA-285 no puede ser usado en aplicaciones con temperaturas que excedan de 900°F, y el SA-212 tiene muchos esfuerzos permisibles bajos en las temperaturas más altas, por lo que el acero para temperaturas entre 650 y 1000°F.

El acero SA-204, el cual contiene 0.4 a 0.6% de molibdeno es satisfactorio y tiene buenas cualidades. Para temperaturas de servicio bajas (-50 a -150°F) un acero niquelado tal como un SA-203 puede ser usado. Los esfuerzos permisibles para estos aceros no están especificados por temperaturas bajas de -20°F.

✓ **SA-285 C**

Este modelo de placa de mediana resistencia es ideal para recipientes estacionarios, acumuladores, calentadores y calderas. Tiene excelente rolado y facilidad de soldado.

✓ **SA-387 Grado 11**

Placa aleada de cromo-molibdeno, diseñada específicamente para servicios de muy elevada temperatura.

✓ **SA-515**

Más resistente que la placa A-285 para medias y altas temperaturas. Gran facilidad de soldado siguiendo las técnicas apropiadas. Las placas SA-515 tienen estructura de grano fino. Puede venir tanto con tratamiento normalizado o rolado.

✓ SA-516

Diseñada especialmente para bajas temperaturas donde se requiere excepcional dureza. Esta placa tiene estructura de grano fino.

#### C.4 Evaluación de las alternativas

Para el proceso de selección se valorará cada parámetro en una escala de 1 a 10 puntos. La alternativa que presente un valor ponderado total mayor, será la elegida. La valoración de las alternativas se realizará de acuerdo a un análisis exhaustivo de los diferentes catálogos, información técnica de cada uno de los materiales, propiedades físicas, condiciones de operación, y además del análisis de ciertas recomendaciones realizadas por personas con mucha experiencia en el tema.

Por cuestiones prácticas de diseño, se realizara la selección de un Acero Inoxidable y un Acero al Carbono. Luego, dependiendo de los costos de fabricación y la relación vida útil del material/costo de mantenimiento, se realizara finalmente la selección del material (posiblemente una combinación de estos dos).

**Tabla C2.** Evaluación de los parámetros de selección de Acero Inoxidable

Parámetros	304L	310	316L	387
Factores físicos	8	8	9	9
Factores mecánicos	10	8	8	9
Procesamiento y fabricación	8	8	9	8
Duración	9	7	10	9
Costo y disponibilidad	8	9	7	7
TOTAL	43	39	44	42

Fuente: Cálculos propios

De acuerdo al análisis de los totales obtenidos de la ponderación de los parámetros, la alternativa más viable es usar Acero Inoxidable 316L. Este acero tiene las siguientes propiedades<sup>33</sup>:

- Mínima resistencia a la tracción = 70000 psi
- Mínima resistencia a la fluencia = 25000 psi
- Máxima tensión admisible (S) = 16700 psi desde -20 – 300°F
- Elongación en 2 in = 40% mínimo

**Tabla C3.** Evaluación de los parámetros de selección de Acero al Carbono

Parámetros	285 C	515	516	387
Factores físicos	9	9	8	8
Factores mecánicos	8	9	9	8
Procesamiento y fabricación	9	8	8	7
Duración	8	8	8	8
Costo y disponibilidad	9	7	7	8
TOTAL	43	41	40	39

Fuente: Cálculos propios

De acuerdo al análisis de los totales obtenidos de la ponderación de los parámetros, la alternativa más viable es usar Acero al Carbono 285 C. Este acero tiene las siguientes propiedades<sup>34</sup>:

- Mínima resistencia a la tracción = 55000 psi
- Mínima resistencia a la fluencia = 30000 psi
- Máxima tensión admisible (S) = 15700 psi desde -20 – 300°F
- Elongación en 2 in = 27% mínimo

<sup>33</sup> Fuente:Tabla 1A. Código ASME Sección II, Parte D, Subparte 1. Edición 2007

<sup>34</sup> Fuente:Tabla 1A. Código ASME Sección II, Parte D, Subparte 1. Edición 2007

## **ANEXO D.DESCRIPCIÓN DE LOS FILTROS DE CARTUCHOS**

De este tipo de elementos de filtración existe también una gran variedad de fabricantes y por supuesto se pueden encontrar filtros en un amplio rango de calidades. Por cuestión de relación empresarial se analizarán las características de los elementos filtrantes PolyKLEAN marca 3M PURIFICATION (antes CUNO).

### ✓ **Filtros de cartucho PolyKLEAN<sup>35</sup>**



**Figura D1.** Filtros de cartucho PolyKLEAN

Los cartuchos filtrantes de profundidad PolyKLEAN fabricados íntegramente en polipropileno, resultado de la nueva tecnología RigidExtrusionBonded (REBeI™) de CUNO (pendiente de patente), se caracterizan por lo siguiente:

- ❖ retención uniforme de partículas durante toda la vida útil del filtro,
- ❖ mayor superficie filtrante que prolonga su vida útil, y
- ❖ aumento de caudal gracias a una mínima pérdida de carga inicial

La prolongada vida útil del filtro se traduce en una menor frecuencia de sustitución así como en un menor número de filtros para obtener el caudal deseado. La combinación de las excepcionales prestaciones de los filtros PolyKLEAN reduce notablemente los costes totales de filtración.

---

<sup>35</sup>CUNO – 3M LITCPOLYKLN. SP 0907

**Tabla D1. Características y ventajas de los filtros PolyKLEAN**

Características	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcción rígida del cartucho de profundidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evita la posibilidad de liberación de las partículas retenidas a altas presiones diferenciales.</li> <li>• Eficaz retención de materiales deformables.</li> <li>• Eliminación de partículas eficaz y constante durante toda la vida útil del filtro.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor capacidad de retención.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se reduce la frecuencia de cambio del filtro.</li> <li>• Prolongada vida útil.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartuchos ranurados con mayor superficie filtrante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plena utilización de la matriz de profundidad.</li> <li>• Prolongada vida útil.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 100% polipropileno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Compatibilidad con múltiples aplicaciones.</li> <li>• Sin adhesivos, ligantes, tensoactivos ni lubricantes.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales de fabricación aprobados por FDA 21CFR.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplen la reglamentación relativa al contacto con alimentos y bebidas.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de filtro sin núcleo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil eliminación mediante incineración o trituración.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud integral (hasta 40”).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin juntas de unión que puedan romperse.</li> <li>• Fácil instalación.</li> </ul>

El resistente filtro PolyKLEAN capta y retiene partículas contaminantes en su matriz rígida incluso cuando aumenta la presión diferencial. Además de mejorar la eficacia de filtración y la retención de partículas durante toda la vida útil del filtro PolyKLEAN, la exclusiva estructura del filtro en profundidad mejora notablemente la capacidad de retención y el caudal a cualquier presión dada.

El rango de retención de sólidos en suspensión varía dependiendo su configuración desde 1 a 75 micras ( $\mu\text{m}$ ).

**Tabla D2.** Especificaciones de los cartuchos filtrantes PolyKLEAN

<b>Condiciones de funcionamiento</b>	
Temperatura máxima de servicio	60°C
Presión diferencial máxima	1.7 bar a 60°C
Presión diferencial recomendada para la sustitución	2.4 bar a 20°C
<b>Dimensiones del cartucho</b>	
Diámetro interior (nominal)	1.1" (28 mm)
Diámetro exterior (nominal)	2.6" (66 mm)
Longitud (nominal)	9 34" - 40" (248 - 1016 mm)

## **ANEXO E. CÁLCULOS DEL DISEÑO DE LA UNIDAD DE FILTRACIÓN**

El cálculo mecánico de un recipiente consiste, básicamente, en la determinación de los espesores de las diferentes partes que lo forman, tomando como datos de partida: la forma del equipo, sus dimensiones, el material utilizado, las condiciones de presión temperatura, las cargas debidas al viento y terremoto, peso específico del fluido y la reglamentación, norma o código que debe cumplir el diseño del recipiente. Muchos países exigen que los equipos a presión que se instalan en su suelo cumplan unos reglamentos e incluso unas normas de cálculo de obligado cumplimiento. De todas estas normas o códigos existen algunas que se han hecho de uso común en todo el mundo. Sin duda la más utilizada, y por tanto la que utilizaremos nosotros para el cálculo de las unidades de filtración, es el código americano ASME, que en su sección VIII, división 1 y división 2, indica los métodos de cálculo, así como los requisitos mínimos exigidos a los materiales, detalles constructivos y pruebas que deben satisfacer los equipos a presión.

Por cuestiones de selección del material adecuado respecto a costo y especificaciones técnicas, el diseño se va a realizar con dos de los materiales más usados para este tipo de recipientes a presión. Remitirse al Anexo C para mirar la selección de materiales realizada.

### **ACERO INOXIDABLE 316L**

Los datos con los que se realiza el diseño del tanque a presión, son tomados con relación a las condiciones críticas del manejo de fluidos y condiciones de operación. A continuación, se muestran los datos que se usaran en el diseño:

- Forma: cilindro vertical
- Presión de operación ( $P_o$ ) = 5 psi
- Diámetro interior (D) = 19.875 in
- Radio interior (R) = 9.9375 in
- Altura total ( $H_t$ ) = 6.145 ft
- Eficiencia de soldadura (E) = 0.85
- Esfuerzo máximo permisible a la tensión (S) = 16700 psi<sup>36</sup>
- Peso específico ( $P_e$ ) = 1.6

<sup>36</sup> Tabla 1A. Código ASME Sección II, Parte D, Subparte 1. Edición 2007

- Densidad máxima del fluido ( $\rho_{\text{máx}}$ ) = 13.4 lb/gal
- Gradiente de presión ( $\nabla P$ ) = 0.6968 psi/ft
- Concesión de corrosión (C) = 0 in
- Temperatura de diseño (T) = 300°F

## 1. Diseño por presión interna

La presión interna de diseño variará de acuerdo con la altura de la columna de fluido. Para calcular el espesor del cuerpo, debemos considerar que la presión será diferente a diferentes alturas.

### Cuerpo

#### ✓ **Presión de diseño (P)**

El valor de la presión de diseño (P) está dada por la que resulte mayor en los cálculos que se realicen. A continuación, se calcularán las presiones hidrostáticas generadas por las diferentes alturas de las columnas de fluido; se va a manejar un intervalo de altura de 0.6 ft empezando desde el tope del cuerpo.

$$P = P_o + P_h + 30 \text{ psi} \quad (\text{Ec. E. 1})$$

$$P_h = (P_e)(h) \quad (\text{Ec. E. 2})$$

**Tabla E1. Presión de diseño a diferentes alturas**

#	h(ft)	P <sub>h</sub> (psi)	P (psi)
1	0.6	0.67	35.67
2	1.2	1.33	36.34
3	1.8	2.01	37.01
4	2.4	2.68	37.68
5	3	3.34	38.34
6	3.6	4.01	39.01

7	4.2	4.68	39.68
8	4.875	5.44	40.44
9	5.631	6.23	41.28

Fuente: Calculo propios

Es decir, que la presión de diseño del cuerpo es 41.28 psi.

✓ **Espesor de la pared**

Las presiones de diseño antes calculadas, serán reemplazadas en la Ecuación E.3, para obtener el espesor mínimo de la pared.

$$t = \frac{(P)(R)}{(S)(E) - 0.6(P)} \quad (\text{Ec. E. 3})$$

**Tabla E2.** Espesor de la pared a diferentes presiones de diseño

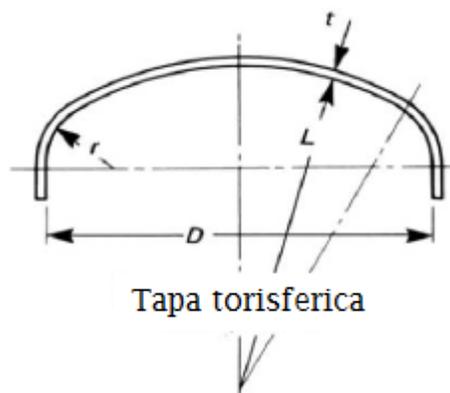
#	P (psi)	t (in)
1	35.67	0.0250
2	36.34	0.0254
3	37.01	0.0259
4	37.68	0.0264
5	38.34	0.0268
6	39.01	0.0273
7	39.68	0.0278
8	40.44	0.0283
9	41.28	0.0289

Fuente: Calculo propios

Es decir, que el espesor mínimo requerido por del cuerpo es de 1/16 in (1.5875 mm).

## Tapas

En el diseño se usaran tapas torisfericas, ya que son las que mayor aceptación tienen en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros.



**Figura E1.** Esquema general de la Tapa Torisferica<sup>37</sup>

Así como en los cilindros de recipientes sometidos a presión, es recomendable usar una eficiencia de 0.85, en las tapas es conveniente usar un valor de  $E = 1.0$ , en algunos casos las tapas son fabricadas de una sola pieza, ello involucra que no tengan soldaduras y automáticamente el valor de la eficiencia es 1.0; Cuando las tapas no son fabricadas de una sola pieza, es conveniente radiografiar totalmente las soldaduras, cuyas longitudes son generalmente pequeñas, y consecuentemente, el radiografiado no es muy costoso comparado con el costo resultante del incremento en el espesor de las tapas.

### ✓ **Tapa inferior**

- Diámetro interior de la tapa ( $D$ ) = 19.875 in
- Eficiencia de soldadura ( $E$ ) = 1.0
- Esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado ( $S$ ) = 16700 psi
- Presión de diseño ( $P$ ): 41.28 psi

<sup>37</sup>Fuente: Código ASME, Sección VIII División 1. Edición 2007

- Radio de abombado o corona (L) = 19.875 in

$$t = \frac{0.885(P)(L)}{(S)(E) - 0.1(P)} \quad (\text{Ec. E.4})$$

$$t = \frac{(0.885)(41.28)(19.875)}{(16700)(1.0) - (0.1)(41.28)}$$

$$t = 0.0463 \text{ in}$$

Es decir, que el espesor mínimo requerido por la tapa inferior es de 1/16 in (1.5875 mm).

✓ **Tapa superior**

- Material = acero inoxidable 316L
- Diámetro interior de la tapa (D) = 19.875 in
- Eficiencia de soldadura (E) = 1.0
- Esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado (S) = 16700 psi
- Presión de diseño (P): 35.67 psi
- Radio de abombado o corona (L) = 19.875 in

$$t = \frac{(0.885)(35.67)(19.875)}{(16700)(1.0) - (0.1)(35.67)}$$

$$t = 0.0376 \text{ in}$$

Es decir, que el espesor mínimo requerido por la tapa superior es de 1/16 in (1.5875 mm).

## 2. Diseño por presión externa

Los parámetros usados en el cálculo de espesores en recipientes sometidos a presión externa son los siguientes:

- A = Factor determinado por medio de la Figura G en la Subparte 3 de la Sección II, Parte D, y se utiliza para entrar en la tabla de los materiales aplicables en la subparte 3 de la sección II, parte D.
  
- B = Factor determinado por medio de las gráficas o tablas mostradas en la subparte 3 de la Sección II, Parte D, cuyo valor depende del material utilizado y de la temperatura de diseño.
  
- $D_o$  = Diámetro exterior del cilindro en pulgadas.
  
- E = Módulo de elasticidad del material a temperatura de diseño. Para el diseño de la presión externa, de conformidad con la presente sección, el módulo de elasticidad que debe ser empleado será obtenido a partir de las cartas en la subparte 3 de la Sección II, Parte D.
  
- L = Longitud de una de las secciones del recipiente tomada como la mayor de las siguientes (mirar figura UG – 28.1):
  1. La distancia entre las líneas de tangencia de las tapas más un tercio de las flechas de las mismas, si no se usan anillos atiesadores.
  2. La mayor distancia entre dos anillos atiesadores adyacentes.
  3. La distancia entre la línea de centro del primer anillo atiesador a la línea detangencia más próxima, más un tercio de la flecha de la tapa.
  4. La distancia del primer anillo atiesador en el cilindro a la unión cono cilindro.
  
- P = Presión exterior de diseño.
  
- $P_a$  = Valor calculado de la máxima presión exterior permisible para el supuesto valor de t.

- $R_o$  = Radio exterior de la tapa

El procedimiento para verificar el espesor del cilindro de un recipiente a presión externa es el siguiente:

a) Suponemos un valor de “t” y calculamos las relaciones  $L/D_o$  y  $D_o/t$  (usamos el valor de t calculado por presión interna).

b) Con el valor de  $L/D_o$  entramos a la Figura G de la Sección II parte D. Si  $L/D_o$  es mayor que 50, entramos con este valor. Así mismo, si  $L/D_o$  es menor que 0.05, usaremos este valor para entrar a la gráfica.

c) A la altura del valor  $L/D_o$ , nos movemos horizontalmente hacia la derecha hasta encontrar la línea representativa del valor  $D_o/t$ , de esta intersección, nos moveremos verticalmente hacia abajo y determinaremos el valor del factor “A”.

d) Usando el valor de “A” calculado en el paso c, entramos en la tabla de los materiales aplicables en la Subparte 3 de la Sección II, Parte D para el material en cuestión. Moverse verticalmente a la intersección con la línea material/temperatura para la temperatura de diseño. La interpolación puede hacerse entre líneas para las temperaturas intermedias.

e) Desde la intersección obtenida en el paso d, nos movemos horizontalmente hacia la derecha y lea el valor del factor “B”

f) Con el valor de “B”, calculamos la máxima presión exterior de trabajo permitida por medio de la ecuación:

$$P_a = \frac{4B}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)} \quad (\text{Ec. E.5})$$

Si el valor de “A” estuviera a la izquierda de la línea de temperatura indicada en el punto d), el valor de la máxima presión exterior de trabajo permisible será calculada por medio de la ecuación:

$$P_a = \frac{2AE}{3 \left( \frac{D_o}{t} \right)} \quad (\text{Ec. E. 6})$$

g) Compare el valor calculado de  $P_a$  obtenidos en el paso f con  $P$ . Si  $P_a$  es menor que  $P$ , seleccione un mayor valor de  $t$  y repita el procedimiento de diseño hasta que el valor de  $P_a$  obtenido sea igual o superior a  $P$ .

### Cuerpo

Como mencionamos anteriormente, primeramente debemos calcular las relaciones  $L/D_o$  y  $D_o/t$ , para ello necesitamos definir el valor de “L”, este valor será:

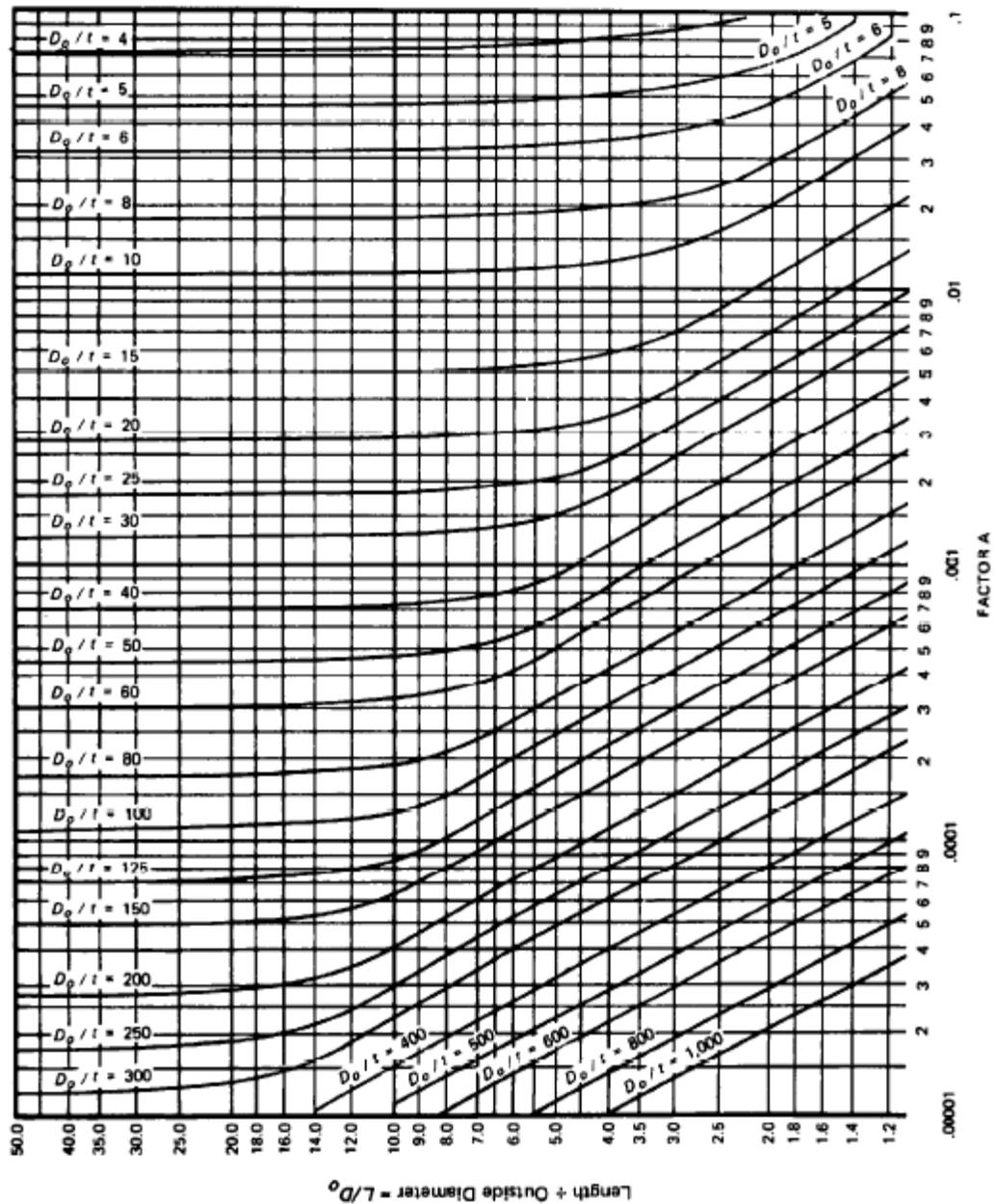
$$L = \text{longitud del cuerpo} + \frac{h_{\text{tapa inferior}}}{3} + \frac{h_{\text{tapa superior}}}{3}$$

$$L = 58 \text{ in} + \frac{7.536 \text{ in}}{3} + \frac{4.226 \text{ in}}{3}$$

$$L = 61.92 \text{ in}$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{61.92 \text{ in}}{20 \text{ in}} = 3.096$$

$$\frac{D_o}{t} = \frac{20 \text{ in}}{0.0625 \text{ in}} = 320$$



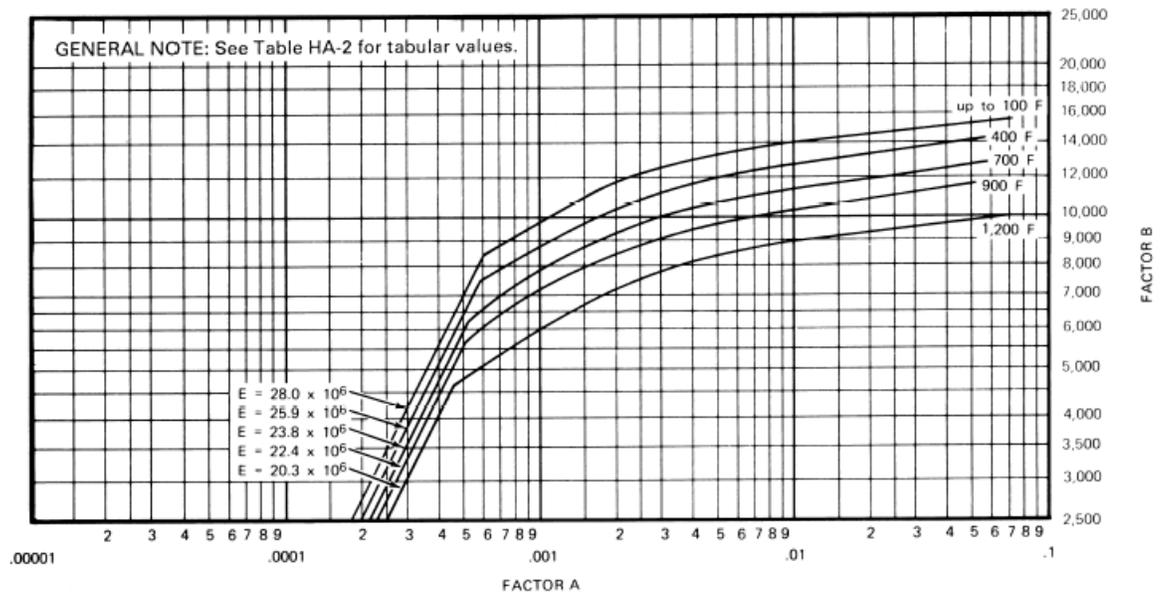
**Figura E2.** Gráfico para determinar el factor A (Figura G)<sup>38</sup>

Siguiendo el procedimiento, expuesto anteriormente, entramos con los valores obtenidos a la gráfica mostrada en la Figura G (mirar Figura E2) y de ella obtenemos que:

<sup>38</sup>Fuente: Código ASME, Sección II, Subparte 3, Parte D. Edición 2007

$$A = 0.0000746$$

Entrando con este valor a la Figura HA – 2 (mirar Figura E3) y siguiendo las instrucciones antes mencionadas, nos encontramos que para una temperatura de diseño T = 300°F, el valor de A se encuentra a la izquierda de la línea representativa de dicha temperatura de diseño, por ende, el valor del factor B no se puede determinar.



**Figura E3.** Gráfico para determinar el factor B del Acero Inoxidable 316L (Figura HA - 2)<sup>39</sup>

Por lo tanto, la máxima presión externa aplicable a nuestro recipiente está dada por:

$$P_a = \frac{(2)(0.0000746)(28 \times 10^6)}{(3)(330)}$$

$$P_a = 4.22 \text{ psi}$$

<sup>39</sup>Fuente: Código ASME, Sección II, Subparte 3, Parte D. Edición 2007

Con este resultado obtenido, podemos concluir que si queremos someter el cuerpo del recipiente a presión a vacío absoluto, debemos incrementar el espesor del cuerpo o colocar anillos atiesadores. Por esta cuestión, el espesor que se va a trabajar en el cuerpo es 1/8 in (0.125 mm), y con ello se garantiza que el cuerpo pueda soportar vacío total. Con este espesor la máxima presión externa aplicable es de 24.03 psi

### Tapas

El cálculo de los espesores requeridos en las tapas, deberán cumplir con lo siguiente:

a) Suponga un valor de “t” y calcule el valor de “A” usando la ecuación:

$$A = \frac{0.125}{\left(\frac{R_o}{t}\right)} \quad (\text{Ec. E.7})$$

b) Entre a la gráfica del material correspondiente (subparte 3 de la Sección II, Parte D) con el valor de “A” y muévase verticalmente hasta la línea representativa de la temperatura de diseño.

c) Desde esta intersección muévase horizontalmente y encuentre el valor de “B”

d) La presión exterior máxima permisible, será calculada por la ecuación:

$$P_a = \frac{B}{\left(\frac{R_o}{t}\right)} \quad (\text{Ec. E.8})$$

Cuando el valor de “A” está a la izquierda de la línea de temperatura aplicable, el valor de  $P_a$  deberá de ser calculado por la ecuación:

$$P_a = \frac{0.0625(E)}{\left(\frac{R_o}{t}\right)^2} \quad (\text{Ec. E. 9})$$

Si la máxima presión de trabajo permisible  $P_a$  calculada por las fórmulas anteriores es menor que la presión de diseño, deberá repetirse el procedimiento usando un valor de “t” mayor que el supuesto originalmente.

Se debe tener en cuenta para los cálculos respectivos, que para las tapas torisfericas  $R_o = D_o = 20$  in

✓ **Tapa superior e inferior**

Para realizar nuestros cálculos, Utilizamos el valor del espesor requerido para soportar la presión externa (0.125 in). Teniendo en cuenta, que mediante el diseño por presión interna tanto la tapa superior como la tapa inferior tiene el mismo espesor (incluyendo el factor por corrosión), en el diseño por presión externa se realizará un solo cálculo de espesor, el cual será igual para las dos tapas.

Siguiendo el procedimiento planteado anteriormente, obtenemos que:

$$A = \frac{0.125}{\left(\frac{20}{0.125}\right)}$$

$$A = 0.000781$$

Entrando con este valor a la Figura HA – 2 (mirar Figura E3) y siguiendo las instrucciones antes mencionadas, tenemos que para una temperatura de diseño  $T = 300^\circ\text{F}$

$$B = 8400$$

Con este valor de “B”, obtenemos la máxima presión externa aplicable a nuestro recipiente y ésta será:

$$P_a = \frac{8400}{\left(\frac{20}{0.125}\right)}$$

$$P_a = 52.5 \text{ psi}$$

Lo cual significa que nuestras tapas torisfericas puede soportar una presión exterior de hasta 52.5 psi, por lo tanto, también puede soportar vacío total.

### 3. Soportes tipo angular

Existen varios tipos de soportes de acuerdo a la orientación del recipiente y de su forma. Estos elementos, a pesar de no estar sometido a presión, son cruciales para mantener la vida útil deseada y una seguridad integral para el proceso y operadores. Para los recipientes verticales se utilizan perfiles o tubería para mantener en pie al recipiente. Estos soportes denominados patas pueden tener varias configuraciones.

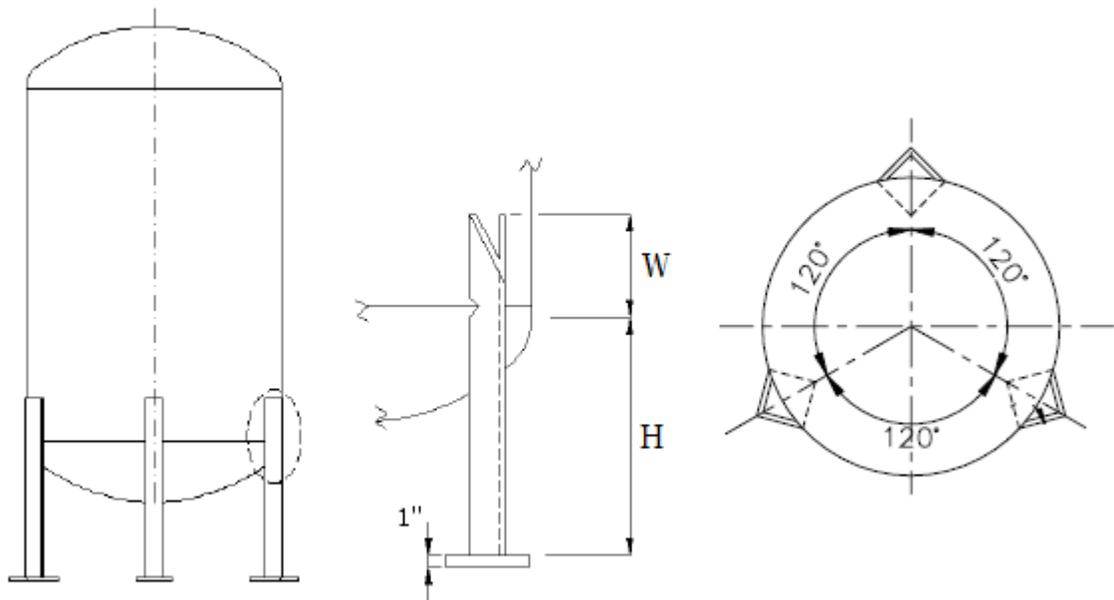
Gracias a la práctica se han estandarizado algunas dimensiones para el diseño de los soportes tipo angular para los recipientes verticales, las cuales están relacionadas directamente con el diámetro del recipiente.

Para seleccionar las dimensiones del ángulo, debemos tener las siguientes medidas del recipiente:

- Longitud del cuerpo del recipiente (L) = 58 in (4.83 ft)
- Diámetro del recipiente (D) = 20 in (1.67 ft)

Con estas dos medidas, entramos a la Figura 82 del documento Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión del Ingeniero Juan Manuel León Estrada (mirar Figura E6), y encontramos las siguientes medidas del soporte tipo angular:

- Longitud del soporte menos 6 in (H) = 5 ft – 6 in = 4.5 ft (1.3716 m)
- Dimensiones del perfil L = 2 ½" x 2 ½" x 3/8"

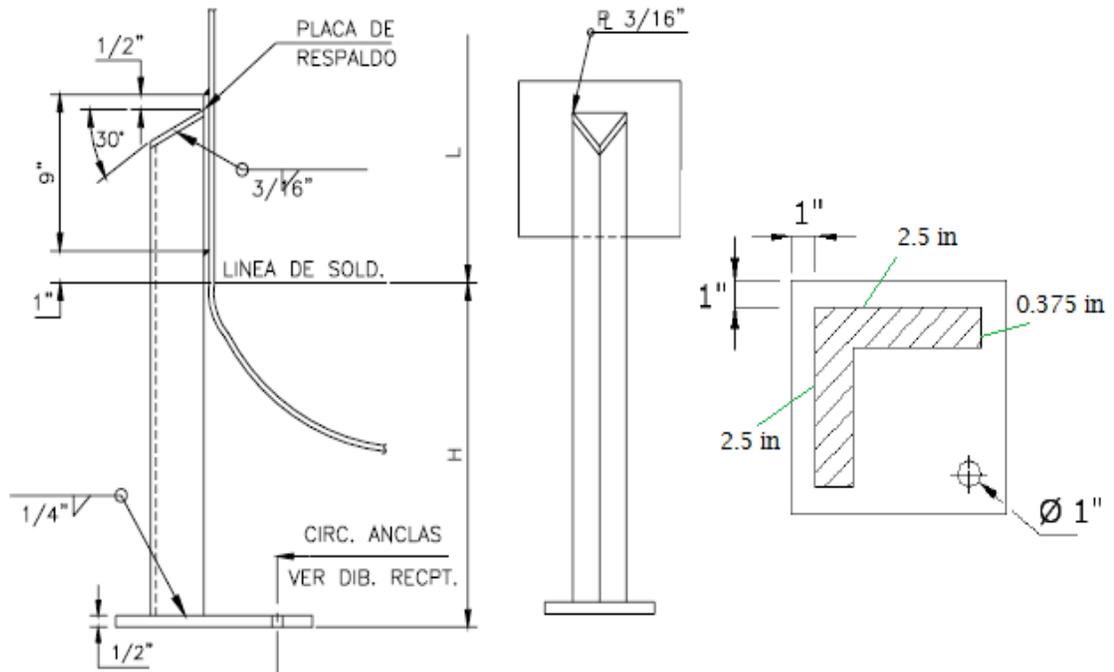


**Figura E4.** Soporte para recipientes verticales<sup>40</sup>

Nota = En la Figura D6 como el menor diámetro del recipiente es de 30 in, se entró con este valor para encontrar las medidas del soporte angular. Pero Se debe tener en cuenta que para un recipiente con un diámetro de 20 in, la longitud del soporte (H) máxima es de 3 ft – 6 in (1.06 m). Por lo tanto, para el diseño se va a manejar dicha longitud del soporte.

Se debe tener en cuenta que: en las áreas de contacto de los soportes con las costuras deberá hacerse una muesca sobre los primeros, y el material de la placa de respaldo deberá ser igual al material del recipiente.

<sup>40</sup>Fuente: Narváez Moreno, Daniel Eduardo. Desarrollo de una aplicación computacional para la automatización de planos y dibujos en 3D para el diseño de recipientes a presión bajo el código ASME sección VII Div. 1. Sangolquí, 2008.



**Figura E5.** Dimensiones generales del soporte tipo angular

El material usado para estos soportes es el Acero al carbono SA 36, debido a que es un material de baja resistencia usado principalmente para vigas soldadas y bases de columnas. Sus propiedades mecánicas son:

- Resistencia a la tracción = 58.000 – 80.000 psi (400 – 550 MPa)
- Mínimo punto de cedencia = 36.000 psi (250 MPa)

DIAMETRO DEL RECIPEINTE 2' - 6"				DIAMETRO DEL RECIPEINTE 3' - 0"			
LONGITUD DEL CUERPO DEL RECIPEINTE PIES PULGOS	DIMENSIONES DEL ANGULO			LONGITUD DEL CUERPO DEL RECIPEINTE PIES PULGOS	DIMENSIONES DEL ANGULO		
	3 1/2" x 3 1/2" x 3/8" "H"	3" x 3" x 3/8" "H"	2 1/2" x 2 1/2" x 3/8" "H"		3 1/2" x 3 1/2" x 3/8" "H"	3" x 3" x 3/8" "H"	2 1/2" x 2 1/2" x 3/8" "H"
21	6	2	6	17	2	2	6
21	0	2	7	17	0	2	6 1/4
20	0	2	9 1/2	16	0	2	8 3/4
19	0	3	0	15	0	2	11 1/2
18	0	3	2 3/4	14	0	3	2 1/4
17	3			13	3		
17	0	3	5 3/4	13	0	3	5 1/2
16	0	3	8 3/4	12	0	3	9 1/4
15	0	4	0	11	0	4	1
14	0	4	3 1/2	10	0	4	5
13	0	4	7	9	0	4	9 1/2
12	6			8	4	5	0
12	0	4	11	8	0		
11	8	5	0	7	0	4	0
11	0			6	0	4	10
10	0	4	4 1/4	5	9	5	0
9	0	4	8 1/4	5	0		
8	1	5	0	4	0		
8	0			3	3		
7	0						
6	0						
5	0						
4	10						

Figura E6. Tabla para encontrar las dimensiones del soporte tipo angular (Figura 82)<sup>41</sup>

<sup>41</sup>León Estrada, Juan Manuel. Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. México, 2001

#### 4. Calculo por presión del viento

Para calcular los esfuerzos producidos por el viento en recipientes cilíndricos verticales, tenemos en cuenta los siguientes parámetros:

- Presión interna de diseño (P) = 41.28 psi
- Diámetro (D) = 20 in
- Material (S) = 167000 psi
- Radiografiado (E) = 0.85
- Tolerancia por corrosión = 0 in
- Velocidad del viento ( $V_w$ ) = 1.86 m/s<sup>42</sup>
- Espesor requerido (t) = 0.125 in

Teniendo en cuenta, que la velocidad máxima del viento a la que va a estar expuesta el equipo es durante el transporte, se va a trabajar una velocidad del viento de 60 km/h (16.67 m/s), y con ello se garantiza que no haya problemas por presión del viento

Al efectuar estos cálculos, debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

1. El diámetro a utilizar será el exterior, incluyendo el espesor del aislamiento si lo llevara.
2. Para obtener el valor de la presión del viento  $P_w$  debemos tomar en consideración un factor de forma, el cual tendrá un valor de 1.0 para superficies planas, y 0.6 para superficies cilíndricas.
3. Los valores de la velocidad del viento y consecuentemente la presión del viento, dependerán del lugar geográfico donde vayamos a instalar el recipiente y de la altura del mismo.

---

<sup>42</sup>Fuente:Clima en Neiva / Benito Salas (<http://clima.meteored.com/clima-en-neiva+benito+salas-803150.html>)

5. El Código ASME, Sección VIII, División 1, recomienda que al calcular un recipiente cilíndrico vertical por presión de viento y por sismo, consideremos únicamente el mayor de ellos, ya que generalmente nunca se presentan de manera simultánea ambos.

A continuación, se realiza el desarrollo de los cálculos correspondientes para encontrar la fuerza que ejerce el viento:

### **Presión del viento**

$$P_w = 0.0025V_w^2 \quad (\text{Ec. E.10})$$

$$P_w = (0.0025)(16.67)^2$$

$$P_w = 0.6947 \frac{lb}{ft^2}$$

### **Ancho del recipiente (D<sub>1</sub>)**

Se tiene en cuenta que el como el recipiente no tiene asilamiento, el ancho del recipiente es igual al diámetro del recipiente.

$$D = D_1 = 1.67 \text{ ft}$$

### **Fuerza de corte debida al viento (V)**

Para calcular la fuerza de corte debida al viento, debemos tener en cuenta las medidas del parámetro H<sub>1</sub> mostrada en Figura E7. Por ello, a continuación se muestra el cálculo de dicho parámetro

$$H_1 = \text{longitud cuerpo} + \frac{\text{longitud tapa superior}}{3} + \text{longitud tapa inferior} + H$$

$$H_1 = 4.83 + \frac{0.51}{3} + 0.69 + 3.48$$

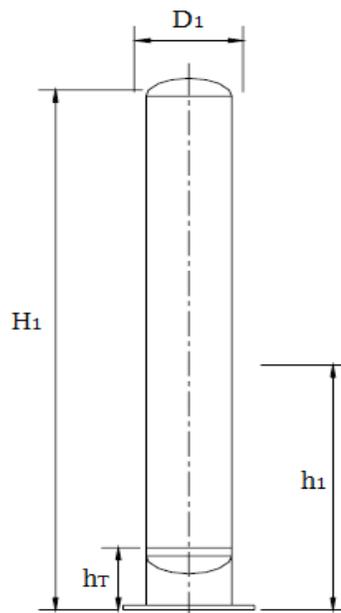
$$H_1 = 9.17 \text{ ft}$$

Luego, con este valor realizamos el cálculo de la fuerza cortante debida al viento.

$$V = (P_w)(D_1)(H_1) \quad (\text{Ec. E. 11})$$

$$V = \left(0.6947 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}\right) (1.67 \text{ ft})(9.17 \text{ ft})$$

$$V = 10.639 \text{ lb}$$



**Figura E7.** Parámetros para calcular la fuerza de corte debida al viento<sup>43</sup>

<sup>43</sup>León Estrada, Juan Manuel. Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. México, 2001

### **Momento producido por el viento (M)**

Debemos conocer el parámetro  $h_1$  mostrado en la Figura E7 para poder calcular el momento producido por el viento. La Figura E7 nos muestra que este valor de  $h_1$ , es la mitad del valor de  $H_1$ , por lo tanto, se tiene que:

$$h_1 = \frac{9.17}{2} ft$$

$$h_1 = 4.585 ft$$

Luego, con este valor realizamos el cálculo del momento producido por el viento.

$$M = (V)(h_1) \quad (Ec. E. 12)$$

$$M = (10.639 lb)(4.585 ft)$$

$$M = 48.778 lb - ft$$

### **Momento en la línea de tangencia del fondo ( $M_T$ )**

Debemos conocer el parámetro  $h_T$  mostrado en la Figura E7 para poder calcular el momento producido por el viento. Se puede establecer que el parámetro  $h_T$  es igual a la suma de los parámetros W y H mostrados en la Figura E4.

$$h_T = W + H \quad (Ec. E. 13)$$

$$h_T = 0.87 ft + 3.48 ft$$

$$h_T = 4.35 ft$$

Luego, con este valor realizamos el cálculo del momento en la línea de tangencia del fondo.

$$M_T = M - h_T(V - 0.5P_w D h_T) \quad (\text{Ec. E. 14})$$

$$M_T = (48.778 \text{ lb} - \text{ft}) - 4.35 \text{ ft} \left[ 10.639 \text{ lb} - (0.5) \left( 0.6947 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} \right) (1.67 \text{ ft})(4.35 \text{ ft}) \right]$$

$$M_T = 13.476 \text{ lb} - \text{ft}$$

### Espero requerido para soportar la fuerza del viento ( $t_w$ )

$$t_w = \frac{12M_T}{R^2 \pi S E} \quad (\text{Ec. E. 15})$$

$$t_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - \text{ft})}{(10 \text{ in})^2 (\pi) \left( 16700 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right) (0.85)}$$

$$t_w = 3.63 \times 10^{-5} \text{ in}$$

Para determinar si el espesor calculado por presión interna es suficiente para soportar la fuerza del viento, aplicamos lo siguiente: le sumamos la mitad del espesor requerido por presión interna.

$$t_w + \frac{t}{2} = 3.63 \times 10^{-5} \text{ in} + \frac{0.125}{2} \text{ in}$$

$$t_w + \frac{t}{2} = 0.0625 \text{ in}$$

Como  $t_w + \frac{t}{2} \leq t$ , el espesor calculado por presión externa es suficiente para soportar la fuerza del viento.

## 5. Cálculo por sismo

Los esfuerzos generados dependerán de la intensidad de los sismos y estos variarán de acuerdo a la zona geográfica donde vayamos a instalar el recipiente. La Figura E8 nos muestra el Mapa de Amenaza Sísmica y valores de Aade Colombia. La aceleración pico efectiva (Aa) corresponde a las aceleraciones horizontales del sismo de diseño contempladas en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98), como porcentaje de la aceleración de la gravedad terrestre ( $g = 980 \text{ cm/s}^2$ ).

**Tabla E3.** Valores de Aa

Capital de departamento

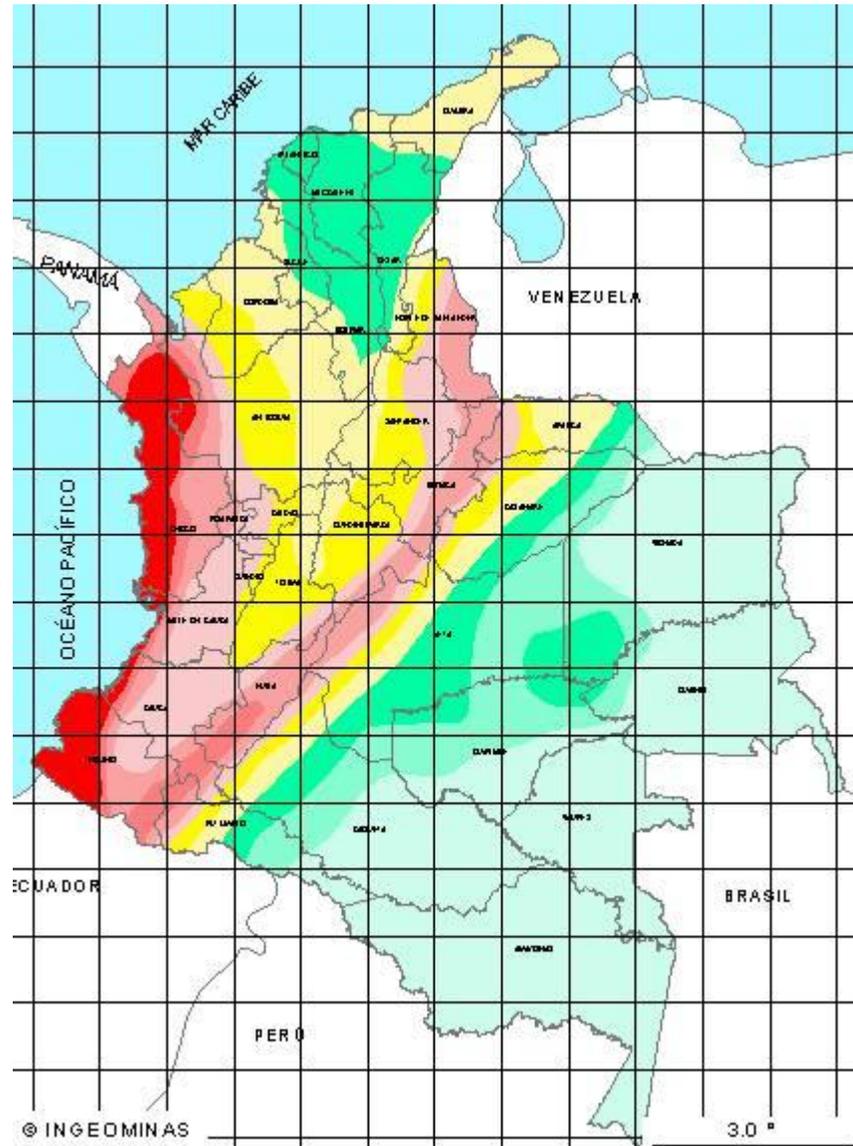


Límite de departamento



Valores de aceleración Aa (g)

	0.05 (Baja)
	0.05 - 0.075 (Baja)
	0.075 - 0.1 (Baja)
	0.1 - 0.15 (Intermedia)
	0.15 - 0.2 (Intermedia)
	0.2 - 0.25 (Alta)
	0.25 - 0.3 (Alta)
	0.3 - 0.35 (Alta)
	0.35 - 0.4 (Alta)

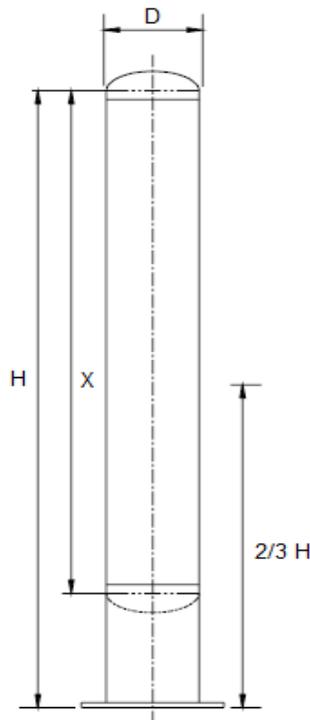


**Figura E8.** Mapa de Amenaza Sísmica de Colombia<sup>44</sup>

En los casos donde se presenten sismos y vientos en el área donde se instalará el recipiente a diseñar, se calcularán los valores de los esfuerzos producidos por estos dos agentes y en el análisis de esfuerzos, tomaremos en consideración solamente el mayor de ellos.

<sup>44</sup>Fuente: Ingeominas

A continuación, se muestra un gráfico con los parámetros necesarios para realizar los cálculos, y seguidamente, se realiza el desarrollo de los cálculos correspondientes para encontrar el espesor requerido por cargas sísmicas:



**Figura E9.** Parámetros para calcular el espesor requerido por cargas sísmicas<sup>45</sup>

- C = Coeficiente sísmico
- D = Diámetro exterior del recipiente, en pies
- E = Eficiencia de la junta de soldadura
- H = Longitud del recipiente incluyendo soporte, en pies
- M = Momento máximo en la base, en libras – pie
- $M_x$  = Momento en una distancia x, en libras – pie
- R = Radio medio del recipiente, en pulgadas
- S = Esfuerzo del material, en psi
- t = Espesor requerido excluyendo corrosión, en pulgadas
- W = Peso total de la torre (se debe sumar un 6% por soldadura), en libras
- w = Peso de la torre por pie de altura, en libras/pie
- X = Distancia desde la línea de tangencia más alta a la sección más baja en consideración, en pies

<sup>45</sup>León Estrada, Juan Manuel. Diseño y Cálculo de Recipientes a Presión. México, 2001

$V =$  Cortante total, en libras

### **Cortante Total (V)**

Teniendo en cuenta que, las dos unidades de filtración tienen configuraciones internas diferentes, una es más pesada que la otra, por lo tanto, se va a trabajar con el peso de la unidad de filtración más pesada. Igualmente, se va a trabajar el valor de  $A_a$  de la región de alta sismicidad como el valor de coeficiente sísmico.

$$V = CW \quad (\text{Ec. E. 16})$$

$$V = (0.35)(299.492 \text{ Lb})$$

$$V = 104.822 \text{ Lb}$$

### **Momento máximo de la base (M)**

$$M = \frac{2CWH}{3} (\text{Ec. E. 17})$$

$$M = \frac{(2)(0.35)(299.492 \text{ Lb})(8.4810 \text{ ft})}{3}$$

$$M = 592.665 \text{ Lb} - \text{ft}$$

### **Momento en una distancia x (M<sub>x</sub>)**

$$M_x = \frac{C_w X^2 (3H - X)}{3H^2} (\text{Ec. E. 18})$$
$$M_x = \frac{(0.35) \left(46.802 \frac{\text{Lb}}{\text{ft}}\right) (5.2345 \text{ ft})^2 [(3)(8.4810 \text{ ft}) - 5.234 \text{ ft}]}{(3)(8.4810 \text{ ft})^2}$$

$$M_x = 42.035 \text{ Lb} - ft$$

### **Esfuerzo del material (S)**

$$S = \frac{12M}{3.1416R^2t} \text{ (Ec. E. 19)}$$

$$S = \frac{(12)(592.665 \text{ Lb} - ft)}{(3.1416)(10 \text{ in})^2(0.125 \text{ in})}$$

$$S = 182.021 \text{ psi}$$

### **Espesor requerido (t)**

$$t = \frac{12M}{3.1416R^2SE} \text{ (Ec. E. 20)}$$

$$t = \frac{(12)(592.665 \text{ Lb} - ft)}{(3.1416)(10 \text{ in})^2(182.0219 \text{ psi})(0.85)}$$

$$t = 0.1463 \text{ in}$$

Con el resultado obtenido anteriormente, podemos ver claramente que el espesor requerido por sismo es mayor que el espesor requerido cuando se diseña por presión externa. Siguiendo la norma, se puede concluir que es necesario aumentar el espesor de las unidades de filtración en 0.0212 in (0.054 mm) para que puedan soportar los esfuerzos producidos por sismos; por ende, el espesor final de las unidades de filtración es 0.1875 in (4.7625 mm)

### **6. Cálculo por vibraciones**

Como un resultado de la presión del viento y de las fuerzas producidas por los sismos en recipientes cilíndricos verticales altos, se produce vibración. El valor máximo del periodo permisible en este tipo de recipientes está dado por la ecuación.

$$T_a = 0.8 \sqrt{\frac{WH}{Vg}} \text{ (Ec. E. 21)}$$

Y el valor del periodo de vibración producido por sismo o viento está dado por la ecuación:

$$T = 0.0000265 \left(\frac{H}{D}\right)^2 \sqrt{\frac{wD}{t}} \text{ (Ec. E. 22)}$$

Donde,

D = Diámetro exterior del recipiente, en pies.

H = Altura total del recipiente incluyendo el soporte, en pies.

g = Aceleración de la gravedad (32.2 pies/seg<sup>2</sup>).

t = Espesor del soporte en la base, en pulgadas.

V = Valor de la fuerza cortante, en libras (V = CW)

W = Peso total del recipiente, en libras (se trabaja con el nuevo espesor)

w = Peso del recipiente por pie de altura, en libras/pie.

Para asegurarnos que nuestro recipiente está bien diseñado para soportar vibraciones, calcularemos los valores del periodo de vibraciones máximo permisible y el periodo de vibración producido por el viento o sismo, el valor de este periodo no excederá nunca del valor del periodo de vibración máximo permisible de acuerdo con la Ecuación E.21.

Si el periodo producido por el viento o sismo fuese mayor que el máximo valor del periodo permisible, será necesario incrementar el valor del espesor del faldón y efectuar nuevamente los cálculos.

Reemplazando, los valores en la Ecuación E.21 y E.22 obtenemos:

➤ Máximo periodo permisible

$$T_a = 0.8 \sqrt{\frac{(335.278 \text{ Lb})(8.4810 \text{ ft})}{(0.35 \times 335.278 \text{ Lb}) \left(32.2 \frac{\text{ft}}{\text{seg}^2}\right)}}$$

$$T_a = 0.6940 \text{ seg}$$

➤ Periodo de vibración producido por sismo o viento

$$T = 0.0000265 \left(\frac{8.4810 \text{ ft}}{1.67 \text{ ft}}\right)^2 \sqrt{\frac{\left(55.5385 \frac{\text{Lb}}{\text{ft}}\right) (1.67 \text{ ft})}{0.5 \text{ in}}}$$

$$T = 0.0093 \text{ seg}$$

Como vemos en los resultados obtenidos, el periodo de vibración producido por sismo o viento es mucho menor que el máximo periodo permisible, por lo tanto, el espesor del soporte es el adecuado.

## 7. Cálculo de la deflexión máxima

Como ya dijimos anteriormente, el recipiente cilíndrico vertical será calculado como una viga empotrada y su deflexión máxima nunca deberá ser mayor de 6pulgadas por cada 100 pies de altura. La deflexión máxima debida a la presión del viento puede ser calculada usando la ecuación para una viga empotrada con carga uniformemente variable.

$$M = \frac{(P_w)(D_1)(H)(12H)^3}{(8)(E)(I)} \quad (\text{Ec. E.23})$$

Donde,

M = Deflexión máxima en la parte superior, en pulgadas.  
 D<sub>1</sub> = Diámetro de la torre incluyendo aislamiento, en pies.  
 E = Módulo de elasticidad en lb/pulg<sup>2</sup> (mirar Figura E3)  
 H = Altura del recipiente incluyendo el faldón, en pies.  
 I = Momento de inercia para un cilindro delgado cuando  
 R > 10t ; I = π R<sup>3</sup>t  
 P<sub>w</sub> = Presión del viento, en lb/pie<sup>2</sup>.  
 t = Espesor del soporte, en pulgadas

Reemplazando en la Ecuación E.23 obtenemos:

$$M = \frac{\left(0.6947 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2}\right) (1.67 \text{ ft})(8.4810 \text{ ft}) [(12)(8.4810 \text{ ft})]^3}{(8) \left(28 \times 10^6 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}\right) [\pi(10 \text{ in})^3(0.375 \text{ in})]}$$

$$M = 0.0000393 \text{ in}$$

La deflexión máxima permitida es de 6 pulgadas por cada 100 pies de altura; por lo tanto, para 8.4810 ft se tiene:

$$\frac{(8.4810 \text{ ft})(6 \text{ in})}{100 \text{ ft}} = 0.50886 \text{ in}$$

Como la deflexión calculada no sobrepasa este límite, el espesor de diseño del soporte tipo angular es satisfactorio.

## 8. Cálculos de esfuerzos combinados

Los esfuerzos producidos por las cargas anteriormente descritas, deberán analizarse en conjunto con el fin de definir claramente el esfuerzo neto a que está sujeto un recipiente cilíndrico vertical.

Examen combinado de los esfuerzos por viento (o sismo), presión interna (esfuerzo longitudinal) y peso propio del recipiente:

#### Esfuerzos dominantes

En el lado del viento:

- + Esfuerzo por viento.
- + Esfuerzo por presión interna.
- Esfuerzo por peso propio.

Lado contrario al viento:

- Esfuerzo por viento.
- +Esfuerzo por presión interna.
- Esfuerzo por peso propio.

Combinación de esfuerzos producidos simultáneamente por presión del viento (o sismo) presión externa y peso propio del recipiente:

#### Esfuerzos dominantes

En el lado del viento:

- + Esfuerzo por viento.
- Esfuerzo por presión interna.
- Esfuerzo por peso propio.

Lado contrario al viento:

- Esfuerzo por viento.
- Esfuerzo por presión interna.
- Esfuerzo por peso propio.

Los signos positivos indican que se trata de esfuerzos de tensión y los signos negativos nos indican que los esfuerzos que se presentan, son de compresión. La suma algebraica de los esfuerzos actuantes nos dará el esfuerzo gobernante.

El momento flexionante debido a la presión del viento es máximo en el soporte y decrece a medida que nos acercamos a la parte superior de la torre, donde su valor es cero.

Para realizar los cálculos necesitamos los siguientes parámetros:

$c$  = Perímetro del recipiente ( $2 * \pi * R$ ), en pulgadas

$W$  = Peso total del recipiente, en libras

$w$  = Peso del recipiente por pie de altura, en libras/pie

R = Radio interior, en pulgadas

$P_w$  = Presión del viento, en libras / pie

t = Espesor final requerido, en pulgadas

$M_T$  = Momento en la línea de tangencia del fondo (mirar calculo en el numerar 5),  
en libras – pie

P = Presión interna de diseño (mirar calculo en el numerar 1), en psi

D = Diámetro interno del recipiente, en ft

Los cálculos de van a realizar con la unidad de filtración que tiene mayor peso, y  
con ello se garantiza que las dos unidades tenga el espesor requerido.

### Cálculos en condiciones de vacío

✓ Esfuerzo producido por peso

$$S_g = \frac{W}{c * t} \text{ (Ec. E. 24)}$$

$$S_g = \frac{335.278 \text{ Lb}}{(2\pi * 10 \text{ in})(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_g = 28.459 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por el viento

$$S_w = \frac{12M_T}{R^2\pi t} \text{ (Ec. E. 25)}$$

$$S_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - \text{ft})}{(10 \text{ in})^2(\pi)(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_w = 2.745 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por presión interna

$$S_p = \frac{PD}{4t} \text{ (Ec. E.26)}$$

$$S_p = \frac{(41.28 \text{ psi})(20 \text{ ft})}{(4)(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_p = 1100.8 \text{ psi}$$

Con estos valores evaluamos la combinación de esfuerzos. A continuación se muestra la suma algebraica

Esfuerzos dominantes

En el lado del viento:

Lado contrario al viento:

Esfuerzo por viento + 2.745 psi      Esfuerzo por viento – 2.745 psi

Esfuerzo por peso propio – 28.459 psi      Esfuerzo por peso propio – 28.459 psi

- 25.714 psi

- 31.204 psi

### Cálculos en condiciones de operación

✓ Esfuerzo producido por peso

$$S_g = \frac{W_{unidad} + W_{fluido}}{c * t} \text{ (Ec. E.27)}$$

$$S_g = \frac{335.278 \text{ Lb} + 35.399 \text{ Lb}}{(2\pi * 10 \text{ in})(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_g = 31.464 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por el viento

Reemplazando los valores en la Ecuación E.25 obtenemos:

$$S_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - \text{ft})}{(10 \text{ in})^2(\pi)(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_w = 2.745 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por presión interna

Reemplazando los valores en la Ecuación E.26 obtenemos:

$$S_p = \frac{(41.28 \text{ psi})(20 \text{ ft})}{(4)(0.1875 \text{ in})}$$

$$S_p = 1100.8 \text{ psi}$$

Con estos valores evaluamos la combinación de esfuerzos. A continuación se muestra la suma algebraica

#### Esfuerzos dominantes

En el lado del viento:

Esfuerzo por presión interna + 1100.8 psi  
Esfuerzo por viento + 2.745 psi

Lado contrario al viento:

Esfuerzo por presión interna + 1100.8 psi  
Esfuerzo por viento - 2.745psi

$$\begin{array}{r} \text{Esfuerzo por peso propio} \quad - \frac{31.464 \text{ psi}}{+ 1072.081 \text{ psi}} \quad \text{Esfuerzo por peso propio} \quad - \frac{31.464 \text{ psi}}{+ 1066.591 \text{ psi}} \end{array}$$

El esfuerzo a la tensión de 1072.081 psi en operación en el lado del viento es el mayor. El esfuerzo permitido para el material de la unidad, con 0.85 de eficiencia de junta es de 14195 psi. En consecuencia, el espesor del material seleccionado de 0.1875 in es satisfactorio.

## 9. Presión de trabajo máxima permisible

Es la presión máxima a la que se puede someter un recipiente, en condiciones de operación, suponiendo que él se encuentra en las siguientes condiciones:

- a) El recipiente no está corroído (nuevo).
- b) La temperatura no afecta a la resistencia a la tensión del material (temperatura ambiente) (frío).
- c) Tampoco se consideran los efectos producidos por la acción del viento, presión hidrostática, etc.

El valor de la presión de trabajo máxima permisible, se obtiene despejando “P” de las ecuaciones que determinan los espesores del cuerpo y las tapas, y usando como “t” el espesor real del equipo y su valor será el que resulte menor.

### Cuerpo

De la Ecuación E.3, despejamos la variable P para obtener la máxima presión de trabajo permisible del cuerpo.

$$P = \frac{(t)(S)(E)}{0.6(t) - R} \quad (\text{Ec. E. 28})$$

$$P = \frac{(0.1875)(16700)(0.85)}{0.6(0.1875) + 9.9375}$$

$$P = 264.83 \text{ psi}$$

Es decir, que el cuerpo del tanque a presión, bajo las condiciones expuestas anteriormente, soporta una presión de trabajo máxima de 264 psi.

### Tapas

De la Ecuación E.4, despejamos la variable P para obtener la máxima presión de trabajo permisible de las tapas, teniendo en cuenta, que las dos tapas (superior e inferior) fueron diseñadas con el mismo espesor.

$$P = \frac{(t)(S)(E)}{0.885(L) + 0.1(t)} \quad (E.29)$$

$$P = \frac{(0.1875)(16700)(1.0)}{0.885(19.8125) + 0.1(0.1875)}$$

$$P = 178.39 \text{ psi}$$

Es decir, que las tapas del tanque a presión, bajo las condiciones expuestas anteriormente, soporta una presión de trabajo máxima de 178 psi.

Con los dos resultados obtenidos, se puede establecer que la máxima presión de trabajo permisible del tanque a presión es 178 psi. Hay que tener en cuenta, que realmente este tanque a presión puesto en funcionamiento, no podrá soportar esta presión debido a que él está:

- ✓ Bajo condiciones de corrosión.
- ✓ Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- ✓ Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a las ocasionadas por la presión interna.

## ACERO AL CARBONO SA – 285 C

Para el diseño del tanque a presión con el material Acero al Carbono, se seguirá el mismo procedimiento explicado para el Acero Inoxidable. A continuación, se muestran los datos que se usaran en el diseño:

- Forma: cilindro vertical
- Presión de operación ( $P_o$ ) = 5 psi
- Diámetro interior (D) = 19.8125 in
- Radio interior (R) = 9.90625 in
- Altura total ( $H_t$ ) = 6.145 ft
- Eficiencia de soldadura (E) = 0.85
- Esfuerzo máximo permisible a tensión del material (S) = 15700 psi<sup>46</sup>
- Peso específico ( $P_e$ ) = 1.6
- Densidad máxima del fluido ( $\rho_{m\acute{a}x}$ ) = 13.4 lb/gal
- Gradiente de presión ( $\nabla P$ ) = 0.6968 psi/ft
- Concesión de corrosión (C) = 0.125 in
- Temperatura de diseño (T) = 300°F

### 10. Diseño por presión interna

#### Cuerpo

- ✓ **Presión de diseño (P)**

---

<sup>46</sup>Tabla 1A. Código ASME Sección II, Parte D, Subparte 1. Edición 2007

La presión de diseño no depende del material a usar, sino de la presión hidrostática que ejerce del fluido y de la presión de operación, por lo tanto, se tiene que la presión de diseño del cuerpo para este material es la misma que para el acero inoxidable (mirar Tabla E1), es decir, 41.28 psi.

✓ **Espesor de la pared**

Las presiones de diseño antes calculadas, son reemplazadas en la Ecuación E.3, para obtener el espesor mínimo de la pared.

**Tabla E4.** Espesor de la pared a diferentes presiones de diseño

#	P (psi)	t (in)
1	35.67	0.0265
2	36.34	0.0270
3	37.01	0.0275
4	37.68	0.0280
5	38.34	0.0285
6	39.01	0.0290
7	39.68	0.0295
8	40.44	0.0301
9	41.28	0.0307

Fuente: Calculo propios

Es decir, que el espesor mínimo del cuerpo es de 1/16 in (1.5875 mm). Se debe considerar que al estar expuesto a un medio altamente corrosivo, se debe sumar un espesor adicional (C); por ello, el espesor final del cuerpo es 3/16 in (4.7625 mm).

**Tapas**

✓ **Tapa inferior**

- Diámetro interior de la tapa (D) = 19.8125 in
- Eficiencia de soldadura (E) = 1.0
- Esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado (S) = 15700 psi

- Presión de diseño (P): 41.28 psi
- Radio de abombado o corona (L) = 19.8125 in

Reemplazando los datos respectivos en la Ecuación E.4, se obtiene:

$$t = \frac{(0.885)(41.28)(19.8125)}{(15700)(1.0) - (0.1)(41.28)}$$

$$t = 0.0461 \text{ in}$$

Es decir, que el espesor mínimo del cuerpo es de 1/16 in (1.5875 mm). Se debe considerar que al estar expuesto a un medio altamente corrosivo, se debe sumar un espesor adicional (C); por ello, el espesor final del cuerpo es 3/16 in (4.7625 mm).

✓ **Tapa superior**

- Diámetro interior de la tapa (D) = 19.8125 in
- Eficiencia de soldadura (E) = 1.0
- Esfuerzo máximo permisible a tensión del material seleccionado (S) = 15700 psi
- Presión de diseño (P): 35.67 psi
- Radio de abombado o corona (L) = 19.8125 in

Reemplazando los datos respectivos en la Ecuación E.4, se obtiene:

$$t = \frac{(0.885)(35.67)(19.8125)}{(15700)(1.0) - (0.1)(35.67)}$$

$$t = 0.0398 \text{ in}$$

Es decir, que el espesor mínimo del cuerpo es de 1/16 in (1.5875 mm). Se debe considerar que al estar expuesto a un medio altamente corrosivo, se debe sumar

un espesor adicional (C); por ello, el espesor final del cuerpo es 3/16 in (4.7625 mm).

## 11. Diseño por presión externa

### Cuerpo

Como mencionamos anteriormente, primeramente debemos calcular las relaciones  $L/D_o$  y  $D_o/t$ , para ello necesitamos definir el valor de “L”, este valor será:

$$L = \text{longitud del cuerpo} + \frac{h_{\text{tapa inferior}}}{3} + \frac{h_{\text{tapa superior}}}{3}$$

$$L = 58 \text{ in} + \frac{7.536 \text{ in}}{3} + \frac{4.226 \text{ in}}{3}$$

$$L = 61.92 \text{ in}$$

$$\frac{L}{D_o} = \frac{61.92 \text{ in}}{20 \text{ in}} = 3.096$$

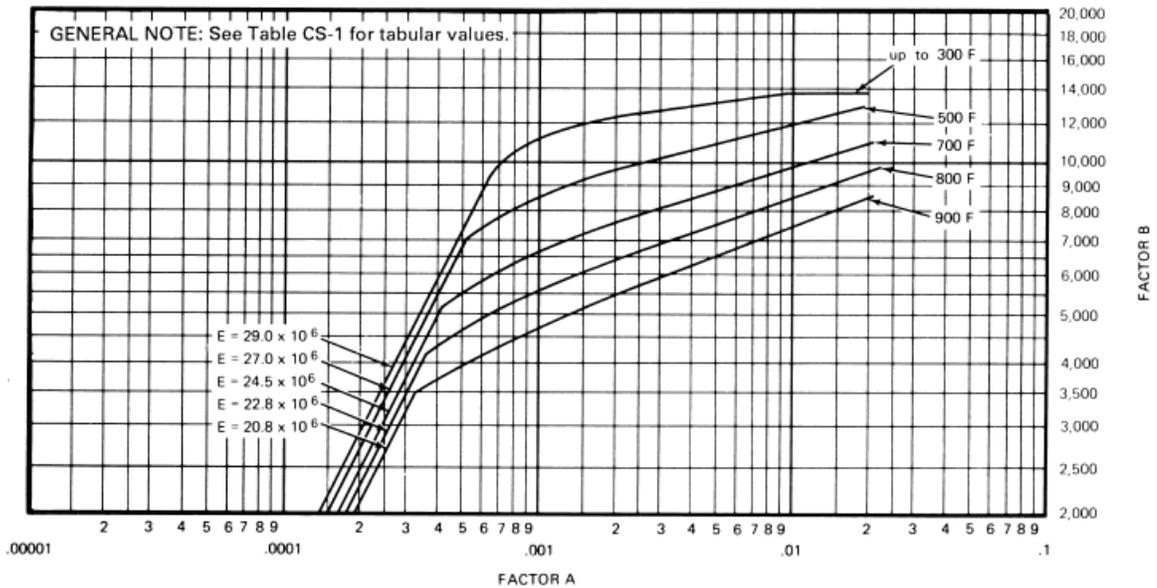
$$\frac{D_o}{t} = \frac{20 \text{ in}}{0.1875 \text{ in}} = 106.67$$

Siguiendo el procedimiento, expuesto anteriormente, entramos con los valores obtenidos a la gráfica mostrada en la Figura G(mirar Figura E2) y de ella obtenemos que:

$$A = 0.00039$$

Entrando con este valor a la Figura CS – 1 (mirar Figura E10) y siguiendo las instrucciones antes mencionadas, tenemos que para una temperatura de diseño T = 300°F

$$B = 5700$$



**Figura E10.** Gráfico para determinar el factor B del Acero al Carbono SA 285 C (Figura CS – 1)<sup>47</sup>

Con este valor de “B”, obtenemos la máxima presión externa aplicable a nuestro recipiente (reemplazando los valores en la Ecuación E.5) y ésta será:

$$P_a = \frac{(4)(5700)}{(3)(106.67)}$$

$$P_a = 71.25 \text{ psi}$$

<sup>47</sup>Fuente: Código ASME, Sección II, Subparte 3, Parte D. Edición 2007

Ya que la presión atmosférica (en este caso P) es aproximadamente 15 psi, este recipiente puede soportar vacío total, y no es necesario instalar en su cuerpo anillos atiesadores.

## Tapas

### ✓ *Tapa superior e inferior*

Para calcular el valor de A, reemplazamos los valores respectivos en la Ecuación E.7, y con ello se obtiene:

$$A = \frac{0.125}{\left(\frac{20}{0.1875}\right)}$$

$$A = 0.0012$$

Entrando con este valor a la Figura CS – 1 (mirar Figura E10) y siguiendo las instrucciones antes mencionadas, tenemos que para una temperatura de diseño T = 300°F

$$B = 12820$$

Con este valor de “B”, obtenemos la máxima presión externa aplicable a nuestro recipiente (reemplazando los valores en la Ecuación E.8) y ésta será:

$$P_a = \frac{12820}{\left(\frac{20}{0.1875}\right)}$$

$$P_a = 120.19 \text{ psi}$$

Lo cual significa que nuestras tapas torisfericas puede soportar una presión exterior de hasta 120.19 psi, por lo tanto, también puede soportar vacío total.

## 12. Soportes tipo angular

Los soportes tipo angular para este recipiente de Acero al Carbono, son iguales a los soportes calculados para el material de Acero Inoxidable. Por lo tanto, se puede mirar los cálculos en el numerar 4 de este mismo Anexo.

## 13. Calculo por presión de del viento

Los cálculos por presión del viento son similares a los realizados en el numerar 5 de este Anexo para el material de Acero Inoxidable; el único cambio es el cálculo del espesor requerido para soportar la fuerza del viento. Por ello, a continuación se muestra el cálculo de dicho espesor.

### Espero requerido para soportar la fuerza del viento ( $t_w$ )

Reemplazando lo valores en la Ecuación E.15 teniendo en cuenta que el valor de E para este material es 15.700 psi, obtenemos:

$$t_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - ft)}{(10 \text{ in})^2(\pi) \left(15700 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}\right) (0.85)}$$

$$t_w = 3.86 \times 10^{-5} \text{ in}$$

Para determinar si el espesor calculado por presión interna es suficiente para soportar la fuerza del viento, aplicamos lo siguiente: le sumamos la mitad del espesor requerido por presión interna.

$$t_w + \frac{t}{2} = 3.86 \times 10^{-5} \text{ in} + \frac{0.0625}{2} \text{ in}$$

$$t_w + \frac{t}{2} = 0.0313 \text{ in}$$

Como  $t_w + \frac{t}{2} \leq t$ , el espesor calculado por presión interna es suficiente para soportar la fuerza del viento.

#### **14. Cálculo por sismo**

Los cálculos por presión del viento son similares a los realizados en el numerar 6 de este Anexo para el material de Acero Inoxidable; el único cambio es el cambio del peso de las unidades de filtración. Por ello, a continuación se muestran los respectivos cálculos.

##### **Cortante Total (V)**

Reemplazando los datos en la Ecuación E.16, se obtiene:

$$V = (0.35)(326.162 \text{ Lb})$$

$$V = 114.157 \text{ Lb}$$

##### **Momento máximo de la base (M)**

Reemplazando los datos en la Ecuación E.17, se obtiene:

$$M = \frac{(2)(0.35)(326.162 \text{ Lb})(8.4810 \text{ ft})}{3}$$

$$M = 645.442 \text{ Lb} - \text{ft}$$

##### **Momento en una distancia x (M<sub>x</sub>)**

Reemplazando los datos en la Ecuación E.18, se obtiene:

$$M_x = \frac{(0.35) \left( 54.028 \frac{Lb}{ft} \right) (5.2345 ft)^2 [(3)(8.4810 ft) - 5.234 ft]}{(3)(8.4810 ft)^2}$$

$$M_x = 48.525 Lb - ft$$

### **Esfuerzo del material (S)**

Reemplazando los datos en la Ecuación E.19, se obtiene:

$$S = \frac{(12)(645.442 Lb - ft)}{(3.1416)(10 in)^2(0.0625 in)}$$

$$S = 394.464 psi$$

### **Espesor requerido (t)**

Reemplazando los datos en la Ecuación E.20, se obtiene:

$$t = \frac{(12)(645.442 Lb - ft)}{(3.1416)(10 in)^2(394.464 psi)(0.85)}$$
$$t = 0.0735 in$$

Con el resultado obtenido anteriormente, podemos ver claramente que el espesor requerido por sismo es mayor que el espesor requerido cuando se diseña por presión interna. Siguiendo la norma, se puede concluir que es necesario aumentar el espesor de las unidades de filtración en 0.011 in (2.794 mm) para que puedan

soportar los esfuerzos producidos por sismos; por ende, el espesor final de las unidades de filtración es 0.25 in (6.35 mm)

## 15. Cálculo por vibraciones

Reemplazando, los valores en la Ecuación E.21 y E.22 obtenemos:

### ➤ Máximo periodo permisible

$$T_a = 0.8 \sqrt{\frac{(368.8164 \text{ Lb})(8.4810 \text{ ft})}{(0.35 \times 368.8164 \text{ Lb}) \left(32.2 \frac{\text{ft}}{\text{seg}^2}\right)}}$$

$$T_a = 0.694 \text{ seg}$$

### ➤ Periodo de vibración producido por sismo o viento

$$T = 0.0000265 \left(\frac{8.4810 \text{ ft}}{1.67 \text{ ft}}\right)^2 \sqrt{\frac{\left(61.094 \frac{\text{Lb}}{\text{ft}}\right) (1.67 \text{ ft})}{0.5 \text{ in}}}$$

$$T = 0.00976 \text{ seg}$$

Como vemos en los resultados obtenidos, el periodo de vibración producido por sismo o viento es mucho menor que el máximo periodo permisible, por lo tanto, el espesor del soporte es el adecuado.

## 16. Cálculo de la deflexión máxima

Reemplazando en la Ecuación E.23 obtenemos:

$$M = \frac{\left(0.6947 \frac{lb}{ft^2}\right) (1.67 ft)(8.4810 ft)[(12)(8.4810 ft)]^3}{(8) \left(29 \times 10^6 \frac{Lb}{in^2}\right) [\pi(10 in)^3(0.375 in)]}$$

$$M = 0.0000379 in$$

La deflexión máxima permitida es de 6 pulgadas por cada 100 pies de altura; por lo tanto, para 8.4810 ft se tiene:

$$\frac{(8.4810 ft)(6 in)}{100 ft} = 0.50886 in$$

Como la deflexión calculada no sobrepasa este límite, el espesor de diseño del soporte tipo angular es satisfactorio.

## 17. Cálculos de esfuerzos combinados

Siguiendo el mismo procedimiento realizado para el Acero Inoxidable se obtiene:

### Cálculos en condiciones de vacío

✓ Esfuerzo producido por peso

Reemplazando en la Ecuación E.24 obtenemos:

$$S_g = \frac{368.8164 \text{ Lb}}{(2\pi * 10 \text{ in})(0.25 \text{ in})}$$

$$S_g = 23.480 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por el viento

Reemplazando en la Ecuación E.25 obtenemos:

$$S_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - \text{ft})}{(10 \text{ in})^2(\pi)(0.25 \text{ in})}$$

$$S_w = 2.059 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por presión interna

Reemplazando en la Ecuación E.26 obtenemos:

$$S_p = \frac{(41.28 \text{ psi})(20 \text{ ft})}{(4)(0.25 \text{ in})}$$

$$S_p = 825.6 \text{ psi}$$

Con estos valores evaluamos la combinación de esfuerzos. A continuación se muestra la suma algebraica

Esfuerzos dominantes

En el lado del viento:

Esfuerzo por viento

+ 2.059psi

Lado contrario al viento:

Esfuerzo por viento

– 2.059 psi

Esfuerzo por peso propio  $\frac{-23.480 \text{ psi}}{-21.421 \text{ psi}}$

Esfuerzo por peso propio  $\frac{-23.480 \text{ psi}}{-25.539 \text{ psi}}$

### Cálculos en condiciones de operación

✓ Esfuerzo producido por peso

Reemplazando en la Ecuación E.27 obtenemos:

$$S_g = \frac{368.8164 \text{ Lb} + 35.399 \text{ Lb}}{(2\pi * 10 \text{ in})(0.25 \text{ in})}$$

$$S_g = 25.733 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por el viento

Reemplazando los valores en la Ecuación E.25 obtenemos:

$$S_w = \frac{(12)(13.476 \text{ lb} - \text{ft})}{(10 \text{ in})^2(\pi)(0.25 \text{ in})}$$

$$S_w = 2.059 \text{ psi}$$

✓ Esfuerzo producido por presión interna

Reemplazando los valores en la Ecuación E.26 obtenemos:

$$S_p = \frac{(41.28 \text{ psi})(20 \text{ ft})}{(4)(0.25 \text{ in})}$$

$$S_p = 825.6 \text{ psi}$$

Con estos valores evaluamos la combinación de esfuerzos. A continuación se muestra la suma algebraica

### Esfuerzos dominantes

<u>En el lado del viento:</u>	<u>Lado contrario al viento:</u>
Esfuerzo por presión interna + 825.6 psi	Esfuerzo por presión interna + 825.6psi
Esfuerzo por viento + 2.059 psi	Esfuerzo por viento – 2.059psi
Esfuerzo por peso propio – 25.733 psi	Esfuerzo por peso propio – 25.733psi
+ 801.926 psi	+ 797.808 psi

El esfuerzo a la tensión de 801.926 psi en operación en el lado del viento es el mayor. El esfuerzo permitido para el material de la unidad, con 0.85 de eficiencia de junta es de 13345 psi. En consecuencia, el espesor del material seleccionado de 0.25 in es satisfactorio.

## 18. Presión de trabajo máxima permisible

### Cuerpo

Reemplazado los valores en la Ecuación E.28, se obtiene

$$P = \frac{(0.25)(15700)(0.85)}{0.6(0.25) + 9.9375}$$

$$P = 330.731 \text{ psi}$$

Es decir, que el cuerpo del tanque a presión, bajo las condiciones expuestas anteriormente, soporta una presión de trabajo máxima de 330 psi.

## Tapas

Reemplazando los valores respectivos en la Ecuación E.29, se obtiene:

$$P = \frac{(0.25)(15700)(1.0)}{0.885(19.75) + 0.1(0.25)}$$

$$P = 224.238 \text{ psi}$$

Es decir, que las tapas del tanque a presión, bajo las condiciones expuestas anteriormente, soporta una presión de trabajo máxima de 224 psi.

Con los dos resultados obtenidos, se puede establecer que la máxima presión de trabajo permisible del tanque a presión es 224 psi. Hay que tener en cuenta, que realmente este tanque a presión puesto en funcionamiento, no podrá soportar esta presión debido a que él está:

- ✓ Bajo condiciones de corrosión.
- ✓ Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- ✓ Bajo los efectos de otras cargas, tales como fuerza debida al viento, presión hidrostática, etc., cuyos efectos deben agregarse a las ocasionadas por la presión interna.

## **ANEXO F. CÁLCULOS DEL DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLADO**

Por cuestiones de selección del material adecuado respecto a costo y especificaciones técnicas, el diseño se va a realizar con dos de los materiales más usados para este tipo de tanques sometidos a presión hidrostática. Remitirse al Anexo C para mirar la selección de materiales realizada.

Los parámetros necesarios para realizar los cálculos son mostrados a continuación:

- Altura del tanque (H) = 119 in
- Longitud del tanque (L) = 237 in
- Gravedad específica del fluido (G) = 1.6
- Factor  $\alpha$  = depende de la relación entre la longitud y la altura (ver Figura F2)
- Momento de inercia (I), en  $\text{in}^4$
- Presión del fluido (P), en  $\text{lb} / \text{in}^2$
- Carga por unidad de longitud (w), en  $\text{lb} / \text{in}$
- Espesor de placa requerido (t), en in

### ➤ **Acero al Carbono SA 285 C**

- Esfuerzo máximo permisible del material a la tensión (S) =  $15700 \text{ lb} / \text{in}^2$
- Margen por corrosión (C) = 0.125 in
- Modulo de elasticidad (E) =  $29 \times 10^6 \text{ lb} / \text{in}^2$

### Diseño de sujetadores (atiesadores)

Para determinar el número de sujetadores requeridos para el tanque, es necesario tener la altura (H) del tanque. Con altura entramos a la Tabla F1, y obtenemos el número de sujetadores.

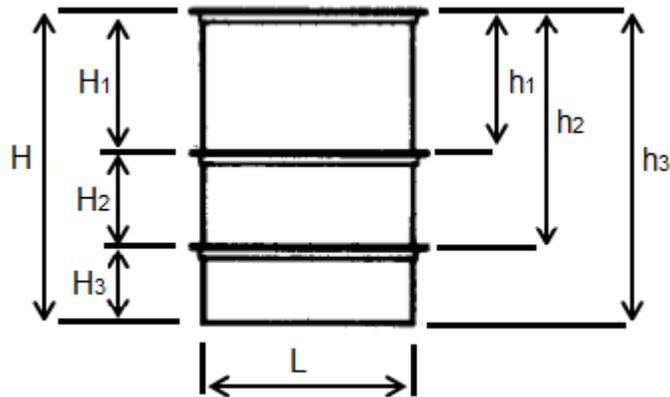
**Tabla F1.** Cantidad de sujetadores requeridos

ALTURA (in)			
60 - 84	84 – 120	120 - 156	> 156
1	2	3	4

De acuerdo a lo anterior, el número de sujetadores que debe tener el tanque son 2. La separación de los sujetadores va a estar determinada por la Tabla F2, y se ilustra por medio de la Figura F1.

**Tabla F2.** Distancia entre sujetadores

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>
1	0.60H	0.40H			
2	0.45H	0.30H	0.25H		
3	0.37H	0.25H	0.21H	0.17H	
4	0.31H	0.18H	0.18H	0.16H	0.14H



**Figura F1.** Configuración de los sujetadores

Las distancias entre los sujetadores son:

$$H_1 = 0.45 H \quad (\text{Ec. F.1})$$

$$H_1 = 0.45 \times 119 = 53.55 \text{ in}$$

$$H_2 = 0.30 H \quad (\text{Ec. F. 2})$$

$$H_2 = 0.30 \times 119 = 35.7 \text{ in}$$

$$H_3 = 0.25 H \quad (\text{Ec. F. 3})$$

$$H_3 = 0.25 \times 119 = 29.75 \text{ in}$$

Por lo tanto, las distancias de los sujetadores con respecto al tope del tanque son:

$$h_1 = H_1 = 53.55 \text{ in}$$

$$h_2 = H_1 + H_2 = 89.25 \text{ in}$$

$$h_3 = H_1 + H_2 + H_3 = 119 \text{ in}$$

### Determinación de la carga

$$w = \frac{0.036 G h^2}{2} (\text{Ec. F. 4})$$

Reemplazando los valores en la Ecuación F.4, se obtiene:

$$w_1 = \frac{0.036 \times 1.6 \times 53.55^2}{2} = 82.5870 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$w_2 = \frac{0.036 \times 1.56 \times 89.25^2}{2} = 229.4082 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

### Momento de inercia mínimo para los sujetadores

$$I = 1.25R \left( \frac{L^3}{\varepsilon} \right) \text{ (Ec. F. 5)}$$

Donde,

$$R = 0.7 w \quad \text{(Ec. F. 6)}$$

$$R_1 = 0.7 \left( 82.5870 \frac{lb}{in} \right) = 57.8109 \frac{lb}{in}$$

$$R_2 = 0.7 \left( 229.4082 \frac{lb}{in} \right) = 160.5857 \frac{lb}{in}$$

$$\frac{L^3}{\varepsilon} = \frac{237^3}{29000000} = 0.4590$$

Reemplazando los valores en la Ecuación F.5, se obtiene:

$$I_1 = 1.25 \times 57.8109 \frac{lb}{in} \times 0.4590 = 33.1716 \text{ in}^4$$

$$I_2 = 1.25 \times 160.5857 \frac{lb}{in} \times 0.4590 = 92.1434 \text{ in}^4$$

### Presión que ejerce el fluido

$$P = 0.036G \left( \frac{h_{n-1} + h_n}{2} \right) \text{ (Ec. F. 7)}$$

$$P_1 = 0.036 \times 1.6 \left( \frac{53.55}{2} \right) = 1.542$$

$$P_2 = 0.036 \times 1.6 \left( \frac{53.55 + 89.25}{2} \right) = 4.113$$

$$P_3 = 0.036 \times 1.62 \left( \frac{89.25 + 119}{2} \right) = 5.998$$

Relación de la presión que ejerce el fluido y el esfuerzo del material

$$\frac{P_1}{S} = \frac{1.542}{15700} = 0.00010$$

$$\frac{P_2}{S} = \frac{4.113}{15700} = 0.00026$$

$$\frac{P_3}{S} = \frac{5.998}{15700} = 0.00038$$

Relación de la altura y longitud del tanque

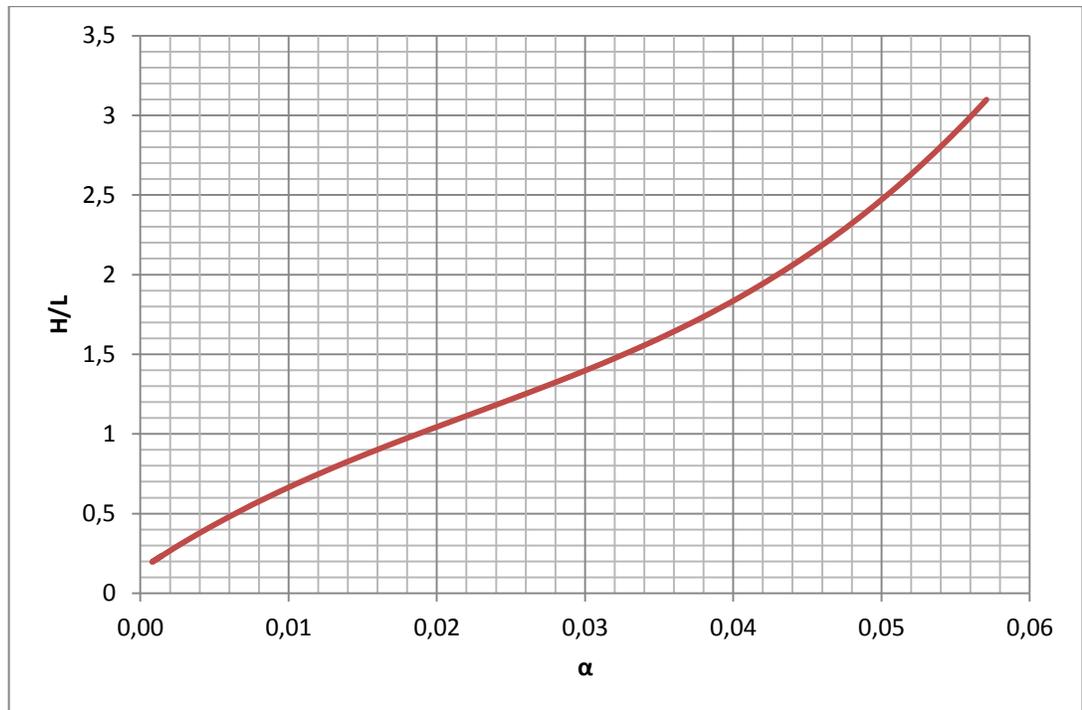
$$\frac{H_1}{L} = \frac{53.55}{237} = 0.2259$$

$$\frac{H_2}{L} = \frac{35.7}{237} = 0.1506$$

$$\frac{H_3}{L} = \frac{29.75}{237} = 0.1255$$

## Hallamos $\alpha$

Para encontrar el valor de  $\alpha$  acudimos a la siguiente gráfica:



**Figura F2. Valores de  $\alpha$  para tanques rectangulares**

Los valores de  $\alpha$  respectivamente son:

$$\alpha_1 = 0.00129$$

$$\alpha_2 = 0.00057$$

$$\alpha_3 = 0.00053$$

### Espesor de pared

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha_n P_n}{S}} \text{ (Ec. F.8)}$$

$$t_1 = 2.45 \times 237 \text{ in} \sqrt{0.00129 \times 0.00010} = 0.2067 \text{ in}$$

$$t_2 = 2.45 \times 237 \sqrt{0.00057 \times 0.00026} = 0.2251 \text{ in}$$

$$t_3 = 2.45 \times 237 \sqrt{0.00053 \times 0.00038} = 0.2588 \text{ in}$$

Para determinar el espesor requerido por la placa, promediamos los valores obtenidos anteriormente.

$$\bar{t} = 0.2302$$

Finalmente, el espesor de la placa es:

$$t_{final} = \bar{t} + C$$

$$t_{final} = 0.2302 \text{ in} + 0.125 \text{ in}$$

$$t_{final} = 0.3552 \text{ in}$$

### ➤ Acero Inoxidable 316L

- Esfuerzo máximo permisible del material a la tensión (S) = 15700 lb / in<sup>2</sup>
- Margen por corrosión (C) = 0.125 in

- Modulo de elasticidad (E) =  $28 \times 10^6 \text{ lb / in}^2$

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los cálculos del diseño del tanque no dependen del material seleccionado sino de las dimensiones establecidas para el tanque, se va a mostrar los cálculos de los parámetros que dependen del tipo de material, ya que los otros son iguales a los realizados para el Acero al Carbono.

### Momento de inercia mínimo para los sujetadores

Reemplazando los valores en la Ecuación F.5, se obtiene:

$$I_1 = 1.25 \times 57.8109 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \times \left[ \frac{(237 \text{ in})^3}{28000000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}} \right] = 34.3563 \text{ in}^4$$

$$I_2 = 1.25 \times 160.5857 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \times \left[ \frac{(237 \text{ in})^3}{28000000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}} \right] = 95.4342 \text{ in}^4$$

### Relación de la presión que ejerce el fluido y el esfuerzo del material

$$\frac{P_1}{S} = \frac{1.542}{16700} = 0.00009$$

$$\frac{P_2}{S} = \frac{4.113}{16700} = 0.00025$$

$$\frac{P_3}{S} = \frac{5.998}{16700} = 0.00036$$

### Espesor de pared

$$t = 2.45L \sqrt{\frac{\alpha_n P_n}{s}} \text{ (Ec. F.8)}$$

$$t_1 = 2.45 \times 237 \text{ in} \sqrt{0.00129 \times 0.00009} = 0.2004 \text{ in}$$

$$t_2 = 2.45 \times 237 \sqrt{0.00057 \times 0.00025} = 0.2182 \text{ in}$$

$$t_3 = 2.45 \times 237 \sqrt{0.00053 \times 0.00036} = 0.2509 \text{ in}$$

Para determinar el espesor requerido por la placa, promediamos los valores obtenidos anteriormente.

$$\bar{t} = 0.2232$$

Finalmente, el espesor de la placa es:

$$t_{final} = \bar{t} + C$$

$$t_{final} = 0.2232 \text{ in} + 0.0625 \text{ in}$$

$$t_{final} = 0.2857 \text{ in}$$

## ANEXO G. CÁCULOS BÁSICOS PARA SELECCIÓN DE BOMBAS

En la siguiente tabla se encuentran resumida la configuración interna del sistema de tuberías para el proceso de filtración el cual tiene interés, las mediciones fueron tomadas teniendo en cuenta que los filtradores están trabajando en serie.

**Tabla G1.** Configuración de accesorios del sistema de filtración

CONFIGURACIÓN SISTEMA DE FILTRACIÓN	
Longitud Tuberías	620.7881678
Cantidad de Codo	10
Cantidad de Uniones T	3
Cantidad de Válvulas	7

Fuente: Cálculos propios

### ➤ Pérdidas en la tubería de 4 pulgadas

Las pérdidas de carga en la tubería fueron calculadas de la siguiente manera:

Peso específico del fluido

$$\gamma = \frac{\mu}{G} \text{ (Ec. G.1)}$$

$$\gamma = \frac{40 \text{ cp}}{1.6} = 25$$

Factor de fricción

$$f = \frac{1}{1560} \times \frac{Q \times \gamma}{D^4} \text{ (Ec. G.2)}$$

$$f = \frac{1}{1560} \times \frac{420 \times 25}{4^4} = 0.0263$$

### Pérdidas por fricción

$$hf = f \times l \quad (\text{Ec. G.3})$$

$$hf = 0.0263 \times 6.2078 = 0.1632 \text{ m}$$

### ➤ **Pérdidas en los accesorios**

De acuerdo al texto “Principios Básicos para el Diseño de Instalaciones de Bombas Centrífugas (Unidad 6)” las perdidas por accesorios son resumidas en la siguiente tabla:

**Tabla G2.** Perdidas por accesorios sistema de filtración

PERDIDAS POR ACCESORIOS			
Ítem	Cantidad	Coefficiente de Rozamiento/unidad	Coefficiente de Rozamiento
Cantidad de Codo	10	0.1	1
Cantidad de Uniones T	3	0.7	2.1
Cantidad de Válvulas	7	0.25	1.75
Coefficiente de Rozamiento Total			4.85

Fuente: Cálculos propios

### Velocidad de fluido

$$v = \frac{Q}{A} (\text{Ec. G.4})$$

$$v = \frac{0.0265 \frac{m^3}{s}}{0.0081 m^2} = 3.2684 \frac{m}{s}$$

### Pérdidas por accesorios

$$ha = K \times \frac{v^2}{2 \times g} \text{ (Ec. G. 5)}$$

$$ha = 4.85 \times \frac{3.2684^2}{2 \times 9.80665} = 2.6415 m$$

### ➤ **Pérdidas totales**

Las pérdidas totales se obtienen de la suma de las pérdidas de tubería, y accesorios:

$$f_{total} = hf_4'' + ha \quad \text{(Ec. G. 6)}$$

$$hf_{total} = 0.1632 + 2.6415 = 2.8048 m$$

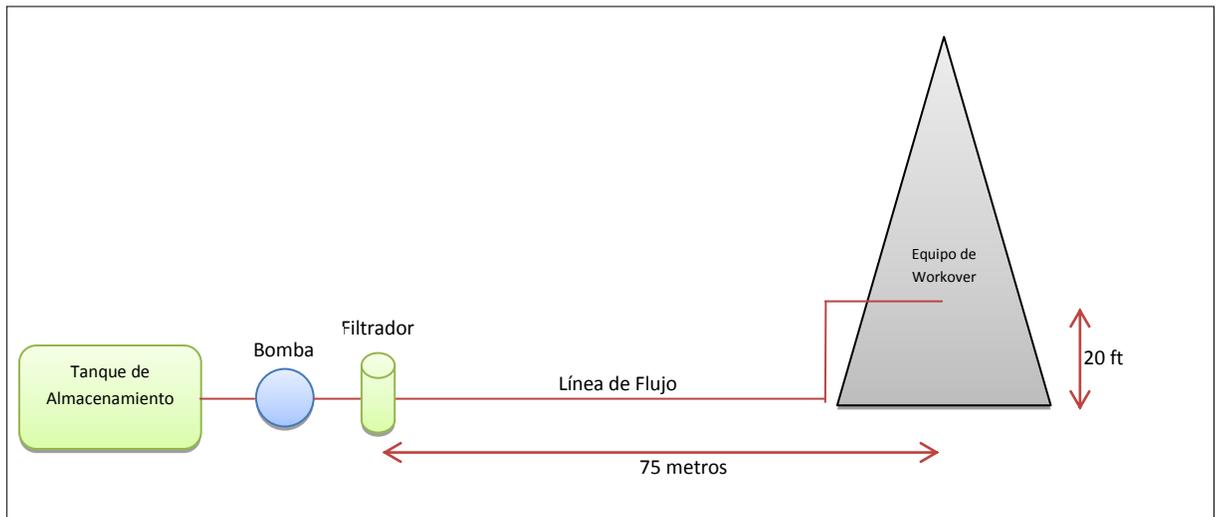
Para realizar un correcto dimensionamiento de la bomba, evaluamos las condiciones de trabajo en las que esta se vaya a desempeñar, ya que se está realizando solo un modelo, el escenario hipotético crítico en el cual debería trabajar la bomba sería uno en el cual se tenga que mantener alejado el sistema de filtración del campo por la presencia de gases ácidos, que afecten el desempeño de los operadores del equipo, el sistema debería mantenerse alejado del Equipo de Workover 75 m y el fluido deba ser impulsado a la altura del mesa de trabajo ubicada máximo 20 ft del suelo.

Las pérdidas provocadas por esta tubería se calculan por medio de la Ecuación G.3:

$$hf = 0.0263 \times 81.096 = 2.1322 m$$

Las pérdidas totales por fricción considerando un escenario crítico son: (despreciando las pérdidas por accesorios)

$$h_{f_{total}} = 2.8048 + 2.1322 = 4.9369 \text{ m}$$



### ➤ ADT

El valor de  $H_{ed}$  fue tomado desde el suelo hasta la altura de la mesa de operaciones en un Equipo de Workover (20 ft)

$$ADT = G(H_{ed} - H_{es}) + h_{f_{total}} \text{ (Ec. G. 7)}$$

$$ADT = 1.6(6.096 - 0) + 4.9369 = 14.6905 \text{ m}$$

Le sumamos la presión máxima de trabajo del filtrador (40 psi):

$$ADT_{total} = 14.6905 + 28.0816 = 42.7722 \text{ m}$$

$$ADT_{total} = 42.7722 \text{ m} \times \frac{3.281 \text{ ft}}{\text{m}} = 140.3355 \text{ ft de H}_2\text{O}$$

➤ **BHP**

$$BHP = \frac{Q \times ADT \times G}{n \times 3960} \text{ (Ec. G.8)}$$

$$BHP = \frac{420 \times 140.3355 \times 1.6}{1 \times 3960} = 23.8145 \text{ hp}$$

Ahora, calculamos las pérdidas de fricción generadas en las tuberías de succión de la bomba.

➤ **Pérdidas en la tubería de 6 pulgadas**

Factor de fricción

Reemplazando en la Ecuación G.2, se obtiene:

$$f = \frac{1}{1560} \times \frac{420 \times 25}{6^4} = 0.0003$$

En la siguiente tabla se encuentran resumida la configuración interna del sistema de tuberías para el proceso de succión el cual tiene interés.

**Tabla G3.** Configuración sistema de succión

CONFIGURACIÓN SISTEMA DE SUCCIÓN	
Longitud Tuberías	283.4932
Cantidad de Codo	1
Cantidad de Uniones T	1
Cantidad de Válvulas	2

Fuente: Cálculos propios

### Pérdidas por fricción

Reemplazando en la Ecuación G.3, se obtiene:

$$h_f = 0.0003 \times 2.8349 = 0.0009 \text{ m}$$

### ➤ **Pérdidas por accesorios**

De acuerdo al texto “Principios Básicos para el Diseño de Instalaciones de Bombas Centrífugas (Unidad 6)” las pérdidas por accesorios son resumidas en la siguiente tabla:

**Tabla G4.** *Pérdidas por accesorios sistema de filtración*

PERDIDAS POR ACCESORIOS			
Item	Cantidad	Coefficiente de Rozamiento/unidad	Coefficiente de Rozamiento
Cantidad de Codo	1	0.1	0.1
Cantidad de Uniones T	1	0.7	0.7
Cantidad de Válvulas	2	0.25	0.5
<b>Coefficiente de Rozamiento Total</b>			<b>1.3</b>

Fuente: Cálculos propios

Calculamos la velocidad de fluido con la Ecuación G.4, y posteriormente, las pérdidas por accesorio por medio de la Ecuación G.5.

$$v = \frac{0.0265 \frac{m^3}{s}}{0.0182 m^2} = 1.4526 \frac{m}{s}$$

$$h_a = 1.3 \times \frac{1.4526^2}{2 \times 9.80665} = 0.1399 m$$

#### ➤ Pérdidas totales

Reemplazando en la Ecuación G.6, se obtiene:

$$h_{f_{total}} = 0.0009 + 0.1399 = 0.1408 m$$

#### ➤ NPSHa

$$NPSH_a = P_{atm} + (H_{es} - hf) \times G - P_v \text{ (Ec. G. 9)}$$

$$P_{atm} = 14.7 \text{ psi} \times \frac{10.32 m}{14.7 \text{ psi}} = 10.33 m$$

$$P_v = 0.638 \text{ psi} \times \frac{10.32 m}{14.7 \text{ psi}} = 0.4479 m$$

$$NPSH_a = 10.33 + (0 - 0.1408) \times 1.6 - 0.4479 = 10.0974 m$$

$$NPSH_a = 10.0974 m \times \frac{3.281 ft}{m} = 33.1296 ft H_2O$$

## ANEXO H. CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS

### H.1 Bombas centrífugas



*Figura H1. Ejemplo de una bomba centrífuga<sup>48</sup>*

Las bombas centrífugas prevén su nombre al hecho de que elevan el líquido por la acción de la fuerza centrífuga, que la imprime un rotor, colocado en su interior, el cual es accionado por un motor eléctrico.

Un físico francés fue el primero que ideó las características esenciales de este tipo de bomba, la cual ha ido evolucionando a través de numerosos patentes. Toda centrífuga, consta de un rotor, el cual gira dentro de la caja envolvente, generalmente de forma espiral. El líquido proveniente del centro del rotor, al girar bruscamente imprime a la masa líquida una fuerza centrífuga, que la hace salir de los canales situados entre los alavés, el flujo desarrollado en la envoltura donde progresivamente la energía cinética de la corriente líquida se transforma en energía potencial de presión.

Las bombas centrífugas, debido a sus características, son las bombas que más se aplican en la industria. Las razones de estas preferencias son las siguientes:

---

<sup>48</sup>Fuente: ABC Ingeniería y Representaciones Ltda.

- Son aparatos giratorios.
- No tienen órganos articulados y los mecanismos de acoplamiento son muy sencillos.
- La impulsión eléctrica del motor que la mueve es bastante sencilla.
- Para una operación definida, el gasto es constante y no se requiere dispositivo regulador.
- Se adaptan con facilidad a muchas circunstancias.

Aparte de las ventajas ya enumeradas, se unen las siguientes ventajas económicas:

- El precio de una bomba centrífuga es aproximadamente  $\frac{1}{4}$  del precio de la bomba de émbolo equivalente.
- El espacio requerido es aproximadamente  $\frac{1}{8}$  del de la bomba de émbolo equivalente.
- El peso es muy pequeño y por lo tanto las base también lo son.
- El mantenimiento de una bomba centrífuga sólo se reduce a renovar el aceite de las chumaceras, los empaques del prensa-estopa y el número de elementos a cambiar es muy pequeño.

## **H.2 Bombas rotativas**

Las bombas rotatorias que generalmente son unidades de desplazamiento positivo, consisten de una caja fija que contiene engranes, aspas, pistones, levas, segmentos, tornillos, etc., que operan con un claro mínimo. En lugar de "aumentar" el líquido como en una bomba centrífuga, una bomba rota y a diferencia de una bomba de pistón, la bomba rotatoria descarga un flujo continuo. Aunque generalmente se les considera como bombas para líquidos viscosos, las bombas rotatorias no se limitan a este servicio sólo. Pueden manejar casi cualquier líquido que esté libre de sólidos abrasivos. Incluso puede existir la presencia de sólidos

duros en el líquido si una chaqueta de vapor alrededor de la caja de la bomba los puede mantener en condición fluida. Las bombas rotatorias se clasifican en:

❖ Bombas de engranajes externos

Produce caudal al transportar el fluido entre los dientes de dos engranajes acoplados. Uno de ellos es accionado por el eje de la bomba (motriz), y este hace girar al otro (libre). Lo que sucede es el origen de un vacío en la aspiración cuando se separan los dientes, por el aumento del volumen en la cámara de aspiración. En el mismo momento los dientes se van alejando, llevándose el fluido en la cámara de aspiración. La impulsión se origina en el extremo opuesto de la bomba por la disminución de volumen que tiene lugar al engranar los dientes separados. Son sin lugar a dudas las bombas más ruidosas del mercado. Por ello no se emplean en aplicaciones fijas e interiores, donde su nivel sonoro puede perjudicar a los operarios que las trabajan.

❖ Bombas de engrane interno

Estas tienen un rotor con dientes cortados internamente y que encajan en un engrane loco, cortado externamente. Puede usarse una partición en forma de luna creciente para evitar que el líquido pase de nuevo al lado de succión de la bomba.

❖ Bombas de lóbulos

Son bombas rotativas de engranajes externos, que difieren de estas en la forma de accionamiento de los engranajes. Aquí ambos engranajes son accionados independientemente por medio de un sistema de engranajes externo a la cámara de bombeo. Ofrecen un mayor desplazamiento, pero su coste es mayor y sus prestaciones de presión y velocidad son inferiores a las de las bombas de engranajes.

❖ Bombas de husillos

También llamadas de tornillos, son bombas de engranajes de caudal axial. Existen tres tipos de bombas de husillo: de un solo husillo, un rotor en forma de espiral

excéntricamente en el interior de un estator. De doble husillo, dos rotores paralelos que se entrelazan al girar en una carcasa mecanizada con ciertas tolerancias. De triple husillo, un rotor central (motriz), y dos rotores que se entrelazan con el primero. En estas bombas, el fluido que rodea los rotores en la zona de aspiración es atrapado a medida que estos giran, es empujado y forzado a salir por el otro extremo. Las principales aplicaciones de este tipo de bombas son en sistemas hidráulicos donde el nivel sonoro debe controlarse.

#### ❖ Bombas de paletas

Un determinado número de paletas se desliza en el interior de unas ranuras de un rotor que a su vez gira en un anillo. Las cámaras de bombeo se generan entre las paletas, el rotor y el anillo. Durante la rotación, a medida que aumenta el espacio comprendido entre las paletas, el rotor y el anillo, se crea un vacío que hace que entre el fluido por el orificio de aspiración. Cuando se reduce el espacio, se ve forzado a salir. La estanqueidad se consigue entre el conjunto paletas-rotor y las placas laterales, así como al ajustar el vértice de las paletas y el anillo. Normalmente estas bombas no están recomendadas a trabajar en velocidades inferiores a 600 rpm.

#### ❖ Bombas de paletas no compensadas

Aquí el alojamiento es circular y dispone de un solo orificio de aspiración y otro de presión. Teniendo las cámaras opuestas, generan cargas laterales sobre el eje motriz. Y pueden ser de caudal fijo o variable, normalmente usadas a presiones inferiores a 175 bares.

#### ❖ Bombas de paletas compensadas

Sólo existen para caudales fijos, se diferencian en que su anillo es elíptico, lo que permite utilizar dos conjuntos de orificios de aspiración y de impulsión. En estas bombas se anulan los esfuerzos laterales, puesto que las dos cámaras están separadas 180 grados lo que hace que las fuerzas laterales se equilibren.

❖ Bombas de paletas fijas

No se utilizan en sistemas hidráulicos por su pequeña cilindrada y por ser ruidosas. Tienen el rotor elíptico, anillo circular y paletas fijas internamente.

❖ bombas de pistones

Son unidades rotativas, que disponen de conjuntos pistón-cilindro. Parte del mecanismo gira alrededor de un eje motor que crea un movimiento oscilante del pistón, haciendo que este aspira el fluido hacia el interior del cilindro en la carrera de expansión y expulsarlo en la carrera de compresión. Son de dos tipos: axiales y axiales en línea.

❖ Bombas de pistones axiales

Los pistones en estas bombas oscilan axialmente, es decir paralelos al eje así que el movimiento rotativo del eje motriz se convierte en un movimiento axial oscilante de los pistones. Suelen utilizar varios pistones y válvulas de retención.

❖ Bombas de pistones axiales en línea

Tiene como diseño más sencillo el de barrilete de cilindros que gira accionado por eje motriz. Los pistones en los orificios del barrilete se conectan al plato inclinado y de una anillo de retroceso. A medida que el barrilete gira, los pies de los pistones siguen apoyados al plato, haciendo que se muevan linealmente respecto al eje. Los orificios en la placa de distribución permiten que los pistones pasen por el orificio de entrada cuando empiezan a salir de sus alojamientos y por la salida cuando entran al alojamiento de nuevo.

❖ Bombas de pistones axiales en ángulo

Están compuestas por un eje motriz, el barrilete de cilindros y una placa de válvulas, encarada esta última con los orificios de los cilindros del barrilete. El eje motriz está en ángulo con relación al eje del barrilete. La placa de válvulas tiene

orificios dispuestos de forma que la aspiración está abierta a los orificios de los cilindros en la zona de revolución. Su orificio de salida está encarado a los orificios de los pistones en la zona en la que los pistones se acercan a la placa de válvulas. Esto permite que en el giro de la bomba los pistones succionen fluido hacia el interior de los cilindros, y lo expulsan por la cámara de salida.

#### ❖ Bombas de pistones axiales con placa oscilante

La diferencia entre esta bomba y la axial en línea es que los pistones son estáticos y lo que gira es la placa inclinada. Gira la placa y produce el desplazamiento de los pistones, lo que permite que los pistones aspiren y expulsan el fluido.

#### ❖ Bombas de pistones radiales

En estas bombas los pistones están ubicados radialmente en un bloque de cilindros, y se mueven perpendicularmente con relación al eje. Dos tipos básicos de bombas de pistones radiales son los de caudal fijo y caudal variable.

#### ❖ Bombas de pistones oscilantes

Al igual que un motor de explosión, los pistones se mueven en un sentido por el esfuerzo transmitido por un cigüeñal, una excentricidad del eje o un plato. La diferencia entre estas comparaciones es que lo que en el motor de explosión es el eje de salida, en la bomba es el eje primario por el que recibe la energía; y los pistones del motor son los que en la bomba generarían la presión y el caudal.

#### ❖ Bomba de pistones oscilantes

Estas bombas tienen como ventajas: ofrecen un sistema de estanqueidad mucho mejor entre la entrada y la salida, además que en estas bombas la lubricación de las partes móviles puede hacerse con un fluido distinto al bombeado.

### **H.3 Bombas reciprocantes**

El funcionamiento de una bomba reciprocante depende del llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo, para lo cual cierta cantidad de agua es obligada a entrar al cuerpo de la bomba en donde queda encerrada momentáneamente, para después ser forzada a salir por la tubería de descarga.

De lo anterior se deduce, en términos generales, que el gasto de una bomba reciprocante es directamente proporcional a su velocidad de rotación y casi independiente de la presión de bombeo. Como el proceso de llenado y vaciado sucesivo de receptáculos de volumen fijo requiere fricción por resbalamiento entre las paredes estacionarias del receptáculo y las partes móviles, estas bombas no son apropiadas para manejar líquidos que contengan arenas o materias en suspensión. Además, la variación cíclica del gasto de descarga puede obligar al empleo de Cámara de aire y de grandes tuberías. Estas bombas son relativamente de baja velocidad de rotación, de tal manera que cuando tienen que ser movidas por motores eléctricos deben ser intercaladas transmisiones de engranes o poleas para reducir la velocidad entre el motor y la bomba.

Existen básicamente dos tipos de bombas reciprocantes las de acción directa, movidas por vapor y las bombas de potencia. Pero existen muchas modificaciones de los diseños básicos, construidas para servicios específicos en diferentes campos. Algunas Se clasifican como bombas rotatorias por los fabricantes, aunque en realidad utilizan movimiento reciprocante de pistones o émbolos para asegurar la acción de bombeo.

#### ❖ Bombas de acción directa

En este tipo, una varilla común de pistón conecta un pistón de vapor y uno de líquido o émbolo. Las bombas de acción directa se constituyen de simplex (un pistón de vapor y un pistón de líquido, respectivamente) y duplex (dos pistones de vapor y dos de líquido). Los extremos compuestos y de triple expansión, que fueron usados en alguna época no se fabrican ya como unidades normales.

#### ❖ Bombas de potencia

Estas tienen un cigüeñal movido por una fuente externa generalmente un motor eléctrico, banda o cadena. Frecuentemente se usan engranes entre el motor y el cigüeñal para reducir la velocidad de salida del elemento motor. Cuando se mueve a velocidad constante, las bombas de potencia proporcionan un gasto casi constante para una amplia variación de columna, y tienen buena eficiencia. El extremo líquido, que puede ser del tipo de pistón o émbolo, desarrollará una presión elevada cuando se cierra la válvula de descarga. Por esta razón, es práctica común el proporcionar una válvula de alivio para descarga, con objeto de proteger la bomba y su tubería. Las bombas de acción directa, se detienen cuando la fuerza total en el pistón del agua iguala a la del pistón de vapor; las bombas de potencia desarrollan una presión muy elevada antes de detenerse. La presión de parado es varias veces la presión de descarga normal de las bombas de potencia. Las bombas de potencia se encuentran particularmente bien adaptadas para servicios de alta presión y tienen algunos usos en la alimentación de calderas, bombeo en líneas de tuberías, proceso de petróleos y aplicaciones similares.

#### ❖ Bombas del tipo de diafragma

La bomba combinada de diafragma y pistón generalmente se usa sólo para capacidades pequeñas. Las bombas de diafragma se usan para gastos elevados de líquidos, ya sea claros o conteniendo sólidos. También son apropiados para pulpas gruesas, drenajes, lodos, soluciones ácidas y alcalinas, así como mezclas de agua con sólidos que puedan ocasionar erosión. Un diafragma de material flexible no metálico, puede soportar mejor la acción corrosiva o erosiva que las partes metálicas de algunas bombas recíprocantes.

## **ANEXO I. SELECCIÓN DE LAS VÁLVULAS DE FLUJO**

La gama de diseños y tipos de válvulas industriales disponibles en el mercado actual, independientemente de marcas y características diferenciadoras de tipo comercial, es muy amplia y ofrece múltiples posibilidades al ingeniero de aplicación y cualquier persona técnico o comercial que tiene que tomar una decisión acerca de la selección de los correctos equipos para cada escenario.

Debemos, por tanto, seguir una lógica secuencia de parámetros a tener en cuenta ante una elección. Naturalmente todos estos parámetros están influenciados por factores ajenos al aspecto técnico tales como disponibilidad del producto, logística, economía, tendencias en planta, mantenimiento y otros de similar naturaleza que deben de influir también en la justa elección del producto

### **I.1 Parámetros de selección<sup>49</sup>**

#### **✓ Función**

Nuestra primera base de selección estará basada en la función de la válvula que debe de realizar en el equipo. Las válvulas están diseñadas para realizar cuatro funciones principales:

1. Aislamiento: Su misión es interrumpir el flujo de la línea en de forma total y cuando sea preciso (iniciar y detener el flujo).
2. Regulación (estrangular): Queremos modificar el flujo en cuanto a cantidad, desviarlo, mezclarlo o accionarlo de forma automática.
3. Retención: Necesitamos impedir que el flujo no retroceda hacia la zona presurizada cuando esta decrece o desaparece.
4. Seguridad: Necesitamos proteger equipos y personal contra la sobre presión.

---

<sup>49</sup>NIBCO Ahead of theFlow – Selección y Guía de Especificaciones de Válvulas (Folleto C-VSG-I-0103SP), y COMEVAL – Criterios Básicos para la Selección de Válvulas

✓ **Consideraciones de Servicio**

1. Presión
2. Temperatura
3. Tipo de fluido
  - a) Líquido
  - b) Gas; es decir: vapor o aire
  - c) Sucio o abrasivo (erosivo)
  - d) Corrosivo
4. Flujo
  - a) Activar y desactivar la regulación
  - b) Necesidad de prevenir la inversión del flujo
  - c) Preocupación por la caída de presión
  - d) Velocidad
5. Condiciones operativas
  - a) Condensación
  - b) Frecuencia de operación
  - c) Accesibilidad
  - d) Tamaño y espacio general disponible
  - e) Manual de control automatizado
  - f) Necesidad de cierre hermético

✓ **Determinación de los materiales constructivos**

En función del factor anterior (condiciones de servicio) así como la compatibilidad química y de resistencia a la corrosión y erosión de los fluidos, debemos de escoger los materiales constructivos de las diversas partes de la válvula.

Desde el punto de vista de selección de materiales de una válvula debemos de considerar siempre los siguientes:

1. Cuerpo retenedor de presión, parte húmeda en contacto con el fluido.
2. Partes blandas y empaques
3. Tornillería de unión y recubrimientos exteriores.

Sobre el cuerpo observaremos que el material disponible sea compatible con el fluido en términos de compatibilidad química. No solamente observaremos esta compatibilidad sino también otros factores encaminados a la abrasión (velocidad en línea o naturaleza del fluido), en estos casos podemos seleccionar un revestimiento interno que manteniendo el material metálico base impida el contacto entre el flujo y este.

Para determinar el material de empaques o sellado internos y externos será determinante la temperatura y la compatibilidad del material de sellado con el fluido. En este caso hay que observar los límites de temperatura recomendados por los fabricantes de las juntas y empaques. (Por ejemplo: no superar los 90°C en el caso de NBR). El sellado de la válvula es fundamental, distinguimos dos tipos de sello: sellado al órgano de cierre (interno) y sellado atmosférico (externo). Finalmente, aunque de menor importancia, observaremos el material de unión de las partes, entendiendo estos como la Tornillería y los recubrimientos de pintura exteriores. Este factor es de importancia a los únicos efectos de la corrosión ambiental en planta. (Por ejemplo: ambiente salino, corrosivo...etc.).

#### ✓ **Selección del accionamiento**

Las Válvulas pueden ser accionadas de diversas formas:

1. Manualmente
2. Auto accionadas por el propio fluido
3. Accionadas por actuadores externos

La selección del tipo de accionamiento está condicionada por las necesidades en planta; por ejemplo accesibilidad a la válvula, frecuencia de operación, disponibilidad de energía auxiliar, economía, grado de exactitud requerido en la operación...., estos factores quedan particularmente ligados a cada proyecto.

## **I.2 Criterios de selección de las alternativas de válvulas**

El proceso de selección se desarrollará basado en los parámetros mencionados anteriormente, pero principalmente en la función que deben cumplir las válvulas en el equipo preparación de fluidos. Teniendo en cuenta lo anterior, de los diversos tipos y características de válvulas que existen en el mercado, el estudio solo se

concentrara en las válvulas de asilamiento rotatorias (válvula de bola y válvula de mariposa), ya que estas válvulas cumplen con la función de iniciar y detener el flujo de forma rápida.

Estas válvulas son aquellas cuyo movimiento del eje se realiza de forma rotatoria en 90° como carrera total. Se caracterizan por ser movimientos de cierre y apertura rápidos; normalmente se utilizan para trasegar fluidos no compresibles en estado líquido y a presiones de ejercicio bajas. El mando de accionamiento suele ser una palanca de agarre.

### **I.3 Planteamiento de alternativas**

#### **✓ Válvula de Bola**

Las válvulas de bola son de ¼ de vuelta, en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.



**Figura I1. Válvula de Bola<sup>50</sup>**

#### Recomendada para

- Para servicio de conducción y corte, sin estrangulación,
- Cuando se requiere apertura rápida,
- Para temperaturas moderadas, y

---

<sup>50</sup>Fuente: LupatechMipel

- Cuando se necesita resistencia mínima a la circulación.

### Aplicaciones

Servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas.

### Ventajas

- Bajo costo,
- Alta capacidad,
- Corte bidireccional,
- Circulación en línea recta,
- Pocas fugas,
- Se limpia por sí sola,
- Poco mantenimiento,
- No requiere lubricación,
- Tamaño compacto, y
- Cierre hermético con baja torsión (par).

### Desventajas

- Características deficientes para estrangulación,
- Alta torsión para accionarla,
- Susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras, y
- Propensa a la cavitación.

### Variaciones

Entrada por la parte superior, cuerpo o entrada de extremo divididos (partidos), tres vías, Venturi, orificio de tamaño total, orificio de tamaño reducido.

## Materiales

- Cuerpo: hierro fundido, hierro dúctil, bronce, latón, aluminio, aceros al carbono, aceros inoxidables, titanio, tántalo, zirconio; plásticos de polipropileno y PVC.
- Asiento: TFE, TFE con llenador, Nylon, Buna-N, neopreno.

### ✓ **Válvula de Mariposa**

La válvula de mariposa es de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación. Suelen ser adecuadas para servicios corrosivos y para las instalaciones en las que se quiera conseguir ahorros importantes, a causa de su simplicidad de diseño y a su limitación de superficie de contacto con el fluido.



**Figura I2. Válvula de Mariposa<sup>51</sup>**

## Recomendada para

- Servicio con apertura total o cierre total,
- Servicio con estrangulación,
- Para accionamiento frecuente,
- Cuando se requiere corte positivo para gases o líquidos,
- Cuando solo se permite un mínimo de fluido atrapado en la tubería, y
- Para baja caída de presión a través de la válvula.

---

<sup>51</sup>Fuente: DirectIndustry - El Salón Virtual de la Industria

### Aplicaciones

Servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión.

### Ventajas

- Ligera de peso, compacta, bajo costo,
- Requiere poco mantenimiento,
- Número mínimo de piezas móviles,
- No tiene bolas o cavidades,
- Alta capacidad,
- Circulación en línea recta, y
- Se limpia por si sola

### Desventajas

- Alta torsión (par) para accionarla,
- Capacidad limitada para caída de presión, y
- Propensa a la cavitación.

### Variaciones

Disco plano, disco realzado, con brida, atornillado, con camisa completa, alto rendimiento.

### Materiales

- Cuerpo: hierro, hierro dúctil, aceros al carbono, acero forjado, aceros inoxidables, aleación 20, bronce, Monel.
- Disco: todos los metales; revestimientos de elastómeros como TFE, Kynar, Buna-N, neopreno, Hypalon.

➤ Asiento: Buna-N, viton, neopreno, caucho, butilo, poliuretano, Hypalon, Hycar, TFE.

#### I.4 Evaluación de las alternativas

Para el proceso de selección se valorará cada parámetro en una escala de 1 a 10 puntos. La alternativa que presente un valor ponderado total mayor, será la elegida. La valoración de las alternativas se realizará de acuerdo a un análisis exhaustivo de los diferentes catálogos, información técnica de cada una de las válvulas y además del análisis de ciertas recomendaciones realizadas por personas con mucha experiencia en el tema.

**Tabla I1.** Evaluación de los parámetros de selección de válvulas

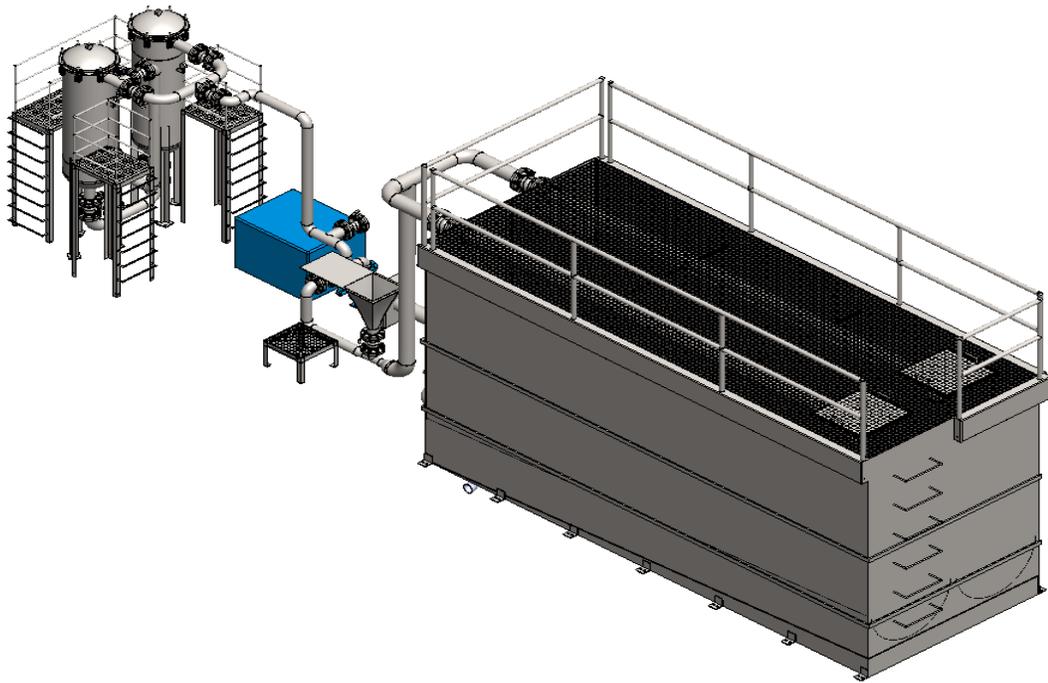
Parámetros	Válvula de Bola	Válvula de Mariposa
FUNCIÓN	9	10
CONSIDERACIONES DE SERVICIOS	7	9
MATERIALES CONSTRUCTIVOS	9	9
ACCIONAMIENTO	10	10
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>38</b>

Fuente: Cálculos propios

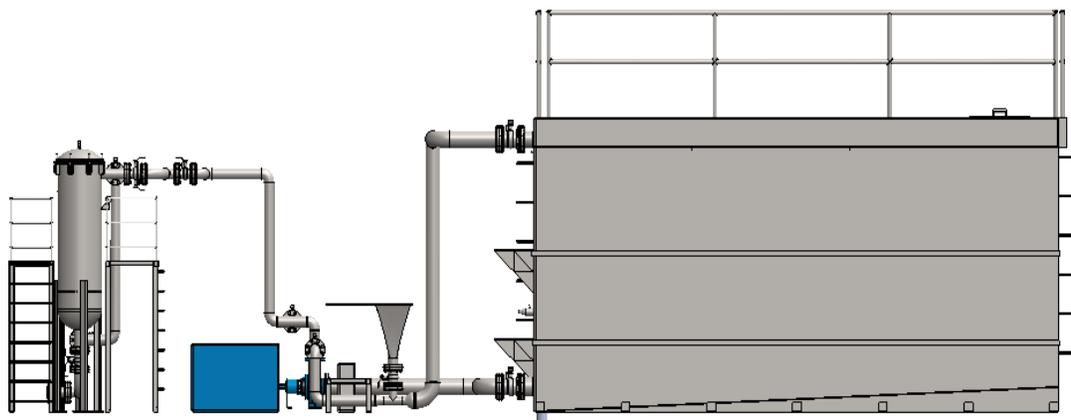
De acuerdo al análisis de los totales obtenidos de la ponderación de los parámetros, la alternativa más viable es la válvula de mariposa.

Esto se justifica plenamente puesto que las presiones de trabajo que se manejan son relativamente bajas, además que las propiedades físicas del fluido (viscosidad y densidad) y las condiciones de operación (principalmente el medio corrosivo) permiten la adopción de este tipo de válvula para el diseño.

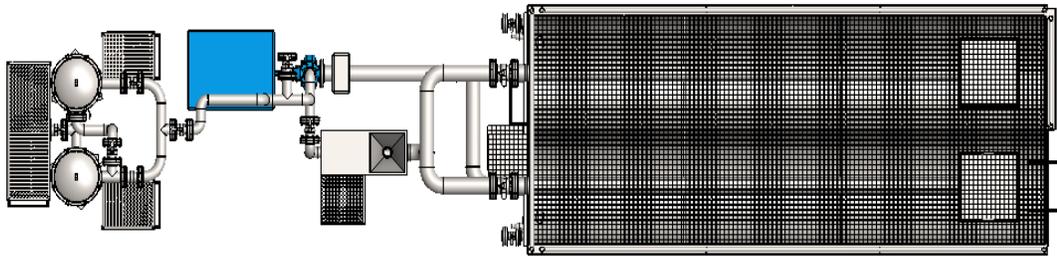
## ANEXO J. ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPO DISEÑADO



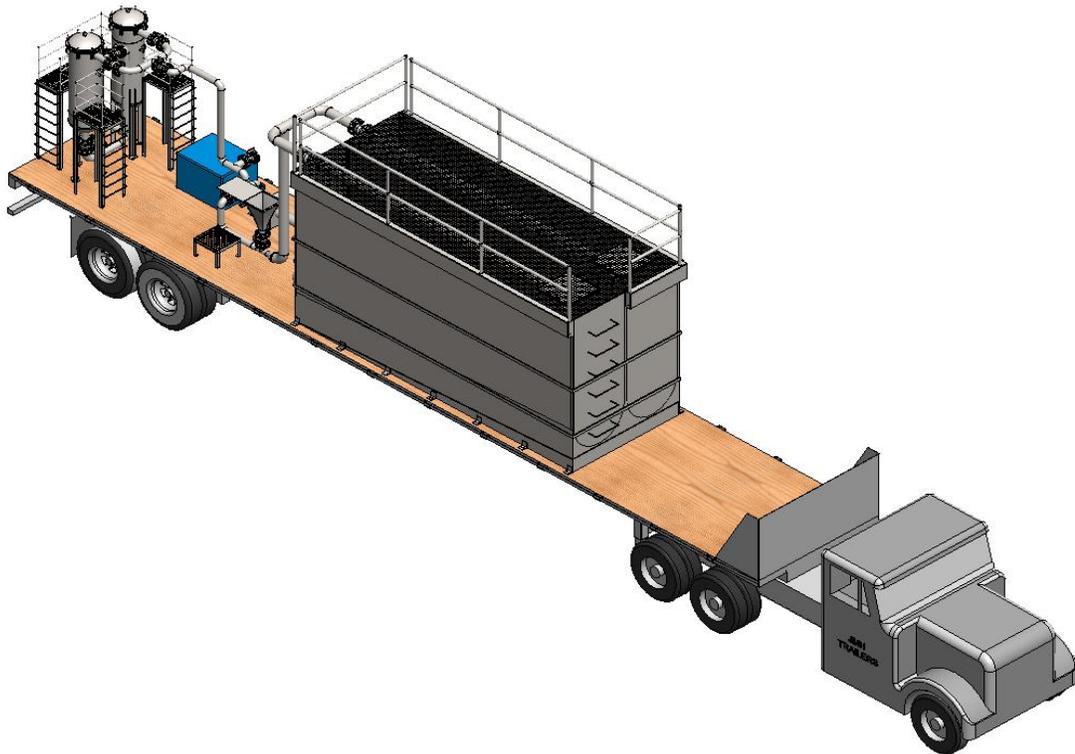
*Figura J1. Vista isométrica del equipo*



*Figura J2. Vista frontal del equipo*

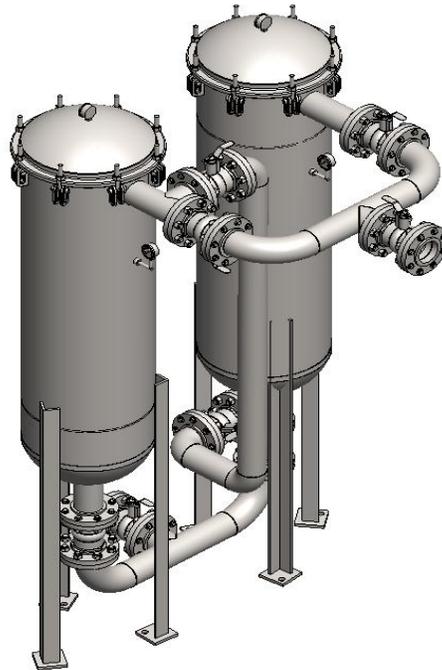


**Figura J3.** Vista superior del equipo

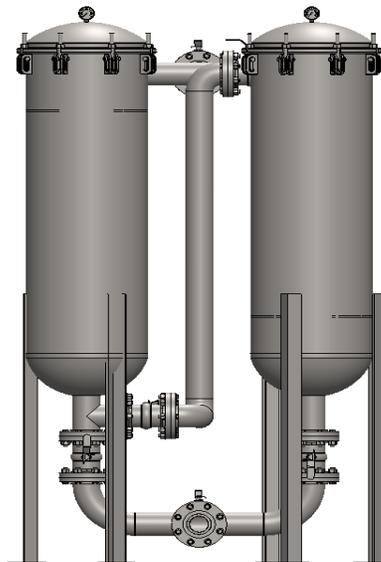


**Figura J4.** Vista isométrica del equipo con tráiler

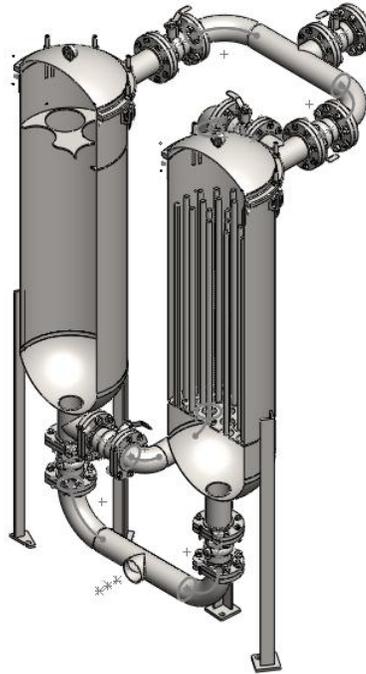
## ANEXO K. ESQUEMA DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS DISEÑADOS



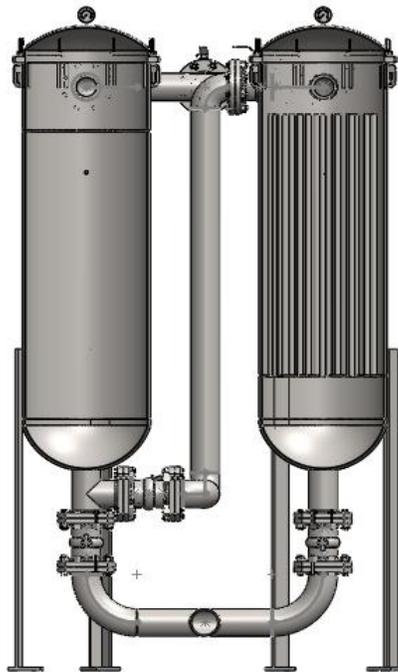
*Figura K1. Vista isométrica de las unidades de filtración*



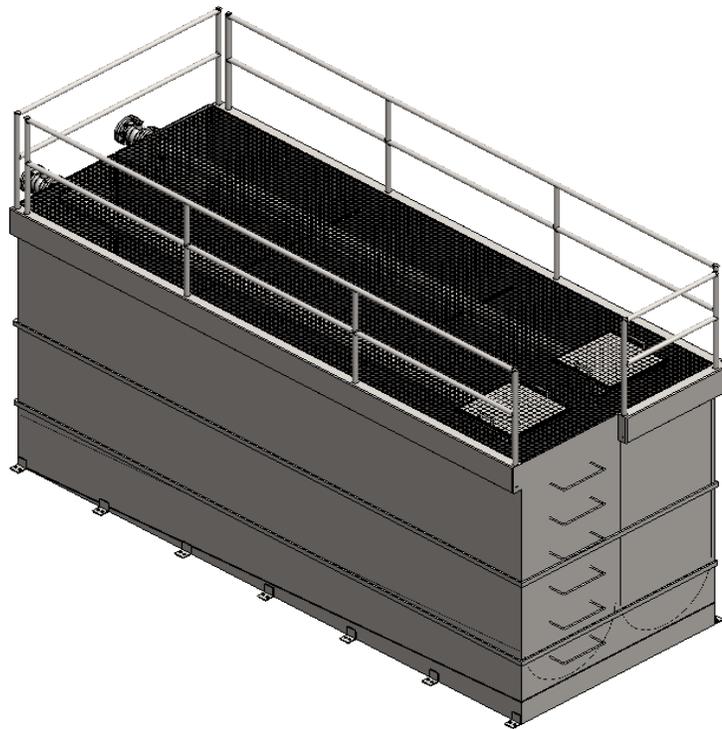
*Figura K2. Vista izquierda de las unidades de filtración*



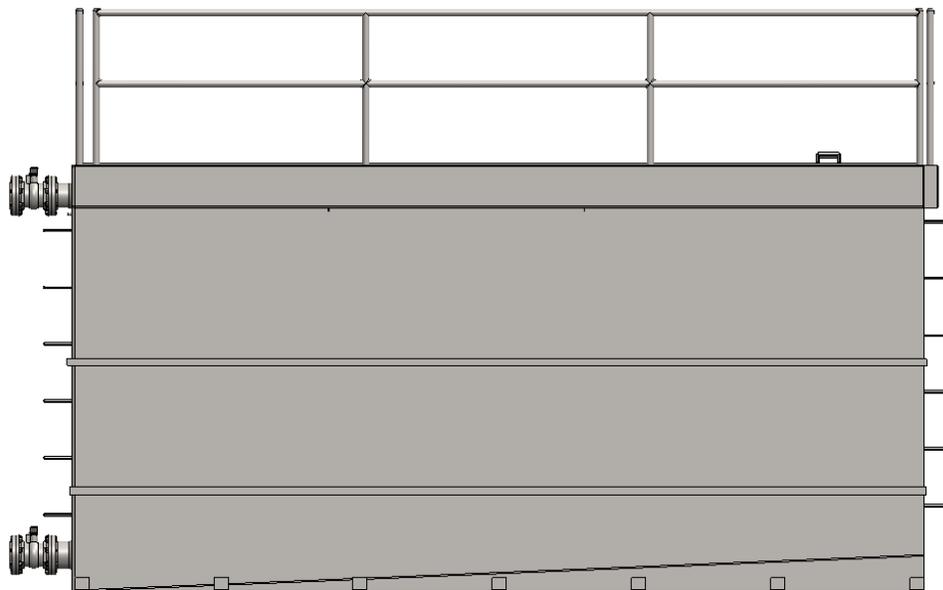
**Figura K3.** Corte longitudinal de la vista isométrica de las unidades de filtración



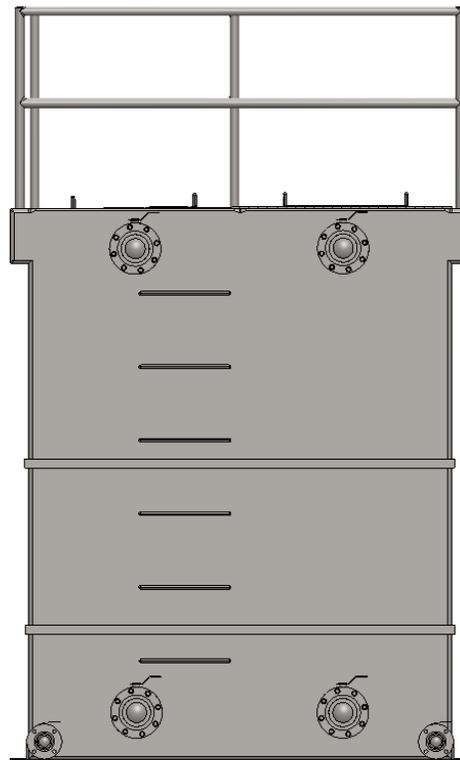
**Figura K4.** Corte longitudinal de la vista izquierda de las unidades de filtración



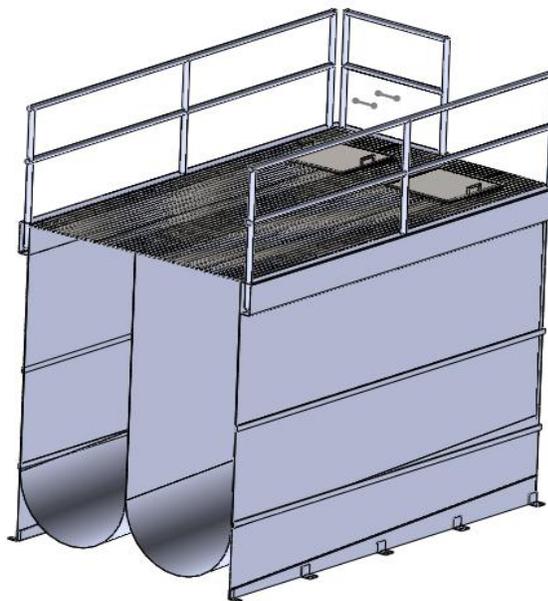
**Figura K5.** Vista isométrica del tanque de mezclado



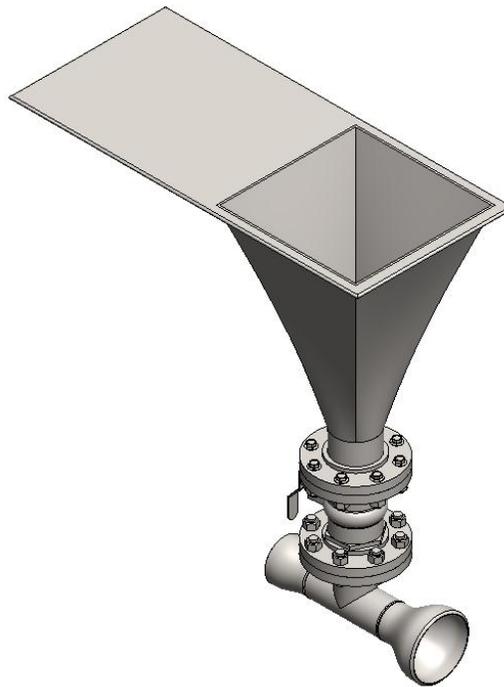
**Figura K6.** Vista derecha del tanque de mezclado



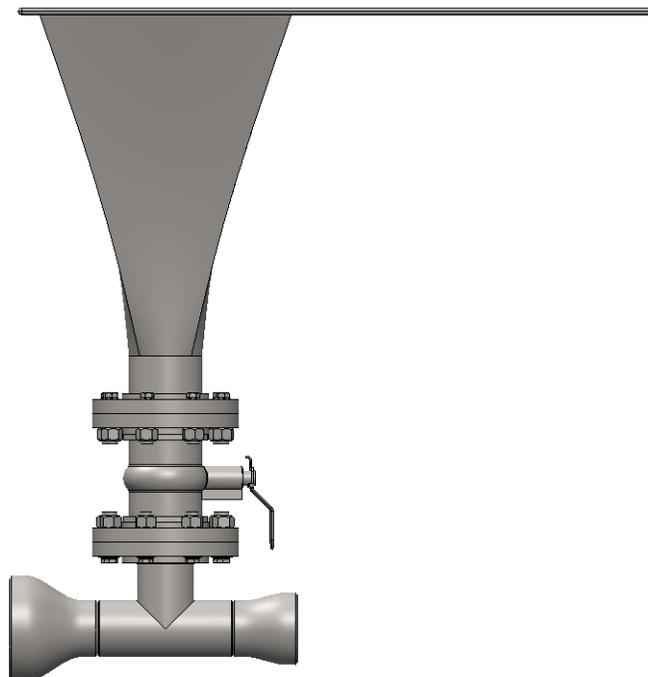
**Figura K7.** Vista frontal del tanque de mezclado



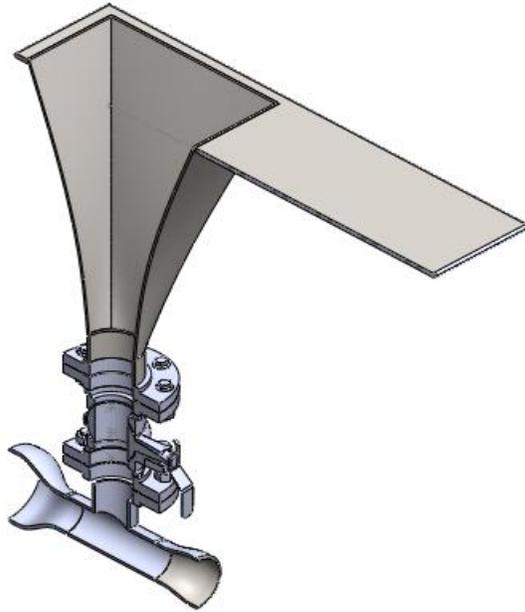
**Figura K8.** Corte transversal de la vista isométrica del tanque de mezclado



**Figura K9.** Vista isométrica de la tolva



**Figura K10.** Vista izquierda de la tolva



**Figura K11.** Corte longitudinal de la vista isométrica de la tolva

## ANEXO L. ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

### L1. INVERSIONES EN ACTIVOS FIJOS

Las inversiones en activos fijos son aquellas que se realizan en bienes tangibles que son necesarios para adelantar la producción de bienes o la prestación de servicios. Las inversiones que se planean hacer en la futura operación del equipo para la producción de fluidos de completamiento y Workover en pozo se muestran a continuación:

➤ Equipos y maquinaria

Tomando en consideración los aspectos técnicos de producción, se presenta en la Tabla L1 los equipos requeridos para el óptimo funcionamiento del proceso de preparación.

**Tabla L1. Inversión de equipos y maquinaria**

Detalle de inversión	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Tanque de mezcla	1	80.000.000	80.000.000
Tolva	1	1.000.000	1.000.000
Bomba	1	15.000.000	15.000.000
Motor de la Bomba	1	30.000.000	30.000.000
Filtradores	2	10.000.000	20.000.000
Accesorios	1	11.000.000	12.000.000
<b>TOTAL</b>			<b>158.000.000</b>

Fuente: Cálculos propios

➤ Instalación y montajes

Para este concepto se estima un monto \$12.640.000 correspondiente al 8% del total de los costos de los equipos y maquinarias necesarias para llevar a cabo la preparación de los fluidos.

➤ Vehículos

Los vehículos se utilizarán para el transporte del equipo y del personal hasta el pozo donde se llevará a cabo la preparación de los fluidos. Teniendo en cuenta, que la empresa cuenta con vehículos para el transporte del personal y el cabezote para el tráiler, solo tiene previsto incluir en este ítem el tráiler donde se instalará el equipo.

**Tabla L2. Inversión de vehículos**

Detalle de inversión	Valor (\$)
Tráiler de tres ejes	30.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>30.000.000</b>

Fuente: Cálculos propios

➤ Equipos de oficina

Por este concepto es necesario adquirir un equipo de cómputo para que sea llevado al lugar donde se vaya a realizar la preparación de los fluidos, con el objetivo de llevar estadísticas, realizar cálculos de materia prima requerida, etc.

**Tabla L3. Inversión de equipo de oficina**

Detalle de inversión	Valor (\$)
Computador portátil	2.500.000
<b>TOTAL</b>	<b>2.500.000</b>

Fuente: Cálculos propios

## L2.INVERSIONES EN ACTIVOS NOMINALES

Los activos nominales son las inversiones constituidas por los servicios y derechos adquiridos necesarios para poner en funcionamiento el proyecto como gastos de organización, gastos preoperativos de instalación, patentes de inversión, estudios y gastos de prepuesta en marcha.

➤ Estudio y diseño de equipos

En este concepto se tiene en cuenta el costo del estudio y diseño de cada uno de los equipos que se requieren para llevar a cabo el proceso de preparación de fluidos. El estudio y diseño de los equipos fueron realizados por los dos estudiantes que desarrollaron éste proyecto, guiados por su director.

➤ Imprevistos

Se estima sobre la base de un 5% de la inversión en activos nominales.

**Tabla L4. Inversiones en activos nominales**

Detalle de inversión	Valor (\$)
Estudio y diseño de equipos	80.000.000
Imprevistos	4.000.000
<b>TOTAL</b>	<b>84.000.000</b>

Fuente: Cálculos propios

### L3. COSTOS DIRECTOS

Se entiende por costo directo a todos aquellos costos que tienen una directa participación en el desarrollo de la producción. Dentro del ítem costos directos se incluyen los siguientes aspectos:

➤ Materia prima

La adquisición de las materias primas se realizará de acuerdo a las políticas de comercialización y precios ofrecidas por los diferentes proveedores del sector. La empresa ya cuenta con los proveedores Internacionales que suministran la materia prima con excelente calidad.

La Tabla L5 nos muestra el consumo total de la materia prima involucrada en el proceso para cada año de estudio del proyecto.

**Tabla L5. Costo de materia prima**

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
<b>2012</b>				
Cloruro de sodio	kg	16.189	1.200	19.427.218
Cloruro de potasio	kg	125.522	2.800	351.462.970
Formiato de sodio	kg	305.165	3.000	915.494.484
Formiato de potasio	kg	35.273	6.000	211.636.426
Agua	bbl	37.629	900	33.866.100
Bactericida	gal	75.26	25.421	1.913.134
Antiespumante	gal	18.81	10.895	204.984
TOTAL				1.534.005.315
<b>2013</b>				
Cloruro de sodio	kg	16.067	1.260	20.244.081
Cloruro de potasio	kg	124.572	2.940	366.241.059
Formiato de sodio	kg	302.854	3.150	953.988.607
Formiato de potasio	kg	35.241	6.300	222.015.836
Agua	bbl	37.344	945	35.290.080
Bactericida	gal	74.69	26.692	1.993.576
Antiespumante	gal	18.67	11.440	213.603
TOTAL				1.599.986.843
<b>2014</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.963	1.320	21.070.651
Cloruro de potasio	kg	123.765	3.080	381.194.745
Formiato de sodio	kg	300.891	3.300	992.940.125
Formiato de potasio	kg	35.012	6.600	231.080.781
Agua	bbl	37.102	990	36.730.980
Bactericida	gal	74.20	27.963	2.074.974
Antiespumante	gal	18.55	11.985	222.324
TOTAL				1.665.314.579
<b>2015</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.872	1.380	21.903.131
Cloruro de potasio	kg	123.061	3.220	396.255.375

Formiato de sodio	kg	299.180	3.450	1.032.170.216
Formiato de potasio	kg	34.813	6.900	240.210.556
Agua	bbl	36.891	1.035	38.182.185
Bactericida	gal	73.78	29.234	2.156.954
Antiespumante	gal	18.45	12.529	231.108
TOTAL				1.731.109.525
<b>2016</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.792	1.440	22.740.207
Cloruro de potasio	kg	122.440	3.360	411.399.134
Formiato de sodio	kg	297.671	3.600	1.071.616.839
Formiato de potasio	kg	34.638	7.200	249.390.723
Agua	bbl	36.705	1.080	39.641.400
Bactericida	gal	73.41	30.505	2.239.387
Antiespumante	gal	18.35	13.074	239.941
TOTAL				1.797.267.630
<b>2017</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.720	1.500	23.580.587
Cloruro de potasio	kg	121.886	3.500	426.602.669
Formiato de sodio	kg	296.325	3.750	1.111.218.750
Formiato de potasio	kg	34.481	7.500	258.607.128
Agua	bbl	36.539	1.125	411.06.375
Bactericida	gal	73.08	31.776	2.322.145
Antiespumante	gal	18.27	13.619	248.808
TOTAL				1.863.686.882
<b>2018</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.655	1.560	24.422.464
Cloruro de potasio	kg	121.383	3.640	441.833.292
Formiato de sodio	kg	295.101	3.900	1.150.892.058
Formiato de potasio	kg	34.338	7.800	267.839.952
Agua	bbl	36.388	1.170	42.573.960
Bactericida	gal	72.78	33.047	2.405.050
Antiespumante	gal	18.19	14.164	257.691
TOTAL				1.930.224.467
<b>2019</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.596	1.620	25.266.303
Cloruro de potasio	kg	120.926	3.780	457.099.407

Formiato de sodio	kg	293.989	4.050	1.190.657.398
Formiato de potasio	kg	34.209	8.100	277.094.292
Agua	bbl	36.251	1.215	44.044.965
Bactericida	gal	72.50	34.318	2.488.149
Antiespumante	gal	18.13	14.708	266.594
<b>TOTAL</b>				<b>1.996.917.108</b>
<b>2020</b>				
Cloruro de sodio	kg	15.542	1.680	26.110.297
Cloruro de potasio	kg	120.502	3.920	472.368.325
Formiato de sodio	kg	292.960	4.200	1.230.430.036
Formiato de potasio	kg	34.089	8.400	286.350.331
Agua	bbl	36.124	1.260	45.516.240
Bactericida	gal	72.25	35.589	2.571.263
Antiespumante	gal	18.06	15.253	275.500
<b>TOTAL</b>				<b>2.063.621.991</b>

Fuente: Cálculos propios

➤ Mantenimiento de equipos

El mantenimiento se aplicará a los equipos de manera preventiva y correctiva por parte del mecánico de planta; es impreciso cuantificar el requerimiento económico para los insumos, repuestos y herramientas necesarias para el mantenimiento, pero por experiencia en el servicio que actualmente presta la empresa, donde el costo anual se estimó en \$38.000.000. Por otra parte se requiere del mantenimiento periódico del tráiler y accesorios del equipo calculado en \$15.000.000 anuales. Así los costos de mantenimiento se convierten en \$53.000.000 para el primer año de servicio.

**Tabla L6.** Costo de mantenimiento de equipos

Año	Valor total (\$)
2012	53.000.000
2013	55.650.000
2014	58.300.000
2015	60.950.000
2016	63.600.000

2017	66.250.000
2018	68.900.000
2019	71.550.000
2020	74.200.000

Fuente: Cálculos propios

➤ Mano de obra directa

Comprende los empleados que laboran directamente en la elaboración del producto final o que de una u otra forma intervienen en el proceso productivo. Los recursos para su funcionamiento se calculan de acuerdo a tarifas estimadas a cada cargo teniendo en cuenta el grado de formación y cargo a desempeñar. La mano de obra necesaria para desempeñar las actividades del proyecto son:

**Tabla L7.** Requerimiento de mano de obra directa

Cantidad	Nombre	Básico (\$)	Prestaciones Sociales (\$)	Mensual (\$)	Anual (\$)
2	Técnico	2.500.000	1.369.167	7.738.333	92.860.000
6	Operador	1.500.000	821.500	4.643.000	55.716.000
2	Supervisor	4.000.000	2.190.667	12.381.333	148.576.000
TOTAL				24.762.667	297.152.000

Fuente: Cálculos propios

Los montos correspondientes por este concepto para los años de estudio del proyecto son:

**Tabla L8.** Costo de mano de obra directa por año

Año	Valor (\$)
2012	408.584.000
2013	429.013.200
2014	449.442.400
2015	469.871.600
2016	490.300.800

2017	510.730.000
2018	531.159.200
2019	551.588.400
2020	572.017.600

Fuente: Cálculos propios

➤ Elementos filtrantes

Comprenden los costos debido a los cambios necesarios de los elementos filtrantes de las unidades de filtración. Se tiene estimado realizar los cambios cada 1500 barriles de fluido filtrado con el objetivo de garantizar la calidad de los fluidos entregados a los clientes. Los precios de los elementos filtrantes se muestran a continuación:

**Tabla L9. Precios de los elementos filtrantes**

Tipo	Cantidad de la unidad	Valor unitario (\$)
Cartucho	32	64.187
Capuchón	4	15.000

Fuente: PARKO SERVICES S.A

Los montos correspondientes por este concepto para los años de estudio del proyecto son:

**Tabla L10. Costo por cambio de elementos filtrantes**

Año	Valor total (\$)
2012	53.031.403
2013	55.261.233
2014	57.517.559
2015	59.790.021
2016	62.075.026
2017	64.369.051
2018	66.667.163
2019	68.970.631

2020	71.274.521
------	------------

Fuente: Cálculos propios

#### L4.COSTOS INDIRECTOS

Son todos aquellos costos que no participan directamente en el desarrollo del proceso productivo, pero que igualmente son necesarios para el funcionamiento normal del equipo, para mantener una estructura de producción y ventas.

- Transporte y descarga de materia prima

El transporte de materia prima se va a realizar por medio de empresas que prestan este servicio de manera responsable y segura. Por este concepto se tiene un costo aproximadamente de \$500 / kg de materia prima transportado para el primer año. Por este concepto se tiene los siguientes costos:

**Tabla L11.** Costo por transporte y descarga de materia prima

Año	Valor total (\$)
2012	241.124.702
2013	251.387.144
2014	261.651.680
2015	271.989.609
2016	282.384.584
2017	292.820.512
2018	303.275.168
2019	313.754.111
2020	324.234.977

Fuente: Cálculos propios

- Mano de obra indirecta

Esta comprende los empleados que participan el proceso productivo pero de una manera indirecta en la elaboración del producto final o que de una u otra forma

intervienen en el proceso productivo. La mano de obra necesaria para desempeñar las actividades administrativas del proyecto son:

**Tabla L12. Requerimiento de mano de obra indirecta**

Cantidad	Nombre	Básico (\$)	Prestaciones Sociales (\$)	Mensual (\$)	Anual (\$)
2	Administrativo	2.500.000	1.369.167	7.738.333	92.860.000
TOTAL				7.738.333	92.860.000

Fuente: Cálculos propios

Los montos correspondientes por este concepto para los años de estudio del proyecto son:

**Tabla L13. Costo de mano de obra indirecta por año**

Año	Valor (\$)
2012	92.860.000
2013	97.503.000
2014	102.146.000
2015	106.789.000
2016	111.432.000
2017	116.075.000
2018	120.718.000
2019	125.361.000
2020	130.004.000

Fuente: Cálculos propios

➤ Combustible

Por este concepto se debe tener en cuenta el consumo de combustible del motor del equipo, del vehículo que transporta el equipo al pozo y de la camioneta que servirá de escolta y para transporte de los operarios a donde se vaya a realizar el trabajo.

Basados en experiencias de la preparación de fluidos en planta, se consideró las siguientes estimaciones de consumo:

**Tabla L14. Requerimiento de combustible**

Descripción	Consumo de diesel
Motor equipo	55 gal / mes
Vehículo del equipo	0.15 gal / 1 km
Camioneta	0.04 gal / 1 Km

Fuente: Cálculos propios

Para cubrir las necesidades de combustible requerido para la producción de los fluidos y el transporte de equipos y personal, se ha estimado un recorrido de 800 Km mensuales y un precio base para el primer año de \$7.600; por este concepto obtenemos los siguientes costos:

**Tabla L15. Costo por combustible**

Año	Valor total (\$)
2012	15.412.800
2013	16.183.440
2014	16.954.080
2015	17.724.720
2016	18.495.360
2017	19.266.000
2018	20.036.640
2019	20.807.280
2020	21.577.920

Fuente: Cálculos propios

➤ Dotación (ropa de trabajo)

Por este concepto se realizará tres dotaciones al año a cada uno de las personas que intervienen en el proceso de preparación de forma directa o indirecta. A continuación, se muestra la implementación necesaria para llevar a cabo las funciones de manera segura, saludable y eficiente:

**Tabla L16.** Costos por dotación de la mano de obra

Descripción	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
MANO DE OBRA DIRECTA			
Overoles	48	37.500	1.800.000
Cascos	24	16.983	407.592
Guantes	48	5.647	271.056
Gafas	48	7.845	376.560
Botas	8	160.518	1.284.144
MANO DE OBRA INDIRECTA			
Jeans	24	20.690	496.560
Camisas	24	21.500	516.000
Tennis bota	4	140.862	563.448
SUBTOTAL			5.715.360
.IVA			914.458
TOTAL			6.629.818

Fuente: INVERSIONES PROIN LTDA

A partir de esto, los costos de forma anual por este concepto se muestran en la siguiente Tabla.

**Tabla L17.** Costo por dotación

Año	Valor total (\$)
2012	6.629.818
2013	6.961.308
2014	7.292.799
2015	7.624.290
2016	7.955.781
2017	8.287.272
2018	8.618.763
2019	8.950.254
2020	9.281.745

Fuente: Cálculos propios

➤ Imprevistos

Por este concepto se va a manejar un valor de \$48.092.961 correspondientes al 2% del valor total de los costos operacionales.

## L5. INGRESOS

Los ingresos del proyecto corresponden a las ventas de los diferentes tipos de fluidos producidos. Los precios de venta de los fluidos producidos son:

**Tabla L18. Precios de venta**

Salmuera	Precio (%)
NaCl	9.43
KCl	24.53
COOHNa	54.72
COOKK	11.32

Fuente: PARKO SERVICES S.A

A partir de los volúmenes de fluidos y de los precios estimados se calcula el valor de los ingresos que se espera obtener cada año durante el periodo de evaluación del proyecto, dando como resultados los montos observados en la tabla siguiente:

**Tabla L19. Ingresos estimados durante la vida útil del proyecto**

Año	Producción (bbl)	Valor total (\$)
2012	37629	5.892.238.210
2013	37344	6.139.993.191
2014	37102	6.390.690.163
2015	36891	6.643.180.064
2016	36705	6.897.063.596
2017	36539	7.151.949.290
2018	36388	7.407.289.088
2019	36251	7.663.223.920

2020	36124	7.919.205.728
------	-------	---------------

Fuente: Cálculos propios

## L6. DEPRECIACIÓN

La depreciación económica se hace en base a la vida útil estimada para los activos depreciables en la que se considera el deterioro causado por el uso y la acción de factores naturales, así como la obsolescencia por los avances tecnológicos o por cambios en la demanda de los productos ofertados que justifican una posible ampliación o actualización de equipos.

Para los cálculos se va a utilizar el método más sencillo y usado por las empresas, el método de depreciación lineal, el cual consiste en dividir el valor del activo entre la vida útil del mismo.

**Tabla L120.** Depreciación de activos fijos

Descripción	Vida útil (años)	Valor	
		Activo (\$)	Depreciación (\$)
VEHÍCULOS			
Tráiler	10	30.000.000	3.000.000
EQUIPOS Y MAQUINARIA			
Tanque de mezcla	10	80.000.000	8.000.000
Tolva	10	1.000.000	100.000
Bomba Centrífuga	10	15.000.000	1.500.000
Motor de la Bomba	10	30.000.000	3.000.000
Filtradores	10	10.000.000	1.000.000
Accesorios	10	11.000.000	1.100.000
INSTALACIÓN Y MONTAJE			
Montaje de equipos	10	12.640.000	1.264.000
EQUIPOS DE OFICINA			
Computador portátil	5	2.500.000	500.000
		<b>TOTAL</b>	<b>18.964.000</b>

Fuente: Cálculos propios

## L7. AMORTIZACIÓN

Los activos diferidos deben ser amortizados en la medida en que se van utilizando, en la medida en que se van gastando o consumiendo. Para realizar la amortización de estos activos se va a trabajar con el mismo método que se usó para calcular la depreciación de activos fijos

En la siguiente tabla se muestra los valores correspondientes a las amortizaciones de los activos diferidos.

**Tabla L21.** Amortización de activos diferidos

Descripción	Periodo a amortizar (años)	Valor	
		Activo (\$)	Amortización (\$)
ACTIVOS NOMINALES			
Estudio y diseño de equipos	5	80.000.000	
Imprevistos	5	4.000.000	
	TOTAL	84.000.000	16.800.000

Fuente: Cálculos propios

## L8. CAPITAL DE TRABAJO

La inversión en capital de trabajo constituye el conjunto de los recursos necesarios, en la forma de activos corriente, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo, para la capacidad y tamaños escogidos.

Se entiende como ciclo productivo el proceso que se inicia con el primer desembolso para cancelar los insumos de la operación y termina cuando se venden los insumos transformados en productos, para luego, percibir el producto de la venta y quedar un saldo disponible para adquirir nuevos insumos.

La Tabla L22 nos muestra un resumen de los gastos operacionales para el primer año de puesta en marcha del proyecto.

**Tabla L22. Gastos operacionales del primer año**

CONCEPTO	Valor año (\$)
Materia prima	1.534.005.315
Transporte de materia prima	241.124.702
Mantenimiento de equipos	53.000.000
Mano de obra directa	408.584.000
Mano de obra indirecta	92.860.000
Elementos filtrantes	53.031.403
Combustible	15.412.800
Dotación	6.629.818
Imprevistos (2%)	48.092.961
<b>TOTAL</b>	<b>2.404.648.037</b>

**Fuente:** Cálculos propios

➤ Método del ciclo productivo

El monto asignado al capital de trabajo se calcula de la siguiente forma de acuerdo al método del ciclo productivo:

$$CT = Cdp * pr \quad (Ec. L. 1)$$

Donde,

CT = Capital de trabajo

Cdp = Costo diario promedio

pr = Periodo de recuperación

El costo diario promedio equivale al costo operacional y administrativo anual dividido por el número de días trabajados por año.

$$Cdp = \frac{\$2.404.648.037}{365 \text{ días}}$$

$$Cdp = \$6.588.077/\text{día}$$

Asumiendo que el periodo de recuperación es de 30 días, el cálculo de la inversión en capital de trabajo queda expresado de la siguiente manera:

$$CT = \frac{\$6.588.0770}{\text{día}} * 30 \text{ días}$$

$$CT = \$197.642.304$$

➤ Presupuesto de capital de trabajo

Para calcular el valor real disponible del capital de trabajo expresado en términos variables, se debe tener en cuenta una inflación promedio del 10.1%<sup>52</sup>, cumpliendo la siguiente relación:

$$F = P \times (1 + i)^n \text{ (Ec. L. 2)}$$

Donde,

F = Valor del Capital de Trabajo del año calculado

P = Es el valor presente del Capital de Trabajo

i = Índice de inflación estimado

n = Número de periodos

Utilizando esta proyección se obtiene lo expresado en la siguiente Tabla.

**Tabla L23.** Presupuesto capital de trabajo mensual

Año	Capital de trabajo (\$)
2012	197.642.304
2013	217.604.177

<sup>52</sup>Inflación anual desde 1994 – 2010. Pág.: <http://www.businesscol.com/economia/precios.htm>

2014	239.582.199
2015	263.780.001
2016	290.421.781
2017	319.754.381
2018	352.049.574
2019	387.606.581
2020	426.754.845

Fuente: Cálculos propios

## L9. PLAN DE INVERSIÓN

### ➤ Estructura de capital

El plan de inversión está hecho bajo un escenario establecido donde se financia el 100% de la inversión inicial. El financiamiento cubre el monto de los activos fijos, activos nominales y el capital de trabajo.

**Tabla L24.** Valor de financiamiento

Detalle	Valor total (\$)
Activos fijos	203.140.000
Activos nominales	84.000.000
Capital de trabajo	197.642.304
<b>TOTAL</b>	<b>484.782.304</b>

Fuente: Cálculos propios

Las condiciones de que ofrece la Entidad Bancaria seleccionada se muestran en la siguiente Tabla:

**Tabla L25.** Condiciones de financiamiento del proyecto

Detalle	Descripción
Monto del préstamo	\$484.782.304
Tasa de interés	14.4% efectivo anual
Periodo de gracia	1 año
Amortización	Cuotas fijas
Plazo del préstamo	5 años

Fuente: Entidad Bancaria y cálculos propios

➤ Amortización del crédito

Para determinar la cuota a pagar, se utiliza la ecuación de anualidades correspondientes a la matemática financiera. Esta cuota sería:

$$A = \frac{P(i(i + 1)^n)}{(i + 1)^n - 1} \text{ (Ec. L. 3)}$$

Donde,

A: Es el valor de la cuota anual

P: Valor a financiar

i : Tasa de financiación

n : Periodo estipulado para la cancelación de la totalidad del crédito

$$A = \frac{\$484.782.304(0.144(0.144 + 1)^5)}{(0.144 + 1)^5 - 1}$$

$$A = \$142.569.073$$

En la siguiente Tabla se muestra la amortización del crédito a través del periodo de financiamiento o plazo total.

**Tabla L26.** Amortización de cuotas de financiamiento

Periodo (años)	Valor cuota (\$)	Intereses (\$)	Abono a capital (\$)	Saldo (\$)
0				484.782.304
1	142.569.073	69.808.652	72.760.421	412.021.884
2	142.569.073	59.331.151	83.237.922	328.783.962
3	142.569.073	47.344.891	95.224.182	233.559.780
4	142.569.073	33.632.608	108.936.464	124.623.315
5	142.569.073	17.945.757	124.623.315	0

Fuente: Cálculos propios

## L10. PUNTO DE EQUILIBRIO

El Punto de Equilibrio de la empresa, es el nivel de venta en el cual los ingresos obtenidos son iguales a los costos totales. La deducción del punto de equilibrio es útil para estudiar las relaciones entre los costos fijos, costos variables y los beneficios. En la práctica se utiliza ante todo para calcular el volumen mínimo de ventas al que puede operarse sin ocasionar pérdida y sin obtener utilidades.

Para determinar el punto de equilibrio en pesos, utilizamos la siguiente ecuación:

$$PE = \frac{CF}{1 - \left(\frac{CV}{VT}\right)} \text{ (Ec. L. 4)}$$

Donde,

CF: Costos Fijos:

(Depreciación + Mano obra indirecta + Dotación mano de obra directa + Imprevistos)

CV: Costos variables:

(Materia prima + Transporte MP + Combustible + Mantenimiento + Mano de obra directa + Dotación mano de obra directa + Elementos filtrantes)

VT: Ventas Totales

$$PE = \frac{161.745.130}{1 - \left( \frac{\$2.309.959.868}{\$5.897.205.162} \right)}$$

$$PE = \$265.898.799$$

Esto quiere decir que si se venden \$265.898.799 anual, representados en un 4.51% de las ventas, se cubren todos los costos de funcionamiento sin obtener utilidades.

## L11. EVALUACIÓN FINANCIERA

El proyecto se evaluará considerando un horizonte de planificación de 6 años, con una tasa de rentabilidad mínima atractiva (TREMA) de un 25%, la cual es planteada por el inversionista para evaluar la viabilidad del proyecto.

### ➤ Flujo de fondos del inversionista

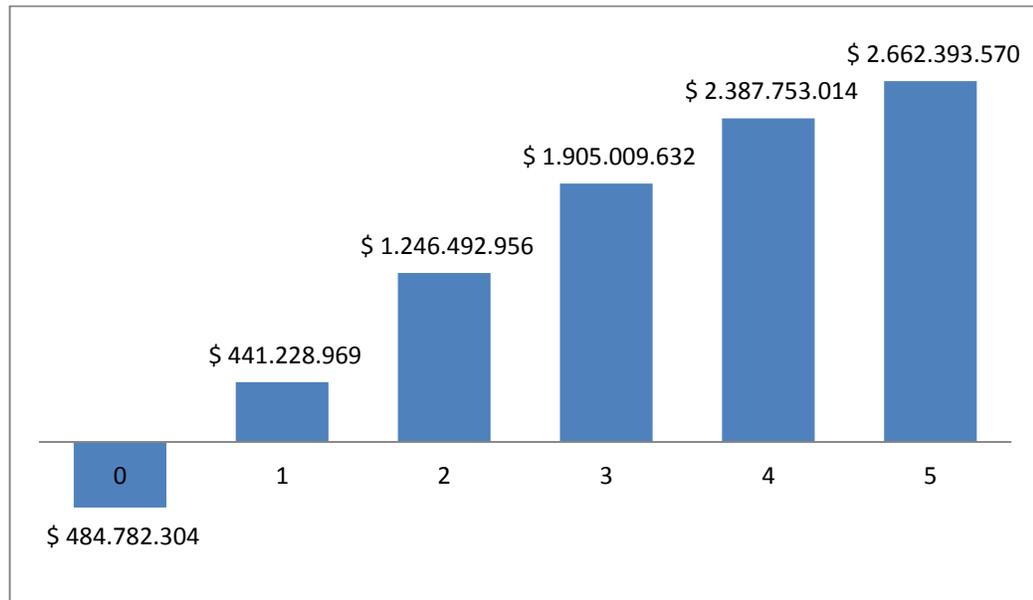
En el flujo de fondos del proyecto se registran los ingresos gravables, que incluyen ingresos por ventas. De este ingreso se restan los costos deducibles además de los impuestos, la amortización y la depreciación. Este flujo tiene en cuenta el tipo de financiación y los gastos que se puedan generar. Esta herramienta sirve para medir la rentabilidad de los recursos colocados por el inversionista.

Los criterios que se aplican para evaluar la rentabilidad del proyecto funcionan así:

➤ El criterio de aceptación de las inversiones se aplica evaluando el VPN de los flujos de caja a una tasa de interés dada. Si VPN es mayor que cero, el proyecto es factible.

➤ Si la TIR del flujo de fondos del inversionista es mayor que el TREMA, el proyecto es factible.

El flujo de fondos del inversionista se muestra en la siguiente figura para los 6 primeros años del proyecto:



**Figura L1.** Diagrama de flujo de fondos del inversionista

Con una tasa de descuento equivalente al TREMA (25%) el VPN del flujo de fondos del inversionista es igual a \$1.396.282.111. A partir de esto se puede concluir que el proyecto financiado en un 100% es factible ya que el valor presente neto es mayor que cero.

En el flujo de fondos del inversionista se presenta una TIR de 175% la cual es mayor que el 25% equivalente a la TREMA. Esto refleja que el proyecto es viable con el financiamiento del 100% de la inversión inicial.

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) para este flujo de fondos del inversionista es de 7 meses. Esto quiere decir que en los siete primeros meses del primer año de la puesta en marcha del proyecto se recupera la totalidad de la inversión inicial.

➤ Estado de resultados

Es una herramienta que permite identificar y analizar los movimientos de ingresos y egresos que tiene la empresa. En él se tiene en cuenta los ingresos por ventas, los gastos y costos anuales, los gastos financieros, depreciaciones y amortizaciones. A partir de esta herramienta se determina la utilidad neta anual, la utilidad operativa y la utilidad antes de impuestos. El estado de resultados para el proyecto se muestra en la Tabla L28.

## L12. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A continuación se muestran diferentes análisis de sensibilidad para las principales variables del proyecto, para así determinar el impacto de estas.

➤ Análisis de sensibilidad para el monto a financiar

En este escenario, se mantienen constantes todas las variables excepto el monto a financiar al cual se le asignan diferentes porcentajes de financiación.

**Tabla L29.** Diferentes escenarios del monto a financiar

Monto a financiar (\$)	Original	Escenario 1 (0%)	Escenario 2 (20%)	Escenario 3 (70%)
	484.782.304	0	96.956.461	339.347.613
TREMA	25%	25%	25%	25%
VPN (\$)	1.396.282.111	1.731.489.728	1.644.448.205	1.496.844.396
TIR inversionista	175%	202%	197%	183%

Fuente: Cálculos propios

El proyecto es viable sin importar si se financia en su totalidad o no se financia en absoluto. Se puede ver claramente que entre mayor sea el monto a financiar la TIR es menor, es decir, que el tiempo para recuperar la inversión es mucho mayor.

➤ Análisis de sensibilidad para los precios de ventas

En este escenario, se mantienen constantes todas las variables excepto el precio de venta. En este análisis se va a trabajar una disminución de los precios en un porcentaje determinado.

**Tabla L30. Diferentes escenarios del precio de venta**

	Original	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
<b>Precio de venta</b>	100%	95%	88%	80%
TREMA	25%	25%	25%	25%
VPN (\$)	1.396.282.111	825.194.306	25.671.380	-316.981.302
TIR inversionista	175%	127%	33%	-24%

Fuente: Cálculos propios

El precio mínimo de venta para que el proyecto sea interesante para el inversionista, es del 88% de los precios originales. Con precios por debajo de este porcentaje el proyecto no es viable ya que el monto de la inversión nunca se va a poder recuperar, es decir, el proyecto arrojará pérdidas en su vida de funcionamiento.

➤ Análisis de sensibilidad para el volumen de fluidos vendidos

En este escenario se mantienen constantes todas las variables excepto el número de unidades vendidas al año.

**Tabla L31. Diferentes escenarios del volumen vendido**

Volumen total de fluidos (bbl)	Original	Escenario 1 (90%)	Escenario 2 (72%)	Escenario 3 (68%)
	37.035	33.332	26.665	25.184
TREMA	25%	25%	25%	25%
VPN (\$)	1.396.282.111	905.539.032	22.201.491	-174.095.740
TIR inversionista	175%	135%	31%	-31%

Fuente: Cálculos propios

Las venta se deben mantener por encima del 72% (26.665 barriles) de la producción anual para que el proyecto permanezca viable para el inversionista.

- Análisis de sensibilidad para aumento de los precios de materia prima

En este escenario se mantienen constantes todas las variables excepto el precio de compra de la materia prima.

**Tabla L32.** Diferentes escenarios del valor de la materia prima

Aumento en el costo de la materia prima	Original	Escenario 1 15%	Escenario 2 25%	Escenario 3 30%
TREMA	25%	25%	25%	25%
VPN (\$)	1.396.282.111	576.336.767	29.706.538	-243.608.577
TIR inversionista	175%	104%	35%	-28%

Fuente: Cálculos propios

El proyecto no es altamente sensible a los cambios en el valor de la materia prima, ya que incrementos grandes en el porcentaje del costo de la materia prima no afectan notoriamente la TIR. El proyecto puede soportar un incremento hasta del 25% en el costo de la materia prima antes de dejar de ser viable.

**Tabla L27. Flujo de fondos del inversionista (\$)**

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5
<b>INVERSIÓN</b>						
Activos Fijos	-203.140.000					
Activos Diferidos	-84.000.000					
Capital de Trabajo	-197.642.304	-2.611.250.126	-2.874.986.389	-3.165.360.014	-3.485.061.376	-3.837.052.575
<b>Inversión Total</b>	-484.782.304	-2.611.250.126	-2.874.986.389	-3.165.360.014	-3.485.061.376	-3.837.052.575
Crédito para la Inversión en Activos	484.782.304					
<b>Inversión Neta</b>		-2.611.250.126	-2.874.986.389	-3.165.360.014	-3.485.061.376	-3.837.052.575
Amortización Crédito		-72.760.421	-8.237.922	-95.224.182	-108.936.464	-124.623.315
<b>FLUJO NETO DE INVERSIÓN</b>		-2.684.010.547	-2.958.224.311	-3.260.584.197	-3.593.997.840	-3.961.675.890
<b>OPERACIÓN</b>						
<b>Ingresos</b>						
Ventas		6.139.993.191	6.390.690.163	6.643.180.064	6.897.063.596	7.151.949.290
<b>TOTAL INGRESOS</b>		6.139.993.191	6.390.690.163	6.643.180.064	6.897.063.596	7.151.949.290
<b>Costos</b>						
Costos de Producción		-429.013.200	-449.442.400	-469.871.600	-490.300.800	-510.730.000
Gastos de Administración		-97.503.000	-102.146.000	-106.789.000	-111.432.000	-116.075.000
Depreciación		-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000
<b>TOTAL COSTOS OPERACIONALES</b>		-545.480.200	-570.552.400	-595.624.600	-620.696.800	-645.769.000
Utilidad Operacional		5.594.512.991	5.820.137.763	6.047.555.464	6.276.366.796	6.506.180.290
Gastos Financieros		-69.808.652	-59.331.151	-47.344.891	-33.632.608	-17.945.757
<b>Utilidad Gravable</b>		5.524.704.339	5.760.806.611	6.000.210.573	6.242.734.188	6.488.234.533
Impuestos (35%)		-1.933.646.519	-2.016.282.314	-2.100.073.701	-2.184.956.966	-2.270.882.086
Amortización Diferidos		-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000
<b>UTILIDAD NETA</b>		3.574.257.820	3.727.724.297	3.883.336.873	4.040.977.222	4.200.552.446
Depreciación		18.964.000	18.964.000	18.964.000	18.964.000	18.964.000
Amortización Diferidos		16.800.000	16.800.000	16.800.000	16.800.000	16.800.000
<b>FLUJO NETO DE OPERACIÓN</b>		3.610.021.820	3.763.488.297	3.919.100.873	4.076.741.222	4.236.316.446
<b>FLUJO DE FONDO DEL INVERSIONISTA</b>	-484.782.304	926.011.273	805.263.987	658.516.676	482.743.382	274.640.556

**Tabla L28. Estados de resultados (\$)**

CONCEPTO	0	1	2	3	4	5
<b>Ventas</b>		6.139.993.191	6.390.690.163	6.643.180.064	6.897.063.596	7.151.949.290
Costos variables de producción		-2.412.523.591	-2.514.462.111	-2.616.957.370	-2.719.885.378	-2.823.124.575
Costos fijos sin depreciación		-149.920.187	-157.059.243	-164.198.300	-171.337.356	-178.476.413
Depreciación		-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000	-18.964.000
<b>Utilidad Bruta</b>		3.558.585.414	3.700.204.808	3.843.060.394	3.986.876.862	4.131.384.302
Amortización de diferidos		-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000	-16.800.000
<b>Utilidad Operativa</b>		3.541.785.414	3.683.404.808	3.826.260.394	3.970.076.862	4.114.584.302
Gastos financieros		-142.569.073	-142.569.073	-142.569.073	-142.569.073	-142.569.073
<b>Utilidad antes de Impuestos</b>		3.399.216.341	3.540.835.735	3.683.691.321	3.827.507.790	3.972.015.230
Impuestos (35%)		-1.189.725.719	-1.239.292.507	-1.289.291.962	-1.339.627.726	-1.390.205.330
<b>Utilidad Neta</b>		2.209.490.622	2.301.543.228	2.394.399.359	2.487.880.063	2.5818.098.99

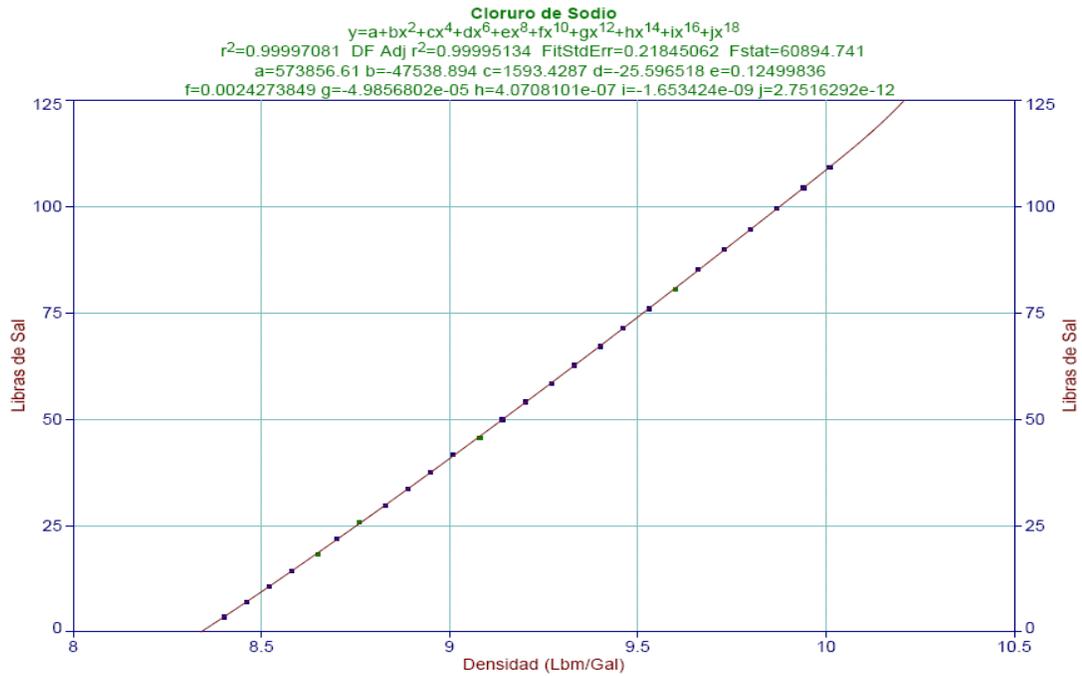
## **ANEXO M. DISEÑO DE SOFTWARE PARA CÁLCULO DE MATERIA PRIMA**

El objetivo de elaborar esta aplicación se debe a que normalmente los operadores del equipo desconocen los conceptos necesarios para saber cuánta es la cantidad de materia prima que se debe utilizar en la preparación de fluidos, por tal motivo se desarrolló esta herramienta que permiten al operario conocer fácilmente la cantidades de materia prima que se deben agregar al proceso. Para la elaboración de este software se usó MATLAB (MATrixLABoratory) como arquitectura para desarrollar el código y el ambiente fue elaborado con la aplicación GUIDE (GraphicalUser Interface DevelopmentEnviroment), los datos básicos para el desarrollo de este aplicación parten del manual Fluid – Baker Hughes INTEQ publicado en Agosto del 1998, y los ajustes se hicieron utilizando la versión de prueba del programa TableCurve versión 5.01.

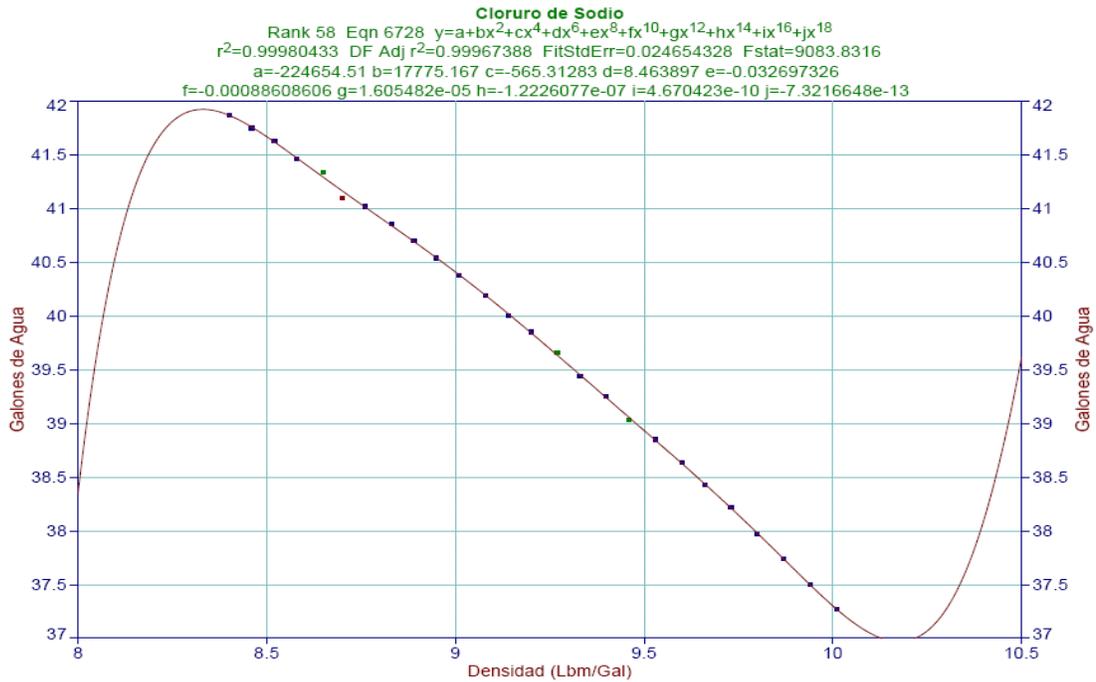
El procesamiento de la información parte de dos esquemas básicos, normalmente las empresas que requieren fluidos solicitan el tipo de salmuera, y la densidad en una de las siguientes formas, indicando la densidad de esta en Libras por Galón (LB/GAL), o el Porcentaje en Peso (%Peso), y obviamente la cantidad de salmuera solicitada, por ello se alberga el la aplicación desarrollada todos panoramas visibles y se trata de copilar todo de la forma más práctica y sencilla posible. A continuación presentamos el proceso realizado para el desarrollo de la aplicación:

1. Partimos del hecho de que muchos manuales cuentan con la información necesaria para poder realizar la aplicación pero no todos de forma completa, un ejemplo de ello es el manual BAROID, el cual tiene la información apropiada para realizar los cálculos necesarios para las salmueras base Cloruro de Sodio y Cloruro de Potasio, pero no cuenta con información relacionada con el Formiato de Sodio y Formiato de Potasio, luego de analizar la información suministrada por varios manuales decidimos realizar el trabajo con los datos del manual Baker Hughes por dos sencillas razones, cuenta con tablas para todos los manuales con los que actualmente trabaja la empresa PARKO SERVICES S.A, y el rango de % peso es más extenso y con información más detallada, respecto otros manuales.
2. Intentar programar una tabla presente en unos de estos manuales es muy dispendioso, por lo tanto se utilizaron los datos presentes en las tablas y se realizó el mejor ajuste que se pudiera lograr, observando que el error provocado por la función generada no sea mayor a 1%. Para ello se utilizó el programa TableCurveel cual nos permite hallar complejas funciones con un grado de

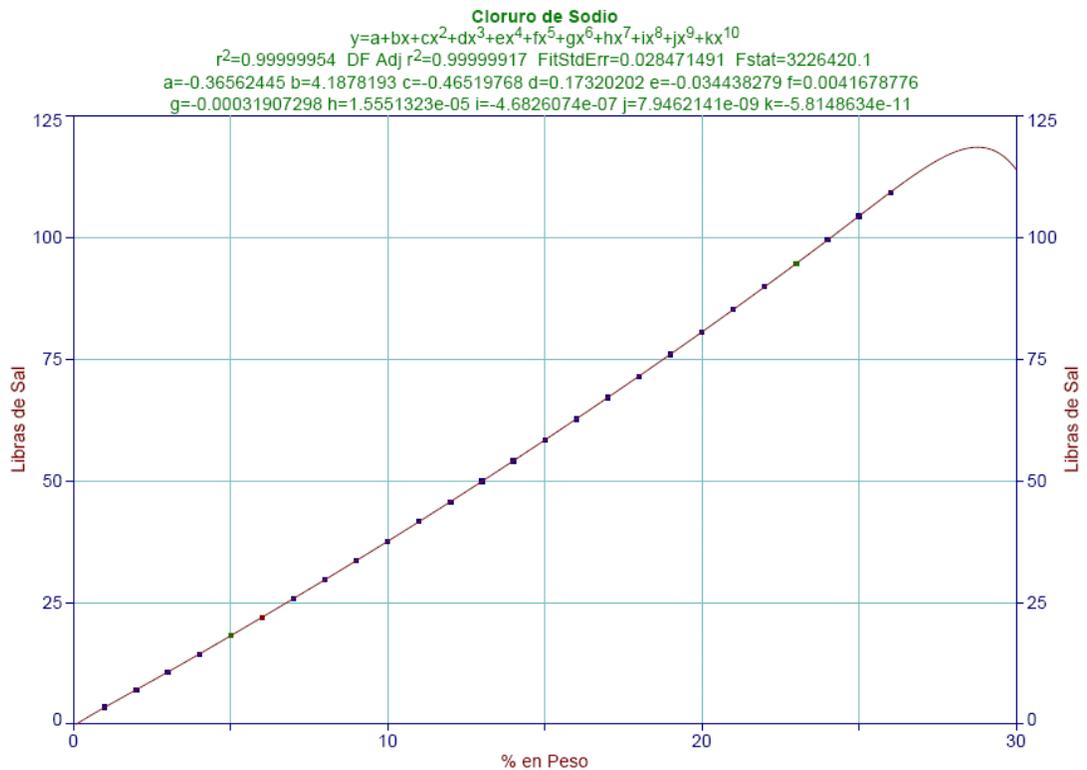
exactitud alto, los siguientes gráficos muestran los valores suministrados en las tablas y la función que mejor se ajusta:



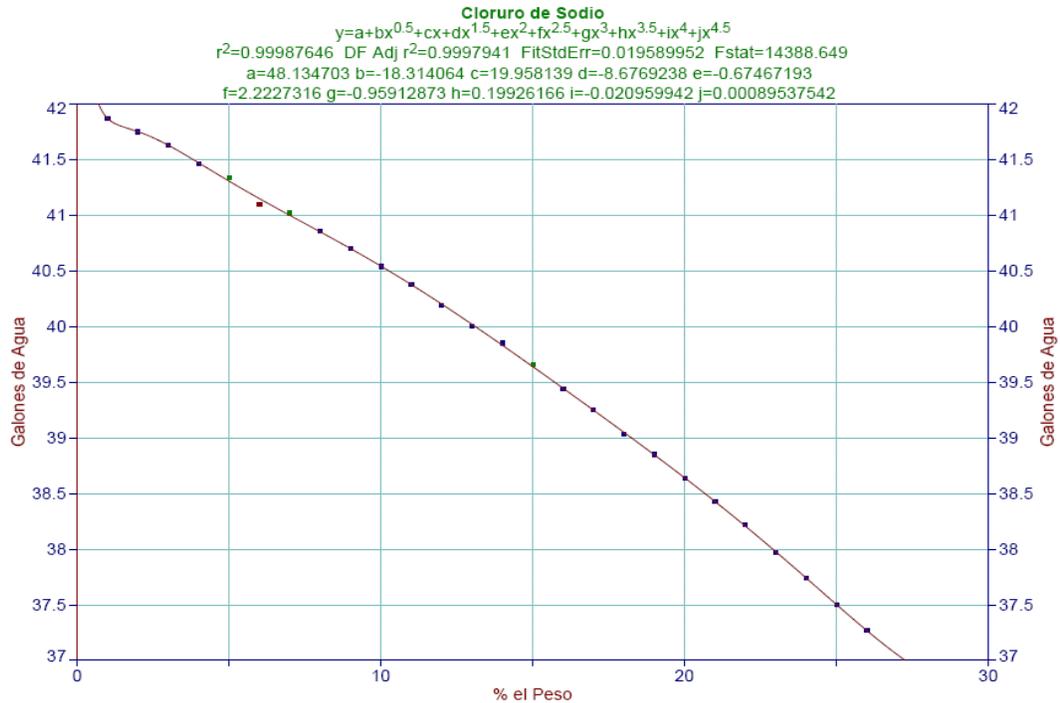
**Figura M1.** Ajuste de Cloruro de Sodio por Densidad Vs. Libras de sal



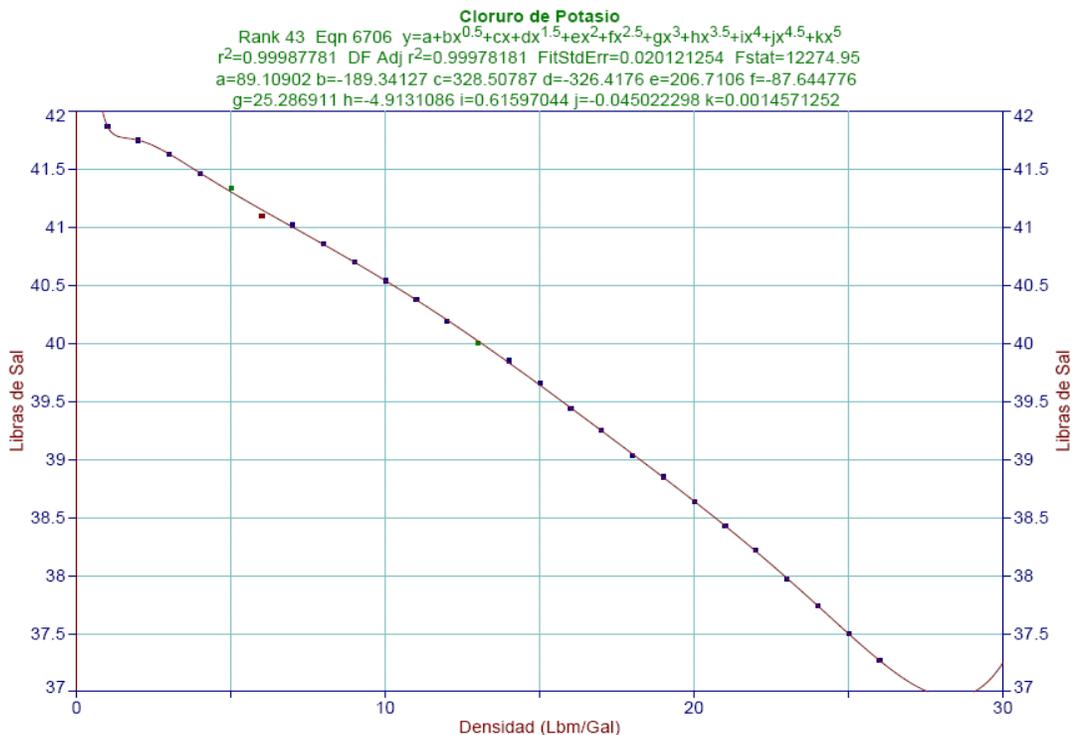
**Figura M2.**Ajuste de Cloruro de Sodio por Densidad Vs. Galones de agua



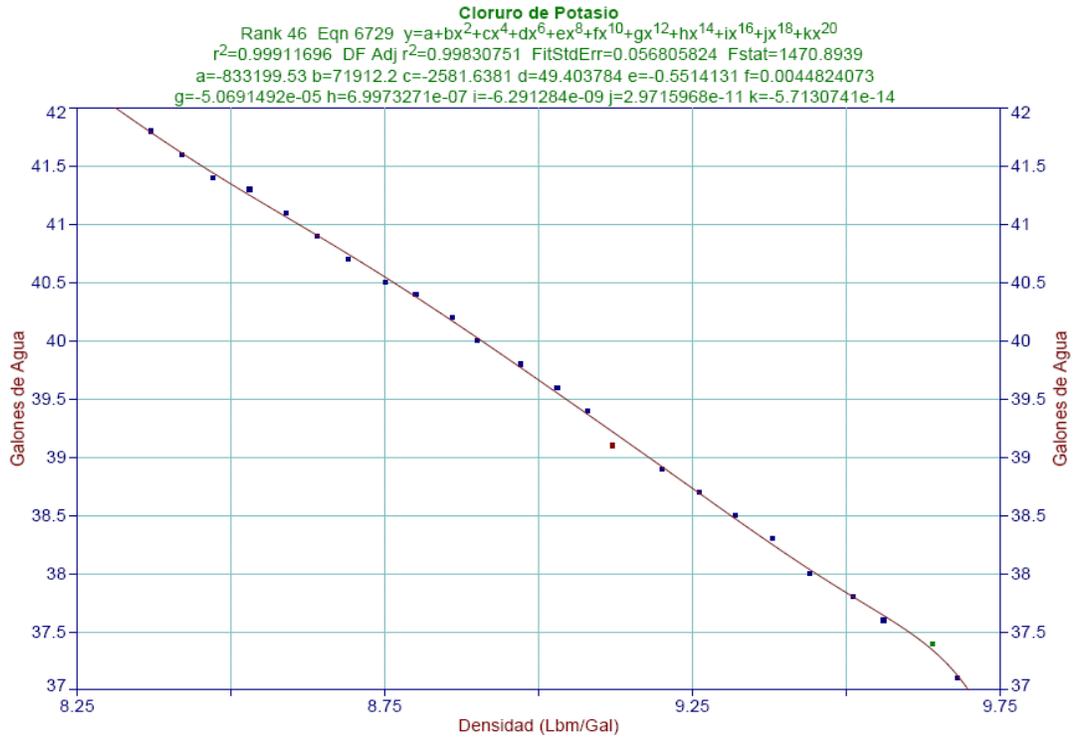
**Figura M3.**Ajuste de Cloruro de Sodio por % en peso Vs. Libras de sal



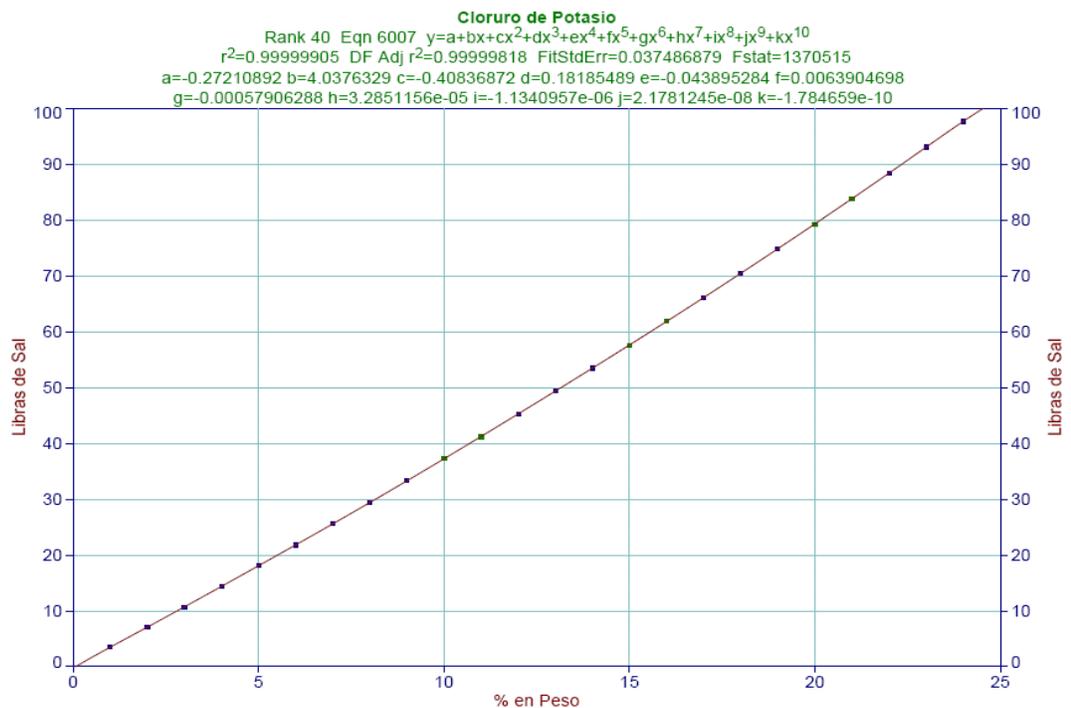
**Figura M4.** Ajuste de Cloruro de Sodio por % en peso Vs. Galones de agua



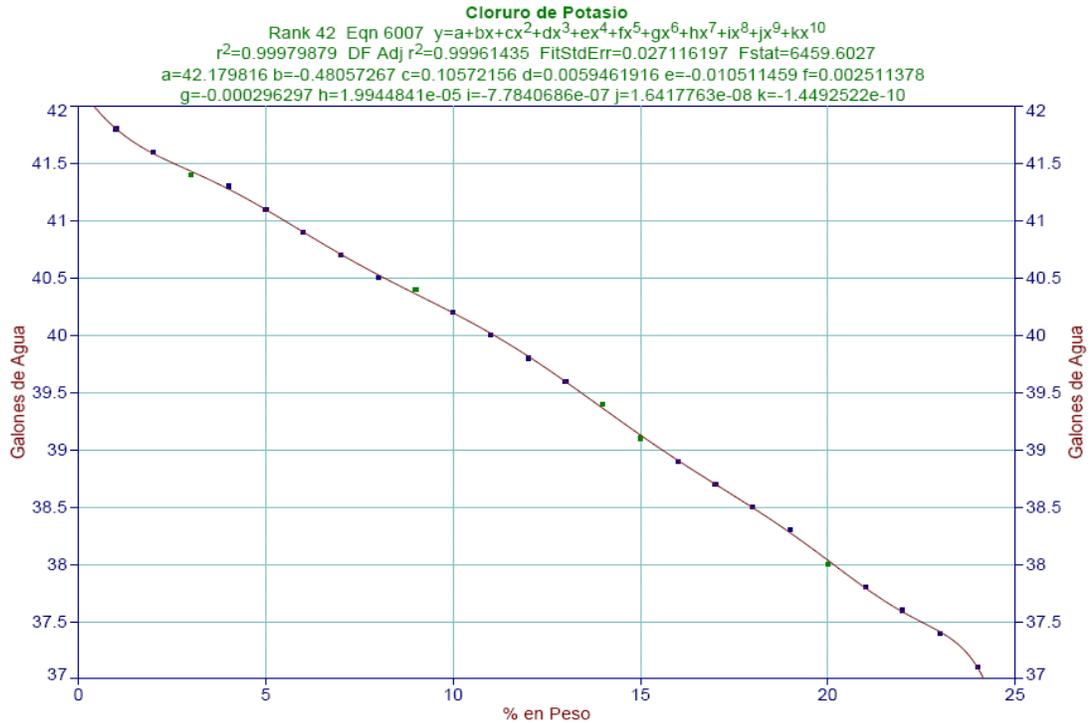
**Figura M5.** Ajuste de Cloruro de Potasio por Densidad Vs. Libras de sal



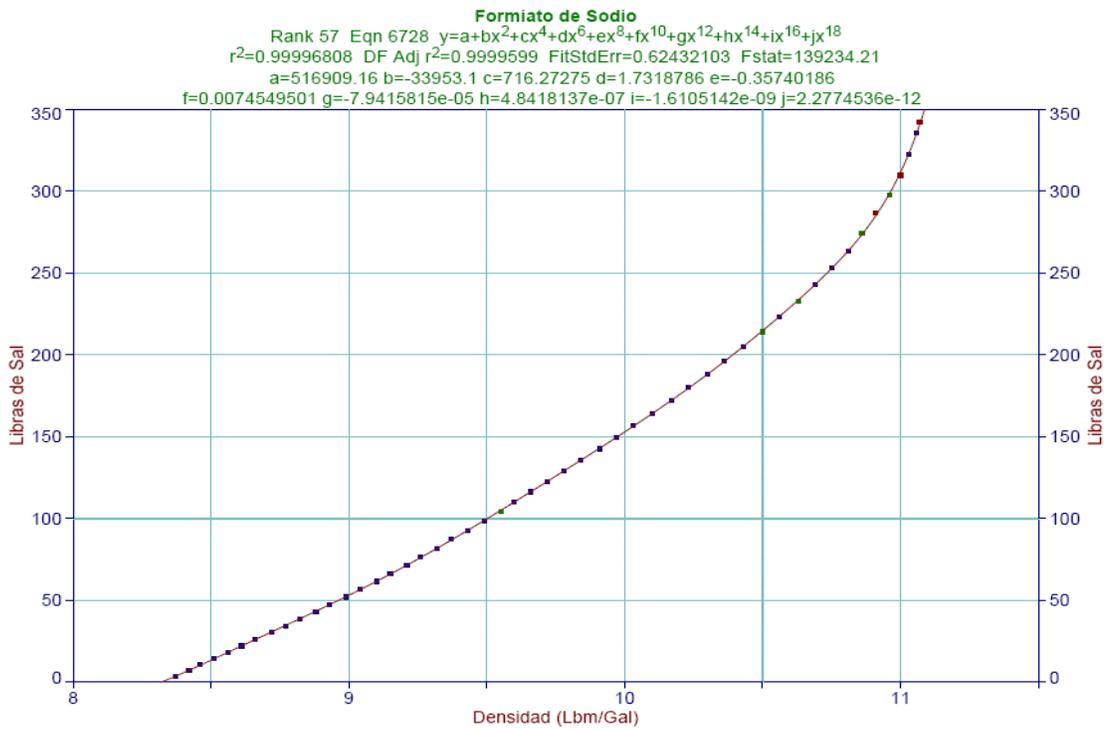
**Figura M6.** Ajuste de Cloruro de Potasio por Densidad Vs. Galones de agua



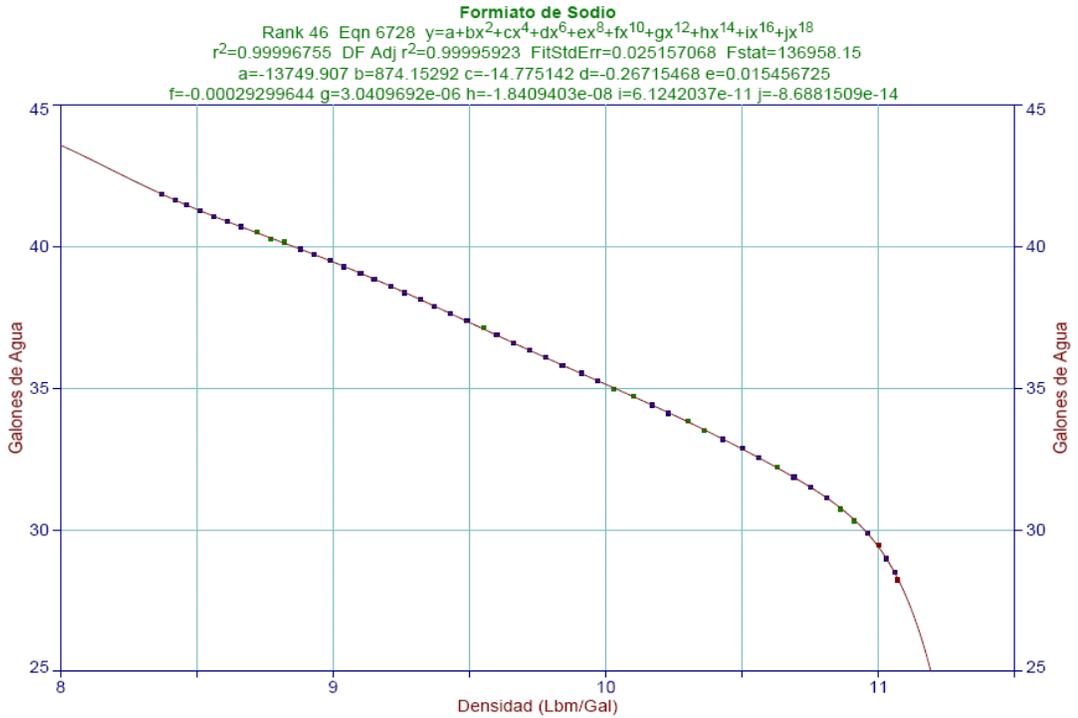
**Figura M7.** Ajuste de Cloruro de Potasio por % en peso Vs. Libras de sal



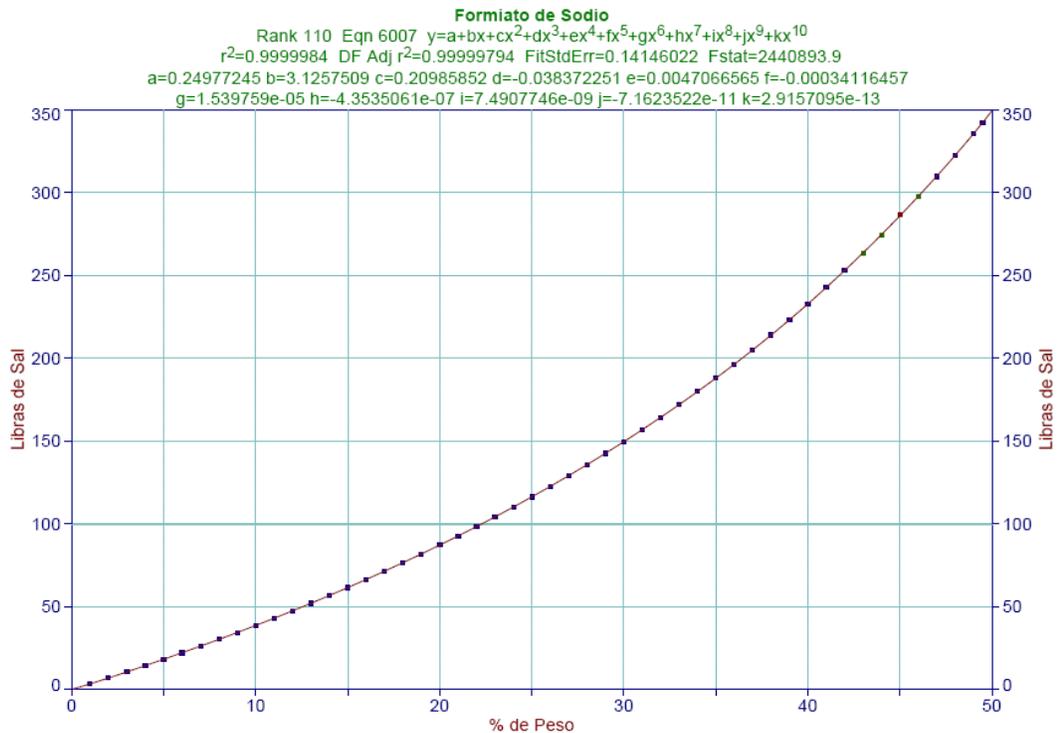
**Figura M8.** Ajuste de Cloruro de Potasio por % en peso Vs. Galones de agua



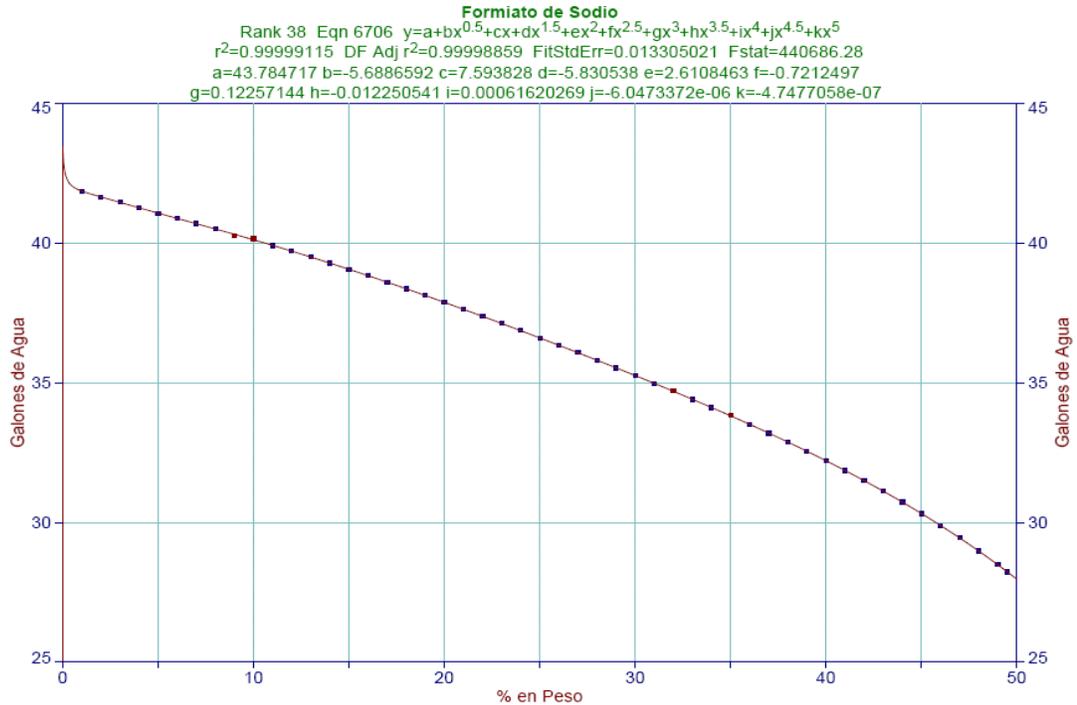
**Figura M9.** Ajuste de Formiato de Sodio por Densidad Vs. Libras de sal



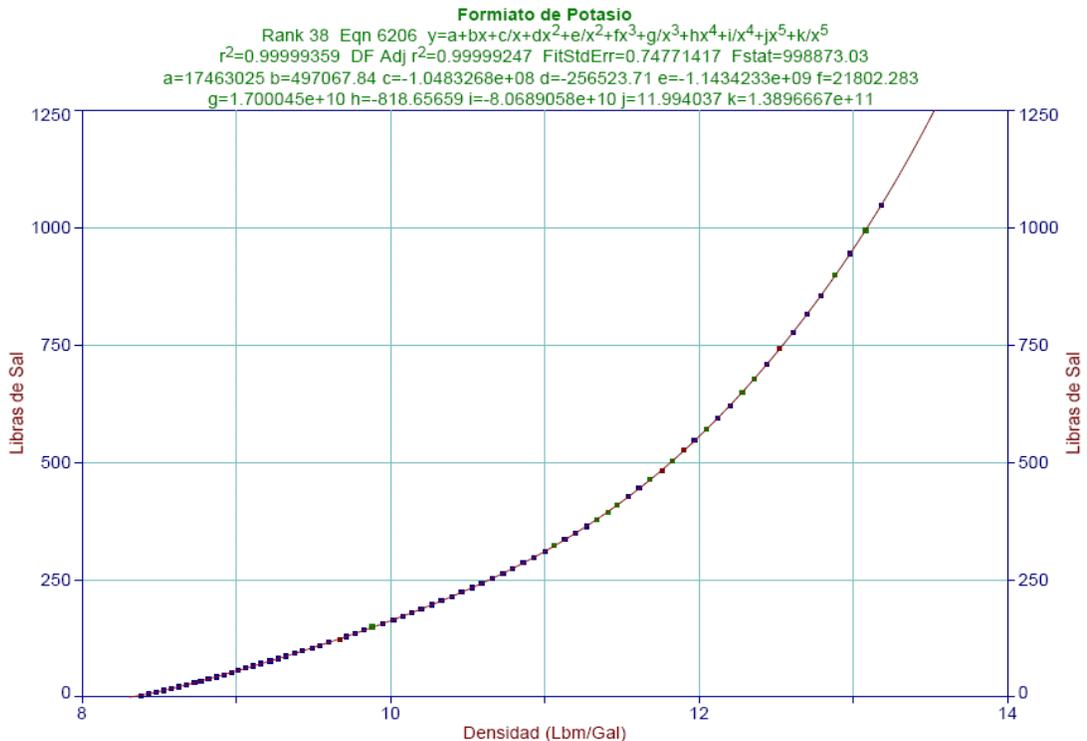
**Figura M10.**Ajuste de Formiato de Sodio por Densidad Vs. Galones de agua



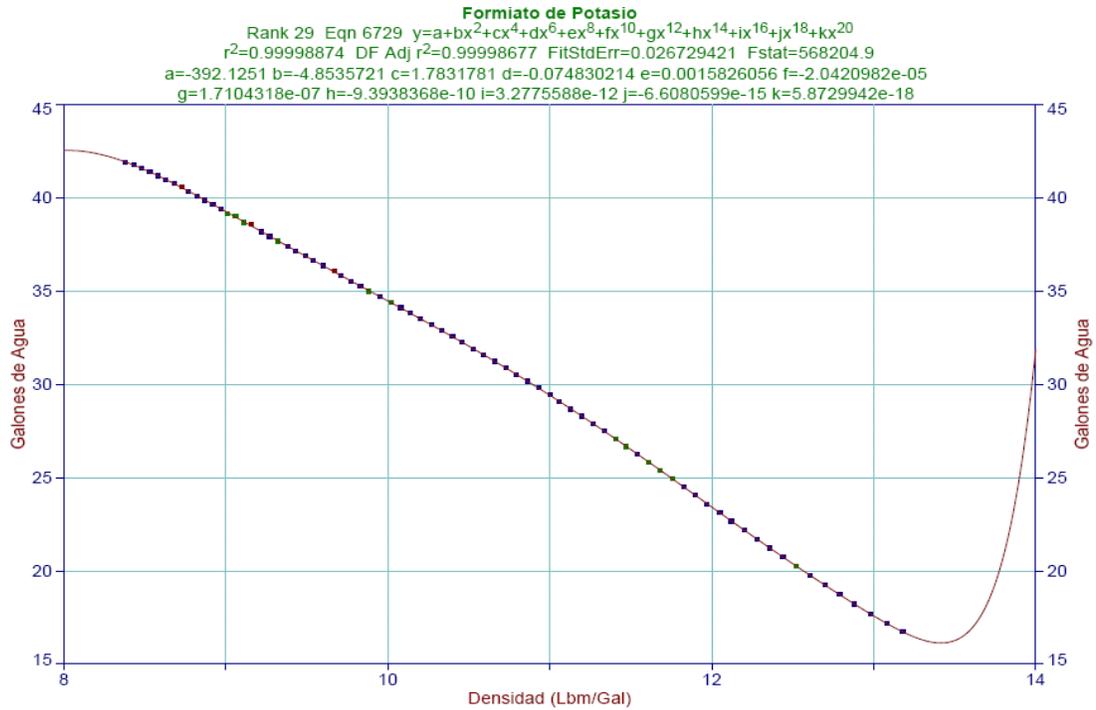
**Figura M11.**Ajuste de Formiato de Sodio por % en peso Vs. Libras de sal



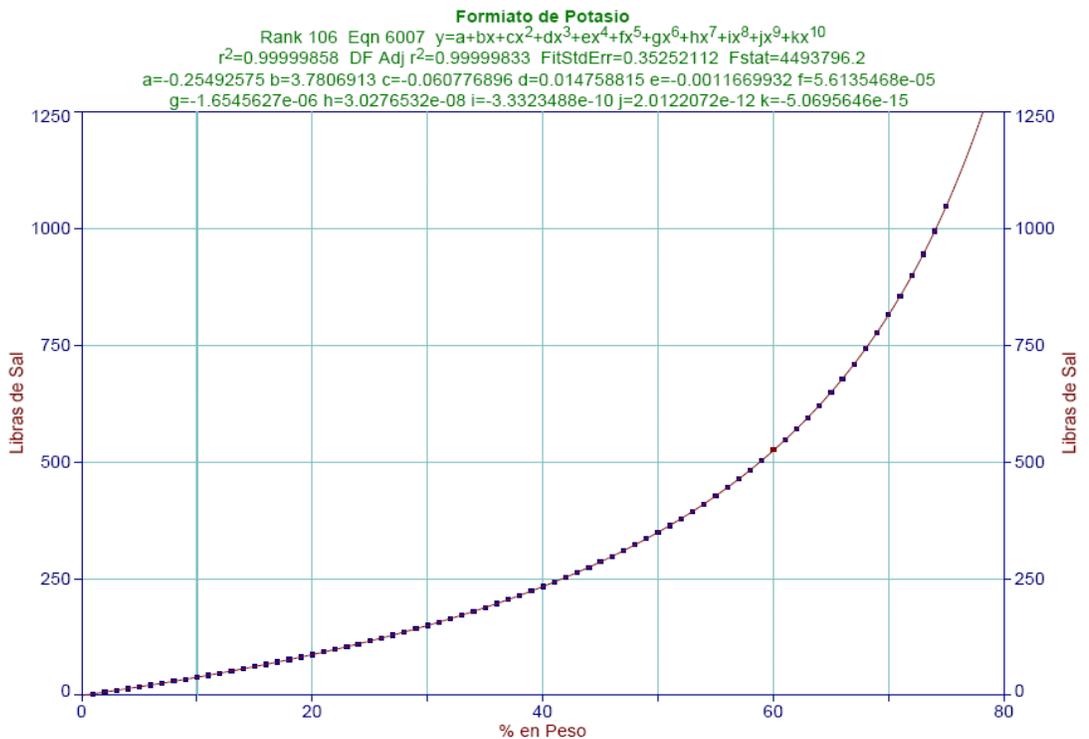
**Figura M12.** Ajuste de Formiato de Sodio por % en peso Vs. Galones de agua



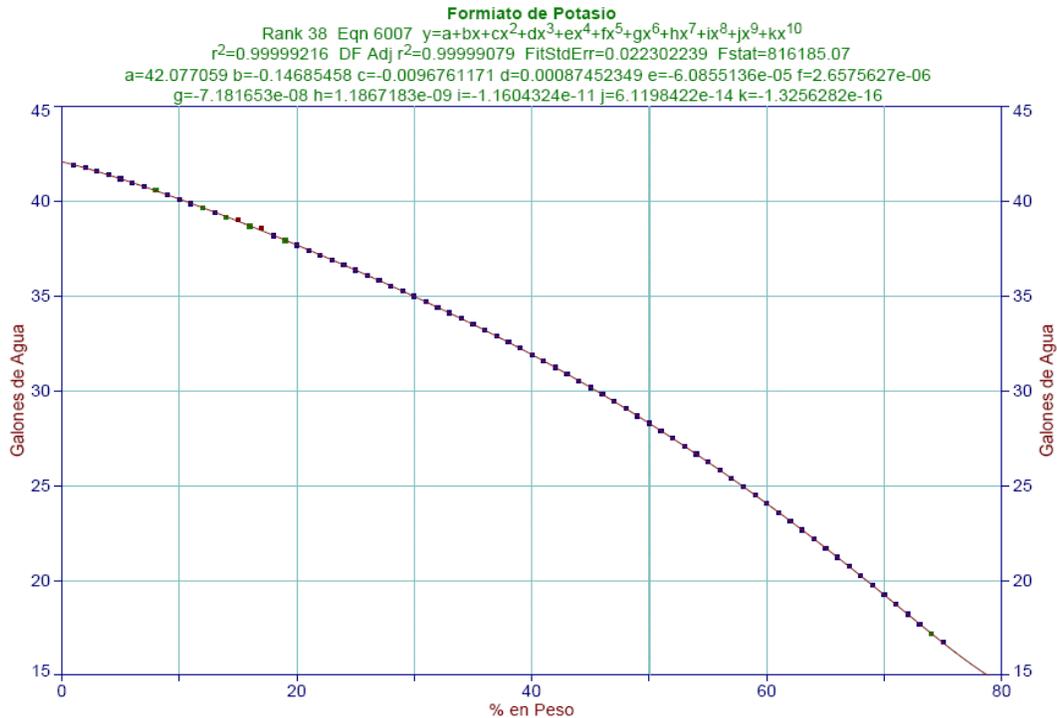
**Figura M13.** Ajuste de Formiato de Potasio por Densidad Vs. Libras de sal



**Figura M14.** Ajuste de Formiato de Potasio por Densidad Vs. Galones de agua



**Figura M15.** Ajuste de Formiato de Potasio por % en peso Vs. Libras de sal



**Figura M16.** Ajuste de Formiato de Potasio por % en peso Vs. Galones de agua

Los gráficos expuestos anteriormente datan todos los panoramas posibles, pero al momento de generar las funciones están se puede generar el error de calcular materia prima para densidad a la cual una sal no puede llegar, para ello se limita las condiciones de operación de cada función en el código del programa y por lo tanto si se llega a salir de los márgenes establecidos no se realizaran los cálculos, además de la preparación de salmueras nuevas, el software presenta dos apartados adicionales, uno de ellos corresponde a la cantidades de agentes químicos que se deben suministrar al fluido (*bactericida* y *Surfactante*), el otro hace referencia a las cantidades de materia adicional que se debe agregar para adecuar salmueras con fines de Re-uso. Los cálculos concernientes para este fin están basados en los suministrados en el manual de Baker Hughes del cual se tomaron los datos para determinar la materia prima para salmueras nuevas.

Ahora presentamos las tablas con los valores provenientes de las tablas de Baker Hughes junto con los valores que generan las funciones halladas y los errores que se incurrir. A partir de estos podemos observar en cada tabla que le valor del error promedio generado para cada caso es siempre menor de 1% por lo tanto las funciones generadas son de gran confiabilidad. Por último se presenta el código final que ejecuta MATLAB en la aplicación.

Cloruro de Sodio				Funciones Table-Curve				Porcentaje de Error			
Fluid - Baker Hughes INTEQ tables				Densidad		% Peso		Densidad		% Peso	
% Peso	Densidad (LPG)	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL
1.00	8.40	3.50	41.87	3.52	41.87	3.50	41.87	0.64	0.01	0.01	0.00
2.00	8.46	7.10	41.75	7.07	41.76	7.10	41.75	0.48	0.02	0.02	0.00
3.00	8.52	10.70	41.63	10.67	41.62	10.71	41.63	0.27	0.02	0.09	0.00
4.00	8.58	14.40	41.46	14.32	41.47	14.40	41.47	0.55	0.02	0.01	0.02
5.00	8.65	18.20	41.34	18.62	41.29	18.16	41.30	2.32	0.12	0.24	0.09
6.00	8.70	21.90	41.10	21.72	41.16	21.96	41.15	0.82	0.16	0.27	0.12
7.00	8.76	25.80	41.02	25.47	41.02	25.80	41.00	1.28	0.01	0.00	0.05
8.00	8.83	29.70	40.86	29.88	40.84	29.68	40.85	0.61	0.04	0.08	0.02
9.00	8.89	33.60	40.70	33.70	40.69	33.60	40.70	0.29	0.02	0.00	0.00
10.00	8.95	37.60	40.54	37.54	40.54	37.58	40.54	0.15	0.00	0.06	0.00
11.00	9.01	41.60	40.38	41.42	40.38	41.62	40.37	0.42	0.01	0.05	0.01
12.00	9.08	45.70	40.19	45.98	40.19	45.72	40.20	0.62	0.00	0.05	0.03
13.00	9.14	49.90	40.00	49.92	40.02	49.89	40.02	0.05	0.05	0.03	0.05
14.00	9.20	54.10	39.85	53.89	39.84	54.11	39.83	0.40	0.01	0.01	0.04
15.00	9.27	58.40	39.66	58.54	39.63	58.38	39.64	0.23	0.06	0.04	0.05
16.00	9.33	62.70	39.44	62.55	39.45	62.70	39.45	0.24	0.03	0.01	0.01
17.00	9.40	67.10	39.25	67.25	39.24	67.08	39.25	0.23	0.03	0.02	0.01
18.00	9.46	71.50	39.03	71.31	39.06	71.52	39.05	0.27	0.07	0.03	0.05
19.00	9.53	76.00	38.85	76.07	38.84	76.02	38.85	0.09	0.02	0.03	0.01
20.00	9.60	80.60	38.64	80.86	38.63	80.58	38.64	0.33	0.03	0.03	0.00
21.00	9.66	85.20	38.43	84.99	38.44	85.20	38.43	0.25	0.02	0.00	0.00
22.00	9.73	89.90	38.22	89.82	38.21	89.88	38.21	0.08	0.02	0.02	0.03
23.00	9.80	94.60	37.97	94.67	37.98	94.64	37.98	0.07	0.02	0.04	0.02
24.00	9.87	99.50	37.74	99.52	37.74	99.48	37.74	0.02	0.00	0.02	0.00
25.00	9.94	104.40	37.50	104.38	37.50	104.40	37.50	0.02	0.01	0.00	0.00
Promedio %								0.41	0.03	0.04	0.02

Cloruro de Potasio				Funciones Table-Curve				Porcentaje de Error			
Fluid - Baker Hughes INTEQ tables				Densidad		% Peso		Densidad		% Peso	
% Peso	Densidad (LPG)	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL
1.00	8.37	3.50	41.80	3.51	41.79	3.50	41.80	0.41	0.03	0.03	0.01
2.00	8.42	7.10	41.60	7.13	41.61	7.09	41.58	0.43	0.03	0.09	0.04
3.00	8.47	10.70	41.40	10.52	41.44	10.72	41.43	1.66	0.10	0.15	0.08
4.00	8.53	14.40	41.30	14.46	41.25	14.39	41.28	0.44	0.12	0.09	0.06
5.00	8.59	18.10	41.10	18.41	41.06	18.09	41.10	1.71	0.09	0.05	0.01
6.00	8.64	21.80	40.90	21.78	40.90	21.82	40.90	0.11	0.01	0.09	0.00
7.00	8.69	25.60	40.70	25.24	40.74	25.59	40.71	1.40	0.11	0.05	0.02
8.00	8.75	29.40	40.50	29.53	40.55	29.41	40.53	0.44	0.12	0.04	0.07
9.00	8.80	33.30	40.40	33.19	40.38	33.30	40.36	0.34	0.06	0.00	0.10
10.00	8.86	37.30	40.20	37.63	40.17	37.25	40.19	0.87	0.08	0.13	0.01
11.00	8.90	41.20	40.00	40.59	40.02	41.26	40.02	1.49	0.06	0.14	0.04
12.00	8.97	45.30	39.80	45.73	39.77	45.30	39.82	0.94	0.07	0.00	0.04
13.00	9.03	49.40	39.60	50.06	39.55	49.38	39.60	1.33	0.12	0.05	0.01
14.00	9.08	53.50	39.40	53.61	39.37	53.49	39.36	0.20	0.09	0.02	0.10
15.00	9.12	57.60	39.10	56.43	39.22	57.64	39.13	2.04	0.30	0.07	0.07
16.00	9.20	61.90	38.90	62.04	38.92	61.86	38.91	0.23	0.05	0.07	0.02
17.00	9.26	66.10	38.70	66.29	38.69	66.14	38.70	0.29	0.02	0.05	0.00
18.00	9.32	70.50	38.50	70.60	38.47	70.48	38.49	0.14	0.08	0.02	0.02
19.00	9.38	74.90	38.30	74.94	38.25	74.89	38.27	0.05	0.14	0.02	0.07
20.00	9.44	79.30	38.00	79.27	38.04	79.34	38.04	0.04	0.09	0.05	0.10
21.00	9.51	83.90	37.80	84.21	37.80	83.85	37.79	0.37	0.01	0.06	0.01
22.00	9.56	88.40	37.60	87.70	37.64	88.43	37.58	0.80	0.11	0.04	0.04
23.00	9.64	93.10	37.40	93.69	37.34	93.09	37.41	0.63	0.16	0.01	0.03
24.00	9.68	97.70	37.10	97.45	37.13	97.70	37.10	0.25	0.07	0.00	0.01
Promedio %								0.69	0.09	0.06	0.04

Formiato de Sodio				Funciones Table-Curve				Error Porcentual			
Fluid - Baker Hughes INTEQ tables				Densidad		% Peso		Densidad		% Peso	
% Peso	Densidad (LPG)	GAL/BBL	LB/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL
1.00	8.37	41.86	3.53	3.54	41.85	3.55	41.86	0.02	0.35	0.00	0.61
2.00	8.42	41.65	7.13	7.11	41.65	7.10	41.65	0.00	0.25	0.00	0.43
3.00	8.46	41.46	10.81	10.80	41.46	10.79	41.46	0.01	0.11	0.00	0.20
4.00	8.51	41.26	14.56	14.54	41.27	14.57	41.26	0.01	0.11	0.00	0.05
5.00	8.56	41.07	18.39	18.38	41.08	18.41	41.07	0.01	0.06	0.00	0.13
6.00	8.61	40.88	22.30	22.34	40.88	22.33	40.88	0.00	0.18	0.00	0.12
7.00	8.66	40.70	26.30	26.30	40.69	26.31	40.69	0.01	0.01	0.00	0.04
8.00	8.72	40.51	30.38	30.37	40.50	30.38	40.50	0.01	0.03	0.01	0.00
9.00	8.77	40.27	34.55	34.57	40.31	34.54	40.31	0.09	0.05	0.10	0.03
10.00	8.82	40.16	38.82	38.83	40.11	38.80	40.11	0.12	0.02	0.11	0.06
11.00	8.88	39.91	43.18	43.16	39.91	43.16	39.91	0.01	0.04	0.00	0.06
12.00	8.93	39.71	47.64	47.67	39.71	47.62	39.71	0.01	0.06	0.00	0.04
13.00	8.99	39.50	52.20	52.18	39.50	52.20	39.50	0.00	0.04	0.00	0.01
14.00	9.04	39.28	56.87	56.87	39.28	56.88	39.28	0.01	0.00	0.01	0.01
15.00	9.10	39.06	61.65	61.66	39.06	61.67	39.06	0.00	0.02	0.00	0.03
16.00	9.15	38.83	66.55	66.55	38.84	66.57	38.84	0.02	0.00	0.01	0.03
17.00	9.21	38.60	71.56	71.54	38.61	71.58	38.60	0.01	0.03	0.00	0.03
18.00	9.26	38.37	76.69	76.73	38.37	76.71	38.37	0.00	0.05	0.00	0.03
19.00	9.32	38.12	81.95	81.91	38.13	81.96	38.13	0.02	0.04	0.00	0.02
20.00	9.37	37.88	87.34	87.29	37.89	87.34	37.88	0.01	0.05	0.00	0.00
21.00	9.43	37.63	92.87	92.87	37.63	92.86	37.63	0.00	0.00	0.01	0.01
22.00	9.49	37.38	98.54	98.54	37.38	98.52	37.38	0.01	0.00	0.01	0.02
23.00	9.55	37.13	104.36	104.39	37.12	104.33	37.12	0.02	0.03	0.01	0.03
24.00	9.60	36.87	110.33	110.34	36.86	110.30	36.86	0.03	0.01	0.01	0.03
25.00	9.66	36.60	116.46	116.48	36.60	116.44	36.60	0.02	0.02	0.00	0.02
26.00	9.72	36.34	122.75	122.70	36.34	122.74	36.34	0.01	0.04	0.00	0.01

27.00	9.78	36.08	129.22	129.22	36.07	129.22	36.07	0.02	0.00	0.00	0.00
28.00	9.84	35.80	135.87	135.83	35.80	135.88	35.81	0.00	0.03	0.01	0.01
29.00	9.91	35.53	142.70	142.74	35.53	142.73	35.54	0.00	0.03	0.02	0.02
30.00	9.97	35.25	149.73	149.75	35.26	149.76	35.26	0.02	0.01	0.03	0.02
31.00	10.03	34.97	156.96	156.98	34.99	157.00	34.98	0.03	0.01	0.02	0.02
32.00	10.10	34.73	164.41	164.43	34.71	164.44	34.70	0.07	0.01	0.09	0.02
33.00	10.17	34.40	172.08	172.14	34.42	172.09	34.41	0.06	0.03	0.04	0.01
34.00	10.23	34.11	179.98	180.00	34.13	179.98	34.12	0.05	0.01	0.03	0.00
35.00	10.30	33.85	188.12	188.06	33.83	188.10	33.82	0.07	0.03	0.10	0.01
36.00	10.36	33.50	196.52	196.47	33.52	196.48	33.51	0.03	0.03	0.03	0.02
37.00	10.43	33.19	205.19	205.16	33.19	205.13	33.20	0.00	0.01	0.02	0.03
38.00	10.50	32.87	214.13	214.07	32.87	214.08	32.88	0.03	0.03	0.01	0.03
39.00	10.56	32.55	223.37	223.25	32.53	223.33	32.55	0.04	0.05	0.00	0.02
40.00	10.63	32.21	232.91	232.93	32.19	232.91	32.21	0.05	0.01	0.00	0.00
41.00	10.69	31.86	242.78	242.91	31.85	242.83	31.86	0.04	0.05	0.00	0.02
42.00	10.75	31.50	252.99	253.10	31.50	253.10	31.49	0.01	0.04	0.01	0.05
43.00	10.81	31.12	263.56	263.75	31.14	263.73	31.12	0.07	0.07	0.00	0.07
44.00	10.86	30.73	274.51	274.83	30.76	274.73	30.73	0.09	0.12	0.00	0.08
45.00	10.91	30.32	286.86	286.03	30.35	286.09	30.32	0.09	0.29	0.00	0.27
46.00	10.96	29.89	297.61	297.73	29.89	297.83	29.89	0.00	0.04	0.00	0.07
47.00	11.00	29.45	309.82	309.75	29.41	309.96	29.45	0.13	0.02	0.00	0.04
48.00	11.03	28.98	322.50	322.24	28.92	322.53	28.98	0.18	0.08	0.00	0.01
49.00	11.06	28.49	335.67	336.07	28.47	335.64	28.48	0.05	0.12	0.00	0.01
49.50	11.07	28.23	342.45	342.76	28.30	342.44	28.23	0.24	0.09	0.00	0.00
Promedio								0.04	0.06	0.01	0.06

Formiato de Sodio				Funciones Table-Curve				Error Porcentual			
Fluid - Baker Hughes INTEQ tables				Densidad		% Peso		Densidad		% Peso	
% Peso	Densidad (LPG)	GAL/BBL	LB/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	GAL/BBL	LB/BBL	GAL/BBL	LB/BBL
1	8.38	41.92	3.53	3.56	41.92	3.48	41.92	0.01	0.87	0.00	1.46
2	8.43	41.75	7.13	7.09	41.75	7.16	41.75	0.00	0.55	0.00	0.48
3	8.48	41.57	10.81	10.81	41.57	10.86	41.57	0.01	0.04	0.00	0.43
4	8.53	41.38	14.56	14.55	41.38	14.59	41.38	0.00	0.04	0.00	0.22
5	8.58	41.18	18.39	18.35	41.18	18.40	41.18	0.01	0.20	0.00	0.03
6	8.63	40.97	22.30	22.28	40.98	22.28	40.97	0.01	0.11	0.00	0.07
7	8.68	40.76	26.30	26.31	40.77	26.26	40.76	0.01	0.02	0.01	0.14
8	8.73	40.59	30.38	30.43	40.55	30.34	40.55	0.08	0.17	0.09	0.13
9	8.77	40.33	34.55	34.56	40.34	34.52	40.33	0.03	0.03	0.02	0.09
10	8.82	40.10	38.82	38.85	40.11	38.79	40.11	0.03	0.09	0.03	0.07
11	8.87	39.87	43.18	43.22	39.88	43.17	39.88	0.04	0.09	0.04	0.02
12	8.92	39.63	47.64	47.65	39.66	47.65	39.65	0.06	0.03	0.05	0.01
13	8.97	39.40	52.20	52.24	39.42	52.22	39.42	0.05	0.08	0.06	0.04
14	9.01	39.16	56.87	56.89	39.18	56.90	39.18	0.06	0.04	0.06	0.06
15	9.06	39.00	61.65	61.60	38.94	61.69	38.94	0.14	0.08	0.14	0.06
16	9.11	38.67	66.55	66.56	38.70	66.58	38.70	0.06	0.01	0.07	0.05
17	9.16	38.59	71.56	71.47	38.45	71.59	38.45	0.36	0.12	0.37	0.04
18	9.22	38.18	76.68	76.64	38.20	76.71	38.20	0.06	0.05	0.06	0.04
19	9.27	37.92	81.95	81.87	37.95	81.96	37.95	0.06	0.10	0.06	0.02
20	9.32	37.67	87.34	87.26	37.69	87.34	37.69	0.06	0.09	0.06	0.00
21	9.38	37.41	92.87	92.81	37.43	92.86	37.43	0.05	0.06	0.05	0.01
22	9.43	37.15	98.54	98.43	37.17	98.52	37.17	0.05	0.11	0.04	0.02
23	9.49	36.89	104.36	104.32	36.90	104.33	36.90	0.03	0.03	0.03	0.03
24	9.54	36.63	110.33	110.30	36.64	110.29	36.63	0.03	0.03	0.02	0.04
25	9.60	36.36	116.46	116.45	36.37	116.42	36.36	0.01	0.01	0.01	0.04

26	9.67	36.09	122.75	123.91	36.04	122.71	36.09	0.13	0.94	0.00	0.03
27	9.71	35.82	129.22	129.25	35.82	129.19	35.82	0.00	0.02	0.01	0.03
28	9.77	35.54	135.87	135.90	35.54	135.84	35.54	0.01	0.02	0.01	0.02
29	9.83	35.26	142.70	142.66	35.26	142.69	35.26	0.01	0.03	0.02	0.01
30	9.88	34.98	149.73	148.59	35.02	149.73	34.97	0.12	0.76	0.01	0.00
31	9.95	34.69	156.96	157.00	34.69	156.98	34.69	0.02	0.03	0.02	0.01
32	10.02	34.40	164.41	164.49	34.39	164.44	34.40	0.03	0.05	0.02	0.02
33	10.08	34.11	172.08	172.13	34.10	172.12	34.10	0.03	0.03	0.02	0.02
34	10.14	33.81	179.98	180.04	33.80	180.02	33.80	0.02	0.04	0.01	0.02
35	10.20	33.50	188.12	188.14	33.50	188.17	33.50	0.02	0.01	0.01	0.03
36	10.27	33.19	196.52	196.54	33.19	196.57	33.19	0.01	0.01	0.00	0.03
37	10.33	32.88	205.19	205.28	32.87	205.23	32.88	0.03	0.05	0.00	0.02
38	10.40	32.56	214.13	214.25	32.56	214.17	32.56	0.02	0.05	0.00	0.02
39	10.46	32.24	223.37	223.44	32.23	223.39	32.24	0.02	0.03	0.00	0.01
40	10.53	31.91	232.91	232.89	31.91	232.92	31.91	0.00	0.01	0.01	0.01
41	10.59	31.57	242.78	242.75	31.57	242.77	31.58	0.00	0.01	0.02	0.00
42	10.66	31.23	252.99	252.91	31.23	252.96	31.24	0.00	0.03	0.01	0.01
43	10.73	30.88	263.56	263.54	30.88	263.51	30.89	0.00	0.01	0.02	0.02
44	10.79	30.53	274.51	274.51	30.53	274.44	30.54	0.00	0.00	0.02	0.02
45	10.86	30.17	285.85	285.84	30.17	285.78	30.18	0.00	0.00	0.01	0.03
46	10.93	29.81	297.61	297.55	29.81	297.53	29.81	0.00	0.02	0.01	0.03
47	11.00	29.43	309.82	309.86	29.43	309.74	29.44	0.00	0.01	0.01	0.03
48	11.06	29.06	322.50	322.42	29.06	322.43	29.06	0.01	0.03	0.01	0.02
49	11.13	28.67	335.67	335.63	28.68	335.62	28.67	0.01	0.01	0.00	0.02
50	11.20	28.29	349.37	349.32	28.29	349.34	28.28	0.01	0.01	0.02	0.01
51	11.27	27.89	363.63	363.54	27.89	363.64	27.89	0.01	0.03	0.01	0.00
52	11.34	27.49	378.48	378.51	27.49	378.53	27.48	0.00	0.01	0.01	0.01
53	11.41	27.08	393.97	394.06	27.08	394.07	27.07	0.01	0.02	0.02	0.02

54	11.47	26.66	410.13	410.21	26.66	410.28	26.66	0.00	0.02	0.02	0.04
55	11.54	26.24	427.01	427.23	26.24	427.21	26.24	0.00	0.05	0.01	0.05
56	11.61	25.81	444.65	444.91	25.81	444.90	25.81	0.01	0.06	0.01	0.06
57	11.68	25.38	463.12	463.28	25.38	463.41	25.38	0.02	0.03	0.00	0.06
58	11.76	24.94	482.46	482.90	24.94	482.79	24.94	0.01	0.09	0.00	0.07
59	11.83	24.50	502.75	503.00	24.50	503.10	24.50	0.01	0.05	0.01	0.07
60	11.90	24.05	527.06	524.46	24.04	524.41	24.05	0.01	0.49	0.01	0.50
61	11.97	23.59	546.45	546.74	23.59	546.80	23.59	0.01	0.05	0.02	0.06
62	12.05	23.13	570.02	570.49	23.13	570.35	23.13	0.00	0.08	0.02	0.06
63	12.12	22.66	594.87	595.15	22.66	595.15	22.66	0.01	0.05	0.02	0.05
64	12.20	22.19	621.10	621.42	22.19	621.33	22.19	0.01	0.05	0.02	0.04
65	12.28	21.71	648.83	649.03	21.71	648.99	21.71	0.02	0.03	0.02	0.02
66	12.36	21.22	678.19	678.41	21.23	678.28	21.23	0.02	0.03	0.01	0.01
67	12.44	20.74	709.33	709.30	20.74	709.35	20.73	0.02	0.00	0.01	0.00
68	12.52	20.24	742.41	742.15	20.25	742.38	20.24	0.04	0.04	0.02	0.00
69	12.61	19.74	777.63	777.51	19.74	777.56	19.73	0.02	0.02	0.03	0.01
70	12.70	19.24	815.20	814.68	19.24	815.12	19.23	0.03	0.06	0.04	0.01
71	12.79	18.73	855.35	856.02	18.72	855.29	18.72	0.07	0.08	0.04	0.01
72	12.88	18.22	898.38	898.12	18.21	898.36	18.21	0.02	0.03	0.02	0.00
73	12.98	17.70	944.59	944.78	17.69	944.62	17.70	0.01	0.02	0.05	0.00
74	13.08	17.17	994.36	994.26	17.20	994.41	17.20	0.14	0.01	0.17	0.01
75	13.18	16.73	1048.11	1048.12	16.72	1048.09	16.70	0.03	0.00	0.12	0.00
Promedio								0.03	0.09	0.03	0.07

## MATLAB – GUIDE

```
function varargout = Parko2(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @Parko2_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn',  @Parko2_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn',  [] , ...
'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function Parko2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = Parko2_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function PSR_Callback(hObject, eventdata, handles)
TSR = menu('Selección Sal', 'Clururo de Sodio', 'Clururo de  
Potasio', 'Formiato de Sodio', 'Formiato de Potasio');
if TSR == 1
    set(handles.TTSR, 'string', 'Clururo de Sodio')
    sg=2.163;
elseif TSR == 2
    set(handles.TTSR, 'string', 'Clururo de Potasio')
    sg=1.988;
elseif TSR == 3
    set(handles.TTSR, 'string', 'Formiato de Sodio')
    sg=1.92;
elseif TSR == 4
    set(handles.TTSR, 'string', 'Formiato de Potasio')
    sg=1.52;
else
end
handles.TSR = TSR;
handles.sg = sg;
guidata(hObject, handles)
```

```
functionLN_Callback(hObject, eventdata, handles)

functionLN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

functionGN_Callback(hObject, eventdata, handles)

functionGN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

functionVN_Callback(hObject, eventdata, handles)

functionVN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

functionDN_Callback(hObject, eventdata, handles)

functionDN_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

functionPPD_Callback(hObject, eventdata, handles)
TN = menu('Seleccione', 'Densidad en LPG', '% en Peso');
if TN == 1
set(handles.TDP, 'string', 'Densidad en LPG')
set(handles.TDensidad, 'string', 'Densidad, LPG')
else
set(handles.TDP, 'string', '% en Peso')
set(handles.TDensidad, 'string', 'Densidad, % Peso')
end
handles.TN = TN;
guidata(hObject, handles)

functionPSal_Callback(hObject, eventdata, handles)
TSN = menu('Selección Sal', 'Clururo de Sodio', 'Clururo de
Potasio', 'Formiato de Sodio', 'Formiato de Potasio');
if TSN == 1
set(handles.TTS, 'string', 'Clururo de Sodio')
elseif TSN == 2
```

```
set(handles.TTS, 'string', 'Clururo de Potasio')
elseif TSN == 3
set(handles.TTS, 'string', 'Formiato de Sodio')
else
set(handles.TTS, 'string', 'Formiato de Potasio')
end
handles.TSN = TSN;
guidata(hObject, handles)

function D4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function D1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function D2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function D3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function BQ_Callback(hObject, eventdata, handles)

function BQ_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function SQ_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function SQ_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
        get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function VQ_Callback(hObject, eventdata, handles)

function VQ_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
        get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function edit19_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit19_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
        get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function edit20_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit20_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
        get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
    end

function CN_Callback(hObject, eventdata, handles)
    D=get(handles.DN, 'string');
    V=get(handles.VN, 'string');
    D=str2num(D);
    V=str2num(V);
    TN = handles.TN;
    TSN = handles.TSN;
    if TN == 1
        if TSN == 1
            lb=CloruroSodioDensidadLibras(D)*V*0.45359237/50;
            gal=CloruroSodioDensidadAgua(D)*V/42;
        elseif TSN == 2
            lb=CloruroPotasioDensidadLibras(D)*V*0.45359237/50;
            gal=CloruroPotasioDensidadAgua(D)*V/42;
        elseif TSN == 3
            lb=FormiatoSodioDensidadLibras(D)*V*0.45359237/50;
            gal = FormiatoSodioDensidadAgua(D)*V/42;
        elseif TSN == 4
            lb = FormiatoPotasioDensidadLibras(D)*V*0.45359237/50;
```

```
gal = FormiatoPotasioDensidadAgua(D) *V/42;
else
end
elseif TN == 2
if TSN == 1
lb=CloruroSodioPesoLibras(D) *V*0.45359237/50;
gal=CloruroSodioPesoAgua(D) *V/42;
elseif TSN == 2
lb=CloruroPotasioPesoLibras(D) *V*0.45359237/50;
gal=CloruroPotasioPesoAgua(D) *V/42;
elseif TSN == 3
lb = FormiatoSodioPesoLibras(D) *V*0.45359237/50;
gal = FormiatoSodioPesoAgua(D) *V/42;
elseif TSN == 4
lb = FormiatoPotasioPesoLibras(D) *V*0.45359237/50;
gal = FormiatoPotasioPesoAgua(D) *V/42;
else
end
else
end
end
set(handles.LN, 'string', lb);
set(handles.GN, 'string', gal);

functionLTN_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.TTS, 'string', '')
set(handles.TDP, 'string', '')
set(handles.DN, 'string', '')
set(handles.VN, 'string', '')
set(handles.LN, 'string', '')
set(handles.GN, 'string', '')
set(handles.TDensidad, 'string', '')
D=0; V=0; TN=0; TSN=0; lb=0; gal=0;
handles.D=D;
handles.V=V;
handles.TN=TN;
handles.TSN=TSN;
handles.lb=lb;
handles.gal=gal;
guidata(hObject, handles)

functionCQ_Callback(hObject, eventdata, handles)
V = get(handles.VQ, 'string');
V = str2num(V);
B = 2*V/1000;
S = 0.5*V/1000;
set(handles.BQ, 'string', B)
set(handles.SQ, 'string', S)

functionLQ_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.VQ, 'string', '')
set(handles.BQ, 'string', '')
```

```
set(handles.SQ, 'string', '')
B=0; V=0; S=0;
handles.B=B;
handles.V=V;
handles.S=S;
guidata(hObject, handles)

functionLiR_Callback(hObject, eventdata, handles)
set(handles.TTSR, 'string', '')
set(handles.TDAA, 'string', '')
set(handles.D1, 'string', '')
set(handles.D2, 'string', '')
set(handles.D3, 'string', '')
set(handles.D4, 'string', '')
set(handles.D5, 'string', '')
set(handles.T4, 'string', '')
set(handles.T5, 'string', '')
set(handles.PREuso, 'string', '')
di=0; df=0; vi=0; vf=0; lb=0; va=0;
handles.di=di;
handles.df=df;
handles.vi=vi;
handles.vf=vf;
handles.va=va;
handles.lb=lb;
set(handles.D5, 'Visible', 'on')
set(handles.T5, 'Visible', 'on')
guidata(hObject, handles)

functionEscoja_Callback(hObject, eventdata, handles)
DA = menu('Seleccione', 'DensificarFluido', 'Alivianar Fluido');
if DA == 1
    DAA = menu('Seleccione', 'Aumento de volumen tolerado', 'Volumen
especificado');
    if DAA == 1
        set(handles.TDAA, 'string', 'Volumentolerado')
        set(handles.T4, 'string', 'Sacos (50 kg)')
        set(handles.T5, 'string', 'Volumen Final, BBL')
    elseif DAA == 2
        set(handles.TDAA, 'string', 'Volumenespecificado')
        set(handles.T4, 'string', 'Sacos (50 kg)')
        set(handles.T5, 'string', 'Volumen a trabajar, BBL')
    else
    end
    set(handles.PREuso, 'string', 'DensificarFluido')
    handles.DA=DA;
elseif DA == 2
    DAA = menu('Seleccione', 'Aumento de volumen tolerado', 'Volumen
especificado');
    if DAA == 1
        set(handles.TDAA, 'string', 'Volumentolerado')
```

```
set(handles.T4, 'string', 'Agua a agregar, BBL')
set(handles.T5, 'string', 'Volumen final, BBL')
elseif DAA == 2
set(handles.TDAA, 'string', 'Volumenespecificado')
set(handles.T4, 'string', 'VolumenSalmuera, BBL')
set(handles.T5, 'string', 'Agua a agregar, BBL')
else
end
set(handles.PREuso, 'string', 'AlivianarFluido')
else
end
handles.DA = DA;
handles.DAA = DAA;
guidata(hObject, handles)

functionCR_Callback(hObject, eventdata, handles)
DA = handles.DA;
DAA = handles.DAA;
sg = handles.sg;
if DA == 1
if DAA == 1
di = get(handles.D1, 'string');
df = get(handles.D2, 'string');
vi = get(handles.D3, 'string');
di=str2num(di);
df=str2num(df);
vi=str2num(vi);
[lb, vf]=DensificarAumentoDeVolumenTolerado(di, df, vi, sg);
lb=lb*0.45359237/50;
set(handles.D4, 'string', lb)
set(handles.D5, 'string', vf)
elseif DAA == 2
di = get(handles.D1, 'string');
df = get(handles.D2, 'string');
vf = get(handles.D3, 'string');
di=str2num(di);
df=str2num(df);
vf=str2num(vf);
[lb, vi]=DensificarAumentoDeVolumenEspecificado(di, df, vf, sg);
lb=lb*0.45359237/50;
set(handles.D4, 'string', lb)
set(handles.D5, 'string', vi)
else
end
elseif DA == 2
if DAA == 1
di = get(handles.D1, 'string');
df = get(handles.D2, 'string');
vi = get(handles.D3, 'string');
di=str2num(di);
df=str2num(df);
vi=str2num(vi);
```

```
prompt = {'Ingrese la densidad del fluido de dilucion'};
dlg_title = 'Densidad';
num_lines = 1;
def = {'8.3454'};
sg = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
sg=str2num(cell2mat(sg));
sg=sg/8.3454;
[va, vf]=AlivianarAumentoDeVolumenTolerado(di, df, vi, sg);
set(handles.D4, 'string', va)
set(handles.D5, 'string', vf)
elseif DAA == 2
di = get(handles.D1, 'string');
df = get(handles.D2, 'string');
vf = get(handles.D3, 'string');
di=str2num(di);
df=str2num(df);
vf=str2num(vf);
prompt = {'Ingrese la densidad del fluido de dilucion'};
dlg_title = 'Densidad';
num_lines = 1;
def = {'8.3454'};
sg = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def);
sg=str2num(cell2mat(sg));
sg=sg/8.3454;
[vi, vdf]=AlivianarAumentoDeVolumenEspecificado(di, df, vf, sg);
set(handles.D4, 'string', vi)
set(handles.D5, 'string', vdf)
else
end
else
end

function TDAA_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

function D5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function D5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function Bacerca_Callback(hObject, eventdata, handles)
text={'Materia Prima','Programa realizado con el fin de determinar la
cantidad'...
'de materia primar necesaria en el proceso de produccion'...
'de fluidos de completamiento y workover','',...
'Realizado por:','Carlos Andres Esquivel Plazas','Ingeniero de
Petroleos',...
'Ruben Dario Conde Leon','Ingeniero de Petroleos','', 'Revision
General:',...}
```

```
'William AndresAya','Ingeniero Quimico','','ParkoServices S.A.',...  
'Todos los Derechos Reservados'}];  
titul='Acerca de... MATPRIMA';  
msgbox(text, titul,'help')  
  
function BCerrar_Callback(hObject, eventdata, handles)  
close()  
  
function [gal] = CloruroPotasioDensidadAgua(D)  
if D < 8.37  
elseif D > 9.68  
elseif 8.37 <= D <= 9.68  
a= -833199.5316737432;  
b= 71912.20037530292;  
c= -2581.638128639027;  
d= 49.40378381486729;  
e= -0.5514130973170511;  
f= 0.004482407349873661;  
g= -5.069149166157693E-05;  
h= 6.997327147272022E-07;  
l= -6.291284046184436E-09;  
m= 2.971596792044689E-11;  
n= -5.713074063409399E-14;  
gal=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^(10)+g*D^(12)+h*D^(14)+l*D^(16)+m*D^(18)  
+n*D^(20);  
end  
  
function [gal] = CloruroPotasioPesoAgua(D)  
if D < 1  
elseif D > 25  
elseif 1 <= D <= 25  
a= 42.17981638285487;  
b= -0.4805726673439187;  
c= 0.1057215555830831;  
d= 0.005946191581502056;  
e= -0.01051145877084519;  
f= 0.002511378007846837;  
g= -0.0002962970003944475;  
h= 1.994484117240733E-05;  
i= -7.7840685999152E-07;  
j= 1.641776315303009E-08;  
k= -1.449252233525852E-10;  
gal=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+i*D^8+j*D^9+k*D^(10);  
end  
  
function [lb] = CloruroPotasioPesoLibras(D)  
if D < 1  
elseif D > 25  
elseif 1 <= D <= 25  
a= -0.2721089192496393;  
b= 4.037632921000095;  
c= -0.4083687233570303;
```

```
d= 0.1818548889809502;  
e= -0.04389528363880796;  
f= 0.00639046977549811;  
g= -0.000579062875646793;  
h= 3.285115629891493E-05;  
i= -1.134095721579225E-06;  
j= 2.178124452428279E-08;  
k= -1.784659001263885E-10;  
lb=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+i*D^8+j*D^9+k*D^ (10) ;  
end  
  
function[lb] = CloruroPotasioDensidadLibras(D)  
if D < 8.37  
elseif D > 9.68  
elseif 8.37 <= D <= 9.68  
a= 9845010.664573003;  
b= -867186.1884771931;  
c= 31740.35271415123;  
d= -618.2695544998428;  
e= 6.985359338660075;  
f= -0.05627150527324633;  
g= 0.0006243491609855367;  
h= -8.747492194357036E-06;  
l= 8.026406800100216E-08;  
m= -3.854031040248242E-10;  
n= 7.508157012556662E-13;  
lb=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^ (10) +g*D^ (12) +h*D^ (14) +l*D^ (16) +m*D^ (18)  
+n*D^ (20) ;  
end  
  
function[gal] = CloruroSodioDensidadAgua(D)  
if D < 8.4  
elseif D > 10.01  
elseif 8.4 <= D <= 10.01  
a= -224654.5068898058;  
b= 17775.16664893749;  
c= -565.3128272858139;  
d= 8.463897035140565;  
e= -0.03269732585122899;  
f= -0.0008860860605718765;  
g= 1.60548203024372E-05;  
h= -1.222607720320478E-07;  
l= 4.67042295180855E-10;  
m= -7.321664788058871E-13;  
gal=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^ (10) +g*D^ (12) +h*D^ (14) +l*D^ (16) +m*D^ (18)  
);  
end  
  
function[lb] = CloruroSodioDensidadLibras(D)  
if D < 8.4
```

```
elseif D > 10.01
elseif 8.4 <= D <= 10.01
a= 573856.6124579801;
b= -47538.89369881746;
c= 1593.428688225147;
d= -25.59651844480568;
e= 0.1249983586251396;
f= 0.002427384909232066;
g= -4.985680194104957E-05;
h= 4.070810083676544E-07;
i= -1.653424012769276E-09;
j= 2.751629189374453E-12;
lb=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^(10)+g*D^(12)+h*D^(14)+i*D^(16)+j*D^(18)
;
end
```

```
function[gal] = CloruroSodioPesoAgua(D)
if D < 1
elseif D > 26
elseif 1 <= D <= 26
a= 89.10902002011331;
b= -189.3412677836973;
c= 328.5078685748907;
d= -326.4175992884177;
e= 206.7106027287436;
f= -87.64477582253237;
g= 25.28691148851348;
h= -4.913108586667046;
i= 0.6159704354605947;
j= -0.04502229809273547;
k= 0.001457125220098088;
gal=a+b*D^(0.5)+c*D+d*D^(1.5)+e*D^2+f*D^(2.5)+g*D^3+h*D^(3.5)+i*D^4+j*D^(4.5)+k*D^5;
end
```

```
function[lb] = CloruroSodioPesoLibras(D)
if D < 1
elseif D > 26
elseif 1 <= D <= 26
a= -0.3656244464948314;
b= 4.187819270970026;
c= -0.4651976831484152;
d= 0.173202017407533;
e= -0.03443827920996489;
f= 0.004167877618178585;
g= -0.0003190729792674944;
h= 1.555132270718138E-05;
m= -4.682607407994166E-07;
n= 7.946214099870521E-09;
```

```
o= -5.814863365664864E-11;  
lb=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+m*D^8+n*D^9+o*D^ (10) ;  
end
```

```
function[gal] = FormiatoPotasioDensidadAgua(D)  
if D < 8.38  
elseif D > 13.18  
elseif 8.38 <= D <= 13.18  
a= -2836.615492684934;  
b= 217.7903480004452;  
c= -7.236524433481856;  
d= 0.1392627094484007;  
e= -0.001715595686891433;  
f= 1.404622766633616E-05;  
g= -7.646517140110417E-08;  
h= 2.668502877273731E-10;  
i= -5.414235165354835E-13;  
j= 4.862557433926972E-16;  
gal=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^ (10) +g*D^ (12) +h*D^ (14) +i*D^ (16) +j*D^ (18  
);  
end
```

```
function[lb] = FormiatoPotasioDensidadLibras(D)  
if D < 8.38  
elseif D > 13.18  
elseif 8.38 <= D <= 13.18  
a= 48108.81157213478;  
b= -3825.024579372442;  
c= 133.6139496295167;  
d= -2.699358248876277;  
e= 0.03478343253325066;  
f= -0.0002962606597942852;  
g= 1.666576639086536E-06;  
h= -5.966100622973674E-09;  
i= 1.232698700947349E-11;  
j= -1.119816066824162E-14;  
lb=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^ (10) +g*D^ (12) +h*D^ (14) +i*D^ (16) +j*D^ (18)  
;  
end
```

```
function[gal] = FormiatoPotasioPesoAgua(D)  
if D < 1  
elseif D > 75  
elseif 1 <= D <= 75  
a= 42.07475128771059;  
b= -0.1464504665619153;  
c= -0.009689686088479257;  
d= 0.0008681000733201702;  
e= -5.998122995595761E-05;  
f= 2.606682119679561E-06;  
g= -7.013650891694886E-08;
```

```
h= 1.153053719698089E-09;  
i= -1.119982941328071E-11;  
j= 5.852576546506952E-14;  
k= -1.251168958147865E-16;  
gal=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+i*D^8+j*D^9+k*D^ (10) ;  
end
```

```
function[lb] = FormiatoPotasioPesoLibras(D)  
if D < 1  
elseif D > 75  
elseif 1 <= D <= 75  
a= -0.2549257532442031;  
b= 3.780691328394354;  
c= -0.06077689569567995;  
d= 0.01475881521052418;  
e= -0.001166993213828417;  
f= 5.613546779397087E-05;  
g= -1.654562742673046E-06;  
h= 3.027653202473479E-08;  
i= -3.332348784421506E-10;  
j= 2.012207160335994E-12;  
k= -5.069564639831801E-15;  
lb=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+i*D^8+j*D^9+k*D^ (10) ;  
end
```

```
function[gal] = FormiatoSodioDensidadAgua(D)  
if D < 8.37  
elseif D > 11.07  
elseif 8.37 <= D <= 11.07  
a= 38006.82484326772;  
b= -2952.434118667711;  
c= 84.47154667258215;  
d= -0.6330214870282794;  
e= -0.02398357907419012;  
f= 0.0008010764839202107;  
g= -1.182376991282699E-05;  
h= 1.025105634091792E-07;  
l= -5.381177165357894E-10;  
m= 1.591510057558031E-12;  
n= -2.044485129568984E-15;  
gal=a+b*D^2+c*D^4+d*D^6+e*D^8+f*D^ (10) +g*D^ (12) +h*D^ (14) +l*D^ (16) +m*D^ (18)  
)+n*D^ (20) ;  
end
```

```
function[lb] = FormiatoSodioDensidadLibras(D)  
if D < 8.37  
elseif D > 11.07  
elseif 8.37 <= D <= 11.07  
a= 3059.783725986516;  
b= -0.04936865965070158;  
c= -169.2111217754419;
```

```
d= 0.0009705270639222878;  
e= 3.425180764688516;  
f= -9.553336185356128E-06;  
g= -0.0299303632619864;  
h= 4.706487173075896E-08;  
l= 9.444803954410405E-05;  
m= -9.256107509251283E-11;  
lb=sqrt((a+c*D^2+e*D^4+g*D^6+l*D^8)/(1+b*D^2+d*D^4+f*D^6+h*D^8+m*D^(10)))  
;  
end
```

```
function[gal] = FormiatoSodioPesoAgua(D)  
if D < 1  
elseif D > 49.5  
elseif 1 <= D <= 49.5  
a= 42.07867368471591;  
b= -0.2280197204493907;  
c= 0.009786528032621772;  
d= -0.001323422273380603;  
e= 0.0001218993749529818;  
f= -8.673917016367105E-06;  
g= 4.114030005025326E-07;  
h= -1.214658037026505E-08;  
i= 2.137849749469492E-10;  
j= -2.055212146482115E-12;  
k= 8.309081329542181E-15;  
gal=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+i*D^8+j*D^9+k*D^(10);  
end
```

```
function[lb] = FormiatoSodioPesoLibras(D)  
if D < 1  
elseif D > 49.5  
elseif 1 <= D <= 49.5  
a= 0.2497724510326908;  
b= 3.125750903424294;  
c= 0.2098585220565295;  
d= -0.03837225072617826;  
e= 0.004706656492063152;  
f= -0.0003411645695827332;  
g= 1.539759044676455E-05;  
h= -4.353506134070747E-07;  
l= 7.49077462201278E-09;  
m= -7.162352217096782E-11;  
n= 2.915709540657796E-13;  
lb=a+b*D+c*D^2+d*D^3+e*D^4+f*D^5+g*D^6+h*D^7+l*D^8+m*D^9+n*D^(10);  
end
```

```
function[lb, vi]=DensificarAumentoDeVolumenEspecificado(di, df, vf, sg)  
vi=((8.3454*sg)-df)/((8.3454*sg)-di)*vf;  
lb=(vf-vi)*sg*350.5;
```

end

```
function[lb, vf]=DensificarAumentoDeVolumenTolerado(di, df, vi, sg)
lb=((350.5*sg*(df-di))/((8.3454*sg)-df))*vi;
v=lb/(350.5*sg);
vf=v+vi;
end
```

```
function[vi, vdf]=AlivianarAumentoDeVolumenEspecificado(di, df, vf, sg)
vi=((8.3454*sg)-df)/((8.3454*sg)-di))*vf;
vdf=vf-vi;
end
```

```
function[va, vf]=AlivianarAumentoDeVolumenTolerado(di, df, vi, sg)
va=vi*((di-df)/(df-(8.3454*sg)));
vf=vi+va;
end
```



**Figura M17.** Interfaz del programa MATPRIMA